МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С. З. ҐЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ АГРОТЕХНОЛОГІЙ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ
КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ ТА ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

Допускається до захисту
«_____» _____2025 р.

Зав. кафедри _____
(підпис)
к.б.н., доцент Петро ХІРІВСЬКИЙ
наук. ступ., вч. зв.(ім'я та прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Магістр
(рівень вищої освіти)

на тему: «Аналіз впливу стічних вод на екологічний стан річкових систем, якості води та розробка стратегій для мінімізації їх шкідливого впливу»

Виконав: студент групи Еко-52
спеціальності 101 «Екологія»
ПАЦ Роман Богданович

Львів 2025

Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет природокористування
Факультет агротехнологій та екології
Кафедра екології
Рівень вищої освіти «Магістр»
Галузь знань 10 «Природничі науки»
Спеціальність 101 «Екологія»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Завідувач кафедри _____
к.б.н., доцент Петро ХІРІВСЬКИЙ
«_____» _____2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту
Пац Роману Богдановичу

1. Тема роботи: «Аналіз впливу стічних вод на екологічний стан річкових систем, якості води та розробка стратегій для мінімізації їх шкідливого впливу»

Затверджена наказом по університету № 906/ к-с від 31 грудня 2024 р.
2. Термін подання студентом кваліфікаційної роботи 05 грудня 2025 р.
3. Вихідні дані для кваліфікаційної роботи
Літературні джерела, нормативні документи, методики виконання досліджень, законодавча база України.
4. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, які необхідно розробити)
Вступ
1 Огляд літератури
1.1 Екосистемні послуги річкових систем та антропогенні драйвери їх трансформації
1.2 Типологія контамінантів промислових стічних вод та їх вплив на водні екосистеми
1.3 Класифікація антропогенних забруднень річкових систем ….
1.4 Водна політика та євроінтеграційні виклики в управлінні водними ресурсами
1.5 Вплив зміни клімату на інфраструктуру систем очищення стічних вод
2 Об’єкт, умови та методика досліджень
2.1 Вибір репрезентативних ділянок для аналізу
2.2 Вплив сучасних кліматичних тенденцій на гідрологічний режим
2.3 Методологічні засади оцінки екологічного стану поверхневих вод
3 Результати дослідження
3.1 Особливості формування якості води в умовах домінуючого урбанізованого навантаження (на прикладі системи «м. Львів – р. Зубра»)

3.2 Оцінка трансформації якості водного середовища в умовах змішаного агро-урбанізованого навантаження (басейн Південного Бугу)
3.3 Кумулятивна оцінка техногенного пресингу та наслідків воєнних дій для екосистеми Дніпровського каскаду водосховищ
3.4 Оцінка екологічних ризиків та обґрунтування стратегії мінімізації впливу стічних вод на річкові системи
4 Охорона праці та захист населення в умовах надзвичайних ситуацій
4.1 Охорона праці у сфері природокористування
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях в басейні річок
4.3 Захист населення в умовах надзвичайних ситуацій
Висновки
Бібліографічний список
5. Перелік графічного матеріалу (подається конкретний перерахунок аркушів з вказуванням їх кількості)_____
6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3	Іванків М. Я. доцент кафедри екології			
4	Гордійчук Л.М., доцент кафедри інженерної механіки			

7. Дата видачі завдання 22 вересня 2024 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Написання вступу та розділу «Огляд літератури»	22.09.24 р.– 31.12.24 р.	
2	Написання розділу «Об’єкт, умови та методика дослідження»	01.01.25 р.– 01.03.25 р.	
3	Написання розділу «Результати досліджень»	02.03.25 р.– 30.09.25 р.	
4	Написання розділу «Охорона праці та захист населення в умовах надзвичайних ситуацій», формулювання висновків, оформлення списку використаних літературних джерел	01.10.25 р.– 30.11.25 р.	

Студент _____ Роман ПАЦ
(підпис)

Керівник кваліфікаційної роботи _____Мар’яна ІВАНКІВ
(підпис)

УДК 504.4.054:628.3:556.53

Аналіз впливу стічних вод на екологічний стан річкових систем, якості води та розробка стратегій для мінімізації їх шкідливого впливу. Пац Роман Богданович. Кваліфікаційна робота. Кафедра екології та захисту довкілля. Дубляни, ЛНУВМБ імені С. З. Ґжицького, 2025. 83 с.

83 ст. текст. част., 25 табл., 17 рис., 45 джерел

У роботі здійснено комплексну екологічну оцінку впливу стічних вод різного генезису на гідрохімічний режим та екологічний статус річкових систем України в умовах кліматичних змін та воєнного стану. Встановлено, що щорічний скид понад 2,5 млрд м³ зворотних вод, значна частина яких є недостатньо очищеною, формує мультифакторну структуру забруднення поверхневих вод.

На основі моніторингових даних проаналізовано три типи навантаження. Для урбанізованих малих річок (на прикладі р. Зубра, Львів) виявлено критичний рівень деградації: через домінування комунальних стоків вміст амонійного азоту перевищує ГДК до 30 разів (10,3 мг/дм³), що відповідає V класу якості («дуже погана»). У басейні Південного Бугу встановлено змішаний тип впливу, де накладання промислових скидів на дифузний аграрний змив призводить до масштабної евтрофікації та дефіциту кисню. Для Дніпровського каскаду визначено катастрофічні наслідки руйнування Каховської ГЕС, що спричинило ремобілізацію токсичних донних відкладень, насичених важкими металами.

Обґрунтовано, що гідрологічна волатильність, спричинена змінами клімату, виступає каталізатором екологічних ризиків, знижуючи асиміляційну здатність річок. Обгрунтовано диференційовані стратегії мінімізації впливу відповідно до нової Директиви ЄС 2024/3019: для урбанізованих зон запропоновано впровадження четвертинної очистки стічних вод, для аграрних територій – створення прибережних буферних смуг, а для постраждалих регіонів – застосування принципу «Build Back Better» при відновленні інфраструктури.

Проаналізовано питання охорони праці та захист населення.

ЗМІСТ

	ВСТУП……..	6
1	ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ…….....	8
1.1	Екосистемні послуги річкових систем та антропогенні драйвери їх трансформації ……..	8
1.2	Типологія контамінантів промислових стічних вод та їх вплив на водні екосистеми …….	12
1.3	Класифікація антропогенних забруднень річкових систем ….	15
1.4	Водна політика та євроінтеграційні виклики в управлінні водними ресурсами ……..	17
1.5	Вплив зміни клімату на інфраструктуру систем очищення стічних вод ……	20
2	ОБ’ЄКТ, УМОВИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ….....	22
2.1	Вибір репрезентативних ділянок для аналізу ……	22
2.2	Вплив сучасних кліматичних тенденцій на гідрологічний режим	28
2.3	Методологічні засади оцінки екологічного стану поверхневих вод	33
3	РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ……	37
3.1	Особливості формування якості води в умовах домінуючого урбанізованого навантаження (на прикладі системи «м. Львів – р. Зубра») ……	37
3.2	Оцінка трансформації якості водного середовища в умовах змішаного агро-урбанізованого навантаження (басейн Південного Бугу) ……..	47
3.3	Кумулятивна оцінка техногенного пресингу та наслідків воєнних дій для екосистеми Дніпровського каскаду водосховищ	56
3.4	Оцінка екологічних ризиків та обґрунтування стратегії мінімізації впливу стічних вод на річкові системи ……..	66
4	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ …….	74
4.1	Охорона праці у сфері природокористування ……	74
4.2	Безпека в надзвичайних ситуаціях в басейні річок ……	75
4.3	Захист населення в умовах надзвичайних ситуацій ……..	77
	ВИСНОВКИ……	79
	БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК…….....	81

ВСТУП

Актуальність теми. Критичний дефіцит якісних водних ресурсів в Україні поєднується з високим рівнем урбанізації, застарілими системами водовідведення та наслідками війни, зокрема пошкодженням гідротехнічної та промислової інфраструктури та аварійними скидами, що посилює вплив стічних вод на річкові екосистеми. Структура забруднення річкових систем країни є мультифакторною: побутові, промислові та аграрні джерела створюють складну суміш забруднювачів, на яку накладаються додаткові впливи кліматичних змін, гідрологічних трансформацій та воєнних дій у 2022–2025 рр., які спричинили локальні катастрофічні викиди та руйнування інфраструктури (зокрема, наслідки аварії на Каховській ГЕС з подальшими переміщеннями донних відкладень). Комплексна взаємодія цих факторів формує надзвичайно складний контекст для управління водними ресурсами та захисту екосистем, підкреслюючи необхідність інтегрованого моніторингу та адаптивного управління забрудненням річок в умовах сучасних екологічних та соціально-політичних викликів.

Україна впроваджує плани управління річковими басейнами за вимогами Водної рамкової директиви ЄС; станом на 2025 р. офіційно їх ухвалено вісім, що задають рамку для моніторингу та зменшення забруднення, включно зі стоками.

За даними Держводагентства України [14], щороку у водні об’єкти скидається понад 2,5 млрд м³ зворотних вод, із яких лише близько 60 % – нормативно очищені. При цьому близько третини очисних споруд потребують модернізації або не функціонують належним чином. Після руйнування Каховської ГЕС у 2023 році ситуація у басейні Дніпра ускладнилась, адже зафіксовано масштабне вивільнення донних відкладів із накопиченими токсикантами, зокрема важкими металами.

Річки є не лише джерелами питної води, а й важливими складовими екосистемної рівноваги. Їх деградація призводить до втрати біорізноманіття, зниження якості життя населення та загрози водній безпеці держави. Згідно з

Цілями сталого розвитку ООН (Ціль 6 «Чиста вода і санітарія»), до 2030 року країни мають забезпечити скорочення частки необроблених стічних вод і підвищити ефективність водоочистки.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є здійснення комплексної екологічної оцінки впливу стічних вод на якість води та екологічний стан репрезентативних річкових систем України для обґрунтування адаптивних стратегій мінімізації антропогенного навантаження.

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

1. проаналізувати джерела формування стічних вод та сучасні підходи до класифікації забруднень у контексті басейнового управління;
2. охарактеризувати методики оцінки якості поверхневих вод (гідрохімічні, гідробіологічні, індексні) та визначити їхню відповідність європейським стандартам;
3. дослідити нормативно-правову базу регулювання скидів стічних вод в Україні та ЄС;
4. визначити гідрологічні особливості та специфіку антропогенного навантаження у вибраних басейнах річок України (р. Зубра, Південний Буг, Дніпро).
5. оцінити вплив якісного складу стічних вод (урбанізованих, аграрних, промислових) на формування екологічного статусу обраних водних об’єктів;
6. запропонувати заходи для реабілітації забруднених ділянок, удосконалення управління водними ресурсами та впровадження адаптивних екологічних стратегій.

Об’єктом дослідження є річкові системи України як інтегральні природні компоненти ландшафтно-гідрологічних комплексів, що зазнають техногенного впливу внаслідок надходження стічних вод різного походження.

Предметом дослідження є закономірності впливу стічних вод різного походження на якість поверхневих вод та інструменти мінімізації їхнього негативного впливу на водні екосистеми.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Екосистемні послуги річкових систем та антропогенні драйвери їх трансформації

Річкові системи виконують багатофункціональну роль у забезпеченні екосистемних послуг, життєво необхідних для підтримки біосферної рівноваги та функціонування антропоекологічних систем. Сучасний глобальний контекст – посилення кліматичних екстремумів, інтенсифікація антропогенного навантаження та деградація інфраструктури водопостачання – створює комплекс ризиків для якості поверхневих вод і функціональної стійкості водних екосистем. Це призводить до зростання частоти перевищень гідрохімічних норм, втрати біорізноманіття і ослаблення екосистемних функцій у регіональних басейнах.

Екосистемні послуги водотоків традиційно поділяються на постачальні, регулюючі та культурні (табл. 1.1). Постачальні послуги включають, перш за все, забезпечення прісною водою, обсяг якої є критичним індикатором, оціненим як найбільш валідна ознака цієї категорії (CVR 0.82); тоді як регулюючі охоплюють самоочищення водних екосистем, регулювання гідрологічного режиму (запобігання паводкам та посухам), а також підтримку мікроклімату. Ці функції мають вирішальне значення, оскільки забезпечують як стійкість самої екосистеми, так і безпеку суспільства.

Аналіз вагомості функцій за допомогою методів багатокритеріальної оцінки (зокрема, ієрархічного аналізу) свідчить, що регулюючі послуги мають вищу значущість у забезпеченні екологічної безпеки, порівняно з іншими категоріями. Наприклад, функція регулювання водного балансу, особливо у контексті зміни клімату – має найбільшу вагу серед регулюючих (0,3277).

З цієї точки зору, надходження стічних вод становить подвійну загрозу, оскільки погіршується якість води (зниження придатності до споживання) і, що важливіше, підриває критичну регулюючу послугу самоочищення.

Особливу небезпеку становлять інтенсивні зливові опади та паводки, під час яких до річок потрапляють неочищені стоки з об’єднаних каналізаційних систем. Індикатором вразливості до таких процесів є «очікувана площа затоплення» (CVR = 0,66), що відображає ризики екологічної та інфраструктурної деградації.

Таблиця 1.1 – Класифікація екосистемних послуг за основними категоріями (запропоновано Андрєєвим В.І. та ін.) [1]

Тип	Екосистемна послуга	Спосіб впливу
Постачання	Продовольство (Риба, Водна рослинність, Молюски-фільтратори, об'єкти інсектофагії, змішана фауна)	Випускання малька, створення штучних рифів та ін. середовища для життя, підгодовування, биття лунок та заходи проти термоклину
	Сировина (пісок, очерет)	Заходи з берегоукріплення
	Лікарська сировина	Знищення інтродуцентів
	Біорізноманіття та генетичне різноманіття	Боротьба з інтродуцентами
	Питна вода та зрошення	Створення системи випаровування та конденсації морської води з транспортуванням до витоку, система фільтрів.
	Простір для аквакультури	Заходи з ізоляції аквакультури
	Енергія (кінетична для водотоків, енергія надлишку фітопланктону, місце для вітряків та сонячних батарей)	Контроль зарегульованості, механізм збору фітопланктону при цвітінні
Регулююча	Охолодження АЕС	Боротьба з тепловим забрудненням
	Саморегуляція екосистем	Запускання природних ворогів та інші методи боротьби з інтродуцентами
	Кліматорегулююча	Затінювання, вплив на відбиваючі властивості
	Водорегулюючі	Заходи з захисту від підтоплювання
	Асиміляційна	Прискорення самоочищення додатковою аерацією, геохімічні пастки
	Депонування вуглецю	Створення більш продуктивних штамів фітопланктону. Освітлення дна та додаткове перемішування
Культурна	Рекреаційна	Створення унікальних арт-інсталяцій з природних матеріалів на місці
	Культурна	Використання образів в мистецтві
	Оздоровча	Штучне культивування біотопів бактерій, що утворюють лікарські грязі
	Науково-освітня	Дослідження та експедиції, створення нормальної науково-туристичної бази.

Для об'єктивного оцінювання трансформації екосистемних послуг внаслідок антропогенного тиску застосовуються кількісні індикатори, які пройшли валідацію. Індикатори, що відображають хімічну стійкість та здатність до самоочищення, мають ключове значення. У межах регулюючої послуги «очищення води» найвищу інформативність мають досягнення стандартів «доброї води» (CVR 0.68), а також зменшення концентрацій загального фосфору (CVR 0.647) та загального азоту (CVR 0.607). Наявність цих високо валідованих показників свідчить про зміщення пріоритетів моніторингу: акцент робиться не лише на фізичних параметрах потоку (як-от швидкість чи річковий потік), але й на хімічній стійкості екосистеми та її здатності до природного видалення ключових біогенних забруднювачів, що надходять зі стічними водами.

Важливо зазначити, що критичну роль у біологічній складовій самоочищення відіграють гідробіоценози, які відповідають за деструкцію органічних забруднень. До цих біоценозів належать біоплівка, активний мул, анаеробні мікроорганізми (включно з гранульованим мулом) та селекціоновані мікроорганізми-деструктори, які можуть бути специфічні до певних типів

забруднень. Проте, ця природна здатність є вкрай вразливою. Надходження стічних вод, особливо тих, що містять високотоксичні забруднення (наприклад, промислові скиди), руйнує екологічну рівновагу і знижує ефективність самоочищення, що сприяє накопиченню токсикантів у водних об'єктах.

Таким чином, ефективність надання екосистемних послуг річками знаходиться під постійною загрозою через антропогенні драйвери змін, які часто діють синергічно (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Антропогенні драйвери трансформації

Драйвер	Механізм впливу на екосистемні послуги	Послуга, що деградує
Скиди стічних вод	Хімічне та органічне забруднення (біогенні елементи, важкі метали, СПАР), яке перевищує асиміляційну здатність річки	Самоочищення, постачання прісної води
Гідроморфологічна трансформація	Каналізація, випрямлення русел та будівництво гребель. Це призводить до втрати заплав і зменшення довжини русла, руйнуючи природні механізми регулювання стоку	Регулювання гідрологічного режиму, підтримка біорізноманіття
Зміна клімату (антропогенно посилена)	Гідрологічна волатильність (посилення посух та паводків), зміна температурного режиму води. Це погіршує умови для існування біоти та знижує дилюцію забруднювачів [IPCC]	Регулювання, підтримка біорізноманіття
Урбанізація та землевикористання	Забудова прибережних зон, дифузне забруднення зі змивами з сільськогосподарських угідь (пестициди, надлишок добрив)	Постачання прісної води, самоочищення

Найпомітнішими антропогенними чинниками деградації річкових екосистем є зміни землекористування і забруднення вод. Інтенсивне сільськогосподарське навантаження призводить до різкого зростання надходжень поживних речовин у водойми (за прогнозами, внесення азоту і фосфору до 2050 р. може потроїтися), що провокує евтрофікацію і часті цвітіння водойм [15]. За оцінками проєкту Глобальної оцінки якості річкових вод (GRQA), у світі вже акумульовано понад 17 млн вимірювань гідрохімічних

показників річок (дані 1898–2020 рр.), і ці дані підтверджують перевищення граничних норм за поживними речовинами та кисневим режимом у багатьох басейнах [32]. Крім того, промислові та побутові стоки містять токсичні хімікати (мікропластики, важкі метали, органічні забруднювачі), що накопичуються в екосистемах, спричиняючи біотичні стреси.

Таким чином, аналіз впливу стічних вод не може обмежуватися лише вимірюванням концентрації забруднювачів. Він повинен включати оцінку деградації екосистемних послуг. Наприклад, скид органічних стічних вод не лише підвищує БСК, але й знижує потужність природних процесів самоочищення (послуга регулювання) і водночас руйнує середовище існування водної біоти (послуга підтримки). У результаті формується кумулятивний екологічний збиток, який потребує інтегрованих підходів до управління водними ресурсами з урахуванням екосистемного потенціалу, ризик-орієнтованого моніторингу та адаптивного планування.

З’ясовано, що русла значної кількості малих річок на територіях із високим рівнем освоєння каналізовані та зазнають гідроморфологічної трансформації в межах урбанізованих територій. Крім того, цінні водні об'єкти часто виснажуються або повністю зникають внаслідок забудови прибережних захисних смуг, засмічення та замулення їхніх джерел і витоків у межах населених пунктів.

Прісноводні екосистеми (лісові річки, заплави, озера та болота басейнів) характеризуються високим біорізноманіттям, але перебувають під сильним тиском. За оцінками науковців, глобальне біорізноманіття скорочується, причому згідно з індексом живої планети (Living Planet Index) 81 % популяцій прісноводних видів перебувають у стадії занепаду [30]. У період 1970–2015 рр. площа прісноводних водно-болотних угідь зменшилася майже на 35 %, що у три рази перевищує темпи втрат лісів [25]. Водночас імовірність дефіциту водних ресурсів є надзвичайно високою: майже половина населення світу щонайменше частину року відчуває серйозний нестаток води, тоді як 44 % усіх зареєстрованих стихійних лих за останні десятиліття пов’язані з повенями. Ці тенденції безпосередньо погіршують стан річкових систем, зокрема науковцями підраховано, що приблизно чверть прісноводних тваринних видів (риби, ракоподібні, водяні комахи тощо) перебувають під загрозою зникнення.

1.2 Типологія контамінантів промислових стічних вод та їх вплив на водні екосистеми

В умовах зростаючої індустріалізації та урбаністичної експансії, характерних для сучасного етапу розвитку суспільства, проблема забруднення природних водних об’єктів набуває статусу критичної. Інтенсифікація виробничих потужностей, розширення інфраструктурних об’єктів та збільшення водоспоживання неминуче спричиняють утворення великих обсягів забруднених вод, які скидаються безпосередньо у річкові системи без належної або достатньо ефективної очистки.

Однією з ключових причин деградації водних ресурсів є скидання стічних вод, що сформувалися внаслідок виробничих процесів. Такі стоки суттєво змінюють первинні фізико-хімічні властивості водних об’єктів, зокрема збільшують вміст органічного вуглецю, знижують рівень розчиненого кисню, змінюють pH середовище, підвищують мінералізацію, теплове забруднення тощо. Більшість технологічних ліній, особливо в металургійній, хімічній, харчовій, енергетичній та целюлозно-паперовій галузях, генерують високотоксичні сполуки, які ускладнюють процеси очищення і мають стійкість до природної трансформації.

Важливо зазначити, що дефіцит природного водного ресурсу, загострення кліматичних змін, підвищення частоти інтенсивних злив та відведення додаткових обсягів вод з-під впливу людини – все це ставить під загрозу досягнення мети «доброї екологічної характеристики» за Водною рамковою директивою ЄС та національними стандартами.

Річкові системи України зазнають впливу трьох основних груп джерел забруднення, які різняться за складом, об’ємом та механізмом потрапляння у водні об’єкти. Згідно з екологічною класифікацією, усі води поділяють на природні та стічні (табл. 1.3), кожна з яких має подальшу деталізацію за походженням та характером домішок.

Слід відмітити, що розуміння складу скидів є недостатнім; критично важливою є також оцінка їхнього кумулятивного та синергетичного впливу на біологічні процеси та функціонування водних екосистем.

Таблиця 1.3 – Класифікація основних типів стічних вод за джерелом утворення, складом забруднень та екологічними наслідками

Категорія стічних вод	Джерело утворення	Характерні забруднювачі	Наслідки
1	*2*	*3*	*4*
Побутові (комунальні)	Використання води у житлових, громадських та адміністративних будівлях	Містять велику кількість органічних речовин, амонійного азоту, фосфатів, зважених часток та мікробіологічних контамінантів (*Escherichia coli*, ентеровіруси тощо)	Основне джерело органічного забруднення; потребують біологічного очищення
Промислові	Технологічні процеси на підприємствах різних галузей	Важкі метали (Pb, Cd, Cu), феноли, нафтопродукти, поверхнево-активні речовини (ПАР), кислоти, луги, мікрополютанти	Склад і концентрація забруднень залежать від типу виробництва; відзначаються високою токсичністю
Сільсько-господарські	Поверхневий змив із полів, дренажні води, стоки тваринницьких комплексів	Нітрати, фосфати, пестициди, залишки добрив і продуктів життєдіяльності тварин	За даними FAO (2024), сільське господарство є провідним джерелом евтрофікації прісноводних екосистем
Зливові (атмосферні)	Опади (дощ, сніг), що змивають поверхні доріг, дахів, промислових і міських територій	Нафтопродукти, важкі метали, зважені частки, мікропластик, залишки ПАР та органічних речовин	Мають нерегулярний характер; часто потрапляють у водойми без належного очищення

У сучасних умовах особливе занепокоєння викликає зниження ефективності функціонування наявних очисних споруд. Причинами цього є як фізичне зношення інфраструктури, так і технологічна застарілість, відсутність модернізації впродовж десятиліть, а також поява нових класів забруднювачів, для яких не існує ефективних методів очищення. Висока енергозалежність систем очищення додатково обмежує їх сталу роботу в умовах енергетичної нестабільності.

Промислові стоки, у свою чергу, становлять найбільш різнорідну категорію. Їхній хімічний склад залежить від галузевої специфіки: металообробні підприємства скидають води, насичені важкими металами, хімічна промисловість – з високим вмістом органічних токсикантів, енергетика – стоки з підвищеною температурою та мінералізацією. Часто в таких водах виявляють бензол, фенол, формальдегід, поліароматичні вуглеводні, радіонукліди, а також нові забруднювачі, які не підлягають біодеградації.

На відміну від побутових стічних вод, які здебільшого містять біологічно розкладну органіку, промислові стоки мають високу концентрацію специфічних сполук з кумулятивною токсичністю. Їхній вплив на водні екосистеми виявляється не лише в прямій токсичній дії, але й у порушенні трофічних зв’язків, зниженні біорізноманіття, блокуванні процесів самоочищення та погіршенні якості питної води.

З точки зору екологічної оцінки, перевищення нормативних значень хімічних та біологічних показників часто призводить до еутрофікації, гіпоксії, масової загибелі гідробіонтів і деградації середовища існування. У цьому контексті одна з оглядових праць підкреслює, що промислові стоки – це один із ключових чинників зниження водної біорізноманітності в прісноводних системах.

Дані моніторингових досліджень, проведених в Україні та Європейському Союзі (згідно з WISE та UNEP), підтверджують, що саме промислові стоки є джерелами більшості пріоритетних забруднювачів, призводячи до значного порушення мікробіоценозу водних екосистем, зростання кількості антибіотикорезистентних генів та втрати біорізноманіття. Одночасно, під впливом воєнних дій та руйнувань інфраструктури спостерігаються погіршення якості води та збільшення ризиків для водних екосистем.

