



Я. І. Залізняка

доктор філософії за спеціальністю 103 Науки про Землю,
викладач кафедри екології та безпеки життєдіяльності,
Уманський національний університет (м. Умань, Україна)
E-mail: yana.bezussyak@gmail.com
orcid.org/0000-0002-6497-1215

Н. О. Шевченко

кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності
Уманський національний університет (м. Умань, Україна)
E-mail: shevchenkonata24@gmail.com
orcid.org/0000-0001-6722-9326



А. В. Балабак

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності
Уманський національний університет (м. Умань, Україна)
E-mail: a.v.balabak@ukr.net
orcid.org/0000-0002-7483-277X

ТЕХНОЕКОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ НА РІЧКОВІ ЕКОСИСТЕМИ

У статті проаналізовано техноекологічні чинники впливу промислових підприємств – зокрема заводів, фабрик та теплоелектростанцій – на екологічний стан річкових та інших поверхневих екосистем. Досліджено, що ризики забруднення водного середовища, спричинені діяльністю промислових об'єктів, охоплюють широкий спектр екологічних та соціально-економічних наслідків. Визначено основні джерела забруднення, серед яких провідне місце займають виробничі стоки, насичені важкими металами, синтетичними поверхнево-активними речовинами тощо. Окремо розглянуто специфіку впливу теплоелектростанцій, які, крім хімічного навантаження, спричиняють термічне забруднення, змінюючи температурний режим водойм і порушуючи гідробіологічну рівновагу. Методологічна основа дослідження ґрунтується на басейновому підході для оцінки просторово-часових змін якості води. Отримані результати підтверджують необхідність впровадження сучасних технологій очищення стічних вод, систем замкненого водообігу та автоматизованого моніторингу, а також посилення контролю за дотриманням екологічних нормативів. Довготривале хімічне та фізичне навантаження знижує здатність водних екосистем до самоочищення, підвищує ризик евтрофікації та деградації донних біоценозів. У комплексі ці фактори можуть призвести до незворотних змін у структурі та функціонуванні річкових екосистем, що потребує своєчасного виявлення, моніторингу та запровадження превентивних заходів. Запропоновано рекомендації щодо інтеграції техноекологічного підходу в управління водними ресурсами, що сприятиме зменшенню негативного впливу промислових об'єктів і забезпеченню екологічної безпеки річкових екосистем у довгостроковій перспективі.

Ключові слова: техноекологія; промислові об'єкти; річкові екосистеми; поверхневі води; басейновий підхід; забруднення водного середовища; важкі метали; термічне забруднення; екологічна безпека.

Ya. I. Zalizniak

PhD in Earth Sciences (Specialty 103),
Lecturer at the Department of Ecology and Life Safety,
Uman National University (Uman, Ukraine)
E-mail: yana.bezussyak@gmail.com
orcid.org/0000-0002-6497-1215

N. O. Shevchenko

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Ecology and Life Safety,
Uman National University (Uman, Ukraine)
E-mail: shevchenkonata24@gmail.com
orcid.org/0000-0001-6722-9326

A. V. Balabak

Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Ecology and Life Safety
Uman National University (Uman, Ukraine)
E-mail: a.v.balabak@ukr.net
orcid.org/0000-0002-7483-277X

TECHNOECOLOGICAL ANALYSIS OF THE IMPACT OF INDUSTRIAL FACILITIES ON RIVER ECOSYSTEMS

The article analyzes the techno-ecological factors of industrial enterprises' impact—particularly plants, factories, and thermal power stations—on the ecological state of river and other surface ecosystems. It has been established that the risks of water environment pollution caused by industrial activities encompass a wide range of ecological and socio-economic consequences. The main sources of pollution have been identified, among which industrial effluents saturated with heavy metals, synthetic surfactants, and other substances occupy a leading place. Special attention is given to the specific impact of thermal power plants, which, in addition to chemical loads, cause thermal pollution by altering the temperature regime of water bodies and disrupting hydrobiological balance. The methodological basis of the study relies on the basin approach for assessing spatio-temporal changes in water quality. The obtained results confirm the necessity of implementing modern wastewater treatment technologies, closed-loop water supply systems, and automated monitoring, as well as strengthening control over compliance with environmental standards. Long-term chemical and physical loads reduce the self-purification capacity of aquatic ecosystems, increase the risk of eutrophication, and lead to the degradation of benthic biocenoses. Collectively, these factors may result in irreversible changes in the structure and functioning of river ecosystems, which requires timely detection, monitoring, and the introduction of preventive measures. Recommendations are proposed for integrating the techno-ecological approach into water resource management, which will contribute to reducing the negative impact of industrial facilities and ensuring the ecological safety of river ecosystems in the long term.

