

**Ж.Р. Шакірзанова**

ORCID ID: 0000-0003-0600-5657  
jannettodessa@gmail.com

**Д.В. Сіваєв**

ORCID ID: 0009-0000-3866-8274  
sivaevxxx1d@gmail.com

Одеський національний  
університет ім. І.І. Мечникова  
МОН України

УДК 556.166

DOI: <https://doi.org/10.15407/Meteorology2025.08.005>

## ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІ ТЕНДЕНЦІЇ МАКСИМАЛЬНОГО ТАЛО-ДОЩОВОГО СТОКУ РІЧОК УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ

*Робота присвячена дослідженню просторово-часових багаторічних тенденцій характеристик максимального тало-дощового стоку річок Українського Полісся (правобережна частина) при використанні гідролого-генетичного методу статистичних досліджень. В останні роки повені на річках від танення снігу та випадіння опадів стали виникати в більш ранні, майже зимові періоди року, формуючи максимальний тало-дощовий стік річок Українського Полісся. Водночас, у період зміни клімату зменшення снігового покриву і його танення внаслідок підвищення зимових температур повітря призвели до зменшення повеней за величиною і розповсюдженням по території. При використанні гідролого-генетичного методу статистичних досліджень здійснено перевірку статистичної однорідності гідрологічних рядів спостережень максимального тало-дощового стоку річок Українського Полісся (максимальних витрат води, шарів стоку), дослідження часових трендів, циклічності коливань стоку води та синхронності в їхніх рядах. Аналіз однорідності часових рядів максимальних витрат води тало-дощового стоку річок Українського Полісся на основі сумарних кривих показав, що в рядах спостережень має місце порушення їхньої однорідності на відміну від часових рядів шарів стоку. Узагальнюючи результати аналізу коливань максимального тало-дощового стоку річок Українського Полісся за інтегральними кривими максимальних витрат води та шарів стоку можна відзначити, що вони синхронні й точки перегіну інтегральних кривих майже співпадають. Аналіз хронологічного ходу часових рядів стокових величин максимального тало-дощового стоку річок Українського Полісся показав, що вони мають фази циклічних коливань водності, що й обумовлює виражені тренди в часових рядах максимального стоку. Для річок Українського Полісся багатоводна фаза спостерігалася в основному до 1981–1982 рр., а маловодна фаза триває на річках до 2020 року. Це надає можливості для подальшого використання статистичних методів з метою визначення розрахункових параметрів максимального тало-дощового стоку річок Українського Полісся за наявними матеріалами спостережень за стоком води.*

**Ключові слова:** максимальний тало-дощовий стік, багаторічні тенденції.

### ВСТУП

Дослідження українських та закордонних вчених свідчать, що зміна клімату істотно вплинула на гідрологічний режим річок, зокрема спричинила значну різноманітність у виникненні річкових тало-дощових повеней. Ця різноманітність виявляється у збільшенні або зменшенні частоти повеней, зміні часу їхніх формувань та проходження. Такий гідрологічний режим річок призводить до зростання економічних збитків, пов'язаних із екстремальними повенями, в багатьох регіонах світу, включаючи територію України.

Група закордонних і вітчизняних вчених, зокрема Blöschl, G. та ін. (Blöschl et al., 2017, 2019; Kemter et al., 2020), провели дослідження, у результаті яких було виявлено значні зміни у водному режимі річок протягом останніх п'яти десятиліть. Ці зміни спос-

терігалися як у Центральній, Західній та Північній Європі, так і на річках Східної Європи, де розташоване Українське Полісся. Так, останніми роками, на тлі глобальних і регіональних кліматичних змін при зменшенні снігового покриву, внаслідок підвищення температур повітря, спостерігається перерозподіл водних ресурсів: весняний стік зменшується, терміни його проходження скорочуються, але зберігається ймовірність виникнення інтенсивних тало-дощових паводків, пов'язаних із надлишком вологи у ґрунті, що збільшує частоту повеней, але з меншими масштабами їхньої синхронізації у регіоні (Kemter et al., 2020). У роботі (Snizhko et al., 2023) зазначено, що у більшості рівнинних річок України, знижується інтенсивність і частота весняних повеней, при зростанні частки літньо-осінніх дощових паводків. Основними причинами перерозподілу

стоку води на фоні зростання температур повітря є зміна типу опадів — частіше випадіння дощів замість снігу, що зменшує сніговий покрив.

Дослідження українських науковців (Гребінь, 2010а, 2010b; Vasylenko, 2015; Гопченко та ін., 2010) засвідчують, що в останні десятиліття при впливі зміни клімату на річках Українського Полісся весняні водопілля, на фоні зменшення величини їхніх максимумів, стали виникати в більш ранні, навіть зимові місяці на початку року, внаслідок зростання середньомісячної температури повітря впродовж січня–лютого, танення снігу та випадіння дощових опадів. Дослідження українського вченого В.В. Гребеня (Гребінь, 2010а, 2010b) вказують на те, що вплив кліматичних змін, пов'язаних із зимовим потеплінням, зменшенням кількості накопиченого снігу й перерозподілом опадів протягом року проявилася у водному режимі річок України з 1989 року.

Такі сучасні кліматичні умови призводять до формування *максимального тало-дощового стоку* річок території Українського Полісся, що спостерігається у більш ранні календарні строки відносно середньобаторічних дат проходження характерної багатоводної фази їхнього водного режиму — весняного водопілля.

Що стосується величин об'ємів стоку та максимальних витрат води, то більш суттєвого зменшення у межах рівнинної частини території України зазнали величини максимальних витрат весняного водопілля (Гребінь, 2010b).

Так, величина зменшення максимальних модулів весняного стоку впродовж 1989–2008 р. відносно попереднього періоду становила в середньому по Україні 57%, а в межах Прип'ятської ландшафтно-гідрологічної провінції 43–48% (у середньому 47%) і навіть 62% (Гребінь, 2010а; Vasylenko, 2015).

Шари весняного стоку в басейнах української частини Прип'яті менш змінилися порівняно із максимальними модулями води водопілля. У середньому по басейну вони зменшились у сучасний період (станом на 2009 р.) на 18–20% (Гребінь, 2010b; Vasylenko, 2015). При цьому, автор (Vasylenko, 2015) відмічає, що частка весняного водопілля від об'єму річного стоку в басейні р. Прип'ять (у межах України) зменшилася за період 1989–2009 рр. приблизно на 9%, що пояснюється внутрішньорічним перерозподілом стоку. Крім того, відмічено зміни амплітуди коливань основних характеристик весняного водопілля в межах басейну після 1989 р., які зменшились на 20–25%.

В останні роки автором (Lobodzinskyi et al., 2023) виконані дослідження змін витрат води р. Горинь внаслідок зміни клімату при аналізі середньодобової температури повітря та кількості опадів для

періодів 1961–1990 та 1991–2020 роки, які є кліматологічними стандартними нормами, відповідно до рекомендацій ВМО (WMO guidelines on the calculation of climate normals, 2017). Так, на фоні зростання температур повітря у холодний період року протягом сучасного кліматологічного періоду (1991–2020 роки), збільшення кількості днів з дощем при зменшенні кількості днів зі снігом взимку і, як результат — зменшення снігонакопичення на території басейну та зменшення частки снігового живлення у сучасний кліматологічний період (Лободзінський & Данько, 2023), максимальні витрати води р.Горинь у весняний сезон суттєво знизилися (у середньому по басейну на 21%) відносно базового періоду.

При цьому через зміну клімату змінилася й форма гідрографів максимального тало-дощового стоку річок у сучасний період до більш “розмитого”, при розпластуванні основної хвилі і зниженні пікових витрат води весняного водопілля, зміщенні дат його початку до більш ранніх строків та збільшенні витрат води у період зимової межени (Гребінь, 2010а; Vasylenko, 2015; Lobodzinskyi et al., 2023).

Авторами (Гопченко та ін., 2010; Горбачова & Барандіч, 2016; Овчарук, 2020; Гопцій & Бондаренко, 2024) виявлені як багаторічні трендові, так і циклічні коливання характеристик максимального стоку весняного водопілля річок Полісся в басейні правобережжя р.Прип'ять. Так, значний спад снігозапасів “послаблює” хвилю паводка, що призводить до загальної тенденції до зниження максимального стоку в Поліссі за останні десятиріччя, а цикли водності стали й мають десятилітні фази водності (Гопченко та ін., 2010; Горбачова & Барандіч, 2016). При цьому найбільш вирогідними причинами трендових змін максимального стоку є перерозподіл стоку за рахунок метеорологічних чинників, а в окремих випадках можливий вплив антропогенної діяльності при зарегульованості стоку води (Горбачова & Барандіч, 2016; Овчарук, 2020).

Отже, дослідження максимального стоку води в річках має велике наукове й практичне значення. Розуміння умов формування екстремальних значень максимального стоку води, їхньої частоти виникнення, а також аналіз багаторічних тенденцій є особливо важливими у інженерному проектуванні та прогностичній оперативній діяльності для запобігання матеріальних втрат при можливому затопленні заплавлених територій, руйнуванні гідротехнічних споруд, неочікуваних катастрофічних наслідків для населених пунктів. Так, за прогнозами науковців (Merz et al., 2014; Knighton et al., 2017; Tabari, 2020; Bertola et al., 2023) небезпечний характер максимального стоку води в річках різного генезису стане

більш звичайним явищем у майбутньому при тепліні клімату за отриманим авторам (Краковська та ін., 2023; Osurov et al., 2025) ймовірними траєкторіями змін температури та опадів до кінця століття.

Для оцінювання та визначення розрахункових характеристик максимального стоку річок зазвичай використовують ймовірнісний підхід, тобто статистичні методи при залученні багаторічної гідрометорологічної інформації за ретроспективний період спостережень (Лобода, 2010; Гопченко та ін., 2014; Guide to Hydrological Practices, 2009; Горбачова, 2016). Основні рекомендації щодо визначення розрахункових гідрологічних характеристик в Україні надані в СНиП 2.01.14-83.

