

The results provide a fundamental basis for further monitoring of the ecological condition of water resources, forecasting their changes under current climate challenges, and developing strategies for sustainable water management within the left-bank part of the Middle Dnipro sub-basin.

Keywords: river network, Middle Dnipro basin, left-bank tributaries of the Dnipro River, river basin morphometry, cartographic modeling, Poltava Region, Left-Bank Ukraine.

Надійшла до редколегії 23.03.2026

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2026.1.3>

УДК 556.131.11

Москаленко С.О., Микитченко С. М.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ТРАНСФОРМАЦІЯ ВОДНОГО БАЛАНСУ БАСЕЙНУ РІЧКИ ПСЕЛ В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТУ

Кліматичні зміни мають значний і багатогранний вплив на структуру водного балансу річкових басейнів, змінюючи ключові компоненти, такі як опади, випаровування та стік води. Стаття присвячена вивченню та виявленню впливу зміни клімату на кількісні співвідношення між надходженням та витрачанням води в межах басейну р. Псел. Для цього використано комплекс методів, які включають методи водного балансу, математичної статистики, порівняльний аналіз. Водний баланс (атмосферні опади P , мм = сумарне випаровування E , мм + шар стоку води R , мм) розраховувався за два періоди - базовий кліматичний (1961-1990 рр.) та сучасний (1991-2019 рр.). На основі аналізу структурних компонентів водного балансу басейну р. Псел, сучасні зміни (порівняно з періодом кліматичної норми) можна охарактеризувати як тенденцію до посушливості. Зменшення кількості атмосферних опадів у басейні приблизно на 11,5 мм (прибуткова частина) стало фактором, що безпосередньо вплинуло на рівень наповнення річкової мережі. Внаслідок підвищення температури повітря в басейні в сучасних кліматичних умовах порівняно з періодом кліматичної норми сумарне випаровування збільшилося приблизно на 6,0 мм (видаткова частина). Поєднання меншої кількості опадів та більшого випаровування призвело до значного зменшення річкового стоку Псла – на $\approx 17,5$ мм. Аналіз трансформації водного балансу басейну р. Псел чітко ілюструє класичну модель впливу глобальних кліматичних змін на гідрологічний режим регіональних водних систем. Ситуація в басейні р. Псел є показовим прикладом того, як відносно невеликі кількісні зміни метеорологічних параметрів призводять до значної трансформації водності річок. Описані в дослідженні тенденції змін складових водного балансу вимагають перегляду стратегій водокористування в регіоні, забезпечуючи базу для управління водними ресурсами, планування використання природних вод у господарській діяльності, екологічної безпеки.

Ключові слова: р. Псел; водний баланс; базовий кліматичний період; сучасні зміни кліматичних умов; трансформація складових водного балансу.

Вступ. Кліматичні зміни є однією з найважливіших екологічних проблем сучасності та є важливим чинником, що має значний та різнобічний вплив на гідрологічні процеси і водні ресурси на глобальному, регіональному та локальному рівнях. Україна визнає ці виклики [6, 15]. Згідно з численними звітами Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), зміни клімату, що включають підвищення глобальної температури, зміни в режимах атмосферних опадів (кількість, інтенсивність, форма), становлять серйозну загрозу на всій планеті як для природних екосистем (втрата біорізноманіття, зміщення ареалів видів, підвищення ризику лісових пожеж та ін. чутливих середовищ), так і для людських суспільств (продовольча та водна небезпека, якість прісної води, ризику для здоров'я людини, економічні збитки та вимушена міграція, а також посилення екстремальних погодних явищ – посухи, катастрофічні паводки, зливи, шторми). Вплив кліматичних змін на водні ресурси є предметом численних глобальних та регіональних досліджень. *Метою* представленого дослідження – аналіз та оцінка змін основних структурних компонентів водного балансу за сучасних кліматичних умов басейну р. Псел.

Матеріали і методи досліджень. Річка Псел – друга за довжиною (після р. Десна) ліва притока р. Дніпро, що протікає через російську федерацію та Україну. Загальна довжина річки складає 717 км з загальною площею басейну 22 800 км². Більша частина (понад 70%) знаходиться в межах України: 520 км довжини та 16 270 км² площі басейну.

Басейн р. Псел охоплює три тектонічні структури, що визначають його ландшафт. Верхня частина басейну розташована на південно-західному схилі Воронежського кристалічного масиву, в рельєфі – це Середньоросійська височина, хвилясте плато з висотами 200–250 м БС. Середня частина розташована у межах Дніпровсько-Донецької западини, у рельєфі відповідає Полтавській рівнині, а також північній та центральній частині Придніпровської низовини. Висоти знижуються від 250–200 м до 110–90 м БС. Рельєф характеризується переважанням ерозійно-аккумулятивних форм. Нижня частина басейну та гирло р. Псел розташовані на північно-східних відрогах Українського кристалічного щита (південна частина Придніпровської низовини). Це зона найнижчих відміток (до 64 м БС), де кристалічний фундамент залягає найближче до поверхні [7, 16]. Річка впадає у Кам'янське водосховище. Кліматичні умови басейну річки Псел визначаються його розташуванням у лісостеповій зоні, де панує помірно-континентальний клімат. Цей клімат характеризується чіткою сезонністю, теплим літом та помірно холодною зимою. Континентальність клімату зростає у напрямку з південного заходу на північний схід. Це означає, що північно-східна частина басейну (ближче до витоків) має більш суворі зими та вищі температури влітку, ніж південно-західна [9]. Річка Псел є типовою рівнинною річкою, як це підтверджують гідрографічні показники. Її похил становить 0,2–0,25 м/км, коефіцієнти звивистості ≈ 2 , густоти річкової мережі 0,10 км/км². Басейн р. Псел майже симетричний, середня висота якого 160 м БС. Озерність (0,15–0,2 % від загальної площі басейну) та заболоченість (2–3 %) незначні, лісистість більша ≈ 8 –10 % [4, 16]. Псел має мішане живлення з переважанням снігового. Основна маса води потрапляє до річки навесні під час сніготанення, що формує весняне водопілля. Частка снігового живлення складає понад 50 % (іноді до 80 %), частка дощового найменша – 10–15 %. Значним джерелом живлення є підземне – майже 30–35 % [3, 5, 15]. Отже, Псел – це річка, режим якої формується переважно весняним сніготаненням з істотною підтримкою підземними водами. Періоди низького рівня води – літня-осіння та зимова межень. Паводки нехарактерні, трапляються лише в окремі роки.

