

ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА ГЕОЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН І ФУНКЦІОНУВАННЯ РІЧКОВИХ СИСТЕМ ТА ОЗЕР ПОЛІСЬКОГО РЕГІОНУ

Шевченко О.В., Ковальчук І.П., Опенько І.А., Пронь О.С., Тихенко Р.В.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

вул. Васильківська, 17, 03040, м. Київ

shevchenko_ov90@ukr.net, kovalchukip@ukr.net, ivan_openko@ukr.net,

olyapron11@gmail.com, tyhenko@ukr.net

Статтю присвячено науковому обґрунтуванню оцінювання впливу сучасних кліматичних змін на геоекологічний стан і функціонування річкових систем та озер Поліського регіону України. Актуальність дослідження зумовлена тим, що Полісся, яке традиційно розглядалося як територія високої зволоженості, у сучасний період дедалі частіше демонструє ознаки сезонного водного дефіциту, редукції снігового живлення, посилення літньо-осінньої межени, обміління озер, термічного стресу водних екосистем і трансформації торфово-болотних ландшафтів. Мета дослідження полягає у розробленні концептуально-методичного підходу до оцінювання кліматично зумовлених геоекологічних ризиків у річково-басейнових та озерно-басейнових системах Полісся. Методологічну основу дослідження становлять басейновий підхід, ландшафтна лімнологія, гідрохімічна інтерпретація якості води, аналіз довгих гідрометеорологічних рядів. Обґрунтовано, що найінформативнішими для Полісся є не лише середньорічні показники температури й опадів, а передусім сезонні та подієві індикатори: тривалість бездошових періодів, частота зимових відлиг, стабільність снігового покриву, інтенсивність злив, потенційна евапотранспірація, температура води, рівневий режим, кисневий баланс, трофо-сапробіологічні показники і структура ландшафтів водозбору. Наукова новизна полягає у формулюванні концепції клімато-гідроекологічної трансформації природних умов Полісся, за якої водні об'єкти переходять від переважно снігово-повеневого та болотно-регулятивного режиму до режиму, керованого літньо-осіннім дефіцитом вологи, епізодичними паводковими імпульсами та зростанням ролі внутрішнього господарського навантаження на басейнові ландшафти. Практичне значення результатів полягає у можливості використання запропонованої моделі для моніторингу змін стану водних ресурсів річково-басейнових та озерно-басейнових систем, планування заходів з ренатуралізації боліт, управління функціонуванням малих річкових та озernih басейнів та формування геоінформаційних систем оцінки ризиків природокористування в них. *Ключові слова:* Полісся, зміни клімату, річково-басейнова система, озерно-басейнова система, гідрохімія, якість води, посуха, геоекологічні ризики.

The impact of climate change on the geoeological state and functioning of river systems and lakes of the Polissia region. Shevchenko O., Kovalchuk I., Openko I., Pron O., Tykhenko R.

The article is devoted to the scientific substantiation of the assessment of the impact of contemporary climate change on the geoeological condition and functioning of river systems and lakes in the Polissia region of Ukraine. The relevance of the study is determined by the fact that Polissia, traditionally regarded as a region of high moisture availability, is increasingly exhibiting signs of seasonal water deficit, reduced snowmelt recharge, intensified summer–autumn low-flow conditions, lake shallowing, thermal stress in aquatic ecosystems, and the transformation of peatland and wetland landscapes. The aim of the study is to develop a conceptual and methodological approach to assessing climate-induced geoeological risks in the river-basin and lake-basin systems of Polissia. The methodological framework of the study is based on the river basin approach, landscape limnology, the hydrochemical interpretation of water quality, and the analysis of long-term hydrometeorological records. It is substantiated that, for Polissia, the most informative indicators are not only the mean annual temperature and precipitation values but, above all, seasonal and event-based indicators, including the duration of rainless periods, the frequency of winter thaws, snow cover stability, rainfall intensity, potential evapotranspiration, water temperature, water level regime, oxygen balance, trophic and saprobiological indicators, and the structure of catchment landscapes. The scientific novelty lies in the formulation of the concept of the climate–hydroecological transformation of the natural conditions of Polissia, whereby aquatic ecosystems are shifting from a predominantly snowmelt flood- and wetland-regulated regime to a regime governed by summer–autumn moisture deficit, episodic flood pulses, and the increasing influence of anthropogenic pressure on basin landscapes. The practical significance of the results lies in the possibility of applying the proposed model to monitoring changes in the condition of water resources within river-basin and lake-basin systems, planning peatland renaturalization measures, managing the functioning of small river and lake basins, and developing geoinformation systems for assessing natural resource management risks within these systems. *Key words:* Polissia, climate change, river-basin system, lake-basin system, hydrochemistry, water quality, drought, geoeological risk.

