

УДК 556.51:556.114(477.43)

ОБГРУНТУВАННЯ ГРАНИЧНИХ МОДУЛІВ СХИЛОВОГО ПРИПЛИВУ ПІДЧАС ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ НА РІЧКАХ ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ В СУЧАСНИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ

В. А. Овчарук, Л. В. Кущенко, О. С. Тимко, В. В. Роїк

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
вул. Всеволода Змієнка, 2, 65000, Одеса, Україна
valeriya.ovcharuk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5654-3731> ;

У статті представлено комплексне гідрологічне дослідження характеристик максимального стоку під час весняного водопілля на річках Вінницької області в сучасних кліматичних умовах. Актуальність роботи зумовлена зростаючою мінливістю клімату, трансформацією снігового режиму та зміною генезису весняних водопіль, що безпосередньо впливає на величину максимального стоку та пов'язаний із ним паводковий ризик.

Метою дослідження є визначення граничних значень максимальних модулів схилового припливу та аналіз сучасних умов формування весняного водопілля з використанням багаторічних рядів спостережень на 11 гідрологічних постах Вінниччини. У роботі застосовано методи статистичної обробки часових рядів максимальних витрат води та шарів стоку (метод моментів, метод найбільшої правдоподібності, гамма-розподіл Крицького–Менкеля), а також операторну модель формування стоку на основі теорії руслових ізохрон. Окремо виконано визначення характеристик схилового припливу — його тривалості та коефіцієнта нерівномірності — із використанням чисельних методів.

Аналіз кліматичних показників засвідчив сучасне (1991–2020 рр.) підвищення середньорічної температури повітря на 1,5–2,0 °C у порівнянні з періодом 1961–1990 рр., зменшення висоти снігового покриву та різке скорочення кількості днів зі снігом, що призводить до зниження водності весняних водопіль або трансформації їх у тало-дощовий тип. Статистичне опрацювання рядів весняного стоку показало, що середній шар стоку за водопілля змінюється в межах від 17 до 36 мм, а коефіцієнти варіації та асиметрії суттєво відрізняються залежно від морфологічних особливостей водозборів.

У процесі чисельних розрахунків визначено тривалість схилового припливу (136–404 год) та середнє значення коефіцієнта його нерівномірності. Розраховані граничні модулі схилового припливу 1-% забезпеченості ($q'_{1\%}$) становлять від 0,79 до 2,79 м³/с·км². Виявлено, що головним фактором просторової мінливості $q'_{1\%}$ є висота водозбору, тоді як вплив широти та залісеності проявляється слабше. Просторовий розподіл граничних модулів показує максимальні значення у північній частині області (басейн Дніпра) та у верхів'ях Південного Бугу, найменші величини притаманні річкам басейну Дніпра в межах Вінницької області.

Отримані результати можуть бути використані під час водогосподарських та інженерних розрахунків, у тому числі для визначення максимальних витрат рідкісної забезпеченості, проєктування гідротехнічних споруд, оцінки паводкових ризиків та розроблення планів управління річковими басейнами Вінницької області.

Автори підкреслюють, що зміна клімату та тенденції до зменшення водопілля потребують врахування у майбутньому управлінні водними ресурсами регіону.

Ключові слова: максимальний стік, весняне водопілля, схиловий приплив, Вінницька область, гідрологічний аналіз, кліматичні зміни, раціональне водокористування.

1. ВСТУП

В останні роки науковці усього світу досліджують зміни клімату та потенційні наслідки цих змін на різні природні явища та процеси. Практично не визиває дискусії висновок щодо збільшення ймовірності виникнення

екстремальних природних явищ. За даними Європейського агентства з довкілля [1], у період з 1980 по 2020 роки погодні та пов'язані з кліматом екстремальні явища становили близько 80% від загальних економічних збитків, спричинених природними небезпеками в країнах-

членах ЄАОС. Загальна сума збитків досягла 487 млрд євро, що еквівалентно 11,9 млрд євро на рік. Найпоширенішими серед гідрологічних небезпечних явищ є повені різного походження, які спричинили 43% економічних збитків за останні 30 років.

Зміна клімату комплексно впливає на водний цикл. Існують занепокоєння, що тепліший клімат може змінити режими паводків, збільшивши потенційні збитки від них та/або знизивши економічну ефективність заходів з управління паводковим ризиком.

Для оцінки змін паводкових ризиків необхідно розуміти процеси та причини будь-яких змін — як у минулому, так і в майбутньому.

В гідрологічному циклі до таких явищ відносяться паводки різного генетичного походження, зокрема весняне водопілля, яке є основною фазою водного режиму річок Вінниччини.

Розрахункові характеристики максимального стоку є важливим інструментом для раціонального використання водних ресурсів. Вони можуть використовуватися при виконанні водогосподарських розрахунків, таких як визначення граничних обсягів забору води для зрошення сільськогосподарських угідь, що має критичне значення для розвитку аграрного сектору регіону.

Крім того, ці характеристики є незамінними при проектуванні гідроелектростанцій, забезпечуючи точні дані для оцінки їхньої потужності та безпеки експлуатації. Також вони знаходять застосування у будівництві гідротехнічних споруд широкого призначення, таких як дамби, канали чи водосховища, які забезпечують потреби в побутовому водопостачанні та сприяють вирішенню питань водозабезпечення у Вінницькій області

Результати, викладені у статті, підготовлено за результатами магістерської кваліфікаційної роботи Роїка В.В. [2] та в рамках науково-дослідної роботи кафедри гідрології суші факультету гідрометеорології і екології Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова: «Гідрологічний і гідрохімічний режими річок України в сучасних умовах водокористування і зміни клімату» (номер держреєстрації: 0123U101578)

Мета роботи полягає дослідженні сучасних умов формування максимального стоку

весняного водопілля на річках Вінницької області та визначенні граничних максимумів стоку з використанням даних спостережень останніх років.

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Сучасні дослідження європейських гідрологів під керівництвом проф. Гюнтера Блошля продемонстрували, що кліматичні зміни по-різному впливають на паводки у різних частинах Європи: збільшення опадів восени та взимку посилює повені на північному заході, натомість зменшення опадів і зростання випаровування зменшують їх на півдні; зниження снігового покриву через потепління призводить до спаду паводків у східній частині континенту [3], [4]. Ці тенденції узгоджуються з прогнозами моделей за сценарієм RCP4.5, що підтверджує вже відчутні наслідки зміни клімату та необхідність враховувати їх у плануванні протипаводкових заходів [3], [4]. Водночас дослідження для США показують, що кількість екстремальних опадів і повеней зростає, особливо у центральних штатах [5]-[7]; при цьому недостатньо вивчені зміни величини самих паводків [8]. Повені 2019 року на Міссісіпі, Міссурі та Арканзасі стали прикладом складної кліматичної події, коли комбінація сильних опадів та швидкого танення снігу завдала 20,3 млрд доларів збитків, в основному сільському господарству та інфраструктурі [9], [10].

Економічні втрати та людські жертви від екстремальних явищ спонукають до подальших досліджень, систематизації даних і моделювання, що дозволить розробляти ймовірнісні й оперативні прогнози стоку [11]-[21].

Серед актуальних робіт варто відзначити аналіз шляхів зменшення ризику повеней у Європі [22], оцінку впливу зміни клімату на паводки та посухи у Польщі [23], дослідження ефектів кліматичних змін на басейн Дунаю [24], аналогічні проєкти в Алжирі [25], Канадських преріях [26] та Латинській Америці [27]. В Україні питання впливу кліматичних змін на водний режим річок вивчають фахівці Київського національного університету ім. Тараса Шевченка та Потсдамського інституту [28], Українського гідрометеорологічного інституту [29], Одеського державного екологічного університету, з 2024р. –

Одеського національного університету імені І.І. Мечникова [31]–[32].

