

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2022.2.2>

УДК 556.162+556.166

Романюк М. С., Лук'янець О.І.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

АНАЛІЗ ПОВТОРЮВАНOSTІ ДОЩОВИХ ПАВОДКІВ НА РІЧКАХ В БАСЕЙНІ ТИСИ (В МЕЖАХ УКРАЇНИ)

Дощові паводки на річках в басейні Тиси в межах України формуються декілька разів протягом всього теплого періоду. Мета представленої дослідження провести детальний аналіз повторюваності таких паводків на річках досліджуваного регіону за рядами щорічних максимальних середньодобових витрат води та рядами максимальних середньодобових витрат часткової забезпеченості. В перший ряд включається лише одна найвища витрата кожного року, у нашому випадку за теплий період – травень-жовтень. Другий ряд включає усі значення, що перевищують деяке граничне значення, яке відповідає найменшому значенню з ряду щорічних максимальних річних витрат. Для виконання роботи використано дані спостережень з наступних гідрологічних постів: р. Уж – м. Ужгород, р. Латориця – м. Мукачеве, р. Ріка – смт Міжгір'я, р. Тересва – смт Усть-Чорна, р. Тиса – м. Рахів за період спостережень з 1946-2019 рр. Ряди максимумів часткової забезпеченості за даними з досліджуваних гідрологічних постів за своєю кількістю в середньому в 4-6 разів перевищують кількість значень ряду щорічних максимумів. Періоди повторюваності визначено за зворотною формулою до формули Вейбула. Побудовано графіки повторюваності дощових паводків за річними максимумами і максимумами часткової забезпеченості для досліджуваних постів, що дозволило помітити наступні особливості: витрати повторюваністю менше 5-10 років відрізняються для ряду щорічних максимальних витрат і ряду часткової забезпеченості; ряди часткової забезпеченості краще описують незначні паводки, і особливо з коротким періодом повторюваності.

Проведений аналіз повторюваності дощових паводків на річках в басейні Тиси в межах України дозволив оцінити ймовірні величини паводків, які можуть сформуватися протягом певного періоду часу та оцінити їх повторюваність певної величини. Це має практичний інтерес, оскільки знання про потенційно можливі паводки можна використати для оцінювання характеру можливих таких паводків у майбутньому.

Ключові слова: дощові паводки, максимальні витрати води, повторюваність, багаторічні ряди, ряди часткової забезпеченості, басейн р. Тиса в межах України.

Актуальність теми. Тиса – річка, верхня частина басейну якої знаходиться в Закарпатській області України. Басейн р. Тиси є найбільш зволженими та багатоводним регіоном в Україні і відноситься до одного із найбільш паводкобезпечних. Серед фаз водного режиму річок дощовим паводкам у гірських регіонах, які в таких місцевостях внаслідок тривалих і сильних дощів можуть бути різної інтенсивності, по кілька разів на рік з формуванням при цьому великого діапазону максимальних витрат води, належить особлива роль, оскільки саме з ними пов'язані різні прояви катастрофічних ситуацій, порушення господарської діяльності і побутового укладу населення – підтоплення чи затоплення сільськогосподарських угідь, населених пунктів, промислових підприємств, інженерних комунікацій тощо. З огляду на вищезазначене, проведене дослідження є практично орієнтованим для гідрологічного забезпечення різних галузей виробництва та актуальним, оскільки отримані результати щодо оцінки ймовірної величини дощових паводків та їх повторюваності на річках в басейні Тиси дає можливість отримати інформацію про ймовірнісний потенціал їх виникнення на річках в межах досліджуваної території. **Мета роботи** – провести аналіз повторюваності дощових паводків в басейні Тиси в межах України за рядами щорічних максимальних витрат води та рядами часткової забезпеченості.

Особливості фізико-географічних умов формування дощових паводків. Річка Тиса – найбільша притока Дунаю за довжиною та площею і друга, після Сави, за водністю. Довжина р. Тиса – 966 км (у межах України – 265 км). Площа басейну дорівнює 157 тис. км² (в межах України – 12,8 тис. км²). За витік р. Тиса прийнято вважати витік р. Чорна Тиса – її найдовшої притоки, початок якої розташований на південно-західному схилі гори

ISSN:2306-5680 **Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2022. № 2 (64)**

Братківська Вододільно-Верховинського хребта. Від свого витoku і до остаточного виходу на територію Угорщини р. Тиса тече або тільки територією України, або утворює державний кордон з сусідніми країнами. В басейні р. Тиса протікає 9426 річок, їх сумарна довжина складає 16147 км, густота – 1,7 км/км². В межах України водні ресурси басейну Тиси складають 13,3 км³ в середній за водністю рік [4].