Постановка проблеми. Поліський регіон України є одним із ключових водно-екологічних просторів Східної Європи. Його річкові системи, озера, болота, торфовища та меліоровані землі утворюють складну мережу взаємодій, у межах якої зміни клімату трансформуються у зміни водності, якості води, біотичних угруповань, речовинної міграції та стабільності землекористування. Тому кліматичний



вплив на водні об'єкти Полісся не може бути редукований до лінійної залежності між середньорічною температурою повітря і рівнем води. Йдеться про перебудову функціонування басейнових систем, де атмосферні, гідрологічні, ґрунтово-торфові, ландшафтні та антропогенні чинники формують каскад взаємопов'язаних наслідків [1, 14, 16].

Актуальність дослідження. У другій половині ХХ ст. Полісся здебільшого характеризувалося як зона достатнього зволоження, значної заболоченості та відносно стійкого весняного поповнення водних ресурсів. У сучасний період, особливо після 1990-х років, ця характеристика потребує істотного уточнення. Зимове потепління зменшує тривалість стійкого снігового покриву, часті відлиги змінюють співвідношення твердих і рідких опадів, а літньо-осінні посухи підсилюють випаровування та концентрування забруднювальних речовин. Для малих річок це означає фрагментацію стоку, для озер – зниження рівнів і прискорення евтрофікаційних процесів, для боліт – перехід від водорегулювальної до емісійно-пожежонебезпечної функції [14, 16, 20].

Землевпорядний і кадастрово-моніторинговий вимір проблеми полягає в тому, що геоекологічний стан водних об'єктів дедалі більшою мірою визначається структурою водозбору: часткою лісів, лук, боліт, ріллі, забудованих територій, меліоративних каналів, прибережних захисних смуг і природоохоронних земель. Відтак оцінювання кліматичного впливу на водні системи Полісся має бути інтегроване з моніторингом землекористування, просторовим плануванням природокористування та управлінням басейновими ландшафтами [2, 6, 7].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Робота виконана відповідно до науково-технічної теми «Моніторинг геоекологічних ризиків у річкових та озерних басейнах Полісся як геоінформаційна основа забезпечення сталого управління станом водних ресурсів» (номер державної реєстрації 0118U000291), що реалізується в межах досліджень у Національному університеті біоресурсів і природокористування України, зокрема на базі навчально-наукової лабораторії картографічного моделювання проблем природокористування кафедри геодезії та картографії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методологічний фундамент дослідження річково-басейнових та озерно-басейнових систем Полісся сформовано у працях українських учених, які розвивали басейновий, еколого-геоморфологічний, ландшафтно-екологічний, гідрохімічний та гідроекологічний і лімно-екологічний підходи. У працях І. П. Ковальчука обґрунтовано необхідність комплексного аналізу басейну як геосистеми, в якій русла річок, їх заплави та водозбори, а також процеси стоку води, наносів і розчинених речовин, землекористування та інших видів антропогенного навантаження

мають розглядатися не ізольовано, а як взаємозалежні складові функціонування річково-басейнової геосистеми [6, 7]. Цей підхід є особливо продуктивним для Полісся, де слабка вертикальна розчленованість рельєфу і висока гідрологічна зв'язаність підсистем басейнового ландшафту зумовлюють швидке поширення змін від вододілу до русла або озерної чаші.

Важливою в аспекті методології дослідження озерно-басейнових систем та геоекологічних ризиків природокористування в них є стаття І. П. Ковальчука, В. Мартинюка, В. Корбутяка, І. Зубковича, Т. Павловської, В. Стельмах та Я. Курепи, присвячена геоекологічному дослідженню озерно-болотної системи Сомине [1] та інші праці цих вчених. Їх наукова цінність полягає не лише в детальній характеристиці конкретної Рамсарської водно-болотної території, а також інших озерно-басейнових систем Полісся у побудові багатокомпонентного алгоритму оцінювання геоекологічного стану озерно-басейнової системи. Автори інтегрували морфологічний, морфометричний, гідрологічний, ландшафтометричний, гідрохімічний, геохімічний, батиметричний та картографічний методи, використавши дані власних польових та лабораторних досліджень і матеріали метеорологічних спостережень за 2001–2024 рр. із метеостанції Сарни [1] та інших метеостанцій цього краю. Принциповим є висновок, що екологічний стан озера Сомине визначається не автономними властивостями водного дзеркала, а станом усього водозбору, болотного масиву, дренажної мережі та донних відкладів цього водного об'єкта. У моделі цих авторів донні відклади виступають геохімічним акумулятором і «пам'яттю» системи, а стабілізація гідроекологічного стану озера можлива лише через управління всією структурою геосистем водозбору.