Таблиця 1.4 – Загальна характеристика стічних вод промислових підприємств [35]

Вид стічних вод	Категорія стічних вод	Джерело походження
Виробничі	Умовно-чисті	1. Системи охолодження; 2. Конденсати чисті; 3. Гідротранспорт
	Малозабруднені (малоконцентровані, слабоконцентровані, низькоконцентровані)	1. Промивка та полоскання продукції; 2. Зневоднення продукції та сировини; 3. Конденсати технологічних процесів; 4. Очищення твердих та газоподібних відходів; 5. Мийка обладнання та транспорту; 6. Мийка виробничих приміщень
	Сильнозабруднені (сильноконцентровані, висококонцентровані, концентрати)	1. Злив відпрацьованих розчинів, маточників та кубових залишків; 2. Установки водопідготовки (елюати) і очищення стоків (рідкі відходи)
Поверхневі стічні води	Талі	1. Територія підприємництва; 2. Дахи адміністративних та виробничих будівель
	Дощові	Те ж саме
	Поливочні	Мийка території підприємства
Господарсько-побутові стічні води		1. Санвузли адміністративних та виробничих будівель; 2. Душові; 3. Харчові блоки; 4. Пральні

Таким чином, промислові скиди становлять складний і багатокомпонентний фактор техногенного впливу на водні системи. Їхнє управління вимагає не лише чіткого розуміння складу стічних вод і їх

екотоксичності, а й системного підходу до інтеграції нормативного регулювання, модернізації очисних технологій та реалізації екологічно орієнтованої політики водокористування. Розбудова ефективної системи попереднього контролю та очищення промислових стоків є необхідною умовою зменшення ризиків деградації прісноводних екосистем і збереження водних ресурсів у довгостроковій перспективі.

Глобальна проблема, яка виступає як ключовий інфраструктурний та управлінський драйвер трансформації екосистемних послуг, полягає в тому, що за оцінками, понад 80% промислових та муніципальних стічних вод у світі скидається у річки та океани без будь-якої попередньої обробки. Ця ситуація є особливо критичною у найменш розвинених країнах, де недостатньо розвинуті санітарні та очисні споруди. У регіонах із недостатньо розвиненою системою централізованого водовідведення (що характерно для багатьох сільських громад в Україні), неконтрольоване скидання стоків у маловодні річки призводить до надзвичайного локального навантаження.

1.3 Класифікація антропогенних забруднень річкових систем

Водні екосистеми, зокрема річкові, є надзвичайно чутливими до змін, спричинених антропогенним навантаженням. Одним із найбільш критичних векторів такого впливу є надходження стічних вод різного походження, які спричиняють погіршення як фізико-хімічних параметрів води, так і біоекологічного функціонування водотоків. У структурі техногенного пресингу виділяють низку основних типів забруднень, які, залежно від походження, складу та механізмів дії, формують складну й багаторівневу систему екологічних ризиків для річкових систем. (табл. 1.5).

Склад стічних вод постійно еволюціонує, включаючи як перманентні, так і емерджентні (нові) контамінанти, які становлять довгострокову загрозу для водних екосистем.

Таблиця 1.5 – Структурна характеристика забруднень стічних вод за типами

Тип забруднення	Основні характеристики	Забруднювачі	Екологічні наслідки
Органічне забруднення	Основна частка забруднень у побутових стоках. Визначаються за біохімічним ($БСК_5$) та хімічним (ХСК) споживанням кисню	Органічні сполуки природного та синтетичного походження	Підвищення $БСК_5$ і ХСК свідчить про дефіцит кисню у водному середовищі, що призводить до деградації водних екосистем
Біогенне забруднення (азот і фосфор)	Поживні речовини, надлишок яких стимулює розвиток фітопланктону	Нітрати, нітрити, фосфати	Спричиняють евтрофікацію – надмірний розвиток водоростей, анаеробію та погіршення якості води
Токсичне забруднення	Хімічні сполуки антропогенного походження з високою біотоксичністю	Важкі метали (Pb, Cu, Zn, Cr), хлорорганічні пестициди, ПАР, фармацевтичні залишки	Мають кумулятивну дію, порушують метаболізм гідробіонтів; за даними *Copernicus EMS (2024)*, підвищена токсичність зафіксована в районах військових руйнувань
Мікробіологічне забруднення	Потрапляє з каналізаційними стоками; характеризується наявністю патогенних організмів	Віруси, бактерії (*E. coli*, *Clostridium spp.*), паразити	Викликає санітарно-епідеміологічні ризики; визначається за показниками загальних коліформ
Мікрополютанти (емерджентні контамінанти)	Новий клас забруднень, що формується внаслідок побутового та медичного використання речовин	Фармацевтичні препарати, гормоноподібні речовини, антимікробні резистентні гени (ARGs)	Формують складну екотоксикологічну загрозу; потребують подальшого моніторингу та досліджень

Кожен із перелічених типів забруднення (табл. 1.5) формує специфічну траєкторію впливу на водну екосистему – як за хімічними параметрами, так і за біологічною структурою. Особливо небезпечними є комбіновані та синергетичні ефекти, коли, наприклад, одночасна дія біогенних сполук та поверхнево-активних речовин спричиняє нестабільність у чисельності зоопланктону або розрив харчових ланцюгів.

Згідно з результатами національного та міжнародного моніторингу (Держводагентство України, Copernicus, EEA), в українських річках частіше фіксуються змішані типи забруднення, що ускладнює процедури локалізації джерел та формування ефективної системи управління якістю води [7, 12, 23]. Стічні води з агломерацій, промислових зон та територій ведення інтенсивного сільського господарства формують полілютантні навантаження, які вимагають мультидисциплінарного підходу до їхнього усунення [28].

Таким чином, систематизація забруднюючих впливів за типами є не лише інструментом екологічного аналізу, а й основою для формування індикаторних моделей екологічного ризику, адаптації природоохоронної політики та стратегічного екологічного планування в басейновому управлінні. Визначення домінуючого типу забруднення на конкретній ділянці річки – це ключ до розробки ефективних, цільових заходів з мінімізації екологічного пресингу на водні ресурси.

1.4 Водна політика та євроінтеграційні виклики в управлінні водними ресурсами

Інтеграція України у водно-екологічне право ЄС базується на адаптації національного законодавства, включаючи Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» та Водний кодекс, до ключових Директив ЄС. Водний кодекс України є фундаментальним нормативно-правовим актом у сфері охорони та раціонального використання водних ресурсів [5]. У рамках євроінтеграційного процесу виникла необхідність приведення українського законодавства у відповідність до стандартів і директив Європейського Союзу. [14].

Водна рамкова директива (ВРД 2000/60/ЄС) є наріжним каменем водної політики. Прогрес України у її впровадженні включає розробку та затвердження Планів управління річковими басейнами, які розробляються на шестирічні цикли. ВРД вимагає досягнення «доброго екологічного та хімічного стану» водних масивів (табл. 1.6).

Таблиця 1.6 – Критерії диференціації екологічного стану поверхневих вод згідно з положеннями Директиви 2000/60/ЄС [14, 28]

Статус	Клас	Категорія	Колір титрування	Ступінь відхилення
Відмінний	I – дуже чиста, (high), (extented natural biological quality)	Дуже чиста	Синій	Відсутні або незначні зміни характерні для об’єкта в непорушеному стані
Добрий	II – чиста, (good), (slighttly impaired biological quality)	Чиста Достатньо чиста	Зелений	Низький рівень порушень та мале відхилення від значень характерних для об’єкта в непорушеному стані
Задовільний	III – забруднена, (moderate), (moderately impaired quality)	Слабо забруднена Помірно забруднена	Жовтий	Помірне відхилення від значень характерних для об’єкта в непорушеному стані
Поганий	IV – брудна, (poor), (severely impaired biological quality)	Брудна	Оранжевий	Значні зміни значень та відсутність невеликої частини біологічних популяцій характерних для об’єкта в непорушеному стані
Дуже поганий	IV – дуже брудна, (bad), (no macroinvertebrates present, Indicating excessive toxicity)	Дуже брудна	Червоний	Дуже сильні зміни значень та відсутність великої частини біологічних популяцій характерних для об’єкта в непорушеному стані

Україна взяла на себе зобов’язання щодо імплементації Директиви про очищення міських стічних вод, що є частиною переговорного процесу.

У цьому контексті надзвичайно важливою є переглянута Директива (ЄС) 2024/3019 від 27 листопада 2024 року про очищення міських стічних вод. Ця

нова Директива знаменує собою перехід європейської водної політики від виключного фокусу на біогенних елементах до боротьби з токсичним забрудненням. Вона вимагає, щоб до 31 грудня 2028 року в зонах ризику було впроваджено четвертинну очистку (advanced treatment) для видалення мікрозабруднювачів, таких як залишки лікарських засобів.

Ключовим фінансовим механізмом нової директиви є запровадження Розширеної відповідальності виробника. Виробники, чиї продукти спричиняють мікрозабруднення, повинні покривати не менше 80% повних витрат на четвертинну очистку міських стічних вод. Це створює інституційну та фінансову модель для українських міст, які планують модернізацію очисних споруд (як, наприклад, Львів), оскільки дозволяє залучати кошти не лише з комунальних тарифів чи грантів.

Впровадження басейнового підходу дозволяє комплексно оцінювати взаємозв'язок між різними видами антропогенної діяльності в межах річкового басейну, а також їхній вплив на якість води та стан водних екосистем. Гармонізація національного законодавства із європейськими нормами сприяє підвищенню ефективності заходів з охорони водних ресурсів та покращенню екологічної ситуації в басейні, водночас посилюючи інтеграційні процеси України у європейський простір.

Основні заходи з охорони вод передбачають впровадження сучасних технологій очистки стічних вод та модернізацію існуючих очисних споруд, використання інноваційних методів у промислових та сільськогосподарських виробництвах, та перехід на замкнені (безстічні) системи водопостачання, що виключають скидання забруднювальних речовин у природні водні об'єкти. Значну увагу приділяють суворому регламентуванню використання пестицидів і токсичних речовин у межах водоохоронних зон. Реалізація зазначених заходів сприяє зниженню водоспоживання у промисловості, скороченню обсягів скидання забруднювальних речовин у природні водойми та підвищенню загального екологічного стану водних ресурсів.

Україна зобов'язана імплементувати положення Водної рамкової директиви ЄС у рамках Угоди про асоціацію з ЄС. Станом на 2025 рік, затверджено 8 офіційних планів управління річковими басейнами, що є обов'язковими рамками для екологічного моніторингу та регулювання скидів. Відповідні плани доступні на порталі Держводагентства України (https://www.davr.gov.ua/) та EU4Environment Water and Data (https://www.eu4waterdata.eu/en/).

1.5 Вплив зміни клімату на інфраструктуру систем очищення стічних вод

Інфраструктура водовідведення та очищення стічних вод є основоположною складовою екологічної безпеки урбанізованих територій, визначаючи рівень санітарії, стійкість до антропогенних навантажень і якість водних ресурсів. В умовах кліматичних трансформацій ці системи зазнають безпрецедентного тиску, що ставить під сумнів їхню надійність і довговічність.

Кліматичні зміни додають новий шар у проблему – екстремальні опади, зміни гідрологічного режиму, підвищення температури води – все це впливає на асиміляційну здатність річок і на поведінку стоків.

Система відведення та очищення стічних вод є ключовим компонентом техногенної інфраструктури сучасних урбанізованих територій, що забезпечує санітарно-епідеміологічну безпеку населення та екологічну стабільність водних екосистем. Її ефективне функціонування особливо важливе у вододефіцитних і густонаселених регіонах, де обсяг стічних вод може перевищувати природні можливості самоочищення водойм [19].

Традиційно очисні споруди й каналізаційні системи проєктуються з розрахунковим терміном експлуатації від 50 до 100 років за умови мінімального технічного обслуговування [17]. Однак сучасні кліматичні сценарії IPCC (AR6, 2022) свідчать, що частота екстремальних погодних подій збільшилася на 20–30 %, що перевищує проєктні параметри більшості систем очищення, спричиняючи перенавантаження гідротехнічних об’єктів, збільшення кількості аварійних скидів та ризик поширення патогенів і мікропластику у водоймах [24].

Кліматичні зміни супроводжуються зростанням частоти та інтенсивності екстремальних гідрометеорологічних явищ – паводків, штормових дощів, тривалих посух, а також підвищення середнього рівня моря та глобальної температури [31]. Ці фактори безпосередньо впливають на працездатність систем водовідведення, порушуючи їхню функціональність, що нерідко призводять до аварійних ситуацій, і як наслідок потрапляння неочищених та недостатньо очищених стічних вод у природне середовище [22].

Типовим прикладом є випадки гідрометеорологічних катастроф, коли зливи та шторми спричиняють переповнення каналізаційних мереж і неконтрольовані скиди у водойми. Так, у США зафіксовано масове

перевантаження очисних споруд під час ураганів, що призводило до масштабного мікробіологічного забруднення [28].. У Великій Британії літні повені 2021 року вивели з ладу низку очисних комплексів, змусивши здійснювати аварійні скиди без належного очищення [15]. В останні роки Європейський регіон також зазнав значних екстремальних погодних впливів: наприклад, у 2023 році близько третини річкової мережі перевищувала поріг «високого» рівня паводків, у 2024 році відзначено найбільше поширення повеней із 2013 року [19].

Крім втрати функціональності, зміна клімату призводить і до фізичного руйнування споруд: часті замерзання, коливання рівня ґрунтових вод, надлишкова вологість викликають деградацію трубопроводів і резервуарів. Значна частина каналізаційних мереж розміщена глибоко під землею, що ускладнює їхній моніторинг, ремонт і заміну під час аварійних пошкоджень.

За даними ООН (UN-Water, 2024), щорічно у світовий гідросферний басейн потрапляє понад 730 млн тонн стічних вод різного ступеня очищення. При цьому понад 1,5 млрд людей не мають доступу до належних систем каналізації (WHO, 2024). У світі близько 44 % господарських стічних вод не проходять безпечного очищення [23]. У країнах з низьким рівнем доходів ситуація ускладнюється обмеженими фінансовими ресурсами, низьким рівнем технічного обслуговування та відсутністю адаптаційних механізмів до кліматичних ризиків. Такі дані підкреслюють, що зміна клімату та деградація інфраструктури можуть суттєво уповільнити реалізацію Ціль сталого розвитку 6 (SDG 6) до 2030 року

Аналіз наукових досліджень вказує, що більшість з них фокусуються на окремих дренажних системах чи міських територіях країн з високим рівнем розвитку [14, 27], пропонуючи локалізовані сценарії адаптації без уніфікованих кількісних критеріїв оцінювання.

2 ОБ'ЄКТ, УМОВИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Територія України, розташована переважно в межах Східноєвропейської рівнини, характеризується розгалуженою річковою мережею, що належить до басейнів Чорного та Азовського морів. Кліматичні умови помірно-континентальні, з чітко вираженою зональністю: від вологої поліської зони на півночі до посушливої степової на півдні. Слід також враховувати просторову неоднорідність фізико-географічних умов, які визначають специфіку формування та територіального перерозподілу річного стоку. За останні десятиліття спостерігається тенденція до посилення континентальності клімату, що проявляється у частіших екстремальних метеоявищах – тривалих посухах та інтенсивних зливах, які впливають на формування стоку та режим транспортування забруднювальних речовин [5, 24].

2.1 Вибір репрезентативних ділянок для аналізу

Для глибинного аналізу навантаження й екологічного стану вибрано три типові ділянки: Львів – р. Зубра (урбанізоване навантаження), басейн Південного Бугу (змішане місько-аграрне навантаження) та каскад Дніпра – Дніпровське водосховище (промислово-воєнне навантаження).

Річка Зубра (Львів) є малою річкою, правою притокою Дністра, що зазнає екстремального урбаністичного впливу, протікаючи через південно-східні околиці Львова. Ця міська річка повністю каналізована у верхів'ях (Сихова), протікає через густозаселені масиви та прилеглі підприємства. Техногенне навантаження в межах Львова включає непроточні колектори, затори сміття та дисперсний стік дощових стоків. Біоіндикаційні дослідження підтверджують значне перевищення аміаку, нітратів і хлору в місті. Через її незначні розміри та низькі середні витрати води (0,03–0,14 $м^3/с$) вона має надзвичайно низьку асиміляційну здатність, саме тому накопичення забруднювачів швидко призводить до екологічного стресу.

У межах Львівської міської територіальної громади річка Зубра перебуває під постійним впливом господарської діяльності людини. Її витоки розташовані в Сихівському районі м. Львова, після чого водотік пролягає територією Львівської області до впадання у річку Дністер. Протяжність річки в межах міста становить близько 4 км. Верхня частина русла річки, включно з витоками – каналізовані, натомість відкрита ділянка завдовжки близько 1,5 км простягається територією поблизу ТзОВ «Ринок сільськогосподарської продукції "Шувар"» і перетинає зелену зону парку Івана Павла II [2, 3].

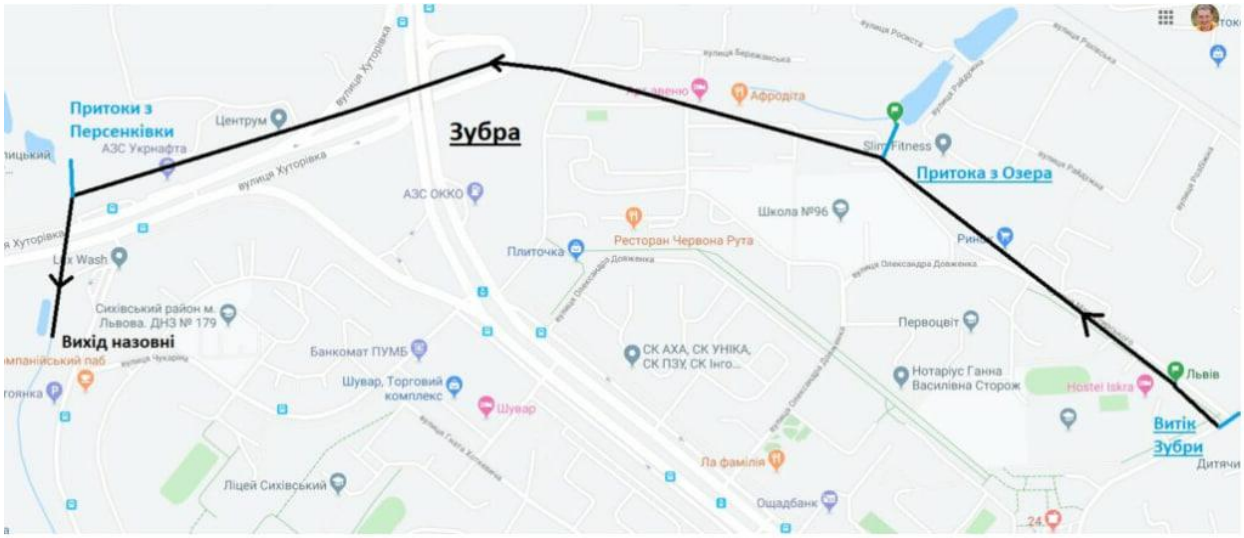

Рисунок 2.1 – Просторове відображення підземної частини річки Зубра у межах Львова (з відкритих джерел)

Загальна довжина річки становить приблизно 46 км (за окремими джерелами – 41 км), площа водозбірного басейну – 242 км^2. Долина Зубри має виразну V-подібну форму; заплава характеризується середньою шириною близько 80 м, і наявністю однієї надзаплавної тераси висотою близько 1,3 м. Глибина річки коливається в межах 0,5–1,0 м, середній похил русла становить 1,96 м/км. Ширина русла змінюється від 0,5 до 2,8 м; водний потік характеризується повним заповненням руслової заглибини.

Річка має помірно звивистий характер течії, дно переважно рівне та піщане. Живлення Зубри є змішаним, з домінуванням дощового типу. Середні витрати води у руслі змінюються в діапазоні від 0,03 до 0,14 м^3/с [4].

Басейн Південного Бугу покриваючи сім областей, цей басейн поєднує інтенсивне землеробство (переважно на чорноземах) з розвиненою промисловістю і містами середнього розміру (Вінниця, Первомайськ). Промислові стоки (харчова, хімічна, машинобудівна галузі) у річки накопичуються і в низовині доповнюються скидами від тепломереж і гідроелектростанцій (водосховища Ташлицької ГАЕС тощо). У поєднанні із полями, де використовуються мінеральні добрива, це призводить до сезонних спалахів евтрофікації та зниження кисневого режиму. Для моніторингу якості тут запроваджено мережу лабораторних аналізів, а дані Copernicus Sentinel (наприклад NDWI-індекси) вивчаються для картування розливів і кольору води. Зокрема, супутникові знімки Sentinel-2 (25 травня 2024 року) вже застосовувалися для виявлення масивних зміни вологості ґрунтів і зони іригації у цій області [ ].

Басейн Південного Бугу розташований у центрально-західних регіонах України і є найбільшим повністю українським басейном (площа 63700 км^2).

Довжина річки Південного Бугу – 806 км, витік на Подільській височині (Хмельницька обл.), гирло – в Чорному морі.

Детальна структурна характеристика басейну представлена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Загальна характеристика басейну р. Південного Бугу

Площа водозбору, км^2	63700
Річки з площею водозбору більше 10000 км^2	2 (Південний Буг, Синюха)
Річки з площею водозбору більше 3000 км^2	4 (Тікич, Гірський Тікич, Гнилий Тікич, Інгул)
Річки з площею водозбору більше 1000 км^2	14 (Згар, Десна, Рів, Соб, Дохна, Савранка, Кодима, Велика Вись, Ятрань, Чорний Ташлик, Мертвовід, Чичиклія, Гнилий Єланець, Громоклія)
Річки з площею водозбору більше 500 км^2	18 (Бужок, Вовк, Іква, Снивода, Сільниця, Удич, Берладинка, Синиця, Конела, Шполка, Сухий Ташлик, Велика Корабельня, Бакшала, Сугоклія-Кам’янувата, Аджамка, Кам’янка, Сугоклія, Березівка)
Найвища точка басейну, м над рівнем моря	396
Найнижча точка басейну, м над рівнем моря	3
Населення, млн осіб (станом на 01.11.2024 р.)	складає 3,7 млн осіб, що становить 8,8% від кількості населення України
Землекористування, % (станом на 01.11.2024 р.)	сільськогосподарські землі – 77,7 ліси – 9,0 водна поверхня – 2,0

Басейн річки Південний Буг характеризується розгалуженою гідрографічною мережею, що включає 6594 водні артерії із загальною протяжністю, яка сягає 22,4 тис. км.

Переважна більшість водотоків у цьому басейні є малими річками, довжина яких не перевищує 10 км. Однак 349 річки складають довжину понад 10 км. До категорії великих річок, протяжність яких перевищує 100 км, належать 15 основних приток [26].

Визначальною рисою водозбірного басейну є високий ступінь його антропогенного зарегулювання. Окрім природних водотоків, басейн вирізняється значною кількістю штучних гідротехнічних об’єктів. Тут розташовано 189 водосховищ та 9640 ставків. Сукупний об’єм цих штучних водойм оцінюється приблизно у 1,5 км^3 [23, 28].

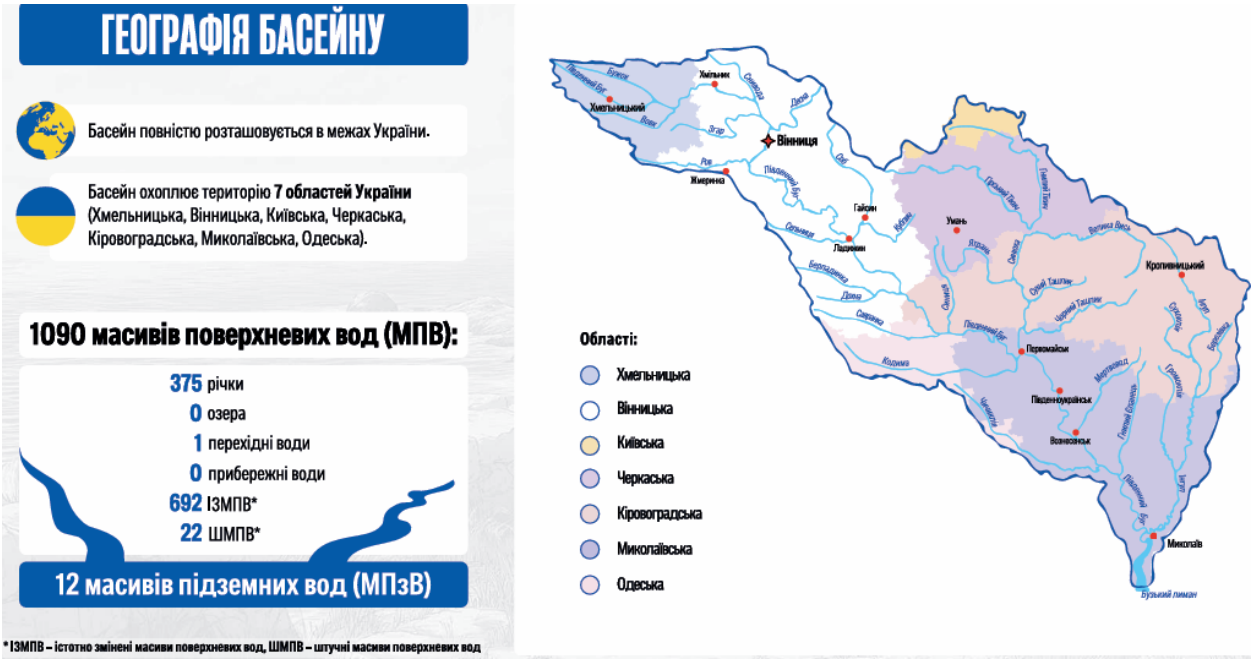

Рисунок 2.2 – Структура гідрографічної мережі басейну річки Південний Буг з розподілом по областях України [3]

Басейн досліджуваної річкової системи демонструє чітку геоморфологічну диференціацію, оскільки він охоплює території 3-х основних геоморфологічних областей, а саме верхньою частиною (витоки та верхів'я) розташованою в межах Подільської височини, що впливає на формування витоку та початкову швидкість течії; середньою частиною простягається через Придніпровську височину, де змінюються ухили та гідрологічний режим; нижньою частиною (гирлова ділянка) формується на території Причорноморської низовини, що характеризується мінімальними ухилами, уповільненням течії та підвищеним ризиком акумуляції забруднювальних речовин. Таке різноманіття геоморфологічних умов суттєво впливає на гідрологічний режим, здатність до самоочищення та транспортну функцію річкової системи.