У результаті використання статистичних методів отримуються середні значення, коефіцієнти варіації та асиметрії, витрати води різної ймовірності перевищення. Проте такої інформації не завжди буває достатньо для вирішення багатьох практичних завдань. У науковій практиці останнім часом все більше розробляються нові методологічні підходи при поєднанні різних методів, наприклад, статистичного і детерміністичного (історичні дані), що потребує використання додаткових даних і параметрів (Горбачова, 2016; Гопченко & Овчарук, 2018; Merz et al., 2014; Knighton et al., 2017; Pekarova et al., 2019).

Особливістю сучасного періоду в умовах зміни клімату є необхідність при визначенні розрахункових та прогнозних характеристик максимального стоку річок, дослідженнях їхніх направлених тенденцій і статистичного аналізу при використанні часових стокових рядів за весь період спостережень включаючи дані в сучасні роки, коли вплив зміни клімату став більш відчутним у водному режимі річок. Так, поширений у сучасній практиці комплексний гідролого-генетичний метод статистичних досліджень часових рядів спостережень, який включає використання графічних методів таких, як графіки кореляційного зв'язку, сумарні криві, хронологічні графіки, інтегральні криві відхилень та ін., методичні положення якого обґрунтовано в роботах (Горбачова, 2016; Горбачова, 2014).

**Метою роботи** є дослідження та узагальнення просторово-часових багаторічних тенденцій характеристик максимального тало-дощового стоку річок Українського Полісся (правобережна частина) при використанні гідролого-генетичного методу статистичних досліджень часових рядів за весь період стокових спостережень, включаючи дані до 2020 року.

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

**Об'єктом дослідження** є територія Українського Полісся у межах правобережної частини країни

(Прип'ятського Полісся). Відповідно до гідрографічного районування, виконаного авторами (Хільчевський & Гребінь, 2017) згідно положень Водної рамкової директиви ЄС (Директива 2000/60/ЄС, 2000) вона включає річки суббасейну р.Прип'ять (у межах правобережжя річки) та деякі праві притоки суббасейну Середнього Дніпра.

Територія розташована в північно-західній частині країни в межах лісової (мішаних лісів і частково широколистяних лісів) та лісостепової географічних зон України (Національний атлас України, 1999–2000). Річки тут протікають наступними областями України: Волинською та Рівненською, значною частиною Житомирської, Хмельницької та Тернопільської (<https://vue.gov.ua>).

Місцевість Українського Полісся дуже зволожена і заболочена, з неоднорідними ландшафтами. Рельєф Полісся взагалі рівнинний. При цьому загально орієнтований нахил поверхні водозборів правих приток р. Прип'ять на північ у бік основного водотоку обумовлює направленість стоку води по схилах і руслах річок у бік р. Прип'ять.

Річки даної території належать до типу рівнинних із переважанням снігового живлення, несталим зимовим режимом із нестійким сніговим покривом у зв'язку з частими відлигами взимку, які призводять до часткового або повного танення снігу і формування зимових паводків різної інтенсивності та водності. Середньо багаторічні строки початку весняних водопіль коливаються від кінця лютого до початку березня, а закінчення водопілля припадає на середину-кінець квітня.

Характерними рисами останніх років за даними Українського Гідрометцентру ДСНС України <https://www.meteo.gov.ua/> в умовах не стійкого температурного режиму взимку, не значних снігозапасів, нерівномірного снігонакопичення стало формування повеней від тало-дощових вод у більш ранні, майже зимові періоди року (як, у 2002, 2007, 2008, 2011, 2015, 2016, 2019, 2021-2024 рр.); у зв'язку з практичною відсутністю сталого снігового покриву на деяких річках максимальний тало-дощовий стік майже не спостерігається (у 2019, 2020, 2022, 2024 та у 2025 рр.) (Сіваєв & Шакірзанова, 2024).

Дослідження просторово-часових багаторічних тенденцій характеристик максимального тало-дощового стоку річок Українського Полісся (максимальних витрат води, шарів стоку, строків проходження) здійснено при використанні гідролого-генетичного методу статистичного аналізу і включає перевірку однорідності гідрологічних рядів спостережень, дослідження часових трендів, циклічності коливань стоку води та синхронності в їхніх рядах у близько розташованих річкових басейнах.

Для статистичного аналізу часових рядів гідрологічних характеристик максимального тало-дощового стоку були прийняті дані стокових спостережень по діючих гідрологічних постах гідрометеорологічної мережі спостережень ДСНС України в межах території басейнів річок Українського Полісся за весь період спостережень, включаючи дані по 2020 рік.

Використання статистичних методів вимагає, щоб ряди вихідних багаторічних гідрометеорологічних даних, зокрема гідрологічного стоку річок, відповідали критеріям стаціонарності та однорідності. Однорідність гідрологічних даних є важливою умовою для коректного застосування статистичних методів (Лобода, 2010; Гопченко та ін., 2014; Guide to Hydrological Practices, 2009; Горбачова, 2016; СНиП 2.01.14-83, 1983; Горбачова, 2014) і забезпечення точності у інженерних гідрологічних розрахунках і прогнозах стоку річок (Гопченко та ін., 2010). Однак на практиці ця вимога часто порушується внаслідок різних причин, які потребують ретельного аналізу.

Порушення статистичної однорідності часових рядів гідрологічного стоку часто обумовлені комплексом різноманітних чинників, які впливають на формування стоку річок. Одним із таких факторів природного характеру є специфіка підстильної поверхні водозборів річок, включаючи безстічні мікро- та макропониження місцевості. Вони можуть значно змінювати динаміку водного балансу, що впливає на однорідність даних. До антропогенних впливів відноситься господарська діяльність, як-то регулювання річкового стоку, будівництво гідротехнічних споруд, сільськогосподарські заходи, агролісомеліорація, зрошування та перекидання стоку, що також є суттєвими причинами змін.

Крім того, необхідно враховувати вплив глобальних і регіональних змін клімату, які можуть порушувати стаціонарність гідрометеорологічних процесів. Такі зміни, як підвищення температури повітря, зміна режиму опадів або збільшення частоти екстремальних погодних явищ, суттєво впливають на характер стоку річок, викликаючи його статистичну нестабільність і змінюючи довгострокові тенденції (тренди), що проявляються у поступовій зміні середніх характеристик стоку (Гопченко та ін., 2014). Однак статистична неоднорідність може також виникати й через недостатню тривалість періоду спостережень, що ускладнює аналіз даних (Гопченко та ін., 2014; СНиП 2.01.14-83, 1983). Аналіз цих факторів є необхідним для забезпечення точності прогнозів і адаптації управління водними ресурсами до нових умов.

**Методи аналізу однорідності даних.** Особливу увагу в гідрологічних розрахунках приділяють методам перевірки статистичної однорідності рядів

(СНиП 2.01.14-83, 1983). Найефективнішим способом оцінки однорідності є детальний аналіз часових рядів гідрометеорологічних спостережень, опублікованих в офіційних документах у галузі гідрології.

За рекомендаціями Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) (Guide to Hydrological Practices, 2009) цей аналіз передбачає побудову залежностей між стоком і стокоутворюючими чинниками. Методи такого аналізу поділяються на фізичні (врахування гідрологічних і кліматичних змін) та математичні (застосування статистичних тестів і моделей). Виявлення неоднорідності часто виконується через побудову графіків і трендових залежностей, які дозволяють ідентифікувати зміни у структурі даних, шляхом аналізу характеристик, що дозволяє виявити вплив різних джерел формування стоку та використання тестів на однорідність (Guide to Hydrological Practices, 2009).

Для оцінки однорідності часових рядів спостережень, порівняно коротких за тривалістю, у вітчизняній гідрологічній практиці набуло використання параметричних критеріїв Стюдента та Фішера (Лобода, 2010; Гопченко та ін., 2014; СНиП 2.01.14-83, 1983).

Однак у зв'язку з тим, що гідрологічні ряди зазвичай недостатньо тривалі вони не завжди відповідають нормальному закону розподілу (Гопченко та ін., 2014). У такому разі керівництвом із гідрологічної практики ВМО (Guide to Hydrological Practices, 2009) при перевірці статистичних гіпотез рядів даних рекомендовано до використання непараметричні критерії (наприклад, критерії Манна-Кендалла, Манна-Уїтні, Уорслі, Петтітта, Крускаля-Уолліса, CUSUM-тести), на відміну від параметричних  $t$ -тесту і  $F$ -тесту, що підвищує ефективність перевірки при меншому об'ємі розрахунків.

У даному дослідженні використаний комплексний гідролого-генетичний метод оцінювання однорідності й стаціонарності рядів спостережень, що базується на побудові і використанні графіків, а саме: сумарних кривих, хронологічних і різницево-інтегральних кривих (Guide to Hydrological Practices, 2009; Горбачова, 2016). Застосування сучасних методичних підходів щодо статистичного оцінювання рядів спостережень із використанням графічних методів, широко висвітлені в роботах Л.О. Горбачової (Горбачова, 2016; Pekarova et al., 2019; Горбачова, 2014).

*Сумарна крива* відображає накопичувальні значення гідрологічної величини протягом часу і обчислюється за формулою (Rippl, 1883)

$$Q = \sum_{t=1}^T q(t), \quad (1)$$

де  $Q$  — сумарна величина гідрологічної характеристики за період часу  $T$ ;  $q(t)$  — гідрологічна характеристика  $t$ -го року.

На графіку сумарної кривої накопичувальні величини гідрологічної характеристики, при сталих умовах її формування, наближаються до прямої лінії, де нахил цієї лінії відносно осі абсцис є постійним коефіцієнтом. Відхилення гідрологічної характеристики від прямої лінії на графіку служить індикатором змін цієї характеристики та, відповідно, змін умов її формування (Горбачова, 2014).

**Тренди часових рядів.** У ході багаторічних коливань різних гідрометеорологічних характеристик, розрахованих по обмеженому обсягу вихідної інформації та при встановленій неоднорідності багаторічного гідрометеорологічного ряду з відчутними наслідками водогосподарських перетворень розраховуються лінійні і навіть нелінійні тренди з оцінкою їхньої статистичної значущості (Лобода, 2010; Гопченко та ін., 2014; Горбачова, 2016). Тренд це спрямована зміна величин під дією природних чи антропогенних факторів у бік збільшення або зменшення. Побудова трендів зазвичай здійснюється при згладжуванні членів багаторічного ряду гідрометеорологічного ряду спостережень за методом простих ковзних середніх коли при використанні середніх точок обраного інтервалу враховується інформація про поведінку функції з обох боків від розглядуваної точки (Гопченко та ін., 2014).