У дослідженні використано *метод водного балансу*, який широко застосовується у гідрологічних дослідженнях і є єдиним способом кількісно оцінити різні сторони гідрологічних процесів та явищ [14, 15]. Метод водного балансу базується на законі збереження маси: різниця між приходом (опаді, приплив) та витратою (випаровування, стік) повинна дорівнювати зміні запасів води в системі. Водно-балансовий метод використовують в різних аспектах: а) як метод наукового дослідження та моделювання, який дозволяє вивчати механізми формування стоку (дощового, снігового, підземного) шляхом складання рівнянь балансу; б) й як система взаємозв'язаних процесів, що розглядає гідрологічний цикл як цілісну динамічну систему, де зміна одного компонента неминуче призводить до зміни інших; в) й як кількісна оцінка (узагальнюючий результат), де водний баланс – це не просто теоретична схема, а конкретні цифри об'ємів води за певний період часу. Водно-балансові дослідження є фундаментальним інструментом у гідрології, який дозволяє кількісно оцінити як природні зміни, так і антропогенний вплив на водні ресурси, є основою для оцінки *впливу кліматичних змін на режим стоку води річок* [5, 12, 15].

Основним об'єктом водно-балансових досліджень є річкові басейни. У цілому, рівняння водного балансу може складатися з різної кількості компонентів, але залежно від мети дослідження, наявності вихідних даних, розміру водозбору, тривалості розрахункового періоду (декада, місяць, рік, фази водного режиму – водопілля, паводки, меженні періоди) та ін. факторів воно може бути більш узагальнене (для широкого, абстрактного огляду) або більш деталізоване (для вузького, конкретного розгляду) [13, 15]. В представленій роботі водний баланс для річкового водозбору складався за багаторічний період, в якому основними компонентами є P – атмосферні опади (надходження води); R – сумарний стік (частина витрачання води поверхневим та ґрунтовим стоком, що залишає систему (водозбір)); E – сумарне випаровування (частина витрачання води, що повертається в атмосферу з поверхні ґрунту, водної поверхні та через транспірацію). Ці елементи є ключовими для кількісної оцінки та моделювання водного балансу будь-якого річкового басейну. Отже, рівняння водного балансу для річкового водозбору за *багаторічний період*, коли зміною запасів води в басейні можна знехтувати, виглядає так:

$$P = E + R. \quad (1)$$

Представлене рівняння відображає закон збереження маси для води у замкнутій системі водозбору протягом тривалого періоду, коли зміни запасів води у підземних горизонтах, ґрунті чи водоймах та ін. (накопичення або виснаження) вважаються нульовими або несуттєвими [14]. Тобто, за тривалий період (багаторічний) кількість атмосферних опадів (P), що випали на площу водозбору, дорівнює сумі води, яка витекла з водозбору у вигляді стоку (R), та води, що повернулася в атмосферу шляхом випаровування (E).

Для водно-балансових розрахунків у басейні р. Псел використано дані спостережень за період з 1961 по 2019 рр. із метеорологічних станцій та гідрологічних постів, які розташовані як у межах самого басейну, так і поблизу нього (рис. 1). За даними спостережень метеорологічних станцій – Суми, Ромни, Гадяч, Лебедин, Чернеччина, Миргород, Запсілля, Кобеляки, був сформований банк даних за такими показниками: середні місячні суми атмосферних опадів (мм); середня місячна температура повітря (°C); середні місячні величини парціального тиску водяної пари (гПа). За даними спостережень гідрологічних постів (рис. 1) р. Псел – м. Суми (площа водозбору $F = 7770 \text{ км}^2$), р. Псел – м. Гадяч ($F = 11300 \text{ км}^2$), р. Псел – с. Запсілля ($F = 21800 \text{ км}^2$) створено вибірки середніх місячних витрат води ($\text{м}^3/\text{с}$). Під час розрахунку водного балансу всі складові мають бути зведені до єдиних одиниць вимірювання [11, 13].



Рис. 1. Метеорологічні станції та гідрологічні пости, дані спостережень яких залучені до водно-балансових розрахунків в басейні р. Псел

Щоб забезпечити коректне порівняння об'ємів води в межах водозбору при розрахунках водного балансу та моделювання процесів у межах водозбору, стік річки (який зазвичай вимірюється в $\text{м}^3/\text{с}$) необхідно перевести в міліметри (мм) шару води:

$$R = \frac{Q \cdot T}{F} \cdot 10^3 \text{ (мм)}, \quad (2)$$

де R – шар стоку, мм; Q – витрата води, $\text{м}^3/\text{с}$; T – розрахунковий інтервал часу, с; F – площа водозбору, км^2 ; 10^3 - перехідний коефіцієнт у мм [11].

Для дослідження впливу зміни клімату на водний баланс басейну р. Псел було застосовано статистичний аналіз та порівняльний підхід, що базується на розрахунках для двох репрезентативних періодів – базовий кліматичний період (1961–1990 рр.), що відповідає вимогам Технічного регламенту Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) [17] і слугує точкою відліку («кліматична норма») та сучасний період (1991–2019 рр.), який дозволяє чітко простежити динаміку змін у кількісних співвідношеннях між надходженням та витрачанням води у структурі водного балансу під впливом потепління.

Результати та їх аналіз. Оцінка часової мінливості метеорологічних показників та водного стоку. Основними метеорологічними та гідрологічними показниками, що

визначають складові багаторічних водних балансів річкових басейнів, є температура повітря та його вологість, атмосферні опади, водний стік. На основі порівняння метеорологічних та гідрологічних показників між базовим (1961–1990 рр.) та сучасним (1991–2019 рр.) періодами проаналізовано тенденції їх трансформації в сучасний період і, як наслідок, вплив цих змін на співвідношення між складовими водного балансу.