Однією з найбільш транскордонних водних артерій Європи є **річка Дніпро,** водозбір якої охоплює приблизно 511 тис. км^2, причому 57,3 % цієї площі припадає на територію України. Басейн Дніпра характеризується високою ресурсною значущістю, оскільки охоплює понад 48 % площі держави та концентрує майже 80 % її доступних прісноводних ресурсів. Саме ці водні ресурси забезпечують питні та господарсько-побутові потреби більш як 70 % населення України, що визначає критичну роль басейну у формуванні національної водної безпеки.

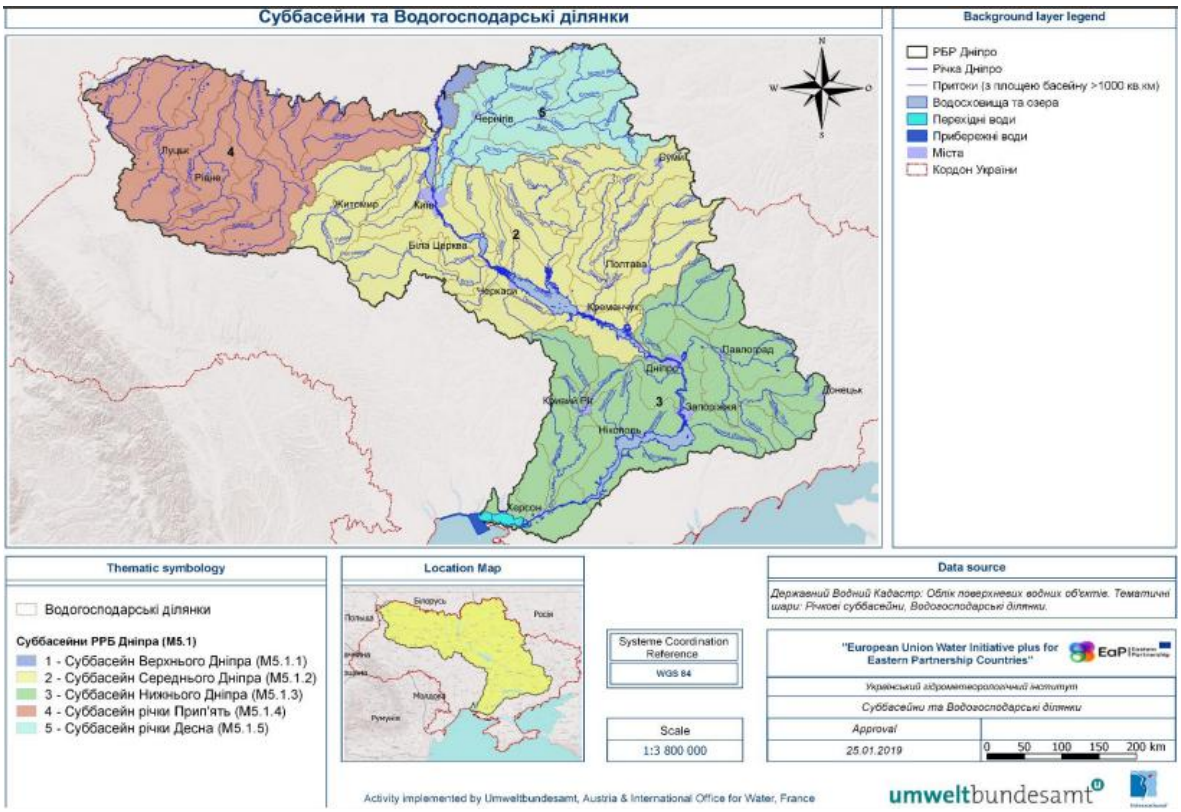

Рисунок 2.3 – Просторовий розподіл суббасейнів та водогосподарських ділянок у межах району річкового басейну Дніпра [32]

Комплексний аналіз екологічного стану басейну Дніпра, здійснений науковцями Пічурою В.І. та Потравкою Л.О. [16], засвідчує, що ключовими чинниками деградації його природних систем є масштабні антропогенні трансформації ландшафтів. До них належать інтенсивні вирубування лісових масивів, які знижують здатність водозбірних територій до саморегуляції; активна «хімізація» аграрного виробництва, що веде до накопичення агрохімікатів у ґрунтово-водному середовищі; гідромеліоративні втручання, що модифікують гідрологічний режим та природні шляхи поверхневого і ґрунтового стоку. Додатковим детермінантом є створення та тривале функціонування каскаду дніпровських водосховищ, які значно порушують природну динаміку річкового стоку, змінюють умови водообміну та прискорюють процеси евтрофікації. Сукупний вплив цих факторів посилюється інтенсивним водокористуванням та систематичним надходженням значних обсягів забруднених стічних вод, що зумовлює прогресуючу деградацію водних екосистем і формує високий рівень екологічної напруги в межах усього басейну.

Річковий басейн Дніпра є транскордонною водною системою, територія якої охоплює три країни. Дніпро є четвертою за довжиною та третьою за площею водозбору річкою Європи. Загальна довжина водотоку становить 2285 км, з яких 981 км проходить територією України, включно з українсько-білоруським відтинком довжиною 125 км. Басейн Дніпра є найбільшим серед

дев’яти річкових басейнів України, займаючи 48,8% площі держави (площа басейну – 294 916 км^2).

Таблиця 2.2 – Загальна характеристика басейну річки Дніпро

Показник	Значення	Примітки
Загальна довжина річки	2285 км	Європейський рейтинг: 4-та за довжиною
Довжина в межах України	981 км	Включно з українсько-білоруським відтинком 125 км
Площа басейну	294 916 км²	48,8% території України
Кількість областей, охоплених басейном	19	6 повністю, 13 частково
Кількість адміністративних районів	281	126 повністю розташовані в межах басейну
Кількість річок з площею водозбору >10 км²	1311	Гідрографічна мережа
Кількість водосховищ	320	Площа водного дзеркала: змінна, залежно від об’єкта
Кількість озер >0,5 км²	16	Основні природні водні об’єкти
Основні суббасейни	5	Верхній Дніпро, Середній Дніпро, Нижній Дніпро, Прип’ять, Десна
Гідрологічні особливості	Помірно-континентальний клімат, градієнт температури з півночі на південь, варіативність опадів	-
Основні види водокористування	Промисловість, сільське господарство, водопостачання, гідроенергетика, судноплавство	Місцеві та транскордонні ресурси
Антропогенне навантаження	Високе у середньому та нижньому Дніпрі	Включає водосховища, промислові та сільськогосподарські стоки

Специфічною особливістю гідрологічного режиму Дніпра є його висока ступінь зарегульованості, зумовлена функціонуванням каскаду великих водосховищ – Київського, Канівського, Кременчуцького, Кам'янського, Дніпровського та Каховського [27]. Формування цієї штучної водної системи істотно трансформувало природний режим стоку, порушивши усталену екологічну рівновагу річки. Насамперед, багатокаскадне зарегулювання спричиняє суттєве зниження інтенсивності водообміну, призводить до уповільнення течії та збільшення часу водоутримання у водосховищах, що кардинально відрізняється від динаміки природної річкової системи. Такі зміни детермінують комплекс вторинних гідроекологічних наслідків, зокрема перерозподіл наносів, зміну теплового режиму, збіднення кисневого балансу та деградацію природних біотопів, що в сукупності зменшує стійкість гідроекосистем Дніпра до антропогенних навантажень.

Каскад Дніпра – Дніпровське водосховище є частиною найбільшої річкової системи України (рис. 2.4). Дніпровське водосховище охоплює акваторію Запорізької та Дніпропетровської областей і є одним із ключових елементів дніпровського каскаду. За нормального підпірного рівня його водна поверхня становить близько 410 км^2. Морфометричні параметри характеризуються максимальною шириною до 7,0 км та середньою шириною близько 3,2 км. Найбільша глибина водойми досягає 53 м, що зумовлює значний об'єм водної маси та формує складні гідродинамічні умови.

Водосховище виконує функції добового й тижневого регулювання річкового стоку, що є важливим елементом у забезпеченні енергетичної та водогосподарської стабільності регіону. Загальна протяжність водосховища вздовж головної осі становить 129 км. Довжина напірного фронту – 1,3 км, а розрахунковий напір сягає 34,3 м, що визначає параметри роботи гідротехнічних споруд.

Гідрохімічний режим водойми формується під впливом як природних, так і антропогенних чинників. Мінералізація води коливається в межах 190–387 мг/дм^3, що відповідає рівню слабкої мінералізації та свідчить про помірний ступінь гідрохімічного навантаження.

Основними притоками, які істотно впливають на формування водного балансу Дніпровського водосховища, є річки Оріль і Самара – ключові гідрологічні артерії, що забезпечують надходження води та визначають специфіку гідрологічних процесів у верхній частині водосховища.

Гідрологічний режим цього каскаду до 2023 року характеризувався високим рівнем зарегульованості, що перетворило водосховища на великі відстійники для промислових і сільськогосподарських забруднень.

Рисунок 2.4 – Водосховища Дніпровського каскаду [21]

Після руйнування Каховської ГЕС у червні 2023 році гідрологічна система нижньої течії Дніпра зазнала катастрофічних змін. Обвал греблі спричинив мільйонні паводки, за якими відбулося різке зниження рівня водосховища, у результаті чого мережі зрошувальних каналів, зокрема Північнокримський та Каховський, практично висохли (Earth Observatory, NASA). NASA відзначає, що втрата зрошення на півдні України може перетворити величезні площі полів на пустелі найближчими роками.. Крім того, як зазначено експертами, вода Дніпра та його штучних водоймищ стала новою «зброєю» війни: обстріли дамб і гідротехнічних споруд разом із порушенням водопостачання (зокрема для Запорізької АЕС) мали катастрофічні наслідки для цивільного водопостачання та екосистем.

З’ясовано, що воєнні дії призвели до руйнування інфраструктури (дамби, ГЕС, промислові об’єкти), випадків витоків нафтопродуктів, підвищеного ерозійного переносу донних відкладень та можливого вивільнення накопичених у них токсичних речовин (метали, ПАВ). У наукових публікаціях 2024–2025 рр. це явище охарактеризовано як «токсична часова бомба» через високу концентрацію забруднювачів у донних шарах [24].

Дніпровське водосховище виконує низку ключових функцій, серед яких виробництво електроенергії, забезпечення судноплавства, регулювання водопостачання для населення та промислових потреб, а також зрошення сільськогосподарських угідь. Руйнування гідротехнічних споруд у 2023 р. спричинило значні зміни гідрологічного режиму нижньої течії Дніпра, включно зі зниженням рівня води та порушенням нормального стоку. Це призвело до переміщення та мобілізації донних відкладень, розмиву осадових шарів та утворення локальних зон підвищеної концентрації важких металів у прибережних і мілководних ділянках водосховища.

Зміни гідродинаміки та інтенсивний ерозійний процес сприяють порушенню природного самовідновлення екосистем, збільшенню ризику біоакумуляції токсичних речовин у водних організмах і підвищенню потенційної загрози для здоров’я населення. Локальні концентрації забруднювачів у прибережних зонах також створюють умови для утворення «гарячих точок» забруднення, що потребує постійного моніторингу та проведення оцінки екологічного ризику.

Таким чином, руйнування структур **Дніпровського** водосховища має не лише гідрологічні та інженерні наслідки, але й серйозний екологічний вплив, що проявляється у деградації водного середовища, порушенні біоценозів і накопиченні токсикантів у донних осадах. Саме тому, реабілітація забруднених відходами військових реактивів заповідників і річок цього регіону станом на 2025 рік потребує міжнародної підтримки (UNEP, NASA).

2.2 Вплив сучасних кліматичних тенденцій на гідрологічний режим

Аналіз екологічного стану водних об’єктів в умовах інтенсивного антропогенного навантаження неможливо проводити ізольовано від глобальних та регіональних кліматичних трансформацій. Сучасні кліматичні тенденції виступають потужним драйвером змін гідрологічного режиму, що, у свою чергу, критично впливає на здатність річкових екосистем до самоочищення та розбавлення стічних вод. Клімат досліджуваних басейнів відрізняється.

У верхів’ях Карпат (басейн Дністра) панує вологіший помірно-континентальний клімат, з теплим літом і м’якою зимою; у Львові термічний режим характеризується середньомісячною температурою повітря, що становить –4°C у січні та +19 °C у липні. Середньорічна кількість атмосферних опадів сягає 740 мм, при цьому мінімальні значення фіксуються у січні, а максимальні – у липні. З огляду на розташування басейну р. Зубра на підвищених ділянках в межах міста, для цієї території типові інтенсивні вітрові навантаження [15].

У геоструктурному відношені район належить до Західно-Європейської платформи та входить до геоморфологічного району Львівського плато. Річкова долина є широкою, заповненою алювіальними відкладами (піски та галечники).

Ґрунтовий покрив характеризується бідністю та значною трансформацією внаслідок урбаністичної забудови. Домінуючими є сірі лісові та урбаноземні ґрунти у поєднанні з рекультивованими техногенними утвореннями [7]. На території дослідження активно проявляються такі екзогенними геоморфологічними процесами як ерозія, суфозія та поширення карстових явищ [21].

Значна меридіональна протяжність території річкового басейну Південного Бугу (з північного заходу на південний схід) зумовлює виражену кліматичну гетерогенність, що є критично важливим для розуміння гідрологічного режиму та екологічного стану річки. Клімат басейну змінюється від помірно континентального у верхів'ї та середній частині до посушливого у нижній течії, де відчувається помітний вплив Чорного моря.

У басейні Південного Бугу у північній частині клімат помірно континентальний, з прохолодним літом (середні +17…+19 °C), а в південній частині – субстеповий (середня липнева +22…+25 °C). Середні опади зменшуються з заходу на схід: у західних районах вінницького Поділля близько 600–700 мм, у нижній течії Південного Бугу – ~450–500 мм.

Розподіл вологи безпосередньо корелює з кліматичними зонами, посилюючи водно-тепловий дисбаланс у південних районах.

Сучасні спостереження вказують на стійку тенденцію до підвищення середньорічної температури повітря, що має значні наслідки для гідрологічного режиму басейну. Підвищення температури прямо корелює зі зменшенням частки твердих опадів (снігу) та, відповідно, зі зниженням накопичення снігового покриву і запасів води в ньому. Це, у свою чергу, призводить до зменшення інтенсивності та тривалості весняних повеней на річках, спричиняючи дефіцит води у вегетаційний період. В цілому, для басейну прогнозується зміна сезонних кліматичних характеристик: у зимовий

період очікується пом'якшення та підвищення вологості; у літній період ймовірно зростання середніх температур, що зумовить більш спекотне та посушливе літо; у осінній період передбачається, що вересень буде відносно теплим і вологим, тоді як пізня осінь (жовтень-листопад) буде характеризуватися підвищеною теплотою та посушливістю.

Таблиця 2.3 – Кліматичні показники верхньої, середньої та нижньої частин басейну річки Південний Буг

Параметр	Верхня частина басейну	Середня частина басейну	Нижня частина басейну
Середньорічна температура повітря, ˚С	7,1–7,8	7,8–8,1	8,0–10,0
Літній максимум температури, ˚С	+39	+39	+40
Зимовий мінімум температури, ˚С	–38	–38	–35
Сніговий покрив, см	10–15	10–15	5–8
Глибина промерзання ґрунту, см	20–50	20–50	20–50
Річна кількість опадів, мм	669–600	600–550	410–540
Відносна вологість повітря, %	65–70	65–68	60–65
Норма випаровування з водної поверхні, мм	530–575	575–625	800–900

Такі кліматичні зрушення потенційно посилюють екологічні ризики, зокрема, збільшують концентрацію забруднювачів у річках внаслідок зниження об'єму стоку у теплі місяці.

Аналіз наукових досліджень останніх років дозволяє констатувати, що гідрологічний режим річки Південний Буг зазнає дедалі відчутнішого впливу кліматичних змін, оскільки водно-тепловий баланс цього басейну є надзвичайно чутливим до температурних і опадових коливань [11]. Трансформація кліматичних умов призводить до суттєвих змін у структурі стоку, зменшення загальних водних ресурсів, а також підвищення вразливості критично важливих секторів економіки – передусім сільського господарства, енергетики та соціально-комунальної інфраструктури. Оцінка цих впливів базується на комплексному аналізі спостережуваних кліматичних тенденцій та прогнозних сценаріїв стоку для басейну Південного Бугу.

Аналіз середньомісячних витрат води (рис. 2.5), отриманих за матеріалами гідрологічного поста «Олександрівка», що розташований у нижньому б’єфі Олександрівського водосховища, засвідчує суттєве скорочення обсягів річкового стоку. Зафіксовано істотне згладжування максимуму весняного водопілля, що пов’язано передусім зі зменшенням

товщини та тривалості залягання снігового покриву, а також зміщенням періоду максимальних водних надходжень на більш ранні фази гідрологічного року.

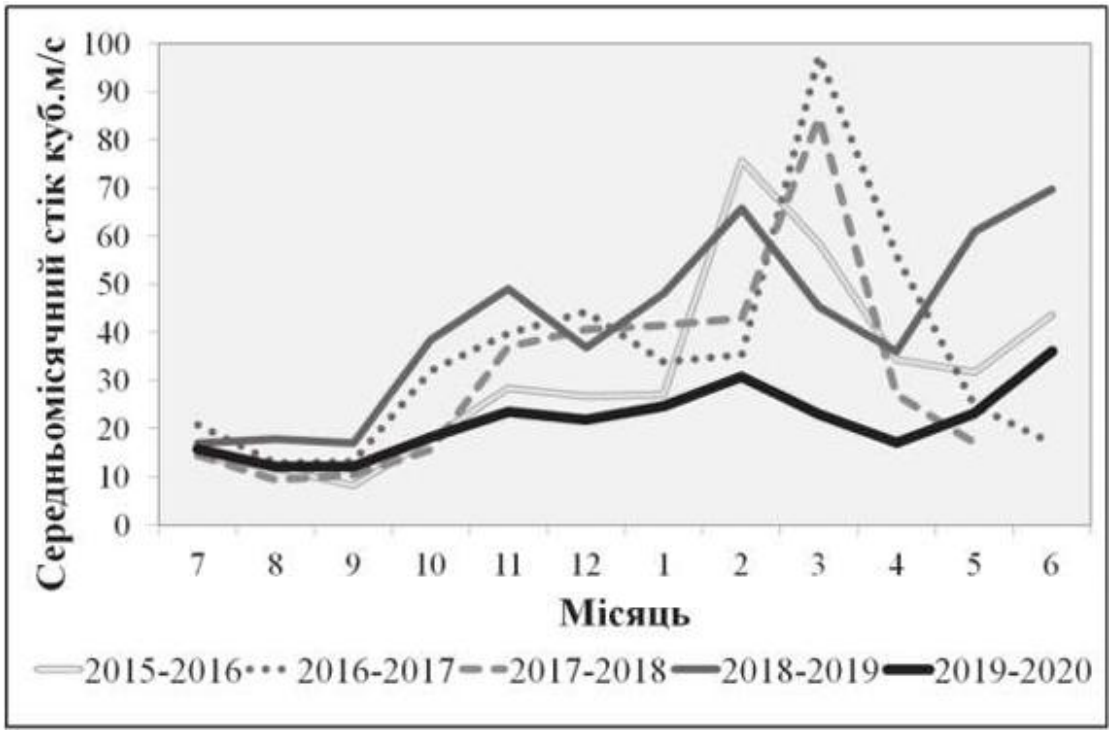

Рисунок 2.5 – Місячна динаміка водного стоку річки Південного Бугу (за даними спостережень гідропоста «Олександрівка») [31]

Одночасно простежується помірне зростання стоку в травні–червні, коли характерні різкі коливання температурного режиму: спекотні дні часто змінюються короткочасними, але інтенсивними опадами зливового типу. У цей період істотно зростає частка втрат води на випаровування, що додатково трансформує сезонну структуру стоку та підсилює нестабільність гідрологічного режиму.

Однією з найпомітніших змін є стабільна тенденція до підвищення середньорічної температури повітря. Цей фактор впливає на гідрологічні процеси через:

1. зменшення снігового покриву та водозапасів у ньому, що зумовлено зростанням частки дощових опадів у зимовий період і скороченням періодів утворення сталого сніжного покриву;
2. послаблення весняного повеневого піку, обумовлене меншою водністю через обмежені сніготанення;
3. зміщення структури опадів у бік зливових явищ, з одночасним зростанням інтенсивності короткочасних дощів і зменшенням кількості дощових днів. Це спричиняє гірше накопичення вологи в ґрунтах;

4. поширення та ускладнення посушливих явищ, зокрема через сукупність високих температур, низької вологості та нерівномірного розподілу опадів.

5. зміни у зимовому сезоні, зокрема зменшення частоти снігопадів і зростання кількості днів із дощами та явищами ожеледі;

6. загальна кліматична характеристика для басейну: очікується м'якша та вологіша зима, спекотніше та посушливіше літо, теплий вересень і суха осінь.

Зазначені кліматичні зрушення суттєво впливають на формування водного стоку. Серед негативних екологічних проявів спостерігаються:

- підвищення частоти як повеневих, так і посушливих періодів, що порушує сезонну рівновагу водних систем;
- замулення та заростання русел, що знижує їхню водопропускну здатність і поглиблює ризики локального підтоплення;
- посилення ерозійних процесів у русловій та прибережній зонах;
- втрата гідравлічного різноманіття, зокрема зникнення перекатів, заводей, затонів, що зменшує екосистемну стабільність;
- зміна рослинного покриву заплав, що проявляється у наступі деревно-чагарникової рослинності на місця природної водно-болотної флори.

Аналогічно, у степових районах східного Дніпра опадів небагато (~300–400 мм/рік). Для вимірювання параметрів водних потоків в басейнах розташовано сотні гідропостів (наприклад, 106 постів у басейні Південного Бугу) із тривалими спостереженнями за стоком. Загальні водні ресурси: середньорічний стік Південного Бугу ≈ 3,4 км^3.

Кліматичні умови в межах річкового басейну Дніпра визначаються як помірно-континентальні, при цьому ступінь континентальності виразно зростає у напрямку із заходу на схід. Ця географічна динаміка безпосередньо відображається у змінах температурного режиму та характеру зволоження. Така кліматична градієнтність зумовлює відмінності в термічному балансі, сезонності гідрометеорологічних процесів та структурі водного стоку.

Для басейну характерна чітка кліматична зональність:

1. для поліської частини басейну, що належить до зони мішаних лісів, притаманні відносно холодні, сніжні зими з періодичними відлигами та тепле, насичене вологою літо, яке часто супроводжується тривалими дощовими періодами;

2. у лісостеповій зоні клімат вирізняється помірно холодними зимами з частими переходами температури через 0 °C, тоді як літо тепле, із порівняно меншою кількістю опадів у відношенні до Полісся. При цьому спостерігається інтенсивна зливова діяльність, що підвищує ризики поверхневого стоку та ерозії;

3. степова частина басейну характеризується короткою, холодною, малосніжною зимою з нестійким сніговим покривом і частими відлигами, а також спекотним, посушливим літнім періодом. Ці умови створюють найбільші ризики дефіциту водних ресурсів.

За останні десятиліття спостерігається практична відсутність стійких холодних зим, що узгоджується з регіональними тенденціями потепління.

Таблиця 2.4 – Сезонні та річні кліматичні характеристики басейну Дніпра

Параметр	Значення
Середньорічна температура повітря	5,9 – 9,8 °C
Середня температура січня	–3 … –8 °C
Середня температура липня	17,8 – 22,0 °C
Максимальні річні температури	34 – 40 °C
Річна сума опадів	440 – 650 мм (з півдня на північ)
Частка опадів у теплий період року (квітень–жовтень)	~66–70 %

Розподіл атмосферних опадів по території басейну демонструє чітку зональність: у напрямку з півночі та північного заходу до південних та південно-східних районів їх кількість зменшується. Сумарні річні опади становлять 450–700 мм, при цьому понад половину їхнього обсягу акумулюється у теплий період року (квітень–жовтень). Найвологішими місяцями є червень і липень, коли випадає 56–85 мм та 58–95 мм відповідно. Добові максимуми опадів, як правило, припадають на літні місяці та пов’язані з розвитком інтенсивних конвективних зливових процесів.

Максимальні добові обсяги опадів припадають на літні місяці і часто пов'язані з інтенсивними зливами, які мають значний вплив на поверхневий стік та дифузне забруднення річкової системи.