Дисертаційне дослідження М. В. Боярин поглиблює розуміння річково-басейнових екосистем верхів'я Прип'яті через поєднання гідрохімічних показників, макрофітного індексу річок MIR та коефіцієнтів екологічної стабільності ландшафтів. У роботі показано, що екологічний стан води не може бути коректно інтерпретований без врахування структури та властивостей агроландшафтів і просторового розміщення стабільних та нестабільних компонентів ландшафту водозбору [2, 3]. Особливо важливими показниками геоекологічного стану річково-басейнової системи Прип'яті є розраховані значення КЕСЛ1 (змінюються в межах 0,22–5,39), КЕСЛ2 (варіація у межах 0,13–0,78), інтегрального екологічного індексу ІЕ (він становить близько 3,0 для досліджених пунктів спостережень), а також встановлення суттєвого зв'язку між КЕСЛ1, MIR та ІЕ [2, 3]. Це доводить, що ландшафтна структура є діагностичним показником гідроекологічного стану річково-басейнової системи Прип'яті.

Наукові праці Т. С. Павловської та її співавторів мають значення для осмислення річкових систем Полісся як ієрархічних басейнових утворень.

У монографічних і навчально-методичних працях, виконаних у руслі дослідження річково-басейнової системи Горині та гідрології річок, акцентовано на структурній організації річкових мереж, режимі стоку, ролі руслово-заплавних процесів і необхідності просторового узгодження гідрологічного аналізу з аналізом геоморфологічної будови басейну, природно-географічних умов і господарського впливу на його ландшафти [6, 8]. Для вирішення завдань оцінювання стану річково-басейнових систем та геоекологічних ризиків природокористування в них доробок Т. С. Павловської важливий тим, що він дозволяє перейти від характеристики окремої річки до аналізу функціонування всієї басейнової системи як просторової одиниці моніторингу та обґрунтування заходів, спрямованих на зниження ризиків природокористування в ній.

Гідрохімічний блок дослідження спирається на праці В. К. Хільчевського та його наукової школи. У цих працях якість води розглядається як результат взаємодії природної геохімічної основи, гідрологічного режиму, типу живлення та антропогенного навантаження. Також важливою складовою цих праць є обґрунтування нормативно-методичних підходів до моніторингу поверхневих вод [9–12]. Для Полісся це особливо важливо, оскільки в умовах посухи або маловоддя навіть за незмінного масового надходження біогенних елементів, органічних речовин, іонів та окремих токсикантів рівні забруднення поверхневих вод можуть істотно зростати. Тому гідрохімічний аналіз повинен виконуватися разом з аналізом даних про рівні, витрати води, її температуру та кисневий режим. При цьому має бути дотримана вимога сезонності відбору проб.

Праці М. А. Федонюка та В. В. Федонюк, присвячені Шацькому поозер'ю та Волинській області в цілому і регіональним змінам кліматичних умов розкривають вплив цього чинника на стан озерно-басейнових систем Поліського краю. Дослідження обміління озера Світязь показує, що рівневий режим великих поліських озер визначається балансом опадів, випаровування, температурного режиму, підземного живлення і водокористування [14]. У ширшому сенсі ці праці демонструють, що озера Полісся не є пасивними приймачами кліматичного сигналу: вони реагують на нього змінами рівня, прозорості, термічної структури, рекреаційної придатності та трофічного стану [14, 15].

Зарубіжні дослідження підтверджують, що озера і малі водозбори належать до найчутливіших індикаторів змін клімату, землекористування та дифузного забруднення. Супутниковий аналіз змін площ водного дзеркала озер, ландшафтно-лімнологічні підходи та дослідження зв'язку між структурою водозбору і біоіндикаційним станом водойм доводять необхідність поєднання результатів ДЗЗ, польових спостережень, гідрохімічних досліджень і картографування басейнових та аквальних ландшафтів

[23–27]. У цьому контексті українські дослідження Полісся мають потенціал для формування регіональної моделі, придатної не лише для опису поточного стану басейнових систем, а й для прогнозування геоекологічних ризиків природокористування в них.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Незважаючи на значний науковий доробок у сфері гідроекології, лімнології, кліматології та басейнового природокористування, недостатньо розробленими залишаються концептуально-методичні засади комплексного оцінювання впливу сучасних кліматичних змін на геоекологічний стан і функціонування річково-басейнових та озерно-басейнових систем Полісся. Потребують подальшого наукового обґрунтування інтегровані підходи, що поєднують аналіз довготривалих гідрометеорологічних рядів, структури басейнових ландшафтів, гідрохімічних і біоіндикаційних показників, а також оцінювання кліматично зумовлених геоекологічних ризиків у контексті сучасних трансформацій природокористування.

