

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С. З. ГЖИЦЬКОГО
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: «Екологічна оцінка впливу змін клімату на гідрологічний режим
водних об'єктів в Україні та розробка рекомендацій щодо адаптації
водогосподарських систем»**

Виконав: студент групи Еко-61
спеціальності 101 «Екологія»
ГУЛЯН Віталій Юрійович

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
Гуляну Віталію Юрійовичу

1. Тема роботи: «Екологічна оцінка впливу змін клімату на гідрологічний режим водних об'єктів в Україні та розробка рекомендацій щодо адаптації водогосподарських систем»

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 Водопостачання у контексті сталого розвитку та кліматичних змін

- 1.2 Сучасні тенденції змін клімату та їхній вплив на гідросферу

- 1.3 Світовий досвід адаптації водогосподарських систем до змін клімату

- 2 Об'єкт, умови та методика досліджень

- 2.1 Фізико-географічна характеристика досліджуваної території України в контексті кліматичної мінливості

- 2.2 Кліматичний режим та просторово-часова варіабельність гідрокліматичних індикаторів України

- 2.2.1 Аналіз довготривалих рядів та тенденцій гідрокліматичних індикаторів

- 2.2.2 Довготривалі тренди та динаміка гідрокліматичного балансу

- 2.2.3 Динаміка аридизації за індексами SPI та SPEI

- 2.3 Методологія оцінки кліматичних ризиків для водних ресурсів

- 3 Результати дослідження

- 3.1 Аналіз виявлених тенденцій змін кліматичних показників на території України

- 3.2 Оцінка сучасного стану гідрологічного режиму та водних ресурсів України в умовах кліматичної мінливості

- 3.3 Прогнозні траєкторії трансформації гідрологічного режиму річок України в контексті сценаріїв RCP та SSP

- 3.4 Трансформація гідрорежиму в умовах аридизації клімату півдня України
- 3.5 Аналіз вразливості малих водозбірних басейнів Західної України до екстремальних паводкових явищ
- 3.6 Дисбаланс у функціонуванні водосховищ в умовах кліматичних трансформацій
- 3.7 Вразливість водних екосистем в умовах кліматичної нестабільності
- 3.8 Обґрунтування напрямів адаптації водогосподарських систем до кліматичних змін
- 4 Охорона праці та захист населення в умовах надзвичайних ситуацій
- 4.1 Охорона праці у сфері водогосподарської діяльності та екологічного моніторингу
- 4.2 Комплексний підхід до управління ризиками надзвичайних ситуацій природного та кліматичного походження
- 4.3 Захист населення в умовах надзвичайних ситуацій

Висновки

Бібліографічний список

5. 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 проєкту	При-мітка
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 _____ Віталій ГУЛЯН
(підпис)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Мар'яна ІВАНКІВ
(підпис)

УДК 551.583:556.53:504.06:628.1(477)

Екологічна оцінка впливу змін клімату на гідрологічний режим водних об'єктів в Україні та розробка рекомендацій щодо адаптації водогосподарських систем. Гулян Віталій Юрійович. Кваліфікаційна робота. Кафедра екології та захисту довкілля. Львів, ЛНУВМБ імені С. З. Гжицького, 2025. 80 с.

80 ст. текст. част., 9 табл., 23 рис., 55 джерел

У роботі здійснено комплексну екологічну оцінку впливу кліматичних змін на гідрологічний режим водних об'єктів України, що має критичне значення в контексті глобального потепління та посилення антропогенно-техногенного навантаження. Трансформація гідрорежиму є інтегральним індикатором кліматичних змін, який безпосередньо впливає на гідроекологічний стан водних екосистем, водну безпеку та стійкість національного водогосподарського комплексу.

Україна належить до держав із підвищеною вразливістю до кліматичних змін, посідаючи 32-ге місце в Європі за рівнем водозабезпеченості, що зумовлює зростання ризиків для стабільного функціонування аграрного й енергетичного секторів. За умов високої чутливості гідрологічного режиму до термічного чинника та значної зарегульованості річкового стоку, на території країни формується двоїстий характер кліматичного впливу: прогресуюча аридизація південних регіонів поєднується зі зростанням частоти та інтенсивності катастрофічних паводків у західних областях. Встановлено тенденцію до «континенталізації» гідрологічного циклу: зменшення ролі снігового живлення та зростання частки інтенсивних зливових опадів, що не забезпечують ефективного поповнення ґрунтових вод.

Доведено, що підвищення температури води та зменшення водності призводять до втрати здатності річок до самоочищення, подовження періоду «цвітіння» води на 15–30 днів та деградації водних екосистем.

Обґрунтовано необхідність переходу від традиційного управління пропозицією води до управління попитом, що передбачає розроблення науково підкріплених адаптаційних стратегій відповідно до вимог Водної рамкової директиви ЄС та рекомендацій UNEP щодо інтегрованого управління водними ресурсами, що, своєю чергою, визначає імперативність цього дослідження.

Проаналізовано питання охорони праці та захисту населення.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	8
1.1 Водопостачання у контексті сталого розвитку та кліматичних змін .	8
1.2 Сучасні тенденції змін клімату та їхній вплив на гідросферу ...	9
1.3 Світовий досвід адаптації водогосподарських систем до змін клімату	15
2 ОБ'ЄКТ, УМОВИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	18
2.1 Фізико-географічна характеристика досліджуваної території України в контексті кліматичної мінливості	18
2.2 Кліматичний режим та просторово-часова варіабельність гідрокліматичних індикаторів України	21
2.2.1 Аналіз довготривалих рядів та тенденцій гідрокліматичних індикаторів	23
2.2.2 Довготривалі тренди та динаміка гідрокліматичного балансу	27
2.2.3 Динаміка аридизації за індексами SPI та SPEI	29
2.3 Методологія оцінки кліматичних ризиків для водних ресурсів	33
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	35
3.1 Аналіз виявлених тенденцій змін кліматичних показників на території України	35
3.2 Оцінка сучасного стану гідрологічного режиму та водних ресурсів України в умовах кліматичної мінливості	40
3.3 Прогнозні траєкторії трансформації гідрологічного режиму річок України в контексті сценаріїв RCP та SSP	48
3.4 Трансформація гідрорежиму в умовах аридизації клімату півдня України	53
3.5 Аналіз вразливості малих водозбірних басейнів Західної України до екстремальних паводкових явищ	58
3.6 Дисбаланс у функціонуванні водосховищ в умовах кліматичних трансформацій	60
3.7 Вразливість водних екосистем в умовах кліматичної нестабільності	62
3.8 Обґрунтування напрямів адаптації водогосподарських систем до кліматичних змін	65
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ	70
4.1 Охорона праці у сфері водогосподарської діяльності та екологічного моніторингу	70
4.2 Комплексний підхід до управління ризиками надзвичайних ситуацій природного та кліматичного походження	71
4.3 Захист населення в умовах надзвичайних ситуацій	73
ВИСНОВКИ.....	75
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	77

ВСТУП

Актуальність теми. Кліматичні зміни, що є одним з найгостріших глобальних викликів XXI століття, мають прямий і потужний вплив на всі компоненти природного середовища. Особливої загрози зазнає гідросфера, адже водні ресурси є ключовими для стабільного функціонування екосистем, соціально-економічного розвитку та національної безпеки будь-якої країни.

Прісна вода є визначальним чинником сталого розвитку нації, оскільки не лише задовольняє основні фізіологічні потреби людини, а й забезпечує функціонування стратегічних секторів економіки – аграрного, промислового, енергетичного. Незважаючи на те, що загальний обсяг водних ресурсів на планеті перевищує ті обсяги, що необхідні людству для повсякденного життя [1, 32], у багатьох регіонах світу доступ до якісної води залишається обмеженим [19, 21, 27, 54].

Сучасна глобальна динаміка свідчить, що антропогенно індуковані зміни клімату посилюють проблему нестачі води, спричиняючи як зростання попиту на водні ресурси внаслідок демографічного вибуху, так і скорочення доступних запасів через трансформацію гідрокліматичних режимів [48].

Кліматичні трансформації, що дедалі частіше спостерігаються як у глобальному, так і в регіональному вимірах, уже не розглядаються як гіпотетичне майбутнє, а є науково верифікованим фактом, який чинить системний вплив на гідросферу. Зміни гідрологічного режиму водних об'єктів, зокрема водності, сезонного розподілу стоку, термічного режиму та якісних характеристик води, – виявляють чітку залежність від кліматичних факторів, таких як підвищення середньорічної температури повітря, зростання інтенсивності випаровування, перерозподіл опадів у межах сезону, а також збільшення частоти екстремальних гідрометеорологічних явищ.

Регіональні прояви цих змін в Україні, що вирізняється значним аграрним та промисловим потенціалом, набувають стратегічної значущості. На основі аналізу даних багаторічного моніторингу, проведеного Українським гідрометеорологічним інститутом (УкрГМІ) встановлено, що впродовж останніх трьох десятиліть спостерігається стійка тенденція до зменшення об'єму поверхневого стоку у весняний період, що пояснюється як скороченням снігового покриву, так і зсувом фазового переходу «сніг–вода» на більш ранні строки. Водночас фіксується зростання частоти та інтенсивності паводкових явищ літнього типу, спричинених короткочасними, але надзвичайно потужними зливами. Така трансформація гідрологічного режиму спричиняє дестабілізацію водних екосистем, що особливо критично в умовах підвищеного антропогенного

навантаження (скидання забруднених стічних вод, нераціональне водокористування, меліоративні впливи). Зниження об'єму стоку безпосередньо корелює із втратою здатності водойм до самоочищення, що, у свою чергу, сприяє прогресуючій евтрофікації.

З огляду на обмеженість водних ресурсів та їх нерівномірний територіальний розподіл, Україна належить до числа країн з підвищеною вразливістю до змін клімату. Вона посідає 32-е місце серед 40 європейських країн за рівнем водозабезпеченості, що посилює її чутливість до змін гідрологічного режиму.

Таким чином, актуальність роботи зумовлена необхідністю комплексної екологічної оцінки поточних і прогнозованих кліматичних ризиків для водних ресурсів України. Результати дослідження мають важливе наукове та практичне значення, оскільки дозволяють сформулювати інструментарій адаптаційного управління водними ресурсами в контексті національної кліматичної політики, імплементації принципів сталого розвитку та інтегрованого управління водними басейнами.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є комплексна екологічна оцінка впливу змін клімату на гідрологічний режим водних об'єктів України та розроблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо адаптації водогосподарських систем.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися завдання:

- проаналізувати сучасні тенденції зміни клімату на території України;
- охарактеризувати методичні підходи до оцінювання впливу кліматичних факторів на гідрологічні характеристики;
- здійснити аналіз рядів спостережень за гідрологічними та кліматичними параметрами;
- оцінити зміни основних гідрологічних характеристик водних об'єктів;
- встановити регіональні особливості зміни водних ресурсів у контексті кліматичних трансформацій;
- розробити рекомендації щодо адаптації водогосподарських систем до прогнозованих кліматичних змін.

Об'єкт дослідження – гідрологічний режим водних об'єктів України.

Предмет дослідження – вплив змін клімату на гідрологічний режим та функціонування водогосподарських систем, зокрема їх адаптація до цих змін.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Водопостачання у контексті сталого розвитку та кліматичних змін

Водопостачання виступає центральним елементом водної безпеки, що має мультисекторальне значення: забезпечення здоров'я населення, продовольчої безпеки, виробництва енергії, підтримує екосистемні послуги, ефективне природокористування, стимулювання економічного розвитку та створення зайнятості. Воно є критичною інфраструктурою, яка формує основу соціально-економічної та екологічної стійкості.

Згідно із Звітом «World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace» (UN-Water / UNESCO), відсутність або недоступність безпечної питної води й санітарії є одною з ключових перешкод на шляху досягнення Цілей сталого розвитку (Goals of Sustainable Development, SDGs), зокрема **SDG 6 «Чиста вода та санітарія»**. Статистика свідчить, що у 2024 році приблизно 2,2 мільярда людей у світі не мали доступу до безпечного водопостачання, а 3,4 мільярда не мали доступу до систем санітарії, які відповідають стандартам безпеки [1, 41-42, 44, 54].

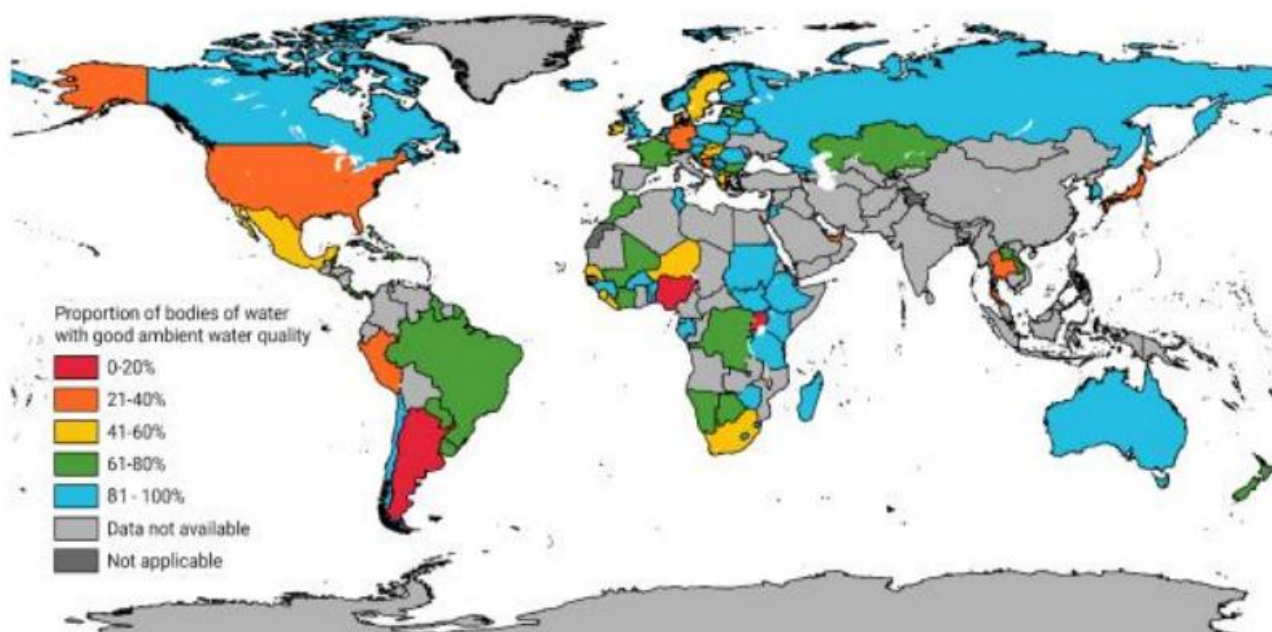


Рисунок 1.1 – Глобальні дані щодо індикатора 6.3.2 – частки водойм із якісною водою – представлені на платформі «UN-Water SDG 6 Data Portal» [54]

Водна безпека визначається як здатність систем водопостачання задовольняти базові потреби людства та екосистем у прісній воді упродовж часу, з урахуванням кліматичних змін, демографічного навантаження, зростання економічної активності та урбанізації. У контексті SDG 6, FAO, як уповноважена у справах індикаторів 6.4.1 (ефективність використання води) та 6.4.2 (рівень водного стресу), наголошує, що без адекватного управління водними ресурсами неможливо забезпечити продовольчу безпеку та сталий розвиток сільського господарства. Світовий звіт «Water Security Financing Report 2024» зазначає, що інвестиції у водний сектор залишаються суттєво недостатніми, особливо у країнах з високим або критичним водним стресом, що створює загрозу досягнення SDG 6 у визначений термін [41, 44, 54].

Звіти UN-Water та Copernicus ESOTC демонструють тенденцію до зростання водного стресу у багатьох регіонах світу, де попит росте швидше, ніж здатність ресурсів відновлюватись [41]. За оцінками Світового банку та ООН, до 2050 року глобальний попит на воду може зрости щонайменше на 50–55% [54]. Водні ресурси все частіше стають об'єктом і причиною міжнародної напруги та конфліктів, що підкреслюється у Всесвітньому звіті ООН про розвиток водних ресурсів за 2024 рік [44], де наголошується, що водна криза загрожує світовому миру. Таким чином, **вода стає або зброєю, або об'єктом збройного конфлікту.**

Якість води у водоймах погіршується під впливом екстремальних гідрометеорологічних явищ: зниження спостерігається під час тривалих посух і періодів аномальної спеки (у 68% випадків), сильних дощів і паводків (51%), а також унаслідок довготривалих кліматичних змін (56%). З огляду на зростання частоти й інтенсивності таких подій через зміну клімату, під загрозою опиняються як екологічна стабільність водних екосистем, так і забезпечення населення безпечною прісною водою [1, 7, 8, 20, 25, 39, 55].

1.2 Сучасні тенденції змін клімату та їхній вплив на гідросферу

Технологічний прогрес XX–XXI століть забезпечив суттєве зростання рівня життя значної частини людства: покращення водопостачання, охорони здоров'я, транспортної інфраструктури, енергетичного забезпечення. Проте ці здобутки супроводжуються масштабним навантаженням на природні системи: надмірною експлуатацією ресурсів, трансформацією природних екосистем, накопиченням

відходів побутового й промислового походження, а також забрудненням компонентів довкілля через викиди та скиди з індустріальних і транспортних джерел. У природі діє принцип «все взаємозалежне», і жоден антропогенний вплив не залишається ізольованим: він часто запускає ланцюги вторинних ефектів, які можуть мати незворотні або руйнівні наслідки для біосфери та людства.

Однією з ключових передумов сучасної екологічної кризи є інтенсивні антропогенні викиди парникових газів. Як зазначають у доповіді Міжурядової групи експертів із зміни клімату ООН (The Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC), концентрації CO₂, CH₄, N₂O в атмосфері зросли до рівнів, які значною мірою перевищують доіндустріальний фон, і це слугує головним рушієм глобального потепління з середини XX ст. [41, 44].

Згідно з сучасними кліматичними моделями (CMIP6, ISIMIP Phase 2b), зміна клімату є одним із найсуттєвіших драйверів перерозподілу гідрологічного балансу планети. Зростання глобальної середньої температури, зміна сезонності опадів та інтенсифікація екстремальних гідрометеорологічних подій (посух, паводків, теплових хвиль) призводять до зниження рівня підземних вод, виснаження поверхневих запасів та деградації водних екосистем [4144, 54].

За даними МГЕЗК (IPCC) (2023), унаслідок кліматичних трансформацій до 2050 р. понад 4 млрд людей проживатимуть у регіонах із критичним водним стресом. Додатково, збільшення антропогенного водозабору на 20–30 % у найближчі десятиліття [1, 41, 48] створює кумулятивний ефект виснаження водоносних горизонтів, що особливо гостро проявляється у країнах із континентальним кліматом і низьким рівнем гідроресурсної забезпеченості.

Безупинні антропогенні викиди парникових газів призведуть до подальшого посилення глобального потепління та спричиняють довгострокові зміни в усіх компонентах кліматичної системи. Це значно підвищує ризик виникнення всеохоплюючих і, в багатьох випадках, незворотних наслідків для людства та екосистем [1, 53]. Проте, прогнозні оцінки майбутніх викидів суттєво варіюють залежно від демографічних сценаріїв, технологічного розвитку, енергетичних технологій, тенденцій в землекористуванні та, що найважливіші, амбіції та ефективність кліматичної політики, що впроваджується [12, 50, 51, 55].

Щоб систематизувати ці варіанти розвитку, фактори і кількісну оцінку їх впливу міжнародне кліматичне співтовариство (IPCC) розробило концепцію сценаріїв – послідовних і внутрішньо узгоджених описів можливих шляхів розвитку суспільства та його взаємодії з кліматичною системою (рис. 1.2) [41, 42, 44, 47, 50]. Ці сценарії є фундаментальним інструментом для моделювання майбутніх кліматичних умов та оцінки пов'язаних з ними ризиків для економіки, соціальної сфери та довкілля.

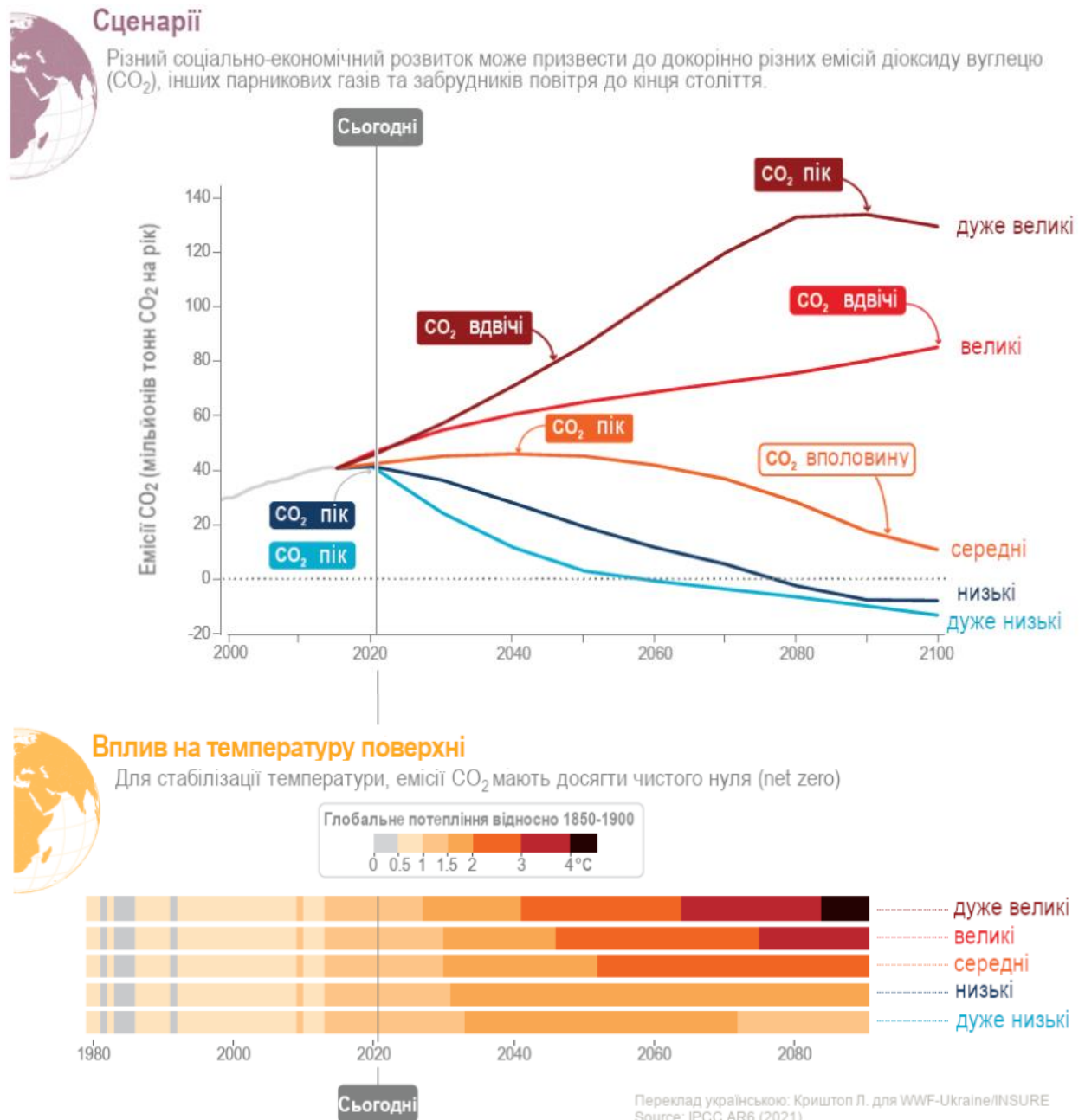


Рисунок 1.2 – Прогнозовані кліматичні сценарії: щорічні обсяги викидів CO_2 та відповідне глобальне потепління за п'ятьма основними траєкторіями соціально-економічного розвитку – SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 та SSP5-8.5 [41, 44]

У рамках Шостого оціночного звіту (AR6) IPCC замінила репрезентативні траєкторії концентрації парникових газів та аерозолей (RCP – Representative Concentration Pathways) новим набором сценаріїв, відомих як спільні соціально-економічні шляхи (Shared Socioeconomic Pathways – SSP). Вони слугують основою для побудови кліматичних моделей, оцінки впливів змін клімату та розробки адаптаційних стратегій, забезпечуючи альтернативні шляхи майбутнього, що враховують невизначеність розвитку та взаємодію людських і природних систем:

- SSP1-1.9: сценарій, що передбачає низькі викиди та суворі кліматичні заходи, спрямовані на обмеження потепління на рівні 1,5°C до кінця століття (відповідає цілі Паризької угоди – зменшення викидів парникових газів);
- SSP1-2.6: сценарій, що передбачає низькі викиди та дозволяє досягти цілі значно нижче 2°C глобального потепління;
- SSP2-4.5: проміжний сценарій, за якого викиди залишаються близькими до нинішніх рівнів до середини століття, що веде до потепління приблизно на 2,5–3°C;
- SSP3-7.0: сценарій високих викидів, пов'язаний із регіональною конкуренцією та енергетичною інтенсивністю, що веде до потепління близько 3,5°C;
- SSP5-8.5: сценарій дуже високих викидів, заснований на інтенсивному використанні викопного палива, що може спричинити потепління понад 4°C до 2100 року [41, 44, 55].