3. ОПИС МАТЕРІАЛІВ І МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

На території Вінницької області гідрологічний моніторинг здійснюється на 11 гідрологічних постах, з яких 7 розташовані в басейні Південного Бугу, 2 – в басейні Дністра, та 2 – в басейні Дніпра. В дослідженні використані дані спостережень від їх початку до 2020 р., включно. Найдовший часовий ряд спостережень має пост 81393 на річці Рів у с. Демидівка (басейн Південного Бугу). Записи там ведуться фрагментарно з 1916 р. (1916–1918, 1922–1941 та 1945–2020), що сумарно дає близько 99 років даних. Найкоротший ряд спостережень, серед постів із зазначеним періодом, — 81348 на Південному Бузі біля с. Селище: безперервна серія спостережень 2002–2020 рр. охоплює лише 19 років.

Якщо розглядати площу водозбору, то найменший водозбір має пост 81261 на річці Мурафа (70 км²), а найбільший — 81361 на Південному Бузі (с. Тростяничик) із водозбором 17 400 км². Таким чином, діапазон площ водозборів гідрологічних постів становить від 70 до 17 400 км². Розташування пунктів спостереження за гідрологічним режимом річок в межах Вінницької області показано на рис.1, а список пунктів представлений в табл. 1.



Рис. 1 – Карта-схема гідрологічного моніторингу в межах Вінницької області

Fig. 1 – Map-scheme of hydrological monitoring within the Vinnytsia region

Таблиця 1 – Список пунктів гідрологічних спостереження в межах Вінницької області

Table 1 – List of Hydrological Observation Stations within Vinnytsia Region

№ п/п	Код поста	Річка - пост	Площа водозбору, км ²	Період спостережень, роки
Басейн Південного Бугу				
1	81346	р.Південний Буг – с.Пирогівці	827	1964–2020
2	81348	р.Південний Буг – с.Лелітка	4000	1926–2020
3	81353	р.Південний Буг – с.Селище	9100	2002–2020
4	81361	р.Південний Буг – с.Тростяничик	17400	1930–1941, 1946–2020
5	81386	р. Згар – смт Літин	692	1931–2020
6	81393	р. Рів – с. Демидівка	1130	1916–1918, 1922–1941, 1945–2020
7	81396	р. Соб – с. Зозів	92,5	1945–2020
Басейн Дністра				
8	81257	р. Лядова – с. Жеребилівка	652	1964–2020
9	81261	р. Мурафа – с. Кудіївці	70,0	1963–2020
Басейн Дніпра				
10	80084	р. Гуйва – с. Городківка	312	1940, 1941, 1944, 1946–2020
11	80292	р. Рось – с. Круподеринці	618	1950–2020

Розрахувати граничні значення максимального стоку водопілля дозволяє операторна модель, в основу якої покладена теорія руслових ізохрон. За цією схемою формування максимального стоку розглядається у вигляді двооператорної моделі трансформації опадів в русловій стік [12]–[14]. Перший оператор (схильний стік) описується характеристиками підстильної поверхні схилів, а другий – трансформацією схилового припливу річковою мережею (через час руслового добігання, русло-заплавне регулювання і під впливом озер,

водосховищ і ставків проточного типу). Блок-схема трансформації опадів в русловий стік показана на рис. 2.

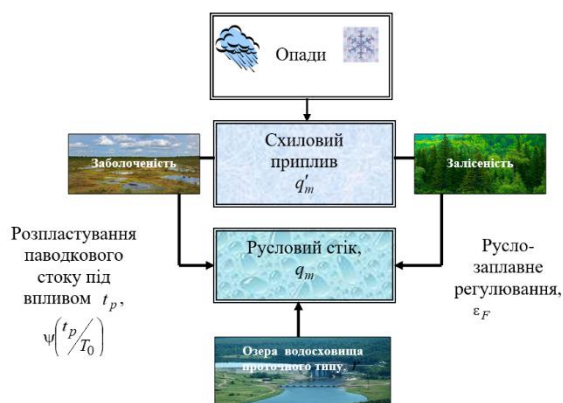


Рис. 2 – Блок-схема трансформації опадів у русловий стік [12]

Fig. 2 – Flowchart of precipitation transformation into channel runoff [12]

В чисельних роботах проф. Гопченка Є.Д. з учнями [12]-[15] показано, що розрахункове рівняння для визначення максимального стоку в цьому випадку має вигляд:

$$q_m = q'_m \psi(t_p/T_0) \epsilon_F r \lambda_p, \quad (1)$$

де r – коефіцієнт регулювання максимального стоку озерами, водосховищами і ставками; λ_p – коефіцієнт забезпеченості; ϵ_F – коефіцієнт русло-заплавного регулювання; q'_m – максимальний модуль схилового припливу ($\text{м}^3/\text{с км}^2$), який відображає взаємозв'язок між собою характеристик гідрографів схилового припливу, описується рівнянням вигляду:

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m, \quad (2)$$

де Y_m – загальний шар припливу, мм; T_0 – тривалість схилового припливу, год; $(n+1)/n$ – коефіцієнт нерівномірності схилового припливу; $\psi(t_p/T_0)$ – трансформаційна функція

а) при $t_p < T_0$

$$\psi(t_p/T_0) = 1 - \frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)} \left(\frac{t_p}{T_0}\right)^n, \quad (3)$$

б) при $t_p \geq T_0$

$$\psi(t_p/T_0) = \frac{n}{n+1} \frac{T_0}{t_p} \left[\frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(m+n+1)} \left(\frac{T_0}{t_p}\right)^m \right], \quad (4)$$

де m і n – показники міри в рівняннях кривих припливу та ізохрон, відповідно. З (1) і з врахуванням (3-4) коефіцієнт ϵ_F дорівнює:

$$\epsilon_F = \frac{q_m}{q'_m} / \psi(t_p/T_0). \quad (5)$$

Отже задача визначення граничних модулів схилового припливу може бути вирішена за умови розрахунку складових рівняння (2).

4. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Згідно кліматичного районування Вінницька область відноситься до Північної атлантико-континентальної кліматичної області для якій є характерним середньорічна кількість опадів на 600 мм, середня температура січня 6°C , липня 19°C , а кількість днів зі сніговим покривом становить 85 діб за рік [32]-[33]. Середньорічна температура повітря, згідно з кліматичним кадастром за 1961-1990 рр., в басейні становить $6,7^\circ\text{C}$ (м. Вінниця). На даний час вже є можливість порівняння даних з новими кліматичними нормами за період 1991-2020 рр [34]. Аналіз кліматичних показників за різні періоди показало, що за останні 30 років по всій території Вінницької області спостерігається підвищення середньорічної температури повітря на $1,5-2,0^\circ\text{C}$ (рис. 3).