Формування паводків тут відбувається під впливом фізико-географічних чинників, основні з яких є орографічні (геологічна будова та рельєф) та метеорологічні (переважно, активно-розвинена злизова діяльність) [3].

В рельєфі досліджувана територія представлена горами і передгір'ями Карпат та Закарпатською низовиною. До орографічних особливостей регіону можна відмітити дугоподібне розташування гірських хребтів Українських Карпат, яке сприяє уповільненню переміщення вологих повітряних мас атлантичного і середземноморського походження та інтенсифікації зливових дощів на навітряних схилах Карпат. Нахили місцевості в горах перевищують 200-500 м/км, що сприяє дуже інтенсивному формуванню стоку води у річках під час зливових дощів [3].

Щодо кліматичних умов, вся територія басейну відноситься до області надлишкової зволоженості. На низовинах та у передгір'ях Українських Карпат річна кількість опадів змінюється від 650 до 950 мм, а у горах з висотою вона переважно збільшується та досягає 1200-1400 мм. Найбільша річна кількість опадів зазвичай спостерігається у верхів'ях річок Ріки, Тересви та Тересви (1400-1800 мм).

Паводки в басейні Тиси формуються протягом всього року, тобто в залежності від пори року вони бувають дощовими та сніго-дощовими [1, 2, 5]. Гідрографи стоку води на річках мають складний, багатопіковий характер з паводками різної інтенсивності.

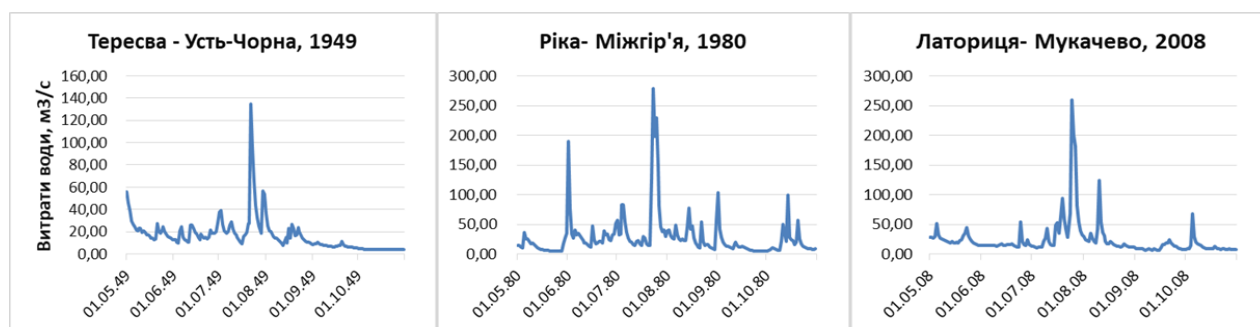


Рис. 1. Гідрографи стоку води у теплий період року на річках басейну Тиси (в межах України)

Значні дощові паводки зумовлюються дощами, які тривають переважно 2-3 дні, і в основних зонах формування стоку за цей час випадає від 100 до 250 мм опадів і, навіть може досягати 300-350 мм [1-3, 5].

Вихідні передумови та методичні основи дослідження. Аналіз повторюваності паводків – джерело інформації про ймовірний потенціал їх виникнення і спрямований на вирішення двох основних прикладних завдань:

- оцінка ймовірної величини паводку, який може сформуватися протягом певного періоду часу,
- оцінити повторюваність паводків певної величини [8].

Тобто, аналіз повторюваності паводків дозволяє отримати дані про потенційні паводки на основі або поточних, або прогнозованих подій. До такого аналізу також залучаються дані про спостережені паводки для оновлення статистичних характеристик можливих у майбутньому паводків.

Період повторюваності (наприклад, 100 років) – це статистично середня тривалість періоду між паводками певної величини. Чим більший період повторюваності, тим значніший паводок. Ймовірність перевищення чи настання в цьому році – величина, зворотна періоду повторюваності. Тобто, паводок повторюваністю 1 раз на 100 років матиме ймовірність перевищення 1% (1/100).