Ці сценарії є критично важливими для планування адаптаційних заходів та оцінки кліматичних ризиків, надаючи наукову основу для альтернативних бачень майбутнього, які формують основу для прийняття рішень на глобальному, національному та регіональному рівнях.

У 2024 році середня температура поверхні Землі досягла нового рекорду: +1,29 °C відносно середнього по XX століттю (або приблизно +1,46 °C вище доіндустріального періоду 1850–1900), причому десять найтепліших років спостерігалися протягом останнього десятиліття [48]. Це означає стійку тенденцію нагрівання, яка підсилює процеси випаровування та посилює екстремальні гідрометеорологічні явища.

Світові гірські льодовики в останні десятиліття мають стійку негативну масову рівновагу; кумулятивна втрата товщі референтних льодовиків з 1980 року перевищує ~25 м водного еквіваленту (за даними довгострокових серій спостережень), із подальшим інтенсифікованим розпадом у недавні роки. Щорічні втрати льоду продовжують сприяти підвищенню рівня моря й зміні річних режимів стоку у гірських басейнах.

Глобальний середній рівень моря (GMSL) зростає з прискоренням: накопичення (рис. 1.3) становить близько 99,4 мм з 1993 року (дані супутникового ретрекінгу), а аналіз NASA показав більш високий, ніж очікувалося, річний приріст у 2024 році – близько 0,59 см/рік у 2024 році (порівняно з очікуваними $\approx 0,43$ см/рік). Останні дослідження також вказують, що темп підйому середніх рівнів океану помітно збільшився упродовж останніх трьох десятиліть.



Рисунок 1.3 – Природні та антропогенні детермінанти підвищення рівня моря

Кліматичні трансформації чинять системний, мультиплікативний та часом непередбачуваний вплив на функціонування гідросфери [22, 32]. Серед верифікованих змін спостерігаються стійкі тенденції, зокрема: зсув сезонності сніготанення, скорочення обсягів літнього стоку, зростання амплітуд пікових витрат води та посилення проявів евтрофікації у водних екосистемах. Такі зміни не лише модифікують гідрологічний режим, а й актуалізують необхідність комплексного перегляду традиційних парадигм управління водними ресурсами.

Таким чином, підвищення температури призводить до зменшення снігового запасу і раннього танення снігу в середніх широтах і гірських системах, що зумовлює:

- зсув піків стоку на більш ранній період весни;
- скорочення літнього стоку в басейнах, які раніше залежали від поступового талого стоку;
- підвищення ризику літньо-осінньої нестачі води при збереженні та зростанні попиту.

Такі зміни вже зафіксовано у багатьох гірських регіонах і прогнозуються для більшості середніх широт.

Збільшена випаровуваність і зсуви опадів призводять до зниження поповнення підземних вод у багатьох регіонах; одночасно інтенсивні опади стають більш сконцентрованими в часі, зменшуючи ефективність акумуляції. ІРСС відзначає, що до 3–4 млрд людей можуть зазнати серйозного дефіциту води при поточних тенденціях та слабкій адаптації.

Повені і сильні зливи підвищують перенесення забруднень у водні системи (ерозія, сільськогосподарські стоки, міський стік), тоді як низькі літні стоки підвищують концентрацію забруднень і температуру води, погіршуючи екологічний стан водойм і підвищуючи ризик цвітіння водоростей [7, 21].

Підвищення середнього рівня моря й частіше високі припливні події посилюють інфільтрацію морської води в прибережні ґрунти й водоносні горизонти, підвищують рівень підтоплень і ризик ерозії берегів; на деяких ділянках зміни вже призводять до переміщення берегової лінії та втраті екосистем.

Постійне нарощення техногенного навантаження на водні ресурси планети, зумовлене інтенсивною індустріалізацією, урбанізацією та аграрним водокористуванням, у поєднанні зі зростанням глобального споживання прісної води, кліматичним потеплінням і трансформацією гідрологічних циклів, перетворює проблему водного дефіциту на системну глобальну кризу XXI століття.

1.3 Світовий досвід адаптації водогосподарських систем до змін клімату

Зростаюча інтенсивність і частота гідрометеорологічних екстремумів, засвідчена останніми оцінками IPCC і UNEP, робить адаптацію водогосподарських систем пріоритетом національної безпеки та сталого розвитку. Водний сектор стоїть «в авангарді» кліматичних ризиків, оскільки зміни температури, опадів, снігового покриву й рівня моря прямо корелюють зі змінами річкового стоку, доступності прісної води та якості водних екосистем.

Світовий досвід показує, що успішна адаптація вимагає поєднання дій на різних рівнях – від локальних заходів до державної політики та міждержавних відносин. В Україні пріоритетним є впровадження басейнового принципу управління водними ресурсами та удосконалення законодавчої бази з урахуванням міжнародних вимог [12, 16, 17, 19, 32, 44, 45, 52].

Світовий досвід адаптації водогосподарських систем до змін клімату чітко засвідчує, що ефективна стратегія має бути комплексною, багаторівневою та інтегрованою. Вона виходить за межі інженерних рішень і охоплює інституційні реформи інтегрованого управління водними ресурсами, впровадження високотехнологічних водозберігаючих систем (крапельне зрошення, повторне використання) та відновлення природних екосистем.

Інтегроване управління водними ресурсами є наріжним каменем сучасної кліматичної адаптації. Цей підхід, активно просувається ООН та Глобальним водним партнерством (GWP), виходить за рамки традиційного секторального управління та передбачає узгоджене управління водою, землею та суміжними ресурсами в межах гідрографічних басейнів.

Технологічна адаптація спрямована на підвищення ефективності використання та диверсифікацію джерел водопостачання, що є особливо актуальним для регіонів із прогнозованою аридизацією (RCP8.5 сценарій) [1, 41].

Технології поповнення та диверсифікації джерел водопостачання є ключовим напрямом адаптації водогосподарських систем до змін клімату, оскільки вони дозволяють зменшити залежність від традиційного річкового

стоку та забезпечити стабільність водозабезпечення в умовах посух і нерівномірного розподілу опадів. До таких технологій належать опріснення морської та солонуватої води, повторне використання стічних вод (reclaimed water), а також створення інтегрованих систем управління водними ресурсами, що поєднують різні джерела постачання. Одним із найуспішніших прикладів є система NEWater у Сінгапурі – високотехнологічний комплекс, що забезпечує до 40 % потреб держави у прісній воді завдяки багатоетапному очищенню стічних вод за допомогою мікрофільтрації, зворотного осмосу та ультрафіолетової дезінфекції [44]. Іншим зразком є досвід Ізраїлю, який реалізував масштабну програму десалінізації та інтеграції опрісненої води з іншими джерелами, що дозволило країні покривати понад 70 % потреб у питній воді навіть за умов хронічної аридності [1, 43]. Понад 90% очищених стічних вод спрямовується на потреби сільського господарства, зокрема для зрошення. Це є показовим прикладом впровадження моделі кругової економіки води (Circular Economy of Water), яку активно популяризує UNEP. Такі технології, згідно з останніми звітами IPCC AR6 (2022) та UN Water (2024), визнаються стратегічно важливими для формування кліматостійких водогосподарських систем, зокрема у регіонах, де спостерігається зменшення природного стоку і зростання водного дефіциту.

Одним із найвідоміших прикладів є нідерландська програма «Delta Programme», зокрема її ініціатива *Room for Sea-Level Rise*, яка поєднує інженерний захист територій із просторовим плануванням, передбачаючи створення додаткового простору для річкових і прибережних вод, підвищення рівня безпеки дамб, реконструкцію шлюзів і насосних станцій, а також управління дельтовими системами з урахуванням прогнозованого підвищення рівня моря [54].

У США (штат Каліфорнія) впроваджуються високоефективні системи крапельного та мікрозрошення, що суттєво знижують втрати води в аграрному секторі – одному з найбільших споживачів водних ресурсів (за даними FAO).

Країни Перської затоки, Ізраїль та Іспанія широко застосовують технології опріснення морської та солонуватої води. Наприклад, в Ізраїлі до 70% потреб у питній воді забезпечується саме за рахунок опріснення.

Поповнення підземних вод – це стратегія штучного ін’єктування надлишкових поверхневих стоків або очищених стічних вод у водоносні горизонти з метою їх збереження та відновлення. Цей підхід є критично важливим для посушливих регіонів, зокрема в Австралії та Індії.

Природоорієнтовані рішення – це підхід, визнаний IPCC та UNEP як високоефективний та економічно доцільний для адаптації до зміни клімату. Він передбачає використання природних екосистем і процесів для управління водними ресурсами, зокрема з метою підвищення водоутримувальної здатності ландшафтів, відновлення заплав та зменшення ризику повеней.

Яскравим прикладом успішної міжнародної співпраці та розробки адаптаційних стратегій є діяльність у басейні річки Дністер. У рамках ініціативи «Навколишнє середовище і безпека» (ENVSEC) та за підтримки ЄЕК ООН, ОБСЄ та ЮНЕП були розроблені «Стратегічні напрями адаптації до зміни клімату у басейні Дністра» [11]. Цей досвід має велике значення, оскільки демонструє практичні результати та створює модель для внутрішніх басейнів. Конкретні заходи, реалізовані в басейні Дністра, включали:

- очищення численних каналів – «єриків», які заросли очеретом та забиваються мулом. Це необхідно для забезпечення обміну водою між руслом та заплавами луками дельти, підвищуючи їх стійкість до посух;
- організація лісонасаджень у заплавах лісах (наприклад, на острові Турунчук) для захисту від більш частих і сильних посух;
- підготовка життєво важливої інформації для служб з надзвичайних ситуацій щодо запобігання та зменшення збитків від паводків.

Міністерство екології та природних ресурсів України схвалює результати розробки «Стратегічних напрямів адаптації» на Дністрі та планує застосовувати їх у подальшій роботі. Використання кращих міжнародних практик, навіть для внутрішніх басейнів, забезпечує високу якість адаптаційних рекомендацій.

2 ОБ'ЄКТ, УМОВИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Фізико-географічна характеристика досліджуваної території України в контексті кліматичної мінливості

Територія України є унікальним європейським геопросторовим об'єктом, розташованим у межах трьох великомасштабних фізико-географічних структур: переважної Східноєвропейської рівнини, а також частково Карпатської та Кримської гірських систем [26]. Ця диференціація формує чітко виражену широтну зональність та висотну поясність, що є критично важливим для екологічної оцінки.

В межах рівнинної частини виділяються три основні природні зони – мішаних лісів (Полісся), Лісостепу та Степу. Ландшафтна структура безпосередньо впливає на гідрологічний режим та екотонні зони (наприклад, водно-болотні угіддя Полісся), які є особливо чутливими до кліматичних флуктуацій.

У контексті міжнародного регіонального поділу та відповідно до класифікаційних систем, територія України віднесена до регіонального кластеру Західної та Центральної Європи (WCE) (рис. 2.1). Водночас, її прибережні акваторії, що омивають державу, а саме Чорне та Азовське моря, класифікуються як частина Південноєвропейських морів (SEUS). Це подвійне позиціонування вимагає інтегрованого підходу до оцінки трансрегіональних екологічних ризиків.

Фундаментальною основою для формування гідрологічного режиму та просторової організації екосистем України є її складна полігенетична геологічна структура, що відображає тривалий та різноманітний геодинамічний розвиток тектоносфери регіону.

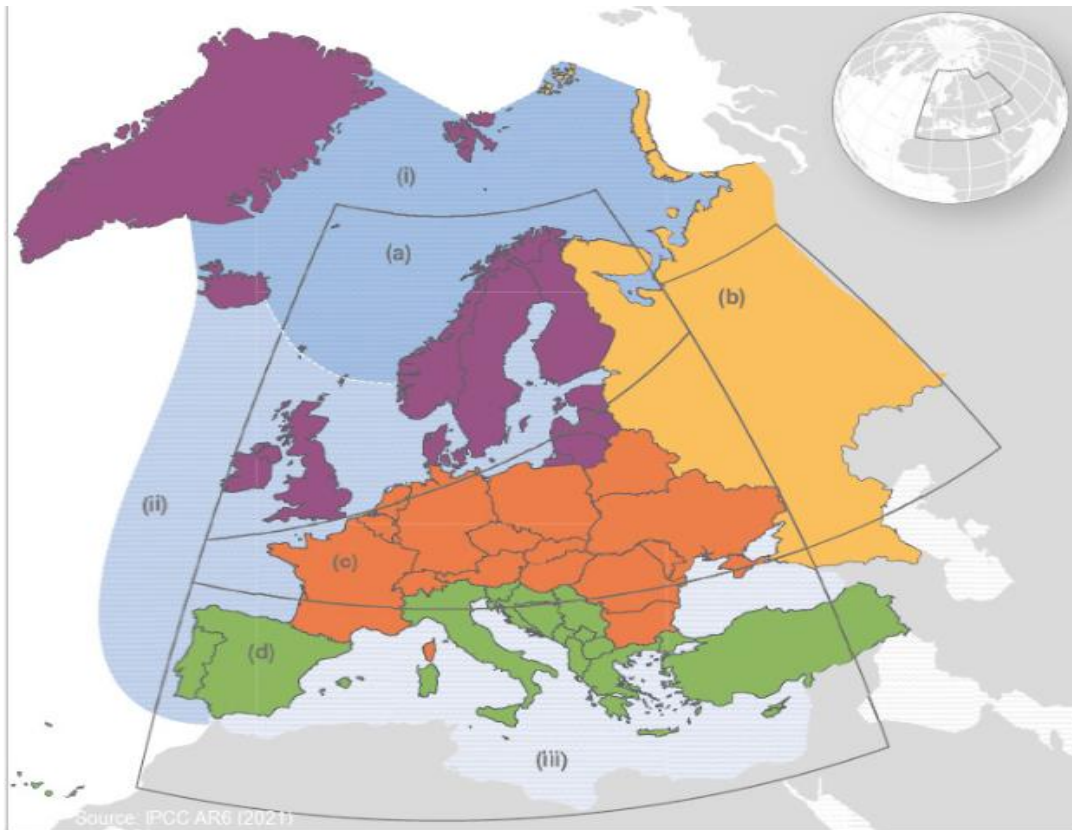


Рисунок 2.1 – Ілюстративне представлення інформації для Європейського регіону [41, 44]

Територія дослідження стратиграфічно та структурно розподілена між основними геологічними одиницями, які є детермінантами гідрогеологічних та геоморфологічних процесів:

- переважна частина України лежить у межах Східноєвропейської платформи. Ключовою архейсько-протерозойською структурою є Український щит – кратонний виступ докембрійського фундаменту, що розкинувся на 1000 км у напрямку з північного заходу на південний схід, межуючи Поліську низовину з Азовським морем [26]. Структури якого характеризуються високою стійкістю та слугують основними вододілами та регіонами формування підземного стоку, проте їхня кристалічна природа зумовлює обмежену здатність до накопичення інфільтраційних вод у верхніх горизонтах;

- на периферії Східноєвропейської платформи розташовані Карпатська та Кримська складчасті області, які належать до Альпійсько-Гімалайського рухливого поясу. Ці геосинклінальні структури, що сформувалися в мезозойсько-кайнозойську еру, визначають висотну поясність і є регіонами

генерації максимального поверхневого стоку та екстремальних гідрологічних явищ (паводків та селів).

Рельєфна архітектоніка території характеризується значною амплітудою висот та контрастною геоморфологічною диференціацією, що безпосередньо впливає на розподіл кліматичних елементів та інтенсивність водного балансу:

- рівнинний та низинний морфоструктурний тип – домінують на сході та півдні (Причорноморська та Придніпровська низовини, Подільська височина), де переважають акумулятивні та денудаційно-акумулятивні процеси. Ці регіони з низьким градієнтом поверхні є найбільш вразливими до дефіциту вологи через високу евапотранспірацію, а їхня інфільтраційна здатність (особливо в лесових покривах) впливає на сезонне накопичення ґрунтових вод;

- гірський та високогірний морфоструктурний тип – представлені Українськими Карпатами та Кримськими горами. Тут домінують інтенсивні ерозійні процеси та фізичне вивітрювання. Гірські масиви виступають як орографічні бар'єри, максимізуючи атмосферні опади та формуючи зони надлишкового зволоження. Це є первинною умовою для формування гідрографічної мережі та детермінації швидкісних характеристик стоку. Згідно з дослідженнями вразливості, саме ці регіони демонструють найвищий ризик катастрофічних паводків в умовах зростання інтенсивності зливових опадів, що підтверджується даними WMO (2024) щодо глобальної екстремальності гідрологічних явищ.

Висока географічна та геологічна різноманітність (тобто, контраст між кристалічними, осадовими та складчастими структурами) сприяє формуванню великої різноманітності екосистем (біогеоценотичного покриву) та зумовлює значну просторову гетерогенність кліматичних умов, що вимагає ландшафтно-екологічної диференціації при розробці адаптаційних стратегій.

Територія Українського щита має значні запаси розвіданих і прогнозних підземних вод. На території України виділяють сім основних районів формування підземних вод, серед яких: гідрогеологічна провінція складчастої зони Українських Карпат, Волино-Подільський артезіанський басейн, область тріщинних вод Українського щита, Дніпровсько-Донецький артезіанський басейн, гідрогеологічна провінція Донецької складчастої зони,

Причорноморський артезіанський басейн та гідрогеологічна провінція складчастої області Гірського Криму (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Басейни підземних вод в Україні: 1 – гідрогеологічна провінція складчастої області Українських Карпат, 2 – Волино-Подільський артезіанський басейн, 3 – область тріщинних вод Українського щита, 4 – Дніпровсько-Донецький артезіанський басейн, 5 – гідрогеологічна провінція Донецької складчастої області, 6 – Причорноморський артезіанський басейн, 7 – гідрогеологічна провінція складчастої області Гірського Криму [3]

У межах України класифікують три зони зволоження (рис. 2.2): з надмірним (А), нестійким (Б) та недостатнім (В) рівнем зволоження [3].

2.2 Кліматичний режим та просторово-часова варіабельність гідрокліматичних індикаторів України

Кліматичні умови є визначальним чинником, що формує водний режим і визначає саму можливість існування річок. Без атмосферних опадів річки не можуть існувати.

Більша частина досліджуваної території України знаходиться у зоні помірно-континентального клімату з теплим та вологим літом, який, згідно з класифікацією Кеппена–Гейгера [49], репрезентується типами *Dfa* (тепле літо) та *Dfb* (холодне літо), є домінуючим (рис. 2.3) [3, 22, 49]. Такий клімат формується внаслідок значної віддаленості від океану та переважно рівнинного рельєфу території [34]. Кліматична континентальність посилюється в напрямку із заходу на схід, що зумовлює спекотніше та посушливіше літо, а також суворіші зими у східних регіонах порівняно з західною частиною країни. Проте останні десятиліття характеризуються аномально високою термодинамічною нестабільністю, що підтверджується даними Національного інституту стратегічних досліджень та Всесвітньої метеорологічної організації.

Південні степові області України відносяться до холодного напіваридного клімату (*tun Bsk*), тоді як у південній частині Кримського півострова, під впливом захисного бар'єру Кримських гір, спостерігаються умови, близькі до середземноморського клімату (*tun Cfa*). У гірських районах Карпат і Криму виявляється вертикальна зональність клімату, з переходом до більш холодних і вологих типів. Зокрема, на найвищих вершинах Карпат клімат набуває субарктичних рис (*tun Dfc*) [22, 49].

Клімат України характеризується високою динамічністю атмосферних процесів як у холодний, так і в теплий період року. Це зумовлено частою зміною повітряних мас різного географічного походження, які переміщуються під впливом активних циклонів та антициклонів, що, у свою чергу, спричиняє значну просторово-часову мінливість метеорологічних показників.



Рисунок 2.3 – Схема кліматичних зон України за класифікацією Кеппена-Гейгера (1980–2016) (відкритий код для завантаження карт Кеппена-Гейгера [49])

2.2.1 Аналіз довготривалих рядів та тенденцій гідрокліматичних індикаторів

Для кліматичного аналізу використовують регуляризовану сіткову базу даних із щомісячними значеннями температури повітря (мінімальної та максимальної) та кількості опадів за період 1946–2020 років. Цей набір даних, створений Українським гідрометеорологічним інститутом, має високу просторову роздільність ($0,1^\circ \times 0,1^\circ$) та є загальнодоступним [31].

Узагальнені Центром геофізичних досліджень імені Бориса Срезневського [37] емпіричні дані про середньомісячну температуру повітря для обласних центрів України за тридцятирічний кліматичний період 1991–2020 рр. представлені в аналітичному форматі (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Дані про середньомісячну температуру повітря (за місяцями), узагальнені за кліматичний референтний період 1991–2020 рр., °C [37]

Метеостанція	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Середнє
Чернігів	–4,2	–3,4	1,4	9,0	15,0	18,6	20,5	19,3	13,8	7,5	1,7	–2,7	8,0
Суми	–5,1	–4,5	0,5	8,8	15,0	18,7	20,6	19,6	13,8	7,3	1,0	–3,5	7,7
Луцьк	–2,9	–1,9	2,3	9,1	14,4	17,9	19,7	19,0	13,8	8,3	3,1	–1,4	8,5
Рівне	–3,4	–2,4	1,9	9,0	14,4	17,8	19,5	18,8	13,7	8,1	2,7	–1,8	8,2
Житомир	–3,3	–2,4	2,2	9,3	14,9	18,4	20,1	19,3	14,0	8,1	2,6	–1,8	8,5
Київ	–3,2	–2,3	2,5	10,0	15,8	19,5	21,3	20,4	14,9	8,6	2,6	–1,8	9,0
Львів	–2,7	–1,5	2,5	9,0	13,9	17,3	19,0	18,5	13,5	8,4	3,3	–1,3	8,3
Хмельницький	–3,8	–2,6	1,8	8,9	14,4	17,7	19,4	19,0	13,8	8,0	2,5	–2,3	8,1
Полтава	–4,2	–3,4	1,7	9,9	16,0	19,7	21,7	21,0	15,2	8,4	1,9	–2,6	8,8
Харків	–4,5	–3,8	1,4	9,7	16,1	20,0	22,0	21,1	15,1	8,2	1,6	–2,9	8,7
Тернопіль	–3,6	–2,4	1,9	8,7	14,2	17,5	19,2	18,7	13,5	8,0	2,6	–2,2	8,0
Черкаси	–3,6	–2,7	2,2	9,7	15,7	19,5	21,3	20,3	14,7	8,4	2,6	–1,8	8,9
Луганськ	–3,6	–2,9	2,5	10,4	16,6	20,9	23,0	22,0	15,8	9,1	2,5	–1,9	9,5
Вінниця	–3,8	–2,7	1,9	9,1	14,7	18,2	20,0	19,4	14,1	8,1	2,4	–2,3	8,3
Івано-Франківськ	–3,0	–1,4	2,8	9,1	14,1	17,7	19,5	18,9	13,8	8,3	3,0	–1,7	8,4
Кропивницький	–3,6	–2,7	2,3	9,9	15,8	19,6	21,7	21,0	15,3	8,8	2,6	–1,8	9,1
Дніпро	–3,6	–2,8	2,5	10,3	16,5	20,5	22,7	22,0	16,2	9,2	2,6	–2,0	9,5
Донецьк	–4,0	–3,4	2,0	9,8	15,9	20,1	22,4	21,8	15,8	8,9	2,1	–2,4	9,1
Ужгород	–1,2	0,6	5,4	11,5	16,1	19,6	21,3	21,0	15,9	10,5	5,4	0,3	10,5
Чернівці	–2,7	–1,2	3,4	9,9	15,1	18,8	20,5	19,9	14,8	9,1	3,4	–1,5	9,1
Одеса	–0,4	0,4	4,3	10,0	16,2	20,8	23,4	23,1	17,7	12,0	6,3	1,5	11,3
Запоріжжя	–2,5	–1,7	3,4	10,7	17,0	21,3	23,5	22,8	17,0	10,3	3,8	–0,7	10,4
Миколаїв	–2,0	–0,9	3,9	10,6	16,8	21,2	23,7	23,3	17,4	10,8	4,6	0,1	10,8
Херсон	–1,6	–0,6	4,1	10,6	16,7	21,2	23,8	23,2	17,5	10,9	4,7	0,4	10,9
Сімферополь	0,3	0,6	4,4	10,0	15,4	19,9	23,0	22,6	17,1	11,6	6,2	2,1	11,1

Температурний режим України залежить від надходження сонячної радіації. Традиційно, у річному циклі температурних показників мінімальні середньомісячні значення фіксуються у січні, тоді як максимальні – у липні. Слід відзначити, що в умовах гірських ландшафтів може спостерігатися зсув фаз екстремумів: пікові показники температури іноді реєструються у серпні, а найнижчі – у лютому. Дисперсія (мінливість) температурних величин є суттєвішою у зимовий період та значно меншою протягом літнього сезону [32].