Key words: technoeology; industrial facilities; river ecosystems; surface waters; basin approach; water environment pollution; heavy metals; thermal pollution; ecological safety.

Постановка проблеми. Техносфера України – це складний антропогенний комплекс, який сформований внаслідок інтенсивного розвитку промисловості, енергетики, транспорту, аграрного сектору та урбанізованих територій. Така підсистема біосфери охоплює сукупність технічних засобів, інженерних споруд, виробничих комплексів і технологічних процесів, що забезпечують життєдіяльність суспільства, але водночас чинять значний вплив на природне середовище. Основними галузями, які формують антропогенну трансформацію річкових екосистем залишаються металургія, хімічна промисловість, машинобудування, харчова та легка промисловість, а також енергетичний сектор, у якому значну частку займають теплові електростанції та атомні електростанції.

Сучасний стан техносфери зумовлений поєднанням використання застарілих технологій, що потребують модернізації, та впровадженням інноваційних рішень, зокрема у сферах енергоефективності, замкнених виробничих циклів і цифрового моніторингу стану довкілля. Одним із ключових завдань є узгодження розвитку техносфери з принципами сталого розвитку та екологічної безпеки, що передбачає зменшення ресурсного споживання для виробництва, мінімізацію обсягів викидів і відходів, а також відновлення деградованих природних систем.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Багато науковців розглядають проблему техносфери та її вплив на навколишнє середовище, зокрема на водні ресурси. У статті [15] автори пояснюють поняття «техносфера», як її функціональну інтеграцію з іншими сферами системи Землі. Також представлено класифікацію кінцевого використання техносфери для теоретичного узгодження з різними видами людської діяльності та показниками добробуту. Інші вчені [14] у своїй

роботі представляють концептуальну рамку, яка розглядає водні технології як складну адаптивну систему, що включає три взаємопов'язані підсистеми: попит на воду, водопостачання та управління водними ресурсами. Такий підхід дозволяє не лише систематизувати наявні технологічні рішення, але й виявити механізми їх взаємодії, адаптації та розвитку в умовах змін клімату, зростання населення та інтенсифікації господарської діяльності. Інші роботи [1, 6, 9] аналізують проблеми впливу промислових об'єктів на річки, а нормативні документи [2, 3, 4] зазначають обмеження та необхідні вимоги для збереження та покращення стану поверхневих вод, зокрема річки Південний Буг в межах Вінницької області [11].

Мета статті полягає у виявленні та науковому обґрунтуванні впливу промислових об'єктів, зокрема теплоелектростанцій, на стан водного середовища, а також у визначенні основних джерел і механізмів забруднення річкових екосистем.

Методика дослідження. При проведенні досліджень було застосовано методику комплексних польових географічних досліджень [8]. Польові роботи включали маршрутні обстеження територій у межах досліджуваних річкових басейнів, аналіз промислових об'єктів впливу, які здійснюють скиди стічних вод та прилягають до місць протікання річок. Основою проведення досліджень є басейновий підхід, так як притоки виступають індикаторами впливу і за ними можна відслідкувати розповсюдження забруднюючих речовин по басейну річки [5].

Основні результати дослідження. Значне техногенне навантаження в межах Вінницької області на річкові системи, насамперед у басейні Південного Бугу, здійснюють промислові підприємства. Визначальними чинниками впливу виступають різні види забруднень: органічне, біогенне,

термічне, хімічне. Крім того, політантагнє навантаження (важкими металами та нафтопродуктами), а також механічне замулення і підвищення каламутності води – також становлять велику загрозу для якості поверхневих вод та донних відкладів [6]. Найбільш піддатливими до негативного впливу є певні ділянки водотоків у межах промислових зон, де накопичувальний ефект від кількох джерел забруднення призводить до зниження біорізноманіття, погіршення якості води та зменшення здатності водойм до самоочищення [10].