Проте паводки не формуються строго періодично. Так, паводок повторюваністю 1 раз

у 100 років не виникатиме строго через кожні 100 років після останнього спостереженого. Насправді, з однаковою ймовірністю паводок такої величини (1 раз у 100 років може виникнути (або не виникнути) у будь-якому році або навіть кілька разів протягом року.

Треба зауважити, що паводок певної повторюваності не обов'язково є результатом випадання опадів такої ж повторюваності. Тобто, злива з певною кількістю опадів, яка має повторюваність 1 раз на 25 років не обов'язково сформує паводок повторюваністю теж 1 раз на 25 років. Такий незбіг може бути обумовлений станом підстильної поверхні (наприклад, ґрунт насичений водою або він сухий), а це істотно впливає на стік води у річках, що формується в результаті конкретного дощу чи зливи.

Для отримання надійних даних про повторюваність паводків, вони мають бути незалежними та однорідними [6-8], оскільки їхня нерепрезентативність може призвести до неправильної інтерпретації результатів аналізу повторюваності паводків. Незалежність полягає у тому, що послідовні паводки повинні бути індивідуальні і не впливати один на одного. Тобто, якщо в період між максимумами двох послідовних паводків витрата води не повертається до значень базисного стоку, то такі паводки є залежними, оскільки перший впливає на другий. Однорідність означає однакові умови формування паводків. Наприклад, два паводка будуть однорідними, якщо обидва сформувалися лише в результаті дощових опадів.

Для отримання точних та надійних гідрологічних параметрів можливих паводків необхідно використовувати тривалі ряди спостережень. Отже, чим довше ряд спостережень, тим паче репрезентативні його статистичні характеристики, тим більша ймовірність обліку всієї амплітуди можливих паводків, яка включає якнайбільше різних характерних їх величин.

При статистичному аналізі паводків ряд даних спостережень не повинен бути коротшим за половину періоду повторюваності. Тобто, щоб оцінити паводок повторюваністю 1 раз на 100 років, необхідно мати ряд даних не коротше 50 років. Статистичні характеристики повторюваності паводків більш репрезентативні для оцінки потенційних паводків, якщо ряд спостережень досить довгий і включає всі типи можливих явищ.

Ймовірність настання чи перевищення – це ймовірність того, що протягом якогось періоду часу паводок досягне або перевищить певну величину. Ймовірність перевищення $= 1 - (1 - p)^n$, де «1» (всі можливі витрати) мінус $(1 - p)^n$ (всі витрати, менші за задане) дають $1 - (1 - p)^n$ – ймовірність настання події заданої величини протягом певного періоду.

Для обчислення ймовірності перевищення P членів ряду довжиною n в залежно від їх порядку (рангу) m використана формула Вейбула через її простоту при використанні [8]:

$$P = m/(n+1) (\%). \quad (1)$$

Період повторюваності $T_{повт.}$ розраховується як обернена величина ймовірності перевищення, тобто за формулою, що обернена до (1) [8].

Багаторічні ряди щорічних максимальних витрат можуть бути представлені у вигляді кривих розподілу ймовірностей чи повторюваностей.

Використані дані. Аналіз повторюваності дощових паводків в басейні Тиси ґрунтувався на використанні історичних даних про найвищі максимальні витрати та спрямований на вироблення рекомендацій, необхідних для оцінювання характеру можливих таких паводків у майбутньому.

Для виконання роботи використано дані за середніми добовими витратами води з наступних гідрологічних постів за період спостережень з 1946(1947) по 2019 рр. (тобто, ряди тривалістю 73-74 роки):

- р. Уж – м. Ужгород (площа водозбору $F = 1970 \text{ км}^2$),
- р. Латориця – м. Мукачево ($F = 1360 \text{ км}^2$),
- р. Ріка – смт Міжгір'я ($F = 550 \text{ км}^2$),
- р. Тересва – смт Усть-Чорна ($F = 572 \text{ км}^2$),
- р. Тиса – м. Рахів ($F = 1070 \text{ км}^2$).

Так як проводився аналіз повторюваності саме дощових паводків, то для дотримання умов незалежності і однорідності даних та формування необхідних статистичних рядів максимальних витрат води досліджувався теплий період: травень-жовтень. Тим самим виключено сніго-дощові паводки [7-8].