Новизна. Наукова новизна статті полягає в обґрунтуванні концептуально-методичного підходу до оцінювання впливу сучасних кліматичних змін на геоекологічний стан річково-басейнових та озерно-басейнових систем Полісся, який інтегрує кліматичні, гідрологічні, гідрохімічні, біоіндикаційні та ландшафтно-басейнові індикатори. Запропоновано концепцію клімато-гідроекологічної трансформації водних систем регіону, обґрунтовано необхідність режимно-подієвого моніторингу та визначено ключові методичні засади оцінювання кліматично зумовлених геоекологічних ризиків для забезпечення сталого управління водними ресурсами Полісся.

Метою статті є розроблення науково обґрунтованої моделі оцінювання впливу змін клімату на геоекологічний стан і функціонування річкових систем та озер Поліського регіону, з акцентом на структуру басейнових ландшафтів, антропогенне навантаження на них, довгі ряди гідрометеорологічних спостережень, якість води, сезонну динаміку їх станів і ландшафтні та господарські чинники стійкості.

Для досягнення мети поставлено такі завдання: визначити кліматичні показники, що найбільшою мірою впливають на стан річок та озер Полісся; обґрунтувати значення рядів спостережень 1961–1990 і 1991–2025 рр. для виявлення трендів, циклічності та екстремумів; розкрити механізм переходу метеорологічної посухи у гідроекологічний стрес; узагальнити інформацію про річний цикл функціонування водних систем за сучасного клімату; сформулювати напрями моніторингу геоекологічних ризиків басейнового природокористування в басейнових системах Полісся.

Методологічне або загальнонаукове значення. Дослідження виконано як аналітико-синтезуючу

наукову розробку, спрямовану на узагальнення результатів попередніх польових, лабораторних, гідрометеорологічних, гідрохімічних, ландшафтно-екологічних і картографічних досліджень водних систем Полісся. Джерельну основу становили наукові праці з басейнової геоecології, ландшафтно-лімнології, гідрохімії, кліматології, гідробіологічної індикування та нормативні документи з управління водними ресурсами [1–5, 9, 17–19].

Методологічно стаття спирається на чотири взаємопов'язані підходи. Перший – басейновий, за яким річка, озеро або болото розглядаються не як ізольований водний об'єкт, а як ядро функціонування відповідної річково-басейнової чи озерно-басейнової системи [1, 6, 7]. Другий – ландшафтно-екологічний, який враховує співвідношення стабільних і нестабільних елементів водозбору, особливості землекористування, наявність меліоративних систем і прибережних захисних смуг [2, 3]. Третій – гідрохімічний, який дозволяє інтерпретувати якість води як результат врахування впливу на неї водності, температури, речовинного навантаження й нормативної методики оцінювання [9–12, 19]. Четвертий – клімато-гідрологічний, орієнтований на порівняння референційного періоду 1961–1990 рр. із сучасним періодом 1991–2025 рр. відповідно до логіки кліматичних норм та постреференційного аналізу [17, 20].

Особливу увагу приділено тривалості гідрометеорологічних рядів. Ряди тривалістю 10–15 років можуть бути корисними для виявлення окремих аномалій, але вони недостатні для відокремлення кліматичного тренду від міжрічної мінливості. Тридцятирічні ряди відповідають стандартній кліматологічній логіці та дають змогу порівнювати норми, а ряди 60 років і більше дозволяють аналізувати багаторічні фази, циклічно-періодичні компоненти, повторюваність екстремальних подій і стійкість зміни режиму [17].

Якість води у порівнянні 1961–1990 і 1991–2025 рр. цих двох періодів повинна оцінюватися після гармонізації пунктів спостережень, сезонності відбору проб, аналітичних методик і нормативних шкал. Без такої процедури пряме порівняння середніх концентрацій може бути методично некоректним. Тому запропонована у статті модель акцентує не на декларативному зіставленні окремих показників, а на визначенні механізмів зміни водного режиму та якості води в річково-басейнових системах через інтегровані блоки показників: кліматичний, гідрологічний, гідрохімічний, біоіндикаційний і ландшафтно-басейновий (табл. 1).

Як узагальнення цієї інформації запропоновано індекс клімато-гідроекологічної вразливості, який трактується як зважена інтеграція нормованих показників кліматичного дефіциту, гідрологічної маловодності, термічного стресу, гідрохімічної напруги, ландшафтно-нестабільності та біоіндикаційної відповіді (табл. 2). Індекс не підмінює чинні державні методики екологічної оцінки вод, а доповнює їх ризик-орієнтованою процедурою для територій, де якість води значною мірою залежить від сезонного дефіциту вологи, стану торфовищ і структури ландшафтів водозбору [18, 19].