Аналіз кліматичних параметрів високогірної частини Українських Карпат, який детально репрезентовано у праці Вишневецького В.І. та Доніча О.А. [3], засвідчує, що середньорічна температура атмосферного повітря на гірських вершинах, зокрема на горі Говерла, становить близько $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Протягом річного циклу спостерігається суттєва варіативність вертикального термічного градієнту в межах гірської системи: у період березень—липень (весняно-літній сезон) на висотах 1000–2000 м цей градієнт коливається в діапазоні $0,33\text{--}0,36\text{ }^{\circ}\text{C}$ на кожні 100 м висотного підйому, тоді як у листопаді—січні (зимовий сезон) його значення знижується до $0,15\text{--}0,18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ці розрахунки дозволяють апроксимувати середньомісячні температури на Говерлі: очікуване значення в січні становить близько $-6,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, тоді як у серпні – $+10,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Порівняльний аналіз демонструє, що мінімальні зимові температури повітря, зафіксовані на найвищій точці Карпат, є зіставними з термічними показниками, які характерні для північно-східних регіонів України.

Автори акцентують увагу на тому, що глобальні кліматичні трансформації очікувано позначаються на території України. Встановлено, що в межах усієї країни спостерігається чітко виражена тенденція у просторово-часовій динаміці підвищення температури повітря. Цей факт підтверджується результатами порівняльного аналізу середньорічних значень температури повітря між референтними кліматичними періодами 1961–1990 рр. і 1991–2020 рр. (рис. 2.4).

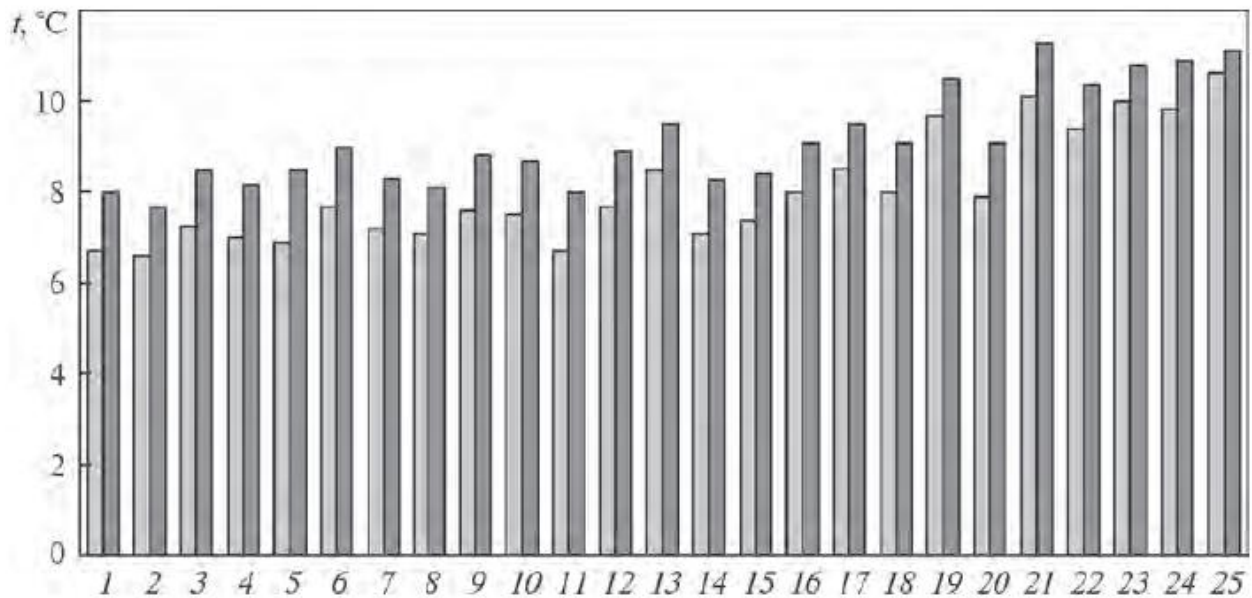


Рисунок 2.4 – Середня багаторічна температура повітря протягом 1961–1990 (ліві стовпчики) і 1991–2020 рр. (праві стовпчики): 1 – Чернігів, 2 – Суми, 3 – Луцьк, 4 – Рівне, 5 – Житомир, 6 – Київ, 7 – Львів, 8 – Хмельницький, 9 – Полтава, 10 – Харків, 11 – Тернопіль, 12 – Черкаси, 13 – Луганськ, 14 – Вінниця, 15 – Івано-Франківськ, 16 – Кропивницький, 17 – Дніпро, 18 – Донецьк, 19 – Ужгород, 20 – Чернівці, 21 – Одеса, 22 – Запоріжжя, 23 – Миколаїв, 24 – Херсон, 25 – Сімферополь [3]

З метою виявлення основних чинників, що зумовлюють виникнення метеорологічних посух на території України, Інною Семеновою та Серхіо М. Вісенте-Серрано було проведено аналіз динаміки температурного режиму та кількості атмосферних опадів упродовж досліджуваного періоду 1946–2020 років. Для цього використовували дані щодо середньомісячної температури повітря та місячної суми опадів з бази первинних спостережень [1].

Найнижче середньомісячне значення температури повітря ($-3,5^{\circ}\text{C}$) фіксується у січні (рис. 2.5, а). Найхолодніша зима була зафіксована у 1963 році, коли середньомісячна температура січня знизилася до $-13,1^{\circ}\text{C}$. Влітку середня температура найтеплішого місяця – липня – становить $20,6^{\circ}\text{C}$, при цьому максимальні значення у липні 2001 року та серпні 2010 року перевищували $24,0^{\circ}\text{C}$. Найбільша міжрічна мінливість температури характерна для холодного періоду (грудень–березень), тоді як літні місяці відзначаються відносною стабільністю температурного режиму [49].

Аналіз середньомісячного розподілу опадів виявив два періоди з найменшою кількістю опадів – лютий–березень (близько 34 мм) та жовтень (38 мм) (рис. 2.5, б). Максимальні значення середньомісячної суми опадів припадають на червень–липень (69 мм).

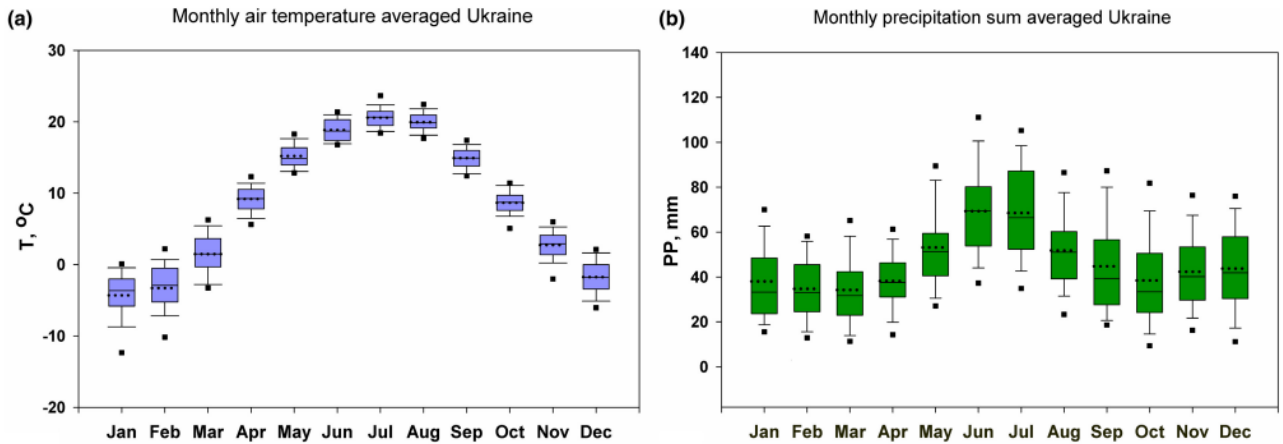


Рисунок 2.5 – Річний розподіл середньомісячної температури повітря (а) та місячної суми опадів (б), усереднених по території України за період 1946–2020 років. Коробчаста діаграма відображає: 90-й та 10-й процентилі на межі поля; 75-й та 25-й процентилі по обидва боки прямокутника; середня лінія знаходиться в центрі; пунктирна лінія позначає середнє значення; квадрати по обидва боки від смуг похибки показують 95-й (зверху) та 5-й (знизу) процентилі [49]

Найбільша міжрічна варіабельність опадів спостерігається у червні–липні (стандартне відхилення – 20–21 мм) та у вересні–жовтні (стандартне відхилення – 21–22 мм), що обумовлено підвищеною циклоактивністю: у літній період – внаслідок впливу депресії Малої Азії, восени – через активізацію циклогенезу в акваторії Середземного моря та швидке просування атмосферних фронтів над Східною Європою [49].

Автори відмічають, що протягом досліджуваного періоду найвища місячна сума опадів перевищувала 117 мм, зокрема у червні 2001 року та липні 1997 року. Натомість найменші значення (5–6 мм) спостерігалися в осінньо-зимовий період (лютий 1976, листопад 2011, грудень 1948, грудень 1978), а також у квітні 1948 року. Варіабельність місячної кількості опадів є досить високою, особливо у теплу пору року, що пояснюється посиленням конвективної активності [22, 49].

2.2.2 Довготривалі тренди та динаміка гідрокліматичного балансу

У часовому ряді річної суми опадів, усередненої по території України, простежуються два періоди з максимальними значеннями – від середини 1960-х до початку 1980-х років, коли річна сума опадів досягала 700 мм (рис. 2.6, а). Хоча спостерігається позитивна тенденція до зростання опадів, вона не є статистично значущою. Водночас річна середня температура повітря демонструє чітко виражену позитивну тенденцію зі статистично значущим підвищенням понад 1,7 °C (рис. 2.6, b).

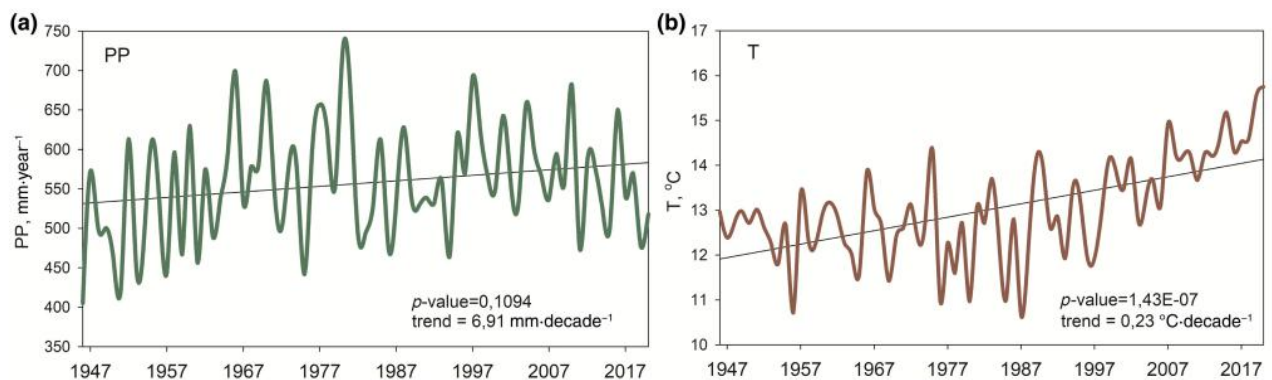


Рисунок 2.6 – Часові ряди річної суми опадів (PP) (a) та середньорічної температури повітря (b), усереднені по території України за період 1946–2020 рр. [49]

У динаміці сезонних значень (рис. 2.7) науковцями [1, 22, 55] виявлено позитивні тенденції у кількості опадів взимку, навесні та восени, однак статистично значущим є лише зростання навесні – зі швидкістю 4,23 мм/десятиліття. У літній період спостерігається незначна негативна тенденція, яка не має статистичної достовірності.

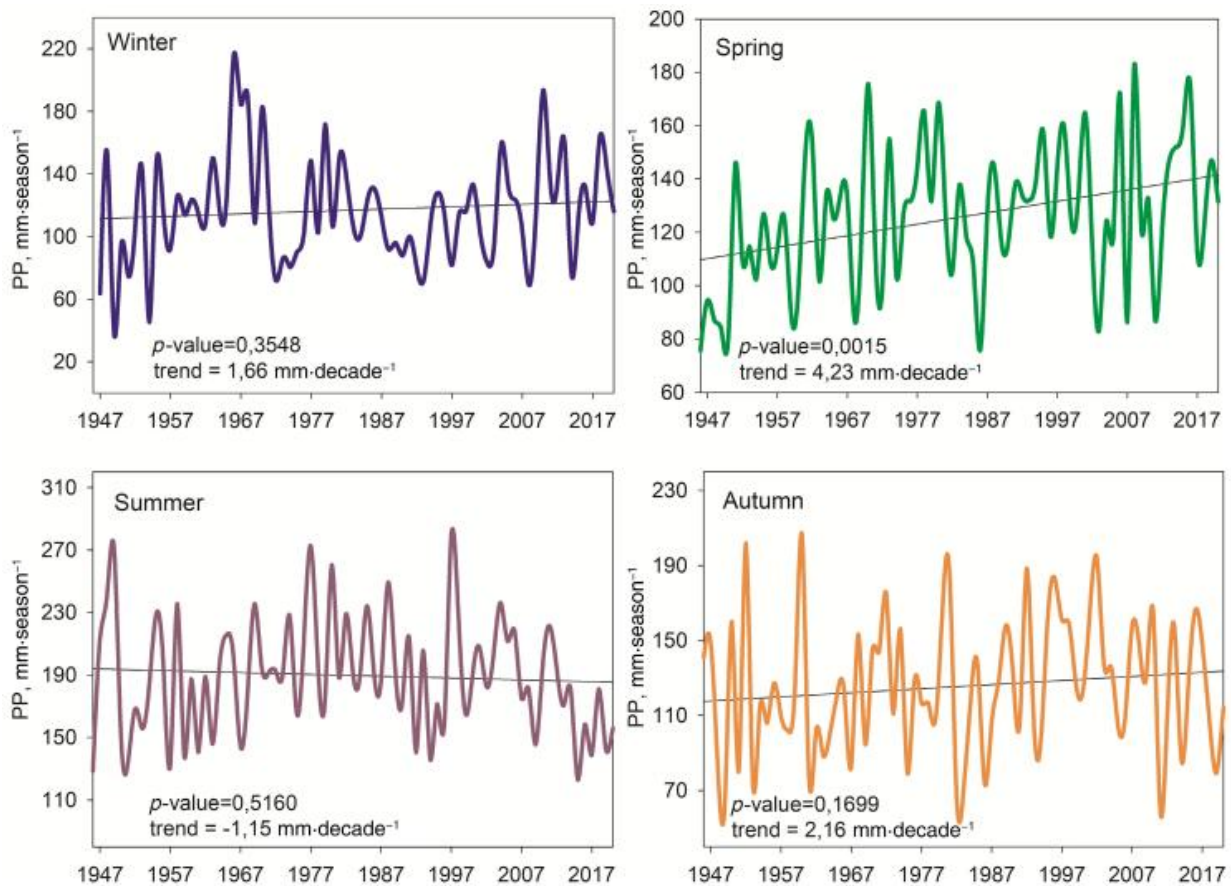


Рисунок 2.7 – Часові ряди сезонної суми опадів (PP), усереднені по території України за період 1946–2020 років [49]

Середні сезонні значення атмосферного випаровування, усереднені по території країни, мають чітко виражену сезонну змінність – з мінімумом взимку та максимумом у літній період (рис. 2.8). Позитивні тенденції характерні для всіх сезонів, проте восени ця тенденція є статистично незначущою. Найбільше зростання атмосферного випаровування спостерігається навесні та влітку.

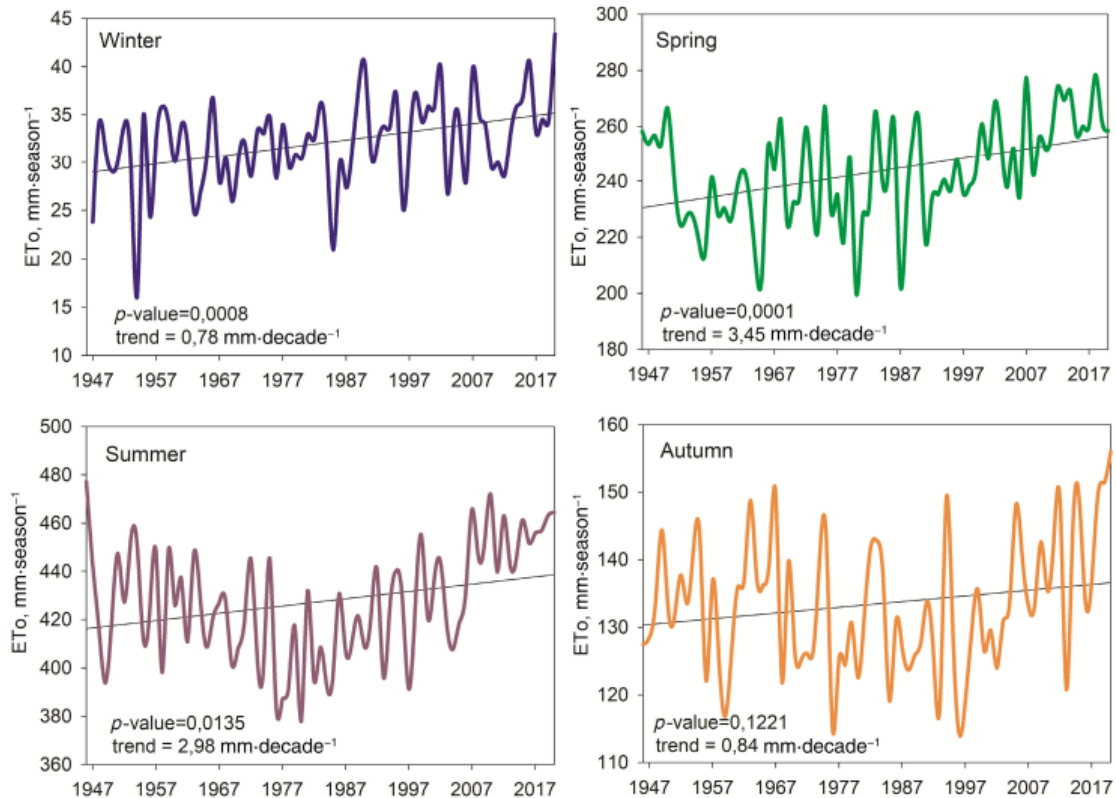


Рисунок 2.8 – Часові ряди сезонної суми атмосферного випаровування, усереднені по території України за період 1946–2020 років [49]

Інна Семенова та Серхіо М. Вісенте-Серрано зазначили, що беручи до уваги одночасне зростання обох кліматичних чинників – кількості опадів та атмосферного випаровування – постає необхідність застосування комплексних індексів посушливості для оцінки потенційної динаміки метеорологічних посух упродовж періоду з 1946 року. З одного боку, підвищення кількості опадів може обмежити інтенсивність посушливих явищ, однак, з іншого – підвищення температури повітря може посилювати їхню тривалість та інтенсивність [1].

2.2.3 Динаміка аридизації за індексами SPI та SPEI

З метою узагальнення тимчасових закономірностей варіабельності посушливих умов на території України було побудовано **регіональні часові ряди стандартного індексу опадів (SPI) та стандартного індексу опадів та випаровування (SPEI)** для всієї території країни (рис. 2.9). Є необхідним, оскільки одночасне зростання опадів та атмосферного випаровування ускладнює оцінку водного дефіциту.

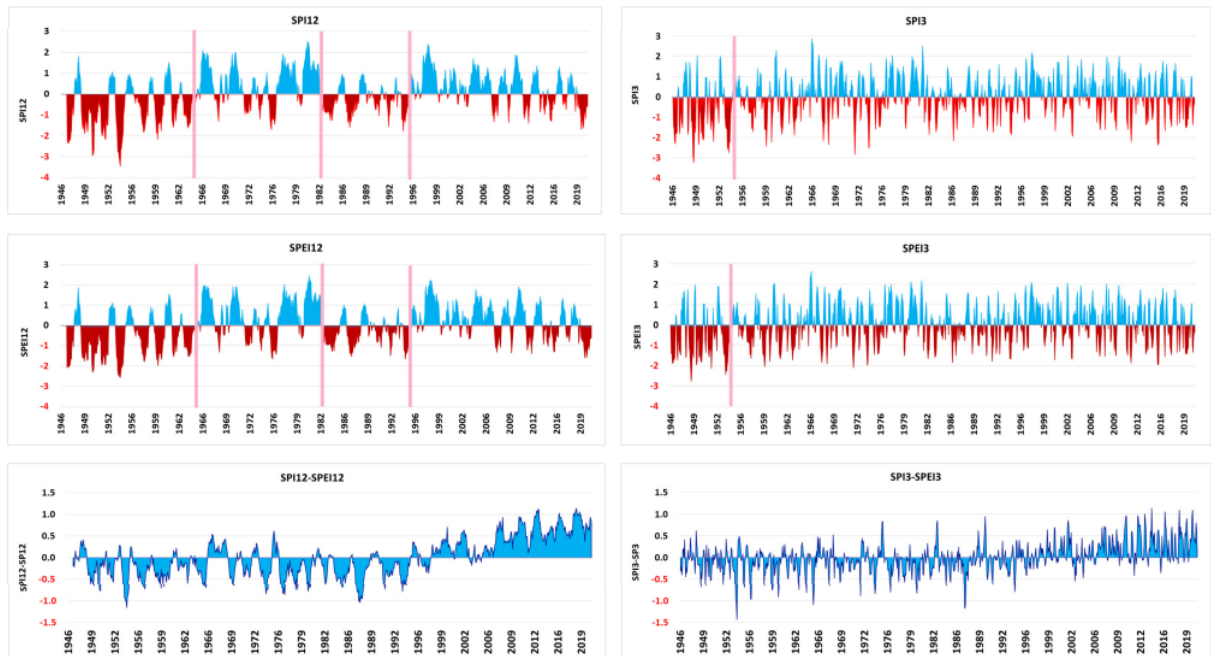


Рисунок 2.9 – Часові ряди SPI, SPEI, усереднені по Україні, на 3- та 12-місячних часових шкалах та різниця між цими індексами (SPI-SPEI). Рожеві стовпці вказують розташування точок змін у часовому ряді [49]

Аналіз точок змін у часових рядах SPI та SPEI на 12-місячній шкалі дозволив виокремити щонайменше чотири чергуючі періоди з переважанням або низьких (1946–1963, 1983–1995), або високих (1964–1982, 1996–2020) значень індексів. Це дало змогу науковцям [49] ідентифікувати кілька ключових епізодів посух та підтвердити високу тимчасову варіабельність проявів посушливості в регіоні.