Температура повітря. На рис. 2 порівнюються осереднені значення місячної та річної температури повітря в басейні р. Псел за даними 8 метеостанцій (Суми, Ромни, Гадяч, Лебедин, Чернеччина, Миргород, Запсілля, Кобеляки) за два періоди 1961-1990 і 1991-2019 рр. Середня річна температура повітря в басейні р. Псел в період кліматичної норми склала +7,8 °С, а в період 1991-2019 рр. – +8,6°С, тобто в сучасний період відбулося її підвищення в середньому по басейну на 0,8°С. Найбільші підвищення на 1,0-1,3 °С відбулися у січні, лютому, березні, червні та серпні. Найменші, в межах 0,3-0,5 °С, спостерігаються у травні, жовтні, листопаді та грудні.

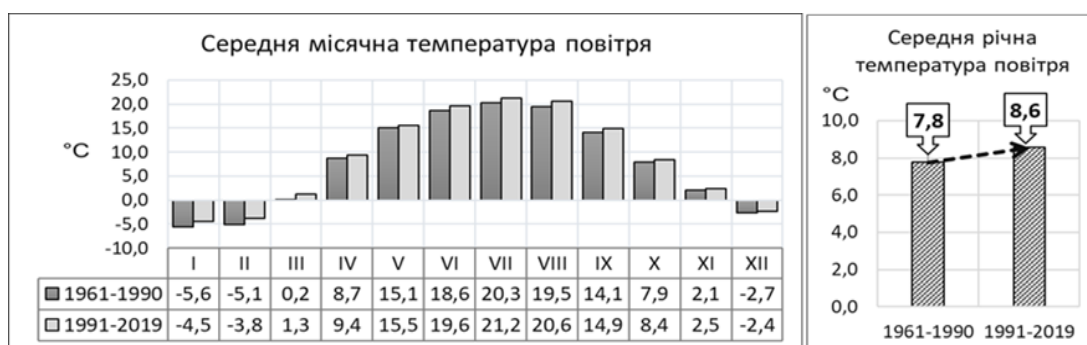


Рис. 2. Порівняння середніх місячних та річних температур повітря в басейні р. Псел за два періоди – кліматичної норми та сучасний період

Абсолютна вологість повітря (парціальний тиск водяної пари). Вологість повітря та випаровування тісно взаємопов'язані поняття, що описують механізм переходу води в газоподібний стан. Процес випаровування збільшує вміст водяної пари в повітрі, що призводить до збільшення парціального тиску водяної пари. Швидкість випаровування залежить від температури повітря, вологості повітря, швидкості вітру та ін. факторів. Чим інтенсивніше випаровування води з різноманітних поверхонь, тим більше водяної пари надходить у повітря і тим вищою стає його вологість [14]

Стосовно зміни парціального тиску водяної пари (абсолютної вологості повітря) в басейні р. Псел (рис. 3), то спостерігається його незначне збільшення, як місячних, так й річних його значень в сучасний період у порівнянні з періодом кліматичної норми.



Рис. 3. Порівняння середніх місячних та річних значень парціального тиску водяної пари в басейні р. Псел за два періоди – кліматичної норми та сучасний період

Середня річна абсолютна вологість повітря в період кліматичної норми 1961-1990 рр. склала 8,6 гПа, а в період 1991-2019 рр. – 9,0 гПа, тобто в сучасний період в басейні р. Псел відбулося її збільшення в середньому на 0,4 гПа. Найбільші збільшення в сучасний період відбулися у січні, лютому, червні та липні – на 0,7-1,1 гПа. Отже, підвищення температури

повітря та збільшення парціального тиску водяної пари в басейні р. Псел опосередковано свідчить про збільшення величини сумарного випаровування.

Атмосферні опади. Середня річна сума атмосферних опадів в басейні р. Псел в період кліматичної норми склала 555 мм, а в період 1991-2019 рр. – 544 мм (рис. 4), тобто в сучасний період відбулося їх зменшення в середньому в басейні на 11 мм. Узагальнюючи зміни місячних кількостей атмосферних опадів в басейні р. Псел в сучасний період, можна констатувати, що во всіх місяцях року спостерігаються різноспрямовані тенденції змін їх кількості. Найбільше зменшення кількості опадів відбулося в літній сезон – на 21,2 мм, з них в серпні на 11,3 мм. Найбільше збільшення опадів фіксується в жовтні – на 11,4 мм (рис. 4).



Рис. 4. Порівняння середніх місячних та річних сум атмосферних опадів в басейні р. Псел за два періоди – кліматичної норми та сучасний період

Річковий стік води. Для аналізу сучасних змін стоку води р. Псел та подальшого розрахунку водного балансу середні місячні витрати води за досліджувані періоди перераховано в середні місячні шари стоку за (2). для трьох гідрологічних постів на р. Псел: р. Псел – м. Суми, р. Псел – м. Гадяч, р. Псел – с. Запсілля (рис. 5).

Як бачимо з рис. 5, середні місячні та річні шари стоку води у трьох створах р. Псел мають аналогічні тенденції змін в сучасний період порівняно з періодом кліматичної норми. Значні зменшення відбулися у весняному стоці води річки, особливо у квітні місяці, коли в основному формуються максимуми весняного водопілля. Порівняння середніх річних шарів стоку води р. Псел показує, що річний шар стоку води р. Псел – м. Суми зменшився в сучасний період на 19,6 мм (що складає 19,1 % відносно стоку річки в період кліматичної норми), р. Псел – м. Гадяч на 17,5 (18,0 %), р. Псел – с. Запсілля на 15,4 мм (19,4 %).

Водний баланс та аналіз впливу кліматичних змін на співвідношення між надходженням та витрачанням води у сучасний період в басейні р. Псел. Для посилення аргументації та підвищення достовірності висновків щодо вивчення впливу кліматичних змін на водний баланс та співвідношення між його складовими, розраховано водні баланси для трьох річкових басейнів: р. Псел – м. Суми, р. Псел – м. Гадяч, р. Псел – с. Запсілля. Середні багаторічні кількості атмосферних опадів P (мм), що випадають за річний проміжок часу, за два періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр. визначалися: для басейну р. Псел – м. Суми за даними 3 метеорологічних станцій – Суми, Ромни, Лебедин; для басейну р. Псел – м. Гадяч за даними 6 станцій – Суми, Ромни, Гадяч, Лебедин, Чернеччина, Миргород; для басейну р. Псел – с. Запсілля за даними 8 станцій – Суми, Ромни, Гадяч, Лебедин, Чернеччина, Миргород, Запсілля, Кобеляки. Сумарне випаровування E (мм) для досліджуваних річкових басейнів р. Псел обчислювалося, відповідно до (1), як різниця між опадами P та шарами стоку води R . Результуючий елемент водного балансу – зміни запасів вологи в річковому басейні, не враховувалися, оскільки, як вже зазначалося, баланси розраховувалися за багаторічний період.