Серед об'єктів, що чинять найбільш відчутний вплив на стан водного середовища, виокремлюються підприємства харчової та переробної промисловості – основні постачальники органічних і біогенних забруднень, а також Ладижинська ТЕС, яка поєднує хімічне та теплове навантаження. Було проведено польові дослідження, в результаті яких було виявлено близькість прилягання промислових об'єктів та їх негативний вплив на екосистеми річок в межах басейну р. Південний Буг (в межах Вінницької області). Було виявлено локальні, зокрема специфічні види забруднення, які створюють машинобудівні та будівельні підприємства, зокрема через зливові стоки, що містять металеві частинки, мастильні матеріали та цементний пил.

Нижче наведено узагальнену характеристику проаналізованих промислових об'єктів області, їх профілю діяльності та потенційного впливу на річкові екосистеми, а також зазначено ориєнтовні ГДК (табл. 1–2) [5].

У таблиці 2 для деяких показників (наприклад, «термічне забруднення») встановлюється не концентрація, а допустиме відхилення від природного стану. Для локальних випадків (цементний шлам, мастильні матеріали) застосовуються індивідуальні нормативи залежно від складу стоків [16].

Таблиця 1 відображає результати, які підтверджують те, що у Вінницькій області працює низка великих промислових підприємств різних галузей – від енергетики та машинобудування до харчової і переробної промисловості, які здійснюють скиди політантів у поверхневі води. Найпотужніший вплив на річкові екосистеми має Ладижинська ТЕС, яка, окрім хімічних домішок, створює термічне забруднення Південного Бугу. Теплоелектростанції здійснюють багатофакторний вплив на водні екосистеми, поєднуючи хімічне забруднення з термічним навантаженням. Скидання підігрітих вод у природні водойми спричиняє підвищення їх температури, що змінює сезонні та добові коливання теплового режиму. Такі зміни зумовлюють зменшення концентрації розчиненого кисню, інтенсифікацію процесів евтрофікації та трансформацію видового складу гідробіотів. У підсумку порушується гідробіологічна рівновага, знижується екологічна стійкість водних екосистем і зростає ймовірність деградації природних біоценозів [12].

Більшість харчових і переробних заводів (олійно-жировий комбінат, цукровий, спиртовий, кондитерська фабрика «Roshen», птахофабрика) спричиняють органічне та біогенне забруднення, що призводить до зростання вмісту азоту, фосфору та інших речовин у воді. Це може викликати «цвітіння» води, зниження вмісту кисню та погіршення умов для водних організмів.

Машинобудівні та будівельні підприємства впливають локально, але їхній вплив специфічний – це металеві стоки, мастильні матеріали, цементний пил і шлам, які потрапляють у водотоки зі зливовими стоками [9].

Загалом, в ході проведення польових досліджень було виявлено, що найбільше навантаження припадає на басейн Південного Бугу, де зосереджена більшість підприємств. У менших

Таблиця 1

Досліджувані промислові об'єкти Вінницької області, напрями діяльності та вплив на річки

№ п/п	Промисловий об'єкт / підприємство	Основний напрям діяльності	Потенційний вплив на річки та водні екосистеми
1	Ладижинська теплоелектростанція (м. Ладижин)	Виробництво електроенергії з використанням вугілля та газу	Термічне забруднення Південного Бугу, скиди з підвищеним вмістом завислих речовин, солей та важких металів
2	Немирівський лікеро-горілчаний завод	Виробництво алкогольних напоїв	Органічне забруднення, локальне підвищення концентрацій біогенних речовин у малих річках
3	Барський машинобудівний завод	Виробництво сільськогосподарської техніки	Металеві стоки, мастильні матеріали, локальне забруднення малих річок через зливову каналізацію
4	Вінницький олійножировий комбінат	Переробка олійних культур, виробництво рослинних олій	Органічне забруднення стічними водами, підвищення біогенних елементів у притоках Південного Бугу
5	Гайсинський цукровий завод	Виробництво цукру з цукрових буряків	Скиди стічних вод із високим вмістом органіки, завислих речовин та продуктів бродіння у притоки Південного Бугу
6	Будівельні комбінати (Вінниця, Жмеринка)	Виробництво будівельних матеріалів	Пилове та хімічне забруднення зливовими стоками, потрапляння цементного шламу у водотоки
7	Вінницька кондитерська фабрика «Roshen»	Виробництво кондитерських виробів	Органічне забруднення стічними водами, можливе підвищення вмісту біогенних речовин у Південному Бугу, локальний вплив на якість води під час виробничих процесів та обслуговування інфраструктури