Результати виконаного дослідження. Аналіз даних про паводки виконується для розуміння поведінки річки в минулому та для підготовки рекомендацій, що стосуються очікуваних у майбутньому паводків.

Як зазначалося вище, дощові паводки на річках в басейні Тиси формуються кілька разів протягом всього теплого періоду. Тому для детального аналізу повторюваності дощових паводків дослідження проводилося в двох напрямках з використанням:

I – рядів максимальних середньодобових витрат води за теплий період окремих послідовних років;

II – рядів максимальних середньодобових витрат часткової забезпеченості.

Треба зазначити, що крім максимальних середньодобових витрат є й максимальні строкові витрати (максимальна витрата в якийсь момент часу, яка для гірських річок за своєю величиною, зазвичай, вища максимальних середньодобових), але, як правило, отримати такі значення для аналізу повторюваності паводків важко, а іноді неможливо. Тому при виконанні роботи нами використано максимальні середньодобові витрати.

Ряди максимальних середньодобових витрат води за теплий період окремих послідовних років формуються з щорічних максимумів і такий набір даних називається багаторічним рядом [8]. У багаторічний ряд включається лише одна найвища витрата кожного року (у нашому випадку – за теплий період).

Ряди часткової забезпеченості включають усі значення, що перевищують деяке граничне значення. Як правило, воно відповідає найменшому значенню з ряду максимальних річних витрат [8]. Довжина таких рядів перевищує кількість років вихідної вибірки, тому що максимумів за теплий період року, що перевищують граничне значення, можна виділити декілька. Це добре можна побачити з табл.1. Ряди максимумів часткової забезпеченості за даними з досліджуваних гідрологічних постів на річках в басейні Тиси за своєю кількістю в середньому в 4-6 разів перевищують кількість значень ряду щорічних максимумів. Також треба зазначити, ряди часткової забезпеченості не можуть бути графічно представлені як залежність максимальних витрат від щорічної ймовірності. Вони мають бути представлені залежно від періоду повторюваності.

Таблиця 1. Найбільші та найменші максимальні середні добові витрати за період спостережень з 1946(1947) по 2019 рр. на річках басейну Тиси та кількість значень ряду щорічних максимумів та максимумів часткової забезпеченості

Річка-гідрологічний пост	Найбільша максимальна середня добова витрата, рік	Найменша максимальна середня добова витрата (граничне значення), рік	Кількість значень ряду максимальних витрат води	
			щорічних (багаторічний ряд)	часткової забезпеченості
р. Уж – м. Ужгород	735 (1980)	34,2 (2018)	73	330
р. Латориця – м. Мукачево	913 (1998)	28,7 (1961)	73	502
р. Ріка – смт Міжгір'я	347 (1998)	22,6 (1946)	74	406
р. Тересва – смт Усть-Чорна	442 (1998)	25,6 (1961)	73	313
р. Тиса – м. Рахів	529 (1998)	30,5 (1961)	73	360

Найбільша максимальна середньодобова витрата дощового паводку за весь період спостережень на гідрологічному посту *р. Уж-м. Ужгород* зафіксована у 1980 р. і склала 735 м³/с, найменший максимум (граничне значення) спостерігався у 2018 р. і становив 34,2 м³/с.

Найбільша максимальна середньодобова витрата на посту *р. Латориця – м. Мукачево* за весь період спостережень зафіксована у 1998 р. – 913 м³/с, граничне значення максимуму спостерігалось у 1961 р. – 28,7 м³/с.

За розрахунковими таблицями для кожного дослідженого гідрологічного поста побудовано залежності між витратами рядів річних максимумів і максимумів часткової забезпеченості дощових паводків з періодами їх повторюваності (рис.2).

