

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-ologicheskoy 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.

Актуальність дослідження. Після побудови каскаду водосховищ на річці Дніпро зарегульованість стоку води викликала істотні зміни у його водному режимі. Зокрема, це стосується і Канівської ГЕС, яка була побудована останньою в каскаді. Крім цього, на річках України спостерігається маловодна фаза водного режиму, що призводить до зменшення їхнього стоку. Це, в свою чергу, впливає на динаміку процесів руслоформування. Саме тому сучасна оцінка водного режиму та руслових процесів в нижньому б'єфі Канівської ГЕС є важливою, оскільки від них залежить ефективна водогосподарська діяльність, експлуатація водосховищ всього Дніпровського каскаду.

Мета представленої роботи полягає у дослідженні сучасних змін характеристик водного режиму та руслових процесів в нижньому б'єфі Канівської ГЕС.

Вихідні дані та методи дослідження. Для виконання мети та поставлених завдань використано щоденні та середньорічні рівні та витрати по гідрологічному посту Канів та Канівській ГЕС, максимальні та мінімальні рівні за добу в нижньому б'єфі Канівської ГЕС, середньорічні максимальні, мінімальні витрати води, які характеризують стік річок і впливають на приплив води до Канівської ГЕС за період 1977-2021 роки. Також використано матеріали праць О.Г. Ободовського, В.В. Гребеня які працювали над даною тематикою у 1980-2000-их роках та вивчали зміни на даній ділянці річки Дніпро до та після побудови Канівської ГЕС.

В роботі, в основному, використані методи статистичного аналізу часових рядів щоденних, середньорічних рівнів та витрат води, оцінки сучасного водного режиму та циклічності коливань стоку в н/б Канівській ГЕС, а також такі загальнонаукові методи дослідження, як пошуково-теоретичний (аналіз зібраної інформації для оцінки гідрологічного режиму у нижньому б'єфі Канівської ГЕС за допомогою щорічників, наукової літератури та інтернет-ресурсів), описовий (опис результатів дослідження), порівняльний (порівняння величин руслоформувальних витрат води на відтинку р, Дніпро до і після побудови Канівської ГЕС) тощо.

Математичні методи в гідрометеорології подані в основному математичною статистикою, яка побудована на теорії ймовірності. Якщо остання є однією з математичних наук, яка досліджує абстрактні взаємовідношення ймовірностей випадкових подій, то математична статистика має більш прикладний характер. Основним завданням застосування статистичних методів є систематизований опис інформації [6]. Гідрометеорологічні процеси та явища є результатом взаємодії великої кількості факторів, різних за своїм походженням, часом впливу й часткою участі у формуванні досліджуваних процесів і явищ, тобто вони багатфакторні. У зв'язку із цим між ними й зумовлюючими їх факторами існують не функціональні, а статистичні зв'язки, серед яких особливе місце належить кореляційним зв'язкам як частковій формі статистичних [7].

Циклічність коливань річного стоку прийнято досліджувати за хронологічними графіками. Більш наочне уявлення про цикли коливання стоку дають різниці інтегральні криві, за якими виділяються багатоводні й маловодні періоди (фази водності) і повні цикли коливань річного стоку. Якщо відрізок інтегральної кривої має нахил угору щодо осі абсцис, це відповідає багатоводній фазі водності, а якщо ж він нахилений униз - маловодній. Повний цикл повинен мати середнє значення модульних коефіцієнтів, близьке до одиниці [6].

Методика визначення руслоформувальних витрат за М. І Маккавєєвим [8,13]. Вона базується на умові про провідну роль наносів у формуванні русла з урахуванням протяжності дії на русло тих чи інших витрат води. Таким чином, тут має прояв взаємодії між стоком води і наносів та ймовірністю появи відповідних витрат.

В цій методиці рекомендується визначати руслоформувальні витрати води як максимуми добутку:

$$Q_{\phi} = f(\sigma \cdot Q_{\text{сер}}^n \cdot P \cdot I)_{\text{max}}, \quad (1)$$

де σ - коефіцієнт, який враховує ширину розливу річки; $Q_{\text{сер}}$ - середня витрата кожного з інтервалів, на які розбивається весь діапазон витрат, що визначалися по даному створі. м³/с; P - ймовірність витрат кожного інтервалу, %; I - середній похил водної поверхні в даному інтервалі витрат; n - показник ступеня, що залежить від крупності річкового алювію

і змінюється від 2 до 3 за М.І. Маккавесвим та від 1 до 3 за О.Г. Ободовським [13].