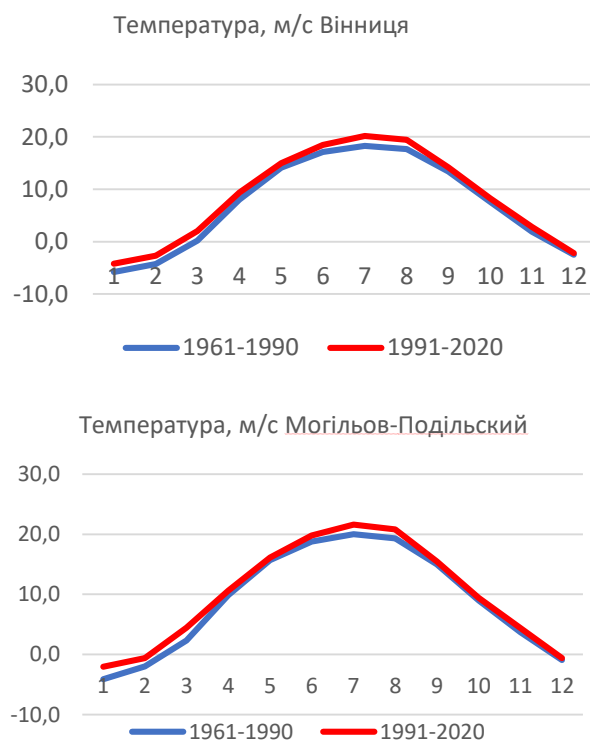


Рис. 3 – Порівняння річного ходу температури повітря за різні кліматичні періоди для метеостанцій Вінницької області

Fig. 3 – Comparison of the annual air temperature cycle for different climatic periods at meteorological stations of Vinnytsia Region

На рис. 4 представлено порівняння річного ходу опадів за різні розрахункові періоди. На відміну від температури повітря тут тенденції різні – у січні відмічене їх зменшення, а у березні зростання.

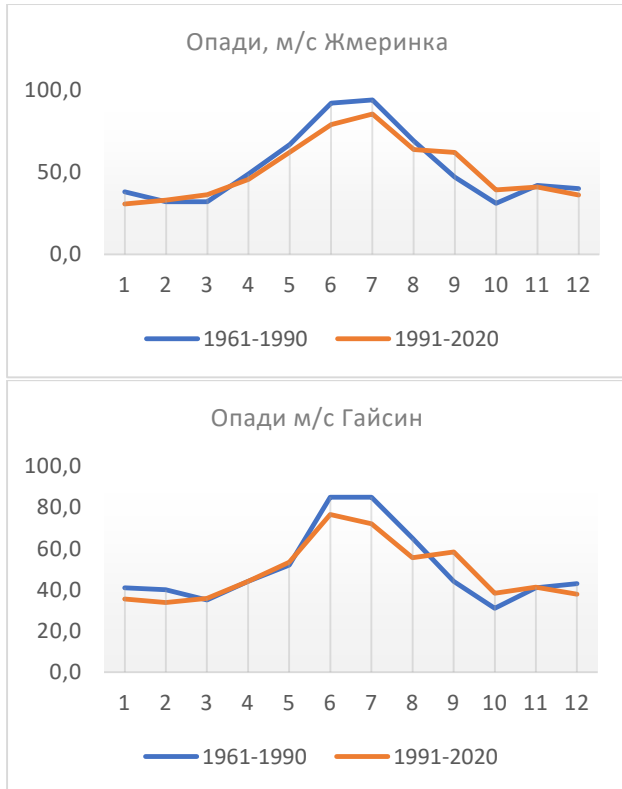


Рис. 4 – Порівняння річного ходу опадів за різні кліматичні періоди для метеостанцій Вінницької області

Fig. 4 – Comparison of the precipitation cycle for different climatic periods at meteorological stations of Vinnytsia Region

Окремо розглянемо зміни характеристик снігового покриву, які є визначальними для формування весняного водопілля. Його розподіл по території Вінницької області є нерівномірним. Сніговий покрив зазвичай з'являється в третій декаді листопада, а його стійке утворення відбувається в середині грудня. Кількість днів зі сніговим покривом змінюється залежно від місця: на півночі басейну вона становить 90-100 днів за зиму, тоді як на півдні зменшується до 60-70 днів. Середня висота снігового покриву за зиму на півночі становить 20-40 см, а на півдні – 10-30 см. Максимальні значення сягають 50-60 см на півночі та 30 см на півдні [32]. Руйнування стійкого снігового покриву зазвичай розпочинається на початку березня. За сучасних

кліматичних умов, наприклад за 2019-2020 гідрологічний рік, на більшості станцій найбільша висота снігового покриву була найменшою за період спостережень і становила лише 1-5 см [34]. Суттєво знизилось число днів зі сніговим покривом – з 120-130 до 20-30. Запас води у сніговому покриві при таких умовах в останні роки становив 0-12 мм [34]. Тем не менш, виключати можливість формування високих водопіль на території області не можна, хоча їх характер буде змінюватись з традиційно снігових на тало-дощові.

4.1 Розрахунок складових граничних максимумів припливу води

Розглянемо кожен складову рівняння (2) окремо. Визначення шару стоку за період повені не представляє труднощів, оскільки відомості про величини публікуються в спеціальній і довідковій літературі. Для річок Вінницької області зібрані матеріали по стоку (найбільші строкові витрати, та шари стоку за водопілля) за даними 11 водозборів; проведена стандартна статистична обробка рядів, після чого досліджувався можливий вплив місцевих чинників на отримані величини.

Статистична обробка часових рядів максимальних витрат води проводилась за методами моментів та найбільшої вірогідності, які рекомендовані в нормативній гідрологічній літературі [16]. Визначені середні значення найбільших строкових витрат води, коефіцієнти варіації C_v і асиметрії C_s , а також коефіцієнт автокореляції $r(1)$. Максимальне значення витрат води відмічене в пункті 2 (р.Південний Буг – с.Лелітка) і складає $102 \text{ м}^3/\text{с}$.

Найменша строкова витрата весняного водопілля $4,20 \text{ м}^3/\text{с}$ – на посту 9 (р.Мурафа – с.Кудіївці). Визначені за методом моментів значення коефіцієнтів варіації C_v змінюються від 0,76 (р.Південний Буг – с.Селище) до 1,49 (р.Соб – с.Зозів), середнє значення при цьому становить 1,12. Водночас коефіцієнти асиметрії змінюються від 1,31 (р.Південний Буг – с.Тростяничик) до 3,66 (р.Соб – с.Зозів) при їх середньому значенні 2,24.

При використанні методу найбільшої правдоподібності чисельні значення коефіцієнтів варіації C_v змінюються від 0,87 (р.Рів – с.Демидівка) до 1,54 (р.Соб – с.Зозів), середнє значення становить 1,15. Ступінь асиметрії C_s

змінюються від 1,21 (р. Рів – с. Демидівка) до 4,44 (р. Південний Буг – с. Лелітка) зі середнім значенням 2,87. Відношення C_s/C_v в середньому дорівнює 2,5. *Статистична обробка часових рядів сумарного шару стоку за водопілля* виконана аналогічно з максимальними витратами води.

Аналізуючи результати розрахунків по шарах стоку за водопілля, можна сказати, що найбільше середнє значення шару стоку за повинь спостерігається в пункті 2 (р. Південний Буг – с. Лелітка) і становить 36 мм. Найменший шар стоку за період весняного водопілля 17 мм – на посту 8 (р. Лядова – с. Жеребилівка).

Розраховані за формулами методу моментів коефіцієнти варіації C_v варіюють від 0,54 (р.Південний Буг – с.Селище) до 1,12 (р.Мурафа – с.Кудіївці), медіанне значення знаходиться на рівні 0,76. Коефіцієнти асиметрії змінюються в діапазоні від 0,90 (р. Гуйва – с. Городківка) до 2,45 (р. Мурафа – с. Кудіївці), середнє значення при цьому дорівнює 1,37.

При розрахунках за методом найбільшої правдоподібності визначені коефіцієнти варіації C_v коливаються практично в тому же що й для методу моментів діапазоні при середньому значенні 0,77. Коефіцієнти асиметрії C_s змінюються від 0,94 (р.Гуйва – с. Городківка) до 3,21 (р.Мурафа – с.Кудіївці) зі середнім значенням 1,59. Середнє співвідношення C_s/C_v дорівнює 2,0.