Так, якщо інтервал згладжування  $T$  дорівнює 3, то згладжені значення визначаються наступним чином:

$$\tilde{q}_2 = \frac{1}{3}(q_1 + q_2 + q_3); \quad (2)$$

$$\tilde{q}_3 = \frac{1}{3}(q_2 + q_3 + q_4) \text{ й т.д.} \quad (3)$$

При цьому під час згладжування за трьома точками ("трирічками") крайові величини ряду визначаються так:

$$\tilde{q}_1 = \frac{1}{6}(5q_1 + 2q_2 - q_3); \quad (4)$$

$$\tilde{q}_n = \frac{1}{6}(-q_{n-2} + 2q_{n-1} + 5q_n), \quad (5)$$

де  $\tilde{q}_i$  — згладжене значення, зокрема, річкового стоку.

При дослідженні лінійних трендів гідрометеорологічної характеристики в часі завдання оцінки їхньої статистичної значущості виконується, наприклад, за оцінкою значущості коефіцієнта регресії (складових рівняння лінійної регресії) або коефіцієнта кореляції  $r$ . Значущість коефіцієнта кореляції тренду  $r$  оцінена в роботі за методом Пірсона за

виконання умови  $r > 2\sigma_r$ , коли тренд вважається значущим (Real Statistics Using Excel). Середня квадратична похибка розрахунку коефіцієнта кореляції

$$\sigma_r = \frac{1-r^2}{\sqrt{n-1}},$$

де  $r^2$  — величина достовірності апроксимації;  $n$  — число років спостережень.

Наявність статистично значущих лінійних трендів у багаторічних рядах гідрометеорологічних величин (тобто таких, що істотно відрізняються від нуля) свідчить про часову неоднорідність або нестационарність досліджуваних гідрологічних характеристик, оскільки в цьому випадку середнє значення закономірно змінюється у часі.

**Різницево-інтегральна крива як метод для оцінки циклічності коливань стоку річок.** Вивчення багаторічної динаміки гідрометеорологічних процесів передбачає аналіз їхньої циклічної природи, що має важливе значення для раціонального використання водних ресурсів і дозволяє робити припущення щодо можливих майбутніх змін у розвитку природних явищ. Під циклічністю багаторічних коливань стоку річок розуміють зміну водності, яка проявляється у чергуванні періодів із високими та низькими значеннями, що різняться за тривалістю та величиною відхилення від середнього багаторічного стоку у розглянутому часовому інтервалі (Гопченко та ін., 2014; Горбачова, 2016; Merz et al., 2014).

Крім того, дослідження багаторічних рядів стоку, поряд з аналізом циклічності, передбачають і виявлення синхронності або асинхронності, синфазності або асинфазності в рядах стоку з близько розташованих річкових басейнів, що знаходяться в однакових кліматичних умовах та подібних умовах географічного ландшафту (Гопченко, та ін., 2014; Горбачова, 2016; Merz et al., 2014). У таких умовах коливання водності річок зазвичай є синхронними.

Однак через різноманітність синоптичних процесів, що призводять до неоднорідності випадання атмосферних опадів у просторі та часі, а також через змінність по території басейну рельєфу та ґрунтового й рослинного покриву, відповідність між змінами стоку різних річок часто порушується. При цьому аналіз циклічних коливань водності доцільно проводити в межах маловодних та багатоводних фаз (Гопченко, та ін., 2014; Горбачова, 2016).

Для оцінки циклічних коливань гідрометеорологічних величин використовуються такі методи, як автокореляційний та спектральний аналіз, різни-

цеві інтегральні криві, а також згладжування рядів спостережень за допомогою ковзаючих  $n$ -років та біноміального осереднення.

Разом з тим, у низці досліджень (Лобода, 2010; Гопченко, та ін., 2014; Горбачова, 2016; Гопченко & Овчарук, 2018, Pekarova et al., 2019) підкреслюється, що найбільш результативним підходом є застосування різницевої інтегральної кривої, оскільки саме цей метод забезпечує можливість чітко окреслити межі фаз водності. Додатково, використання такого аналізу дозволяє простежити часову еволюцію циклів водності та встановити як кількісні характеристики їх змін, так і якісні особливості розвитку процесів (Гопченко & Овчарук, 2018; Pekarova et al., 2019).

Метод різницевих інтегральних кривих широко використовується у гідрологічних розрахунках, зокрема, в рамках Всесвітньої метеорологічної організації (Guide to Hydrological Practices, 2009). Вітчизняні дослідники використовують цей метод, позначаючи його як метод різницево-інтегральної кривої досліджень (Лобода, 2010; Гопченко, та ін., 2014; Горбачова, 2016; СНиП 2.01.14-83, 1983), який дозволяє із достатньою точністю вивчати циклічність коливань стоку річок.

Оцінювання циклічних коливань річкового стоку здійснюють за допомогою різницевих інтегральних кривих за процедурою, яка описана в роботах (Лобода, 2010; Гопченко, та ін., 2014; Guide to Hydrological Practices, 2009; Горбачова, 2016). Поточні ординати різницевих інтегральних кривих від початку побудови кривої до кінця  $t$ -го року можна визначити за допомогою рівняння

$$\sum_{t=1}^n (k_t - 1) = f(t), \quad (6)$$

де  $k_t = Q_t / Q_{\text{сеп}}$  — модульні коефіцієнти  $t$ -го року;  $Q_t$  і  $Q_{\text{сеп}}$  — витрати  $t$ -го року та середні витрати за період часу  $n$ .

Різницева інтегральна крива стоку, подібно до інших інтегральних кривих, характеризується властивістю, за якою відхилення середнього значення величини (модульного коефіцієнта) на будь-якому часовому відрізку від його середнього значення за багаторічний період спостережень дорівнює одиниці. Величина цього відхилення визначається тангенсом кута нахилу відрізка, що з'єднує початкову та кінцеву точки даного інтервалу, відносно горизонтальної осі (Гопченко та ін., 2014).

Практичне застосування цих методів при аналізі максимального тало-дощового стоку річок здійснювалося в різні роки, наприклад, у роботах авторів (Гопченко & Овчарук, 2018; Pekarova et al., 2019; Гопченко та ін., 2010; Горбачова & Барандіч, 2016;

Gorbachova et al., 2018; Овчарук, 2020; Екстремальні гідрологічні явища..., 2024; Гопцій & Бондаренко, 2024) та ін.

## РЕЗУЛЬТАТИ І ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У роботі досліджено статистичну однорідність і стаціонарність максимального тало-дощового стоку (максимальних витрат води та шарів стоку) річок Українського Полісся при використанні гідролого-генетичного методу аналізу. З цією метою були побудовані сумарні криві, різницеві інтегральні криві й хронологічні графіки максимальних витрат води та шарів стоку (виражених у відносних величинах — модульних коефіцієнтах) по гідрологічних постах, що рівномірно розташовані по території, яка розглядається й з періодом спостережень від 59 до 96 років.

Аналіз сумарних кривих максимальних витрат води тало-дощового стоку річок Українського Полісся (рис. 1а), а також у роботі (Горбачова & Барандіч, 2016) показав, що має місце порушення статистичної однорідності їх часових рядів спостережень. Так, для річок західної та центральної частин правобережного Полісся, на кривих спостерігається точка перегину (у період 1981 р.), після якої змінюється тенденція величини максимальних витрат води. У той же час, для річок східної частини території (наприклад, Тетерів і Ірша) криві мають випуклу дугоподібну форму зі зміною її нахилу.

Такий вигляд сумарних кривих демонструє, що для максимальних витрат води тало-дощового стоку річок Українського Полісся не спостерігається односпрямованих і стабільних тенденцій, що вказує на складність і різноманітність гідрологічних процесів у регіоні.

На відміну від максимальних витрат води, аналіз сумарних кривих шарів максимального тало-дощового стоку річок Українського Полісся (рис. 1б) показав майже відсутність виражених відхилень від прямих ліній для деяких річок цієї території. Це свідчить про те, що більшість рядів спостережень шарів стоку річок Полісся можна вважати статистично однорідними навіть на основі аналізу сумарних кривих.

До речі, авторами (Гопченко та ін., 2010) при аналізі однорідності даних по максимальному стоку весняного водопілля річок басейну Прип'яті (українська частина) встановлено, що значна кількість часових рядів спостережень є неоднорідними (за параметричними критеріями Фішера та Стьюдента на 1 та 5% рівнях значущості), зазвичай для гідрологічних постів із найбільш тривалими рядами стокових спостережень (з періодом більше 40 років станом на 2010 р.).