Використовуючи розраховані основні структурні компоненти водного балансу, складено водні баланси (атмосферні опади P , мм = сумарне випаровування E , мм + шар стоку води R , мм) басейну р. Псел для різних ділянок (у створах м. Суми, м. Гадяч, с. Запсілля) у двох часових періодах – кліматичної норми (1961-1990 рр.) та сучасного періоду (1991-2019 рр.) (рис. 6), а в табл. 1 проаналізовані їх зміни в сучасний період.

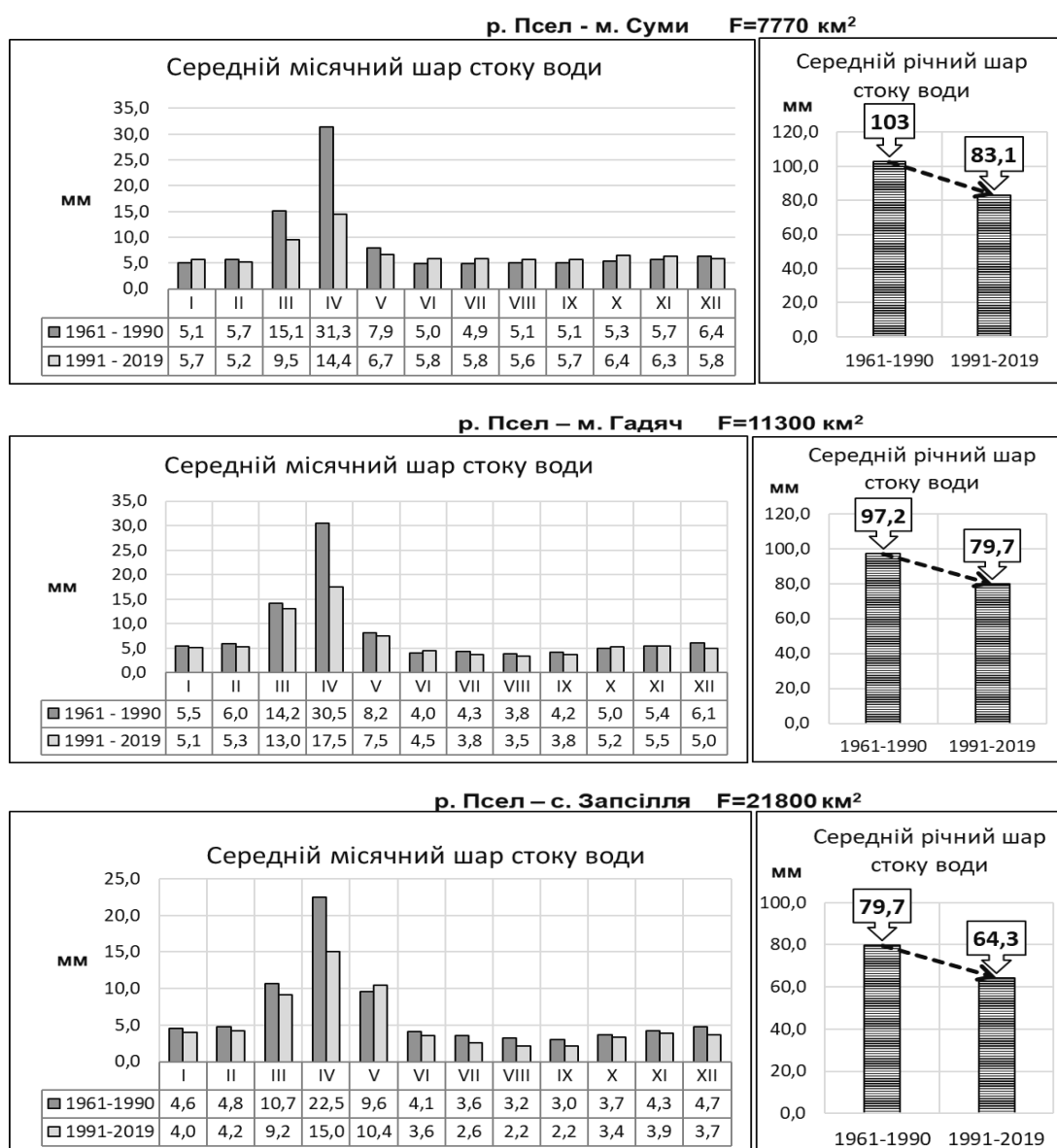


Рис. 5. Порівняння місячних та річних шарів стоку води в басейні р. Псел у створах – м. Суми, м. Гадяч, с. Запсілля, за два періоди – кліматичної норми та сучасний період

Таблиця 1. Аналіз змін складових річних водних балансів (ΔP , ΔR , ΔE) в басейнах р. Псел в сучасний період порівняно з періодом кліматичної норми

Періоди (роки)	Складові водного балансу	Басейн р. Псел		
		м. Суми (F = 7770 км²)	м. Гадяч (F=11300 км²)	с. Запсілля (F =21800 км²)
атмосферні опади P, мм				
1961 – 1990	P, мм	569	570	555
1991 – 2019	P, мм	555	562	544
Зміни Δ P, мм		-14,6	-8,4	-11,4
сумарне випаровування E, мм				
1961 – 1990	E, мм	467	473	475
1991 – 2019	E, мм	472	482	479
Зміни Δ E, мм		+4.9	+9,1	+4,0
шари стоку води R, мм				
1961 – 1990	R, мм	102,7	97,2	79,7
1991 – 2019	R, мм	83,1	79,7	64,3
Зміни Δ R, мм		-19.6	-17.5	-15.4