Таблиця 2

Орієнтовні ГДК для основних видів забруднень у поверхневих водах [16]

Вид забруднення	Приклад речовини / показника	Орієнтовна ГДК (мг/л)	Коментар
Термічне забруднення	Підвищення температури води	$\Delta T \leq 3^\circ \text{C}$ від природного фону	Перегрів води порушує кисневий режим і біоту
Завислі речовини	Завислі частинки	3,0	При перевищенні – замулення, зниження прозорості
Солі (мінералізація)	Загальна мінералізація	1000,0	Для питного водопостачання ≤ 1000 мг/л
Важкі метали	Свинець (Pb)	0,03	Токсичний, кумулятивний ефект
	Кадмій (Cd)	0,001	Дуже токсичний, канцерогенний
	Ртуть (Hg)	0,0005	Накопичується в біоті
Органічне забруднення	БСК ₅ (біохімічне споживання кисню)	3,0	Показник органічного навантаження
Біогенні речовини	Нітрати (NO ₃ ⁻)	45,0	Евтрофікація, метгемоглобінемія
	Фосфати (PO ₄ ³⁻)	0,03	Стимулюють «цвітіння» води
Металеві стоки, мастильні матеріали	Нафтопродукти	0,1-0,3	Утворюють плівку, знижують газообмін
Високий вміст органіки	Амоній (NH ₄ ⁺)	2,0	Токсичний для риб, свідчить про забруднення
Продукти бродіння	Сірководень (H ₂ S)	0,002	Токсичний, пригнічує біоту
Пилове забруднення	Завислі частинки (цементний пил)	3,0	Викликає замулення, підвищення мутності
Хімічне забруднення зливовими стоками	Сульфати (SO ₄ ²⁻)	500,0	При перевищенні – гіркий присмак, корозія
Цементний шлам	Лужність (pH)	6,5–8,5 (норма)	Відхилення викликають загибель біоти
Локальний вплив виробництва	Залізо загальне (Fe)	0,2	Викликає осади, зміну смаку води

масштабах вплив відчувають і притоки Дністра. Сукупна дія цих об'єктів створює кумулятивний ефект забруднення, що знижує якість води, погіршує стан екосистем і потребує постійного моніторингу та впровадження сучасних технологій очищення стічних вод.

Висновки. Техноекологічний підхід до управління водними ресурсами передбачає поєднання екологічних принципів із сучасними технологічними рішеннями, щоб зменшити негативний вплив промислових об'єктів на річкові екосистеми. Він охоплює модернізацію виробництв, впровадження ефективних систем очищення стічних вод, постійний моніторинг стану водойм та відновлення деградованих ділянок, зокрема встановлення нормативів гранично допустимих скидів з урахуванням екологічної стійкості річкових екосистем, а також проведення обов'язкової техноекологічної експертизи для нових і модернізованих виробництв [13]. Такий підхід сприяє збереженню екологічної рівноваги, підвищенню стійкості річкових екосистем і забезпечує їх безпечне функціонування у довгостроковій перспективі. Також ефективним є підвищення екологічної обізнаності керівників підприємств і місцевих громад щодо наслідків техногенного впливу та поширення кращих практик техноекологічного управління водними ресурсами [7].

Література

1. Балуєва О. В., Чинкуляк Н. М. Кластерний аналіз територій України за показниками антропогенних

навантажень на навколишнє природне середовище. *Ефективна економіка*. № 12. 2013. Електронний ресурс. URL: <http://www.economy. nauka.com.ua/?or=1&z=2574> (дата звернення: 07.09.2025)

2. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення. К., 2006. 240 с.

3. Водне господарство в Україні / за ред. А. В. Яценка, В. М. Хорева. К. : Генеза, 2000. 456 с.

4. Водний кодекс України: Кодекс України, Закон, Кодекс від 27.05.2021 № 213/95-ВР. *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*, 1995, № 24. С. 189.

5. Залізняк Я. І. Головні проблеми трансформації геосистем річок у Вінницькій області внаслідок антропогенного впливу. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія : Географія*. 2019. Вип. 31, № 3–4. Вінниця, 2019. С. 52–61.