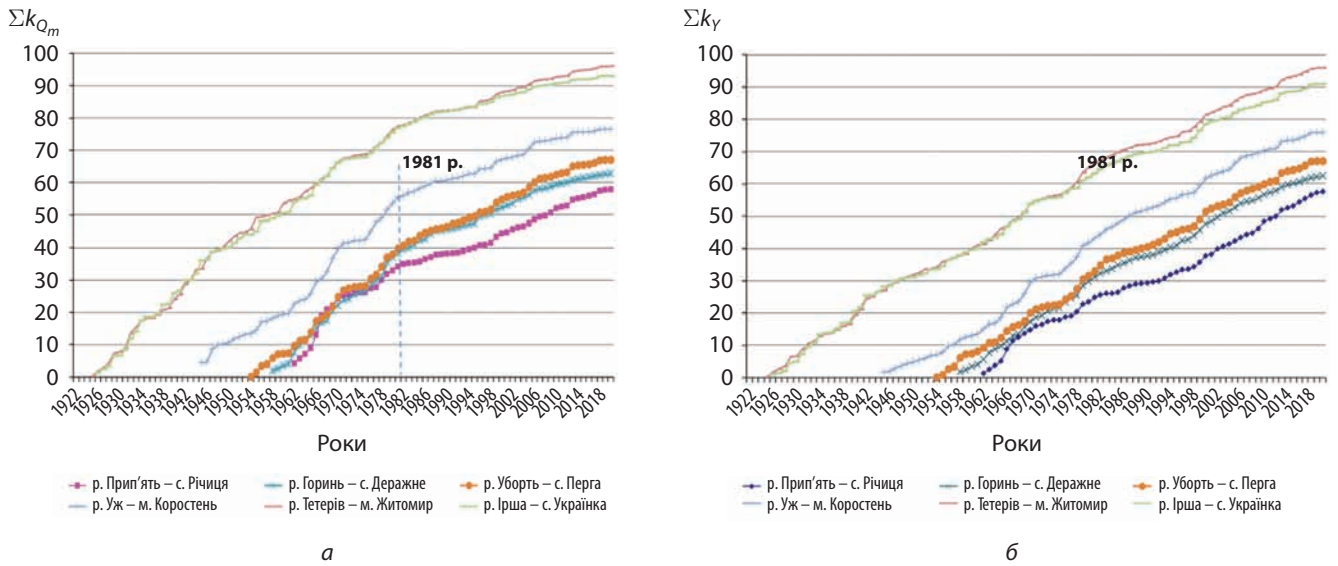


Рис. 1. Сумарні криві деяких річок Українського Полісся: а — максимальних витрат води тало-дощового стоку ( $\Sigma k_{Q_m}$ ); б — шарів максимального тало-дощового стоку ( $\Sigma k_\gamma$ )

У науковій праці (Науково-методична база..., 2019) перевірка однорідності найбільш тривалих рядів максимальних витрат води і шарів стоку річок басейну р. Дніпро (в межах України) з використанням двопараметричних критеріїв — Фішера і Стюдента, та непараметричного — Вілкоксона показала, що з 25 рядів по максимальних витратах води на 5% рівні значущості виявилися однорідними лише 4, а на 1% — 9 рядів, або 36%. Що стосується шарів стоку весняного водопілля, то тут спостерігається дещо інша ситуація — на 5% рівні значущості є однорідними 14 рядів (із 25), а на 1% — 19 рядів або 76% (Науково-методична база..., 2019). Аналогічна ситуація спостерігається майже для більшості рівнинних річок України (Овчарук, 2020). За рядами максимальних витрат води досліджуваних річок однорідними є 30 і 14% (на рівнях значущості 1 та 5% відповідно), а за шарами стоку спостерігається дещо інша ситуація: однорідними є вже 65 і 54% рядів даних відповідно.

Основними причинами порушення однорідності часових рядів максимальних витрат води тало-дощового стоку річок території є такі фактори, як перерозподіл стоку під впливом метеорологічних умов, значна антропогенна зарегульованість стоку, а в сучасний період й зміна клімату, яка впливає на гідрологічний режим річок.

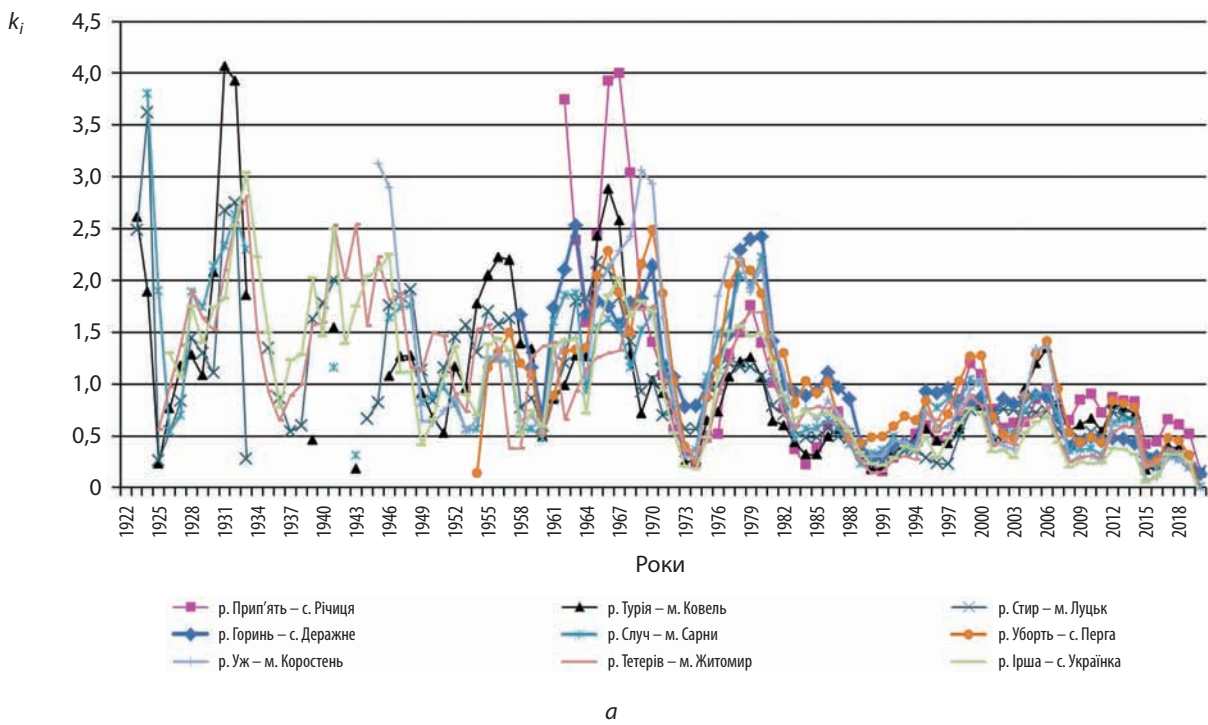
Для визначення причин порушення однорідності рядів максимального тало-дощового стоку і можливості подальшого використання статистичних методів у роботі детально проаналізовано багаторічні часові ряди максимальних витрат води й шарів тало-дощового стоку річок, а також оцінено їхню циклічність. Це дозволило краще зрозуміти вплив

зовнішніх і внутрішніх чинників на однорідність і стійкість гідрологічних процесів.

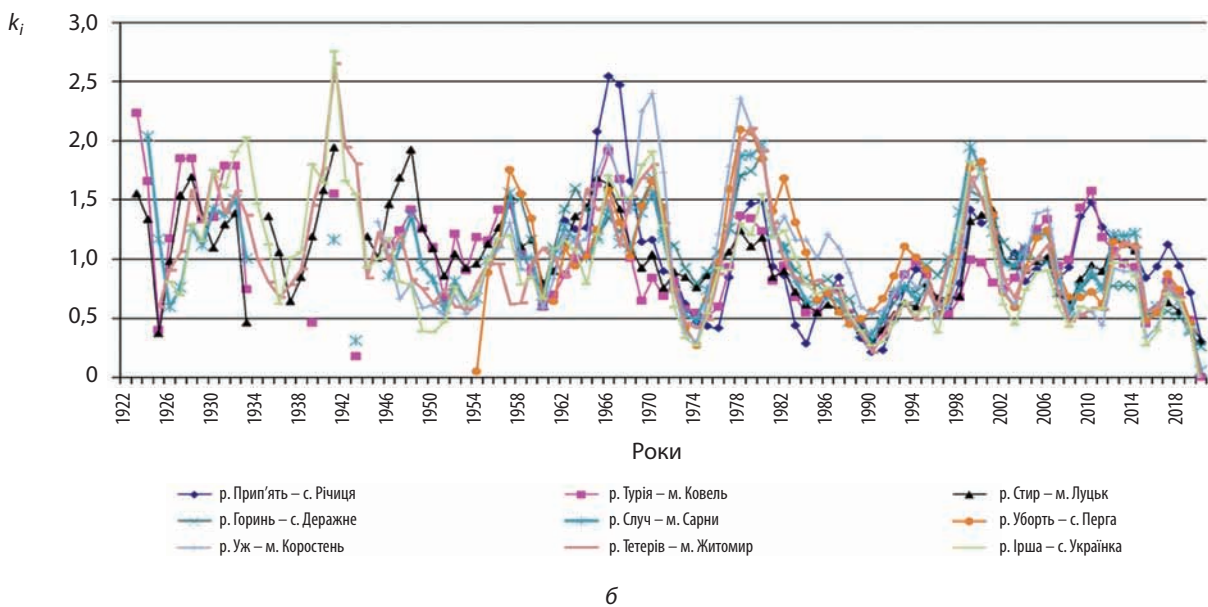
**Дослідження багаторічних коливань максимального тало-дощового стоку.** Для аналізу багаторічних коливань та просторово-часових узагальнень статистичних характеристик максимального тало-дощового стоку річок Українського Полісся були залучені найдовші та, по можливості, безперервні ряди спостережень (гідрологічні пости з періодом спостережень від 59 до 96 років). Причому, лише два з цих рядів мають безперервну тривалість понад 80 років. Такий часовий ряд охоплення забезпечує достатню основу для вивчення закономірностей і тенденцій у багаторічній динаміці тало-дощового стоку.

Хронологічні графіки, які відображають багаторічну динаміку максимального тало-дощового стоку річок Українського Полісся, представлені у вигляді графіків для максимальних витрат води (рис. 2а) та для шарів стоку (рис. 2б), згладжених за допомогою лінійного фільтру модульних коефіцієнтів. Аналіз графіків свідчить про наявність річних коливань водності річок, характерних для регіону, із чіткою помітною загальною тенденцією до зменшення величини стоку за багаторічний період, що підтверджується і дослідженнями (Гопченко та ін., 2010). Найбільш вираженим це зменшення є для максимальних витрат води (рис. 2а), що може вказувати на вплив зовнішніх факторів, одним із яких є зміна клімату.

При цьому оцінена статистична значущість коефіцієнту кореляції тренду  $r$  на 5% рівні значущості (за виконання умови  $r > 2\sigma_r$ , коли тренд вважається значущим), показала, що для максимальних витрат



а



б

**Рис. 2.** Хронологічні графіки (трирічні ковзні) максимальних витрат води (а) та шарів (б) тало-дощового стоку річок Українського Полісся

води для всіх постів тренди є значущими (табл. 1), а для шарів стоку майже половина з них, навпаки, незначущі (табл. 2).