Викладення основного матеріалу. Проведений аналіз дає підстави стверджувати, що у Поліссі формується режимний зсув, який доцільно визначати як клімато-гідроекологічне трансформування станів і функціонування річково-басейнових та озерно-басейнових систем. Його суть полягає у переході від відносно стійкої моделі, де весняне сніготанення, акумуляція вологи в болотах, акумуляція і повільне ґрунтово-підземне живлення підтримували оптимальну водність річок та озер, до моделі, в якій водний режим дедалі більше контролюється нестабільними зимовими відлигами, короткими зливовими імпульсами, літньо-осінньою посухою та збільшенням випаровувальних втрат [14, 16, 20].

Таблиця 1

Ключові кліматичні та гідроекологічні індикатори для моніторингу гідроекологічного стану водних систем Полісся та геоecологічних ризиків

Блок показників	Приклади індикаторів	Геоecологічне значення	Об'єкти застосування
Кліматичний	Температура повітря, сезонні опади, зимові відлиги, бездощові періоди	Визначає водний дефіцит, снігове живлення, випаровуваність і термічний стрес	Річки, озера, болота
Гідрологічний	Рівні води, витрати, межень, паводки, тривалість льодоставу	Фіксує зміну режиму стоку, водності й гідравлічної зв'язаності	Річкові системи, озера
Гідрохімічний	O ₂ , БСК, біогенні речовини, мінералізація, органічна речовина, токсиканти	Показує якість води, концентраційний ефект посухи та внутрішнє навантаження	Водні масиви
Біоіндикаційний	MIR, макрофіти, фітопланктон, сапробність	Відображає інтегральну реакцію екосистеми на тривалий тиск на неї	Річки, озера, заплавні водойми
Ландшафтний	Лісистість, заболоченість, розораність, ПЗФ, меліорованість, прибережні смуги	Визначає буферну здатність ландшафтів водозбору і дифузний стік	Річкові та озерні басейни

Таблиця 2

**Методичне значення тривалості рядів спостережень для оцінювання кліматично зумовлених змін
геоекологічних станів басейнових ландшафтів**

Тривалість ряду	Аналітичні можливості	Обмеження	Рекомендоване використання
10–15 років	Виявлення окремих екстремумів і коротких тенденцій	Недостатньо для кліматичних висновків	Оперативний моніторинг і попередня діагностика
30 років	Порівняння кліматичних норм, оцінка зсуву режиму	Потребує однорідності методик	Порівняння 1961–1990 та 1991–2020/2025 рр.
60 і більше років	Аналіз трендів, циклічності, фазовості та повторюваності екстремумів	Проблеми пропусків і зміни пунктів спостережень	Стратегічна оцінка клімато-гідро-екологічних ризиків

Найбільш інформативними для оцінювання цього процесу є сезонні й подієві кліматичні індикатори. Середньорічна температура і річна сума опадів залишаються необхідними, однак вони часто маскують критичні зміни. Для річкових систем значно важливішими є тривалість бездошових періодів, інтенсивність і тривалість злив, частка твердих опадів у холодний сезон, наявність і стабільність снігового покриву, повторюваність зимових відлиг і термічний режим води. Для озер особливе значення мають випаровуваність, температура поверхневого шару, тривалість льодоставу, рівневий режим і баланс між атмосферним та підземним живленням [14, 15, 17].

У період 1961–1990 рр. водні системи Полісся функціонували за умов відносно стабільнішої сезонної структури зволоження. Весняне водопілля відігравало важливу роль у поповненні водних ресурсів заплав, промиванні русел, підживленні озерно-болотних комплексів і підтриманні нерестових біотопів. У 1991–2025 рр. посилилася тенденція до зменшення висоти і тривалості існування снігового покриву, збільшення частки рідких опадів узимку, зміщення піків стоку, збільшення тривалості мало-водних фаз та посилення літнього термічного навантаження. Навіть там, де річні суми опадів не демонструють катастрофічного зменшення, їх сезонний перерозподіл і збільшення епізодичності істотно змінюють функціонування екосистем річкових та озерних систем [16, 17, 20].

Посуха у Поліссі має розглядатися як комплексний гідроекологічний стрес. Тривала відсутність опадів спочатку зменшує ґрунтову вологість і поповнення ґрунтових вод, далі знижує меженний стік, а потім підвищує температуру води, зменшує концентрацію розчиненого кисню, посилює біохімічне споживання кисню і сприяє активізації процесів евтрофікації водойм. За низьких рівнів води зростає концентрація розчинених речовин, активізується внутрішнє навантаження на водну компоненту з донних відкладів, а при осушенні торфовищ посилюються мінералізація органічної речовини, винос біогенного матеріалу і пожежна небезпека [1, 9, 11, 16].