6. Ковальчук І. П., Павловська Т. С. Річково-басейнова система Горині: структура, функціонування, оптимізація : монографія. Луцьк : РВВ «Вежа» ВНУ ім. Лесі Українки, 2008. 244 с.

7. Концепція діяльності мережі українських неурядових екологічних організацій зі збереження та відновлення річок. URL: <http://www. uarivers.net> (дата звернення 3.09.2025).

8. Курлова З., Слободянюк Т., Руда В. Методика комплексних польових географічних досліджень (відділення наук про Землю) : навч.-метод. видання. К., 2018. 36 с.

9. Лаврик О. Д. Водні антропогенні ландшафти заплави Південного Бугу: сучасний стан та використання. *Стале природокористування: підходи,*

проблеми, перспектива : матеріали III міжнар. наук. конф., 27–28 трав. 2010р. Тернопіль : Підручники і посібники, 2010. 53–55 с.

10. Мисковець І. Я. Антропогенні зміни в басейнах малих річок (на прикладі Волинської області) : автореф. дис. ... канд. геогр. наук (11.00.11.). Чернівці, 2003. 20 с.

11. Мудрак О. В. Рябоконь С. В. Історія господарського освоєння поверхневих вод на території України. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету*. 2011. Вип. 7. С. 107–112.

12. Стратічук Н. В., Коваленко М. С. Аналіз сучасного стану поверхневих вод на території України. *Збірник матеріалів VII Міжнародний молодіжний конгрес: «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування»*. (10–11 лютого 2022, Україна, Львів). Київ : Яроченко Я. В., 2022. С. 78. 4.

13. Стратічук Н. В., Корнієнко В. О. Оцінка сталого використання природних ресурсів на території Херсонської області. *Таврійський науковий вісник. Херсон : Видавничий дім «Гельветика»*, 2021. Вип. 119. С. 272–280).

14. Evolution of water technology from a structural perspective. *Sec. Water and Wastewater Management*. *Front. Environ. Sci.*, 11 October 2024.

15. Resolving the Technosphere Eric Galbraith, Abdullah-Al Faisal, Tanya Matitia, William Fajzel, Ian Hatton, Helmut Haberl, Fridolin Krausmann and Dominik Wiedenhofer. [Електронний ресурс]. URL: <https://egusphere.copernicus.org/preprints/2024/egusphere-2024-1133/egusphere-2024-1133.pdf> (дата звернення 1.09.2025).

16. Гранично допустимі концентрації (ГДК) та орієнтовні допустимі рівні (ОДР) шкідливих речовин у воді водних об'єктів господарсько-питного та культурно-побутового призначення. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v5793400-91#Text> (дата звернення 4.09.2025).

References

1. Balueva, O. V., & Chinkuliak, N. M. (2013). Klasternyi analiz terytorii Ukrainy za pokaznykamy antropohennykh navantazhen' na navkolyshnie pryrodne seredovyshche [Cluster analysis of Ukrainian territories by indicators of anthropogenic pressure on the environment]. *Efektivna ekonomika*, 12. Retrieved from <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2574> (accessed: 07.09.2025) [in Ukrainian].

2. Vodna Ramkova Dyrektyva ES 2000/60/ES. Osnovni termin ta yikh vyznachennia [EU Water Framework Directive 2000/60/EC. Key terms and definitions]. (2006). Kyiv, 240 [in Ukrainian].

3. Yatsyk, A.V., & Khoryev, V.M. (Eds.). (2000). *Vodne hospodarstvo v Ukraini* [Water management in Ukraine]. Kyiv : Geneza, 456 [in Ukrainian].

4. Vodnyi kodeks Ukrainy: Zakon Ukrainy vid 27.05.2021 № 213/95-VR [Water Code of Ukraine: Law of Ukraine from May 27, 2021 No. 213/95-VR]. *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy (VVR)*, 1995, 24, 189 [in Ukrainian].

5. Zalizniak, Ya.I. (2019). Holovni problemy transformatsii heosystem richok u Vinnytskii oblasti vnaslidok antropohennoho vplyvu [Main problems of

river geosystem transformation in Vinnytsia region due to anthropogenic impact]. *Naukovi zapysky Vinnits'koho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni Mykhaila Kotsiubyn'skoho. Seriya : Heohrafiia*, 31(3–4), 52–61 [in Ukrainian].