2.3 Методологічні засади оцінки екологічного стану поверхневих вод

Методологічна база оцінки якості вод в Україні зазнає суттєвих змін, зміщуючи акцент з контролю окремих хімічних показників на цілісну оцінку екосистеми відповідно до стандартів Водної рамкової директиви ЄС.

Гідрохімічний моніторинг залишається базовим інструментом контролю, базуючись на лабораторному аналізі фізико-хімічних параметрів води, тобто домінував нормативний підхід, що базувався на зіставленні вмісту полютантів із гранично допустимими концентраціями. Проте сучасна стратегія управління

водними ресурсами вимагає диференціації якості води за п’ятьма класами. Згідно з цією методикою, I (відмінний) та II (добрий) класи присвоюються водним об’єктам, що зазнали мінімального антропогенного впливу та наближені до еталонних умов.

Ключовою відмінністю європейського підходу є пріоритетність гідробіологічних методів для визначення екологічного статусу масивів поверхневих вод. Оцінка базується на аналізі біотичних компонентів: видового різноманіття та структури макрозообентосу (донних безхребетних), фітопланктону, іхтіофауни та макрофітів. Для інтерпретації біологічних даних застосовується розрахунок коефіцієнта екологічної якості (EQR). Цей показник є відношенням спостережуваних значень до референсних (еталонних) умов, що дозволяє виявити деградацію екосистеми, яку не завжди фіксують методи миттєвого хімічного аналізу.

З метою комплексної характеристики рівня антропогенного навантаження широко використовуються інтегральні індекси. Зокрема, розрахунок Індексу забруднення води (ІЗВ) дозволяє звести дані про вміст різноманітних токсикантів до єдиного умовного показника шляхом підсумовування їх кратності перевищення ГДК. Це спрощує категоризацію водних об'єктів. Показовим є приклад річки Зубра, де значення ІЗВ на рівні 3,5–4,2 слугують підставою для віднесення річки до категорії «забруднених», що свідчить про значний антропогенний пресинг.

Визначення екологічного статусу водного об’єкта передбачає розрахунок узагальнюючого індексу (I_E). Методика полягає у знаходженні середнього арифметичного трьох функціональних блоків: мінералізації (I_1), трофо-сапробіологічних параметрів (I_2), а також індексу специфічного забруднення (I_3), який включає токсичні та радіологічні критерії: ($IE = (I_1 + I_2 + I_3) / 3$). Отриманий результат є основою для таксономічної класифікації стану екосистеми [32].

Із 2023 року в Україні активно застосовуються супутникові платформи (Sentinel-2 MSI, Copernicus EMS) для відстеження цвітіння водоростей, замулення, зон температурних змін.

Досліджуючи геоекологічний стан природних компонентів середовища, Шіпка М. З. та Курганевич Л. П. наголошують на критичній важливості оцінювання якості вод річок у межах досліджуваного басейну (рис. 2.6). Вони зазначають, що оцінка якості вод є системним процесом, реалізація якого починається з методологічного планування і лише потім переходить до лабораторно-польового дослідження.

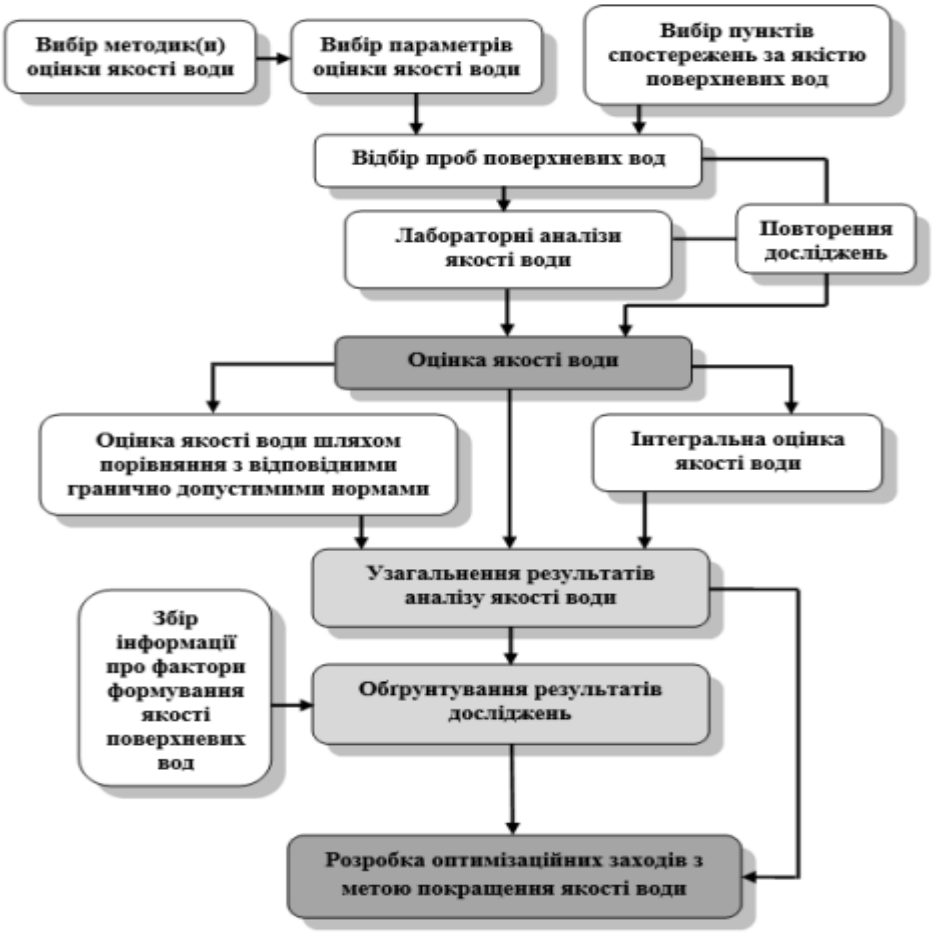

Рисунок 2.6 – Методологічний алгоритм аналізу та оцінки якості вод річок (розроблено Шіпкою М. З. та Курганевичем Л. П.) [29]

Аналіз схеми оцінювання якості води (за В.К. Хільчевським, 2021) дозволяє зробити висновок про мультитеріторіальність сучасної системи моніторингу (рис. 2.7). Схема візуалізує перехід від виключно антропоцентричного підходу (де вода розглядається лише як ресурс для питних чи господарських потреб) до збалансованої моделі, де екологічні цілі виступають рівноправним, а часто і пріоритетним критерієм.

Рисунок 2.7 – Структурна схема нормативного оцінювання якості води за цільовим призначенням (розроблено Хільчевським В.К.) [30]

У контексті дослідження впливу стічних вод це означає, що навіть при досягненні нормативів якості для водопровідних станцій (після водопідготовки), екосистема річки може перебувати у пригніченому стані через порушення рибогосподарських або загально-екологічних нормативів. Тому стратегії мінімізації забруднення мають розроблятися з урахуванням найжорсткіших вимог серед усіх наведених категорій водокористування.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Формування хімічного складу та екологічного статусу досліджуваних річкових систем відбувається під впливом комплексного антропогенного пресингу, характер якого суттєво варіюється залежно від типу землекористування на водозбірній території. У зв'язку з цим, для коректної оцінки впливу стічних вод та розробки ефективних водоохоронних стратегій необхідно чітко диференціювати навантаження за трьома основними векторами: урбанізованим (комунально-побутовим), промисловим (техногенним) та аграрним (дифузним).

Варто підкреслити, що антропогенний тиск на річкові басейни України є багатогранним, а в межах обраних для дослідження об'єктів він має чітко виражений диференційований характер.

Саме тому оцінка диференційованого антропогенного навантаження є критично необхідною передумовою для переходу від уніфікованих рішень до адаптивних басейнових стратегій. Лише розмежування джерел забруднення – від точкових скидів комунальних підприємств до дифузного змиву з полів – дозволяє ідентифікувати пріоритетні загрози. Це дає змогу на прикладі репрезентативних кейсів продемонструвати, як домінування певного вектору навантаження змінює гідрохімічний профіль річки та вимагає специфічних технологічних рішень щодо очищення стічних вод, що створює підґрунтя для розробки економічно обґрунтованих та екологічно ефективних заходів мінімізації впливу для кожного типу території.

3.1 Особливості формування якості води в умовах домінуючого урбанізованого навантаження (на прикладі системи «м. Львів – р. Зубра»)

Львів – велике місто у західній частині Україні з населенням понад 720 тис. осіб (2025 р.), розташоване на передгір'ї Карпат у басейні річки Полтви, лівої притоки Дністра. Територією міста протікає річка Зубра, ліва притока річки Полтви, витоки якої розташовані в південно-західних передмістях Львова. У межах міста Зубра частково проходить під землею та виходить назовні через відкриті колектори біля перетину вул. Хуторівка і Хоткевича. За результатами досліджень встановлено, що русло Зубри у межах

Львова постійно піддається антропогенному навантаженню, оскільки води потрапляють у нього з районних мереж каналізації та житлових кварталів.

У контексті досліджуваної проблеми екологічний стан річки Зубра є особливо важливим, оскільки це єдина річка з відкритим руслом, яка протікає в межах міста Львів та використовується в його господарській діяльності [17].

Основним джерелом забруднення Зубри в межах Львова є неочищені та частково очищені побутові й комунальні стоки міської інфраструктури, зокрема господарсько-фекальні стоки Сихівського району, які перевищують очисну здатність водоканалу. Висока щільність забудови та наявність транспортної інфраструктури також сприяють поверхневому стоку з автошляхів, що містить важкі метали та нафтопродукти. Застарілі очисні споруди (збудовані у 1960-х роках) не забезпечують достатнього видалення біогенних елементів.

На ділянці від вул. Хуторівка до лісопарку Зубра забруднюється переважно каналізаційними зливами з прилеглих районів. Такі скиди містять велику кількість продуктів гниття (аміаку, органічних речовин), азоту та фосфору. Хімічний аналіз води вказує на те, що концентрації аміаку, нітратів, хлоридів біля випуску стоків вищі, ніж на початку русла. Водночас паркувальні зони й дороги сприяють надходженню до річки забруднювачів з поверхневими стоками та падінням опадів. Зафіксовані і локальні промислові викиди (невеликі підприємства на території Львова), але домінують саме міські побутові стоки.

Моніторинг показників якості Зубри свідчить про суттєве погіршення гідрохімічного стану. Хімічні вимірювання фіксують підвищений вміст біогенних елементів: амонійного азоту, нітритів та фосфатів вище нормативів (особливо нижче точки зливу стоків) [21].

За даними науковців Іванова Є. А., Пилипович О. В., Терновецької Х. В., дослідження хімічного складу поверхневих вод річки Зубра протягом різних сезонів (табл. 3.1) показало значний вміст біогенних елементів, зокрема амонійних та нітритних іонів, а також фосфатів [23]. Концентрація амонійних іонів коливалася від 4,80 до 5,90 мг/л, що відноситься до V класу якості води (дуже поганий), а нітритів – від 0,96 до 3,57 мг/л (також V клас якості). Слід зауважити, що перевищення гранично допустимої концентрації сульфатних іонів у 1,2 раза зафіксовано лише в пробі весняної води. На підставі отриманих даних (табл. 3.1) та встановлених критеріїв оцінки якості води (за Romanenko

et al., 1998), поверхневі води річки Зубра у 2023 році віднесено до V класу якості (дуже поганий).

Таблиця 3.1 – Хімічний склад поверхневих вод річки Зубра, відібраних у різні пори року [29]

Показники	ГДК, мг/л	Вода (зразки)		
		зима	весна	осінь
pH	6,5–8,5	7,3±0,04	7,02±0,04	7,9±0,04
Загальна жорсткість, ммоль/л	відсутня	2,6±0,05	2,8±0,05	2,9±0,05
SO_4^{2-} (сульфати), мг/л	≤100,0	49,6±3,09	127±10	51,0±2,10
NO_3^- (нітрати), мг/л	≤40,0	16,5±0,11	14,39±0,03	14,8±0,09
NO_2^- (нітриті), мг/л	відсутні	0,96±0,04	1,13±0,06	3,57±0,02
NH_4^+ (амоній), мг/л	≤0,5	5,1±0,33	4,8±0,31	5,9±0,35
PO_4^{3-} (фосфати), мг/л	≤0,7	2,73±0,15	2,9±0,30	2,98±0,17

Згідно з сучасними методиками, вода на нижній ділянці річки класифікується як класу V (дуже бідна) – тобто дуже забруднена. Зокрема, у 2023 р. підвищені концентрації амонію, нітритів та фосфатів зафіксовано як такі, що перевищують допустимі рівні, що відповідає V–му (дуже бідному) класу якості за європейською класифікацією [21]. Більше того, індекс різноманітності зоопланктону та результати фітотестів також свідчать про сильний стрес в екосистемі: проби води Зубри пригнічували ріст рослинних тест-об’єктів та мали високий біологічний вплив.

За результатами досліджень, проведених фахівцями Басейнового управління водних ресурсів річок Західного Бугу та Сяну, встановлено, що на якісний стан вод річки Зубра у межах міста Львова впливають як господарсько-побутові, так і поверхневі стоки. Основними джерелами забруднення є стічні води місцевого ринку, а також дощові води, що надходять із території Сихівського району. Важливо зазначити, що водотік зазнає постійного забруднення, зокрема додатковим джерелом є господарсько-фекальні стоки, які потрапляють у водотік із каналізаційної мережі, переважно з території приватного сектору та житлових масивів [5].

Аналіз моніторингових спостережень за якістю води річки Зубра [6] у створі м. Львів дозволяє визначити тенденції змін основних показників забруднення упродовж 2021–2024 років (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Результати моніторингу гідрохімічних показників води річки Зубра (м. Львів, вул. Г. Хоткевича, 38) [6]

	ГДК	31.12.2021	31.03.2022	30.06.2022	30.09.2022	31.12.2022	31.03.2023	30.06.2023	30.09.2023.	31.12.2023	31.03.2024	30.06.2024
pH	6,5-8,5	7,7	8,15	8,4	8,4	8,35	8,2	7,5	7,65	7,3	7,4	8,2
Прозорість, бали	-	10,5	7,4	4,5	3,9	4	6,5	12,8	13,1	11,9	11,9	11,5
Запах, бали	1	*2*	*2*	*3*	*3*	*3*	*3*	*2*	*2*	*2*	*2*	*2*
Залізо загальне, мг/л	0,1	*1,08*	*1,44*	*1,81*	*1,56*	*1,12*	*0,77*	*1*	*1,04*	*1,2*	*0,98*	*0,38*
Азот амонійний та аміак, мг/л	0,5	*2,6*	*3,88*	*4,3*	*5,22*	*6,5*	*14,9*	*2,2*	*2,32*	*5,3*	*2,68*	0,38
Нітрати, мг/л	40,0	26	8,6	36,2	21,7	16,4	17,2	22,5	20,3	25,1	23,8	6,6
Нітрити, мг/л	0,08	*0,11*	*0,745*	*0,745*	*1,65*	*1,2*	*2,2*	*0,1*	*0,12*	*0,2*	*0,13*	*0,115*
Фосфати, мг/л	3,5	*6,44*	*6,44*	*5,12*	*4,18*	*4,46*	*5,46*	*4,96*	*4,22*	*5,42*	*4,46*	*4,22*
Хлориди, мг/л	300	134,71	109,89	170,16	163,07	120,53	134,71	124,08	113,44	113,44	113,44	124
Сульфати, мг/л	100	66	73	81	90	78	61	63	68	68	91	82
Завислі речовини мг/л	25	16	*82*	*92,5*	*84,5*	*91,5*	*128,5*	*37,5*	1,7	*58*	*62,5*	*35,5*
Сухий залишок мг/л	1000	708	817	862	903	894	667	632	604	613	612	602
СПАР, мг/л	0,5	0,18	*1,02*	*1,02*	*1,34*	*1,12*	0,14	0,15	0,18	*1,18*	0,23	0,12
ХСК, мгO_2/л	50	*80*	*100*	*80*	*100*	*140*	*60*	*60*	40	*60*	40	40
БСК-5, мгO_2/л	3	*28,8*	*39*	*36,4*	*38*	*44,8*	*24,8*	*21,6*	*16,8*	*19,2*	*18,4*	*13,6*
Розчинений кисень, мгO_2/л	4	-	*6,9*	*7,1*	*7,1*	*7,8*	*7,8*	*6,7*	-	*7*	*6*	*7,5*

Згідно з даними, наведеними в табл. 3.2, показник запаху води варіює в межах 2–3 балів, що свідчить про перевищення встановлених нормативів. У ході дослідження встановлено значні відхилення концентрацій від нормативних значень: загальне залізо – у 3,8–18,8 рази, азот амонійний та аміак – до 29,8 раза, нітрити – до 20,6 раза, фосфати – до 1,84 рази, завислі речовини – до 5,14 рази, хімічне споживання кисню – до 2,8 рази, біохімічне споживання кисню за 5 діб – до 14,9 рази, а також зафіксовано зниження концентрації розчиненого кисню – до 2 рази.

Таблиця 3.3 – Дані вимірювань якості води в річці Зубра, (с. Зубра) [6]

	ГДК	31.12.2021	31.03.2022	30.06.2022	30.09.2022	31.12.2022	31.03.2023	30.06.2023	30.09.2023	31.12.2023	31.03.2024	30.06.2024
pH	6,5-8,5	7,8	8,1	8,15	7,9	7,7	8,2	8,25	8,3	8,25	7,8	8,05
Прозорість, бали	-	11,7	12,2	10,2	13,4	12,3	9,8	8,5	7,5	10,3	15,8	10
Запах, бали	1	*2*	*2*	*2*	*2*	*2*	*2*	*2*	*2*	*2*	*2*	*2*
Залізо загальне, мг/л	0,1	*0,43*	*0,58*	*0,68*	*0,49*	*0,47*	*0,43*	*0,39*	*0,36*	*0,43*	*0,27*	*0,29*
Азот амонійний та аміак, мг/л	0,5	*2,7*	*6,6*	*8,2*	*5,7*	*4,3*	*3,88*	*2,6*	*2*	*2,6*	*0,71*	*1,36*
Нітрати, мг/л	40,0	9,2	22,9	19,4	10,5	9,4	13,5	7,3	8,5	9	5,9	6,7
Нітрити, мг/л	0,08	*0,17*	*0,22*	0,06	*0,18*	*0,24*	0,03	0,08	0,06	0,08	*0,38*	*0,095*
Фосфати, мг/л	3,5	2,2	2,97	2,97	2,48	1,736	2,97	2,48	2,48	1,984	1,49	2,98
Хлориди, мг/л	300	70,9	212,7	41,8	74,44	88,62	124,07	77,99	124,07	120,53	56,72	85,08
Сульфати, мг/л	100	72	69	53	79	64	43	38	66	73	65	59
Завислі речовини мг/л	25	*29,5*	*49,5*	*78,5*	*37,5*	*31,5*	*56*	*49,5*	*39*	*31*	*27,5*	*31,5*
Сухий залишок мг/л	1000	487	711	809	511	534	622	703	802	703	578	602
СПАР, мг/л	0,5	0,11	0,32	*1*	0,14	0,12	*1*	*0,94*	*0,98*	0,17	0,21	*0,56*
ХСК, мгO_2/л	50	40	20	*60*	40	40	40	*60*	*60*	40	40	40
БСК-5, мгO_2/л	3	*12,8*	*6,6*	*25,6*	*14,8*	*15,6*	*17,6*	*19,2*	*22,4*	*16,2*	*14*	*18,4*
Розчинений кисень, мгO_2/л	4	-	*6,9*	-	*7,1*	*7,6*	*7,5*	*8*	*7,9*	*6,7*	*7,1*	*7,3*

Аналіз моніторингових даних (табл. 3.3), зібраних у контрольному створі поблизу села Зубра, виявив низку значних відхилень показників якості води від встановлених нормативів. Протягом усього періоду спостереження інтенсивність запаху води зберігається на рівні 2 балів, що свідчить про помірне органічне навантаження. Разом із тим зафіксовано систематичне перевищення ГДК низки ключових показників. Зокрема, вміст загального заліза перевищує нормативні значення у 2,7–6,8 раза, амонійного азоту та аміаку – у 1,4–16,4 раза, а концентрація нітритів – від 2,1 до 4,75 раза. Крім того, зафіксовано зростання вмісту завислих речовин (до 3,14 ГДК), синтетичних поверхнево-активних речовин – у 1,1–2 раза, хімічного споживання кисню – до 1,2 раза, тоді як $БСК_5$ зростає до 7,4 раза порівняно з нормативом. Концентрація розчиненого кисню у воді перевищує допустимі межі до 2 разів, що може вказувати на розвиток процесів вторинного забруднення та бути ознакою інтенсивного процесу фотосинтезу.

Отримані результати свідчать про істотне антропогенне навантаження на водну екосистему досліджуваної ділянки, що зумовлено, ймовірно, змішаним впливом побутових стоків, дифузного сільськогосподарського змиву та урбанізаційних чинників. Така концентрація забруднювачів становить потенційний екологічний ризик для водних організмів та погіршує якість води в басейні річки, до якої належить досліджувана ділянка.

У наукових працях І.М. Кочмаря відзначено, що саме малим річкам належить фундаментальна складова річкових басейнових систем, оскільки саме вони визначають формування стоку великих водотоків, забезпечують водопостачанням сільських територій та підтримують екологічну рівновагу і біорізноманіття водних екосистем [14]. Отже, в умовах сучасного антропогенного навантаження на водні об’єкти, річка Зубра, розташованої в межах Львівської ОТГ, зазнала істотних трансформацій фізико-хімічних характеристик води. Основними чинниками таких змін виступають поверхневі дощові стоки, господарсько-побутові фекальні скиди та несанкціоновані джерела забруднення.

Для стабілізації гідроекологічного стану басейну ріки Зубра необхідним є впровадження комплексу природоохоронних та водорегулюючих заходів, спрямованих на відновлення гідрологічного режиму, зменшення надходження забруднювальних речовин та посилення моніторингу за експлуатацією водних ресурсів.

Динаміка змін якості поверхневих водойм Львівської області протягом IV кварталу 2024 року та I кварталу 2025 року свідчить про наявність суттєвих просторово-часових відмінностей у рівні антропогенного навантаження на водні екосистеми. Упродовж 2024–2025 років ці вимоги були уточнені відповідно до Наказу Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 8 січня 2025 року № 29 «Про затвердження Програми державного моніторингу вод». У межах Львівської області зазначені функції реалізуються Басейновим управлінням водних ресурсів Західного Бугу та Сяну (БУВР), яке здійснює відбір проб поверхневих вод, збір, лабораторний аналіз, узагальнення даних і їх аналітичну інтерпретацію (щодо гідрохімічних показників якості як для області загалом, так і для басейну річки Вісла в цілому).

Об’єкти моніторингу охоплюють ключові річкові системи області: у 2025 році офіційно функціонувало 43 пункти контролю якості поверхневих вод, зокрема 11 – у басейні річки Західного Бугу, 24 – у басейні Дністра, 6 – у межах басейну Сяну, та 2 – у суббасейні р. Прип’ять, що належить до системи Дніпра.

Комплексна гідрохімічна оцінка включала визначення понад 80 параметрів – від базових фізико-хімічних (температури, розчиненого кисню, pH, $БСК_5$, ХСК) до цільових забруднювачів, передбачених європейським законодавством і рамковою Водною директивою (2000/60/ЕС). Представлені біогенними елементами (сполуками азоту та фосфору), пестицидами, фармацевтичними препаратами, леткими та поліароматичними вуглеводнями, поверхнево-активними речовинами, алкілфенолами, трихлорбензолами, іонними металами (свинцем, кадмієм, цинком, ртутю) тощо [17].

Результати моніторингу свідчать, що в березні 2025 року найнижчими якісними характеристиками відзначалися води р. Полтва. Це пояснюється тим, що дана водотока виконує функцію головного колектора міських каналізаційних стоків Львова. У створах нижче очисних споруд зафіксовано дефіцит розчиненого кисню, підвищені концентрації органічних і біогенних речовин, аніонних ПАР, вуглеводневої фракції нафтопродуктів та деяких металів, включно з кадмієм та свинцем.

Крім Полтви, низький екологічний статус також зафіксовано для річки Зубра (с. Зубра), що зумовлено значним техногенним впливом прилеглих урбанізованих територій. Водні проби з цієї ділянки виявили аналогічні проблеми: евтрофікацію, дефіцит розчиненого кисню, наявність органічних і мінеральних домішок, характерних для побутового та дощового стоку урбанізованих територій. Це узгоджується з гідрологічною ситуацією та даними про системне забруднення Зубри в межах Сихівського району Львова, про що свідчать як показники біогенного забруднення, так і зниження рівня гідробіологічного різноманіття, встановлені у попередніх роках.

Для інтегральної оцінки стану водних об’єктів застосовано індекс забрудненості вод (ІЗВ), який є узагальнюючим інтегральним показником, який характеризує сукупну якість водного середовища, зокрема враховує стан кисневого режиму та ступінь забруднення органічними речовинами, амонієм, нітритами, фосфатами, а також іноді – зваженими речовинами й мікроелементами. У межах Львівської області, згідно з розрахунками, ІЗВ для Полтви й Зубри у першому кварталі 2025 року відповідав класу «дуже забруднена вода», що передбачає систематичне перевищення ГДК за щонайменше трьома пріоритетними групами речовин.

Таким чином, результати державного моніторингу у IV кв. 2024 – I кв. 2025 року підтверджують наявність сталих осередків забруднення на урбанізованих ділянках Львівської області, зокрема у приурбанізованих

частинах басейну Західного Бугу. Найгірші показники мають річки, що приймають стоки без належного очищення або страждають від перехресного змішування побутових і зливових вод. Це обґрунтовує необхідність модернізації очисних споруд, реконструкції зливової інфраструктури та створення буферних прибережних зон для поліпшення здатності водойм до самоочищення.