Перша інтенсивна злива після тривалої посухи не завжди поліпшує якість води. Навпаки, вона може

спричиняти імпульсний змив з водозбору накопичених забруднювальних речовин, пилу, органічних решток, компонентів добрив і продуктів мінералізації торфу. У результаті формується гідрохімічний імпульс, який супроводжується короточасним зростанням каламутності, вмісту біогенних елементів, органічної речовини і бактеріального навантаження. Саме такі події часто залишаються недооціненими в календарному моніторингу, якщо відбір проб не прив'язаний до гідрометеорологічних подій [9, 19].

Річний цикл функціонування водних систем Полісся зазнає помітної трансформації. Узимку часті відлиги і нестійкий льодовий режим змінюють аерацію, термічну стратифікацію мілких водойм і характер зимового стоку. Навесні ослаблення снігового водопілля зменшує промивну і водопоповнювальну функцію повені. Влітку зростає ризик кисневого дефіциту, цвітіння води, концентрації забруднювачів і деградації малих водотоків та мілководних озер. Восени водні системи можуть частково відновлюватися за рахунок опадів, однак після тривалих посух перші дощові епізоди нерідко погіршують якість води через імпульсний змив [14, 16].

Озерно-басейновий аспект цієї проблеми найбільш переконливо демонструють дослідження Соминого і Світязя. Для Соминого ключовим є висновок, що озеро не може бути відновлене без регулювання дренажної мережі та відновлення гідрологічної функції болотного масиву [1]. Для Світязя показовим є поєднання кліматичних і водогосподарських чинників, яке проявляється у зниженні рівня води і посиленні суспільної чутливості до обміління рекреаційно значущих озер [14]. Разом ці приклади доводять: озера Полісся мають аналізуватися як озерно-басейнові системи, в яких водний баланс, донні відклади, літораль, підземне живлення і землекористування є взаємопов'язаними елементами.

Річково-басейновий аспект найповніше розкрито у роботах М. В. Боярин щодо верхів'я Прип'яті. Середні значення екологічного індексу ІЕ, значення MIR і коефіцієнти екологічної стабільності ландшафтів показують, що кращий гідроекологічний стан властивий ділянкам із вищою часткою екостабільних елементів – лісів, природних лук, заболоче-

них територій, природоохоронних площ. Навпаки, урбанізовані ділянки, інтенсивне сільськогосподарське використання земель, порушені меліоративні системи та дифузні джерела забруднення знижують буферну здатність басейну [2, 3].

Для басейнів Стиру, Стоходу, Турії, Вижівки, Горині та верхів'я Прип'яті кліматичний ризик доцільно оцінювати як результат взаємодії трьох множників: кліматичного дефіциту вологи, ландшафтної нестабільності водозбору та антропогенного навантаження. Високий ризик формується там, де посуха накладається на осушені торфовища, випрямлені або замулені русла, низьку лісистість, високу частку ріллі та недостатню очищеність стічних вод, які скидаються в річки чи озера. Низький ризик характерніший для басейнів із вищою часткою природних ландшафтів, збереженими заплавами, водно-болотними угіддями і ширшими прибережними буферними смугами [2, 6, 7].

Наукова новизна виконаного узагальнення полягає у трьох положеннях. По-перше, запропоновано концепцію клімато-гідроекологічного трансформування озерно-басейнових і річково-басейнових систем Полісся, що описує не окремий тренд температури чи рівня води, а зміну логіки функціонування водних систем. По-друге, сформульовано поняття інверсії буферної функції водозбору: осушені або деградовані торфово-болотні ландшафти за умов потепління і посухи можуть переходити від функції фільтра та акумулятора води до функції джерела біогенних елементів, органічних речовин, поступаючих у водні об'єкти і викликаючих ризики виникнення пожеж в одних випадках та гідрохімічної нестабільності – в інших. По-третє, обґрунтовано необхідність режимно-подієвого моніторингу, який фіксує не лише календарні середні значення, а й посухи, зливи, відлиги, паводкові імпульси та післяпосухові зливи (табл. 3).

Практична значущість полягає у можливості переходу від пасивного спостереження до управління геоекологічною стійкістю озерно-басейнових та річково-басейнових систем. Для цього необхідно створювати паспорти клімато-гідроекологічної вразливості для пріоритетних річкових та озерних басейнів, поєднувати гідрохімічний контроль із біоіндикацією, відновлювати водний режим осушених боліт, обмежувати дифузний стік із сільськогосподарських угідь, забезпечувати функціонування прибережних захисних смуг і розвивати ГІС-модулі басейнового моніторингу та моніторинг геоекологічних ризиків [1, 2, 18, 19].