Найсухішим періодом згідно зі значеннями SPI залишається 1946–1963 роки. У цей проміжок було зафіксовано найбільшу кількість випадків екстремальних посух (п'ять епізодів). Період 1964–1982 років характеризувався домінуванням вологих умов із незначною тривалістю та слабкою інтенсивністю посушливих явищ. У наступному сухому періоді (1983–1995) інтенсивність посух, як правило, не перевищувала помірного рівня, а випадків екстремальної посухи не спостерігалось. Упродовж 1996–2020 років тривалість і частота посушливих періодів загалом залишалися низькими. Водночас, завершальна частина цього періоду, починаючи з 2007 року, відзначалась різкою зміною між сухими та

вологими фазами, що завершилося інтенсифікацією посух у 2019–2020 роках. У цей період найбільш інтенсивні прояви посух фіксувалися за значеннями SPEI.

Дані за 2021–2025 роки свідчать про збереження тенденції до зростання частоти від’ємних значень SPEI, що вказує на посилення ролі атмосферного випаровування в умовах змін клімату. Зокрема, у 2022 та 2023 роках фіксувалися помірні посушливі явища у південних та центральних регіонах країни, які супроводжувалися високими температурами повітря та дефіцитом опадів у літній період. За значеннями SPI, ці роки не були екстремально сухими на національному рівні, однак локально спостерігалися суттєві аномалії, особливо у степовій зоні. У 2024–2025 роках показники SPI та SPEI залишаються нестабільними з тенденцією до короткочасних коливань між сухими та вологими режимами, що відповідає загальному тренду кліматичної мінливості [43, 49].

Загалом, розбіжності між SPI та SPEI до початку 2000-х років були незначними та мали від’ємний характер, що свідчить про провідну роль опадів у формуванні посушливих умов. Натомість протягом останніх двох десятиліть, зокрема у 2021–2025 роках, спостерігається стійка тенденція до зростання негативного балансу SPEI, що свідчить про посилення впливу атмосферного випаровування на динаміку посух.

Часові ряди SPI та SPEI на 3-місячній шкалі демонструють високу міжрічну варіабельність з однією ключовою точкою змін у 1954 році, яка відокремлює початковий сухий період від більш вологих наступних десятиліть. Незважаючи на коливання, часові структури на короткотерміновій шкалі узгоджуються з тенденціями, виявленими для 12-місячних індексів.

На річному часовому масштабі виявлено просторові відмінності у трендах значень кліматичних індексів по території України (рис. 2.10). Для стандартного індексу опадів (SPI) переважно спостерігаються позитивні тенденції, за винятком окремих центральних та південно-західних регіонів. Натомість для стандартного індексу опадів і випаровування (SPEI) зафіксовано переважно негативні тенденції майже по всій території країни.

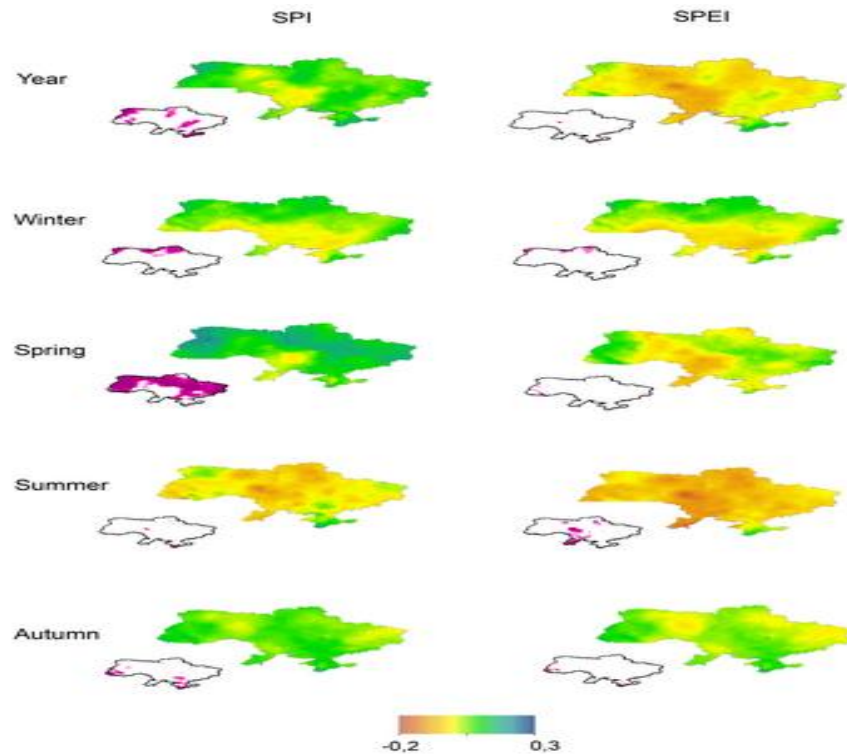


Рисунок 2.10 – Просторовий розподіл річних (12-місячна шкала часу) та сезонних (3-місячна шкала часу) тенденцій для індексів SPI та SPEI (темпи зміни за 10 років). Для оцінки значущості відповідних тенденцій були додані невеликі карти, що вказують на розподіл p -значення $\leq 0,05$ (рожеві пікселі) [49, 50-51]

У зимовий період для обох індексів характерне переважання позитивних трендів на півночі та сході України, тоді як на південній половині країни домінують негативні значення. Водночас, інтенсивність зниження є суттєво вищою для SPEI, що вказує на зростаючий вплив дефіциту вологозабезпечення з урахуванням атмосферного випаровування.

У весняний період просторовий розподіл трендів SPI та SPEI суттєво різниться. Для SPI зафіксовано переважання позитивних (і статистично значущих) трендів майже по всій території України, за винятком південно-західних областей. Для SPEI, навпаки, негативні тренди домінують на більшій частині території країни, окрім західних областей та Лівобережної України, де спостерігаються локальні позитивні тенденції.

Влітку як для SPI, так і для SPEI типовим є переважання негативних трендів по всій території України. Водночас площа поширення таких тенденцій, а також їхня інтенсивність, є вищими для SPEI, що знову ж таки свідчить про посилення впливу підвищеного атмосферного випаровування в теплий період року.

Восени просторові патерни розподілу позитивних та негативних трендів для обох індексів загалом подібні: позитивні тенденції спостерігаються у західних та центральних регіонах, а також на території Кримського півострова; у той час як в інших регіонах переважають негативні зміни. При цьому для SPEI площі із негативними трендами значно ширші, а інтенсивність спадання – вища порівняно зі SPI.

Узагальнюючи, незважаючи на позитивні тренди опадів у деякі сезони, статистично значуще потепління посилює атмосферне випаровування, що призводить до стійкого погіршення гідрокліматичного балансу та інтенсифікації посушливих явищ, що є центральною проблемою для водогосподарських систем.

2.3 Методологія оцінки кліматичних ризиків для водних ресурсів

У сучасному періоді взаємозв'язок між кліматичними параметрами і водним стоком досліджується переважно методами моделювання. Вхідні дані для гідрологічних моделей включають кліматичні проєкції на основі RCM-моделей (зокрема в CORDEX-ансамблях) і сценарії, які враховують зміни температури й опадів. Завдяки цьому можна не лише кількісно оцінити зміни обсягів стоку, але й аналізувати механізми його змін – наприклад, зсув джерел живлення вод (зменшення снігового, збільшення дощового), зміну сезонності паводків і межень, а також часову змінність екстремальних подій.

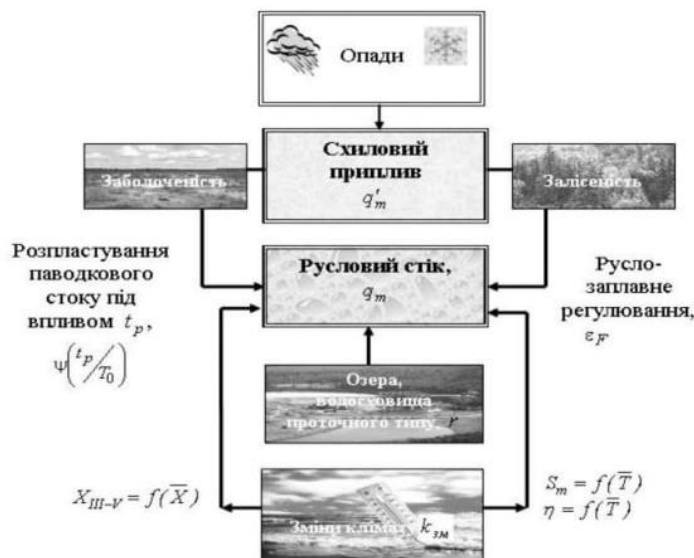


Рисунок 2.11 – Схема формування пікового значення стоку весняного водопілля в контексті кліматичних трансформацій [32]

Для достовірної оцінки впливу клімату необхідно використовувати ансамбль регіональних кліматичних моделей (РКМ) для зниження невизначеності прогнозів температурного та опадного режиму. Наприклад, для басейну Дністра проєкції зміни клімату до 2050 року були побудовані на основі ансамблю РКМ, виявивши, що найбільш значного потепління слід очікувати у лютому, серпні та вересні. Ці кліматичні прогнози слугують вихідною інформацією для наступних гідрологічних моделей.

Для всебічної екологічної оцінки впливу клімату на гідрологічний режим та якість води необхідна інтеграція декількох модельних інструментів:

- **SWAT (Soil and Water Assessment Tool)** – модель широко використовується для імітаційного моделювання впливу землекористування, сільськогосподарських практик та змін клімату на формування поверхневого стоку та емісію біогенних елементів. Застосування SWAT дозволяє оцінити, як зміна інтенсивності опадів та підвищення температури вплинуть на шар поверхневого стоку в обраному басейні;

- **MONERIS (MOdelling Nutrient Emissions in River Systems)** – напівемпірична концептуальна модель використовується в країнах ЄС для прогнозування забруднення вод біогенними елементами (нітрогеном та фосфором). Оцінка зміни стоку води та підвищення температури, отримані з РКМ та SWAT, повинні бути вбудовані в MONERIS. Це дозволить оцінити, наскільки зросте концентрація забруднюючих речовин внаслідок зменшення об'єму розведення і, відповідно, спрогнозувати посилення евтрофікації;

- **Геоінформаційні системи (ГІС-технології)** є незамінним інструментом для оцінки просторових характеристик, включаючи геометричні характеристики водозборів, ухили русел та тальвегів. ГІС також дозволяють моделювати змив ґрунту (ерозію), який посилюється інтенсивними паводками, та використовувати інформацію для короткострокового прогнозування швидкоплинних гідрологічних явищ.

Цей підхід до інтегрованого моделювання (клімат → кількість → якість) є необхідним для створення якісної екологічної оцінки, що виходить за межі простого аналізу зміни водних об'ємів, та забезпечує наукову основу для розробки реальних пропозицій.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Аналіз виявлених тенденцій змін кліматичних показників на території України

Зміна клімату є одним із найбільш серйозних викликів сучасності, що має значний вплив на всі компоненти природного середовища. Для України, країни з обмеженими та просторово нерівномірно розподіленими водними ресурсами, гідрологічні наслідки кліматичних змін є пріоритетним питанням екологічної та економічної безпеки.

Аналіз базується на синтезі даних та висновків міжнародних оглядів і національних джерел [1-3, 8, 12, 14, 19, 21, 22, 27, 31, 37, 41, 44-43, 53-55], а також на наукових публікаціях (аналіз екстремальних опадів, регіональні кліматичні дослідження). Для кількісної інтерпретації використано описи трендів температури, опадів, снігового покриву, індексів посух і частоти екстремальних подій.

Згідно з Шостим оціночним звітом Міжурядової групи експертів із питань зміни клімату (IPCC AR6, 2021-2023), територія Європи, включаючи Україну, прогрівається швидшими темпами, ніж у середньому по планеті [41, 44]. Це безпосередньо впливає на всі ланки водного циклу, насамперед на гідрологічний режим річок, озер, водосховищ та ґрунтових вод, зумовлюючи зміни у водному балансі, якості води та екосистемних послугах.

Важливо підкреслити, що визначальним кліматичним драйвером трансформацій гідрологічного режиму на території України є підвищення середньорічної температури повітря, яке виступає інтегральним показником інтенсифікації енергетичного балансу атмосфери. За результатами багаторічних спостережень та аналітичних оцінок, проведених Світовою метеорологічною організацією, Європейською службою зміни клімату програми «Копернікус» (Copernicus Climate Change Service) та Українським гідрометеорологічним інститутом, встановлено, що темпи зростання температури повітря в Україні перевищують глобальні середні показники [41, 42, 44, 54].

В останнє десятиліття, особливо після 2015 року, були зафіксовані найвищі температури не лише в Україні, а й у Північній півкулі. У деякі роки зростання середньорічної температури повітря перевищувало 2,0°C. Найвищі позитивні аномалії були зареєстровані у 2007 році (2,2 °C), 2015 році (2,3 °C) та 2019 році

(2,7 °C). Зокрема, у період 1991–2006 рр. середньорічна температура повітря в Україні зросла приблизно на 1,2 °C порівняно з доіндустріальним базовим періодом (1961–1990 рр.), тоді як глобальне потепління за цей самий проміжок часу оцінюється в 1,1 °C [52]. Слід зазначити, що, починаючи з 2007 року, середньорічна температура повітря на території України стабільно перевищує кліматичну норму на 1,5 °C [1]. Прогнози вказують на перспективу подальшого зростання термічного режиму в Україні, причому найбільш вираженою ця тенденція буде в південних регіонах [55]. Найбільш інтенсивне зростання температури спостерігається у весняний та літній сезони, що спричинює суттєві зміни у формуванні стоку, випаровуванні та вологообігу на регіональному рівні.

За прогнозами кліматичних моделей, зокрема ансамблевими модельними проєкціями CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment, ініціатива ВПДК – Всесвітньої програми досліджень клімату) [44], у період 2021–2050 рр. очікується подальше підвищення середніх сезонних температур в Україні на 2,5–3,5 °C у літній та зимовий періоди. Весняні та осінні температури, за прогнозами, змінюватимуться менш виразно, зберігаючи відносну стабільність порівняно з іншими сезонами року.

Зміни температурного режиму супроводжуватимуться просторовою та сезонною перерозподіленістю опадів. Прогнозується збільшення кількості опадів у зимово-весняний період для північних і західних регіонів, що зумовить посилення процесів сніготанення й потенційно збільшить ризик паводків у гірських районах Карпат. Водночас у літньо-осінній період очікується суттєве скорочення опадів у центральних, східних і південних регіонах України, з можливим досягненням майже нульових значень на півдні у липні–серпні, що підвищуватиме ймовірність розвитку гідрологічних і агрометеорологічних посух [1, 32, 39, 43, 46].

Дані багаторічних метеорологічних спостережень, узагальнені у статті “*Climate Change in Ukraine and its Consequences*” (2024), свідчать, що з початку систематичних кліматичних спостережень середньорічна температура повітря в Україні підвищилася більш ніж на 3 °C, що еквівалентно зміщенню кліматичних зон приблизно на 500 км у північному напрямку. Кількість днів із температурою понад 30 °C зросла у 3–5 разів порівняно з початком 1990-х років. При цьому загальний обсяг річних опадів істотно не змінився, що вказує на посилення

процесів аридизації клімату – підвищення випаровуваності, дефіциту ґрунтової вологи та зниження водності річкових басейнів.

Таким чином, підвищення температури та зсув сезонних характеристик опадів є ключовими кліматичними драйверами, що визначають сучасні тенденції зміни гідрологічного режиму водних об'єктів України, зумовлюючи скорочення тривалості періоду весняної повені, поглиблення літньої межені, посилення гідрологічної нерівномірності та зростання ризиків посушливості в південних регіонах країни.

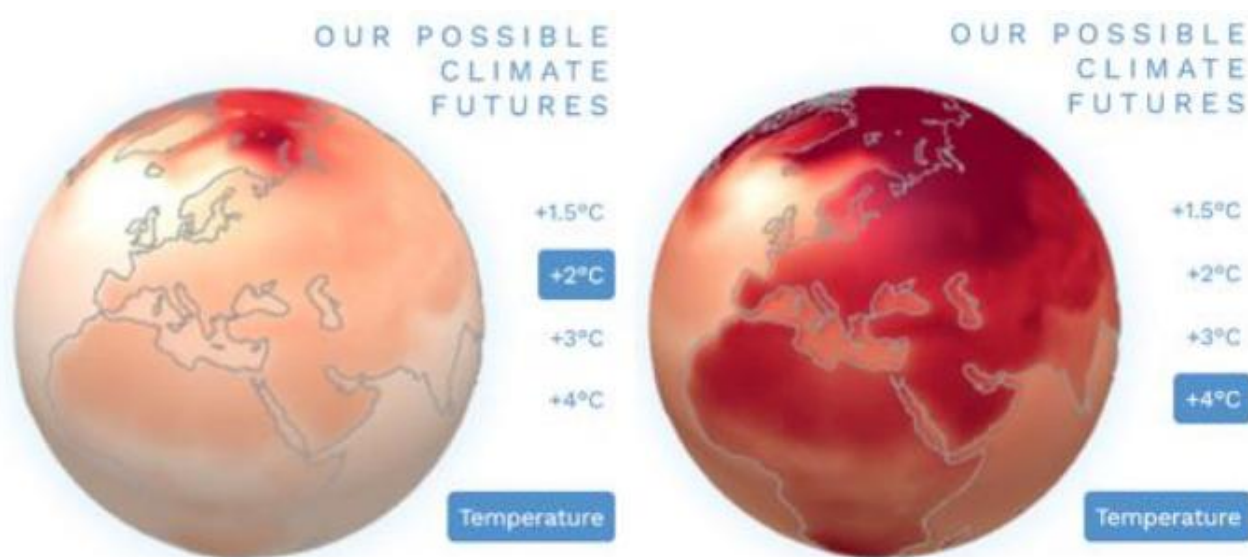


Рисунок 3.1 – Як виглядатиме для України потепління світу на 2°C або 4°C? Зображення взяті з інтерактивного атласу IPCC AR6 [1, 44]

Отже, підвищення глобальної температури відбувається просторово нерівномірно, що зумовлює відмінності у масштабах і характері кліматичних змін у різних регіонах світу, незважаючи на глобальні зобов'язання держав у рамках Паризької кліматичної угоди (передбачає зменшення викидів парникових газів).

Згідно з результатами сучасних кліматичних моделей, навіть за сценарію обмеження глобального потепління до +2 °C, регіон Східно-Центральної Європи, включно з територією України, зазнає інтенсивнішого регіонального прогрівання – до +3 °C у зимовий період, супроводжуючись частішими та тривалішими хвилями екстремальної спеки. У разі реалізації сценарію підвищення середньої глобальної температури на +4 °C очікується значне посилення регіональних кліматичних контрастів – із радикальними змінами сезонного розподілу опадів, зростанням частоти екстремальних погодних явищ,

які раніше траплялися раз на 40–50 років, але у майбутньому можуть повторюватися майже щороку.

Кліматичне моделювання також вказує на ймовірне зміщення кліматичних і біогеографічних зон на північ на відстань до 300–400 км, що може призвести до істотних екологічних трансформацій. Такі зміни становлять серйозну загрозу для високогірних екосистем Українських Карпат, спричиняючи деградацію природних оселищ, втрату біорізноманіття та функціональну дестабілізацію екосистемних послуг, що забезпечують екологічну стійкість регіону.

Підвищення температури призводить до збільшення потенційної випаровуваності, що у поєднанні зі зростанням евапотранспірації, підсилює втрати вологи з поверхні водних об'єктів і ґрунтів, сприяючи дефіциту вологи під час посушливих періодів. У разі зменшення або стабільного рівня опадів це призводить до формування негативного водного балансу в літній період.

Режим опадів також зазнає істотних змін: збільшується частка короткочасних, але інтенсивних зливових опадів, що спричиняють стрімкий поверхневий стік і знижують ефективність інфільтрації у ґрунт та водоносні горизонти. Водночас подовжуються періоди бездощової погоди (атмосферна посуха) у весняно-літній сезон. Такі трансформації характерні для регіональної неоднорідності: на заході й півночі країни спостерігається тенденція до незначного зростання річної суми опадів, тоді як на півдні й сході – до її зменшення, що посилює територіальну диспропорцію водних ресурсів.

Крім того, зміни кліматичних драйверів включають такі аспекти:

- зміщення сезональності: наприклад, весняні повені, спричинені таненням снігу чи дощами, відбуваються раніше, а літній дефіцит води посилюється. Це змінює гідрограф річок, зокрема зсув центру маси стоку;
- зростання частоти екстремальних гідрометеорологічних явищ: інтенсивні зливи спричиняють повені, а тривалі посухи (стають частішими й інтенсивнішими) – дефіцит води та деградацію водних екосистем;
- зміни атмосферної циркуляції: трансформація траєкторій повітряних мас і режиму перенесення вологи впливає на сезонний розподіл і загальну кількість опадів;
- антропогенне навантаження та ландшафтні трансформації (урбанізація, меліорація, збільшення водозабору зменшують адаптивний потенціал гідросистем до кліматичних викликів.

Таблиця 3.1 – Основні кліматичні тенденції в Україні (період 1991-2020 порівняно з 1961-1990) [37]

Показник	Регіон	Тенденція	Величина зміни
Середньорічна температура	Вся територія	Зростання	+1,0°C до +1,5°C
Сума річних опадів	Захід, Північ	Незначне зростання	+5% до +10%
Сума річних опадів	Південь, Схід	Зменшення	-5% до -10%
Інтенсивність опадів	Вся територія	Зростання	Збільшення кількості днів з опадами >30 мм/добу
Тривалість посушливих періодів	Південь, Схід	Зростання	+10–15 днів за літній період

Кліматичні чинники, що визначають трансформацію гідрологічного режиму України, включають три ключові компоненти: температурний режим, режим атмосферних опадів та атмосферне випаровування (евапотранспірацію). Зростання температури повітря зумовлює не лише інтенсифікацію випаровності, але й зміщення фаз річкового живлення. Зокрема, потепління у зимовий період призводить до нестабільності снігового покриву та зменшення його тривалості, що спричиняє згладжування або навіть повну відсутність весняного водопілля – традиційного джерела поповнення річкового стоку та ґрунтових вод. Як наслідок, відбувається перебудова сезонної структури стоку з домінуванням дощового живлення, зменшенням обсягів інфільтрації та погіршенням умов водозабезпечення у вегетаційний період.

На території України вже фіксуються конкретні наслідки цих змін:

- скорочення базового стоку річок у міжсезоння;
- зниження рівнів ґрунтових вод, особливо в посушливі роки;
- зростання ризику дефіциту води в аграрному секторі;
- порушення біоекологічної рівноваги водних екосистем через зміну температурного та гідрологічного режимів.

Для систематичного узагальнення механізмів впливу трьох ключових кліматичних компонентів на гідрологічний режим України в табл. 3.2 наведено порівняльний аналіз їхніх механізмів дії та наслідків.

Таблиця 3.2 – Ключові кліматичні драйвери та механізми їхнього впливу

Драйвер	Спостереження	Механізм впливу
1	2	3
Температура повітря	Прогрівання України швидшими темпами, ніж глобальний середній (у деяких регіонах – понад 3 °C за всю історію спостережень)	Підвищення температури збільшує потенційну випаровуваність, що веде до більших втрат вологи з поверхні ґрунту, водойм, листя. Теплі зими й нестійкий сніговий покрив змінюють фазу опадів (сніг → дощ) у відповідних регіонах, зміщуючи сезонні піки стоку.
Розподіл опадів	В Україні не відзначено однозначного зростання річної суми опадів, проте спостерігається нерівномірність між сезонами, зростання частки інтенсивних злив	Зміна сезонності опадів може зменшувати водопостачання в найспекотніші місяці (літо). Інтенсивні зливи часто призводять до поверхневого стоку (стоку ґрунтом не встигає інфільтруватись), зменшуючи ефективне поповнення ґрунтової вологи і підземних вод.
Евапотранспірація	Оскільки температура зростає, евапотранспірація також зростає в багатьох регіонах. IPCC AR6 відзначає, що GHG вплив сприяє збільшенню контрасту між вологими та сухими кліматами, включно з посиленням випаровування в літні посушливі періоди	Зростання евапотранспірації підсилює дефіцит вологи, що зменшує прибуток води в річки, озера, ґрунтові води. Це особливо критично під час сухого сезону – менше надходження, більше втрат. Фізіологічний ефект підвищеного CO ₂ може частково зменшувати випаровування через зниження провідності листя.