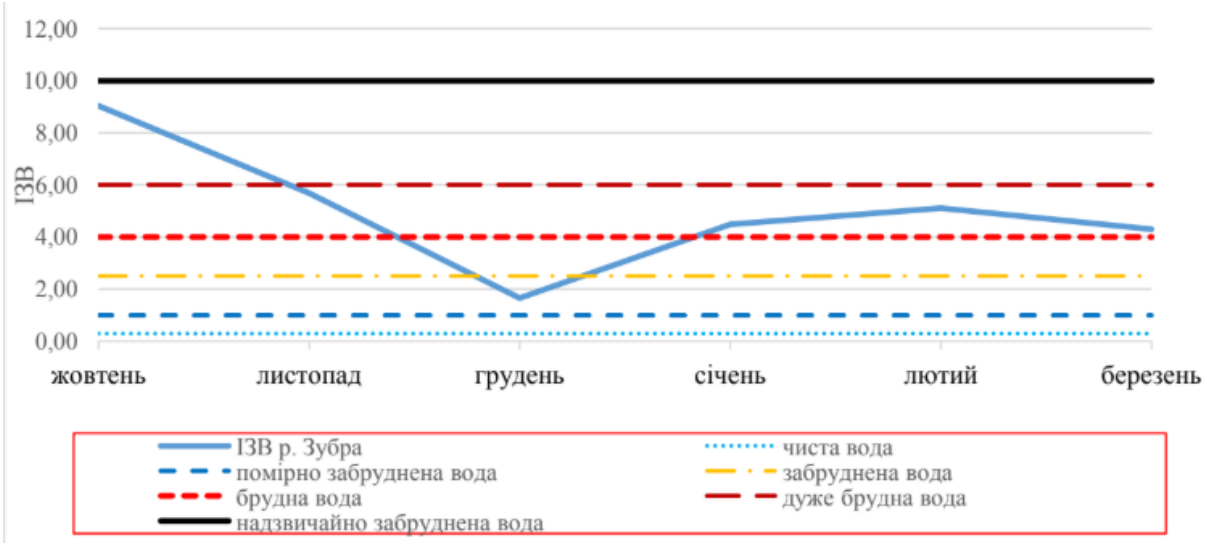

Рисунок 3.1 – Динаміка змін індексу забрудненості води річки Зубра (с. Зубра)

Графік 3.1 відображає зміну індексу забрудненості води річки Зубра у межах населеного пункту с. Зубра протягом періоду з жовтня 2024 р. до березня 2025 р. у порівнянні з класифікаційними межами якості поверхневих вод. Аналіз динаміки ІЗВ демонструє, що найвищий рівень забруднення спостерігався у жовтні, коли індекс сягав значення близько 9,0, що відповідає категорії «дуже брудна вода» та свідчить про максимальний рівень антропогенного навантаження, пов’язаний із накопиченням органічних і біогенних речовин. Основними чинниками такого стану є низький рівень водності восени, концентрація забруднювачів унаслідок зменшення стоку, а також зниження температури, яке уповільнює процеси біохімічного самоочищення водойми.

Упродовж листопада – грудня 2024 року спостерігалося поступове зниження ІЗВ, досягнувши мінімального значення близько 2,0 у грудні, що відповідає категорії «помірно забруднена вода». Ця тенденція може бути зумовлена сезонним зниженням температури, яке призводить до зменшення мікробіологічної активності, зниженням поверхневого стоку та тимчасовою стабілізацією функціонування очисних споруд.

На початку 2025 року, у січні – лютому, відзначається поступове зростання ІЗВ, яке у лютому досягає значення близько 6,0, що характеризує стан води як «брудна». Підвищення рівня забруднення пояснюється накопиченням речовин у зимовий період при зниженій швидкості течії та можливим перевантаженням очисних систем через обмеженість їх потужності.

У березні 2025 року ІЗВ становив близько 5,5, що вказує на стабілізацію рівня «брудної води». Початок весняного водообміну супроводжується додатковим внесенням забруднюючих речовин унаслідок танення снігу, поверхневих змивів із територій м. Львова та його передмість, де домінують урбанізовані та імпермеабельні поверхні.

Таким чином, протягом досліджуваного періоду спостерігається виражена сезонна варіабельність якості води річки Зубра: від дуже брудної в осінній період до забрудненої – брудної у зимово-весняний сезон, але жодного разу вода не досягала «доброї» або «чистої» категорії. Це підтверджує сталий характер антропогенного навантаження, пов’язаний з каналізаційними та зливовими стоками Сихівського району Львова. Отримані результати свідчать про нестійкий гідроекологічний стан водного об’єкта, що потребує подальшого посилення моніторингу та впровадження природоохоронних і водоочисних заходів у межах басейну. Для екологічної стабілізації необхідна модернізація очисних споруд і впровадження буферних смуг вздовж русла.

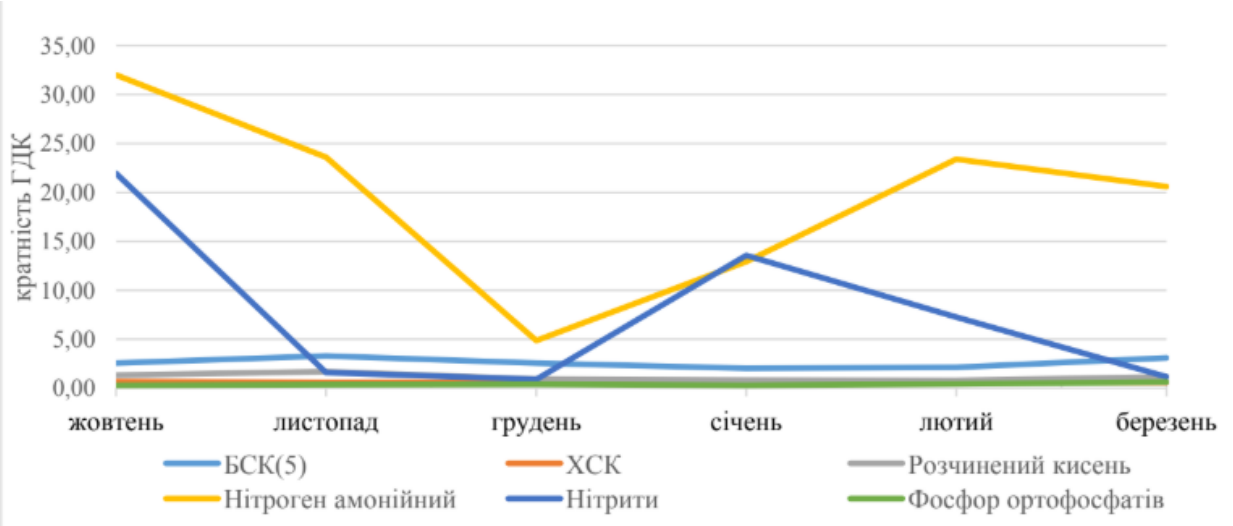

Рисунок 3.2 – Якісні показники води р. Зубра (с. Зубра), нормовані відносно ГДК

За результатами аналізу (рис. 3.2), найвищий рівень забруднення зафіксовано для амонійного азоту – у жовтні 2024 р. перевищення сягало

приблизно 32 разів понад ГДК, після чого спостерігалося поступове зниження до грудня (~4×), потім – нове зростання в лютому–березні (~20× ГДК). Така динаміка свідчить про сезонну нестабільність надходження азотовмісних сполук, імовірно пов’язану з осінніми змивами побутових стоків та весняним таненням снігу.

Показник $БСК_5$ демонструє подібну закономірність: перевищення у жовтні становило близько 22 разів понад ГДК, у листопаді спостерігалося різке зниження (~2×), після чого рівень знову зріс до 10× у січні–лютому. Це вказує на високе органічне навантаження та періодичні скиди недостатньо очищених стічних вод.

Концентрація нітритів залишається відносно стабільною протягом періоду, однак у січні фіксується суттєве зростання (~14× ГДК), що може бути наслідком окиснення амонійного азоту та порушення стабільності функціонування очисних систем. Показник ХСК відзначається меншою варіативністю, перевищення становить у середньому 1–2× ГДК, що може вказувати на наявність у воді стійких органічних і хімічних сполук, зокрема нафтопродуктів.

Вміст фосфатів (ортофосфатів) характеризується помірним і відносно стабільним перевищенням нормативів (у межах 1,2–1,8× ГДК), що є типовим для водойм, забруднених побутовими стоками із вмістом фосфатних мийних засобів. Натомість рівень розчиненого кисню протягом усього періоду залишається нижчим за нормативні значення (≈0,7–0,9× ГДК), що свідчить про кисневий дефіцит, обмежену здатність водойми до самоочищення та потенційну небезпеку гіпоксії для гідробіонтів.

Узагальнюючи результати, можна констатувати, що провідним фактором деградації якості води р. Зубра є надлишкове надходження сполук азоту, зокрема амонію, концентрація якого в окремі періоди перевищує норматив більш ніж у 30 разів. Органічне забруднення домінує у структурі стоку, про що свідчать високі значення $БСК_5$ і ХСК. Гідрохімічний режим має виразну сезонну циклічність із піками забруднення восени та наприкінці зими, що зумовлено гідрометеорологічними умовами й антропогенними навантаженнями. Систематично низький вміст розчиненого кисню підтверджує екологічну вразливість водойми до забруднення та знижує її природну стійкість у теплий період року.

Таблиця 3.4 – Основні показники якості води р. Зубра (с. Зубра) у період спостережень (у IV кв. 2024 – I кв. 2025 р.)

Назва основної забруднюючої речовини	Нормативне значення (ГДК), мг/дм³	Фактичне значення, мг/дм³	Оцінка екологічного стану
$БСК_5$	3,0	9,28	Високе органічне навантаження
ХСК	50,0	30,0	У межах норми
Розчинений кисень	6,0	5,1	Дефіцит кисню
Нітроген амонійний (NH_4)	0,5	10,30	Критичне перевищення
Нітрити (NO_2)	0,08	0,10	Легке перевищення
Фосфати (ортофосфати)	0,7	0,444	У межах норми
Індекс забрудненості води (ІЗВ)	2,5–10	4,3	Клас «забруднена вода»

Аналіз результатів гідрохімічних спостережень за якістю води річки Зубра (табл. 3.4) свідчить про наявність стабільно високого антропогенного навантаження, з домінуванням органічних та азотвмісних забруднень. Зокрема, $БСК_5$ становило 9,28 мг/дм³, що перевищує норматив у 3,1 раза. Такий рівень $БСК_5$ свідчить про високу концентрацію біологічно розкладної органіки, притаманної господарсько-побутовим стокам. Це створює додаткове навантаження на кисневий режим водойми, особливо в умовах обмеженого протоку та літньої гіпоксії. У поєднанні з помірним рівнем хімічного споживання кисню (ХСК = 30,0 мг/дм³, що нижче ГДК) можна зробити висновок про наявність як біологічно активних, так і хімічно стійких речовин, характерних для урбанізованого стоку.

Окремо слід відзначити критичний рівень амонійного азоту – 10,30 мг/дм³ при нормативі 0,5 мг/дм³. Таке перевищення у понад 20 разів свідчить про масове надходження азотвмісних сполук, пов’язаних із фекальними скидами, зливовими стоками та порушенням функціонування очисних споруд. Високі концентрації амонію можуть бути токсичними для водної біоти, особливо за умов підвищеної температури води.

Невелике, але помітне перевищення зафіксовано й за нітритами (0,10 мг/дм³ при ГДК 0,08 мг/дм³). Наявність цих сполук вказує на неповне проходження процесів нітрифікації в екосистемі, що свідчить про кисневий стрес і накопичення проміжних продуктів азотного обміну. Показник

розчиненого кисню становив 5,1 мг/дм³ (при нормі 6,0 мг/дм³), що є гранично допустимим значенням і вказує на пригнічення самоочисних процесів. Такий рівень створює ризики для життєдіяльності чутливих до кисню організмів і є маркером перенавантаження водойми органікою.

На цьому тлі концентрація ортофосфатів залишалася у межах нормативів (0,444 мг/дм³ при ГДК 0,7 мг/дм³), однак навіть ці значення можуть сприяти евтрофікації, особливо за наявності паралельного надлишку азоту.

Інтегральним показником забрудненості є індекс ІЗВ, який для даної ділянки становив 4,3. Це відповідає категорії «забруднена вода» за українською системою класифікації. Значення ІЗВ сформоване в основному через високі концентрації амонію, $БСК_5$ та помірно знижений кисневий режим.

Отже, екологічний стан р. Зубра на даній ділянці можна охарактеризувати як нестабільний з яскраво вираженим перевищенням ГДК за основними показниками, притаманними господарсько-побутовому забрудненню. Це підтверджує потребу у терміновій модернізації системи каналізаційної інфраструктури, реконструкції очисних споруд, відновленні буферної здатності водотоку та організації постійного моніторингу з інтервалом не рідше одного разу на місяць.

Рисунок 3.3 – Фото р. Зубри під час дослідження (зроблено Христиною Терновецькою)

Експериментальні дослідження, проведені Голуб Наталією, Клепач Галиною та колегами, продемонстрували, що вода Зубри, забруднена стічними сумішами, викликає значні токсичні ефекти: виживаність дослідних організмів (Drosophila) знизилась на 22–23% порівняно з контролем, а ріст коренів фітотестованих рослин був істотно пригнічений [26]. Автори робіт підкреслили, що отримані дані свідчать про фітотоксичність та загальну біоцидність води

річки під впливом стічних вод. Подібні умови часто призводять до літніх цвітінь води й масових заморів риби, що підтверджують і спостереження громадян у багатьох містах (хоча специфічних даних по Зубрі поки бракує). Загалом екологічний стан річки розглядають як незадовільний через комплексне перевантаження поживними речовинами та забруднюючими речовинами.

Головним наслідком є масштабна деградація біоценозів, що проявляється у зниженні чисельності та видового різноманіття макрозообентосу – ключового біологічного індикатора здоров'я річки. Суттєве зниження самоочисної здатності річки призводить до накопичення забруднювачів та формування локальних зон анаеробії, особливо в літній період, коли низький стік посилює концентрацію токсинів. Екологи, зокрема Ольга Пилипович та Христина Терновецька, попереджають, що тривале ігнорування проблеми може призвести до фізичного зникнення річки Зубра як функціональної екосистеми [26].

3.2. Оцінка трансформації якості водного середовища в умовах змішаного агро-урбанізованого навантаження (басейн Південного Бугу)

У аграрних регіонах басейн Південного Бугу зазнає масивного змиву добрив і пестицидів із полів, а також зневоднення через іригацію. Інтенсивне землеробство (зернові, технічні культури) погіршує гідрохімічний режим, а саме підвищується мінералізація та евтрофікація вод, особливо у малих притоках і дренажах.

Південний Буг класифікується як середня річка, гідрологічний режим якої формується в межах зон із високим рівнем антропогенної трансформації. Ця річка є головною водною артерією Південного Побужжя (протяжністю ~800 км), що бере початок на Подільській височині і прямує до Чорного моря. Басейн річки охоплює площу в 63,7 тис. км², що становить 10,5% території України, переважно знаходиться у Вінницькій (близько 61,9% території басейну), Кіровоградській (62,6%), Миколаївській (60,2%) та Черкаській (40,2%) областях [7].

Загалом у басейні проживає близько 3,24 млн осіб (58% – у містах). Для більшості мешканців регіону річковий стік – головне джерело питної та господарсько-побутової води, особливо в посушливі роки. Обсяг штучних водойм у басейні (16 великих водосховищ на основному руслі і 169 на притоках, загалом ~1,53 км³) перевищує річний стік у посуху.

У 2019 році загальний обсяг забору води у басейні становив 291,6 млн м³, з яких 82% було вилучено з поверхневих джерел, а 18% – з підземних. Використано було 286,3 млн м³ води. Водозабір найбільше зосереджений у

Миколаївській (40%) та Вінницькій (32%) областях, тоді як інші регіони формують меншу частку.

Кілька десятків великих промислових та комунальних підприємств («Південно-Українська АЕС», Вінницький водоканал, Ладижинська ТЕЦ тощо) забирають і повертають у річку значні обсяги води, що критично впливає на гідрологічний режим і гідрохімію басейну. Варто також зазначити, що централізований збір та облік стоків ведеться менш ніж у третині міст басейну (наприклад, у 2019 р. лише 37% міських побутових стоків збирало КП «Вінницяоблводоканал»; у селах – практично 0%).

Згідно з актуальними статистичними даними [4], валову додану вартість (ВДВ), генеровану економічною діяльністю в межах басейну річки Південний Буг, оцінено у 220310,0 млн грн (у фактичних цінах) станом на 2019 рік. Цей показник підкреслює значну економічну роль регіону, оскільки частка ВДВ басейну річки Південний Буг у загальному обсязі ВДВ України сягає 6,4%. Це свідчить про високий рівень економічної активності та техногенного навантаження на водні ресурси басейну, що вимагає пильної уваги при розробці стратегій управління та екологічного моніторингу.

Таблиця 3.5 – Економічні показники валової доданої вартості басейну річки Південний Буг як індикатор антропогенного навантаження за галузевим розподілом (2019 р.) [12]

Галузі економіки	ВДВ, млн грн	Частка у ВДВ України,%	Частка у ВДВ басейну,%
сільське, лісове та рибне господарство	51854,4	1,5	23,5
добувна промисловість	3717,9	0,1	1,7
переробна промисловість	31816,8	0,9	14,4
постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря	7802,9	0,2	3,5
водопостачання; каналізація, управління відходами	858,9	0,03	0,4
транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність	15276,7	0,4	6,9
ВСЬОГО водозалежні види економічної діяльності	**111327,6**	**3,2**	**50,4**
Інші види економічної діяльності	108982,4	3,2	49,6
ВСЬОГО ПО БАСЕЙНУ	**220310,0**	**6,4**	**100**

Структурний аналіз демонструє (табл.) домінування аграрного сектора: сільське, лісове та рибне господарство забезпечують 51 854,4 млн грн, що відповідає 23,5% ВДВ басейну, а їхня частка у ВДВ України становить 1,5%. Домінування аграрного сектору свідчить про високу залежність економіки

басейну від водних ресурсів та потенційне дифузне забруднення (біогенні елементи, пестициди).

Серед водоємних галузей вагоме місце посідає переробна промисловість, на частку якої припадає 14,4% ВДВ басейну, або 31 816,8 млн грн, що формує 0,9% загальної ВДВ України. Такий показник свідчить про наявність стабільних промислових кластерів, інтенсивно залежних від водних ресурсів, насамперед харчової, легкої та частково хімічної промисловості. Цей сектор є значним джерелом техногенного навантаження через скиди стічних вод.

Значним є також внесок транспорту, складського господарства, поштової та кур'єрської діяльності, частка яких становить 6,9% у структурі ВДВ басейну (15 276,7 млн грн) і 0,4% у ВДВ України. Це вказує на розвиненість логістичної інфраструктури, що тісно пов'язана з географічним положенням річкового басейну.

Важливою складовою водозалежного сектору є постачання електроенергії, газу, пари і кондиційованого повітря, яке забезпечує 3,5% ВДВ басейну, або 7 802,9 млн грн, формуючи 0,2% ВДВ України. Порівняно меншу роль відіграє добувна промисловість, частка якої становить 1,7% (3 717,9 млн грн) та лише 0,1% у загальнодержавному обсязі ВДВ, що пояснюється обмеженою сировинною базою регіону.

Найнижчі значення серед водозалежних видів діяльності спостерігаються у сфері водопостачання, водовідведення та управління відходами – 0,4% ВДВ басейну, що становить 858,9 млн грн, або лише 0,03% у структурі ВДВ України. Це вказує на недостатній розвиток інфраструктури водоочищення та поводження з відходами, що є критичним фактором екологічної стійкості басейну Південного Бугу.

Домінування сільського господарства та переробної промисловості в структурі ВДВ басейну Південного Бугу вказує на два основні напрями екологічного тиску: дифузне забруднення з аграрних угідь та точкове техногенне забруднення зі стічними водами підприємств. Це вимагає розробки інтегрованих стратегій управління якістю води, які враховують як сільськогосподарську практику, так і промислові скиди.

Головними джерелами забруднення Південного Бугу є комунальні і промислові стоки міст Вінниці, Хмельницького та Миколаєва, а також стоки з аграрних земель. Хоча комунальні очисні споруди існують, їхня ефективність часто є недостатньою. Так, у Вінниці офіційні звіти екоінспекції показують, що на скиді міського каналізаційного вузла «Сабарів» щороку потрапляє понад 1100 тонн забруднюючих речовин. Інспекція неодноразово виявляла значні перевищення норм амонійного азоту в місцях скидку «Вінницяоблводоканалу» і нижче за течією (натурально концентровані каналізаційні води). Крім того,

левову частку водоспоживання ймовірних забруднень формують великі промислові об’єкти: Південно-Українська АЕС (23% всіх заборів води), комунальне підприємство «Вінницяоблводоканал» (12%), Ладижинська ТЕЦ, фермерські комплекси тощо.

Таблиця 3.6 – Основні водокористувачі у межах річкового басейну Південного Бугу

Сектор економіки	Обсяг забору води, млн м³	Частка від загального забору, %	Обсяг використаної води, млн м³
Промисловість	114,0	39,1%	114,2
Сільське господарство	109,0	37,4%	76,03
в т.ч. рибне господарство	63,92	21,9	41,43
зрошення	11,31	3,9	5,313
с/г підприємства	26,11	9,0	22,70
Житлово-комунальне господарство	64,97	22,3%	90,84
Транспорт	1,418	0,5%	1,096
Інші	2,212	0,7%	4,134
ВСЬОГО	291,6	100%	286,3

Промисловість є найбільшим споживачем за обсягом забору води (39,1%), на другому місці – сільське господарство (37,4%), а житлово-комунальне господарство посідає третє місце (22,3%). Водокористування транспортної галузі та інших сфер є маргінальним (менше 1% у сукупності).

Промислові підприємства є основними споживачами води, особливо енергетичний сектор, на який припадає 79% водозабору в межах промисловості (приблизно 90,4 млн м³). Найбільшими споживачами є Південноукраїнська АЕС та Ладижинська ТЕС. Вода для промислових потреб на 86% забирається з поверхневих джерел.

Водночас промислові об’єкти скидають близько 63,5 млн м^3 зворотних вод, з яких забрудненими вважається лише 0,1% (186 тис. м^3). Основні джерела забруднення – харчова промисловість (зокрема ПАТ «Уманьферммаш» і ТОВ «Елеватор Буд Івест»), яка спричиняє надходження сполук азоту та фосфору.

Рисунок 3.4 – Розподіл скидів зворотних вод серед секторів економіки

Сільгосппідприємства вилучають 109 млн м^3 води, з яких 85% припадає на поверхневі джерела. Основним споживачем у межах галузі є рибне господарство (63,9 млн м^3 або 59%), також значні обсяги використовуються для зрошення та технічних потреб.

Сільське господарство скидає 46,08 млн м^3 вод, з яких переважна більшість (92,7%) є нормативно чистими. Водночас, неконтрольоване використання добрив і пестицидів спричиняє дифузне забруднення, насамперед азотистими сполуками, що загрожує якості підземних та поверхневих вод.

Слід зазначити, що аграрний сектор басейну (поля, сади, тваринництво) дає значний неконтрольований стік, збагачений добривами (нітратами, фосфатами) і сполуками азоту амонійного. Таким чином, басейн зазнає одночасного навантаження від міських каналізацій, промисловості та сільського господарства.

Хоча житлово-комунальне господарство забирає лише 22,3% води, саме цей сектор формує найбільший обсяг забруднених стічних вод – 85,37 млн м^3 (43,6% від усього скиду). З них близько 25% (21,33 млн м^3) є забрудненими. Майже весь обсяг забруднених комунальних стоків (99%) припадає на одне підприємство – МКП «Миколаївводоканал».

Комунальні водовідвідні мережі характеризуються високим ступенем зношеності – втрати води становлять до 39% обсягу забору. Недостатній рівень очищення або повна його відсутність спричиняє постійне надходження органічних і біогенних забруднювачів у річки.

Таблиця 3.7 – Розподіл обсягів зворотних вод за типами забруднення, що надходять у річкову мережу басейну Південного Бугу

Найменування секторів економіки	Об'єм скинутої води, млн м3	в тому числі				Частка від загального скиду в межах річкового басейну,%
		забрудненої	нормативно чистої без очистки	нормативно очищеної на очисних спорудах	некатегоро-ваних	
Всього по басейну	**195,9**	**21,59**	**103,8**	**61,56**	**8,927**	**100**
Промисловість	**63,49**	**0,186**	**52,84**	**2,004**	**8,466**	**32,4**
в т. ч. енергетика	52,94	-	45,17	1,464	6,302	27,0
машинобудування і металообробка	6,967	0,094	6,835	0,038	-	3,6
харчова промисловість	1,233	-	0,763	0,470	-	0,6
кольорова металургія	-	-	-	-	-	-
пром. будматеріалів	1,105	-	0,016	0,003	1,086	0,6
чорна металургія	1,079				1,079	0,6
легка промисловість	-	-	-	-	-	-
лісова деревообробна	-	-	-	-	-	-
мікробіологічна	-	-	-	-	-	-
хімічна та нафтохімічна	-	-	-	-	-	-
Сільське господарство	**46,08**	**0,009**	**43,40**	**2,665**	**-**	**23,5**
в т.ч. рибне господарство	41,18	-	41,18	-	-	21,0
зрошення	0,013	-	0,013	-	-	0,01
с/г підприємства	4,750	0,009	2,076	2,665	-	2,4
Житлово-комунальне господарство	**85,37**	**21,33**	**7,443**	**56,60**	**-**	**43,6**
Транспорт	**0,348**	**-**	**0,024**	**0,095**	**0,230**	**0,2**
Інші	**0,621**	**0,062**	**0,120**	**0,210**	**0,230**	**0,3**

Аналіз кількісних показників скидів зворотних вод (табл. 3.7) виявив тривожний розподіл за категоріями очищення. Згідно з отриманими даними, значна частка, що становить 53% від загального обсягу скидів, класифікується як нормативно чиста, проте скидається без попередньої очистки. Лише 31% обсягу проходить очищення на відповідних спорудах і відповідає встановленим нормативам, будучи нормативно очищеною водою. Водночас, критичні 11% обсягу припадає на забруднені стічні води, які, ймовірно, не відповідають гранично допустимим концентраціям, що створює пряме техногенне навантаження на водні екосистеми. Така структура скидів вказує на неефективність системи управління водними ресурсами, особливо щодо контролю за категорією "нормативно чистих" вод, які можуть містити

приховані або невраховані забруднювачі, і потребує перегляду стратегій водокористування та моніторингу.