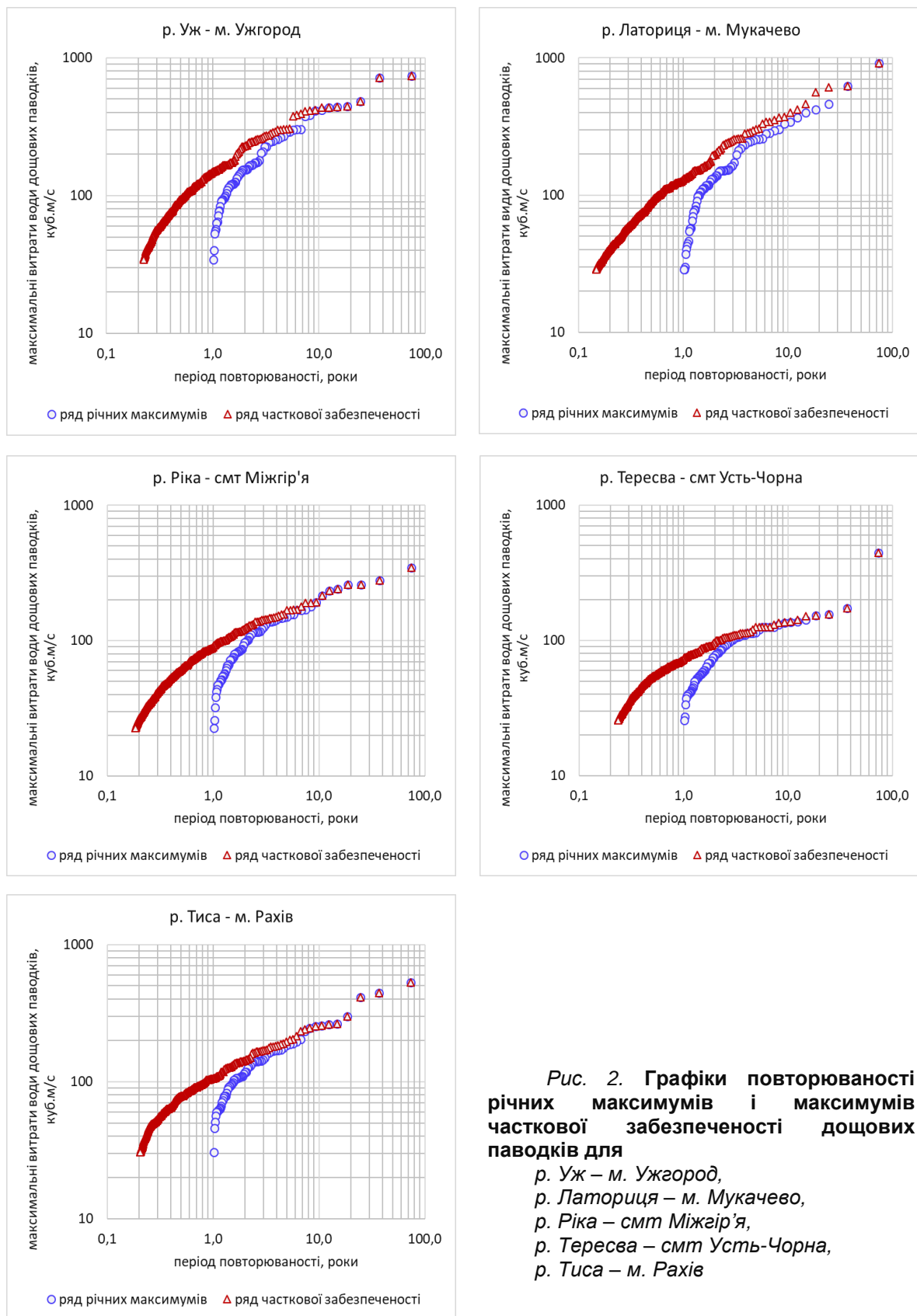


Рис. 2. Графіки повторюваності річних максимумів і максимумів часткової забезпеченості дощових паводків для
*р. Уж – м. Ужгород,
 р. Латориця – м. Мукачево,
 р. Ріка – смт Міжгір'я,
 р. Тересва – смт Усть-Чорна,
 р. Тиса – м. Рахів*

Як бачимо з рис. 2, в полі графіка ряду часткової забезпеченості набагато більше точок. Аналізуючи графіки повторюваності річних максимумів дощових паводків і часткової забезпеченості для всіх досліджуваних річок можна помітити наступні особливості:

1) витрати повторюваністю менше 5-10 років відрізняються для повного ряду щорічних максимальних витрат і ряду часткової забезпеченості;

2) багато значень мають період повторюваності менше року, а це означає, що такі максимальні витрати води дощових паводків спостерігаються частіше ніж раз на рік. Так, якщо взяти невеликі за максимумами дощові паводки, то криві часткової забезпеченості виходять на позначки 0.2-0.3 розрахункового періоду повторюваності. А це, що означає, що такі паводки можуть повторюватися раз в 30-50 днів, тобто їх можна очікувати від 3 до 6 разів кожного року у період формування дощових паводків.