Статистично значущі лінійні тренди, які були виявлені при аналізі часових рядів максимального тало-дощового стоку річок Українського Полісся вказують на наявність статистичної неоднорідності та не стаціонарності досліджуваних гідрологічних характеристик. Це проявляється через закономірну зміну середнього значення у часі, що порушує

умови стаціонарності, необхідні для застосування багатьох класичних статистичних методів. Така ситуація може бути обумовлена довгостроковою зміною клімату, антропогенними чинниками або іншими факторами, які впливають на формування тало-дощового стоку та його динаміку. З метою виявлення причин порушення однорідності рядів характеристик максимального тало-дощового стоку річок у роботі побудовано різницево-інтегральні криві відхилень.

Таблиця 1. Оцінка значущості лінійних трендів у багаторічному ході максимальних витрат води тало-дощового стоку річок Українського Полісся

Індекс поста	Річка — пост	Період спостережень	n, роки	r	2σ <sub>r</sub>	r/2σ <sub>r</sub>	Висновок
79361	Прип'ять — с. Річиця	1962–2020	59	0,45	0,21	2,14	Значущий
79407	Турія — м. Ковель	1923–33, 1939, 1941, 1943, 1946–2020	89	0,40	0,18	2,22	Значущий
79477	Стир — м. Луцьк	1923–1933, 1935–1941, 1944–2020	95	0,41	0,17	2,41	Значущий
79521	Горинь — с. Деражне	1958–2020	63	0,53	0,18	2,94	Значущий
79549	Случ — м. Сарни	1924–1933, 1941, 1943, 1946–2020	87	0,37	0,19	1,95	Значущий
79596	Уборть — с. Перга	1954–2020	67	0,37	0,21	1,76	Значущий
79694	Уж — м. Коростень	1945–2020	76	0,39	0,20	1,95	Значущий
80077	Тетерів — м. Житомир	1925–2020	96	0,48	0,16	3,00	Значущий
80090	Ірша — с. Українка	1926–2020	95	0,50	0,15	3,33	Значущий

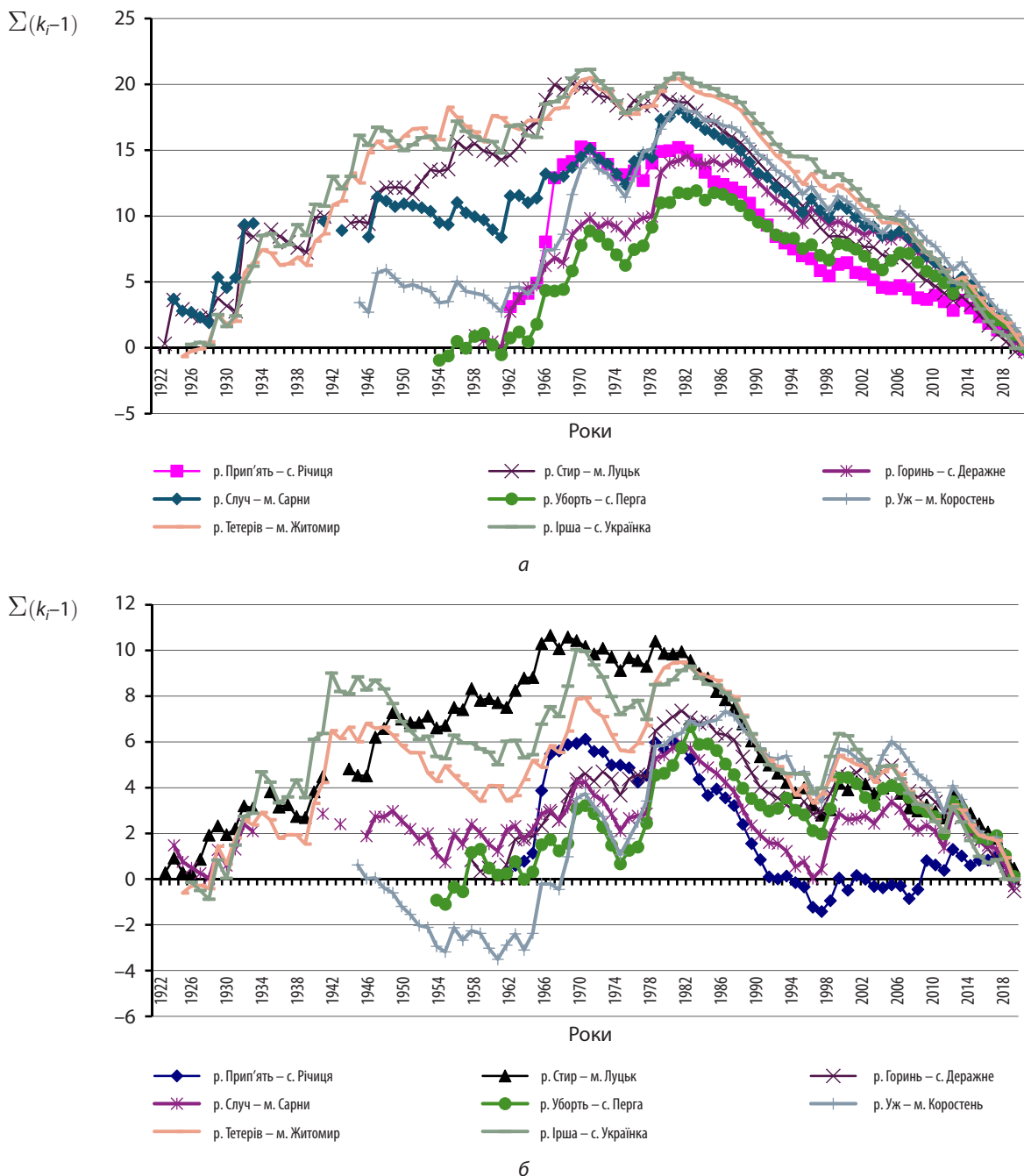
Таблиця 2. Оцінка значущості лінійних трендів у багаторічному ході шарів максимального тало-дощового стоку річок Українського Полісся

Індекс поста	Річка — пост	Період спостережень	n, роки	r	2σ <sub>r</sub>	r/2σ <sub>r</sub>	Висновок
79361	Прип'ять — с. Річиця	1962–2020	59	0,20	0,25	0,80	Не значущий
79407	Турія — м. Ковель	1923–33, 1939, 1941, 1943, 1946–2020	89	0,32	0,19	1,78	Значущий
79477	Стир — м. Луцьк	1923–1933, 1935–1941, 1944–2020	95	0,35	0,18	1,94	Значущий
79521	Горинь — с. Деражне	1958–2020	63	0,40	0,21	1,90	Значущий
79549	Случ — м. Сарни	1924–1933, 1941, 1943, 1946–2020	87	0,14	0,19	0,74	Не значущий
79596	Уборть — с. Перга	1954–2020	67	0,20	0,24	0,83	Не значущий
79694	Уж — м. Коростень	1945–2020	76	0,14	0,23	0,61	Не значущий
80077	Тетерів — м. Житомир	1925–2020	96	0,24	0,19	1,26	Значущий
80090	Ірша — с. Українка	1926–2020	95	0,26	0,19	1,37	Значущий

Аналіз побудованих *різницево-інтегральних кривих*, тобто сумарних кривих відхилень нормованих величин максимальних витрат води та шарів максимального тало-дощового стоку від їх середнього значення (одиниці) показує (рис. 3), що коливання водності річок Українського Полісся у різних районах майже однакові як за часом зміни фаз, так і за інтенсивністю зростання або зменшення сумарних відхилень. Це може свідчити про те, що водність річок залежить від локальних умов, таких як географічне розташування, кліматичні особли-

вості, рельєф, тип ґрунтів, а також антропогенний вплив.

Порівняння багаторічних коливань максимального тало-дощового стоку в різних пунктах виявляє кілька важливих характеристик просторово-часової динаміки водності річок Українського Полісся. Так, для річок розташованих поряд (у межах одного умовного району) має місце *синфазність багаторічних коливань*. Це означає, що на цих річках одночасно фіксуються однакові фази водності (періоди зростання або зменшення стоку) протягом



**Рис. 3.** Різницеві інтегральні криві максимальних витрат води (а) та шарів стоку (б) максимального тало-дощового стоку річок Українського Полісся

тривалого часу. Така синфазність обумовлена схожими природними умовами, зокрема кліматичними (опаді, температура, сезонність), географічними чинниками (рельєф, характер ґрунтів) та, меншою мірою, антропогенним впливом.

Крім синфазності, для більшості досліджених річок характерна *синхронність багаторічних коливань*. Синхронність проявляється в однаковому ході водності окремих років, коли зміни водності відбуваються подібним чином у різних пунктах (зокрема, синхронно зростають або знижуються мак-

симальні витрати води). При цьому між змінами коливань стоку в різних пунктах спостерігаються схожі співвідношення.

Територія Українського Полісся, яка розглядається в роботі, за районуванням за синхронністю коливань річного стоку (Лобода, 2005), виконаного при використанні факторного аналізу та методу головних компонент, відноситься до Західного (І) району, в межах підрайонів а) і б). Із цим районуванням майже співпадає сучасне районування рівнинної території України (Овчарук, 2020) за синхронністю

та циклічністю коливань максимального стоку весняного водопілля (при сумісному послідовному використанні гідролого-генетичного, факторного і кластерного аналізів). За таким районуванням територія Українського Полісся відноситься до району I: підрайон Ia — крайня західна частина басейну правобережжя р. Прип'ять (до р. Стохід), підрайон Ib — центральна та східна частина Полісся (басейн р. Прип'ять, Уж, Тетерів, Ірпінь). У межах таких районів і підрайонів зберігаються однотипні за циклами водності умови формування максимального стоку річок, а районування рекомендовано використовувати в гідрологічних розрахунках і прогнозах.

Аналіз побудованих у даній роботі різницевих інтегральних кривих відхилень для максимальних витрат води та шарів тало-дощового стоку річок Українського Полісся показав, що ці криві демонструють циклічність у водності річок, із характерними спільними рисами та деякими відмінностями. Так, відхилення щорічних величин максимальних витрат води від середніх значень (рис. 3а) зазвичай більші, ніж для шарів стоку (рис. 3б). Це пояснює те, що сумарні відхилення для шарів стоку (максимальні ординати кривих) виявляються значно меншими, порівняно з витратами води.