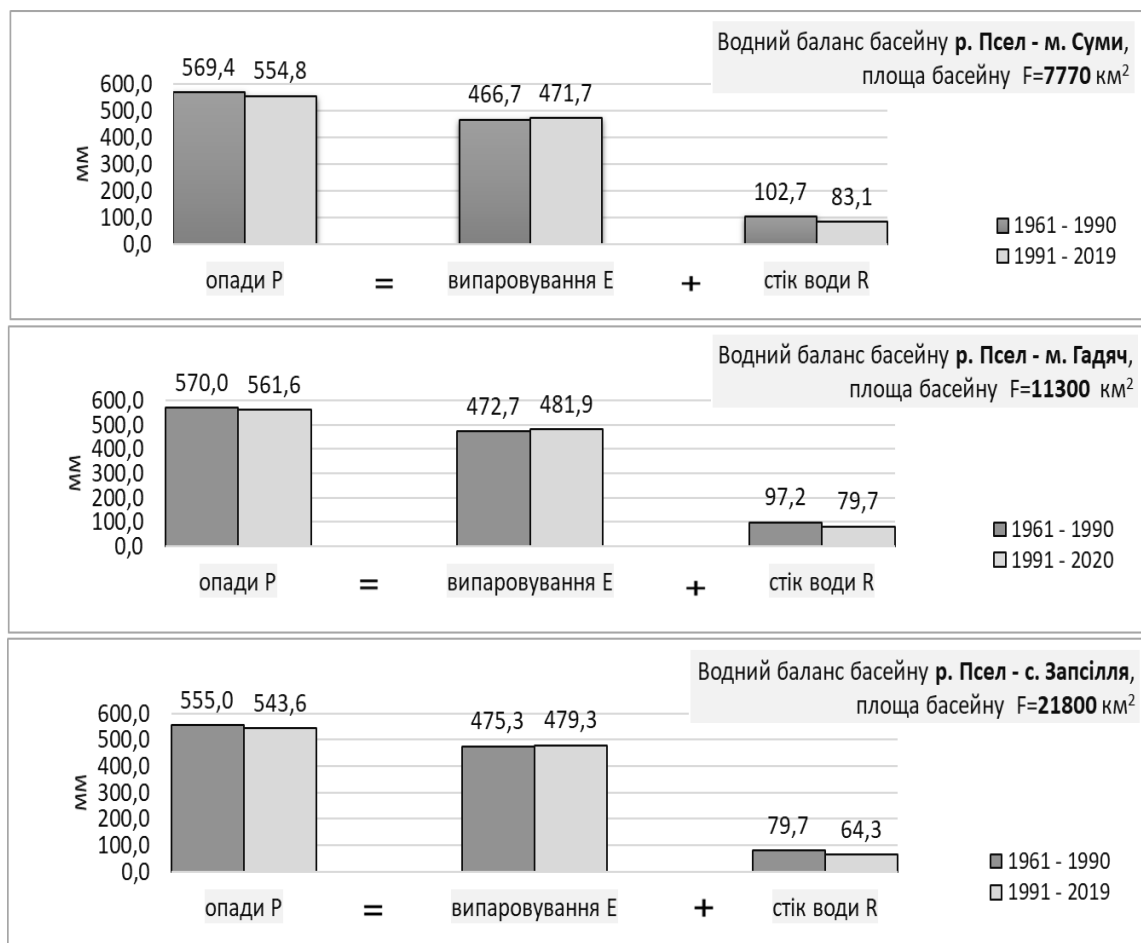


Рис. 6. Водні баланси ($P, \text{мм} = E, \text{мм} + R, \text{мм}$) річкових басейнів: р. Псел– м. Суми, р. Псел – м. Гадяч, р. Псел – с. Запсілля для двох періодів – кліматичної норми та сучасний період

Виходячи з наданої інформації (табл. 1), можна зробити висновок щодо сучасних тенденцій змін складових водного балансу (1991-2019 порівняно з 1961-1990 рр.) басейну р. Псел для різних ділянок (до м. Суми, до м. Гадяч, до с. Запсілля) – для всіх басейнів характерне зменшення надходження води (P) та збільшення її втрат (E), що призводить до зменшення річкового стоку води R : спостерігається тенденція до зменшення кількості атмосферних опадів в діапазоні від 8 до 15 мм; зафіксовано збільшення величин сумарного випаровування на 4-9 мм; відбувається зменшення річкового стоку води на 15-19 мм.

Якщо поділити обидві складові витрачання багаторічного водного балансу (величин сумарного випаровування E та стоку води R) на надходження води (суму опадів P), отримаємо безрозмірні співвідношення: $E/P + R/P = 1$ (в частках від одиниці) або $E/P + R/P = 100$ (у %). Ці співвідношення мають конкретне фізичне та гідрологічне значення, які характеризують водний баланс території, але з протилежних сторін: E/P – це коефіцієнт посушливості (або коефіцієнт випаровування), показує, яка частина атмосферних опадів повертається в атмосферу через сумарне випаровування; R/P – це коефіцієнт стоку, показує, яка частина атмосферних опадів формує поверхневий та підземний стік води річок. Притім, сума цих двох коефіцієнтів завжди дорівнює одиниці (або 100%), що відображає закон збереження маси у водному балансі для замкнутої системи (річкового басейну) за тривалий проміжок часу [11, 13]. В табл. 2 представлено розраховані E/P та R/P в басейні р. Псел та їх зміни в сучасний період.

Аналізуючи співвідношення між надходженням та витрачанням води в басейні за два досліджувані періоди, можна констатувати, що в сучасному періоді (1991-2019 рр.) порівняно з кліматичною нормою (1961-1990 рр.) спостерігається зменшення коефіцієнта стоку води (з 16,5% до 13,6%) та збільшення коефіцієнта посушливості (з 83,5% до 86,4%),

що свідчить про перерозподіл об'ємів води атмосферних опадів в бік сумарного випаровування та зниження об'ємів води, що йдуть на формування річкового стоку води. Ці дані вказують на зміну водного балансу р. Псел у сучасному періоді, де зменшення кількості атмосферних опадів та збільшення випаровування призводять до зменшення річкового стоку.