Висновки. Проведений аналіз повторюваності дощових паводків на річках в басейні Тиси в межах України дозволив оцінити ймовірні величини паводків, які можуть сформуватися протягом певного періоду часу та оцінити їх повторюваність певної величини.

Такі дослідження мають практичний інтерес, оскільки отримані дані про потенційно можливі паводки можна використати для оцінювання характеру можливих таких паводків у майбутньому, тим паче, що басейн р. Тиси вважається одним з найбільш паводконебезпечних не тільки в Україні, а й в Європі.

Побудовані графіки повторюваності максимумів дощових паводків показують, що порівняно з рядами щорічних максимальних витрат, ряди часткової забезпеченості краще описують незначні паводки, і особливо з коротким періодом повторюваності, тобто з періодами повторюваності менше року.

Список літератури

1. Бойко В.М., Кульбіда М.І. Гідрологічний аналіз високого тало-дощового паводка на Закарпатті у березні 2001 р. та проблеми оперативного прогнозування // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2001. Т. 2. С. 272-278.
2. Бойко В.М., Кульбіда М.І., Сусідко М.М. Визначний дощовий паводок на річках Закарпаття в листопаді 1998 р. // Наук. пр. УкрНДГМІ, 1999. Вип.247. С. 91-101.
3. Дячук В. А., Сусідко М. М. Паводки в Закарпатті та причини їх виникнення /// Укр. геогр. журн. 1999. № 1. С. 48-51.
4. Загальна характеристика поверхневих та підземних вод району річкового басейну р. Тиса. URL: https://buvrtysa.gov.ua/newsite/?page_id=18150.
5. Сусідко М. М., Полякова С. О., Щербак А.В. Каталог характеристик дощових і сніго-дощових паводків на річках Карпатського регіону за 1989-2002 рр. . Наук. пр. УкрНДГМІ, 2006. Вип. 255. С. 299-310.
6. Кушлик–Дивульська О.І., Поліщук Н.В., Орел Б.П., Штабальук П.І. Теорія ймовірностей та математична статистика. К.:НТУУ «КПІ», 2010. 136 с.
7. Сикан А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Учебник. СПб.: изд. РГГМУ. 2007. 279 с.
8. Flood Frequency Analysis: International Edition (Аналіз повторюваності паводків: міжнародна версія). DL Course in Hydrology - RA-II /RA-VI- 2021/ WMO and University Corporation for Atmospheric Research. URL: https://www.meted.ucar.edu/hydro/basic_int/flood_frequency_ru/ navmenu.php

Reference

1. Bojko V.M., Kul'bida M.I. Hidrolohichnyj analiz vysokoho talo-doschovoho pavodka na Zakarpatti u berezni 2001 r. ta problemy operativnoho prohnouzuvannia [Hydrological analysis of high snow-rain floods in Transcarpathia in March 2001 and problems of operational forecasting]. Hidrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekolohiia, 2001. T. 2. S. 272-278.
2. Bojko V.M., Kul'bida M.I., Susidko M.M. Vyznachnyj doschovyj pavodok na richkakh Zakarpattia v lystopadi 1998 r. [Significant rain flood on the rivers of Transcarpathia in November 1998] Nauk. pr. UkrNDHMI, 1999. Vyp.247. S. 91-101.
3. Diachuk V. A., Susidko M. M. Pavodky v Zakarpatti ta prychny ikh vynyknennia [Floods in Transcarpathia and their causes]. Ukr. heohr. zhurn., 1999. № 1. S. 48-51.
4. Zahalna kharakterystyka poverkhnevyykh ta pidzemnykh vod raionu richkovoho baseinu r. Tysa [General characteristics of surface and groundwater in the Tisza River Basin]. URL: https://buvrtysa.gov.ua/newsite/?page_id=18150.

5. Susidko M. M., Poliakova S. O., Scherbak A. V. Kataloh kharakterystyk doschovykh i sniho-doschovykh pavodkiv na richkakh Karpats'koho rehionu za 1989-2002 rr. [Catalog of characteristics of rain and snow-rain floods on the rivers of the Carpathian region for 1989-2002]. Nauk. pr. UkrNDHMI, 2006. Vyp. 255. S. 299-310.