Незважаючи на неоднорідність, аналіз інтегральних кривих відхилень дозволяє виявити деякі загальні закономірності в часових рядах водності річок. Наприклад, усі річки демонструють чергування фаз зростання та зниження водності, хоча тривалість та інтенсивність цих фаз дещо відрізняються для різних річок.

У цілому хід кривих і фази водності майже повністю збігаються за інтегральними кривими як для максимальних витрат води (рис. 3а), так й для шарів стоку (рис. 3б). Але коливання водності максимальних витрат води дещо відрізняються від коливань шарів стоку.

Навіть якщо коливання максимальних витрат води та шарів тало-дощового стоку синхронні, а точки перегину інтегральних кривих збігаються, інтенсивність підйому чи спаду кривих, а також їхній загальний вигляд, можуть значно різнитися. Це зумовлено різними співвідношеннями відхилень. Як результат, завершення однакових фаз водності за цими кривими в багаторічному аналізі може не збігатися, що підтверджується даними в таблицях 3 та 4.

Для річок у різних частинах Полісся (західної, центральної та східної) характерні свої особливості динаміки змін — у західній та центральній частинах Полісся фази коливань можуть бути більш вираженими, у східній частині (рр. Тетерів, Ірша) коливання водності мають більш плавний характер.

Так, у цілому для річок Українського Полісся багатоводна фаза простежувалася з самого початку спостережень (хоча для річок із перервами у спостереженнях у ранні роки важко чітко визначити початок багатоводної фази через брак даних) і тривала до 1971 року як для максимальних витрат води, так і для шарів тало-дощового стоку (рис. 3, табл. 3, табл. 4). Такий висновок зроблено і в роботі (Горбачова & Барандіч, 2016). Але багатоводні весняні водопілля періоду 1976–1981–1982 років, призвели до подовження тривалості багатоводної фази циклічних коливань до 1981–1982 рр. На річках центральної і східної частин території періоди високих водопіль з 1976 по 1988 роки спричиняли іноді подовження багатоводного періоду на фоні спадаючої інтегральної кривої до 1988 року. Маловодна фаза на річках Українського Полісся тривала до 2020 року.

Загальна тенденція до зниження максимального тало-дощового стоку річок Українського Полісся в останні десятиліття обґрунтована в роботах (Гопченко та ін., 2010; Vasylenko, 2015; Гребінь, 2010b, Горбачова & Барандіч, 2016; Овчарук, 2020;

Таблиця 3. **Визначення тривалості фаз багаторічних коливань максимальних витрат води максимального тало-дощового стоку річок Українського Полісся за різницевами інтегральними кривими**

Код поста	Річка-пост	Період спостережень	Кількість років	Багатоводна фаза	Маловодна фаза
79361	Прип'ять — с. Річиця	1962–2020	59	1962–1981	1982–2020
79407	Турія — м. Ковель	1923–1933, 1939, 1941, 1943, 1946–2020	89	(1946)–1981	1982–2020
79477	Стир — м. Луцьк	1923–1933, 1935–1941, 1944–2020	95	(1923)–1982	1983–2020
79521	Горинь — с. Деражне	1958–2020	63	1958–1987	1988–2020
79549	Случ — м. Сарни	1924–1933, 1941, 1943, 1946–2020	87	(1946)–1981	1982–2020
79596	Уборть — с. Перга	1954–2020	67	1954–1985	1986–2020
79694	Уж — м. Коростень	1945–2020	76	1945–1981	1982–2020
80077	Тетерів — м. Житомир	1925–2020	96	1925–1981	1982–2020
80090	Ірша-с.Українка	1926–2020	95	1926–1981	1982–2020

Таблиця 4. **Визначення тривалості фаз багаторічних коливань шарів максимального тало-дощового стоку річок Українського Полісся за різницевами інтегральними кривими**

Код поста	Річка-пост	Період спостережень	Кількість років	Багатоводна фаза	Маловодна фаза
79361	Прип'ять — с. Річиця	1962–2020	59	1962–1981	1982–2020
79407	Турія — м. Ковель	1923–1933, 1939, 1941, 1943, 1946–2020	89	(1946)–1982	1983–2020
79477	Стир — м. Луцьк	1923–1933, 1935–1941, 1944–2020	95	(1923)–1982	1983–2020
79521	Горинь — с. Деражне	1958–2020	63	1958–1982	1983–2020
79549	Случ — м. Сарни	1924–1933, 1941, 1943, 1946–2020	87	(1946)–1982	1983–2020
79596	Уборть — с. Перга	1954–2020	67	1954–1983	1984–2020
79694	Уж — м. Коростень	1945–2020	76	(1960)–1987	1988–2020
80077	Тетерів — м. Житомир	1925–2020	96	1925–1982	1983–2020
80090	Ірша — с. Українка	1926–2020	95	1926–1983	1984–2020

Lobodzinskiy et al., 2023; Гопцій & Бондаренко, 2024) на основі сумісного аналізу сучасних змін його чинників, що відображає негативний вплив зміни клімату на стік води в басейні. Так, спадаюча фаза циклічних коливань максимальних запасів води в сніговому покриві та суми від'ємної температури повітря за зимовий період, починаючи з 70-х років минулого століття, призводять до зменшення частки снігового живлення і зниження максимальних витрат води весняного водопілля рівнинних річок.

Однак, авторами (Корнієнко та ін., 2021) за результатами дослідження стохастичних циклічних закономірностей багаторічної мінливості середнього річного водного стоку річок басейну Прип'яті в межах України встановлено, що цикли водності з високою достовірністю триватимуть протягом  $29 \pm 2$  років. При цьому передбачається, що маловодна фази водності річок території триватиме до 2025–2026 рр., потім розпочнеться багатоводна фаза (протягом майже 16–17 років) і з 2044–2045 рр. знов настане період маловоддя до 2055–2056 рр. середнього річного водного стоку річок.

### ВИСНОВКИ

Перевірка на статистичну однорідність часових рядів максимальних витрат води тало-дощового стоку річок Українського Полісся на основі сумарних кривих показала, що в їхніх рядах має місце порушення однорідності, на відміну рядів шарів максимального тало-дощового стоку, більшість із яких можна вважати статистично однорідними.

Статистично значущі лінійні тренди, які було виявлено при аналізі часових рядів максимального тало-дощового стоку, вказують на наявність статистичної неоднорідності та нестационарності досліджуваних гідрологічних характеристик.

Вигляд різницево-інтегральних кривих максимальних витрат води та шарів стоку вказує на те,

що коливання водності річок Українського Полісся у різних районах майже однакові як за часом зміни їхніх фаз, так і за інтенсивністю зростання або зменшення сумарних відхилень. При цьому, має місце як синфазність коливань, коли на річках одночасно спостерігаються однакові фази водності, так й їхня синхронність, коли в різних пунктах спостерігається однаковий хід водності окремих років і між змінами коливань стоку існують приблизно однакові співвідношення.

Сумарні відхилення шарів стоку виявляються значно меншими, порівняно з максимальними витратами води. У цілому хід кривих і фази водності майже повністю збігаються за інтегральними кривими як для максимальних витрат води, так й для шарів стоку.

Різницево-інтегральні криві демонструють циклічність водності річок, із характерними подібностями та деякими відмінностями. Для річок Українського Полісся багатоводна фаза спостерігалася в основному до 1981–1982 рр. Триває маловодна фаза на річках Українського Полісся до 2020 року.

Отже, після проведеного багаторічного аналізу гідрологічних величин максимального тало-дощового стоку річок Українського Полісся, можна зробити висновок, що попри наявності неоднорідності в рядах максимальних витрат води і шарів стоку, всі вони мають фази циклічних коливань водності, що й обумовлює виражені тренди в часових рядах максимального стоку. Це дає можливість використання статистичних методів для визначення розрахункових параметрів максимального тало-дощового стоку річок Українського Полісся, приймаючи до уваги наявні матеріали спостережень (з періодом до 2020 року).

У зв'язку з виявленими направленими багаторічними тенденціями до зниження водності мак-

симального стоку річок території Українського Полісся, в подальшому будуть уточнюватися середньо-багаторічні стоків величини, які є базовими при

територіальному довгостроковому прогнозуванні гідрологічних характеристик максимального тало-дощового стоку річок території.