Дифузне (площинне) забруднення є важливою складовою антропогенного навантаження на гідросферу, що проявляється через розосереджене надходження полютантів із територій, які не мають чітко локалізованого джерела. Такий тип впливу особливо характерний для урбанізованих зон, промислових кластерів та аграрних ландшафтів, які в сукупності формують масштабне техногенне навантаження на якісний стан поверхневих і підземних вод.

Найбільш вразливими до дифузного впливу є безнапірні горизонти підземних вод, зокрема в межах гідрогеологічного масиву UAM5400Q100–UAM5400Q400, де відсутність ізолюючих шарів сприяє прямому проникненню контамінантів із поверхні. Сільськогосподарські угіддя є провідним джерелом такого впливу, насамперед через широкомасштабне застосування мінеральних добрив і пестицидів.

За даними спостережень, на території України щороку вноситься понад 14,8 тис. тонн мінеральних добрив та близько 26,3 тис. тонн засобів захисту рослин. Така практика суттєво збільшує агрохімічне навантаження на водні ресурси. З огляду на структуру земельного фонду в басейні річки Південний Буг, де частка ріллі перевищує 59%, ризик забруднення є особливо високим.

До основних груп полютантів, що потрапляють у водне середовище з дифузних джерел, належать:

- нітратний та амонійний азот – продукти мінералізації азотних добрив і органіки;
- фосфати – із фосфорвмісних агрохімікатів;
- пестициди (гербіциди, інсектициди, фунгіциди) – з високою біологічною активністю і потенціалом до кумуляції;
- сполуки важких металів – як залишкові компоненти добрив або результат атмосферного випадіння поблизу промислових зон.

Інтенсивність забруднення значною мірою залежить від щільності агровикористання територій, рельєфу, кліматичних умов (інтенсивність опадів, ерозія), а також інфраструктурного стану меліоративних систем. Так, найбільший вплив фіксується у зонах переважного рільництва, де застосування засобів хімізації здійснюється без буферних смуг, або ж у районах із високим коефіцієнтом стоку, де хімікати швидко потрапляють у водозбір.

У табл. 3.8 наведено динаміку агрохімічного навантаження у розрізі адміністративних областей басейну Південного Бугу станом на 2022 рік, а

також мінімальні та максимальні значення за період 2007–2022 рр., що дозволяє оцінити довготривалі тренди використання пестицидів і добрив.

Таблиця 3.8 – Навантаження від застосування пестицидів, мінеральних та органічних добрив у межах адміністративних областей басейну р. Південний Буг (значення за 2022 рік / мін – макс за 2007–2022 рр.)

Адміністративні області	Внесення мінеральних добрив, 100% поживних речовин на 1 га посівної площі, кг	Внесення органічних добрив, тис. т	Внесення пестицидів, кг/га
Вінницька	203 67-181	645,4 158,9-779,1	1,643 1,0-2,0
Кіровоградська	87 36-145	114,9 71,0-184,8	1,213 0,58-1,60
Київська	125 57-162	1547,4 917,2-1547,4	1,401 0,60-1,715
Миколаївська	111 29-179	163,2 91,9-206,9	0,753 0,56-1,11
Одеська	79 35-133	70,0 31,5-210,4	0,71 0,57-0,9
Хмельницька	136 67-163	785,0 466,1-828,5	1,977 0,91-2,4
Черкаська	157 64-157	959,4 818,2-1230,6	1,449 1,10-2,0

Таким чином, дифузні джерела забруднення становлять приховану, але стійку загрозу для водних ресурсів басейну р. Південний Буг, а їх ефективний контроль вимагає багаторівневої системи управління, що поєднує науковий моніторинг, нормативне регулювання та зміну практик землекористування.

Офіційні та наукові дослідження показують суттєве погіршення гідрохімічного стану Південного Бугу. За даними спостережень у 2015–2019 рр., науковці Шахман Ірина та Бистрянцева Анастасія проаналізували якість поверхневих вод річки Південний Буг у просторі та часі, вздовж течії. Було встановлено, що концентрації біогенів у верхній течії річки значно зросли: амонійний азот підвищився з категорії «слабко забруднений» до «забруднений», нітрити – з «дуже чистого» до «дуже забрудненого», нітрати – із «достатньо чистого» до «забрудненого», а фосфати – із «слабко забрудненого» до «дуже забрудненого» (згідно з класифікацією за біогенними показниками) [18]. Це відповідає загальному переходу води в ділянці Хмільник–Вінниця до якості класу IV–V (погана–дуже погана).

Таблиця 3.9 – Інтегральна оцінка екологічного стану масивів поверхневих вод (МПВ) річкового басейну Південного Бугу за 2022–2023 рр. (за даними [11])

№ п/п	Масив поверхневих вод				Біологічні показники						Гідроморфологічні показники - високий статус (Так/Ні)	Хімічні та фізико-хімічні показники	Басейнові специфічні		Екологічний стан	Рівень надійності оцінки*	Штучний та істотно змінений МПВ			Хімічний стан	
	Назва річки/озера/перехідного/прибережного	Код	Тип	Довжина МПВ, км	Фітопланктон	Мікрофітобентос	Судинні рослини	Донні макробезхребетні	Стан МПВ за біологічними показниками	Рівень надійності оцінки*			Басейнові специфічні	Рівень надійності оцінки*			Штучний МПВ (Так/Ні)	Істотно змінений МПВ (Так/Кандидат)	Екологічний потенціал	Хімічний стан**	Рівень надійності оцінки*
ДІАГНОСТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ																					
1	р. Південний Буг	UA_M5.4_0002	UA_R_16_M_2_Si	23,0	б/о	B/B	A/B	A/A	2	C	так	2	2	C	2	C				Д	C
2	р. Південний Буг	UA_M5.4_0004	немає	26,4	A/A	A/A	A/B	A/A	3	C	-	3	2	C		C		кІЗМПВ	3	Д	C
3	р. Південний Буг (Щедрівське водосховище)	UA_M5.4_0008	немає	12,2	B/A	A/B	B/B	A/A	2	C	-	3	2	C		C		кІЗМПВ	2	Д	C
4	р. Південний Буг	UA_M5.4_0011	немає	1,9	B/A	C/B	B/B	A/A	3	C	-	3	2	C		C		кІЗМПВ	3	НД	C
5	р. Південний Буг	UA_M5.4_0013	немає	3,4	B/A	B/A	A/B	A/A	2	C	-	3	2	C		C		кІЗМПВ	2	Д	C
6	р. Південний Буг	UA_M5.4_0019	немає	19,9	B/A	B/A	A/B	A/A	3	C	-	3	2	C		C		кІЗМПВ	3	Д	C
7	р. Південний Буг	UA_M5.4_0026	UA_R_12_XL_1_Si	71,9	A/A	B/B	A/A	A/A	2	C	ні	2	2	C	2	C				Д	C
8	р. Південний Буг (Олександрівське водосховище)	UA_M5.4_0028	немає	17,0	A/A	B/A	A/B	A/A	3	C	-	3	2	C		C		кІЗМПВ	3	НД	C
9	р. Південний Буг	UA_M5.4_0029	UA_R_12_XL_1_Si	147,4	A/B	B/A	A/A	A/A	2	C	ні	3	2	C	2	C				НД	C

Примітки:
н/з для даного типу МПВ не застосовується
н/пр моніторинг не проводився

Рівень надійності оцінки**

В	високий
С	середній
Н	низький
б/о	без оцінки

Оцінка екологічного стану/потенціалу:

1	Відмінний
2	Добрий
3	Задовільний
4	Поганий
5	Дуже поганий

Оцінка хімічного стану**

Д	Добрий
НД	Недосягнення доброго

Вінницькі екологи Державної екологічної інспекції у Вінницькій області за результатами аналізу 2024 р. зафіксували гострі аномалії: зокрема, у пробах води нижче вінницького скиду вміст амонійного азоту становив 15,1 мг/дм³ (при нормі 2,0 мг/дм³), що майже в 7,5 раза перевищує гранично допустиме значення. Інші параметри (розчинений кисень, хімічне споживання кисню, важкі метали) також нерідко виходять за норми, особливо у літній період. У цілому якість води Південного Бугу вважається незадовільною через сукупний ефект антропогенних надходжень.

Накопичення забруднюючих речовин у Південному Бузі призводить до виражених екологічних проблем. У теплі місяці річка часто зацвітає (завдяки надлишку фосфатів і нітратів), що супроводжується дефіцитом кисню і гиненням риби. Місцеві мешканці відзначають “неприємний запах” води й масові замори риби влітку: ці явища стали звичними поблизу Вінниці та Ладижина. Екологічна інспекція регіону підтверджує високий рівень забруднення басейну і фіксує численні порушення норм очищення стічних вод. Отруєння організмів водних тварин (нахил до шкідливих мутацій та токсичних ефектів) є прогнозованим наслідком таких умов – що також доводять міжнародні дослідження на прикладі схожих антропогенно навантажених басейнів. Зокрема, у зразках Південного Бугу регулярно виявляються концентрації забруднень, що небезпечні для водоростей та безхребетних (за міжнародними класифікаціями WFD).

Екологічні наслідки включають розвиток «мертвих зон» у зарегульованих частинах, зокрема Ладижинському та Олександрівському водосховищах, де інтенсивне розкладання органіки призводить до кисневого дефіциту. Це спричиняє зменшення видового різноманіття іхтіофауни та загрожує масовим замором риби. Постійне біогенне забруднення підвищує витрати на очищення води для питного водопостачання в містах нижньої течії.

У промислових районах – поруч з ГЕС, ТЕС і великими підприємствами – додаються скиди теплоти та хімічних відходів. Наприклад, на каскаді Південного Бугу поблизу Вінниці і Хмельницького працюють греблі з водосховищами, які змінюють природний режим стоку. Загалом, внаслідок індустріалізації і міської забудови більшість українських річок віднесено до категорії значно змінених водних тіл, де гідрохімічні та гідроморфологічні показники суттєво впливаються госпдіяльністю людини.

3.3. Кумулятивна оцінка техногенного пресингу та наслідків воєнних дій для екосистеми Дніпровського каскаду водосховищ

Незважаючи на значні обсяги водних ресурсів, екологічний стан річки Дніпро продовжує погіршуватися під впливом неефективного управління стічними водами.

Установлено, що внаслідок експлуатації застарілих та технічно малоефективних систем водовідведення й очищення стічних вод загальний обсяг щорічного скидання забруднених вод у річку Дніпро становить понад 400 млн $м^3$. Додатковим дестабілізувальним чинником є регулярне надходження каналізаційно-поверхневих стоків із територій урбанізованих систем приміської зони, що сприяє поширенню полютантів уздовж руслової траєкторії та їх транскордонному перенесенню вниз за течією.

Формування гідрохімічних і гідробіологічних характеристик Дніпра істотно детерміноване наявністю каскаду штучних водосховищ, створених унаслідок будівництва гідротехнічних споруд, що розділили ріку на шість великих акумуляційних ланок. Серед них Дніпровське водосховище, споруджено у 1931–1934 рр., є найстарішим і водночас передостаннім у каскаді. Ця водойма, розташована в межах Дніпропетровської та Запорізької областей, характеризується площею дзеркала 28,838 $км^2$, протяжністю 128,5 км, максимальною глибиною до 60 м (у районі греблі Дніпрогесу) та середньою глибиною близько 8 м [1].

Дніпровське (Запорізьке) водосховище належить до категорії водних об’єктів із підвищеним рівнем техногенного пресингу, що зумовлено його розташуванням у високоурбанізованому й індустріально розвиненому регіоні з інтенсивним агровиробництвом. Сукупність цих чинників формує специфічні умови гідроекологічного режиму, визначаючи вразливість водойми до хімічного, біологічного та теплового забруднення.

У верхній частині Дніпровського водосховища локалізовані найбільш екологічно небезпечні промислові вузли, що представлені підприємствами металургійних, вугільних та хімічних галузей. Одним із ключових об’єктів техногенного ризику належить Дніпровському металургійному комбінату (м. Кам’янське), який відносять до категорії підприємств із високим рівнем екологічної небезпеки. Значна частина його відвальних мас, збагачених токсичними компонентами, розташована у басейні річки Коноплянка – лівої притоки Дніпра, що безпосередньо впадає у води водосховища.

Таблиця 3.10 – Потенційні джерела техногенного навантаження у верхній частині Запорізького водосховища

Джерело впливу	Характеристика навантаження	Основні забруднювачі
Дніпровський металургійний комбінат	Відвали, шлами, промислові стоки	Fe, важкі метали, біогени
Придніпровський хімічний завод (хвостосховища)	Радіоактивні відходи уранового циклу	^{238}U, ^{226}Ra, ^{210}Po, ^{137}Cs, ^{90}Sr
Урбанізовані території м. Кам’янське	Комунально-побутові стічні води	NO_2^-, NO_3^-, NH_4^+, PO_4^{3-}
Сільськогосподарські угіддя	Поверхневий стік	Пестициди, нітрати, фосфати

Згідно з результатами досліджень, проведених Єсіповою Наталією та Гудим Надією, встановлено підвищені концентрації ключових амонійно-азотних та фосфатних сполук у водному середовищі. Гідрохімічний стан річки Коноплянка характеризується стабільним перевищенням природного фонового рівня біогенних компонентів, що безпосередньо корелює з інтенсивністю техногенного навантаження на водні екосистеми [16].

Таблиця 3.11 – Гідрохімічні показники води річки Коноплянка порівняно із Дніпровським водосховищем (за даними Єсіпової Наталії та Гудим Надії)

Показник	Концентрація у р. Коноплянка	Концентрація у водосховищі	Кратність перевищення
NH_4^+, мг/дм³	2,00	0,05–0,40	5–40 разів
NO_2^-, мг/дм³	0,80	0,02–0,10	8–40 разів
NO_3^-, мг/дм³	10,5	0,5–2,0	5–21 разів
PO_4^{3-}, мг/дм³	0,769	0,02–0,15	5–38 разів
Fe заг., мг/дм³	5,0	0,1–1,0	5–50 разів
Оксиген, % насичення	низьке, < норм	–	1,4 ГДК
Нітрити, ГДК	–	–	3,5–40 ГДК
Амоній-іон, ГДК	–	–	1,6–5,0 ГДК
$БСК_5$, ГДК	–	–	1,2–3,1 ГДК

Концентрації забруднюючих речовин у верхніх шарах води Дніпровського водосховища перевищують середні показники на 5–42 рази, що свідчить про суттєву деградацію водної екосистеми. Надмірне надходження біогенних елементів стимулює вибухове розростання макрофітів (рогозу широколистого, очерету звичайного), що, у свою чергу, інтенсифікує процеси вторинного забруднення, спричиняє перехід фосфатів та органічної речовини у водне середовище та погіршує самоочисну здатність річки.

На основі багаторічного гідроекологічного моніторингу Дніпровського водосховища науковцями [19] виявлено наявність стійких зон забруднення, що мають різну природу та локалізацію, і становлять значну потенційну загрозу для екологічної безпеки та здоров'я населення. Самарська затока є штучною озероподібною ділянкою верхньої частини Дніпровського водосховища, що займає площу 5702 га; також є великою мілководною акваторією. Формування гідрохімічного режиму затоки відбувається під впливом річки Самари та локальних гідрологічних умов. Значна площа мілководдя у поєднанні з надходженням органічних речовин, спричинених рекреаційною діяльністю та скидом господарсько-побутових стоків, призвели до активного заростання водної акваторії вищою водною рослинністю.

Найбільш значний внесок полютантів до річкової системи Самари генерується діяльністю Донбаським кам’яновугільним басейном та ДХК «Павлоградвугілля». Цей вплив супроводжується регулярним скидом шахтних вод у річку, що спричинило помітне підвищення мінералізації води (2–6 г/дм³), переважно за рахунок зростання концентрацій хлоридів, сульфатів та йонів натрію [6]. Одночасно зі стічними шахтними водами у затоку надходять важкі метали; середньорічні концентрації більшості яких у водоймі затоки перевищують допустимі гранично допустимі концентрації для води рибогосподарського значення: марганець – у 1,7 раза, свинець – у 2,3 раза, кадмій – у 3,8 раза [7].

Таблиця 3.12 – Інтегрована таблиця оцінки стану МПВ РБР Дніпра за 2021-2023 рр.

№ п/п	Масив поверхневих вод				Біологічні показники						Гідроморфологічні показники - високий статус (Так/Ні)	Хімічні та фізико-хімічні показники	Басейнові специфічні		Екологічний стан	Рівень надійності оцінки**	Штучний та істотно змінений МПВ			Хімічний стан	
	Назва річки/ озера/ перехідного/ прибережного	Код	Тип	Довжина МПВ, км	Фітопланктон	Мікрофітобентос	Судинні рослини	Донні макробезхребетні	Стан МПВ за біологічними показниками	Рівень надійності оцінки**			Басейнові специфічні	Рівень надійності оцінки**			Штучний МПВ (Так/Ні)	Істотно змінений МПВ (Так/Кандидат)	Екологічний потенціал	Хімічний стан***	Рівень надійності оцінки**
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	р. Дніпро	UA_M5.1.1_0001	UA_R_16_XL_1_Si	126,8	2	2	2	3	3	С	так	2	н/пр		3	С				НД	С
2	р. Сож	UA_M5.1.1_0002	UA_R_16_XL_1_Si	29,0	2	2	2	2	2	С	н/пр	3	н/пр		2	С				НД	С
3	р. Десна	UA_M5.1.5_0001	UA_R_16_XL_1_Si	591,6	А/А	В/В	В/В	А/А	2	С	так	3	н/пр		2	С				НД	С
4	р. Шостка	UA_M5.1.5_0049	UA_R_16_M_1_SI	49,9	-	2	1	1	2	С	так	3	н/пр		2	С				Д	С
5	р. Сейм	UA_M5.1.5_0085	UA_R_16_XL_1_SI	244,8	2	2	3	3	3	С	так	3	н/пр		3	С				НД	С
6	р. Вир	UA_M5.1.5_0088	UA_R_16_L_1_SI	23,3	3	1	3	3	3	С	так	3	н/пр		3	С				НД	С
7	р. Клевень	UA_M5.1.5_0119	UA_R_16_M_1_Si	59,7	-	2	3	3	3	С	так	3	н/пр		3	С				Д	С
11	р. Ревна	UA_M5.1.5_0195	UA_R_16_M_1_Si	46,6	-	1	1	1	1	С	так	2	н/пр		1	С				НД	С
12	р. Цата	UA_M5.1.5_0206	UA_R_16_M_1_Si	6,1	-	1	3	3	3	С	так	3	н/пр		3	С				НД	С
13	р. Білоус	UA_M5.1.5_0242	UA_R_16_XL_1_Si	46,7	б/о	В/В	А/В	А/А	3	С	так	3	н/пр		3	С				НД	С
14	р. Остер	UA_M5.1.5_0260	немає	115,8	А/А	В/В	А/В	А/А	2	С		3	н/пр					кІЗМПВ	2	НД	С
15	р.Дніпро (Канівське водосховище)	UA_M5.1.2_0002	немає	488,4	А/А	б/о	А/В	В/В	3	С	-	3	н/пр					кІЗМПВ	3	НД	С
58	Дніпровське водосховище	UA_M5.1.3_0001	немає	228,7	А/А	А/А	А/В	А/А	3	С	-	3	2	С				кІЗМПВ	3	НД	С
65	р.Самара	UA_M5.1.3_0135	UA_R_16_L_1_Si	161,6	В/С	В/А	В/С	В/А	2	С	так	3	2	С	2	С				НД	С
66	р.Самара	UA_M5.1.3_0136	UA_R_16_XL_1_Si	83,8	В/А	В/А	А/В	В/А	2	С	ні	3	3	С	2	С				НД	С
67	Самарська затока	UA_M5.1.3_0138	немає	46,0	В/А	В/А	В/С	В/А	3	С		3	2	С				кІЗМПВ	3	НД	С

Примітки:

н/з для даного типу МПВ не застосовується

н/пр моніторинг не проводився

Рівень надійності оцінки**

В	високий
С	середній
Н	низький
б/о	без оцінки

Оцінка екологічного стану/потенціалу:

1	Відмінний
2	Добрий
3	Задовільний
4	Поганий
5	Дуже поганий

Оцінка хімічного стану**

Д	Добрий
НД	Недосягнення доброго

Таблиця 3.13 – Концентрації забруднюючих речовин у воді та донних відкладах Запорізького водосховища (за даними Єсіпової Н. та Гудим Н.)

Показник	Верхня ділянка (Самарська затока)	Нижня ділянка водосховища	ГДК для рибогосподарських водойм	Примітки
Амонійний азот, мг/дм³	0,01 – 1,80	0,01 – 1,80	1,0	Максимальні значення наприкінці літа
Нітрити, мг/дм³	0,005 – 0,12	0,005 – 0,12	0,06	Періодичне перевищення у верхній ділянці
Нітрати, мг/дм³	0,18 – 1,6	0,18 – 1,6	10	У межах допустимих норм
Фосфати, мг/дм³	0,25 – 0,62	0,25 – 0,62	0,1	Літні максимуми сприяють евтрофікації
Залізо загальне, мг/дм³	5,0	2,5	1,0	Перевищення ГДК у верхній ділянці
Марганець, мг/дм³	0,17	0,10	0,1	Перевищення ГДК 1,7 рази у верхній ділянці
Свинець, мг/дм³	0,23	0,10	0,1	Перевищення ГДК 2,3 рази
Кадмій, мг/дм³	0,038	0,01	0,01	Перевищення ГДК 3,8 рази
Радіонукліди 137Cs, Бк/л	0,24	0,24	–	Не перевищує допустимі значення для харчових продуктів
Радіонукліди 90Sr, Бк/л	0,07	0,07	–	Не перевищує допустимі значення для харчових продуктів

Нижня ділянка водосховища розташована переважно в сільській місцевості, саме тому джерелом забруднення є поверхневий стік із сільськогосподарських угідь, багатий на біогенні елементи. Сезонні спостереження показали, що максимальні концентрації біогенів

спостерігаються наприкінці літа, у період інтенсивної мінералізації органічної речовини, що спричинює масове цвітіння води за рахунок розвитку синьо-зелених водоростей [ ].

За середньорічними показниками нижня ділянка водосховища віднесена до ІІ класу якості води (2 категорія, 3(1) субкатегорія), характеризується оцінкою «добра», за ступенем чистоти – «чиста/досить чиста», проте в літній період вода якість знижується до ІІІ класу, 4 категорії («задовільна»).

Таким чином, багаторічний моніторинг підтверджує, що Дніпровське водосховище має дві стійкі зони забруднення з різним генезисом: верхня ділянка – важкими металами та радіонуклідами, нижня – біогенними речовинами. Висока концентрація токсикантів у донних відкладах створює ризик вторинного забруднення води, а їхня здатність до накопичення у живих компонентах екосистеми, зокрема в харчових продуктах (риба, раки), є потенційною небезпекою для здоров’я місцевих жителів.

На підставі проведеної просторової диференціації агрогенного (дестабілізуючого) навантаження, здійснено науковцями Пічура В.І. та Потравка Л.О. [16], з’ясовано, що приблизно 313 суббасейнів, сумарна площа яких становить 172,5 тис. км^2 (що відповідає 33,7 % від загальної площі водозбору р. Дніпро), характеризуються низьким або помірним рівнем антропогенно зумовленої трансформації земельного покриву. Водночас 83 суббасейни площею 62,8 тис. км^2 (близько 12,3 %) належать до категорії із середнім ступенем агрогенної деградації. Найбільш екологічно вразливою є група з 380 суббасейнів, площа яких сягає 275,7 тис. км^2 (приблизно 54 % території водозбірної системи): вони демонструють відчутне, сильне або навіть катастрофічне рівні антропогенного порушення, що супроводжується масштабними процесами дегуміфікації, ерозійної дестабілізації та зниженням водорегуляційного потенціалу ландшафтів.

У зв’язку з цим зазначені території потребують пріоритетного впровадження ґрунто- й водоохоронних заходів, спрямованих на стабілізацію територіального балансу природокористування та мінімізацію ризиків подальшого порушення гідроекологічної рівноваги в басейні Дніпра.