Результати дослідження. Район досліджень знаходиться поблизу Канівського природного заповідника (рис. 1), який розташований на правому березі річки Дніпро та островах, які розміщені в межах заплави (Круглик, Шелестів та Зміїні). Найвищі висоти тут сягають 255 м, а найменші – 80-85 м. Довжина річкової ділянки нижнього б'єфу не перевищує 40 км.

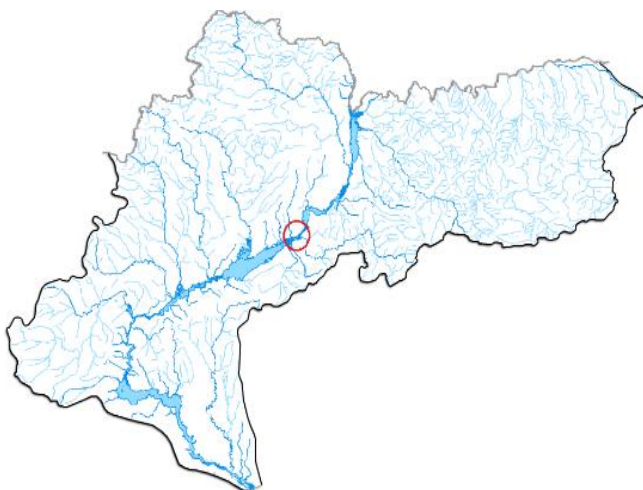


Рис. 1. Розташування досліджуваної ділянки нижнього б'єфу Канівської ГЕС [3].

У ґрунтовому покриві території переважають чорноземи типові та чорноземи сильно реградовані, темно-сірі опідзолені і реградовані ґрунти та чорноземи опідзолені, слабо реградовані та світло-сірі, сірі опідзолені ґрунти [12].

Дно та береги річки складаються з піщаних відкладів.

Канівську ГЕС побудовано на річці Дніпро у районі міста Канів, Черкаської області. Заповнення Канівського водосховища відбувалось в 1974–1976 рр. За течією вона є другою з шести гідроелектростанцій Дніпровського каскаду. Підпір від Канівської ГЕС поширюється до створу Київської ГЕС. За схемою компоновки споруд гідровузла, конструкцією основних споруд, електромеханічному обладнанню Канівська ГЕС схожа на вище розташовану Київську ГЕС. На ній також встановлено горизонтальні капсульні гідроагрегати і суміщено споруду ГЕС з водоскидними спорудами, що дозволило відмовитися від будівництва окремої водозливної греблі [10]. Розрахунковий напір — 11 м. Повний об'єм водойми при НПР — 2,50 км³, площа водної поверхні — 582 км². Довжина водосховища по вісі становить 123 км, максимальна ширина — до 8,0 км, середня — 5,5 км. Середня глибина водосховища при НПР становить 3,9 м; максимальна — 21,0 м. Протяжність напірного фронту — 16,7 км. Водосховище здійснює добове регулювання стоку. Крім участі в покритті піків графіка навантаження та регулюванні частоти в об'єднаній енергетичній системі, Канівська ГЕС виконує резервні функції в енергосистемі. Канівське водосховище дозволило покращити водопостачання промислових підприємств і населених пунктів. Забезпечено наскрізне глибоководне судноплавство від Чорного моря до гирла р. Прип'ять. Створено умови для подальшого розвитку рибного господарства та зрошення. Найбільшою притокою Дніпра, що впадає у Канівське водосховище є Десна. Значно менші річки: ліва притока — Трубіж та праві — Либідь, Стугна і Красна [2].

Для оцінки впливу Канівської ГЕС на зміну характерних витрат води р. Дніпро порівняно дані перед (до 1976 р. [9]) та після (1977-2021 рр.) побудови гідроелектростанції. Зміни цих витрат (середньорічних, максимальних і мінімальних) ілюструє табл. 1.

Таблиця 1. Вплив Канівської ГЕС на зміну характерних витрат води р. Дніпро

Період (витрата)	Максимальна витрата, м³/с (рік)	Мінімальна витрата, м³/с (рік)	Середня багаторічна витрата, м³/с
До зарегулювання (до 1976 р.) [9]			
Найбільша	18900 (1970)	809 (1971)	1520
Найменша	2330 (1973)	233 (1975)	
Середня	6280	476	
Після зарегулювання (1977-2021 рр.) *			
Найбільша	9980 (1979)	884 (1999)	1337
Найменша	1330 (2020)	3,00 (1977-1979, 1983-1985, 1989)	
Середня	1374	69,0	

Примітка: * - дані з 1977 року опрацьовано самостійно.