## ЛІТЕРАТУРА

- Гопченко, Є. Д., Лобода, Н. С., & Овчарук, В. А. (2014). Гідрологічні розрахунки: підручник. Одеський державний екологічний університет. Одеса: ТЕС. <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/6078>
- Гопченко, Є. Д., & Овчарук, В. А. (2018). Сучасна методика нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок України. *Український географічний журнал*, **2**, 26–33. <https://doi.org/10.15407/ugz2018.02.026>
- Гопченко, Є. Д., Овчарук, В. А., & Шакірманова, Ж. Р. (2010). Розрахунки та довгострокові прогнози характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Прип'ять: монографія. Одеса: ТЕС.
- Гопцій, М.В., & Бондаренко, А.Є. (2024). Міжрічна мінливість стоку повені в басейні р. Тереві за багаторічний період. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, **3**(71), 32–42. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2024.3.4>
- Горбачова, Л. О. (2014). Методичні підходи щодо оцінки однорідності та стаціонарності гідрологічних рядів спостережень. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, **1**(32), 22–31.
- Горбачова, Л. О. (2016). Місце та роль гідролого-генетичного аналізу серед сучасних методів дослідження водного стоку річок. *Наукові праці УкрНДГМІ*, **268**, 73–81.
- Горбачова, Л. О., & Барандіч, С. Л. (2016). Просторова-часова мінливість максимального стоку води весняного водопілля та паводків змішаного походження річок України. *Наукові праці УкрНДГМІ*, **269**, 107–114.
- Гребінь, В. В. (2010а). Сучасні зміни умов формування та окремих характеристик весняного водопілля річок України. *Науковий вісник Чернівецького університету: Географія*, **483**, 11–17.
- Гребінь, В. В. (2010б). Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). Київ: Ніка-Центр.
- Екстремальні гідрологічні явища на річках Півдня України: розрахунки і прогнози: монографія / за ред. В. А. Овчарук та Ж. Р. Шакірманової. (2024). Одеса: Одеський державний екологічний університет. <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/13144/>
- Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради "Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики". (2000). [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_962#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text)
- Корнієнко, В.О., Ободовський, О.Г., & Лук'янець, О.І. (2021) Оцінка багаторічної мінливості середнього річного стоку води річок басейну Прип'яті в межах України та його розрахункові характеристики у фазі водності. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, **3**(61), 33-41. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2024.3.4>
- Краковська, С. В., Шпиталь, Т. М., Чигарева, А. Ю., Писаренко, Л. А., & Криштон Л. Ю. (2023). Кліматичні характеристики термічних періодів в Україні до кінця ХХІ ст. Частина І: теплий період. *Метеорологія, гідрологія, моніторинг довкілля*, **2**(4), 35–50. DOI: <https://doi.org/10.15407/Meteorology2023.04.035>
- Лобода, Н.С. (2005). Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: монографія. Одесса: Екологія.
- Лобода, Н. С. (2010). Методи статистичного аналізу у гідрологічних розрахунках і прогнозах: навчальний посібник. Одеса: Екологія.
- Лободзінський, О. В., & Данько, К. Ю. (2023). Визначення та оцінка зміни типів живлення річок басейну р. Горинь. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, **2**(68), 32–42. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.2.4>
- Real Statistics Using Excel. Table of Critical Values of Pearson's Correlation Coefficient [Електронний ресурс]. URL: <https://real-statistics.com/statistics-tables/pearsons-correlation-table/>
- Науково-методична база для встановлення розрахункових характеристик весняного водопілля в басейні Дніпра в умовах мінливості клімату: звіт про НДР (остаточний) / Одеський державний екологічний університет; наук. кер. Гопченко Є. Д. (2019). Одеса: ОДЕКУ. № держреєстрації 0117U002424. 754 с.
- Національний атлас України / кер. проекту Л. Г. Руденко, В. С. Чабанюк, А. І. Бочковська. (1999–2000). Інститут географії НАН України. URL: <http://wdc.org.ua/atlas/4070100.html>
- Овчарук, В. А. (2020). Максимальний стік весняного водопілля рівнинних річок України: монографія. Одеса: ТЕС. <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/9662>
- Сіваєв, Д., & Шакірманова, Ж. (2024). Вплив зміни клімату на максимальний стік річок Українського Полісся. Матеріали науково-практичної конференції "На варті кліматичних дій" та "Вода для миру". Київ. 73–75. [https://doi.org/10.15407/conf\\_UHMI\\_CGO\\_2024.024](https://doi.org/10.15407/conf_UHMI_CGO_2024.024)
- Визначення розрахункових гідрологічних характеристик. СНІП 2.01.14-83 (1983). URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=4260](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=4260)
- Хільчевський, В. К., & Гребінь, В. В. (2017). Гідрографічне та водогосподарське районування території України, затверджене у 2016 р. — реалізація положень ВРД ЄС. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, **1**(44), 8–20.
- Bertola, M., Blöschl, G., Boháč, M., Hall, J., Kiss, A., Kjeldsen, T. R., Kohnová, S., Merz, B., Merz, R., Müller, M., Ovcharuk, V., Parajka, J., & Viglione, A. (2023). Megafloods in Europe can be anticipated from observations in hydrologically similar catchments. *Nature Geoscience*, **16**, 982–988. <https://doi.org/10.1038/s41561-023-01300-5>
- Blöschl, G., Hall, J., Parajka, J., Perdigão, R. A. P., Merz, B., Arheimer, B., ... Živković, N. (2017). Changing climate shifts timing of European floods. *Science*, **357**(6351), 588–590. <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>
- Blöschl, G., Hall, J., Viglione, A., Parajka, J., Perdigão, R. A. P., Merz, B., ... Živković, N. (2019). Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*, **573**(7772), 108–111. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6>
- Gorbachova, L., Zabolotnia, T., & Khrystyuk, B. (2018). Homogeneity and stationarity analysis of the snow-rain floods in the Danube basin within Ukraine. *Acta Hydrologica Slovaca*, **19**(1), 35–41.
- Guide to Hydrological Practices. (2009). Volume II. Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices (6<sup>th</sup> ed.). WMO No. 168.
- Kemter, M., Merz, B., Marwan, N., Vorogushyn, S., & Blöschl, G. (2020). Joint trends in flood magnitudes and spatial extents across Europe. *Geophysical Research Letters*, **47**(7), e2020GL087464. <https://doi.org/10.1029/2020GL087464>
- Knighton, J., Steinschneider, S., & Walter, M. T. (2017). A vulnerability-based, bottom-up assessment of future riverine

- flood risk using a modified peaks over threshold approach and a physically based hydrologic model. *Water Resources Research*, **53**(12), 10043–10064. <https://doi.org/10.1002/2017WR021036>
- Lobodzinskyi, O., Vasylenko, Y., Koshkina, O., & Nabyvanets, Y. (2023). Assessing the impact of climate change on discharge in the Horyn River basin by analyzing precipitation and temperature data. *Meteorology, Hydrology and Water Management*, **11**(1), 93–106. <https://doi.org/10.26491/mhwm/163286>
- Merz, B., Aerts, J., Arnbjerg-Nielsen, K., Baldi, M., Becker, A., Bichet, A., Blöschl, G., Bouwer, L. M., Brauer, A., Cioffi, F., Delgado, J. M., Gocht, M., Guzzetti, F., Harrigan, S., Hirschboeck, K., Kilsby, C., Kron, W., ... Ward, P. J. (2014). Floods and climate: Emerging perspectives for flood risk assessment and management. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **14**(7), 1921–1942. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-1921-2014>
- Pekarova, P., Gorbachova, L., Bacová Mitkova, V., et al. (2019). Statistical analysis of hydrological regime of the Danube River at Ceval Izmail Station. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **221**, 012035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/221/1/012035>
- Rippl, W. (1883). The capacity of storage reservoirs for water supply. *Proceedings of the Institute of Civil Engineers*, **71**, 270–278.
- Snizhko, S., Bertola, M., Ovcharuk, V., Shevchenko, O., Didovets, I., & Blöschl, G. (2023). Climate impact on flood changes — an Austrian-Ukrainian comparison. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, **71**(3), 271–282. <https://doi.org/10.2478/johh-2023-0017>
- Osyrov, V., Filippov, N., Mossur, H., Ahafonov, Y., Skrynyk, O., Osadcha, N., & Osadchyi, V. (2025). Climate change viewer: User-friendly web tool for climate change tracking in Ukraine. *Geomatics and Environmental Engineering*, **19**(5), 49–62. <https://doi.org/10.7494/geom.2025.19.5.49>
- Tabari, H. (2020). Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Scientific Reports*, **10**(1), 13768. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70816-2>
- Vasylenko, E. (2015). Present spatial changes of time and duration of spring flooding in the Prypiat River catchment (Ukrainian part). *Energetika*, **61**(2), 81–90. <https://doi.org/10.6001/energetika.v61i2.3135>
- Guide to hydrological practices (2009). Management of water resources and application of hydrological practices. Volume II. 6<sup>th</sup> ed., No. 168. Geneva: World Meteorological Organization (WMO).
- WMO guidelines on the calculation of climate normals (2017): No. 1203 / World Meteorological Organization (WMO). Geneva, 2017. URL: <https://library.wmo.int/idurl/4/55797>

## REFERENCES

- Bertola, M., Blöschl, G., Boháč, M., Hall, J., Kiss, A., Kjeldsen, T. R., Kohnová, S., Merz, B., Merz, R., Müller, M., Ovcharuk, V., Parajka, J., & Viglione, A. (2023). Megafloods in Europe can be anticipated from observations in hydrologically similar catchments. *Nature Geoscience*, **16**, 982–988. <https://doi.org/10.1038/s41561-023-01300-5>
- Blöschl, G., Hall, J., Parajka, J., Perdigão, R. A. P., Merz, B., Arheimer, B., ... Živković, N. (2017). Changing climate shifts timing of European floods. *Science*, **357**(6351), 588–590. <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>
- Blöschl, G., Hall, J., Viglione, A., Perdigão, R. A. P., Parajka, J., Merz, B., ... Živković, N. (2019). Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*, **573**(7772), 108–111. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6>
- Determination of Calculated Hydrological Characteristics according to SNiP 2.01.14-83. (1983). [in Russian]. [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=4260](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=4260)
- Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. (2000). Retrieved April 18, 2021, from [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_962#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text)
- Gopchenko, Ye. D., & Ovcharuk, V. A. (2018). Current methodology for standardizing characteristics of maximum spring flood runoff of lowland rivers of Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal*, (2), 26–33. <https://doi.org/10.15407/ugz2018.02.026> [in Ukrainian]
- Goptsiy, M.V., & Bondarenko, A. Ye. (2024). Interannual variability of flood runoff in the Teteriv River basin over a long-term period. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, **3**(71), 32–42. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2024.3.4> [in Ukrainian]
- Gorbachova, L. O. (2014). Methodological approaches to assessing the homogeneity and stationarity of hydrological observation series. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, **1**(32), 22–31. [in Ukrainian]
- Gorbachova, L. O. (2016). The place and role of hydro-genetic analysis among modern methods of studying river runoff. *Scientific Works of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute*, **268**, 73–81. [in Ukrainian]
- Gorbachova, L. O., & Barandich, S. L. (2016). Spatial-temporal variability of maximum spring flood runoff and mixed-origin floods of Ukrainian rivers. *Scientific Works of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute*, (269), 107–114. Retrieved from <http://old.uhmi.org.ua> [in Ukrainian]
- Gorbachova, L., Zabolotnia, T., & Khrystyuk, B. (2018). Homogeneity and stationarity analysis of the snow-rain floods in the Danube basin within Ukraine. *Acta Hydrologica Slovaca*, **19**(1), 35–41.
- Gopchenko, E., Loboda, N., & Ovcharuk, V. (2014). Hydrological calculations: textbook. Odesa State Environmental University. <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/6078> [in Ukrainian]
- Gopchenko, E., Ovcharuk, V., & Shakirzanova, Zh. (2010). Calculations and long-term forecasts of the characteristics of spring flood maxima in the Prypiat River basin: monograph. Odesa: TES. [in Ukrainian]
- Grebin, V. (2010a). Current changes in the formation conditions and characteristics of spring floods of rivers in Ukraine. *Scientific Bulletin of Chernivtsi University: Geography*, **483**, 11–17. [in Ukrainian]
- Grebin, V. (2010b). Modern water regime of the rivers of Ukraine (landscape-hydrological analysis). Kyiv: Nika-Center. [in Ukrainian]
- Hilchevskyi, V., & Grebin, V. (2017). Hydrographic and water-management zoning of the territory of Ukraine approved in 2016 — Implementation of EU WFD provisions. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, **1**(44), 8–20. [in Ukrainian]
- Kemter, M., Merz, B., Marwan, N., Vorogushyn, S., & Blöschl, G. (2020). Joint trends in flood magnitudes and spatial extents across Europe. *Geophysical Research Letters*, **47**(7), e2020GL087464. <https://doi.org/10.1029/2020GL087464>
- Knighton, J., Steinschneider, S., & Walter, M. T. (2017). A vulnerability-based, bottom-up assessment of future riverine flood risk using a modified peaks over threshold approach and a physically based hydrologic model. *Water Resources*