Висновки. На основі проведених розрахунків можна зробити наступні висновки щодо зміни кліматичних умов та гідрологічного режиму у басейні річки Псел. У температурному режимі повітря спостерігається чітка тенденція до потепління у сучасний період (1991-2019 рр.) порівняно з періодом кліматичної норми (1961-1990 рр.). Підвищення середньої річної температури у басейні річки Псел на 0,8 °C (з +7,8 °C до +8,6 °C) є суттєвим показником, що відповідає загальносвітовим та регіональним трендам зміни клімату. Абсолютна вологість повітря підвищилася на 0,4 гПа (з 8,6 гПа до 9,0 гПа), що вказує на збільшення абсолютного вмісту вологи в атмосфері, яке зазвичай супроводжує процеси потепління через інтенсивніше випаровування. На тлі потепління зафіксовано зменшення річної суми опадів на 11,5 мм (з 555 мм до 544 мм), що свідчить про посилення дефіциту зволоження. У сучасний період спостерігається тенденція до зменшення середньорічного стоку води в річці Псел, яка зафіксована у всіх трьох контрольних створах: біля м. Суми річний стік зменшився на 19,6 мм (19,3 % порівняно з періодом кліматичної норми), біля м. Гадяч на 17,5 мм (18,0 %), біля с. Запсілля на 15,4 мм (19,3 %).

Таблиця 2. Коефіцієнти посушливості E/P і стоку води R/P та їх зміни в сучасний період у порівнянні з періодом кліматичної норми в басейні р. Псел

Річкові басейни Псла								
р. Псел – м. Суми, (F = 7770 км²)			р. Псел – м. Гадяч, (F=11300 км²)			р. Псел – с. Запсілля, (F =21800 км²)		
період кліматичної норми – 1961-1990 рр.								
Елементи водного балансу, мм								
P	E	R	P	E	R	P	E	R
569	467	103	570	473	97	555	475	80
% від суми атмосферних опадів								
P	E/P	R/P	P	E/P	R/P	P	E/P	R/P
100	81,9	18,1	100	83,0	17,0	100	85,6	14,4
сучасний період – 1990-2019 рр.								
Елементи водного балансу, мм								
P	E	R	P	E	R	P	E	R
555	472	83	562	482	80	544	479	64
% від суми атмосферних опадів								
P	E/P	R/P	P	E/P	R/P	P	E/P	R/P
100	85.1	14.9	100	85.8	14.2	100	88.2	11.8

Виявлені зміни кліматичних умов та гідрологічного режиму призвели до зміни водного балансу в басейні р. Псел в сучасний період порівняно з кліматичною нормою. Враховуючи, що загальна площа басейну р. Псел – 22 800 км², можна сформулювати наступні кількісні зміни основних структурних компонентів водного балансу басейну р. Псел за сучасних трансформацій кліматичних умов: 1). Зменшення атмосферних опадів, кількість яких знизилася в середньому на ≈11,5 мм, що еквівалентно зменшенню об'єму води на ≈259,9 млн м³, що призвело до зменшення надходження води до річкової мережі. 2) Через підвищення температури повітря сумарне випаровування в басейні збільшилося в середньому на ≈6,0 мм, що становить близько 136,8 млн м³ води, яка випаровується, замість того, щоб поповнювати водні ресурси. 3) Внаслідок сукупного впливу кліматичних змін (зменшення опадів та зростання випаровування), річковий стік у басейні р. Псел зменшився в середньому на ≈17,5 мм, що в об'ємних показниках дорівнює ≈396,7 млн м³. Це означає, що через зміну кліматичних умов в басейні р. Псел спостерігається зміна водного балансу з кількісним «перерозподілом» об'ємів води його основних компонентів. При зменшенні річної кількості опадів, частка води, яка раніше йшла на стік, тепер випаровується і, як наслідок, менше води надходить у р. Псел, що зменшує її водність.

Список літератури

1. Басейн р. Псел на гідрографічній мапі України. URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a8/Басейн_річки_Псел.jpg
2. Вахрушев Б. О., Ковальчук І. П., Комлієв О. О. та ін. Рельєф України. Навч. посібник / за загальною редакцією В. В. Стецюка. Київ : Видавничий дім «Слово», 2010. С.108-180.
3. Вишневецький В. І., Куций А. В. Багаторічні зміни водного режиму річок України. Київ : Наукова думка, 2022. 252 с. URL: <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/56293>.
4. Вишневецький В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України. Київ: Ніка-Центр, 2003. С. 90-127.
5. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). Київ : Ніка-Центр, 2010. 316 с. URL: https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2021/03/10_n_lit_gidrol.pdf
6. Горбачова Л. О. Багаторічні тенденції річного стоку води річок України та його кліматичних чинників. Довгострокові тренди річного стоку річок України та його кліматичні чинники. Наукові праці УкрНДНМІ, 2016. Вип. 269. С. 94–106.
7. Заставний Ф.Д. Фізична географія України. Львів : Обласний ін-т освіти, 1996. 231 с.
8. Кліматичні зміни в Україні: проекти на ХХІ століття / Інститут географії ім. В. М. Доросенка НАН України. URL: <http://geography.org.ua/naukovi-statti/klimatychni-zminy-v-ukrayini-proektsiyi-na-xxi-stolittya>.
9. Ліпінський В. М., Дячук В. А. та Бабіченко В. М. Клімат України. Київ : Видавництво Раєвського, 2003. С. 41-191.
10. Лук'янець О. І., Ободовський О. Г., Гребінь В. В. та ін. Просторові закономірності зміни середньорічного стоку води річок України. Український географічний журнал. № 1, 2021. С. 6-14. URL: <https://doi.org/10.15407/ugz2021.01.006>.
11. Москаленко С.О. Оцінка просторових взаємозв'язків середнього річного стоку води річок в межах правобережжя Прип'яті. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2021. № 3(61). С. 20-28. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.3.2>
12. Москаленко С.О., Ухань О.О. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Гідрологія та гідрохімія». Київ : ТОВ «ПРО ФОРМАТ», 2025. 97с. URL: <https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2025/05/met-vkazivky-2025-pr-gidrologiya-ta-gidrohimiya-moskalenko-uhan.pdf>
13. Сніжко С., Шевченко О., Дідовець Ю. Аналіз впливу кліматичних змін на водні ресурси України (повний звіт за результатами проекту). Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2021. 68 с. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2021/06/analiz-vplyvu-vodni-resursy-full.pdf>
14. Хільчевський В.К., Гребінь В.В. Гідрологія та гідрохімія: навч. посібник. Київ : ДІА, 2025. 348 с. URL: https://www.researchgate.net/publication/392731237_Hilcevskij_VK_Grebin_VV_Gidrologia_ta_gidrohimia_navc_posibnik_K_DIA_2025_352_s_Khilchevskiy_VK_Grebin_VV_Hydrology_and_hydrochemistry_Kyiv_DIA_2025_352_p
15. Хільчевський В.К. Гребінь В.В., Манукало В.О. Гідрологічний словник. Київ: ДІА, 2022. 236 с. URL: https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2024/10/khilchevskiy-v.k.-et-al._hydrological-dictionary.-16.06.22.pdf
16. Чорноморець Ю.О., Лук'янець О.І. Вплив сучасних змін у співвідношенні сніго-дощового живлення річок на структуру водного балансу їх басейнів (на прикладі річкового басейну Ворскли). Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, № 4(55), 2019. URL: <https://doi.org/2306-5680.2019.4.3>.
17. Sarnavskiy S. P. Characterization of the physical and geographical conditions of the formation of the flow of the rivers of the left bank of the Middle Dnipro. Modern aspects of natural science research in the context of sustainable development of society: Scientific monograph. Riga: Baltija Publishing, 2023. P. 377–414. URL: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-395-8-20>
18. WMO Media Centre, (2015). New Two-Tier approach on «climate normal». URL: <https://public.wmo.int/en/media/news/new-two-tier-approach-climate-normals>