Цікаво порівняти коефіцієнти автокореляції для часових рядів максимальних витрат та шарів стоку, як це показано на рис.5. Представлений графік добре ілюструє, що за абсолютними величинами коефіцієнти $r(1)$ в цілому вище для шарів стоку та змінюються в більшому діапазоні.

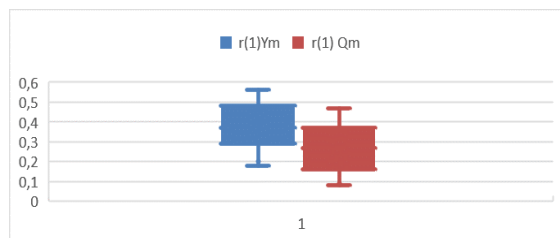


Рис. 5 – Порівняння коефіцієнтів автокореляції для рядів найбільших строкових витрат та шарів стоку водопілля річок в межах Вінницької області

Fig. 5 – Comparison of autocorrelation coefficients for the series of annual maximum discharges and spring flood runoff depths of rivers within Vinnytsia Oblast

Коефіцієнти варіації, розраховані різними методами, як показано на рис.6, мало відрізняються, але мінливість витрат води весняного водопілля вище ніж шарів стоку.

Надалі за наявних значеннях статистичних параметрів Q_m , Y_m , C_v і C_s величини заданої забезпеченості 1,3,5 та 10 % розраховані з використання трипараметричного гамма-розподілу С.М.Крицького та М.Ф. Менкеля [35].

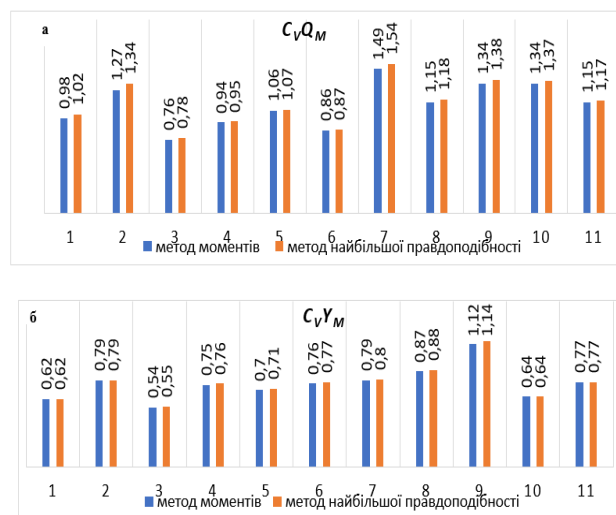


Рис. 6 – Порівняння коефіцієнтів варіації, визначених різними методами для рядів найбільших строкових витрат (а) та шарів стоку водопілля (б) річок в межах Вінницької області

Fig. 6 – Comparison of variation coefficients determined by different methods for the series of annual maximum discharges (a) and spring flood runoff depths (b) of rivers within Vinnytsia Oblast.

Визначення характеристик схилового припливу. Безпосередньо до характеристик схилового припливу відносяться *тривалість припливу* води зі схилів в руслову мережу T_0 і *коефіцієнта нерівномірності схилового припливу* $\frac{(n+1)}{n}$. Як показано в роботах [12-13] проблема полягає в тому, що безпосередній вимір схилової водовіддачі на сучасному етапі досліджень практично не проводиться.

Проте, можливе рішення зворотної задачі шляхом ретрансформації руслового гідрографу або в результаті чисельного визначення невідомих параметрів. У даному дослідженні використаний метод, який запропонований у роботі [36] для визначення $\frac{(n+1)}{n}$ через елементи руслового гідрографу, зокрема, через коефіцієнт

нерівномірності руслового стоку $\frac{(m_1+1)}{m_1}$, верхнє граничне значення якого при $F \Rightarrow 0$ представляє собою шуканий параметр нерівномірності схилового гідрографу $\frac{(n+1)}{n}$.

Для річок Вінницької області коефіцієнти $\frac{(m_1+1)}{m_1}$ змінюються в достатньо широкому діапазоні – від 1,74 до 7. За отриманими даними побудована залежність, яка дозволяє досить просто екстраполювати її на вісь ординат з метою встановлення $\frac{(n+1)}{n}$ (рис.7). Для річок Вінницької області можна прийняти $\frac{(n+1)}{n} = 12,94$, звідки $n = 0,084$.

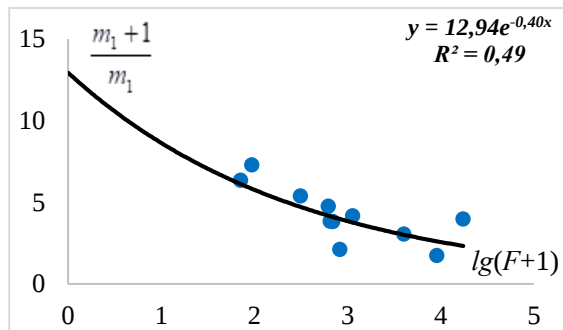


Рис. 7 – Залежність коефіцієнтів часової нерівномірності весняного водопілля від площі водозборів річок Вінницької області

Fig. 7 – Dependence of spring flood temporal irregularity coefficients on the catchment area of rivers in Vinnytsia Oblast.

Остання характеристика схилового припливу – його тривалість T_0 . При побудові формул максимального стоку найбільші труднощі пов'язані з визначенням саме цього параметра. Фізичний зміст T_0 визначений досить чітко – це основа гідрографів схилів. Проте, через практичну відсутність мережі воднобалансових станцій і високу варіацію T_0 за територією використання такого прийомом не розповсюджено.

Тому заслуговує на увагу спосіб чисельного визначення тривалості в рамках формули А.М. Бефані, запропонований Є.Д. Гопченко [12]. Базові рівняння для розрахунку T_0 мають вигляд:

а) при $t_p < T_0$

$$T_0 = \left(\frac{\varepsilon_F Y_m}{n q_m} \right)^{\frac{n+1}{n}} \left[(n+1) T_0 - \frac{m+1}{n+m+1} t_p^n \right]^{\frac{1}{n+1}}, \quad (6)$$

б) при $t_p \geq T_0$

$$T_0 = \left[\left(\frac{m+n+1}{n+1} - \frac{q_m}{Y_m \varepsilon_F} t_p \right) \frac{m(n+m+1)}{n+1} t_p^m \right]^{\frac{1}{m}}, \quad (7)$$

де q_m – максимальний модуль стоку за водопілля, $\text{м}^3/\text{с км}^2$; t_p – час руслового добігання, год; ε_F – коефіцієнт русло-заплавного водообміну та регулювання; m – показник степені в рівнянні кривої ізохрон.

Для розрахунку T_0 чисельним методом на кафедрі гідрології суші ОДЕКУ/ОНУ розроблена комп'ютерна програма, за допомогою якої розрахункові значення шуканої величини T_0 отримано для 10 водозборів за двома наближеннями.

На першому етапі значення T_0 визначались при заданому коефіцієнті русло-заплавного регулювання та водообміну $\varepsilon_F = 1,0$.