Головні висновки. Зміни клімату впливають на річкові системи та озера Поліського регіону через комплексний механізм, який охоплює підвищення температури повітря, ґрунту і води, зміни в сезонному перерозподілі опадів, зменшення стійкості снігового покриву, зростання евапотранспірації, подовження бездощових періодів, збільшення ролі зливових імпульсів і трансформацію торфово-болотних ландшафтів. Наслідками є зміни водності, рівневого режиму, кисневого балансу, гідрохімічної структури водних об'єктів, трофічного стану і біотичних угруповань.

Найбільш релевантними кліматичними показниками для оцінки геоекологічного стану водних систем Полісся є сезонні температури повітря і води, тривалість бездощових періодів, інтенсивність опадів, висота і стабільність снігового покриву, частота зимових відлиг, тривалість льодоставу, потенційна евапотранспірація, дефіцит ґрунтової вологи та повторюваність екстремальних подій. Середньорічні показники мають використовуватися лише як фонові. Порівняння періодів 1961–1990 і 1991–2025 рр. є методично доцільним для виявлення постреференційного кліматичного зсуву, однак оцінювання якості води та її змін потребує гармонізації пунктів спостережень, методик аналізу, сезонності відбору проб

Таблиця 3

Основні механізми впливу змін клімату на річково-басейнові та озерно-басейнові системи Полісся

Кліматичний чинник	Безпосередній гідрологічний ефект	Гідрохімічна або біотична відповідь	Управлінська реакція
Зимове потепління і відлиги	Зменшення акумуляції талої води, зміщення водопілля	Слабше весняне промивання русел, нестійкий льодовий режим	Збереження заплав і болотних акумуляторів вологи
Тривала літня посуха	Зниження рівнів води в річках та озерах, фрагментація стоку, надмірне прогрівання води	Кисневий дефіцит, концентрація біогенних елементів, евтрофікація водойм	Подієвий моніторинг, обмеження водозабору
Інтенсивні зливи після посухи	Короткий паводковий імпульс і поверхневий злив	Надходження органіки, компонентів добрив, завислих речовин	Буферні смуги, контроль дифузного стоку
Деградація торфовищ	Втрата водорегулювальної функції, пожежний ризик	Винос біогенних елементів і продуктів мінералізації торфу	Ренатуралізація боліт, підняття рівнів води
Підвищення температури води	Посилення стратифікації і біопродуктивності водойм	Цвітіння води, зміна макрофітів, дефіцит O ₂	Біоіндикація, обмеження рекреаційного та іншого господарського навантаження, охоронні заходи

та удосконалення нормативних оцінювальних шкал. Без такої гармонізації пряме зіставлення концентрацій може призводити до хибних висновків.

Посуха в Поліссі є не лише метеорологічним, а насамперед гідроекологічним явищем. Вона знижує рівні води, підвищує її температуру, погіршує кисневий режим, зумовлює концентрацію забруднювальних речовин, активізує внутрішнє геохімічне навантаження на водну і біотичну компоненти донних відкладів і підсилює мінералізацію осушених торфовищ. Післяпосушні зливи потребують окремого моніторингу як події підвищеного ризику для погіршення якості води.

Перспективи використання результатів дослідження. Перспективи подальших досліджень полягають у створенні ГІС-орієнтованої системи моніторингу клімато-гідроекологічної і геоєкологічної вразливості річково-басейнових та озерно-басейнових систем Полісся, розрахунку запропонованого індексу ризиків для конкретних річкових та озерних систем та їх басейнів, порівнянні даних наземного моніторингу з матеріалами ДЗЗ, а також у розробленні сценаріїв ренатуралізації боліт, відновлення водності малих водотоків та озер й оптимізації структури землекористування на їхніх водозборах.