6. Kushlyk-Dyvulska O.I., Polishchuk N.V., Orel B.P., Shtabaliuk P.I. Teoriia ymovirnostei ta matematychna statystyka [Probability theory and mathematical statistics]. K.: NTUU «KPI», 2010. 136 s.

7. Sikan A.V. Metody statisticheskoy obrabotki gidrometeo-rologicheskoy informacii [Methods of statistical processing of hydrometeorological information]. Uchebnik. SPb.: izd. RGGMU. 2007. 279 s.

8. Flood Frequency Analysis: International Edition (Аналіз повторюваності паводків: міжнародна версія). DL Course in Hydrology - RA-II /RA-VI- 2021/ WMO and University Corporation for Atmospheric Research. URL: https://www.meted.ucar.edu/hydro/basic_int/flood_frequency_ru/ navmenu.php

Analysis of recurrence of rain floods in the Tisza basin (within Ukraine)

Romanyuk M.S., Lukianets O.I.

Rain floods on the rivers in the Tisza basin within Ukraine are formed several times during the entire warm period. The purpose of the presented study is a detailed analysis of the frequency of such floods on the rivers of the region under study in terms of the series of annual maximum average daily water discharges and the series of maximum average daily discharges of partial probability. The first series, called the "multi-annual series", includes only one of the highest discharges each year, in our case, one for the warm period - May-October. The second row includes all values that exceed some limit value, which corresponds to the smallest value from the series of annual maximum annual water discharges.

To carry out the work, we used observational data on the average daily water flow from the following hydrological posts on the rivers: the Uzh River - Uzhgorod, the Latoritsa River - Mukachevo, the Rika River - Mezhygorye, the Teresva River - Ust-Chernaya, the Tisza River - Rakhiv for the observation period 1946 (47) to 2019. To obtain the long-term series and partial probability necessary for the study, first, chronological samples of rain flood maxima were formed for both series separately, then they were ranked and the estimated return period was determined for each member of the series. The series of maximums of partial probability according to the data from the studied hydrological stations in their number on average 4-6 times exceed the number of values of the series of annual maxima. The calculated return periods are determined by the inverse formula to the Weibull formula.

Graphs of the frequency of rain floods by annual maxima and maxima of partial probability for the stations under study were constructed, which made it possible to notice the following features: 1) the discharges maxima of rain floods with a frequency of less than 5-10 years differ for a number of annual maximum water discharges and a series of partial probability; 2) partial probability series better describe minor floods, especially those with a short return period.

The analysis of the frequency of rain floods on the rivers in the Tisza basin within Ukraine made it possible to estimate the possible magnitudes of rain floods that can form during a warm period of time and to estimate their frequency of a certain magnitude. This is of practical interest as knowledge of potential floods can be used to assess the nature of potential floods in the future.

Keywords: rain floods, maximum water discharges, frequency, long-term series, partial supply series, Tisza basin within Ukraine.

Надійшла до редколегії 15.04.2022

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2022.2.3>

УДК 556.5

Куликівська І.М., Ободовський О.Г.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ЧАСОВА ОЦІНКА ВОДНОГО РЕЖИМУ ТА РУСЛОВИХ ПРОЦЕСІВ В НИЖНЬОМУ Б'ЄФІ КАНІВСЬКОЇ ГЕС

У роботі проаналізовані сучасні зміни водного режиму в нижньому б'єфі Канівської ГЕС та визначено основні фактори формування стоку на досліджуваній ділянці. За допомогою статистичного аналізу визначено тенденції до зниження рівнів та зміну витрат води після побудови Канівської ГЕС. За різницею інтегральними кривими досліджена циклічність стоку води у нижньому б'єфі Канівської ГЕС. Встановлені закономірності режиму щоденних рівнів та витрат води. Побудовані криві витрат води та визначено зміни у просіданні та піднятті рівнів води за різні часові періоди. Розраховані руслоформувальні витрати води та встановлено їх часову динаміку.

Ключові слова: нижній б'єф Канівської ГЕС, водний режим, статистичний аналіз, режим рівнів води, криві витрат води, багаторічні коливання стоку, руслові процеси, руслоформувальні витрати води.