Надалі за допомогою рис.8, обирається середнє по району значення тривалості припливу, в нашому випадку це 219 год. За відомого осередненого значення

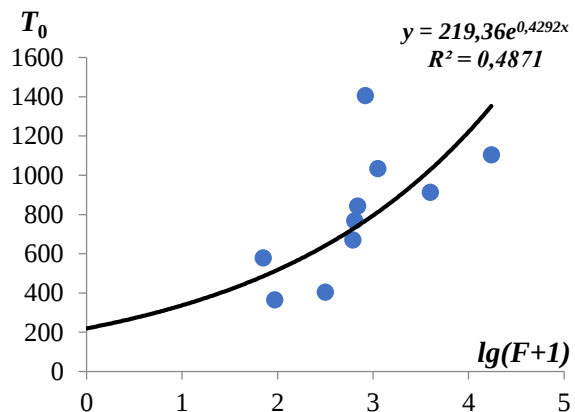


Рис. 8 – Залежність тривалості схилового припливу у першому наближенні від площі водозборів річок Вінницької області

Fig. 8 – Dependence of the slope inflow duration in the first approximation on the catchment area of rivers in Vinnytsia Oblast.

розраховують значення ε_F та узагальнюються в залежності від площі водозборів (рис.9).

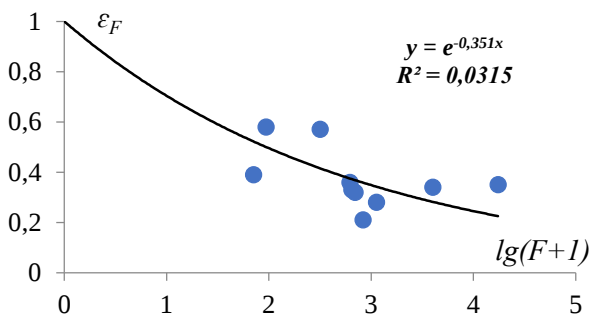


Рис. 9 – Залежність коефіцієнта русло-заплавного водообміну від площі водозборів річок Вінницької області
Fig. 9 – Dependence of the channel-floodplain water-exchange coefficient on the catchment area of rivers in Vinnytsia Oblast.

Таким чином, в процесі розрахунку T_0 ми отримали розрахункове рівняння для визначення коефіцієнтів русло-заплавного водообміну та регулювання ε_F :

$$\varepsilon_F = e^{-0,351 \lg(F+1)}, (r = 0,52). \quad (8)$$

Наступним етапом є визначення T_0 при розрахункових значеннях ε_F , отримані значення є остаточними. Для річок Вінницької області значення T_0 змінюються від 136 до 404 год. Визначені чисельним методом величини T_0 будуть надалі використані при визначенні граничних модулів схилового припливу.

4.2 Граничні модулі схилового припливу на річках Вінницької області

Як показано у попередніх пунктах, визначені всі складові вихідного виразу (2) за якими можна отримати розрахункові значення максимальних модулів схилового припливу. Результати розрахунків показали, що для річок Вінницької області $q'_{1\%}$ коливаються в широких межах – від $0,79 \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2$ (р.Південний Буг – с.Пирогівці) до $2,79 \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2$ (р.Південний Буг – с.Лелітка). Отримані розрахункові величини $q'_{1\%}$ були перевірені на факторну обумовленість, зокрема побудовані залежності цієї величини від широти та висоти водозборів, а також від залісеності.

В результаті значуща залежність спостерігається лише від висоти водозборів. З метою подальшого узагальнення, значення $q'_{1\%}$ приведені до умовної висоти 300 м, після чого знову побудована залежність від широти центрів тяжіння водозборів.

Після виключення впливу висоти водозборів залежність від широти центрів тяжіння прослідковується краще і характеризується значущим коефіцієнтом кореляції ($r=0,42$), що може буди підставою для картування цієї величини.

Просторовий розподіл граничних модулів схилового припливу в межах Вінницької області представлений на рис.10. Аналізуючи побудовану карту, можна відмітити найбільші значення $q'_{1\%300}$ спостерігаються на півночі досліджуваної території на річках басейну Дніпра, а також у верхів'ях Південного Бугу, найменші величини відмічаються в межах басейну Дністра.

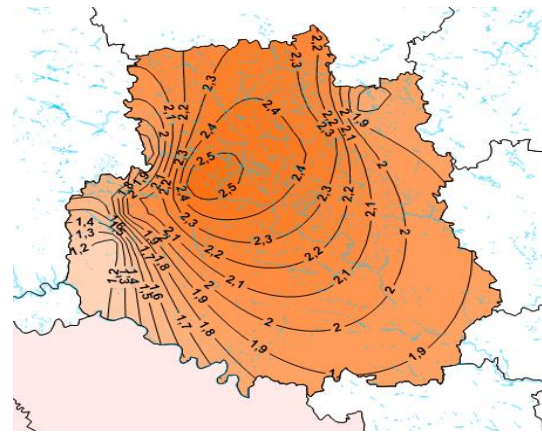


Рис. 10 – Карта-схема розподілу $q'_{1\%300}$ на водозборах річок Вінницької області

Fig. 10 – Map-scheme of the spatial distribution $q'_{1\%300}$ of across the catchments of rivers in Vinnytsia Oblast.

Таким чином, щоб визначити значення граничних максимумів схилового припливу 1% ймовірності перевищення необхідно за координатами центру тяжіння водозбору зняти значення з карти, представленої на рис.11, та перерахувати використовуючи рівняння:

$$q'_{1\%} = q'_{1\%300} k_H \quad (9)$$

де $k_H = 1 + 0.0033(H_{ср} - 300)$, $H_{ср}$ – середня висота водозбору, м.

Перспективою подальших досліджень є розробка регіональної методики для визначення максимальних витрат води з використанням отриманих граничних максимумів схилового припливу для невивчених в гідрологічному відношенні річок в межах Вінницької області в умовах зміни клімату.

5. ВИСНОВКИ

1. В представленому дослідженні для території Вінницької області вперше визначені і узагальнені за територією граничні модулі схилового припливу з використанням операторної моделі формування стоку.

2. Особливістю досліджуваної території є те, що річки Вінниччини протікають по території трьох районів річкових басейнів – Південного Бугу, Дністра і Дніпра й отже фактори формування весняного водопілля відрізняються по басейнах. Тем не менш, водний режим річок Вінницької області характеризується добре вираженим весняним водопіллям, яке в окремі роки може досягати небезпечних відміток рівня та витрат води.

3. Порівняння кліматичних показників за різні періоди показало, що за останні 30 років по всій території Вінницької області спостерігається підвищення середньорічної температури повітря на 1,5-2,0 °C. Що стосується опадів, то тут тенденції різні – у січні відмічене їх зменшення, а у березні зростання.

4. Аналіз зміни характеристик снігового покриву, які є визначальними для формування весняного водопілля, показав, що, за останні роки на більшості станцій найбільша висота снігового покриву була найменшою за період спостережень і становили лише 1-5 см. Суттєво знизилось число днів зі сніговим покривом до 20-30, а запас води у сніговому покриві за таких умов становив 0-12 мм. Таким чином, можна сказати, що кліматичні умови, які склалися за останні 30 років не сприяють накопиченню снігового покриву і запасів води у ньому, що в свою чергу призводить до формування невисоких водопіль, або взагалі його формування може не спостерігатися у недалекому майбутньому. З іншого боку, збільшенні кількості опадів у березні і одночасне підвищення температури повітря ймовірно призведе до формування тало-дощових паводків, які можуть бути достатньо високими.

5. З метою визначення граничних максимумів схилового припливу, у представлену дослідженні виконана статистична обробка вхідної інформації. В результаті визначені стокові величини рідкої ймовірності перевищення.

6. З використанням чисельних методів та програмного забезпечення кафедри гідрології суші ОДЕКУ-ОНУ визначені всі характеристики

схилового припливу. Для річок Вінницької області коефіцієнт нерівномірності схилового припливу осереднений на рівні 12,94, а значення тривалості схилового припливу змінюються від 136 до 404 год.