6. Kovalchuk, I. P., & Pavlovska, T. S. (2008). Richkovo-basainova systema Horyni: struktura, funktsionuvannia, optymizatsiia: monohrafiia [River basin system of the Horyn: structure, functioning, optimization : monograph]. Luts'k : RVV "Vezha" VNU im. Lesi Ukrainky, 244 [in Ukrainian].

7. Kontseptsiiia dialnosti merezhi ukrains'kykh neuriadovykh ekolohichnykh orhanizatsii zi zber-ezhennia ta vidnovlennia richok [Concept of the activity of the network of Ukrainian environmental NGOs for river conservation and restoration]. Retrieved from <http://www.uarivers.net> (accessed: 03.09.2025) [in Ukrainian].

8. Kurlova, Z., Slobodyaniuk, T., & Ruda, V. (2018). *Metodyka kompleksnykh pol'ovykh heohra-fichnykh doslidzhen' (vidlennia nauk pro Zemliu): navch.-metod. vydannia* [Methodology of complex field geographical research (Earth sciences division): educational-methodical publication]. Kyiv, 36 [in Ukrainian].

9. Lavryk, O. D. (2010). Vodni antropohenni landshafty zaplavy Pivdennoho Buha: suchasnyi stan ta vykorystannia [Water anthropogenic landscapes of the Southern Bug floodplain: current state and use]. In: *Stale pryrodokorystuvannia: pidkhody, problemy, perspektyva* : materials of the III Int. Sci. Conf., May 27–28, 2010. Ternopil: Pidruchnyky i posibnyky, 53–55 [in Ukrainian].

10. Myskovets', I.Ya. (2003). Antropohenni zminy v basainakh malykh richok (na prykladi Volyn's'koi oblasti): avtoref. dys... kand. heohraf. nauk (11.00.11.) [Anthropogenic changes in small river basins (on the example of Volyn region): PhD abstract]. Chernivtsi, 20 [in Ukrainian].

11. Mudrak, O.V., & Riabokon', S.V. (2011). Istoriia hospodars'koho osvoinnia poverkhnevnykh vodoiem Vinnichchyny [History of economic development of surface water bodies in Vinnytsia region]. *Zbirnyk naukovykh prats' Vinnits'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu*, 7, 107–112 [in Ukrainian].

12. Strachuk, N.V., & Kovalenko, M.S. (2022). Analiz suchasnoho stanu poverkhnevnykh vod na terytorii Ukrainy [Analysis of the current state of surface waters in Ukraine]. In: *Materials of the VII Int. Youth Congress "Sustainable development: environmental protection. Energy saving. Balanced nature management"* (Feb 10–11, 2022, Ukraine, Lviv). Kyiv : Yarochenko Ya.V., 78 [in Ukrainian].

13. Strachuk, N.V., & Korniienko, V.O. (2021). Otsinka staloho vykorystannia pryrodnykh resursiv na terytorii Khersonskoi oblasti [Assessment of sustainable use of natural resources in Kherson region]. *Tavriskyi naukovyi visnyk*, 119, 272–280. Kherson : Vydavnychiy dim "Hel'vetyka" [in Ukrainian].

14. Evolution of water technology from a structural perspective. (2024). *Frontiers in Environmental Science, Section : Water and Wastewater Management*, Oct 11 [in English].

15. Galbraith, E., Faisal, A.-A., Matitia, T., Fajzel, W., Hatton, I., Haberl, H., Krausmann, F., & Wiedenhofer, D.

(2024). Resolving the Technosphere. Retrieved from <https://egusphere.copernicus.org/preprints/2024/egusphere-2024-1133/egusphere-2024-1133.pdf> (accessed: 01.09.2025) [in English].

16. Verkhovna Rada of Ukraine. (1991). Hranychno dopustymi kontsentratsii (HDK) ta oriientovni dopustymi rivni (ODR) shkidlyvykh rehovyn u vodi vodnykh

ob'iektiv hospodars'ko-pytnoho ta kul'turno-pobutovoho pryznachennia [Maximum permissible concentrations (MPC) and tentative permissible levels (TPL) of harmful substances in water of water bodies for household-drinking and cultural-domestic purposes]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v5793400-91#Text> (accessed: 04.09.2025) [in Ukrainian].

Дата першого надходження рукопису до видання: 25.09.2025
Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 30.10.2025
Дата публікації: 28.11.2025