Через те, що річка стала зрегульованою, то відповідно пік витрат водопілля зменшився майже вдвічі. Проте, якщо порівняти з періодом за останні 10 років, то ця цифра зростає до 14 770 м³/с (максимум 2013 р.). Слід зауважити, що найменший пік водопілля на всю історію спостережень спостерігався у 2020 р. (1 330 м³/с). Стосовно мінімальних витрат води після побудови водосховища відбулись менш значні зміни. А саме, найменша мінімальна витрата збільшилась на 230 м³/с. Загалом середні максимальні витрати зменшились у 4,6 рази, а середні мінімальні – майже у 2 рази.

Приплив води до Канівської ГЕС залежить від скидів з Київської ГЕС та водного стоку річки Десна. Інші притоки Дніпра такі як Стугна, Трубіж не мають значного впливу через невеликі показники водності. Порівняння стоку за даними гідрологічних станцій на вказаних об'єктах виявило тенденції до зниження середньорічного стоку. Її можна прослідкувати за трендами змін середнього стоку води Київської ГЕС, Канівської ГЕС та замикального гідрологічного поста Літки на р. Десна (рис. 2).

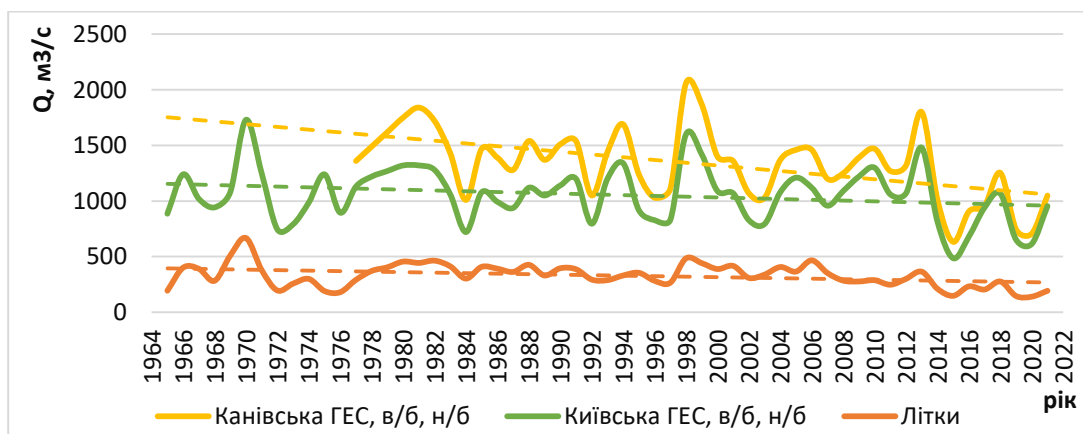


Рис.2. Порівняння середнього стоку води Канівської ГЕС, Київської ГЕС та замикального гідрологічного поста Літки на р. Десна

Пост Літки на р. Десна був включений до аналізу як замикальний створ незарегульованої річки, на долю якої припадає близько 25% припливу води до Канівського водосховища [1].

Оцінка багаторічних коливань рівнів та витрат води у нижньому б'єфі Канівської ГЕС. За різницевиими інтегральними кривими (рис. 3) виділяється багатоводна фаза для середніх витрат води з 1977 р. Після чого орієнтовно з 2003 р. розпочалась маловодна фаза, яка продовжується аж до 2021 р. Можна стверджувати, що дана фаза ще не дійшла до свого завершення. Ймовірно, що у зв'язку з сучасним екологічним станом показники рівнів і витрат води продовжуватимуть зменшуватися. Повний цикл водності не сформований, тому орієнтуємось на їхні зміни за останні роки.