- Research*, **53**(12), 10043–10064. <https://doi.org/10.1002/2017WR021036>
- Korniienko, V. O., Obodovskiy, O. H., & Luk'ianets, O. I. (2021). Assessment of long-term variability of mean annual water runoff of rivers in the Prypiat basin within Ukraine and its calculated characteristics in water phases. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, **3**(61), 33–41. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2024.3.4> [in Ukrainian]
- Krakovska, S. V., Shpytal, T. M., Chyhareva, A. Yu., Pysarenko, L. A., & Kryshtop, L. Yu. (2023). Climatic characteristics of thermal periods in Ukraine until the end of the 21<sup>st</sup> century. Part I: Warm period. *Meteorology, hydrology, environmental monitoring*, **2**(4), 35–50. <https://doi.org/10.15407/Meteorology2023.04.035> [in Ukrainian]
- Loboda, N. S. (2005). Calculations and generalizations of annual river runoff characteristics of Ukraine under anthropogenic influence: monograph. Odesa: Ekologiya. [in Russian]
- Loboda, N. (2010). Methods of statistical analysis in hydrological calculations and forecasts: textbook. Odesa: Ecology. [in Ukrainian]
- Lobodzynskiy, O., Vasylenko, Y., Koshkina, O., & Nabyvanets, Yu. (2023). Assessing the impact of climate change on discharge in the Horyn River basin by analyzing precipitation and temperature data. *Meteorology, Hydrology and Water Management*, **11**(1), 93–106. <https://doi.org/10.26491/mhwm/163286>
- Lobodzynskiy, O., & Danko, K. (2023). Identification and assessment of changes in the types of river feeding in the Horyn River basin. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, **2**(68), 32–42. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.2.4> [in Ukrainian]
- Merz, B., Aerts, J., Arnbjerg-Nielsen, K., Baldi, M., Becker, A., Bichet, A., ... Ward, P. J. (2014). Floods and climate: Emerging perspectives for flood risk assessment and management. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **14**(7), 1921–1942. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-1921-2014>
- Real Statistics Using Excel. Table of Critical Values of Pearson's Correlation Coefficient [Електронний ресурс]. URL: <https://real-statistics.com/statistics-tables/pearsons-correlation-table/>
- National Atlas of Ukraine. (1999–2000). Institute of Geography, National Academy of Sciences of Ukraine. URL: <http://wdc.org.ua/atlas/4070100.html> [in Ukrainian]
- Scientific and methodological basis for establishing design characteristics of spring floods in the Dnipro River basin under climate variability: Research report (final). (2019). (E. D. Hopchenko, Scientific supervisor). Odesa State Environmental University. State registration No. 0117U002424. Odesa. [in Ukrainian].
- Ovcharuk, V. (2020). Maximum runoff of spring floods of lowland rivers of Ukraine: monograph. Odesa: TES. <http://eprints.library.odetu.edu.ua/id/eprint/9662> [in Ukrainian]
- Ovcharuk, V., & Shakirzanova, Zh. (Eds.) (2024). Extreme hydrological phenomena on the rivers of Southern Ukraine: Calculations and forecasts. Odesa: Odesa State Environmental University. <http://eprints.library.odetu.edu.ua/id/eprint/13144> [in Ukrainian]
- Pekarova, P., Gorbachova, L., Bacová Mitkova, V., et al. (2019). Statistical analysis of hydrological regime of the Danube River at Ceatal Izmail Station. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, **221**, 012035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/221/1/012035>
- Rippl, W. (1883). The capacity of storage reservoirs for water supply. *Proceedings of the Institute of Civil Engineers*, **71**, 270–278.
- Sivaiev, D., & Shakirzanova, Zh. (2024). The impact of climate change on maximum runoff of rivers in the Ukrainian Polissia. In Conference “On Guard of Climate Action” dedicated to World Meteorological Day (pp. 73–75). Kyiv. [https://doi.org/10.15407/conf\\_UHMI\\_CGO\\_2024.024](https://doi.org/10.15407/conf_UHMI_CGO_2024.024) [in Ukrainian]
- Snizhko, S., Bertola, M., Ovcharuk, V., Shevchenko, O., Didovets, I., & Blöschl, G. (2023). Climate impact on flood changes — An Austrian-Ukrainian comparison. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, **71**(3), 271–282. <https://doi.org/10.2478/johh-2023-0017>
- State Building Norms (DBN) V.2.4-8:2014. (2013). Determination of calculated hydrological characteristics. State Research Institute of Building Structures. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. [in Ukrainian]
- Ospov, V., Filippov, N., Mossur, H., Ahafonov, Y., Skrynyk, O., Osadcha, N., & Osadchyi, V. (2025). Climate change viewer: User-friendly web tool for climate change tracking in Ukraine. *Geomatics and Environmental Engineering*, **19**(5), 49–62. <https://doi.org/10.7494/geom.2025.19.5.49>
- Tabari, H. (2020). Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Scientific Reports*, **10**(1), 13768. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70816-2>
- Vasylenko, E. (2015). Present spatial changes of time and duration of spring flooding in the Prypiat River catchment (Ukrainian part). *Energetika*, **61**(2), 81–90. <https://doi.org/10.6001/energetika.v61i2.3135>
- Guide to hydrological practices (2009). Management of water resources and application of hydrological practices. Volume II. 6<sup>th</sup> ed., No. 168. Geneva: World Meteorological Organization (WMO).
- WMO guidelines on the calculation of climate normals (2017). No. 1203. Geneva: World Meteorological Organization (WMO). URL: <https://library.wmo.int/idurl/4/55797>

### Zhannetta Shakirzanova

ORCID ID: 0000-0003-0600-5657

[jannetodessa@gmail.com](mailto:jannetodessa@gmail.com)

### Denys Sivaiev

ORCID ID: 0009-0000-3866-8274

[sivaevxxx1d@gmail.com](mailto:sivaevxxx1d@gmail.com)

Odessa I.I. Mechnikov National University

## SPATIAL AND TEMPORAL TRENDS OF MAXIMUM SNOWMELT-RAINFALL RUNOFF IN THE RIVERS OF UKRAINIAN POLISSYA

*The study is devoted to the investigation of long-term spatial and temporal trends of the characteristics of maximum snowmelt-rainfall runoff in the rivers of Ukrainian Polissya (right-bank part) using the hydro-genetic method of statistical analysis. The study of maximum river discharge has significant scientific and practical importance. Understanding the conditions of formation of extreme values of maximum river discharge, their frequency of occurrence, as well as the analysis of long-term trends, is particularly important for engineering design and hydrological forecasting activities. In recent years, floods in rivers caused by snowmelt and precipitation have begun to occur in earlier, almost winter periods of the year, forming the maximum snowmelt-rainfall runoff of the rivers*

of Ukrainian Polissya. At the same time, in a period of climate change the reduction of snow cover and its melting due to the increase of winter air temperatures has led to a decrease in floods in terms of magnitude and spatial extent, but the probability of catastrophic snow-rain floods has increased. Using the hydro-genetic method of statistical analysis, the study performed a verification of the statistical homogeneity of hydrological time series of maximum snowmelt-rainfall runoff in the rivers of Ukrainian Polissya (maximum water discharges, runoff depths), as well as an investigation of temporal trends, cyclic fluctuations of river runoff, and synchrony in their series. The analysis of the homogeneity of time series of maximum water discharges of snowmelt-rainfall runoff in the rivers of Ukrainian Polissya, based on cumulative curves, revealed that the observation series show a violation of homogeneity, in contrast to the time series of runoff depths. The main causes of this violation of homogeneity in the time series of maximum water discharges of snowmelt-rainfall runoff are the redistribution of runoff under the influence of meteorological conditions in the current climatological period and the anthropogenic regulation of river discharge. Summarizing the results of the analysis of fluctuations in the maximum snowmelt-rainfall runoff of

the rivers of Ukrainian Polissya based on the integral curves of maximum water discharges and runoff depths, it can be noted that they are synchronous, and the inflection points of the integral curves almost coincide. At the same time, their overall shape may differ due to varying ratios of deviations, and as a result, the termination of identical hydrological phases according to these curves may not coincide in the multi-year context. Analyzing the chronological course of the time series of runoff values of the maximum snowmelt-rainfall runoff of the rivers of Ukrainian Polissya, it can be noted that all of them exhibit phases of cyclic fluctuations in water abundance, which determine the pronounced trends in the time series of maximum runoff. For the rivers of Ukrainian Polissya, the high-water phase was observed mainly until 1981-1982, while the low-water phase has persisted in the rivers until 2020. This provides the possibility of further application of statistical methods for the determination of the design parameters of maximum snowmelt-rainfall runoff of the rivers of Ukrainian Polissya, based on the available observational data on water runoff.

**Key words:** Maximum snowmelt-rainfall runoff, long-term trends.