Зсуви гідрометеорологічних циклів	В Україні весняний стік (сніго- чи дощовий) часто настає раніше через підвищену температуру; зрушуються межі початку та завершення вегетативного періоду	Зміщення сезонних меж призводить до асинхронності між водопостачанням і потребами систем – наприклад, вода може надходити до річок раніше, коли не потрібна, а влітку – спад. Це змінює форму гідрографа (центр маси стоку, тривалість піків).
Екстремальні явища: повені, зливи, тривалі посухи	В світі спостерігається зростання інтенсивності великих опадів. В Україні зафіксовані випадки розмивання річок, збільшення частоти спекотних днів ($> 30^{\circ}\text{C}$) втричі–в п'ять разів з 1991 р.	Під час інтенсивних злив основна частина води стікає поверхнево, минаючи інфільтрацію; підвищується ерозія, нанос; для посушливих періодів – довша тривалість дефіциту води, зниження базового стоку у водотоках.
Атмосферна циркуляція, циклонічність, зміни вологості атмосфери	Зміна траєкторій повітряних мас, збільшення переносу вологи, зміни частоти циклогенезів – ці процеси відзначаються й у Європі та можуть впливати на Україну.	Зміна циркуляційних схем змінює кліматичні зони, характер опадів (не тільки кількість, але й походження – континентальні чи морські), сезонність вологості.
Антропогенні супроводжуючі чинники	В Україні значущим є вплив зрошення, водозабір, зміна земельного покриття, регулювання річок. У післявоєнних умовах дисбаланс посилюється (наприклад, дренавання після руйнування Каховського водосховища)	Ці фактори модифікують природну реакцію системи на кліматичні драйвери: зменшують гнучкість системи, знижують можливість відновлення, змінюють шляхи водного руху (наприклад, збільшення поверхневого стоку через ущільнені поверхні, втрати води через водозабір).

Зокрема, взимку 2025 року тривала відсутність опадів призвела до рекордно низького рівня зволоження ґрунтів – найнижчого за останні сім років. У 2024 році середньорічна температура повітря в Києві становила $+11,4^{\circ}\text{C}$, що на $2,4^{\circ}\text{C}$ вище за кліматичну норму. Розподіл опадів був надзвичайно нерівномірним: окремі місяці відзначались рясними дощами, тоді як інші – майже повною їх відсутністю [27, 31].

У контексті триваючої кліматичної трансформації гідрологічна система України зазнає багатофакторного тиску: зростання температури повітря, зміни у сезонності та кількості опадів, скорочення тривалості снігового покриву, а також загальної перебудови водного циклу.

Оскільки близько 97 % відновлюваних водних ресурсів країни формуються за рахунок поверхневого стоку, з яких лише 28,6 % – на території України, вона є особливо вразливою до кліматичних змін як на власній території, так і в транскордонних басейнах (Дніпро, Дунай, Десна тощо). Загальні відновлювані водні ресурси України становлять приблизно $175,3 \text{ км}^3/\text{рік}$, що підкреслює критичну залежність від зовнішніх водних надходжень.

Таким чином, аналіз зміни кліматичних драйверів в Україні демонструє, що клімат стає більш аридним, температурні показники зростають при нерівномірному розподілі опадів, що суттєво впливає на водний баланс та гідрологічний режим. Для адекватного прогнозування та адаптації водогосподарських систем ці драйвери потрібно системно включати в методику екологічної оцінки та моделювання.

3.2 Оцінка сучасного стану гідрологічного режиму та водних ресурсів України в умовах кліматичної мінливості

Кількісні оцінки водних ресурсів України, опубліковані різними авторами й отримані за застосуванням неоднакових методик, демонструють значну методологічну суперечливість та високу варіабельність показників, що пов'язано з використанням різних розрахункових баз, часових періодів та методичних підходів. Ця розбіжність вимагає чіткого обґрунтування та уніфікації оціночних параметрів, особливо при проведенні міжнародних зіставлень та формуванні звітів для глобальних організацій.

З огляду на необхідність використання найбільш актуальної та валідної інформації в академічному середовищі, найбільш репрезентативним та міжнародно-достовірним джерелом інформації про водні ресурси України є дослідження Хільчевського В. К., які базуються на даних глобальної інформаційної системи FAO-Aquastat, що належить Продовольчій та сільськогосподарській організації ООН [32, 46]. Ця система є найбільш досконалою для оцінки водних ресурсів у міжнародному контексті, оскільки сектор сільського господарства становить близько 70 % світового водокористування.

За сучасними оцінками, загальні відновлювані водні ресурси України становлять приблизно 175,3 км³ на рік (табл. 3.3), з яких близько 97 % формуються за рахунок поверхневого річкового стоку, тоді як лише 3 % (що еквівалентно 5 км³) припадає на доступні для використання запаси підземних вод.

Таблиця 3.3 – Склад та обсяг відновних водних ресурсів України (за оцінкою В.К. Хільчевського, 2021, на основі FAO Aquastat) [32, 35, 46]

Вид водних ресурсів	Складники водних ресурсів	Об'єм, км ³
Поверхневі води	Річковий стік внутрішній	50,1
	Річковий стік зовнішній (приплив в Україну)	120,2
	Сумарний річковий стік	170,3
	Річковий стік за межі України	28,9
Підземні води	Прогнозні ресурси	22,0
	Доступні для використання	5,0
Внутрішні води	Поверхневі і підземні	55,1
Загальні водні ресурси	Поверхневі і підземні	175,3

Такий розподіл підкреслює домінуючу роль річкового стоку у формуванні водного балансу країни. З методологічної точки зору, при оцінці водних ресурсів великих територій та країн, як правило, використовують лише величину середньорічного стоку річок. Це пояснюється тим, що води озер, боліт, льодовиків, а також значна частина підземних вод, хоча і є складовими загального гідрологічного циклу, тісно пов'язані з водами річок і, відповідно, вже

інтегровані у показник річкового стоку, що унеможливило їхнє повторне врахування як окремих ресурсів [29].

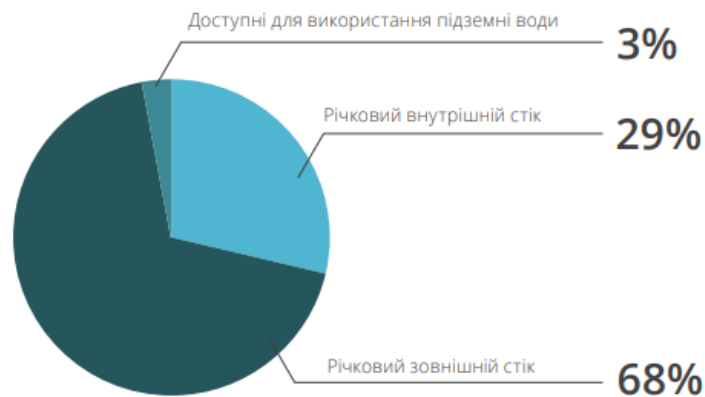


Рисунок 3.2 – Частковий розподіл відновних водних ресурсів України за джерелами формування (на основі середньорічних показників) [24]

Згідно з сучасним гідрографічним районуванням, річки України поділяються на дев'ять басейнів: Вісли, Дунаю, Причорномор'я, Дністра, Південного Бугу, Дніпра, Дону, Приазов'я та Криму (рис. 3.3). Особливості річок та їхній водний режим значною мірою залежать від природних умов і розташування в певній природній зоні [11].

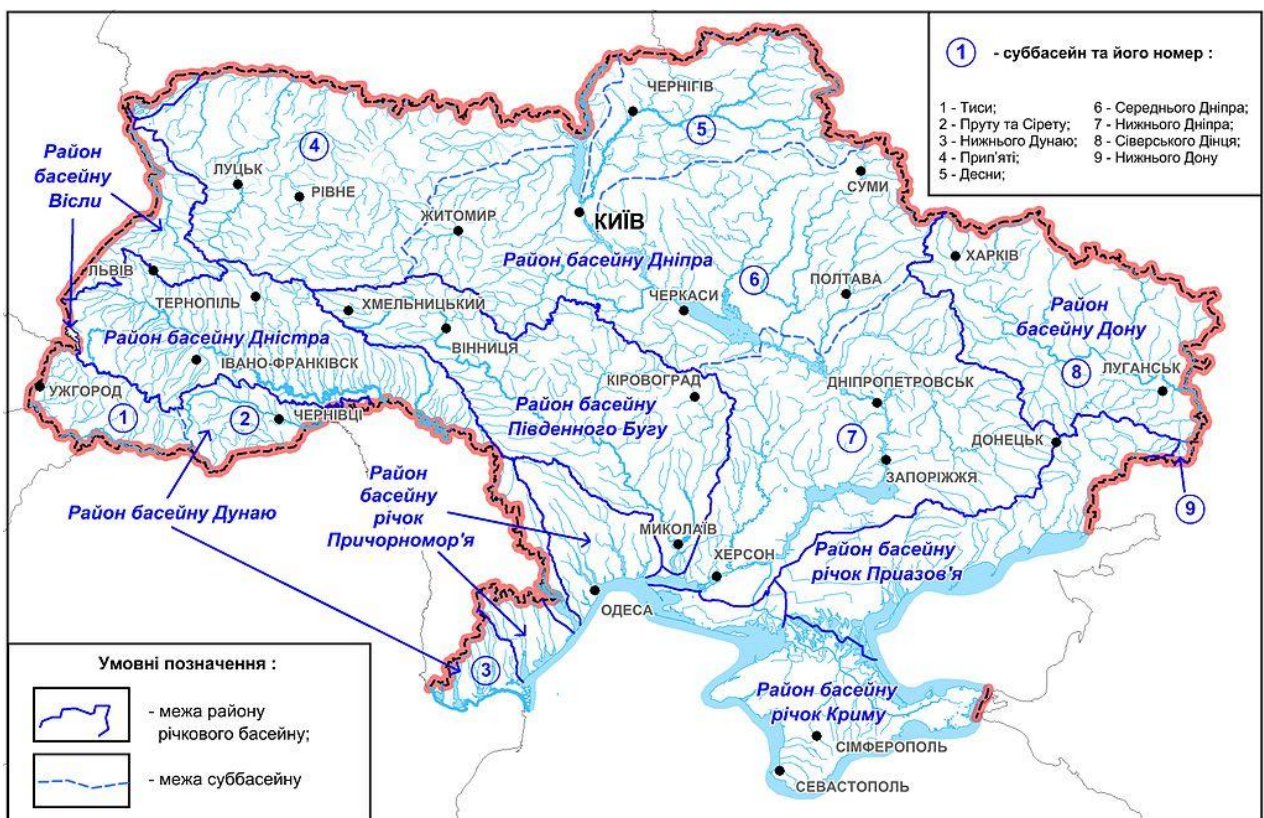


Рисунок 3.3 – Гідрографічне районування території України [11]

Річки, розташовані в межах Полісся (зона мішаних лісів), характеризуються широкими, але слабо вираженими долинами та значною шириною заплави, висота якої над рівнем води зазвичай не перевищує 1 м. Домінуючим типом є вільне меандрування. Русла складаються переважно з піску, в них поширені пасма (річкові дюни). Збереження первісного гідрологічного режиму підтверджується наявністю ярів на увігнутих берегах та кіс на випуклих. У межень швидкість течії становить 0,3–0,4 м/с, а під час весняного водопілля може зростати до 1 м/с. Вода зазвичай прозора, має коричнюватий відтінок. Кількість водної та повітряно-водної рослинності порівняно невелика.

Річки Карпатської гірської системи демонструють значну вертикальну гідрографічну диференціацію. У верхів'ях переважають короткі, стрімкі потоки з вузькими (3–5 м) руслами та кам'янистим або валунним дном. У середньогір'ї долини поступово розширюються, а ухил зменшується; типові донні відклади – галька діаметром 50–100 мм. На передгірських рівнинах спостерігається багаторукавність русел, формування острівців із чагарниковою або навіть деревною рослинністю. В останні десятиліття поширення набув борщівник Сосновського як інвазійний вид.

Карпатські річки характеризуються надзвичайною паводковістю: підйом рівня води під час інтенсивних дощів може досягати 0,5 м/год, а загальна амплітуда – понад 5 м. Це зумовлює активний розвиток гідротехнічних заходів, зокрема дамбування русел з метою мінімізації паводкових ризиків.

Річки Поділля мають чітко виражені, глибокі (до 100 м і більше) долини, часто каньйоноподібного типу (приклад – долина р. Смотрич). Їхні русла, складені галькою та мулом, відзначаються значним ступенем антропогенної зарегульованості. Заплави вузькі, частково розорювані, з розвиненою чагарниковою та деревною рослинністю.

Для річок Придніпровської височини типовими є скельні виходи гранітів у руслах і на берегах (зразковий приклад – р. Рось). У межах цих річок широко розвинена прибережно-водна рослинність, особливо на зарегульованих ділянках.

На території України нараховується 81 середніх річок та 63029 малих водотоків (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Розподіл річок України за площею водозбору (за Гребінем) [10]

Градації площ водо- збору, км²	Кількість річок		Сумарна довжина		В тому числі річки довжиною понад 10 км			
	сума	%	тис. км	%	кількість		сумарна довжина	
					сума	%	тис.км	%
Малі річки								
<10,0	10916	17,3	24,9	12,1	104	3,1	1,68	1,8
10-20	503	0,8	1,3	0,6	59	1,8	0,66	0,7
20-50	8658	13,7	21,5	10,4	797	24,1	9,8	10,5
50-100	10647	16,8	30,1	14,6	890	26,9	13,8	14,6
100-200	10591	16,8	32,4	15,7	653	19,8	14,1	14,9
200-500	9696	15,4	34,8	16,8	453	13,7	15,7	16,6
500-1000	6911	11,0	23,6	11,4	168	5,1	10,0	10,6
1000-2000	5107	8,1	17,7	8,6	88	2,7	7,9	8,4
Разом	63029	99,86	185,8	90,0	3212	97,3	73,7	78,1
Середні річки								
2000-5000	49	<0,1	<u>7,1</u> 7,6	3,4	49	1,5	<u>7,1</u> 7,6	7,5
5000-10000	15	<0,1	<u>2,8</u> 3,4	1,4	15	0,4	<u>2,8</u> 3,4	3,0
10000-25000	13	<0,1	<u>4,4</u> 5,4	2,1	13	0,4	<u>4,4</u> 5,4	4,7
25000-50000	4	<0,1	<u>1,2</u> 2,9	0,6	4	0,1	<u>1,2</u> 2,9	1,3
Разом	81	0,13	<u>15,5</u> 19,3	7,5	81	2,4	<u>15,5</u> 19,3	16,4
Великі річки								
>50000	9	0,01	<u>5,2</u> 12,0	2,5	9	0,3	<u>5,2</u> 12,0	5,5
Україна, разом								
	63119	100	<u>206,5</u> 217,1	100	3302	100	<u>94,4</u> 105,0	100

Кількість малих річок, довжина яких перевищує 10 км, становить 3212 одиниць, а їхня сукупна протяжність сягає близько 74 тис. км. Найбільша кількість річок України припадає на басейни Дунаю (27,9%), Дніпра (24,4%), Дністра (23,6%) і Південного Бугу (10,5%).

На лівобережжі Дніпра кристалічний фундамент залягає на значній глибині, тому річкові долини тут переважно широкі, з донними відкладами, представленими мулом або замуленим піском. Унаслідок незначного ухилу поверхні швидкість течії є низькою (до 0,5 м/с), що сприяє інтенсивному заростанню русел водною рослинністю.

Для Донбасу й Приазов'я характерні горбистий рельєф, часті виходи корінних порід і вузькі заплави. Річки цієї території часто підпираються

гідротехнічними спорудами, що істотно змінює природний гідрологічний режим. Уздовж берегів поширені очеретяні й чагарникові зарості, які сприяють заболоченню прибережних ділянок.

У степовій зоні річкова мережа розвинена слабо. Більшість річок мають високий рівень зарегульованості стоку, замулені русла та надмірно розвинену водну рослинність. Швидкість течії рідко перевищує 0,3 м/с, а в посушливі періоди значна частина водотоків пересихає.

Річки Гірського Криму вирізняються контрастністю морфологічних параметрів. У верхів'ях вони протікають серед валунів, формуючи водоспади й каскади, з густим покривом деревної рослинності, що змикається кронами над руслом. У нижній течії ухили зменшуються, а ширина русла, навіть у найбільших річок (Бельбек, Кача, Дерекойка), становить 6–8 м. Долини можуть розширюватися до 1 км, донні відклади представлені галькою. Частина кримських річок має каньйоноподібні ділянки (р. Чорна, р. Аузун-Узень), які формують унікальні геоморфологічні комплекси – зокрема Великий каньйон Криму.

Запаси води, акумульовані у природних і штучних водоймах, відіграють визначальну господарську та екологічну роль поряд із поверхневим річковим стоком, забезпечуючи потреби господарської діяльності та регулюючи гідрологічний режим.

Для стратегічного управління водними ресурсами та забезпечення потреб населення і промисловості в Україні створено комплексну мережу штучних водосховищ. Згідно з даними Державного агентства водних ресурсів України та узагальненими даними наукових джерел (актуальність до 2025 р.): на території країни налічується 1103 водосховища, із загальний повний обсяг цих водосховищ становить приблизно (55 км³ води) [11]. Ці водогосподарські резервуари загального призначення виконують мультифункціональні завдання – регулювання стоку, забезпечення іригації, водопостачання, гідроенергетики та захисту від повеней – і акумулюють значну частку відновлюваних водних ресурсів країни [32].

Для забезпечення господарської діяльності та регулювання гідрологічного режиму, зокрема на Дніпрі, створено каскад з шести великих водосховищ. Донедавна їхній сукупний повний обсяг оцінювався на рівні 43,8 км³ води (Snishko [52-53]; з урахуванням історичних даних, до підриву Каховської ГЕС у 2023 р.) [14].

Окрім Дніпровського каскаду, до найбільших штучних водних об'єктів України належать: Дністровське водосховище на р. Дністер (повний обсяг $\approx 3,0$ млрд м^3); Печенізьке водосховище на р. Сіверський Донець (≈ 384 млн м^3); Карачунівське водосховище на р. Інгулець ($\approx 308,5$ млн м^3).

Важливо зазначити, що Оскільське водосховище та Каховське водосховище (історичний обсяг) були значно пошкоджені та зруйновані внаслідок бойових дій у 2022–2023 роках, що кардинально змінило регіональний баланс акумульованих водних ресурсів Півдня та Сходу України [11].

У прісноводних озерах зосереджено приблизно 2,3 млрд м^3 води – обсяг, що є значно меншим порівняно із запасами у великих водосховищах.

Розподіл підземних водних запасів на території України є просторово неоднорідним: близько 65 % підземних ресурсів зосереджено в північній і північно-західній частинах країни, зокрема в межах Дніпровсько-Донецького й Волинсько-Подільського артезіанських басейнів. У південних регіонах України (степова зона) ресурси підземних вод значно обмежені, що створює високу гідроекологічну вразливість цього регіону в умовах зростання кліматичної аридизації [30].

Згідно з останніми міжнародними рейтингами, Україна належить до країн із низьким рівнем забезпеченості водними ресурсами. За даними World Bank Group (2024) та FAO-Aquastat (2023), У 2019 році Україна посіла 125-те місце серед 181 держав світу за рівнем водозабезпеченості на одну особу, що відповідає менше ніж 1700 м^3 на особу на рік – межі, яку ООН визначає як критерій водного стресу. У межах Європи Україна займає 17-те місце серед 20 країн за обсягом відновлюваних водних ресурсів на душу населення [1, 54].

У 2020 році на одного жителя України припадало в середньому 1280 м^3 місцевого річного стоку, тоді як, наприклад, в Австрії – 6100 м^3 , у Польщі – 5500 м^3 , а середній показник по Європі становив 3040 м^3 .

Рівень забезпеченості місцевими водними ресурсами суттєво варіює між регіонами країни – різниця сягає майже 60 разів. За міжнародною класифікацією, лише Закарпатська область відноситься до категорії середньої водозабезпеченості, із показником приблизно 6,3 тис. $\text{м}^3/\text{особу} \cdot \text{рік}$. До групи з низьким рівнем належать Чернігівська, Житомирська, Волинська та Івано-Франківська області, де цей показник становить 2,0–3,3 тис. $\text{м}^3/\text{особу} \cdot \text{рік}$. Решта

регіонів України характеризується низькою або дуже низькою забезпеченістю – від 1,9 до 0,12 тис. м³/особу·рік (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Обсяг місцевих водних ресурсів у розрахунку на одну особу в регіонах України, тис. м³/рік (розроблено Ромащенко та ін.)

Згідно з індексом водного стресу [3, 9, 23, 32, 54], який визначається як співвідношення між обсягом водозабору та середньорічними водними ресурсами, рівень стресу є дуже високим на Півдні та Південному Сході України (40–80 %), а в окремих індустріальних районах (зокрема Донецько-Маріупольський регіон) перевищує 80 % [8, 11, 21, 24].

У 2021 році з природних джерел було забрано 9,22 км³ води (серед яких 8,86 км³ – прісна вода), зокрема 1,0 км³ – з підземних джерел, у тому числі 0,27 км³ – з шахтної та кар'єрної води [34].

За даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України (2024) і Укргідрометцентру, південні та східні області (зокрема Дніпропетровська, Запорізька, Херсонська, Миколаївська) уже нині зазнають критичного водного дефіциту, що поглиблюється під впливом кліматичних змін і руйнування інфраструктури унаслідок воєнних дій.

Починаючи з 1990 р., в Україні спостерігається стійке скорочення загального водоспоживання, зумовлене як економічною трансформацією, так і зменшенням обсягів промислового та аграрного водокористування. Якщо у 1990 р. сумарне водоспоживання становило близько 30,2 млрд м³/рік, то станом на 2014 р. воно скоротилося до приблизно 11,5 млрд м³/рік, а за останніми оцінками [1, 11, 27, 31] – до приблизно 9–10 млрд м³/рік. Ця тенденція є типовою для країн, що переживають структурні зміни економіки, коли знижується водоємність виробництва, але зростає навантаження на локальні системи водопостачання.

Разом із тим, скорочення обсягів водоспоживання не супроводжується пропорційним покращенням якості водних ресурсів. Згідно з UNEP (2024) та Copernicus Climate Change Service (2025), Україна залишається в зоні підвищеного ризику деградації водних екосистем через поєднання гідрологічної аридизації, евтрофікації водойм та підвищення температури поверхневих вод, що особливо виражено у басейнах Дніпра, Сіверського Дінця, Інгульця й Південного Бугу.

Аналіз сучасного стану забезпеченості водними ресурсами засвідчує, що Україна перебуває у зоні помірного до високого водного стресу, з регіональною тенденцією до аридизації клімату та скорочення природного стоку. Незважаючи на загальне зниження водоспоживання, стратегічна вразливість держави до нестачі води зберігається, особливо в умовах кліматичних змін і воєнних руйнувань гідротехнічних систем.

3.3 Прогнозні траєкторії трансформації гідрологічного режиму річок України в контексті сценаріїв RCP та SSP

Глобальна кліматична криза, підтверджена звітами IPCC AR6 та UNEP, вимагає превентивної оцінки гідроекологічних ризиків на національному рівні. Оскільки Україна характеризується помірною до низької водозабезпеченості серед європейських держав, аналіз динаміки річкового стоку і потенційних змін є критично важливим для раціонального управління водними ресурсами та ефективної імплементації положень Водної рамкової директиви ЄС.

У якості вихідних даних використано результати дослідження Лободи Н.С. та Козлова М.О. (2020), які застосували середньостатистичну модель ансамблю

14 регіональних кліматичних моделей (RCM) проєкту CORDEX (ініціатива Всесвітньої програми досліджень клімату – WCRP), з використанням траєкторій RCP4.5 та RCP8.5, охоплюючи період 2021–2050 рр [22] Розрахунки виконані порівняно з базовим періодом (до 1989 р.) з використанням балансової гідрологічної моделі «клімат–стік», розробленої в Одеському державному екологічному університеті. У дослідженні охоплено вузлові точки сітки, із точністю оцінок у межах $\pm 10\%$.