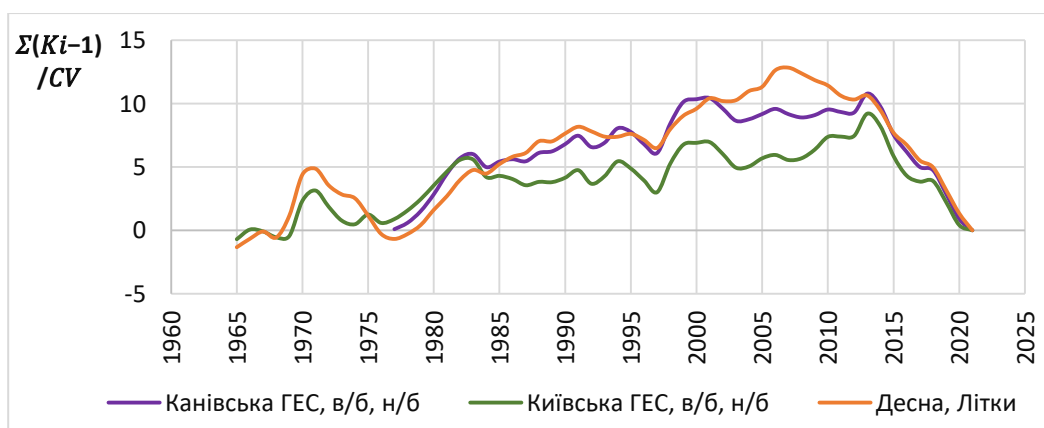


Рис. 3. Різницеві інтегральні криві середньорічних витрат води

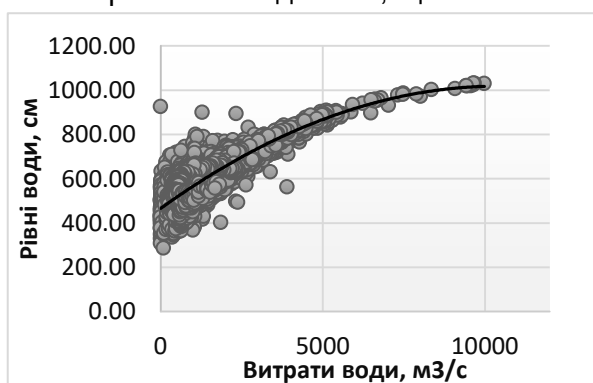
Аналогічні графіки різницевого інтегральних кривих побудовано для мінімальних та максимальних витрат води у нижньому б'єфі Канівської ГЕС. Для максимальних спостерігається дещо схожа ситуація з середніми витратами (рис. 3), а для мінімальних - чітко виділяється цикл. Маловодна фаза має місце до 1996 року після чого спостерігається підйом витрат води, що свідчить про багатоводну фазу [5].

Оцінка змін водного режиму в нижньому б'єфі Канівської ГЕС. За основу досліджень режиму щоденних рівнів та витрат води в нижньому б'єфі Канівської ГЕС взято гідрологічну інформацію за 45 років (1977 – 2021 рр.). Для щоденних рівнів води спостерігається тенденція до зменшення. Середній багаторічний рівень води в умовах зарегулювання становить 80,93 мБС (593 см). Оскільки Канівська ГЕС добового регулювання, то піки рівнів водопілля тут чітко виражені. Також спостерігаються літня та зимова межні. Літня межень припадає на липень - серпень, а зимова на грудень - січень. З 1977 року коливання рівнів води відбуваються в межах від 78,09 мБС до 85,32 мБС (309-1032 см). Слід зауважити, що при рівні 82,40 мБС починається затоплення заплавної території і господарств, які знаходяться нижче за течією. Відповідно до «Положення про порядок складання та доведення попереджень, оповіщень, донесень про виникнення і розвиток гідрологічних явищ різного рівня небезпеки на водних об'єктах суші України», цей рівень відповідає гідрологічному явищу III рівня небезпеки, при якому високі рівні / великі витрати води супроводжуються небезпечним впливом на території, населені пункти, об'єкти господарювання та сектори економіки [11].

Середнє багаторічне значення витрат води в нижньому б'єфі Канівської ГЕС становить 1337 м³/с. Варто звернути увагу, що середня витрата до побудови Канівської ГЕС становила 1520 м³/с [9], що майже на 200 м³/с більше ніж зараз.

Максимальна амплітуда коливань витрат складає 9980 м³/с (це значення зафіксовано в перші роки після побудови водосховища). За досліджуваний період спостерігається зменшення амплітуди коливань рівнів та витрат води, особливо після 2001 р. На даний час це близько 4000 м³/с.

Варто також відмітити, що коливання щоденних рівнів та витрат води є синхронними.