7. Визначення характеристик схилового припливу дало змогу обґрунтувати граничні величини схилового припливу 1%-ої ймовірності перевищення для річок Вінницької області. Значення $q'_{1\%}$ коливаються в широких межах – від 0,79 м³/с·км² (р. Південний Буг – с. Пирогівці) до 2,79 м³/с·км² (р. Південний Буг – с. Лелітка). Отримані розрахункові величини $q'_{1\%}$ перевірені на факторну обумовленість, виявлено значущий вплив висоти водозборів та отримано рівняння для коефіцієнту впливу k_H .

8. Просторовий розподіл граничних модулів схилового припливу, приведених до умовної висоти 300м, на річках в межах Вінницької області підчас весняного водопілля виконаний з використанням програмного забезпечення MapInfo показує, що найбільші значення $q'_{1\%300}$ спостерігаються на півночі досліджуваної території на річках басейну Дніпра, а також у верхів'ях Південного Бугу, найменші величини відмічаються в межах басейну Дністра.

9. Представлені граничні модулі можуть бути використані при оцінці ризиків та розробки планів управління річковими басейнами, а також при обґрунтуванні регіональної методики визначення максимальних витрат води весняного водопілля рідкісної ймовірності перевищення для невивчених у гідрологічному відношенні річок Вінницької області.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. European Environment Agency. (2023). *Economic losses and fatalities from weather- and climate-related events in Europe*. EEA Report. <https://surli.cc/lymdav>
2. Роїк, В. В. Граничні максимуми схилового припливу в період весняного водопілля на річках Вінницької області: кваліфікаційна робота магістра / В. В. Роїк. – Одеса, 2024. – 76 с. URI <https://dspace.onu.edu.ua/handle/123456789/41487>
3. Blöschl G. et al. Changing climate shifts timing of European floods. *Science*. 2017. Vol. 357, No. 6351. P. 588–590. <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>
4. Blöschl G. et al. Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*. 2019. Vol. 573. P. 108–111. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6>
5. Mallakpour, G. Villarini. The changing nature of flooding across the central United States. *J. Nat. Clim. Change*.

2015. Vol. 5. P. 250-254. <https://doi.org/10.1038/nclimate2516>
6. Neri A. et al. On the decadal predictability of the frequency of flood events across the US Midwest. *Int. J. Climatol.*, 2019. Vol. 39. P. 1796-1804. <https://doi.org/10.1002/joc.5915>
7. Slater L.J., Villarini G. Recent trends in US flood risk. *Geophys. Res. Lett.*, 2016. Vol. 43 (12). Pp. 12,428-12,436. <https://doi.org/10.1002/2016GL071199>
8. Agha Kouchak A. et al. Climate extremes and compound hazards in a warming world. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 2020. Vol. 48. P. 519-548. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-071719-055228>
9. NOAA National Centers for Environmental Information (NCEI) Billion- Dollar Weather and Climate Disasters: Table of Events URL: <https://www.ncdc.noaa.gov/billions/events/US/2019> (Accessed: 20.06.2021)
10. Zscheischler J. and et al. A typology of compound weather and climate events. *Nature reviews earth & environment*. 2020. Vol. 1. P. 33-347. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0060-z>
11. Шакирзанова Ж.Р. Довгострокове прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок та естуаріїв території України: монографія. Одеса: ФОП Бондаренко М.О., 2015. 252 с.
12. Ovcharuk V.A., Hopchenko Ye.D. The modern method of maximum spring flood runoff characteristics valuation for the plain rivers of Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal*. 2018. №2. P. 26-33. <https://doi.org/10.15407/ugz2018.02.026>
13. Овчарук В.А. Максимальний стік весняного водопілля рівнинних річок України: монографія. Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2020. 300 с.
14. Extreme hydrological phenomena in the forest steppe and steppe zones of Ukraine under the climate change / Valeriya Ovcharuk et al. *Published by Copernicus Publications on behalf of the International Association of Hydrological Sciences*. 2020. Vol. 383. P. 229-235. <https://doi.org/10.5194/piabs-383-229-2020>
15. Ovcharuk, V. et al. Calculating the characteristics of flash flood on small rivers in the mountainous Crimea. *Geofizika*, 2020. Vol. 37(1). P. 27-43. <https://doi.org/10.15233/gfz.2020.37.3>
16. Шакирзанова Ж.Р., Докус А.О. Довгострокове прогнозування характеристик весняного водопілля в басейні р. Південний Буг: монографія. Одеса: ФОП Бондаренко М. О., 2021. 244 с. ISBN 978-617-8005-42-9.
17. Горбачова Л. О., Приходькіна В. С., Христюк Б. Ф., Заболотня Т. О., Розлач В. О. Статистичний аналіз максимального стоку води річки Південний Буг за методом «Indicators of Hydrologic Alteration». *Український гідрометеорологічний журнал*. 2021. № 27. С. 42-54. <https://doi.org/10.31481/uhmj.27.2021.05>
18. Ovcharuk V., Gopchenko E. Engineering substantiation of maximum river runoff characteristics... In: *Ecological Significance of River Ecosystems*. Elsevier, 2022. P. 351–382. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85045-2.00018-2>.
19. Zhannetta Shakirzanova, Anhelina Dokus, Territorial long-term forecasting of hydrological characteristics of spring floods of lowland rivers. Editor(s): Sugghosh Madhav, Shyam Kanhaiya, Arun Srivastav, Virendra Singh, Pardeep Singh, *Ecological Significance of River Ecosystems*, Elsevier, 2022, Chapter17. Pages 325-350. ISBN 9780323850452
20. Екстремальні гідрологічні явища на річках Півдня України: розрахунки і прогнози : монографія / за ред. Овчарук В. А., Шакирзанової Ж. Р. Одеса : ОДЕКУ, 2024. 674 с. <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/13144/>
21. 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), 2023. 271-282. <https://doi.org/10.2478/johh-2023-0017>
22. Migliorini M. et al. Data interoperability for disaster risk reduction in Europe. *Disaster Prevention and Management*. 2019. Vol. 28. No. 6. P. 804-816. <https://doi.org/10.1108/DPM-09-2019-0291>
23. Romanowicz, Renata Julita et al. "Climate Change Impact on Hydrological Extremes: Preliminary Results from the Polish-Norwegian Project." *Acta Geophysica*. 2016. Vol. 64. P. 477-509.
24. Bisselink B. et al. Impact of a changing climate, land use, and water usage on water resources in the Danube river basin. *Publications Office of the European Union*, 2018. P. 3-70. <https://doi.org/10.2760/89828>
25. Kouidri Sofiane et al. Long-term seasonal characterization and evolution of extreme drought and flooding variability in northwest Algeria. *Meteorology, Hydrology and Water Management*. 2019. Vol. 7. Issue 2. P. 63-71. <https://doi.org/10.26491/mhwm/106101>
26. Akhter A. and Azam S. Flood-Drought Hazard Assessment for a Flat Clayey Deposit in the Canadian Prairies. *Journal of Environmental Informatics Letters*. 2019. Vol. 1(1). P. 8-19. <https://doi.org/10.3808/jeil.201900002>.
27. RIOCCADAPT Report. Floods and Droughts. In: *Adaptation to Climate Change Risks in Ibero-American Countries / Edited by: Camilloni, I., V. Barros, S. Moreiras et al.* Madrid, Spain. 2020. P. 371-396.
28. Didovets I. et al. Climate change impact on water availability of main river basins in Ukraine. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2020. Vol. 32. 100761. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100761>
29. Б. Ф. Христюк, Л. О. Горбачова. (2025). Моделювання дощових паводків річки Стрий за допомогою штучної нейронної мережі. *Метеорологія. Гідрологія. Моніторинг довкілля*, 1(7), 71-78. <https://doi.org/10.15407/meteorology2025.07.071>
30. Лобода Н. С., Козлов М. О. Оцінка водних ресурсів річок України за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 на 2021–2050 роки. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2020. № 25. С. 93–104. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.09>
31. Loboda, N. S., Tuchkovenko, Y. S., Kozlov M. O., & Katynska, I. V. (2021). Assessment of River Water Inflow into the Sasyk Estuary-Reservoir According to RCP4.5 and RCP8.5 Climate Change Scenarios for 2021-2050. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 30(2), 315-325. <https://doi.org/10.15421/112128>
32. Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ: Раєвського, 2003. 343 с.
33. Кліматичний Кадастр України (електронна версія)