Промислово-воєнне навантаження на екосистему Дніпра є найбільш складним, оскільки поєднує історичне та катастрофічне. Каскад водосховищ Дніпра протягом 70 років слугував природним гігантським відстійником для промислових стоків. Уповільнений водообмін та зарегульованість течії

сприяли осадженню зважених речовин, перетворюючи водосховища (зокрема Кременчуцьке та Дніпровське) на акумулятори забруднень. У донних відкладеннях накопичилися колосальні обсяги токсичних сполук, важких металів та агрохімікатів, що десятиліттями надходили від гірничо-металургійних центрів, розташованих вище за течією (Дніпро, Кам'янське, Запоріжжя), як це відображено на рис. 3.5.

Рисунок 3.5 – Схема взаємодії об'єктів природно-техногенної системи нижньої течії Дніпра: Каховська ГЕС, водосховище та Запорізька АЕС

З початком активних бойових дій у 2022 році до цього «історичного» навантаження додалося пряме техногенне забруднення. Водні об’єкти зазнали впливу від витоків паливно-мастильних матеріалів, потрапляння залишків ракетного палива та затоплення боєприпасів. Додатковим фактором ризику стали пошкодження промислових та хімічних об’єктів уздовж русла внаслідок обстрілів, що створило нові осередки локального хімічного забруднення.

Кульмінацією деструктивних процесів стало руйнування греблі Каховської ГЕС 6 червня 2023 року. За оцінками UNEP-DHI, ця подія

кваліфікується як екологічна катастрофа значних масштабів. Неконтрольований скид близько 19,9 км^3 води призвів до затоплення 77 населених пунктів та понад 100 тис. га земель. У водне середовище потрапило щонайменше 150 тонн машинного мастила з машинного залу ГЕС, що спричинило гостре токсичне шокове навантаження на біоту.

Найбільш критичним наслідком катастрофи стала ресмобілізація історичних донних відкладень. Потужні потоки води змили накопичені за десятиліття токсичні мули, перенісши їх у нижню течію та Дніпро-Бузький лиман. Це спровокувало різке опріснення вод Західного лиману Чорного моря та масовий мор риби внаслідок поєднання гіпоксії та механічного засмічення зябер завислими частками.

Осушення дна Каховського водосховища оголило нову довгострокову загрозу. Дослідження, проведені Українською природоохоронною групою, виявили у 94% проб ґрунту з колишнього дна водосховища перевищення ГДК важких металів у 7–17 разів. Основними ідентифікованими полютантами є свинець, цинк, стронцій та миш’як.

На даному етапі лужне середовище донних відкладень (pH 7,0–8,6) виконує роль геохімічного бар'єра, тимчасово уповільнюючи міграцію металів. Однак існує високий ризик їх вітрового перенесення у вигляді пилових бур, що загрожує забрудненням ґрунтів та атмосферного повітря на значних відстанях. Потенційне зниження рівня pH у майбутньому (внаслідок кислотних дощів чи зміни гідрологічного режиму) може спровокувати перехід цих елементів у рухомі форми та їх потрапляння у харчові ланцюги і джерела водопостачання.

Воєнні дії каталізували перетворення пасивної екологічної проблеми (секвестрованих донних відкладень) на активну токсичну загрозу. Це призвело до повної зміни гідрологічного та гідрохімічного режиму Нижнього Дніпра, що вимагає перегляду стратегій водокористування та впровадження програм довгострокового моніторингу.

На підставі проведених досліджень Шарамок Т. С., Федоненком О. В., Курченком В. О. та Ніколенком Ю. В. здійснено комплексну гідроекологічну оцінку якості вод Дніпровського водосховища, що охоплювала аналіз гідрохімічних параметрів та гідробіологічних індикаторів стану водної екосистеми (табл. 3.14).

Таблиця 3.14 – Гідрохімічні та токсикологічні Дніпровського водосховища

Показник	Самарська затока	Нижня ділянка водосховища	Нормативні значення
Температура, °С	19,9 ± 0,05	20,5 ± 0,05	≤ 28
pH	7,6 ± 0,05	7,9 ± 0,05	6,5–8,5
Вміст кисню, мг/дм³	5,4	5,7 ± 0,5	≥ 5
Перманганатна окиснюваність, мг/дм³	12,8 ± 0,64	10,5 ± 0,52	≤ 10–15
Амак, мг/дм³	0,0180 ± 0,0009	0,0158 ± 0,0007	0,05
Нітрати, мг/дм³	0,34 ± 0,017	0,27 ± 0,013	2,0
Нітрити, мг/дм³	0,009 ± 0,0005	0,0048 ± 0,0002	0,1
Фосфати, мг/дм³	0,24 ± 0,012	0,19 ± 0,009	0,2
Сульфати, мг/дм³	40,1 ± 2,02	32,5 ± 1,63	50–70
Хлориди, мг/дм³	19,8 ± 0,99	15,8 ± 0,79	30–50
Мідь, мг/дм³	0,004 ± 0,002	0,007 ± 0,002	0,001
Марганець, мг/дм³	0,12 ± 0,006	0,14 ± 0,007	0,01
Цинк, мг/дм³	0,016 ± 0,001	0,012 ± 0,001	0,01
Нікель, мг/дм³	0,0034 ± 0,0002	0,0051 ± 0,0002	0,01
Залізо, мг/дм³	0,04 ± 0,002	0,036 ± 0,002	0,1
Свинець, мг/дм³	0,0049 ± 0,0003	0,011 ± 0,001	0,003
Кадмій, мг/дм³	0,011 ± 0,002	0,014 ± 0,005	0,005

За екологічною класифікацією якості поверхневих вод за гідрохімічними критеріями, Самарська затока характеризується III класом, 4-ю категорією якості («задовільна»), тоді як нижня частина водосховища (поблизу с. Військове) відповідає II класу, 2-й категорії («дуже добра»).

За критеріями класифікації, що оцінюють ступінь чистоти (забрудненості), води Самарської затоки належать до III класу, 5-ї категорії («помірно забруднена»), а ділянка біля с. Військове – до III класу, 4-ї категорії («слабко забруднена»).

Узагальнена екологічна оцінка підтверджує, що води Дніпровського водосховища у межах Самарської затоки визначаються як «помірно забруднені», тоді як нижня частина водосховища характеризується рівнем «слабко забруднені».

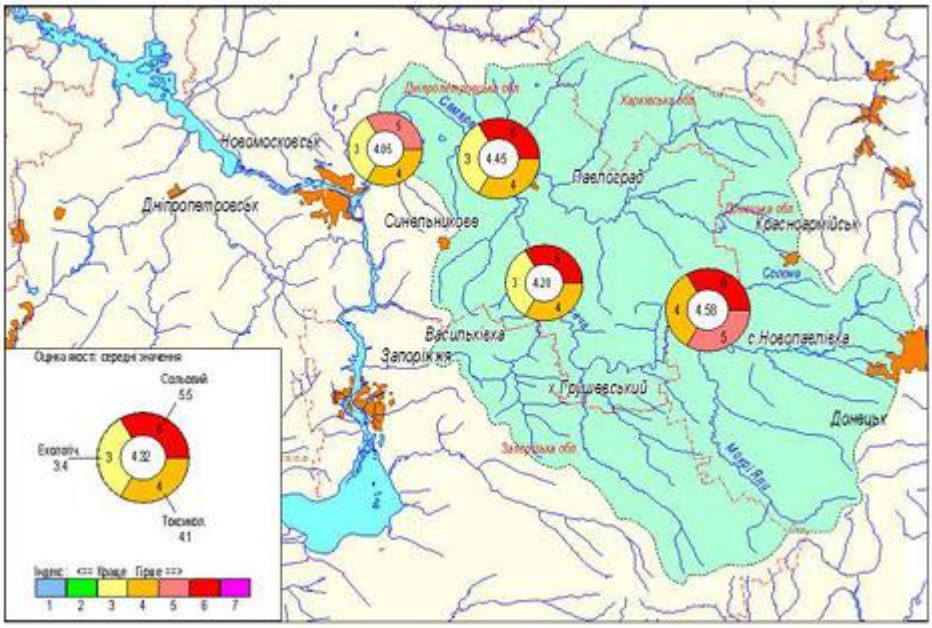

Рисунок 3.6 – Просторова диференціація інтегральних та блокових індексів екологічного стану водних об’єктів у басейні р. Самара [15]

Концентрації більшості визначених важких металів у водах Самарської затоки істотно перевищують показники, зафіксовані в нижній ділянці водосховища. Статистично достовірні відмінності ($p < 0,05$) встановлено для вмісту міді (зростання на 35%), цинк (на 42%), нікель (на 65%), свинець (на 75%) та кадмій (на 85%), що свідчить про посилений техногенний прес у верхній частині водосховища.

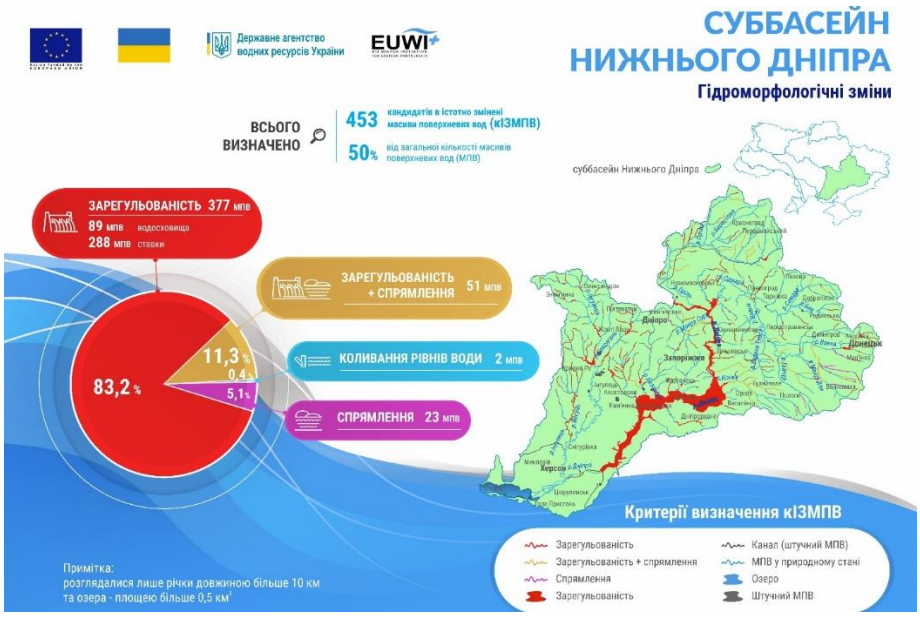

Рисунок 3.7 – Суббасейн Нижнього Дніпра. Оцінка ризику недосягнення доброго екологічного стану

На рис. 3.7 представлена карта-схема ризиків для суббасейну Нижнього Дніпра ілюструє критичний рівень деградації водних ресурсів регіону. Той факт, що 88% масивів поверхневих вод (МПВ) віднесено до категорії «під ризиком» недосягнення доброго екологічного стану, свідчить про системну неефективність існуючих заходів водоохорони. Такий дисбаланс вказує на тотальне домінування антропогенного впливу (стічні води промисловості та комунального господарства) над асиміляційною здатністю річкової системи.

У місті Дніпро експлуатуються три ключові станції аерації, які забезпечують механіко-біологічне очищення міських стічних вод та відіграють провідну роль у підтриманні екологічної безпеки водних об’єктів регіону, а саме Центральна станція аерації з потужністю 330 000 м^3/добу, Лівобережна станція з сумарною продуктивністю 150 000 м^3/добу з технологією доочищення із застосуванням гравійних фільтрів, а також повним механічним комплексом із використанням вакуум-фільтрів та центрифуг для зневоднення осаду; та Південна станція аерації – 45 000 м^3/добу (у 1990 році було реалізовано комплекс заходів з автоматизації механічної очистки та систем відкачування осаду, що підвищило ефективність технологічних процесів). Попри це, сучасний обсяг комунально-побутових стоків перевищує проєктні параметри, що зумовлює нагальну потребу в реконструкції та розширенні комплексу.

Рисунок 3.8 – Центральна станція аерації м. Дніпро

Рисунок 3.9 – Лівобережна станція аерації м. Дніпро

Технологічна схема очищення стічних вод у м. Дніпро базується на двоступеневій системі – механічному та біологічному очищенні, а на Лівобережній станції аерації додатково застосовується блок доочищення. Стічні води, що надходять від населення та промислових підприємств по системі колекторів, спочатку проходять механічне очищення (решітки, пісколовки, первинні відстійники), після чого надходять до аеротенків. У біологічних спорудах відбувається розклад органічних речовин за участю активного мулу, який підтримується в аеробному стані шляхом подачі кисню. Після вторинних відстійників очищена вода транспортується до контактних резервуарів для знезараження та далі скидається у водні об’єкти.

Комунальні стоки є домінантним джерелом надходження значної частки забруднювальних речовин у річкові системи басейну Дніпра, особливо органічних сполук та біогенних елементів, що визначають рівень евтрофування та формують критичне гідроекологічне навантаження на водні екосистеми.

3.4 Оцінка екологічних ризиків та обґрунтування стратегії мінімізації впливу стічних вод на річкові системи

В умовах глобальних кліматичних змін та посилення антропогенного тиску оцінка впливу стічних вод не може обмежуватися лише статичними показниками концентрацій. Визначальним фактором ризику стає гідрологічна волатильність – різка мінливість характеристик стоку, яка посилює вразливість екосистем до забруднення. Глобальне потепління змінює режим формування стоку: збільшується інтенсивність злив та частота паводків, що чергуються з тривалими посухами. Це створює два сценарії критичного ризику:

1. період межені (гідрологічна посуха) – коли асиміляційна здатність річок знижується, і навіть стабільний обсяг скидів призводить до різкого зростання концентрації токсикантів через відсутність розбавлення;

2. у період паводків відбувається гідравлічне перевантаження очисних споруд, що провокує аварійні скиди, та масовий змив дифузних забруднень (добрив, пестицидів) із водозбірних площ.

Ситуація ускладнюється тим, що більшість існуючих очисних систем, спроєктованих під «історичні» гідрологічні режими, технологічно не здатні адаптуватися до такої динаміки.

На основі порівняльного аналізу репрезентативних басейнів (р. Зубра, Південний Буг, Дніпро) ідентифіковано три групи ризиків, що вимагають диференційованих підходів до управління:

1. Для малих річок у межах агломерацій головним ризиком є органічне та амонійне перенасичення. Невідповідність потужностей очисних споруд реальному навантаженню призводить до того, що річка втрачає здатність до самоочищення і фактично функціонує як стічний колектор. Індикаторами критичного стану є перевищення вмісту амонійного азоту (до 7,73–10,3 мг/дм^3, що відповідає V класу якості «дуже поганий») та $БСК_5$ (до 11,6 мг/дм^3). Наслідком є формування зон хронічної токсичності, дефіцит розчиненого кисню та деградація біоценозів

2. Для аграрно-урбанізованих басейнів характерне домінування змішаного ризику, де точкові скиди комунальних підприємств накладаються на дифузний змив з аграрних угідь. Фіксуються рекордні перевищення вмісту біогенних елементів (амонійний азот – до 17 разів понад норму, нітрити – до 28 разів) у поєднанні з пестицидним забрудненням. Це призводить до масштабної евтрофікації, «цвітіння» води у водосховищах, заморів риби через гіпоксію та виникнення локальних зон токсичного забруднення важкими металами (Zn, Cu).

3. Ризики зон військового конфлікту – цей тип характеризується як «токсичний хаос» – непередбачуваним поєднанням історичного промислового забруднення та наслідків бойових дій. Ключовим фактором ризику є ремобілізація донних відкладень (ефект «токсичної часової бомби») внаслідок руйнування Каховської ГЕС, а також потрапляння у воду паливно-мастильних матеріалів та продуктів вибухів. Це спричиняє довгострокове, часто

незворотне забруднення екосистеми та створює ризик вторинного перенесення токсикантів через пилові бурі з осушених ділянок.

Саме тому ефективний екоменеджмент вимагає відмови від уніфікованих рішень на користь адаптивних стратегій, що базуються на імплементації Директив ЄС, зокрема нової Директиви 2024/3019 про очищення міських стічних вод. Відповідно до цього підходу, виділено три ключові стратегічні напрямки.

Таблиця 3.15 – Порівняльний аналіз рівнів забруднення у річках різного типу навантаження

Параметр порівняння	р. Зубра (урбаністичний)	Південний Буг (змішаний)	Каскад Дніпра (воєнний/ техногенний)	Пріоритет
Домінуюче забруднення	Органічне, біогенне ($N - NH_4^+$)	Біогенне (нітрати, фосфати), локально токсичне (Zn, Cu)	Токсичне (важкі метали, паливно-мастильні) з донних мулів	Якість очищення
Клас екологічного стану	V (Дуже поганий)	IV–III (поганий–помірний)	V (Катастрофічний)	Реабілітація басейну
Основний екологічний ризик	Втрата самоочисної здатності, евтрофікація	Зарегульованість, «цвітіння» водосховищ	Довгострокова токсикологічна загроза	Моніторинг та детоксикація
Ключовий регуляторний фокус	UWWTD (2024/3019)	WFD, ПУРБ (2025–2030)	UNEP, GEF, екстрений моніторинг	Міжнародна підтримка

Для урбосистем (на прикладі річок типу Зубри) критично важливою є технологічна модернізація, що передбачає реконструкцію каналізаційних очисних споруд із впровадженням третинної та четвертинної очистки. Основні заходи повинні включати впровадження біофільтрації для видалення азоту і фосфору та методів адсорбції (активоване вугілля або озонування) для елімінації мікрозабруднювачів, зокрема фармацевтичних препаратів, як того вимагає нове європейське законодавство. Паралельно необхідна модернізація інфраструктури шляхом розділення загальносплавних систем каналізації на

побутову та зливову для уникнення гідравлічних перевантажень під час інтенсивних опадів.

Для аграрних басейнів (типу Південного Бугу) пріоритетом визначено оптимізацію землекористування з метою контролю дифузних джерел забруднення. Ключовими інструментами тут виступають впровадження точного землеробства та створення прибережних захисних смуг (буферних зон) із деревно-чагарниковою рослинністю. Дослідження підтверджують, що такі зони функціонують як ефективний біогеохімічний бар'єр, затримуючи до 80% змиву біогенних речовин з полів.

Для постраждалих територій (зокрема Дніпровського каскаду) необхідна стратегія поствоєнної реабілітації за принципом «Build Back Better». Першочерговими кроками є оперативний скринінг та локалізація осередків токсичного забруднення, причому відновлення системи моніторингу має відбуватися з обов’язковим урахуванням ризиків вітрового перенесення токсинів з осушених територій.

Проведений аналіз підтверджує, що стратегія захисту річкових систем України повинна бути глибоко диференційованою: урбанізовані басейни потребують інженерно-технологічних рішень (глибока очистка стоків), аграрні — ландшафтно-планувальних (буферні зони), а постраждалі від війни — комплексних програм детоксикації та міжнародної підтримки. Важливо усвідомлювати, що ігнорування гідрологічної волатильності та нових кліматичних реалій при плануванні цих заходів неминуче призведе до їхньої неефективності та подальшої деградації водних ресурсів.

Проведене зіставлення ситуації у трьох досліджуваних басейнах дозволило ідентифікувати три відмінні за своєю природою групи ризиків для водної безпеки держави. Така диференціація загроз диктує необхідність відмови від уніфікованих підходів на користь адаптивних управлінських стратегій, що базуються на імплементації директив Європейського Союзу.

Стратегії мінімізації впливу мають бути інтегрованими – поєднувати технічні (очисні споруди, природо-орієнтовані системи), управлінські (нормативи, фінансування, моніторинг), а також басейновий підхід (відновлення мегасистем) і адаптацію до кліматичних змін.

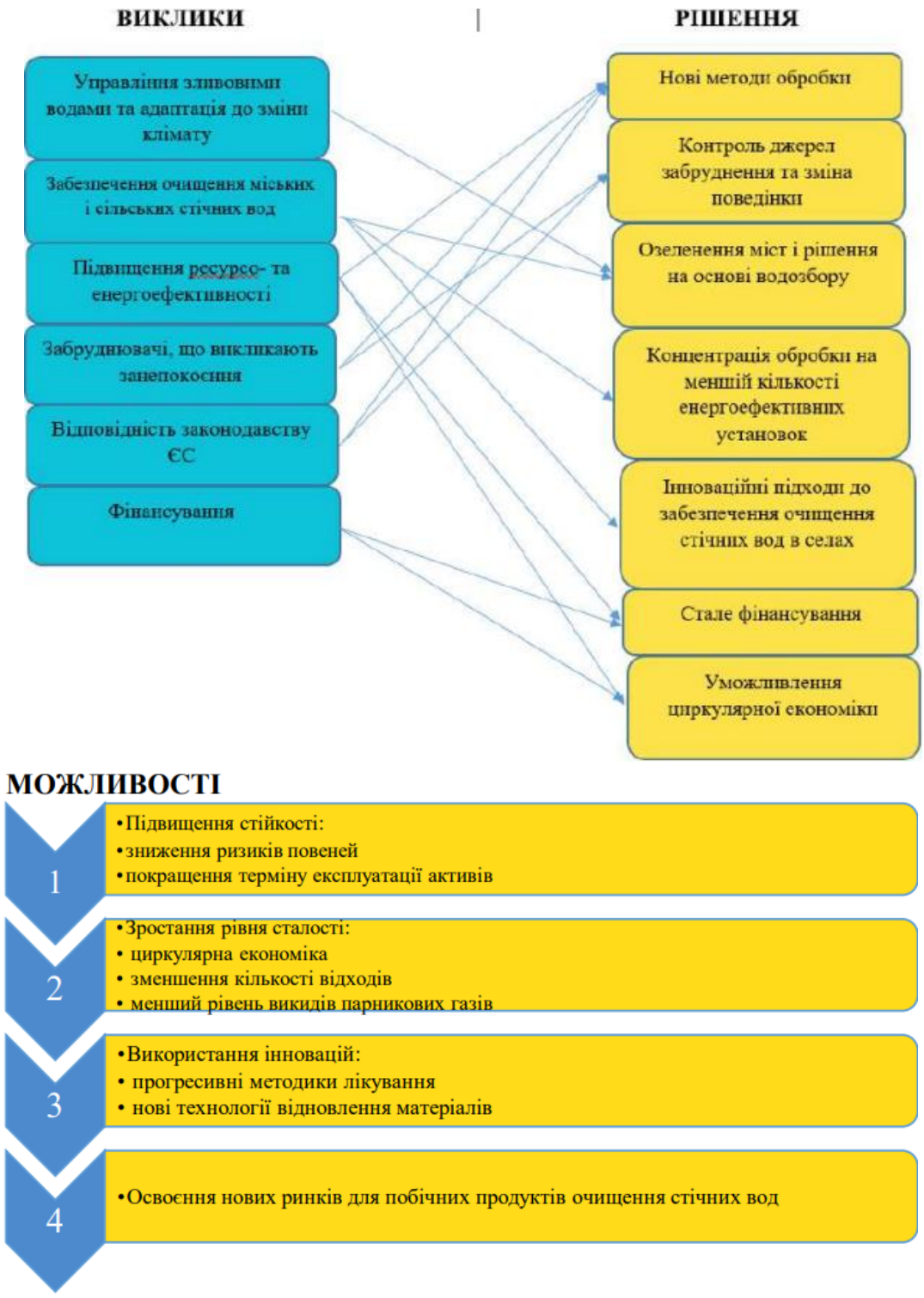

Рисунок 3.16 – Виклики, рішення та можливості для міських очисних споруд [41]

З метою підвищення ефективності басейнового управління запропоновано п'ятивекторний підхід до мінімізації впливу стічних вод. Його новизна полягає у поєднанні технологічних аспектів водоочищення з інструментами раціонального землекористування, що дозволяє комплексно вирішувати екологічні проблеми специфічних аграрно-індустріальних регіонів.

Таблиця – Стратегічні напрямки мінімізації шкідливого впливу стічних вод

Стратегічний напрямок	Ключові цілі та заходи	Очікуваний екологічний результат
1	*2*	*3*
1. Технологічна модернізація та інновації (очищення)	Впровадження найкращих доступних технологій: перехід від застарілих фізико-хімічних методів до вдосконалених біологічних та мембранних процесів очищення. Застосування третинної доочистки, передусім використання методів адсорбції (активоване вугілля), озонування або UV-знезараження для видалення нових контамінантів (фармацевтики, гормони, мікропластик). Рециркуляція та замкнуті цикли, зокрема стимулювання підприємств до максимального повторного використання очищеної води (водозбереження).	Значне зниження концентрації токсичних та біогенних речовин у скидах; підвищення рівня видалення мікрозабруднювачів; зменшення водозабору з річкового басейну.
2. Управління джерелами та превентивні заходи (контроль)	Розділення стоків: чітке відокремлення дощових (зливових) стоків від промислових та побутових для уникнення перевантаження очисних споруд. Впровадження "чистішого виробництва": регулярний контроль технологічних процесів на підприємствах для мінімізації утворення стічних вод та їх токсичності на етапі виробництва. Система попереджень: встановлення жорстких лімітів на скиди та високих штрафів за їх перевищення, стимулюючи відповідальність .	Зниження обсягів стічних вод, що потребують очищення; запобігання залповим скидам; зменшення надходження важких металів та органічних токсикантів безпосередньо у виробничому процесі.