Моделювання чітко верифікує негативні тенденції щодо формування водних ресурсів що виражається у зростанні абіотичного стресу в степових і лісостепових ландшафтах та зсуві природно-географічних зон, – під обома сценаріями. За моделлю Лободи та Козлова, реалізація сценарію RCP8.5 (екстремальний) веде до суттєвого розширення зон недостатнього та напіваридного зволоження на північ і північний захід рівнинної території України.

Таблиця 3.5 – Кількісна редукція річкового стоку (за дослідженнями Лободи Н.С. та Козлова М.О.) [22]

Сценарій RCP	Регіон	Прогнозована редукція річкового стоку (2021–2050 рр.)
RCP4.5 (Помірний)	Південні регіони (Причорномор'я)	–50% до –60 %
	Північні регіони	до –10 %
RCP8.5 (Екстремальний)	Південні регіони (критичні басейни)	до –60 %
	Центральні та північні області	–30% до –40 %
Особливий регіон	Українські Карпати	Стабілізація або локальне збільшення водних ресурсів (обумовлено прогнозованим збільшенням зимових опадів)

За траєкторією RCP4.5 (помірний), прогнозується скорочення природного середньорічного стоку на 40–50 % у південній частині України, тоді як на півночі – зміни можуть бути від 0 до –10 %. У випадку RCP8.5 зменшення стоку досягає

–50...–60 % на півдні та –30...–40 % у центральних і північних регіонах. При цьому у гірських територіях (Українські Карпати) можливе утримання або навіть помірне збільшення стоку.

Ці кількісні показники корелюють з даними новітніх досліджень, які використовують сценарії SSP (наступники RCPs) та підтверджують суттєве зменшення стоку (до –24 % за RCP8.5 до кінця століття на рівнинній території).

Зміни співвідношення ресурсів вологи і тепла (індекс зволоження) демонструють посилення посушливості клімату. Зростання максимально можливого випаровування (за даними Copernicus та національних гідрометслужб) оцінюється на 14-18 % у Причорноморській низовині, що є прямим каталізатором аридизації.

Прогнозна модель свідчить про системне зниження обсягів середньорічного річкового стоку. За аналогічними міжнародними дослідженнями (Didovets et al. 2025), очікується скорочення середнього стоку на 10–15 % до 2050 року порівняно з 2020 роком, а до 2100 – до 35–40 % (якщо кліматичні зміни продовжаться без обмежень) [43].

У табл. 3.6 узагальнено прогнозовані зміни водних ресурсів для восьми основних річкових басейнів України (Дніпро, Дністер, Південний Буг, Дунай, Прип'ять, Сіверський Донець, Західний Буг, Тиса) за сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5 до 2050 року.

Таблиця 3.6 –Прогнозовані зміни водних ресурсів у восьми основних річкових басейнах України за сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5 до 2050 року (дані ISIMIP, узагальнення за IPCC AR6)

Басейн	RCP 4.5 (зміна середнього річного стоку, %)	RCP 8.5 (зміна середнього річного стоку, %)	Основні тенденції
Дніпро	–5 ... –15	–10 ... –25	Помірне зменшення стоку, особливо у нижній течії; ризик літньої посухи.
Дністер	–3 ... –12	–8 ... –20	Відносно стабільний стік, менше зниження завдяки гористій місцевості.
Південний Буг	–10 ... –20	–20 ... –35	Суттєве зниження стоку, посилення літнього дефіциту води.
Дунай	–5 ... –15	–10 ... –25	Зменшення річного стоку, зростання варіабельності та частоти паводків.
Прип'ять	–8 ... –18	–15 ... –30	Значне зниження через зменшення опадів та підвищення температури.
Сіверський Донець	–7 ... –17	–15 ... –30	Зниження літнього стоку, зростання потреб у водорозподілі.
Західний Буг	–3 ... –10	–8 ... –20	Менше зниження, пов'язане з впливом західних циклонів.
Тиса	–2 ... –8	–5 ... –15	Відносно стабільний басейн, гориста місцевість пом'якшує вплив змін.

Як показано в табл. 3.6, у всіх восьми основних річкових басейнах України до 2050 року очікується зменшення середнього річного стоку за обома сценаріями зміни клімату – RCP 4.5 та RCP 8.5. Найбільш виражене скорочення водних ресурсів прогнозується для південних і східних басейнів, зокрема Південного Бугу, Сіверського Дінця та нижньої течії Дніпра, де під впливом підвищення температури та зростання випаровування зменшення стоку може сягати 25–35 % за сценарієм RCP 8.5. Водночас басейни Тиси та Дністра демонструють відносно помірні зміни завдяки орографічним умовам та більшій стійкості до кліматичних коливань. У літній період очікується посилення

водного дефіциту в усіх басейнах, що зумовлює потенційні ризики для аграрного сектора, водопостачання та екосистем. Зростаюча варіабельність гідрологічних умов вимагає адаптивного управління водними ресурсами на рівні кожного басейну.

У дослідженні Сніжка та співавторів моделювання для Південного Бугу показало: під сценарієм SSP5-8.5 очікується зменшення стоку в інші місяці (з травня по жовтень) й підвищення співвідношення водозабору до доступного стоку – до 40–79 % у деяких місяцях [52, 53].

Водні ресурси Десни формують майже чверть загального стоку Дніпра та слугують важливим джерелом водопостачання для багатьох населених пунктів України, включно зі столицею – Києвом. Крім того, в дослідженні басейну Десни, за даними науковців Осипов В.В., Осадча Н.М., Осадчий В.І. [1, 39], виконаному з використанням моделі SWAT та кліматичних сценаріїв RCP4.5 / RCP8.5, прогнозується зростання опадів взимку й навесні на 5–10 %, що призведе до збільшення середньорічного стоку на 5–33 %. Це, в основному, пов'язано зі збільшенням ґрунтового живлення. Водночас зростає ризик посух – три з шести регіональних кліматичних моделей вказують на зменшення вологозапасів у ґрунті влітку на 10–20 %. Проте весняні максимуми можуть зменшуватися через зниження накопичення снігу [48].

В одному з досліджень, що охоплює басейни Прут, Стир і Сула за період 1961-2020 років, виявлено, що останнє десятиріччя характеризується суттєвою зниженістю місячного стоку порівняно з попередніми періодами, що корелює із збільшенням температури та змінами опадів.

У результаті прогнозованого скорочення річкового стоку посилюється небезпека дефіциту екологічного стоку (e-flow) – кількість води, необхідна для підтримки біоценозів і екосистем. Зменшення надходжень води збільшує концентрацію поживних речовин, що підвищує ризики евтрофікації та зниження якості води, зокрема в ставках і водосховищах. Результиуюча деградація водних ресурсів на тлі зростання теплових ресурсів створює передумови для системного дефіциту. Це загрожує не лише водозабезпеченню, але й гідрологічному режиму водосховищ, що критично впливає на функціонування водозабірних споруд.

Прогнозовані зміни кліматичних умов формують перспективу зростання гідроекологічної вразливості України, з особливою загрозою для

водозабезпечення південних і центральних регіонів. Зниження стоку при одночасному зростанні потреби у воді (особливо в аграрному секторі) поглиблює конкуренцію за водні ресурси.

3.4 Трансформація гідрорежиму в умовах аридизації клімату півдня України

Основні чинники, що зумовлюють розвиток екстремальних опадів у всіх сезонах, – це циклонічні аномалії, які утворюють аномально вологі потоки, та підсилення конвекції у вразливих регіонах. У літньому сезоні найбільшу роль відіграють конвекційні процеси, як фронтальні, так і локальні. Значення тотального стовпчика вологи загалом зростають – у східних регіонах узимку і восени, у всій Україні навесні та влітку. Це підкреслює важливість вологості для розуміння формування екстремальних опадів.

Тому науковцями [27] приділено увагу походженню вологи, особливостям її акумуляції і шляхам переносу під час екстремальних опадів в Україні. Також звертають увагу на вплив орографії: на рівнинній території України динамічний підйом біля центру циклону є головним механізмом формування екстремальних опадів, тоді як у гірських районах (Карпати, Крим) – орографічне підсилення опадів відіграє ключову роль. Результати показують, що влітку випаровування повітря трапляються по всій Україні, але в інші сезони гарячі точки випаровування повітря знаходяться переважно в Карпатах та вздовж узбережжя Чорного та Азовського морів.

Максимальні джерела вологи розташовані над Північною Атлантикою, Середземним морем та Чорним морем. В інші пори року джерела вологи переважно розташовані над суходолом. Навесні загальний внесок вологи з наземних поверхонь зростає до 66 %, зокрема 22 % надходить з території Східної Європи, а 14 % становить континентальне рециркулювання над Україною. Основне джерело вологи розташоване над південною Україною та Азовським морем (рис. 3.6).

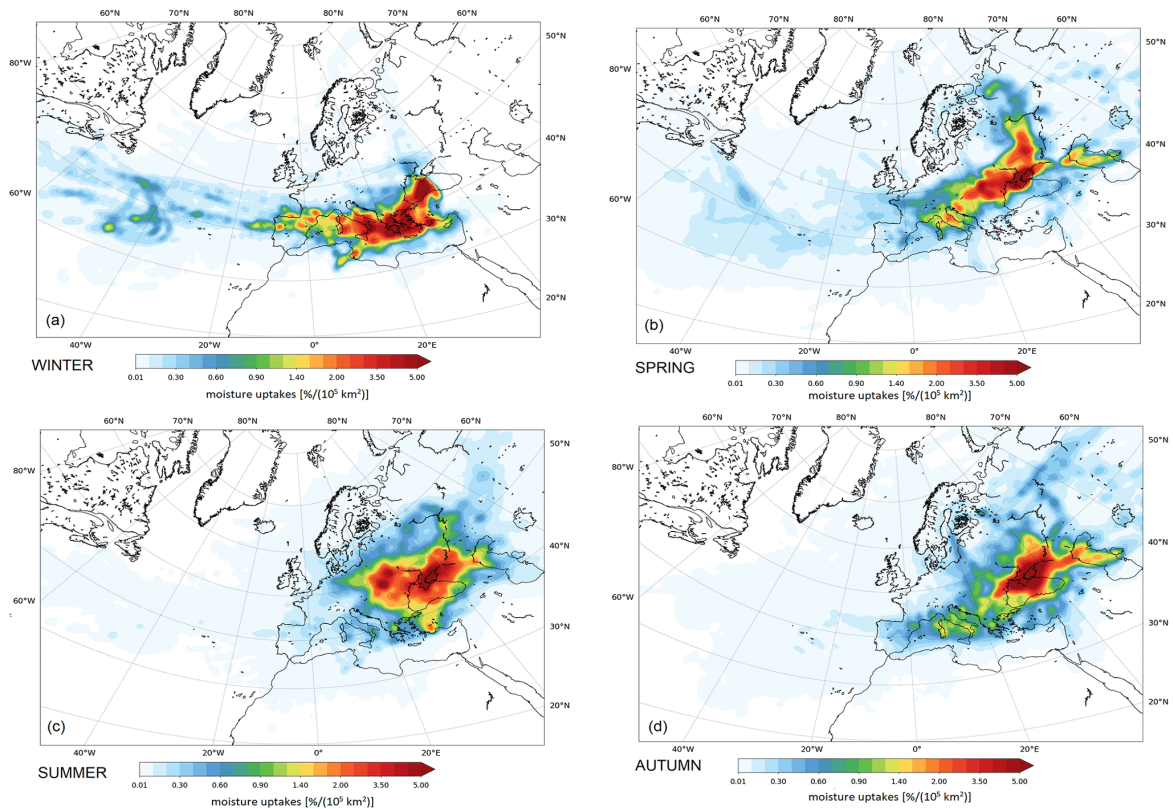


Рисунок 3.6 – Середньосезонні джерела вологи для енергетичних зон в Україні ($\% (10^5 \text{ км}^2)^{-1}$) [1, 44, 53]

Науковці Елліна Агаяр, Франциска Емісеггер, Моше Армон, Александр Шеррманн та Гайні Вернлі відзначають, що відчутний східний внесок також надходить із Східноєвропейської рівнини та Азії – 17 %. Внесок океанічної вологи з Північної Атлантики становить 14 % (порівняно з 24 % узимку), а випаровування з Чорного моря забезпечує 6 % (аналогічно, як і взимку). На сході Каспійське море також стає помітним джерелом вологи – 3 %. Деякі віддалені джерела ідентифіковано над Західною Європою, Італією та Балканами, але їхній вплив значно слабший порівняно з джерелами над Східною Європою та Україною.

Отримані результати надають нове уявлення про великомасштабні кліматологічні характеристики екстремальних опадів в Україні. Вони підтверджують, що синоптична структура екстремальних опадів тісно пов'язана з динамікою потенційного вихору на висоті, а джерела вологи демонструють чіткий сезонний перехід від домінування океанічних джерел взимку до переваги сухопутної евапотранспірації в теплі періоди року. Це має ключове значення для

вдосконалення моделей прогнозування небезпечних гідрометеорологічних явищ.

Через глобальне потепління в Україні спостерігається поступове зміщення південних природних зон на північ. Український степ наступає на північний захід, тоді як зона Полісся невпинно скорочується під тиском кліматичних змін. За даними нещодавніх наукових досліджень, у деяких районах Одеської та Херсонської областей вже спостерігаються ознаки клімату, близького до пустельного або напівпустельного. Сільське господарство цих регіонів дедалі більше залежить від опадів, особливо у теплі пори року, адже зменшення кількості опадів, збільшення випаровування та зниження біокліматичного потенціалу призводять до зниження продуктивності.

Південні області України – Херсонська, Запорізька, частково Миколаївська й Одеська – мають посушливий клімат і історично сильно залежать від зрошення, тобто штучного поливу сільгоспугідь. Після руйнування Каховського водосховища внаслідок підриву Каховської ГЕС у 2023 році, система Північно-Кримського, Каховського й інших каналів залишилася без джерела живлення – рівень води у нижній частині Дніпра критично впав. Це спричинило майже повну втрату можливості зрошення для сотень тисяч гектарів сільгоспземель. Редукція стоку (зменшення об'ємів води, яка природним шляхом тече в річках) робить існуючі водогосподарські системи, що були орієнтовані на значний річковий стік (до 1990-х), нежиттєздатними без радикальної модернізації. До 1990-х років системи зрошення будувалися під умову, що у великих річках України – зокрема в Дніпрі – завжди буде достатньо води для сільського господарства, промисловості й населення.

Таким чином, сільське господарство Півдня України, особливо після руйнування Каховського водосховища, зіткнулося з екстремальним дефіцитом зрошувальної води. Зміна клімату й зменшення річкового стоку зробили старі системи зрошення практично непридатними. Без технологічного оновлення й переосмислення підходів до водокористування аграрне виробництво в цьому регіоні опинилося під загрозою.

У південній Україні спостерігається дедалі помітніша тенденція аридизації, – зміщення кліматичних меж і прояви умов, близьких до пустельних, які відчутно позначаються на ландшафтах і аграрному секторі. Наприклад, Олешківські піски

(Херсонська область) представляють собою один із найбільш помітних випадків «пустельного анклаву» в Україні. За результатами аналізу супутникових знімків Landsat за період 1986–2020 років фахівці виявили зростання індикаторів опустелювання: збільшення площі відкритих пісків, зниження рівня вологості ґрунту, а також зменшення щільності рослинного покриву [20]. У праці «Monitoring desertification by remote sensing ...» продемонстровано, що усі розглянуті спектральні показники вологості, рослинності та розповсюдження піску мають стійку тенденцію до погіршення протягом цих десятиліть [46].

Як ілюстрацію, NASA також демонструє, що масив пісків площею близько 161 км² в Олешках є видимим із космосу й має чіткі ознаки аборигенного розповсюдження пісків у межах вузької оточуючої території з рослинністю. Спостерігається, що деякі піщані ділянки поступово просуваються в напрямку лісових масивів, особливо вздовж їхніх меж, що може свідчити про міграцію пісків на раніше озеленені території [48].



Рисунок 3.7 – Зміщення природних зон за даними НАНУ [1]

Таким чином, на початку 2020-х років південні регіони України змушені долати подвійну загрозу: нестача природної води (зменшення стоку, дефіцит опадів) та руйнування штучних систем водопостачання. Це ставить під загрозу продовольчу безпеку, екологічний стан водних екосистем і вимагає системних заходів адаптації на національному та регіональному рівні.

Щодо динаміки клімату, в роботі «Assessing Climate Aridity Trends in Southern Ukraine during 1991–2020» вивчено кліматичну аридизацію у південному регіоні України. Зокрема, виявлено, що середньостатистичне число бездощових днів (з березня по жовтень) за останні 30 років становить близько 203 ± 6 днів, і показник має тенденцію до зростання – приблизно $+0,4 \pm 0,1$ дня на декаду. У періоди спеки спостерігаються аномально високі температури, сухі вітри, низька вологість повітря, часто досягаючи навіть до 30 %, а тривалі періоди без опадів стають все частішими [41,44].

Практично щорічно фіксуються дні, коли максимальна температура повітря перевищує позначку на півдні та південному сході країни, що свідчить про посилення теплових хвиль. Зокрема, влітку 2024 року в Миколаївській області було встановлено новий історичний рекорд: 16 липня 2024 року температура повітря досягла [53]. Цей показник перевищив попередні абсолютні максимуми, підтверджуючи прогресуючий характер потепління. Служба зміни клімату Copernicus неодноразово зазначала, що 2024 рік став одним із найспекотніших за всю історію спостережень, що безпосередньо впливає на регіональні температурні аномалії в Україні.

Паралельно зі зростанням денних температур, в Україні спостерігається збільшення частоти аномально теплих літніх ночей, відомих як тропічні ночі (коли температура не опускається нижче). Це явище є типовим наслідком кліматичних змін, оскільки тепліші ночі перешкоджають природному охолодженню ландшафту та урбанізованих територій (ефект теплового острова) [55].

Стійке поєднання екстремально високих денних температур та теплих тропічних ночей створює помітне теплове навантаження (Heat Stress) на організм людини, що підвищує ризики для громадського здоров'я.

Також важливо враховувати змінність й екстремальність опадів. Дослідження «Precipitation extremes in Ukraine from 1979 to 2019» показує, що, хоча екстремальні зливи (з опадами ≥ 100 мм за добу) трапляються по всій Україні, їхня частота й інтенсивність мають значні регіональні й сезонні варіації [1]. У південних районах України спостерігається тренд до нерівномірності опадів – великі зливи трапляються рідко, але мають високий інтенсивний характер, а в міжзливні періоди – часто нестача дощів [20, 30]. Це означає, що

сільське господарство цих регіонів вимушене справлятися з подвійним викликом: надмірні дощі, які можуть спричиняти ерозію, і тривалий дефіцит вологи, що виснажує ґрунтові запаси.

У підсумку, наведені приклади і дані свідчать, що вже станом на початок 2024 років в Україні – особливо в південних регіонах – простежуються чіткі ознаки кліматичного зсуву на сухіші умови. Ці зміни посилюють вразливість агропромисловості: втрата ґрунтової вологи, скорочення вегетаційного покриву, збільшення ризику посух і нестабільність водозабезпечення роблять регіон надзвичайно залежним від коливань клімату та опадів. Отже, експансія аридних зон на північ України набула стійкого характеру.

3.5 Аналіз вразливості малих водозбірних басейнів Західної України до екстремальних паводкових явищ

Західні регіони України, зокрема Карпатський масив та Передкарпаття, часто відчують надзвичайну чутливість гідрологічної системи до кліматичних змін. Проблема паводків на малих річках цього регіону – одна з найбільш гострих водних загроз, посилена глобальним потеплінням та посиленням гідрометеорологічної мінливості.

За даними Укргідрометцентру, в гірських районах Карпат середньорічна кількість опадів перевищує 1500 мм, а іноді сягала 2000 мм (для порівняння, у центральних областях України – 500–600 мм/рік) [31].

Інтенсивність злив може досягати 50–100 мм на добу (а за надзвичайних умов – понад 200–300 мм за 2–3 доби), що в умовах стрімкого гірського рельєфу із коефіцієнтом стоку до 0,9 провокує швидке формування паводків. Наприклад, катастрофічні повені 2008, 2010 та 2020 років були зумовлені випаданням великої кількості опадів за короткий час у гірській місцевості Західної України (понад 200–300 мм за 2–3 дні). Зокрема, повені 2020 року стали однією з найбільших катастроф Західної України за останні десятиліття (затоплено велику кількість територій, завдано значні збитки).

Час концентрації стоку на водозборах площею до 500 км² у гірських умовах часто не перевищує 6–12 годин. Це означає, що після інтенсивного опадів майже

вся вода збирається й спрямовується до русел річок дуже швидко, залишаючи мінімальні часові рамки для попередження населення й організації заходів реагування.

Площа малих річок Західної України (до 500–2000 км²) робить їх особливо вразливими до короткочасних, але інтенсивних атмосферних опадів. Час концентрації стоку (час, за який вода з усього водозбору доходить до гирла) тут може становити всього 6–12 годин, що створює сприятливі умови для раптових паводків.

За даними Укргідрометцентру та міжнародних проєктів кліматичного моніторингу, в Карпатському регіоні спостерігається незначне зростання річної кількості опадів, але суттєво збільшується частота й інтенсивність короткочасних злив. Це підтверджується аналізами кліматичних трендів у Європі й глобальними проєктами (наприклад, у звітах ІРСС).

На малі річки Карпат характерний один з найвищих питомих витрат серед річок України – до 20–40 л/с на км² водозбору. Для порівняння: у Лівобережному Лісостепу ці показники зазвичай становлять 3–5 л/с·км². Такий високий питомий стік свідчить про значний паводковий потенціал басейнів річок Прут, Тиси, Дністра та їх приток [3].

У зв'язку з прогнозованим подальшим зростанням частоти екстремальних опадів (ІРСС, 2023), актуальність детального вивчення гідрологічної динаміки та розробки превентивних адаптаційних заходів для цього регіону є надзвичайно високою, оскільки тут ризики для довкілля, господарства та безпеки людини є одними з найбільш концентрованих в Україні.

Зміни також призводять до різкого збільшення середньорічних економічних збитків через повені. Прикладами є повінь у Закарпатській області в період з 21 по 27 червня 2008 року та катастрофічна повінь влітку 2020 року, коли у п'яти регіонах на заході країни повені торкнулися щонайменше 250 населених пунктів, пошкодили 750 км доріг та спричинили загибель чотирьох людей [39, 51]. Також паводки посилюють забруднення водою твердими побутовими відходами: наприклад, у 2020 році на західному кордоні було зафіксовано випадки засмічення водою, де кількість сміття сягала 50–100 пластикових пляшок за хвилину.

3.6 Дисбаланс у функціонуванні водосховищ в умовах кліматичних трансформацій

Водосховища, як штучно створені гідротехнічні об'єкти, відіграють ключову роль у регулюванні річкового стоку та забезпеченні стабільного водокористування. Проте в умовах сучасних кліматичних змін їхнє функціонування істотно ускладнюється, і варто зазначити, що нині вони перебувають під подвійним тиском – як з боку кліматичних трансформацій, так і внаслідок негативного впливу воєнних дій.

Зменшення водності та зміна режиму наповнення, зокрема скорочення стоку річок призводить до того, що водосховища не встигають наповнюватися до початку літнього періоду. Це створює конфлікт інтересів між основними водокористувачами – гідроенергетикою, системами іригації, комунальним водопостачанням і рибним господарством. Зокрема, водосховища Дніпровського каскаду (Київське, Кам'янське, Кременчуцьке, Каховське) демонструють тенденцію до зниження середньорічних рівнів води. Зменшення стоку Дніпра безпосередньо впливає на їхнє водонаповнення. Руйнування Каховської ГЕС у 2023 році ще більше загостило цю проблему в південних регіонах, призвівши до втрати значних обсягів води для зрошення, промисловості та питного водопостачання.

Втрати на випаровування, насамперед через збільшення площі відкритої водної поверхні водосховища втрачають значні обсяги води через інтенсифікацію процесів випаровування, що посилюється під впливом підвищення середньорічних температур.