- Державна гідрометеорологічна служба УкрНДГМІ, Центральна Геофізична Обсерваторія. Київ. 2006.
34. Кліматичний Кадастр України (електронна версія) Державна гідрометеорологічна служба УкрНДГМІ, Центральна Геофізична Обсерваторія. Київ, 2022.
35. Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. Гідрологічні розрахунки: Підручник. – Одеса: ТЕС, 2014. – 484 с.
36. Гопченко Є.Д., Овчарук В.А., Романчук М.С., Траскова А.В. Науково-методична база для визначення тривалості схилового припливу під час дощових паводків і весняних водопіль. Український гідрометеорологічний журнал. 2014. № 14. С. 205-212.
- ## REFERENCES
1. European Environment Agency. (2023). *Economic losses and fatalities from weather- and climate-related events in Europe*. EEA Report. <https://www.eea.europa.eu/publications/economic-losses-and-fatalities-from>
 2. Roik, V. V. (2024). *Hranychni maksymy skhylovoho pryplyvu v period vesnianoho vodopillia na richkakh Vinnytskoi oblasti [Maximum Limits of Slope Runoff During Spring Flooding on the Rivers of Vinnytsia Region]*. Odesa: URI <https://dspace.onu.edu.ua/handle/123456789/41487>
 3. Blöschl G. et al. (2017). Changing climate shifts timing of European floods. *Science*. Vol. 357, No. 6351. P. 588–590. <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>
 4. Blöschl G. et al. (2019). Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*. Vol. 573. P. 108–111. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6>
 5. Mallakpour, G. Villarini. (2015). The changing nature of flooding across the central United States. *J. Nat. Clim. Change*. Vol. 5. P. 250-254. <https://doi.org/10.1038/nclimate2516>
 6. Neri A. et al. (2019). On the decadal predictability of the frequency of flood events across the US Midwest. *Int. J. Climatol.* Vol. 39. P. 1796-1804. <https://doi.org/10.1002/joc.5915>
 7. Slater L.J., Villarini G. (2016). Recent trends in US flood risk. *Geophys. Res. Lett.* Vol. 43 (12). Pp. 12,428-12,436. <https://doi.org/10.1002/2016GL071199>
 8. Agha Kouchak A. et al. (2020). Climate extremes and compound hazards in a warming world. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* Vol. 48. P. 519-548. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-071719-055228>
 9. NOAA National Centers for Environmental Information (NCEI) Billion- Dollar Weather and Climate Disasters: Table of Events URL: <https://www.ncdc.noaa.gov/billions/events/US/2019> (Accessed: 20.06.2021)
 10. Zscheischler J. and et al. (2020). A typology of compound weather and climate events. *Nature reviews earth & environment*. Vol. 1. P. 33-347. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0060-z>
 11. Shakirzanova, Zh.R. (2015). *Dovhostrokovye prohnouzuvannia kharakterystyk maksimalnogo stoku vesnianoho vodopillia rivnyynykh richok ta estuariiv terytorii Ukrainy [Long-term forecasting of maximum spring flood characteristics of lowland rivers and estuaries in Ukraine]*. Odesa: FOP Bondarenko M.O. (in Ukr.)
 12. Ovcharuk V.A., Hopchenko Ye.D. (2018). The modern method of maximum spring flood runoff characteristics valuation for the plain rivers of Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal*. №2. P. 26-33. <https://doi.org/10.15407/ugz2018.02.026>
 13. Ovcharuk, V. A. (2020). *Maksymal'nyi stik vesnianoho vodopillia rivnyynykh richok Ukrainy: monohrafiia [Maximum Spring Flood Runoff from Lowland Rivers in Ukraine]*. Odesa: Helvetica Publishing House. (in Ukr.)
 14. Extreme hydrological phenomena in the forest steppe and steppe zones of Ukraine under the climate change / Valeriya Ovcharuk et al. *Published by Copernicus Publications on behalf of the International Association of Hydrological Sciences*. 2020. Vol. 383. P. 229-235. <https://doi.org/10.5194/piahs-383-229-2020>
 15. Ovcharuk, V. et al. (2020). Calculating the characteristics of flash flood on small rivers in the mountainous Crimea. *Geofizika*. Vol. 37(1). P. 27-43. <https://doi.org/10.15233/gfz.2020.37.3>
 16. Shakirzanova, Zh. R., & Dokus, A. O. (2021). *Dovhostrokovye prohnouzuvannia kharakterystyk vesnianoho vodopillia v baseini r. Pivdennyi Buh. [Long-Term Forecasting of Spring Flood Characteristics in the Southern Bug River Basin]*. Odesa: FOP Bondarenko M.O. ISBN 978-617-8005-42-9. (in Ukr.)
 17. Horbachova, L. O., Prykhodkina, V. S., Khrystiuk, B. F., Zabolotnia, T. O., Rozlach, V. O. (2021). *Statystychniy analiz maksimalnogo stoku vody richky Pivdennyi Buh za metodom "Indicators of Hydrologic Alteration" [Statistical Analysis of the Maximum Water Discharge of the Southern Bug River Using the "Indicators of Hydrologic Alteration" Method]*. Ukrainian Hydrometeorological Journal, (27), pp. 42–54. <https://doi.org/10.31481/uhmj.27.2021.05>
 18. Ovcharuk V., Gopchenko E. (2022). Engineering substantiation of maximum river runoff characteristics... In: *Ecological Significance of River Ecosystems*. Elsevier. P. 351–382. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85045-2.00018-2>.
 19. Zhannetta Shakirzanova, Anhelina Dokus, (2022). Territorial long-term forecasting of hydrological characteristics of spring floods of lowland rivers. Editor(s): Sughosh Madhav, Shyam Kanhaiya, Arun Srivastav, Virendra Singh, Pardeep Singh, *Ecological Significance of River Ecosystems*, Elsevier, Chapter17. Pages 325-350. ISBN 9780323850452
 20. Ovcharuk V. A., Shakirzanovoi Zh. R. (2024). *Ekstremalni hidrolohichni yavyshecha na richkakh Pivdnia Ukrainy: rozrakhunky i prohnozy [Extreme Hydrological Events on Rivers of Southern Ukraine: Assessment and Forecasting]*. Odesa: ODEKU. <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/13144/> (in Ukr.)
 21. 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>
 22. Migliorini M. et al. (2019). Data interoperability for disaster risk reduction in Europe. *Disaster Prevention and Management*. Vol. 28. No. 6. P. 804-816. <https://doi.org/10.1108/DPM-09-2019-0291>
 23. Romanowicz, Renata Julita et al. (2016). "Climate Change