References

1. Basein r. Psel na hidrografichnii mapi Ukrainy [The Psel River basin on the hydrographic map of Ukraine]. URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a8/Басейн_річки_Псел.jpg
2. Vakhrushev B. O., Kovalchuk I. P., Komliev O. O. ta in. Relief of Ukraine [Relief of Ukraine]. Navch. posibnyk / za zahalnoi redaktsiiei V. V. Stetsiuka. Kyiv : Vydavnychiy dim «Slovo», 2010. S.108-180.
3. Vyshnevskiy V. I., Kutsyi A. V. Bahatorichni zminy vodnoho rezhymu richok Ukrainy [Long-term changes in the water regime of Ukrainian rivers]. Kyiv: Naukova dumka, 2022. 252 s. URL: <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/56293>
4. Vyshnevskiy V.I., Kosovets O.O. Hidrolohichni kharakterystyky richok Ukrainy [Hydrological characteristics of the rivers of Ukraine]. Kyiv : Nika-Tsentr, 2003. S. 90-127.

5. Hrebin V.V. Suchasnyi vodnyi rezhym richok Ukrainy (landshaftno-hidrolohichnyi analiz) (Modern water regime of rivers of Ukraine (landscape and hydrological analysis)). Kyiv : Nika-Tsentr, 2010. 316 s. URL: https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2021/03/10_n_lit_gidrol.pdf.
6. Horbachova L.O. Bahatorichni tendentsii richnoho stoku vody richok Ukrainy ta yoho klimatychnykh chynnykiv. [Long-term trends in annual water runoff of rivers in Ukraine and its climatic factors]. Naukovi pratsi UkrNDHMI, 2016. Vyp. 269. S. 94-106.
7. Zastavnyi F.D. Fizychna heohrafiia Ukrainy [Physical geography of Ukraine]. Lviv: Oblasnyi instytut osvity, 1996. 231 s.
8. Klimatychni zminy v Ukraini: proektsii na XXI stolittia [Climate change in Ukraine: projections for the 21st century]. Instytut heohrafiï im. V. M. Dorosenska NAN Ukrainy. URL: <http://geography.org.ua/naukovi-statti/klimatychni-zminy-v-ukrayini-proektsiyi-na-xxi-stolittia>.
9. Lipinsky, V. M., Dyachuk, V. A., & Babichenko, V. M. (Eds.) Klimat Ukrainy [Climate of Ukraine]. Kyiv: Vydavnytstvo Raievskeho, 2003. S. 41-191.
10. Lukianets O. I., Obodovskiy O. H., Hrebin V. V. ta in. Prostorovi zakonomirnosti zminy serednoho richnoho stoku vody richok Ukrainy [Spatial patterns of changes in the average annual water flow of rivers in Ukraine]. Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal. № 1, 2021. S. 6-14. URL: <https://doi.org/10.15407/ugz2021.01.006>
11. Moskalenko S.O. Otsinka prostorovykh vzaiemozv'язkiv serednoho richnoho stoku vody richok v mezhakh pravoberezhzhia Prypiati [Assessment of spatial relationships of the average annual water flow of rivers within the right bank of the Pripyat]. Hidrologiia, hidrokhimiia i hidroekologhiia, 2021. № 3(61). S. 20-28. URL: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.3.2>
12. Moskalenko S.O., Ukhan O.O. Metodychni vkazivky do vykonannia praktychnykh robiz z dystsyplyny «Hidrologiia ta hidrokhimiia» [Methodological instructions for performing practical work in the discipline «Hydrology and Hydrochemistry»], Kyiv: TOV «PRO FORMAT», 2025. 97 s. URL: <https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2025/05/met-vkazivky-2025-pr-gidrologiya-ta-gidrohimiya-moskalenko-uhan.pdf>
13. Snizhko S., Shevchenko O., Didovets Yu. Analiz vplyvu klimatychnykh zmin na vodni resursy Ukrainy (povnyi zvit za rezultatamy proektu) [Analysis of the impact of climate change on water resources of Ukraine (full report on the project results)]. Tsentr ekolohichnykh initsiatyv «Ekodiia», 2021. 68 s. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2021/06/analiz-vplyvu-vodni-resursy-full.pdf>
14. Khilchevskiy V. K., Hrebin V. V. Hidrologiia ta hidrokhimiia: navch. posibnyk [Hydrology and hydrochemistry: textbook]. Kyiv: DIA, 2025. 352 s. URL: https://www.researchgate.net/publication/392731237_Hilcevskij_VK_Grebin_VV_Gidrologia_ta_gidrohimiia-navch-posibnik-KDIA2025352sKhilchevskiyVKGrebinVVHydrologyandhydrochemistryKyivDIA2025_352_p
15. Khilchevskiy V.K. Hrebin V.V., Manukalo V.O. Hidrolohichnyi slovnyk [Hydrological dictionary]. Kyiv: DIA, 2022. 236 s. URL: https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2024/10/khilchevskiy-v.k.-et-al._hydrological-dictionary.-16.06.22.pdf
16. Chornomorets Yu.O., Lukianets O.I. Vplyv suchasnykh zmin u spivvidnoshenni snihodoshchovoho zhyvlennia richok na strukturu vodnoho balansu yikh baseiniv (na prykladi richkovoho baseinu Vorskly) [Impact of modern changes in the ratio of snow and rain feeding of rivers on the structure of the water balance of their basins (using the example of the Vorskla river basin)]. Hidrologiia, hidrokhimiia i hidroekologhiia, № 4(55), 2019. C. 40-52. URL: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2019.4.3>.
17. Sarnavskiy S. P. Characterization of the physical and geographical conditions of the formation of the flow of the rivers of the left bank of the Middle Dnipro. Modern aspects of natural science research in the context of sustainable development of society: Scientific monograph. Riga: Baltija Publishing, 2023. 377–414. URL: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-395-8-20>
18. WMO Media Centre, (2015). New Two-Tier approach on «climate normal». URL: <https://public.wmo.int/en/media/news/new-two-tier-approach-climate-normals>