У водосховищах, подібно до природних озер, відбувається посилення процесів прогрівання та евтрофікації, що потребує запровадження додаткових заходів для підтримання якості води на рівні санітарно-гігієнічних норм. Замулення, накопичення органічних і неорганічних забруднювальних речовин у донних відкладеннях стає дедалі серйознішою проблемою, особливо в умовах маловоддя. Згідно зі звітами Всесвітньої організації охорони здоров'я (WHO), потепління клімату спричиняє суттєві ризики для здоров'я людини внаслідок погіршення якості питної води [29, 36, 38, 53].

Більшість водосховищ України проектувалася та вводилася в експлуатацію в умовах відносно стабільного клімату XX століття, коли гідрологічний режим річкових басейнів характеризувався передбачуваністю сезонної динаміки стоку. В умовах сучасних кліматичних трансформацій, що супроводжуються підвищенням температурного режиму, зменшенням сумарного стоку та зміщенням фаз водного балансу, виникає структурний дисбаланс між проєктними параметрами водосховищ і фактичними гідрокліматичними умовами.

Зміна кліматичних параметрів призводить до конфліктної взаємодії між основними функціями водосховищ (табл. 3.7), які традиційно забезпечували багатофункціональне використання водних ресурсів. Так, енергетична функція потребує підтримання високих рівнів води для стабільної роботи гідроелектростанцій; іригаційна функція – постійного та прогнозованого водозабору для аграрного сектора; протипаводкова функція, навпаки, вимагає наявності резервного об'єму для акумуляції надлишкового стоку під час паводкових явищ. У сучасних умовах зменшення стоку та підвищеної міжрічної мінливості гідрологічного режиму цей баланс стає дедалі складнішим для досягнення, особливо в маловодні роки, коли конкуренція між водокористувачами посилюється.

Водосховища, будучи важливим елементом антропогенно трансформованих гідроекосистем, одночасно виконують низку екосистемних послуг – регулювання стоку, акумуляцію та збереження прісної води, підтримання біорізноманіття, пом'якшення температурних екстремумів, зменшення ризиків паводків і посух. Однак деградація цих функцій під впливом кліматичних змін і нераціональної експлуатації знижує адаптаційний потенціал водосховищ у контексті національної водної безпеки та кліматичної стійкості регіонів.

Таблиця 3.7 – Основні функції водосховищ України та ризики їх порушення в умовах кліматичних змін

Функція водосховища	Ключові екосистемні послуги	Прояви кліматичних ризиків	Наслідки для довкілля та господарства	Необхідні адаптаційні заходи
1	2	3	4	5
Енергетична	Генерація електроенергії; стабілізація добового коливання потужності; акумуляція гідроресурсів	Зменшення стоку та рівнів води, підвищення випаровуваності, скорочення періоду повноводдя	Недоотримання електроенергії; порушення режиму роботи ГЕС; зростання навантаження на енергосистему	Оптимізація режимів роботи ГЕС; модернізація турбін; запровадження балансувальних потужностей із відновлюваних джерел
Іригаційна (зрошувальна)	Забезпечення стабільного водопостачання агроландшафтів; підтримка продуктивності сільськогосподарських угідь	Зменшення запасів води у вегетаційний період; зростання дефіциту вологи в ґрунтах; підвищення солоності	Зниження врожайності; деградація ґрунтів; загострення водогосподарських конфліктів між секторами	Впровадження водозберігаючих технологій (краплинне зрошення, мікрозрошення); інтегроване управління водними ресурсами

Протипаводкова	Регулювання пікових стоків; захист прибережних територій від затоплення	Зміщення сезонності паводків; збільшення частоти зимових паводків; перевантаження водосховищ	Ризики затоплень; ерозія берегів; пошкодження гідропоруд	Перегляд проектних норм експлуатації; створення систем раннього оповіщення; підвищення водоутримувальної здатності басейнів
Екологічна (регуляторна)	Підтримання біорізноманіття; стабілізація мікроклімату; відновлення водно-болотних угідь	Підвищення температури води; евтрофікація; замулення; зменшення самоочисної здатності	Зниження якості води; заморні явища; деградація іхтіофауни та фітопланктону	Реалізація природоорієнтованих рішень (restoration-based management); біоремедіація; моніторинг трофічного стану
Соціально-економічна	Забезпечення питного водопостачання, рекреації, рибництва; створення робочих місць	Зниження рівня води; погіршення санітарного стану; втрата рекреаційного потенціалу	Дефіцит питної води; зниження туристичної привабливості; соціальні ризики для місцевих громад	Підвищення ефективності водокористування; екологічна сертифікація водних об'єктів; просування принципів водної безпеки

Як показано в табл. 3.7, водосховища України виконують багаторівневі функції, поєднуючи техногенне, екологічне та соціально-економічне значення. У контексті кліматичних трансформацій їхній стан стає індикатором екосистемної стійкості та маркером ефективності кліматичної адаптації водогосподарського комплексу. Відповідно, модернізація підходів до експлуатації водосховищ має ґрунтуватися на принципах екосистемного управління, сценарного прогнозування гідрологічних ризиків і збалансованого розподілу водних ресурсів між секторами.

Показовим прикладом є Каховське водосховище, сучасний стан якого став каталізатором масштабної еколого-гуманітарної кризи в південних регіонах України. Сукупна дія факторів – зменшення стоку Дніпра, надмірне водовикористання для зрошення та катастрофічні наслідки руйнування Каховської ГЕС у 2023 році – призвела до критичного обміління водного дзеркала, осушення прилеглих іригаційних систем, порушення гідрологічного зв'язку з підземними водами, погіршення якості питної води у великих населених пунктах (зокрема м. Нікополь), масової загибелі іхтіофауни та глибокої деградації екосистем Нижнього Дніпра [24, 28, 29].

У контексті кліматичної адаптації нагальною стає потреба у переосмисленні стратегій управління водосховищами – від суто техногенно-ресурсного підходу до екосистемно орієнтованої моделі, яка враховує природно-регуляторну функцію водних об'єктів, сезонну динаміку стоку та біоекологічні межі відновлення водних ресурсів.

3.7 Вразливість водних екосистем в умовах кліматичної нестабільності

Водні екосистеми належать до найчутливіших компонентів біосфери, оскільки навіть незначні кліматичні зрушення. Щорічне підвищення температури водних мас та повітря, трансформація режиму опадів (зокрема, критичний дефіцит у теплі періоди), посилення евапотранспірації та зростання частоти екстремальних гідрометеорологічних явищ спричиняють дестабілізацію балансу аквабіоценозів. Ця проблематика набуває особливої гостроти в регіонах

з обмеженими та нерівномірно розподіленими водними ресурсами, до яких належить і Україна.

Внаслідок кліматичної перебудови в Україні фіксується зниження середньорічного стоку та рівня води в річках і водоймах, що порушує гідрологічний баланс і призводить до погіршення якості води. Ці процеси детермінують втрату біорізноманіття, зміну водного режиму ґрунтів та зниження їхньої родючості [20, 30], а також ініціюють тривалі посухи, катастрофічні повені та інші природні лиха, які спричиняють деградацію інфраструктури та зниження аграрної продуктивності.

Одночасно із кліматичними впливами, водні екосистеми зазнають значного антропогенного навантаження: забруднення вод токсичними сполуками, надмірне використання водних ресурсів, трансформацією природних ландшафтів і скороченням площ водно-болотних угідь.

У сучасних реаліях України до цього додається ще й руйнівний вплив воєнних дій, зокрема внаслідок пошкодження чи знищення водозабезпечувальної та водогосподарської інфраструктури – що посилює дію кліматичних стресорів і веде до екологічної нестабільності [29, 50, 51]. Так, держава опинилася в умовах, коли тривалі посухи, повені або інші природні катаклізми здатні не лише порушити природні системи, але й призвести до руйнації інфраструктури, деградації ґрунтів та зниження врожайності сільськогосподарських культур.

Підвищення температури та нестача притоку води сприяють зменшенню глибини озер і водосховищ, а також підвищенню концентрації мінеральних речовин. Це активізує процеси евтрофікації (рис. 3.8): надлишок азоту та фосфору стимулює інтенсивний розвиток фітопланктону – особливо синьо-зелених водоростей, що знижує вміст розчиненого кисню у воді. У застійних водоймах такі процеси супроводжуються гниттям органічних решток, зменшенням кисню до критичних рівнів і масовою загибеллю риби. У гірських та полонинних водоймах, зокрема в Карпатському регіоні, зафіксовано аномальне нагрівання водних мас, яке порушує сезонну стратифікацію води, змінює видову структуру планктону і іхтіофауни.

Болотні та прибережні екосистеми також зазнають значного тиску. Періоди тривалих посух призводять до повного пересихання низинних озер і боліт,

зростання кількості торф'яних пожеж і знищення рідкісних видів флори. У степових та приморських регіонах України зафіксовано тенденцію до висихання водойм, зокрема Куяльницького лиману в Одеській області, що свідчить про критичне зниження рівня підземного та поверхневого живлення.

Ключовим наслідком цих процесів є погіршення умов існування гідробіонтів. Підвищення температури води, дефіцит кисню та посилення евтрофікації спричиняють зміну біотичної структури водойм – теплолюбні види витісняють холодолюбні, що веде до втрати рибного та безхребетного різноманіття.

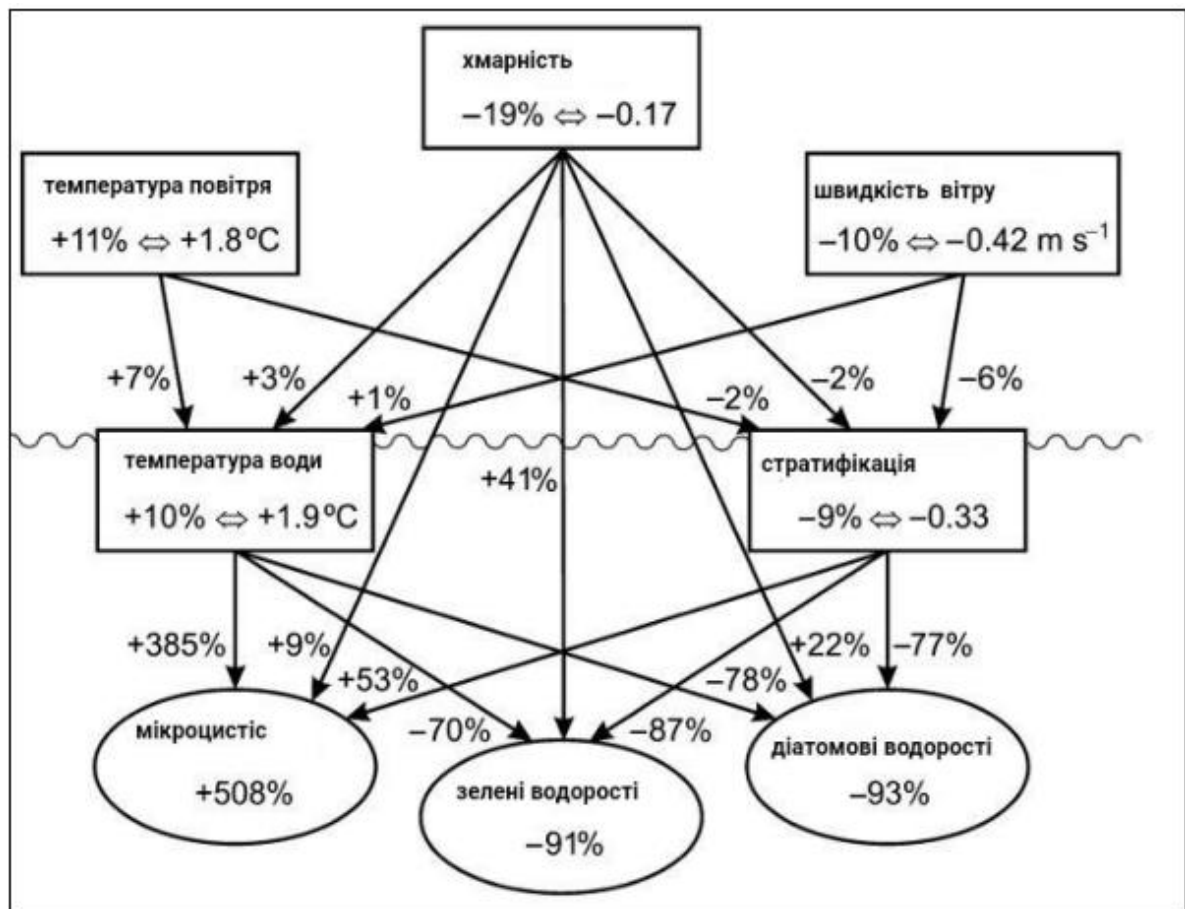


Рисунок 3.8 – Комплексна дія факторів, асоційованих із тепловими хвилями, сприяє інтенсифікації процесів евтрофікації та розвитку феномену «цвітіння» вод [30]

Дефіцит води та погіршення її якості загрожує різноманіттю гідробіонтів та може призвести до деградації річкових заплав і водно-болотних угідь, які є критично важливими для екологічної стійкості ландшафтів і формування хімічного складу річкових вод.

Загалом водні екосистеми України характеризуються низьким рівнем гідроекологічної стійкості. За оцінками міжнародних джерел, середньорічний запас відновлюваних прісних вод на одну особу становить близько 1,2 тис. м³, що є одним із найнижчих показників у Європі. Поєднання кліматичних аномалій, антропогенного навантаження та наслідків військової агресії створює складну систему ризиків, яка проявляється у зростанні токсичного, хімічного та мікробіологічного забруднення, деградації водних біотопів і загрозі екологічній безпеці населення.

Отже, зміни клімату мають сприйматися не лише як фоновий тренд, а як активний і мультиплікативний чинник трансформації екосистем, який здатний модифікувати класичні екологічні механізми та посилювати ризики деградації водних систем. Таке усвідомлення має бути інтегроване в наукові підходи до управління водоймами та адаптаційної політики – це є критично необхідним для збереження екологічного балансу й підтримки стабільності водних екосистем в умовах глобального кліматичного тиску.

Україна затвердила Програму державного моніторингу поверхневих водойм на 2025 рік, що включає 547 пунктів спостереження, зокрема у річкових басейнах, які беруть участь у водозабезпеченні населення [11].

Проект із Фінляндією та фінансуванням міжнародної співпраці Фінляндії на 2025-2028 рр. спрямований на покращення контролю за якістю води та біорізноманіттям, що має важливе значення для оцінки ризиків евтрофікації та «цвітіння».

3.8 Обґрунтування напрямів адаптації водогосподарських систем до кліматичних змін

В Україні, де поверхневий річковий стік є основним джерелом водних ресурсів, вплив кліматичних змін проявляється у формуванні двох діаметрально протилежних, але взаємопов'язаних тенденцій, що створює концептуальну проблему для управління водним сектором:

- зростання температури та посилення аридизації, що призводить до зниження середньорічного та меженного стоку на більшій частині території, особливо на Півдні, що критично зменшує запаси місцевих водних ресурсів;

– збільшення водного стоку в окремі сезони чи місяці на певних територіях, що спричиняє формування катастрофічних паводків та повеней на окремих територіях (наприклад, у Карпатах та на Західній Україні).

Тому рекомендації щодо адаптації водного сектору України мають враховувати саме ці дві ключові тенденції можливих змін під впливом клімату.

Таблиця 3.8 – Класифікація адаптаційних заходів у водному секторі за спрямованістю на пропозицію та попит

Орієнтовані на пропозицію (можуть мати несприятливі наслідки для навколишнього середовища):	Орієнтовані на попит (є більш сталими підходами)
Розвідка і видобуток підземних вод	Підвищення ефективності водокористування шляхом повторного використання води
Збільшення ємностей шляхом будівництва водосховищ і гребель	Скорочення попиту на воду для зрошення шляхом зміни строків вирощування культур, їхнього асортименту, методу зрошення і розмірів оброблюваної площі
Опріснення морської води	Заохочення практики сталого використання водних ресурсів
Збільшення об'ємів накопичення дощових вод, у тому числі шляхом активних впливів на хмари	Розширене використання економічних стимулів, враховуючи облік витрат води і встановлення ціни на неї з метою сприяння збереженню водних ресурсів
Перекидання води	

Розробка адаптаційних стратегій ґрунтується на принципах раціонального використання, охорони та відтворення водних ресурсів, включаючи впровадження басейнового принципу управління. Найефективніші стратегії вимагають інтеграції інституційних змін, неструктурних (екосистемних) та технічних заходів.

Враховуючи рекомендації IPCC необхідно невідкладно впроваджувати **адаптаційні стратегії**, які передбачатимуть:

- впровадження Інтегрованого управління водними ресурсами на рівні басейнів;
- масштабне застосування водозберігаючих технологій в агросекторі;
- модернізацію інфраструктури водопостачання й зрошення;
- стимулювання повторного використання води й заходів з утримання ґрунтової вологи;
- модернізацію гідротехнічних споруд, будівництво ставків-накопичувачів, систем капельного зрошення;
- відновлення водно-болотних угідь, лісомеліорація, залучення екологічного стоку.

Необхідним кроком є оновлення чинних Планів управління річковими басейнами на основі детальних кліматичних прогнозів, що забезпечить проактивне планування, а не реактивне реагування на надзвичайні ситуації.

Відповідно до міжнародної практики (UNEP, ООН) доцільно перейти до моделі кругової економіки води, щоб мінімізувати втрати ресурсів і підвищити стійкість водного фону в умовах кліматичної невизначеності та змін.

Спільний молдовсько-український проєкт з управління басейном Дністра уже прогнозує, що середньорічний стік у Дністрі може зменшитись на 15–30 % за помірнього сценарію або на 25–40 % за агресивного до середини століття [12].

Україна вже ухвалила Стратегію екологічної безпеки та адаптації до змін клімату до 2030 року, у межах якої водні ресурси відносяться до пріоритетних секторів адаптації [17].

У 2025–2027 роках заплановано конкретні заходи в рамках операційного плану адаптації, включно з адаптацією водного сектору в рамках басейнового підходу управління.

На місцевому рівні, наприклад, в Ужгородському національному університеті реалізується проєкт з водозберігаючих рішень для адаптації до кліматичних змін у прикордонному регіоні з Польщею.

У сфері міжнародного обміну досвідом, на Дунайській водній конференції 2025 року Україна представила досвід кризового управління водопостачальним сектором під час війни (зокрема після руйнації Каховської ГЕС).

Ретельне стратегічне планування та адекватне управління водними ресурсами набувають критичного значення для запобігання потенційним кризам, зумовленим дефіцитом прісної води та погіршення її якості. Наслідки таких криз можуть суттєво впливати на життєвий рівень як сучасного, так і майбутніх поколінь [19].

Згідно з дослідженнями Alsaeed et al. (2024), пропонується концептуальний підхід SWRM-AF як інтегрована модель управління водними ресурсами в аридних та напіваридних регіонах. Цей підхід охоплює чотири взаємопов'язані компоненти: екологію, економіку, суспільство та інфраструктуру, що дозволяє збалансовано враховувати екологічні, економічні та соціальні аспекти при формуванні стратегій стійкого водокористування [39].

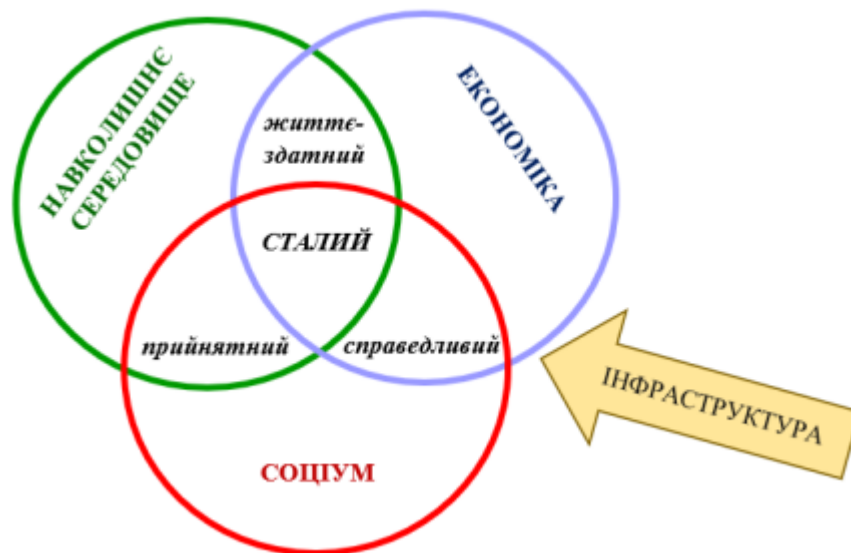


Рис. 3.9 – Врахування фактору «інфраструктура» в триаді сталого розвитку для забезпечення ІУВР [1]

Керування водними ресурсами на рівню водозбірного басейну є ключовим компонентом Цілей сталого розвитку 6 (SDG 6) ООН, яке сприяє збереженню, відновленню та сталому використанню прісноводних екосистем і наданням ними екосистемних послуг. Так, у звіті SDG 6 Synthesis Report on Water and Sanitation 2023 підкреслюється, що реалізація інтегрованого управління водними ресурсами (IWRM) через басейнове планування є критичною для досягнення цілей SDG 6 (ООН, 2023) [44, 54].

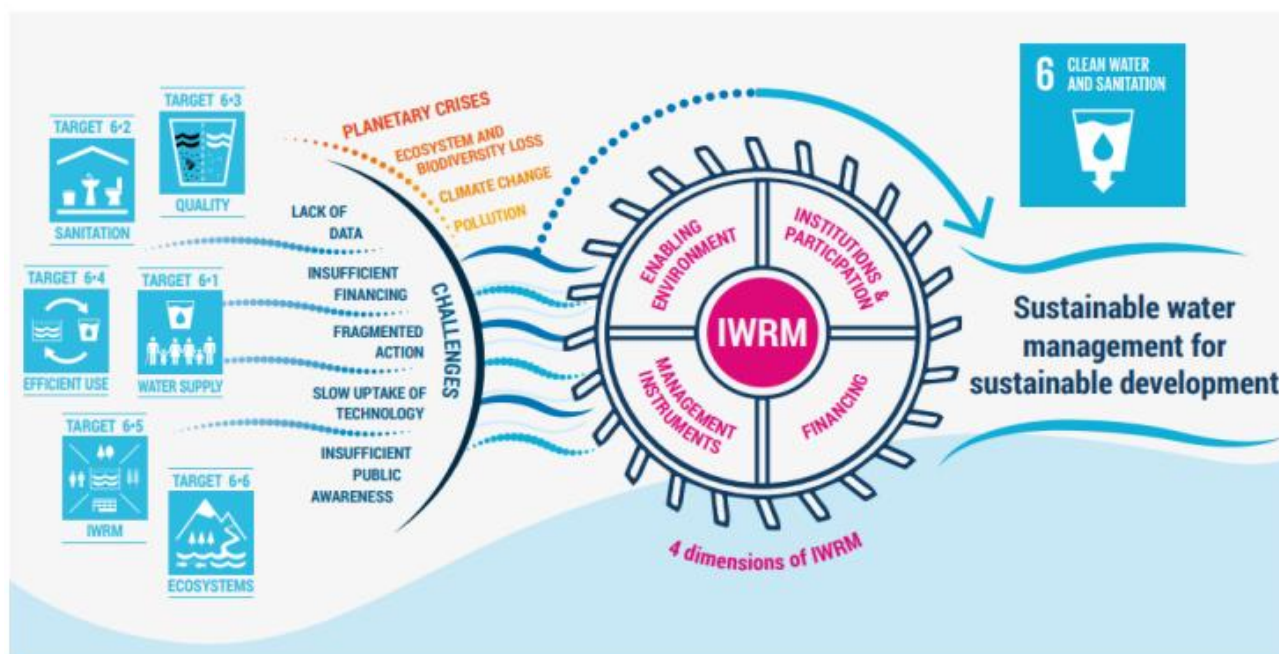


Рисунок 3.10 – Впровадження принципів інтегрованого управління водними ресурсами є ключовим інструментом реалізації Цілі сталого розвитку 6 (SDG 6), оскільки забезпечує координацію дій на міжсекторальному рівні щодо всіх її складових – від забезпечення доступу до безпечної питної води та санітарії до охорони водних екосистем та підвищення ефективності водокористування [44, 54]

Згідно з останнім аналітичним звітом ООН «Progress on Integrated Water Resources Management 2024» (UN-Water, UNEP, 2024), ІУВР розглядається як концептуальна рамка, що забезпечує цілісне поєднання екологічних, економічних та соціальних аспектів управління водними ресурсами в контексті адаптації до змін клімату та забезпечення водної безпеки на національному й транскордонному рівнях.