- Impact on Hydrological Extremes: Preliminary Results from the Polish-Norwegian Project.*” *Acta Geophysica*. Vol. 64. P. 477-509
24. Bisselink B. et al. (2018). Impact of a changing climate, land use, and water usage on water resources in the Danube river basin. *Publications Office of the European Union*. P. 3-70. <https://doi.org/10.2760/89828>
 25. Kouidri Sofiane et al. (2019). Long-term seasonal characterization and evolution of extreme drought and flooding variability in northwest Algeria. *Meteorology, Hydrology and Water Management*. Vol. 7. Issue 2. P. 63-71. <https://doi.org/10.26491/mhwm/106101>
 26. Akhter A. and Azam S. (2019). Flood-Drought Hazard Assessment for a Flat Clayey Deposit in the Canadian Prairies. *Journal of Environmental Informatics Letters*. Vol. 1(1). P. 8-19. <https://doi.org/10.3808/jeil.201900002>.
 27. RIOCCADAPT Report. Floods and Droughts. In: *Adaptation to Climate Change Risks in Ibero-American Countries* / Edited by: Camilloni, I., V. Barros, S. Moreiras et al. Madrid, Spain. 2020. P. 371-396.
 28. Didovets I. et al. (2020). Climate change impact on water availability of main river basins in Ukraine. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. Vol. 32. 100761. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100761>
 29. Khrystiuk, B. F., & Horbachova, L. O. (2025). *Modeliuvannia doshchovykh pavodkiv richky Stryi za dopomohou shchuchnoi neironnoi merezhi [Rainfall flood simulation for the Stryi River using an artificial neural network]*. *Meteorology. Hydrology. Environmental Monitoring*, 1(7), pp. 71–78. <https://doi.org/10.15407/meteorology2025.07.071>
 30. Loboda, N. S., & Kozlov, M. O. (2020). Otsinka vodnykh resursiv richok Ukrainy za sstenariiamy RCP4.5 ta RCP8.5 na 2021–2050 roky [Assessment of Water Resources of Ukrainian Rivers under RCP4.5 and RCP8.5 Scenarios for 2021–2050]. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, UDC 556.51:556.114(477.43) (25), pp. 93–104. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.09>
 31. Loboda, N. S., Tuchkovenko, Y. S., Kozlov M. O., & Katynska, I. V. (2021). Assessment of River Water Inflow into the Sasyk Estuary-Reservoir According to RCP4.5 and RCP8.5 Climate Change Scenarios for 2021–2050. *Journal of Geology, Geography and Geocology*, 30(2), 315-325. <https://doi.org/10.15421/112128>
 32. Lypynskyi, V. M., Diachuk, V. A., & Babichenko, V. M. (Eds.). (2003). *Klimat Ukrainy [Climate of Ukraine]*. Kyiv: Rayevskoho. (in Ukr.)
 33. *Klimatychnyi Kadastr Ukrainy (elektronna versii) Derzhavna hidrometeorologichna sluzhba UkrNDHMI, Tsentralna Heofizychna Observatoriia [Climatic Cadastre of Ukraine (electronic version). State Hydrometeorological Service of Ukraine, Ukrainian Hydrometeorological Institute (UkrNDHMI), Central Geophysical Observatory]*. Kyiv. 2006.
 34. *Klimatychnyi Kadastr Ukrainy (elektronna versii) Derzhavna hidrometeorologichna sluzhba UkrNDHMI, Tsentralna Heofizychna Observatoriia [Climatic Cadastre of Ukraine (electronic version). State Hydrometeorological Service of Ukraine, Ukrainian Hydrometeorological Institute (UkrNDHMI), Central Geophysical Observatory]*. Kyiv. 2022.
 35. Hopchenko, Ye. D., Loboda, N. S., & Ovcharuk, V. A. (2014). *Hidrolohichni rozrakhunky [Hydrological calculations]*. Odesa: TES, 484 p. (in Ukr.)
 36. Hopchenko, Ye. D., Ovcharuk, V. A., Romanchuk, M. Ye., & Traskova, A. V. (2014). *Naukovo-metodychna baza dlia vyznachennia tryvalosti skhylovoho pryplyvu pid chas doshchovykh pavodkiv i vesnianykh vodopil [Scientific-methodological framework for estimating the duration of hillslope inflow during rainfall floods and spring floods]*. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, (14), pp. 205-212.

JUSTIFICATION OF THE LIMITING MODULES OF SLOPE INFLOW DURING THE SPRING FLOOD ON THE RIVERS OF VINNYTSIA REGION UNDER CURRENT CLIMATE CONDITIONS

V. A. Ovcharuk, L. V. Kushchenko, O. S. Tymko, V. V. Roik

Odesa I. I. Mechnikov National University
2 V. Zmiiienka Str., Odesa, 65000, Ukraine
valeriya.ovcharuk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5654-3731>

The relevance of this study is driven by the need to address a key scientific and applied problem—understanding the dynamics of maximum runoff formation during spring floods in the context of increasing climate variability. In Vinnytsia Region, the transformation of snow cover, altered flood genesis, and rising temperatures significantly influence maximum runoff values and associated flood risks. Therefore, identifying limiting characteristics of slope inflow under current climatic conditions is essential for sustainable water management and hydraulic engineering.

Numerous studies have highlighted climate-induced changes in the hydrological regime of Ukrainian rivers; however, the dynamics of slope inflow formation and the spatial variability of maximum runoff modules for the rivers of the Vinnytsia Region remain insufficiently studied.

Existing gaps relate primarily to the lack of quantitative assessments of extreme slope inflow modules and their dependence on watershed characteristics under contemporary climate trends.

This article aims to determine the limiting values of maximum slope inflow modules and to assess the current hydrological conditions of spring flood formation using long-term observational data from hydrological stations across Vinnytsia Region.

The study employs classical statistical techniques (method of moments, maximum likelihood estimation, and Kritzky–Menkel gamma distribution), as well as numerical methods for determining slope inflow duration and unevenness, and an operator-based runoff formation model grounded in channel isochrone theory.

Presentation of the main research material. Based on multi-year observational data from 11 hydrological stations, the study demonstrates that current climatic conditions are characterized by a 1.5–2.0 °C rise in mean annual air temperature relative to 1961–1990, a marked decrease in snow cover depth, and a shortened snow-cover duration. These changes reduce the water yield of spring floods or transform them into mixed rain–snowmelt events. The mean spring flood runoff depth varies from 17 to 36 mm, with high spatial variability depending on basin morphology. Numerical calculations show that slope inflow duration ranges from 136 to 404 hours, while the limiting 1% slope inflow modules vary from 0.79 to 2.79 m³/s·km². Watershed elevation was identified as the dominant factor controlling spatial differences, whereas the influence of latitude and forest cover is less pronounced. The spatial distribution of the limiting modules shows the highest values in the northern part of the region (Dnieper basin) and in the upper reaches of the Southern Bug, while the lowest values are characteristic of the rivers of the Dnieper basin within Vinnytsia Region.

The obtained results form an important scientific basis for assessing spring flood hazards, estimating rare-probability maximum discharges, designing hydraulic structures, and developing river basin management plans for the Vinnytsia Region. The study demonstrates that the observed reduction in spring flood water yield under climate change must be integrated into future regional water management and adaptation strategies. Further research will involve expanding the analysis to additional watersheds within the region using broader empirical datasets.

Keywords: maximum runoff, spring flood, slope inflow, Vinnytsia Region, hydrological analysis, climate change, rational water use.

Подання до редакції : 24. 11. 2025

Надходження остаточної версії : 14. 12. 2025

Публікація статті : 23. 12. 2025