Це підтверджує й коефіцієнт кореляції для вказаних показників, який дорівнює $r=0,82$, відповідно коефіцієнт детермінації $R^2=0,68$, що свідчить про високу апроксимацію зв'язку між рівнями та витратами води у н/б Канівської ГЕС (рис. 4)

Рис. 4. Графік зв'язку між щоденними рівнями та витратами води за період 1977-2017 рр. в нижньому б'єфі Канівської ГЕС

Для того щоб дослідити поведінку випадкових величин, які характеризують водний режим, а саме, щоденних рівнів та витрат води, було сформовано їх генеральні сукупності. Розрахунки велись згідно рекомендацій наведених у методичних вказівках - [7]. Для цього сформовано варіаційні ряди із щоденних рівнів та витрат води, які складаються з 16435 значень.

Ряди спостережень перевірено на однорідність. За статистиками Ст'юдента, Фішера та Вількоксона визначено, що при 5% рівні значимості ні рівні, ні витрати не є однорідними.

Для щоденних значень рівнів води отримано такі значення центрів групування: норма становить 80,93 м БС (593 см); медіана дорівнює 80,86 м БС (586 см), а мода – 81,00 м БС (600 см). При цьому міри розсіювання мають такі значення: амплітуда значень коливається від 78,09 мБС (309 см) до 85,32 м БС (1032 см); середнє квадратичне відхилення дорівнює 0,92 мБС.

Важливою характеристикою багаторічної мінливості рядів спостережень є аналіз та оцінка коефіцієнтів варіації й асиметрії, що приймаються для описування сукупності випадкових величин. Коефіцієнт варіації щоденних рівнів води $C_v = 0,011$, а коефіцієнт асиметрії $C_s = 0,37$.

Для щоденних витрат води центри групування мають такі значення: норма – 1337 м³/с; медіана – 1080 м³/с; мода дорівнює 1050 м³/с. Серед значень параметрів міри варіювання амплітуда коливається в межах 3,00 – 9980 м³/с. Середнє квадратичне відхилення дорівнює 906,3 м³/с. Коефіцієнт варіації щоденних витрат води $C_v = 0,68$, а коефіцієнт асиметрії $C_s = 1,86$.

Середнє значення максимальних рівнів за добу (2005-2021 рр.) в нижньому б'єфі Канівської ГЕС (рис. 5) становить 81,50 м БС (650 см) при найбільшому зафіксованому значенні 84,08 м БС (908 см). За досліджуваний період спостерігається значна тенденція до зменшення цього показника на 24%. Мінімальні добові характеристики рівнів мають дещо менший тренд до зменшення – 5,7% з мінімальним зафіксованим значенням за цей період 78,63 м БС (363 см).

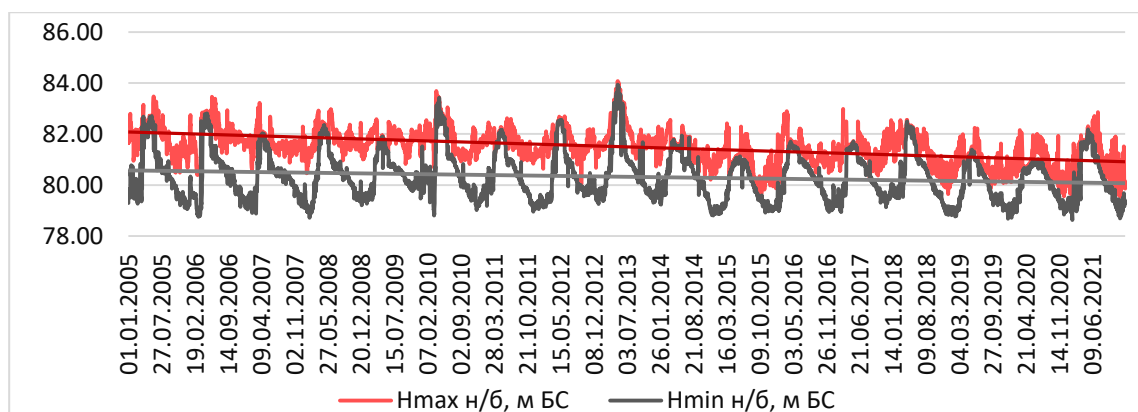


Рис. 5. Максимальні та мінімальні рівні води за добу в нижньому б'єфі Канівської ГЕС (з 2005 р.)