Отже, українські дані підтверджують, що басейновий підхід до управління водними ресурсами, інтегроване планування та моніторинг є критично важливими для уникнення криз, пов'язаних з дефіцитом та погіршенням якості води. У підсумку, інтегроване управління (basin-level water resources management) набуває статусу не просто політичної цілі, а необхідної складової екологічної безпеки, адаптації до кліматичних змін і забезпечення сталого розвитку.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

4.1 Охорона праці у сфері водогосподарської діяльності та екологічного моніторингу

Охорона праці у сфері водогосподарської діяльності та екологічного моніторингу є невід’ємною складовою забезпечення безпечних умов праці фахівців, залучених до експлуатації водогосподарських об’єктів, проведення гідрологічних, гідрохімічних і кліматичних досліджень, а також виконання польових і камеральних робіт. Специфіка цієї сфери визначається поєднанням природних, техногенних і кліматично зумовлених ризиків, що посилюються в умовах сучасних змін клімату.

Під час виконання робіт на річках, водосховищах, гідротехнічних спорудах і в заплавах працівники зазнають впливу низки небезпечних та шкідливих факторів, зокрема підвищеної вологості, низьких або високих температур повітря, сильного вітру, інтенсивної сонячної радіації, слизьких поверхонь, нестійких берегових схилів, а також ризику падіння у воду. Додаткову небезпеку становлять різкі коливання рівнів води під час паводків, підтоплень або аварійних попусків з водосховищ, що є характерними для умов кліматичної нестабільності. У процесі екологічного моніторингу можливий контакт із забрудненою водою та донними відкладами, що містять токсичні речовини, патогенні мікроорганізми або продукти розкладу органічних сполук.

З метою мінімізації виробничих ризиків охорона праці у водогосподарському секторі повинна ґрунтуватися на системному підході, який включає організаційні, технічні та санітарно-гігієнічні заходи. До організаційних заходів належить проведення обов’язкових інструктажів з охорони праці, навчання персоналу правилам безпечної роботи на водних об’єктах, дотримання регламентів проведення польових досліджень, а також планування робіт з урахуванням гідрометеорологічних прогнозів. Особливу увагу слід приділяти

обмеженню виконання робіт під час екстремальних погодних явищ — сильних злив, спеки, морозів, паводків або гроз.

Технічні заходи охорони праці передбачають використання справного вимірювального обладнання, плавзасобів, страхувальних систем, а також застосування засобів індивідуального захисту: рятувальних жилетів, гумових чобіт і костюмів, касок, захисних окулярів та рукавиць. Під час виконання моніторингових робіт на гідротехнічних спорудах необхідно забезпечувати огороження небезпечних зон, належне освітлення та контроль доступу сторонніх осіб. Санітарно-гігієнічні заходи включають дотримання правил особистої гігієни, запобігання переохолодженню або перегріванню організму, а також проведення медичних оглядів працівників, зайнятих у шкідливих або небезпечних умовах.

В умовах кліматичних змін зростає роль превентивних заходів охорони праці, пов'язаних з адаптацією до нових ризиків. До таких заходів належать удосконалення систем оперативного оповіщення про небезпечні гідрометеорологічні явища, використання дистанційних і автоматизованих засобів моніторингу, що зменшують необхідність безпосередньої присутності персоналу у небезпечних зонах, а також впровадження гнучких режимів роботи. Таким чином, забезпечення охорони праці у сфері водогосподарської діяльності та екологічного моніторингу є важливою умовою збереження здоров'я працівників, підвищення ефективності досліджень і зменшення виробничих ризиків в умовах зростаючої кліматичної та гідрологічної мінливості.

4.2 Комплексний підхід до управління ризиками надзвичайних ситуацій природного та кліматичного походження

Комплексний підхід до управління ризиками надзвичайних ситуацій природного та кліматичного походження у водогосподарській сфері є ключовим елементом забезпечення безпеки населення, стійкості інфраструктури та безперервності функціонування водних екосистем в умовах посилення кліматичних змін. Зростання частоти й інтенсивності паводків, посух, підтоплень, селевих процесів, берегової ерозії та інших гідрометеорологічних

екстремумів зумовлює необхідність переходу від реагування на наслідки до превентивного, ризик-орієнтованого управління.

Управління ризиками НС базується на ідентифікації небезпечних процесів, оцінюванні ймовірності їх виникнення та потенційних збитків, а також на впровадженні системи заходів із запобігання, готовності, реагування та відновлення. У контексті водогосподарських систем України основними джерелами ризику є кліматично зумовлені зміни режиму стоку, порушення роботи гідротехнічних споруд, деградація заплав і водно-болотних угідь, а також антропогенне навантаження на водні об'єкти. Поєднання цих факторів підвищує вразливість територій, особливо у басейнах гірських річок Карпат, у степових регіонах із дефіцитом водних ресурсів та в урбанізованих зонах.

Важливим елементом комплексного підходу є інтеграція управління ризиками надзвичайних ситуацій у систему басейнового управління водними ресурсами. Це передбачає врахування кліматичних сценаріїв при розробленні планів управління річковими басейнами, планів управління паводковими ризиками та посухами, а також узгодження дій між органами водного господарства, службами цивільного захисту та органами місцевого самоврядування. Особливе значення має застосування сучасних методів прогнозування, що поєднують дані гідрометеорологічних спостережень, дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем для своєчасного виявлення загроз і прийняття управлінських рішень.

Комплексний підхід також передбачає поєднання інженерних і природоорієнтованих рішень. Поряд із традиційними заходами захисту від надзвичайних ситуацій (регулювання стоку, укріплення берегів, експлуатація водосховищ) дедалі більшої ваги набувають екосистемні методи зниження ризиків, зокрема відновлення заплав, ренатуралізація малих річок, збереження водно-болотних угідь і лісових екосистем. Такі заходи підвищують природну буферну здатність ландшафтів, зменшують пікові паводкові витрати, сприяють акумулюванню води в періоди надлишку та пом'якшують наслідки посух.

Не менш важливим є організаційно-інформаційний компонент управління ризиками НС, що включає функціонування систем раннього попередження, інформування населення про потенційні загрози та підвищення рівня обізнаності

щодо дій у разі виникнення надзвичайних ситуацій. Регулярне оновлення карт ризиків, проведення навчань і тренувань, а також залучення місцевих громад до планування адаптаційних заходів сприяють зменшенню людських втрат і матеріальних збитків.

Отже, комплексний підхід до управління ризиками надзвичайних ситуацій природного та кліматичного походження у водогосподарській сфері ґрунтується на поєднанні науково обґрунтованого прогнозування, інтегрованого планування, технічних і природоорієнтованих рішень та ефективної взаємодії між усіма зацікавленими сторонами. Його реалізація є необхідною умовою підвищення адаптивної спроможності водогосподарських систем України та зменшення негативних наслідків кліматичних змін для населення й довкілля.

4.3 Захист населення в умовах надзвичайних ситуацій

Захист населення в умовах надзвичайних ситуацій є одним із ключових завдань системи цивільного захисту та важливою складовою забезпечення екологічної та соціальної безпеки в умовах кліматичних змін. Посилення гідрометеорологічних екстремумів, зумовлене глобальним потеплінням, призводить до зростання ризиків виникнення паводків, підтоплень, посух, дефіциту питної води та аварій на водогосподарських об'єктах, що безпосередньо загрожують життю, здоров'ю та добробуту населення.

У контексті водогосподарських систем України найбільшу небезпеку для населення становлять паводкові процеси в гірських і передгірських регіонах, підтоплення територій у межах великих річкових долин, а також тривалі посушливі періоди у степових зонах, які призводять до обмеження водопостачання та погіршення санітарно-гігієнічних умов. Додатковими чинниками ризику є зношеність гідротехнічних споруд, порушення природних заплав, урбанізація прибережних територій та зростаюче антропогенне навантаження на водні об'єкти.

Система захисту населення в умовах надзвичайних ситуацій повинна ґрунтуватися на принципах превентивності, своєчасного реагування та

мінімізації наслідків. Превентивні заходи включають просторове планування з урахуванням зон затоплення і підтоплення, обмеження забудови у заплавах річок, підтримання належного технічного стану дамб, водосховищ і захисних споруд, а також впровадження екосистемно орієнтованих рішень, таких як відновлення заплав і водно-болотних угідь, що зменшують паводкову небезпеку.

Важливу роль у захисті населення відіграють системи моніторингу та раннього попередження. Використання гідрометеорологічних прогнозів, даних автоматизованих постів спостережень і супутникових систем дистанційного зондування дозволяє завчасно інформувати населення та органи влади про загрозу виникнення НС. Своєчасне оповіщення сприяє організації евакуаційних заходів, захисту об'єктів критичної інфраструктури та зменшенню матеріальних збитків.

Заходи реагування в умовах надзвичайних ситуацій передбачають чітку координацію дій між органами державної влади, місцевого самоврядування, аварійно-рятувальними службами та водогосподарськими організаціями. Особлива увага повинна приділятися забезпеченню населення безпечною питною водою у разі аварійного забруднення або дефіциту водних ресурсів, організації тимчасових пунктів водопостачання та санітарного контролю.

Не менш важливим аспектом захисту населення є підвищення рівня екологічної та безпекової обізнаності. Проведення інформаційно-роз'яснювальної роботи, навчань і тренувань щодо дій у разі паводків, посух або інших гідрологічно зумовлених НС формує готовність населення до адекватного реагування та знижує рівень паніки у кризових ситуаціях.

Отже, ефективний захист населення в умовах надзвичайних ситуацій, пов'язаних із кліматичними змінами та трансформацією гідрологічного режиму, можливий лише за умови поєднання превентивних, організаційних і інформаційних заходів. Інтеграція систем цивільного захисту з адаптаційними стратегіями управління водними ресурсами є необхідною передумовою зменшення соціально-екологічних ризиків і підвищення стійкості територій України до сучасних і майбутніх кліматичних викликів.

ВИСНОВКИ

Досліджено вплив кліматичних змін на гідрологічний режим річкових басейнів України та підтверджено, що ці зміни зумовили глибоку й прогресуючу трансформацію водного балансу, що корелює із глобальними трендами, верифікованими Міжурядовою групою експертів зі змін клімату. Встановлено чітку регіональну диференціацію впливу: на загальнодержавному рівні фіксується двоїста тенденція, яка полягає у стійкому зниженні середньорічного та мінімального стоку (що є індикатором регіональної аридизації) на Півдні та Сході (Степова, Лісостепова зони), та водночас у зростанні частоти та інтенсивності екстремального стоку (паводків) у західних регіонах.

Проаналізовано прогностні траєкторії трансформації: моделювання за екстремальним сценарієм RCP8.5 свідчить про можливе критичне зменшення мінімального літньо-осіннього стоку у південних басейнах (у Південному Бузі, нижній течії Дніпра) до 50–70% до 2050 року, що загрожує структурним вододефіцитом та обмеженням водозабезпечення. Водночас при реалізації кліматичних цілей Паризької угоди (RCP2.6) масштаби змін стоку очікуються менш інтенсивними й більш керованими.

З'ясовано, що поєднання високих літніх температур і нерівномірних опадів уже призводить до суттєвого порушення водного балансу: випаровуваність зростає, а стік та ґрунтова волога знижуються, тоді як потреба у воді зростає. Кількісно оцінено зменшення річного стоку для басейнів великих річок на 10-30% за останні три десятиліття порівняно з кліматичною нормою 1961-1990 рр.

Виявлено структурні зміни у водному режимі: підтверджено тенденцію до «континенталізації» – зменшення ролі снігового живлення й одночасне зростання частки дощового, що призводить до зростання непередбачуваності стоку й підвищеної чутливості до короткочасних інтенсивних опадів.

Верифіковано гідроекологічні ризики, зокрема зміна гідрорежиму призводить до критичного зниження розбавляючої здатності річок, що у поєднанні з підвищенням температури води на 1-2°C посилює евтрофікацію та продовжує період «цвітіння» водойм на 15-30 днів. Це спричиняє деградацію аквабіоценозів, порушення екологічного стоку і загрожує існуванню біорізноманіття та водно-болотних угідь, що підтверджено спостереженнями UNEP щодо втрати природних фільтраційних систем.

Проаналізовано соціально-економічні наслідки: для сільського господарства – зростає ризик посух і знижується ефективність іригаційних систем; для енергетики – падає потенціал гідроенергетики й ускладнюється охолодження теплових станцій; у галузі водопостачання – загострюється конкуренція за обмежені ресурси між промисловістю, сільським господарством і комунальним сектором; у судноплавстві – зниження рівнів води в Дніпрі й Дунаї обмежує вантажопідйомність та навігаційні строки.

Встановлено та обґрунтовано групу критичних регіонів, де поєднання кліматичних змін і антропогенних навантажень формує найвищі екологічні ризики: карпатські басейни – через зростання паводкової небезпеки; степові території – через системний дефіцит води; урбанізовані промислові зони – через високе навантаження на водні екосистеми. Для цих територій запропоновано впровадження локальних адаптаційних планів, що враховують соціально-економічні характеристики, тип водогосподарських систем, структуру водокористувачів та прогнозовані кліматичні сценарії. Такі плани мають базуватися на адаптивних моделях управління, інтегрованому плануванні та пріоритетності природоорієнтованих рішень.

На підставі комплексного аналізу обґрунтовано стратегічний пріоритет адаптації водогосподарських систем України, який полягає у переході від управління пропозицією до управління попитом, модернізації інфраструктури, посиленні моніторингу (особливо на основі синтезу наземних даних із супутниковими продуктами Copernicus), ренатуралізації заплав та водно-болотних угідь, а також включенні кліматичних параметрів у всі рівні стратегічного планування.

У підсумку запропоновано комплексну модель адаптації водогосподарських систем, яка охоплює інженерні, екосистемні та управлінські заходи й забезпечує підвищення стійкості річкових басейнів, зниження ризиків вододefіциту, покращення якості води та зміцнення екологічної безпеки держави. Реалізація цієї моделі є критично необхідною для підтримання екологічного балансу, збереження водних ресурсів і стійкого розвитку України в умовах кліматичних трансформацій.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Аналіз впливу кліматичних змін на водні ресурси України (повний звіт за результатами проєкту) / Сніжко С., Шевченко О., Дідовець Ю. // Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2021. 72 с. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2021/06/analiz-vplyvu-vodni-resursy-full.pdf>
2. Басейнове управління водних ресурсів річок Західного Бугу та Сяну. Державне агентство водних ресурсів України. URL: <https://buvrzbits.gov.ua/>
3. Вишневський В.І., Куций А.В. Багаторічні зміни водного режиму річок України. Київ: Наукова думка. 2022. 269 с.
4. Водна стратегія України на період до 2050 року. / Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 9 грудня 2022 р. № 1134-р - URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text>
5. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text
6. Водний кодекс України / Введений в дію Постановою Верховної Ради України № 214/95-ВР від 06.06.1995 (поточна редакція – від 15.11.2024). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>
7. Гаврись А. П., Пекарська О. О. Проблеми формування безпекового середовища населення від затоплення на рівні територіальних громад. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2024. №. 29. С. 128-140. DOI: <https://doi.org/10.32447/20784643.29.2024.14>
8. Гідроекологічна оцінка енергетичного потенціалу річок України в умовах кліматичних змін: Звіт про НДР №01118U001098 / Ободовський О.Г., Сніжко С.І., Гребінь В.В. та ін. Київський національний університет імені Тараса Шевченка. Київ, 2019. 194 с.
9. 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.
10. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) / В.В. Гребінь. Київ : Ніка-Центр, 2010. 316 с.
11. Державне агентство водних ресурсів України. Плани управління річковими басейнами України. URL: <https://davr.gov.ua/>
12. Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради: Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики, від 23 жовтня 2000 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/%20994_962#Text
13. 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

14. Друга річниця Каховської катастрофи – наслідки та результати комплексних досліджень (частина 1). *Superagronom*. 6 червня 2025. URL: <https://superagronom.com/articles/789-druga-richnitsya-kahovskoyi-katastrofi--naslidki-ta-rezultati-kompleksnih-doslidjen>
15. Екологічна оцінка стану поверхневих вод України з урахуванням регіональних гідрохімічних особливостей / О.Г. Васенко та ін. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. 2010. Вип. XXXII. С. 36–54.
16. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 26.06.91. Поточна редакція від 08.08.2025, 3855-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>
17. Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>
18. Забокрицька М.Р. Методичні рекомендації з вивчення забруднення природних вод у курсі «Рациональне використання та охорона водних ресурсів». Луцьк: Вежа-Друк. 2021. 36 с.
19. Закордонний досвід управління водними ресурсами в контексті сталого розвитку України (аспекти фінансово-економічних інструментів). *Вісник аграрної науки*. Агроєкологія, радіологія, меліорація. 2024, № 5 (854). https://agrovisnyk.com/pdf/ua_2024_05_06.pdf
20. Кривохижа Є. М., Матвіїшин А. І., Бринь В. Т. Вплив зміни клімату на врожайність основних сільськогосподарських культур в Україні. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2024. № 3 (44). С. 33-37.
21. Лиховид П. В., Вожегова Р. А., Грановська Л. М., Ушкаренко В. О. та ін. Математичне прогнозування еколого-кліматичної ситуації в Україні в контексті глобального потепління. *Аграрні інновації*. 2024. № 28. С. 53-61.
22. Лобода Н. С., Розвод М. Р. Зміни температурного режиму повітря в басейні річки Дністер на початку XXI сторіччя. *Ukrainian hydrometeorological journal*. 2024. Вип. 33. С. 38-48. DOI: <https://doi.org/10.31481/uhmj.33.2024.03>
23. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / за заг. ред. В.Д. Романенко та ін. Київ: Символ-Т, 1998. 28 с.
24. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Екологічні паспорти за 2020-2024 рр. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichniy-monitoring/ekologichni-pasporty/>
25. Михайлюк Р. Й. Заходи щодо захисту Прикарпаття від катастрофічних паводків шляхом аналізу їх причин та наслідків у 2008 і 2020 роках. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2021. Т. 12, № 2. С. 13-26. DOI: [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-2\(24\)-13-26](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-2(24)-13-26)
26. Муха Б. П. Ландшафти. Львівська область: природні умови та ресурси: монографія / за заг. ред. д-ра геогр. наук, проф. М. М. Назарука. Львів: Видавництво Старого Лева, 2018. С. 297-310

27. Портал відкритих даних. Загальні показники використання водних ресурсів України. Набори даних. URL: <https://data.gov.ua/dataset/cadastre-water-use>
28. Просторові закономірності зміни середнього річного стоку води річок України / О.І. Лук'янець, О.Г. Ободовський, В.В. Гребінь, О.О. Почаєвець, В. О. Корнієнко // *Український географічний журнал*. 2021. №1. С. 6 – 14.
29. Стан довкілля та джерела водопостачання населення в басейні Десни в умовах війни / Н. Г. Люта, І. В. Саніна, Т. А. Древіна, С. М. Приходько, С. О. Некрасова. *Мінеральні ресурси України. Гідрогеологія*. № 3, 2025. с. 51–57.
30. Сербов М.Г., Заводній Т.В., Маргітай Л.Г. Вплив змін клімату на водні екосистеми України та адаптаційні стратегії їхнього збереження. *Таврійський науковий вісник*. № 143. Частина 2. 2025. С. 355-363.
31. Український гідрометеорологічний центр. URL: <https://www.meteo.gov.ua/>
32. Хільчевський В.К., Гребінь В.В., Забокрицька М.Р. Управління річковими басейнами: навч. посібник. Київ: ДІА, 2024. 236 с. URL: https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2024/10/hilchevskyj-ta-in._upravl.-richkov.-basejnamy-14.01.24r.pdf
33. Хільчевський В.К. Моніторинг вод в Україні: методи оцінювання якості води для різних цілей у зв'язку зі змінами нормативної бази (2014-2021 рр.) // *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2021. № 3(61). С. 6-19.
34. Хільчевський В.К. Сучасна характеристика поверхневих водних об'єктів України: водотоки та водойми // *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2021. № 1(59). С. 17-27.
35. Хільчевський В.К. Характеристика водних ресурсів України на основі бази даних глобальної інформаційної системи FAO Aquastat // *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2021. № 1(59). С. 6-16.
36. 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.
37. Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України у 2024 році. Київ, 2025. 58 с. URL: <http://cgo-sreznevskyi.kyiv.ua/uk/>
38. Шіпка М. З., Курганевич Л. П. Геоекологічний аналіз річково-басейнової системи Полтви : монографія. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2023. 184 с.
39. A High-Resolution Hydrological Dataset for Ukrainian River Basins With an Interactive Web Interface / V. Osypov, A. Bawa, N. Osadcha, V. Osadchyi, O. Shevchenko and others. *Geoscience Data Journal*, 2025; 12:e70027. <https://doi.org/10.1002/gdj3.70027>
40. Air Pollution: Real-time Air Quality Index (AQI). <http://www.aqicn.org/>
41. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2022. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>

42. Copernicus Sentinel-5P / TROPOMI. Tropospheric NO₂ and SO₂ data over Ukraine. 2024. Дані доступні через Copernicus Open. <https://scihub.copernicus.eu/>
43. Didovets I., Krysanova V., Hattermann F. F., del Rocío Rivas López M., Snizhko S., Schmied H. M. Climate change impact on water availability of main river basins in Ukraine. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2020. Vol. 32. 100761. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100761>
44. IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/>
45. Gilvear D.J., Spray C.J., Casas-Mulet R. River rehabilitation for the delivery of multiple ecosystem services at the river network scale. *J. Environ. Manage.* 2013. № 126. P. 30–43. DOI: [10.1016/j.jenvman.2013.03.026](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.03.026).
46. Khilchevskyi V.K., Kurylo S.M., Zabokrytska M.R. Long-term fluctuations in the chemical composition of surface waters and climate change. *Proceedings 14th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, 2020. P. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056003>
47. Monitoring air pollution from space. *European Space Agency*. Copernicus Sentinel-5P. 2024. URL: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-5p>
48. NASA Earth Observatory. (2024). Monitoring Water Resources Changes in Eastern Europe. URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/topic/water-resources>
49. Semenova Inna, Vicente-Serrano Sergio M. Long-term variability and trends of meteorological droughts in Ukraine. *International Journal of Climatology*. Volume 44, Issue 6. May 2024. Pages 1849-1866. <https://doi.org/10.1002/joc.8416>
50. Savenets Mykhailo, Nadtochii Liudmyla, Kozlenko T. V. and others. Status of atmospheric air pollution in Ukraine prior to the full-scale russian invasion. Part 2: Pollutants total content according to the satellite data. *Ukrainian hydrometeorological journal*. 2023. 32. P. 130-143. doi: [10.31481/uhmj.32.2023.09](https://doi.org/10.31481/uhmj.32.2023.09)
51. Savenets Mykhailo, Osadchyi Volodymyr, Komisar Kateryna, Zhemera Natalia, Oreshchenko Andrii. Remotely visible impacts on air quality after a year-round full-scale russian invasion of Ukraine. *Atmospheric Pollution Research*. Volume 14, Issue 11, November 2023, 101912. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2023.101912>
52. Snizhko, S., Bertola, M., Ovcharuk, V., Shevchenko, O., Didovets, I., and Blöschl, G. Climate impact on flood changes – an Austrian-Ukrainian comparison. *J. Hydrol. Hydromech.* 71, 2023. 271–282. DOI: 10.2478/johh-2023-0017
53. Snizhko S., Trypolska G., Shevchenko O., Obodovskyi O. Structure design of the flood hazard assessment and mapping technology for adaptation of Ukrainian water sector to climate change. *Geoinformatics*. May 2021, Volume 2021, P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521042>
54. UNESCO World Water Assessment Programme. URL: <https://www.unesco.org/en/wwap>
55. Zamfirova M. S., Khokhlov V. M. Air temperature and precipitation regime in Ukraine in 2021-2050 by CORDEX model ensemble. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 2020. (25), 17-27. DOI: <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.02>