3. Оптимізація землекористування та аграрні практики	Створення прибережних захисних смуг та водоохоронних зон уздовж річок і ставків. Впровадження точного землеробства та збалансованих норм внесення добрив та пестицидів для мінімізації змиву біогенних елементів у річки.	Контроль неточкових джерел забруднення (азот, фосфор, пестициди) з сільськогосподарських угідь.
4. Нормативно-правове та інституційне забезпечення (регуляція)	Перегляд та посилення стандартів якості води у відповідності до більш жорстких (європейських) стандартів для скидів, особливо щодо специфічних токсикантів, які не були включені до старих нормативів. Моніторинг та ГІС-картографування: створення сучасної автоматизованої мережі моніторингу якості води та інтерактивних карт забруднення басейну для оперативного реагування. Економічні стимули: запровадження податкових пільг для підприємств, які інвестують у найкращі доступні технології та рециркуляцію води.	Правове забезпечення захисту водних ресурсів; отримання точних даних для прийняття рішень; стимулювання бізнесу до екологічно відповідальної поведінки.
5. Екологічний моніторинг (інформаційна база)	Розбудова сучасної автоматизованої мережі моніторингу якості води (для безперервного контролю). Дослідження кумулятивного та синергетичного впливу забруднювачів на гідробіонти. Розробка ГІС-моделей для оцінки поширення забруднення та прогнозування екологічних ризиків у різних частинах басейну.	Отримання достовірних даних для оперативного прийняття управлінських рішень та наукового прогнозування

Ці стратегії дозволяють одночасно впливати на якість скидів (технології), обсяги забруднення (управління) та рівень відповідальності (нормативна база).

Пропозиції щодо екологічної реабілітації

1. Модернізація очисних споруд Львова. Необхідна повна реконструкція та модернізація очисних споруд, збудованих у 1960-х роках. Львів вже отримав грантову підтримку від міжнародних партнерів (NEFCO, E5P, ЄБРР) для цього проєкту. Модернізація повинна включати впровадження біофільтрації для ефективного видалення біогенних елементів (N і P).

2. Стратегічно важливо включити у план реконструкції технології четвертинної очистки (насамперед, озонування або використання активованого вугілля). Це необхідно для видалення мікрозабруднювачів, що стає обов'язковим відповідно до нової Директиви ЄС про очищення міських стічних вод (ЄС) 2024/3019. Фінансування цих заходів може бути частково забезпечене через механізм розширеної відповідальності виробника, запроваджений цією Директивою.

3. Розбудова ливневої каналізації, а саме необхідна сепарація побутових і зливових стоків для запобігання гідравлічному перевантаженню очисних систем під час інтенсивних опадів.

4. Створення буферних смуг, передусім передбачає реконструкція русла та створення прибережних буферних смуг у межах міста для підвищення ландшафтно-екологічної стійкості річки.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

4.1 Охорона праці у сфері природокористування

Охорона праці у сфері природокористування в басейні річок є невід'ємною частиною ефективної та безпечної взаємодії з природним середовищем. Зважаючи на тісний зв'язок між людською діяльністю та станом природи, розробка та впровадження ефективних заходів з охорони праці стає важливою умовою забезпечення сталого та екологічно відповідального природокористування.

Структура природокористування в басейні річок включає в себе різноманітні види діяльності, такі як сільське господарство, промисловість, туризм та розробка прибережних територій. Аналіз цієї структури дозволяє виявити основні сектори, які вносять вклад у природокористування.

Оцінка співвідношення між екологічно безпечними та небезпечними формами природокористування вказує на ступінь впливу людської діяльності на навколишнє середовище. Виявлення та регулювання проблемних аспектів такого впливу є ключовим завданням для підтримки екологічно збалансованого природокористування.

Перед початком роботи у сфері природокористування, працівники повинні пройти обов'язкову підготовку та інструктаж з охорони праці. Це включає у себе знайомство із правилами безпеки та процедурами надзвичайних ситуацій.

Для кожного працівника ведеться журнал, в якому фіксуються записи про проходження інструктажу. У випадку невиконання вимог стандартів з охорони праці, працівник несе відповідальність за порушення цих норм.

Регулярний контроль та аудит системи охорони праці дозволяють виявляти та вирішувати проблеми, а також вдосконалювати заходи з покращення безпеки праці в умовах природокористування.

Охорона праці та проблеми природокористування в басейні річок мають взаємозалежний характер. Ефективне управління ризиками та збалансоване природокористування вимагають впровадження сучасних методів охорони праці та надійних механізмів моніторингу впливу на природне середовище. Це стає можливим завдяки взаємодії між науковцями, громадськістю та владою в напрямку забезпечення сталого та безпечного використання річкових ресурсів.

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях в басейні річок

Безпека в надзвичайних ситуаціях в басейні річок є невід'ємною частиною стратегії управління ризиками та забезпечення безпеки для населення, природи та інфраструктури. Зважаючи на різноманітність можливих небезпек у водних екосистемах, важливо розробляти та впроваджувати ефективні заходи для попередження, виявлення та реагування на надзвичайні ситуації.

Безпека в надзвичайних ситуаціях в басейні річок вимагає комплексного підходу та поєднання зусиль громади, влади та науковців. Забезпечення безпеки у водних екосистемах включає в себе не лише попередження небезпек, але й швидке та відповідальне реагування на непередбачувані ситуації з метою мінімізації втрат та збереження природного середовища.

Ризики та небезпеки в басейні річок: – високий рівень річок може викликати повені та затоплення, що становлять серйозну загрозу для населення та інфраструктури у басейні. – нестійкість берегів та ґрунтові зсуви можуть виникнути внаслідок ерозії, що призводить до небезпеки для прибережних зон та інфраструктури. – нещасні випадки у промислових об'єктах або забруднення води хімічними речовинами можуть спричинити небезпеку для водних екосистем та громадського здоров'я.

Саме тому важливими є заходи з попередження та реагування, такі як: – впровадження ефективних систем моніторингу та раннього попередження для виявлення змін у рівнях води та інших небезпек у реальному часі; – створення та регулярне оновлення планів евакуації та рятувальних операцій, які дозволяють швидко та безпечно реагувати на надзвичайні ситуації; – проведення інформаційних кампаній для підвищення громадської свідомості щодо небезпек та тренування населення з діями в надзвичайних ситуаціях; – створення системи координації та співпраці з рятувальними службами для швидкого та ефективного реагування на надзвичайні події; – використання сучасних технологій, таких як дрони та супутникові зображення, для моніторингу та реагування на надзвичайні ситуації.

Розробка та впровадження сучасних систем попередження та моніторингу, що базуються на передових технологіях, таких як сенсори, супутникові дані та системи штучного інтелекту. Це дозволить вчасно виявляти зміни в рівнях води, стані прибережних зон та інших параметрах, що вказують на можливі надзвичайні ситуації.

Створення міжсекторальних партнерств між громадою, владою та приватним сектором для спільного розв'язання проблем безпеки в надзвичайних ситуаціях. Активна співпраця із зацікавленими сторонами сприятиме обміну інформацією та ресурсами для швидкого реагування.

Покращення систем гідрометеорологічних прогнозів для точнішого передбачення небезпек та вчасного інформування громадськості. Це важливий елемент забезпечення безпеки в умовах басейну річок, оскільки сприяє своєчасному попередженню про погодні аномалії.

Проведення регулярних тренувань для населення щодо дій в надзвичайних ситуаціях та інформаційних кампаній з підвищення громадської свідомості. Навчання населення ефективним діям у випадку надзвичайних подій грає ключову роль у загальній безпеці.

Основним завданням відділу техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій є організація роботи у басейновому управлінні водних ресурсів (БУВР) по запобіганню надзвичайним ситуаціям при проходженні високих паводків, а саме: – попередження виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру на гідротехнічних об'єктах та річках басейну ріки Стир – організація безаварійного пропуску паводків на підвідомчих БУВР гідротехнічних спорудах та річках, взаємодія з організаціями, діяльність яких пов'язана з експлуатацією та ремонтом гідротехнічних споруд на них; – забезпечення надійної експлуатації водогосподарських систем, гідротехнічних споруд і окремих об'єктів інженерної інфраструктури в період паводків; – здійснення заходів пов'язаних із запобіганням шкідливої дії вод у межах сільських населених пунктів та сільськогосподарських угідь і ліквідацією її наслідків, включаючи протипаводковий захист цих територій; – забезпечення виконання положень міжнародних Угод з питань водного господарства на прикордонних водах.

Вищевказані роботи включають три етапи: • підготовка до безаварійного пропуску паводків; • організація роботи під час проходження паводків; • післяпаводкова робота (ліквідація наслідків).

Підготовчий етап роботи – це щорічна розробка відділом техногенноекологічної безпеки Комплексного плану БУВР Стир по організації безаварійного пропуску паводків у басейні р. Стир на території області.

Плани передбачають здійснення заходів по підготовці водогосподарських об'єктів до пропуску льодоходу, весняної повені та паводків у трьох напрямках: капітальному – будівництво та підвищення надійності водозахисних споруд; експлуатаційному – експлуатація споруд 69 протипаводкового комплексу;

організаційно-методичному – розробка та впровадження організаційних заходів по безаварійному пропуску паводків на місцях.

Відділ техногенно-екологічної безпеки також: – забезпечує розробку і виконання Комплексних планів протипаводкових заходів; – організовує безаварійний пропуск паводків на водогосподарських системах і річках басейну річки Стир, забезпечує взаємодію з іншими організаціями в питаннях протипаводкового захисту; – забезпечує участь в розробці і погодоженні проектів річних та перспективних планів по реконструкції і капітальному будівництву берегоукріплень, захисних дамб, ставків і водосховищ, по поточному і капітальному ремонту гідротехнічних споруд на річках басейну ріки Стир та ліквідацію наслідків шкідливої дії вод; – веде облік і контроль за наповненням і спрацюванням протипаводкових водосховищ; – здійснює методичне і технічне керівництво по організації гідрометеорологічних спостережень на відомчих водомірних постах за рівнями води в водоприймачах, каналах, на насосних станціях і водосховищах. Забезпечує обробку та накопичення даних; – розробляє і здійснює заходи по виконанню міжнародних угод по питанням водного господарства на прикордонних водах. Приймає участь в координації дій по безаварійному пропуску паводків на прикордонних ділянках рік відповідно до міжурядових угод, регламентів і положень про співпрацю по захисту від шкідливої дії вод.

У відділі працюють фахівці з питань протипаводкового захисту і гірських річок, а також головний гідролог з питань експлуатаційної гідрометрії. Застосування принципів екологічно свідомого планування при будівництві та розвитку на прибережних територіях. Збереження природи та зменшення людського впливу сприятимуть запобіганню надзвичайних ситуацій та зменшенню їхніх наслідків.

Безпека в надзвичайних ситуаціях в басейні річок – це складний та взаємопов’язаний процес, який вимагає комплексного підходу. Інтеграція сучасних технологій, активна участь громади та екологічно орієнтоване планування є ключовими чинниками, що забезпечують безпеку та сталість у водних екосистемах басейну річок.

4.3 Захист населення в умовах надзвичайних ситуацій воєнного характеру

Враховуючи можливі ризики та небезпеки, пов’язані із забрудненням водойм відходами під час воєнного конфлікту, необхідно розглядати ефективні заходи для захисту населення, а саме: • забезпечити евакуацію

населення з районів, які можуть бути забруднені; • провести дезактивацію і деконтамінацію територій, що зазнали забруднення; • забезпечити населення питною водою, яка відповідає вимогам безпечності.

Важливим першочерговим завданням є вдосконалення планів евакуації для населення в умовах конфлікту. Визначення безпечних укриттів та надання інструкцій щодо їх використання у випадку надзвичайних ситуацій.

Додатково, необхідно проводити систематичні навчання з екстрених ситуацій для населення, особливо з фокусом на небезпеці від забруднення води твердими побутовими відходами під час воєнного конфлікту. Це включає в себе забезпечення доступу до актуальної інформації та інструкцій для мешканців.

Забезпечення захисту водних ресурсів у таких умовах включає вдосконалення заходів для захисту водних джерел від потенційних атак або забруднення в результаті воєнного конфлікту. Проведення моніторингу та контролю якості води у кризових ситуаціях є критично важливим для забезпечення безпеки питної води.

Створення систем подачі питної води є необхідністю для забезпечення населення питною водою в умовах обмеженого доступу або забруднення власних джерел. Це передбачає не лише розробку ефективних систем, але й забезпечення резервних джерел водопостачання.

Плани надання медичної допомоги у випадку захворювань, пов’язаних із забрудненням води, є необхідними для ефективного реагування на потенційні загрози здоров’ю. Важливо також забезпечити необхідні медичні ресурси та ліки для лікування хворих.

Співпраця з громадськістю та міжнародними партнерами включає встановлення ефективних механізмів взаємодії для отримання допомоги у випадку надзвичайних ситуацій. Розробка програм психологічної підтримки для населення, яке може зазнати стресу в умовах воєнного конфлікту, також є ключовою для збереження психічного здоров’я громадян.

Враховуючи зазначені заходи, можна забезпечити ефективний захист населення в умовах надзвичайних ситуацій воєнного характеру, коли забруднення поверхневих вод може стати чинником додаткового ризику для громадського здоров’я та довкілля.

ВИСНОВКИ

У ході дослідження встановлено, що річкові системи України демонструють стійкі ознаки антропогенного навантаження, зокрема через стоки – як комунального, так і промислового походження. Саме скиди стічних вод – нерідко недостатньо очищених – відіграють важливу роль у погіршенні якості води та стану річкових екосистем. Щорічно у водні об'єкти скидається понад 2,5 млрд м³ зворотних вод, з яких значна частина не відповідає нормативам очистки, формуючи умови хронічної токсичності водного середовища.

Досліджено, що річка Зубра, права притока Дністра, зазнає екстремального урбаністичного впливу, протікаючи через південні масиви Львова (зокрема, Сихівський район). Низька середня витрата води (0,03 до 0,14 м³/с) та висока щільність забудови створюють умови, за яких річка втрачає здатність до самоочищення і фактично функціонує як стічний колектор. У міських зонах домінують стоки побутових і промислових вод. Так, у Львові річка Зубра забруднюється каналізаційними фекаліями, зливами з автодоріг і стоками з ринку «Шувар». Вміст забрудників багаторазово перевищує фонові концентрації: зафіксовано критичне перевищення вмісту амонійного азоту – до 30 разів понад ГДК (до 10,3 мг/дм³ при нормі 0,5 мг/дм³); біохімічне споживання кисню сягає 11,6 мг/дм³, що відповідає IV класу («погана» вода); за сукупністю показників води річки у межах міста віднесено до V класу якості («дуже погана»), а індекс забрудненості води у пікові періоди (осінь) сягає значень 9,0, що класифікується як «дуже брудна».

Якість води Південного Бугу демонструє чіткий географічний градієнт забруднення. У верхній течії (наприклад, біля Вінниці) спостерігається помірне забруднення із середнім ІЗВ приблизно 2,8–3,2. Однак у середній та нижній течії, де кумулятивно позначається аграрний змив та промислові скиди, спостерігається тенденція до підвищення концентрацій біогенних елементів.

Доведено, що домінування аграрного сектору (23,5% ВДВ басейну) призводить до дифузного змиву нітратів та фосфатів, що є драйвером масової евтрофікації.

У зонах скидів великих міст (Вінниця, Хмельницький) фіксуються аномальні сплески забруднення: так, нижче вінницького скиду концентрація амонійного азоту сягала 15,1 мг/дм³ (7,5 ГДК). У нижній течії та водосховищах (Ладижинське, Олександрівське), які створюють умови для застою, фіксуються «мертві зони» з дефіцитом кисню та періодичні замори риби.

Аналіз стану Дніпровського каскаду виявив катастрофічні наслідки військової агресії, що наклалися на історичне промислове навантаження. Руйнування Каховської ГЕС у 2023 році спричинило ремобілізацію донних відкладень, які десятиліттями акумулювали важкі метали та радіонукліди, перетворивши пасивне забруднення на активну «токсичну часову бомбу». У 94% проб ґрунту з осушеного дна водосховища виявлено перевищення ГДК важких металів (свинець, цинк, миш'як) у 7–17 разів, що створює довгострокові ризики вторинного забруднення через пилові бурі та опади. Верхня частина Дніпровського водосховища (Самарська затока) визначена як зона підвищеного ризику з концентраціями кадмію та свинцю, що перевищують ГДК у 2–4 рази через вплив індустріальних вузлів.

Встановлено, що глобальні кліматичні зміни виступають каталізатором екологічних ризиків. Зростання гідрологічної волатильності (чергування посух та паводків) знижує асиміляційну здатність річок. У періоди межені концентрація забруднювачів у малих річках (як Зубра) критично зростає через відсутність розбавлення, а під час екстремальних опадів відбувається перевантаження каналізаційних мереж та змив дифузних забруднень з аграрних угідь.

На основі євроінтеграційних вимог (зокрема нової Директиви ЄС 2024/3019) обґрунтовано необхідність диференційованого підходу до реабілітації річкових басейнів: для урбанізованих зон: впровадження четвертинної очистки стічних вод для видалення мікрозабруднювачів та розділення зливової і побутової каналізації; для аграрних зон: створення прибережних буферних смуг, що затримують до 80% біогенного змиву, та перехід до точного землеробства; для постраждалих від війни територій: оперативний скринінг токсичних осередків та застосування принципу «Build Back Better» при відновленні інфраструктури з урахуванням нових кліматичних реалій.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Аналіз впливу кліматичних змін на водні ресурси України / Сніжко С., Шевченко О., Дідовець Ю. // Під ред. Садогурської С.С. Центр екологічних ініціатив «Екодія», Київ. 2021, 32 с.
2. Бабієнко В. В., Мокієнко А. В. Гігієна води та водопостачання населених місць: навчальний посібник. Одеса: «Прес-кур'єр». 2021. 188 с.
3. Водопостачання та водна безпека у контексті російської агресії / Зелінський С. Е. Кропивницький. 2022. 44 с.
4. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЕС. Основні терміни та їх визначення. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text
5. Водні ресурси: використання, охорона, відтворення, управління / А.В. Яцик та ін. Київ: Генеза, 2007. 360 с.
6. Водний кодекс України / Введений в дію Постановою Верховної Ради України № 214/95-ВР від 06.06.1995. URL: http://zakon.rada.gov.ua/-laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80
7. Ганущак Мар'яна, Тарасюк Ніна Водний чинник в розвитку і функціонуванні природно-антропогенних комплексів басейну річки Стир: монографія. Луцьк : Вежа-Друк, 2019. 236 с.
8. Гідроекологічний моніторинг водних екосистем з огляду на сучасні європейські напрямки у природоохоронній діяльності / А. М. Петрук // *Вісник НУ водного господарства та природокористування. Серія: Сільськогосподарські науки.* 2023. Вип. 3. С. 24-34.
9. Голодовська О.Я. Басейновий принцип управління екологічною безпекою Західного Бугу (на прикладі Львівської області) : автореф. дис. ... канд. тех. наук: 21.06.01, 2019. Львів. 25 с.
10. Гопчак І.В., Яцик А.В., Басюк Т.О. Методологія водогосподарсько-екологічного районування басейнів малих річок. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Технічні науки».* Випуск 1(58). 2019. С. 14-22.
11. Гродзинський М. Д., Савицька О. В. Ландшафтознавство: навчальний посібник. К.: Видавничо-поліграфічний центр Київський університет, 2008. 319 с.
12. Департамент екології та природних ресурсів Львівської обласної державної адміністрації. https://deplv.gov.ua/
13. Директива Ради 98/83 / ЄС «Про якість води, призначеної для споживання людиною» Верховна Рада України. офіційн. сайт. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_963
14. Доповідь про стан навколишнього природного середовища у Львівській області за 2020–2024 рр. Львів. 2020. 2021. 2022. 2023. 2024.
15. ДСТУ ISO 5667-6:2009 Якість води. Відбирання проб. Частина 6. Настанови щодо відбирання проб з річок і струмків (ISO 5667-6:2005, IDT). URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64511
16. Єдине міжвідомче керівництво по організації та здійсненню державного моніторингу вод. Затверджено Наказом Міністерства екології та

природних ресурсів України № 485 від 24.12.2001. URL: http://www.uazakon.com/documents/date_8r/pg_izgvxm/index.htm

17. Інформація щодо територій та об'єктів природно-заповідного фонду України. Міністерство енергетики та захисту довкілля. URL: https://menr.gov.ua/news/31512.html

18. Жукінський В.М. Екологічний ризик та екологічні збитки якості поверхневих вод: актуальність, термінологія, кількісна оцінка Водні ресурси. 2003. Т. 30, № 2. С. 213-321.

19. Закон України «Про водовідведення та очищення стічних вод» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2023, № 58, ст.181). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2887-20#Text

20. Злочевський М. В., Петрук Г. М., Клименко М. О., Древецький В. В. Відновлення водних екосистем малих річок України. *Вісник Інженерної академії України.* 2020. Вип. 3-4. С. 227-230.

21. Зуб Л. М., Томільцева А.І., Томченко О.В. Сучасна трансформація водозбірних басейнів лісостепових річок. *Екологічна безпека та природокористування.* К, 2015. Вип. 3 (19). С. 65–72.

22. Забезпечення екологічної безпеки поверхневих джерел водопостачання в умовах упровадження положень Водної рамкової директиви ЄС: монографія / В. Л. Безсонний. Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2023. 114 с.

23. Комп'ютерне моделювання процесів біологічного очищення стічних вод в аеротенках із пластинами / М. М. Біляєв, М. В. Лемеш, В. В. Біляєва [та ін.] // Наука та прогрес транспорту. 2020. № 5(89). С. 5-14.

24. Кошелєва О. Поводження з водними стоками промислових підприємств: запитання й відповіді. *Журнал головного інженера.* 2021. № 2(50). С. 58-65.

25. Лаврик О. Д. Л-13 Річкові ландшафтно-технічні системи: монографія. Умань : ВПЦ «Візаві», 2015. 301 с.

26. Малько О.Д., Закоморна К.О. Імплементація європейських стандартів у законодавче забезпечення постачання питної води. *Проблеми техногенно-екологічної безпеки в сфері цивільного захисту: матеріали конференції.* Харків 8-9 грудня 2022 року. Харків. 2022. С. 211-214.

27. Матвійчук М. В. Оптимізація стоків з використанням нейронної мережі при очищенні промислових стічних вод. *Artificial Intelligence.* 2023 № 2. https://doi.org/10.15407/jai2023.02.107

28. Методологія визначення фізичних параметрів зворотних вод при їх надходженні до поверхневих водойм різного типу / В. Ісаєнко, В. Фролов, С. Мадж, О. Машков // Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології. 2020. Вип. 30. С. 41-49.

29. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / за заг. ред. В.Д. Романенко та ін. Київ: Символ-Т, 1998. 28 с.

30. Методика розрахунку антропогенного навантаження і класифікації екологічного стану басейнів малих річок України / ред. А.В. Яцик та ін. Київ : УНДІВЕП, 2007. 71 с.

31. Мольчак Я. О. Річки та їх басейни в умовах техногенезу / Мольчак Я. О., Герасимчук З.В., Мисковець І. Я. Луцьк. РВВ ЛДТУ, 2004. 336 с.

32. Нестер А. А. Стічні води підприємств та їх очищення : монографія / А. А. Нестер, Н. М. Корчик, Б. А. Баран. Хмельницький : ХНУ, 2008. 171 с

33. Основні засади управління якістю водних ресурсів та їхня охорона : навч. посібник / В. К. Хільчевський, М. Р. Забокрицька, Р. Л. Кравчинський, О. В. Чунарьов. Київ: ВПЦ "Київський університет", 2015. 172 с.

34. Правила приймання стічних вод підприємств у комунальні та відомчі системи каналізації населених пунктів України. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0403-02#Text

35. Правове регулювання охорони вод від забруднення відходами промисловості. http://surl.li/nfucxf

36. Руденко Л.Г. Екологічна оцінка сучасного стану поверхневих вод (методичні аспекти) / Л.Г. Руденко, О.І. Денісова, А.В. Яцик // *Укр. геогр. журн.* 1996. № 3. С. 35-38.

37. Севостьянов І. В., Токарчук О.А., Горбаченко А.А. Розробка технології для високоефективного безперервного очищення стічних вод переробних підприємств. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2020. № 3(110). С. 103-116.

38. Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р., Стельмах В.Ю. Гідроекологічні аспекти водопостачання та водовідведення: навч. посібник. Київ: ДІА, 2023. 228 с.

39. Царик Л.П. Природокористування та охорона природи у басейнах малих річок: монографія / Л.П. Царик, П.Л. Царик, І.Р. Кузик, В.Л. Царик / за ред. проф. Царика Л.П. Тернопіль: СМП «Тайп», 2021 162 с.

40. Цвєткова Г., Закорчевна Н. Водна безпека України в розрізі 6 водних Директив ЄС. https://ecolog-ua.com/news/vodna-bezpeka-ukrayiny-v-rozrizi-6-vodnyh-dyrektyv-yes

41. Шадура В.О., Кравченко Н.В. Водопостачання та водовідведення: навч. посібник. Рівне: НУВГП, 2018. 343 с.

42. Шіпка М. З. Геоекологічний стан басейну р. Полтви та його оптимізація. Дис. канд. геогр. наук: 11.00.11 / ЛНУ імені І. Франка. Волинський національний університет імені Лесі Українки, Луцьк, 2021. 332 с.

43. Rybalova O.,. Artemiev S. Development of a procedure for assessing the environmental risk of the surface water status deterioration. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies,* 5/10 (89), 2017. P. 67–76.

44. European Water Charter. URL: https://iea.uoregon.edu/treaty-text/1968-europeanwatercharterentxt

45. Regulation of 4 December 2001 No. 1372 concerning water supply and water intended for human consumption (Drinking Water Regulations) URL: https://app.uio.no/ub/ujur/oversatte-lover/data/for-20011204-1372-eng.pdf