Література

1. Kovalchuk, I., Martyniuk, V., Korbutiak, V., Zubkovich, I., Pavlovska, T., Stelmakh, V., & Kurepa, Y. (2026). Geoeological Study of Lake and Basin Systems: An Applied Analysis of the Somyne Ramsar Wetland, Ukraine. *Limnological Review*. 26(2), 15. DOI: <https://doi.org/10.3390/limnolrev26020015>
2. Боярин М. В. Оптимізація екологічного стану річково-басейнових екосистем верхів'я Прип'яті в контексті сталого розвитку: дис. ... доктора с.-г. наук: 03.00.16. Луцьк, 2025. 354 с.
3. Боярин М. В. Оптимізація екологічного стану річково-басейнових екосистем верхів'я Прип'яті в контексті сталого розвитку: реферат дис. ... доктора с.-г. наук: 03.00.16. Рівне, 2025. 43 с.
4. Malovanyu M. S., Boiaryn M., Muzychenko O. et al. Assessment of the environmental state of surface water of right-bank tributaries of the upper reaches of the Pripet River by macrophyte index MIR. *Journal of Water and Land Development*. 2022. No. 55. P. 97–103. DOI: 10.24425/jwld.2022.142310.
5. Nekos A., Boiaryn M., Tsos O., Netrobchuk I., Voloshyn V. Determination of the Macrophyte Index MIR as an indicator of water quality in the Pripet River. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series Geology. Geography. Ecology*. 2023. № 58. P. 360–370. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-27>.
6. Ковальчук І. П., Павловська Т. С. Річково-басейнова система Горині: структура, функціонування, оптимізація: монографія. Луцьк: РВВ «Вежа» Волинського національного університету імені Лесі Українки, 2008. 244 с.
7. Ковальчук І. П., Ковальчук А. І., Ковальчук І. І., Царик Л. П., Павловська Т. С., Пилипович О. В. Концептуальні засади досліджень геоєкологічного стану річково-басейнових систем та їх цифрового атласного картографування. *Наукові записки ТНПУ. Серія: Географія*. 2023. № 2 (55). DOI: <https://doi.org/10.25128/2519-4577.23.2.1>
8. Павловська Т. С. Гідрологія річок: навчальний посібник. Луцьк: Вежа-Друк, 2023. 156 с.
9. 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. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.3.1>.
10. Хільчевський В. К., Осадчий В. І., Курило С. М. Регіональна гідрохімія України. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2019. 343 с.
11. Хільчевський В. К., Осадчий В. І., Курило С.М. Основи гідрохімії. К.: Ніка-Центр, 2012. 326 с.
12. Khilchevskyi, V. K., Kurylo, S. M., & Sherstyuk, N. P. (2018). Chemical composition of different types of natural waters in Ukraine. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 27 (1), 68-80. DOI: <https://doi.org/10.15421/111832>
13. Shumilova, O., Tockner, K., Sukhodolov, A. et al. Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nat Sustain* 6, 578–586 (2023). DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01068-x>
14. Fedoniuk V., Khrystetska M., Fedoniuk M., Merlenko I., Bondarchuk S. Shallowing of the Svitvaz Lake in the context of regional climate change. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2020. Vol. 29(4). P. 673–683.
15. Федонюк В. В., Іванців В. В., Жадько О. А., Федонюк М. А. Порівняльний аналіз комфортності погоди протягом курортного сезону в національних природних парках Волинської області. *Екологічні науки*. 2023. № 4(49). С. 232–237. DOI: 10.32846/2306-9716/2023.eco.4.49.31.
16. Boychenko S., Kuchma T., Karamushka V., Maidanovych N., Kozak O. Wildfires and Climate Change in the Ukrainian Polissia During 2001–2023. *Sustainability*. 2025. Vol. 17(5). Article 2223. DOI: 10.3390/su17052223.
17. World Meteorological Organization. WMO Climatological Normals. Geneva: WMO, 2024. URL: <https://community.wmo.int/site/knowledge-hub/programmes-and-initiatives/climate-services/wmo-climatological-normals>.
18. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*. 2000. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj/eng>.
19. Про затвердження Методики віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного та хімічного станів масиву поверхневих вод, а також віднесення штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод: Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 14.01.2019. № 5. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0127-19#Text>.
20. Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ: Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.
21. Вишневецький В. І. Річки і водойми України. Стан і використання. Київ: [б.в.], 2000. 376 с.
22. Яцик А. В. Водогосподарська екологія. У 4-х томах, 7 кн. Т. 2: Кн. 3–4. Київ: Генеза, 2004. 384 с.

23. Martyniuk, V., Kovalchuk, I., Zubkovych, I., Pavlovska, T., & Sukhodolska, I. (2024). The geoecological analysis of Lake Tuchne (Volyn Polissia) and assessment of sapropel reserves in it. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 33(1). 118-131. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/112413>.
24. Kirvel I., Martyniuk V., Kovalchuk I., Andronache I., Korbutiak V., Zubkovych I. A. Cartographic landscape analysis of the geoecological condition of the natural reserve object – Lake Doshne (Volyn Polissya, Ukraine). *Limnological Review*. 2024. Vol. 24. P. 385–405. DOI: <https://doi.org/10.3390/limnolrev24030023>.
25. Sheng Y., Song C., Wang J. et al. Representative lake water extent mapping at continental scales using multi-temporal Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*. 2016. DOI: 10.1016/j.rse.2015.12.041.
26. Grzybowski M. et al. Correlation between catchment land use/cover and macrophyte assessment of lake ecological status. *Ecological Indicators*. 2023. Vol. 146. Article 109857. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109857>.
27. Zhang F., Chen Y., Wang W. et al. Impact of land-use/land-cover and landscape pattern on seasonal in-stream water quality in small watersheds. *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 357. Article 131907. DOI:10.1016/j.jclepro.2022.131907.

Дата першого надходження статті до видання: 02.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 28.07.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.08.2026