Transformation of the water balance of the Psel River basin under climate change
Moskalenko S. O., Mykytchenko S. M.

Climate change has a significant and multifaceted impact on the structure of the water balance of river basins, changing key components such as precipitation, evaporation and water runoff. The article is devoted to the study and identification of the impact of climate change on the quantitative relationships between water inflow and outflow within the Psel River basin. For this purpose, a set of methods was used, which include water balance methods, mathematical statistics, and comparative analysis. The water balance (atmospheric precipitation P , mm = total evaporation E , mm + water runoff R , mm) was calculated for two periods - the base climatic (1961-1990) and the modern (1991-2019). Based on the analysis of the structural components of the water balance of the Psel River basin, modern changes (compared to the period of the climatic norm) can be characterized as a tendency towards aridity. The decrease in the amount of atmospheric precipitation in the basin by approximately 11.5 mm (income part) became a factor that directly affected the filling of the river network. As a result of the increase in air temperature in the basin under modern climatic conditions compared to the period of the climatic norm, the total evaporation increased by approximately 6.0 mm (expenditure part). The combination of less precipitation and greater evaporation led to a significant decrease in the Psel river runoff

- by ≈ 17.5 mm. The analysis of the transformation of the water balance of the Psel river basin clearly illustrates the classical model of the impact of global climate change on the hydrological regime of regional water systems. The situation in the Psel river basin is a striking example of how relatively small quantitative changes in meteorological parameters lead to a significant transformation of the water content of rivers. The trends in changes in the components of the water balance described in the study require a revision of water use strategies in the region, providing a basis for water resources management, planning the use of natural waters in economic activities, and environmental safety.

Key words: Psel River; water balance; basic climatic period; modern changes in climatic conditions; transformation of water balance components.

Надійшла до редколегії 03.03.2026

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2026.1.4>

УДК 556.535:556.53:504.4

Паланичко О.В., Косован М.Р.

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

ГІДРОЛОГІЧНИЙ РЕЖИМ Р. ЧОРНЯВА В СИСТЕМІ ІНТЕГРОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ ТРАНСКОРДОННОГО БАСЕЙНУ ПРУТУ

У статті досліджено особливості сучасного гідрологічного режиму річки Чорнява як важливої лівої притоки Пруту в системі інтегрованого управління водними ресурсами транскордонного басейну. Метою роботи є оцінка сучасного стану та закономірностей зміни водного режиму річки, а також визначення чинників, що впливають на формування стоку. Дослідження виконано на основі аналізу багаторічних гідрологічних спостережень на гідрологічному посту с. Любківці за 1985 – 2020 рр. та залучено сучасні геоінформаційні й дистанційні методи. Для оцінки кліматичних і гідрологічних умов використано дані TerraClimate, CHIRPS та GLDAS, а морфометричний аналіз басейну здійснено на основі цифрової моделі рельєфу SRTM. Встановлено, що формування водного режиму річки Чорнява визначається сукупною дією кліматичних, геоморфологічних та антропогенних чинників. Виявлено динаміку підвищення температури повітря, мінливість атмосферного зволоження та запасів ґрунтової вологи. Це безпосередньо впливає на стік. За результатами аналізу гідрологічних даних середня багаторічна витрата води становить $1,59 \text{ м}^3/\text{с}$, а коливання водності характеризуються значною амплітудою. Встановлено трансформацію сезонної структури стоку, яка проявляється у зменшенні ролі весняного водопілля та посиленні значення дощових паводків. Обґрунтовано необхідність удосконалення системи моніторингу, впровадження природоохоронних заходів управління та підвищення здатності ландшафтів утримувати воду для зниження паводків та забезпечення сталого використання водних ресурсів суббасейну Пруту.

Ключові слова: гідрологічний режим; річка Чорнява; басейн Пруту; інтегроване управління водними ресурсами; річковий стік; кліматичні зміни.

Вступ. У сучасних умовах змін клімату та зростання антропогенного навантаження особливої актуальності набувають дослідження гідрологічного режиму малих річок. Відомо, що вони є найбільш чутливими до природних і господарських перетворень. Малі водотоки відіграють важливу роль у формуванні водних ресурсів, підтримують екологічну рівновагу та функціонування річкових басейнів. Проте, разом з тим, вони найшвидше реагують на зміни атмосферного зволоження, трансформацію структури землекористування та розвиток небезпечних гідрологічних явищ.

Особливого значення набувають дослідження водного режиму малих річок у межах транскордонних річкових басейнів. Адже тут ефективне управління водними ресурсами потребує комплексного врахування природних і антропогенних чинників формування стоку. Одним із таких є басейн річки Прут, для якого характерні значна просторово-часова мінливість водності, висока паводкова активність та складна структура водозбірних систем. У межах басейну Пруту важливу роль у формуванні стоку відіграють малі притоки, серед яких – річка Чорнява.

Річка Чорнява є лівою притокою Пруту та характеризується паводковим типом водного режиму, значною сезонною мінливістю витрат води та швидкою реакцією водозбору на атмосферні опади. Формування її гідрологічного режиму визначається поєднанням кліматичних умов, особливостей рельєфу, геолого-геоморфологічної будови