Результати розрахунків середньодобових рівнів та витрат води побудовано графіки емпіричних кривих забезпеченості щоденних рівнів та витрат води (рис. 6).

Відповідно до емпіричних кривих забезпеченості щоденних рівнів води у нижньому б'єфі Канівської ГЕС найбільша кількість випадків припадає на інтервал 80,00 – 83,00 мБС (500-800 см) (ймовірність якого рівняється 90%), в який входить середня арифметична величина, яка дорівнює 80,96 мБС (596 см) (рис.6,а). Решта 10 % ймовірності припадає на максимальні та мінімальні значення рівнів води, які трапляються не так часто. Найбільша кількість випадків абсолютної частоти щоденних рівнів води припадає на інтервал 80,51-80,80 мБС (551-580 см). А відносна накопичена частота цього ж інтервалу дорівнює 67,67%.

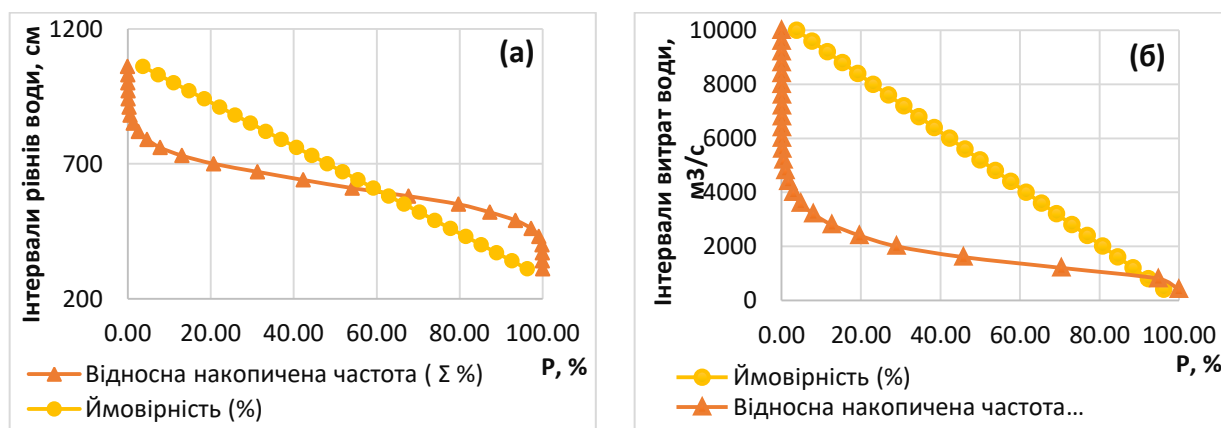


Рис. 6. Емпіричні криві забезпеченості щоденних (а) рівнів та (б) витрат води

Для отримання найбільшого наближення емпіричної оцінки ймовірності перевищення до аналітичного його значення з врахуванням мінливості змінних випадкових величин варіаційного ряду використано формулу Крицького та Менкеля [7].

Емпірична крива забезпеченості щоденних витрат води у нижньому б'єфі Канівської ГЕС має дещо іншу картину розподілу частот, ніж з рівнями води. Найбільша відносна накопичена частота припадає на найменші значення до 3500 м³/с, в ці межі входить норма (1337 м³/с). Лише 3 % ймовірності припадає на всі інші значення до 10000 м³/с. Така картина спостерігається через вплив роботи Канівської ГЕС. Гістограма розподілу щоденних витрат води розрахована за період 1977 – 2021 роки свідчить, що найбільша кількість випадків припадає на інтервал витрат води в межах 401-1200 м³/с з відносною накопиченою частотою 70,42- 94,83% відповідно (рис.6,б).

Значну зміну водності та її вплив на процеси руслоформування в нижньому б'єфі Канівської ГЕС засвідчили графіки взаємозв'язків між рівнями та витратами ($Q = f(H)$) за 45 років її функціонування. Для подальших розрахунків відібрано 15 репрезентативних кривих витрат (рис. 7,а). Слід зазначити, що розташування кривих за періоди 1977-1999 роки та 2000-2021 роки (рис. 7,б;в) істотно різняться між собою. Так у перший період криві мають набагато більші значення витрат води, які сягають 5 000-5500 м³/с, то у другому, не враховуючи 2013 рік з високою водністю, максимальні значення витрат сягають лише 3000 м³/с. Такий перебіг подій обумовлений, перш за все, різними фазами водності у вказані вище часові періоди.

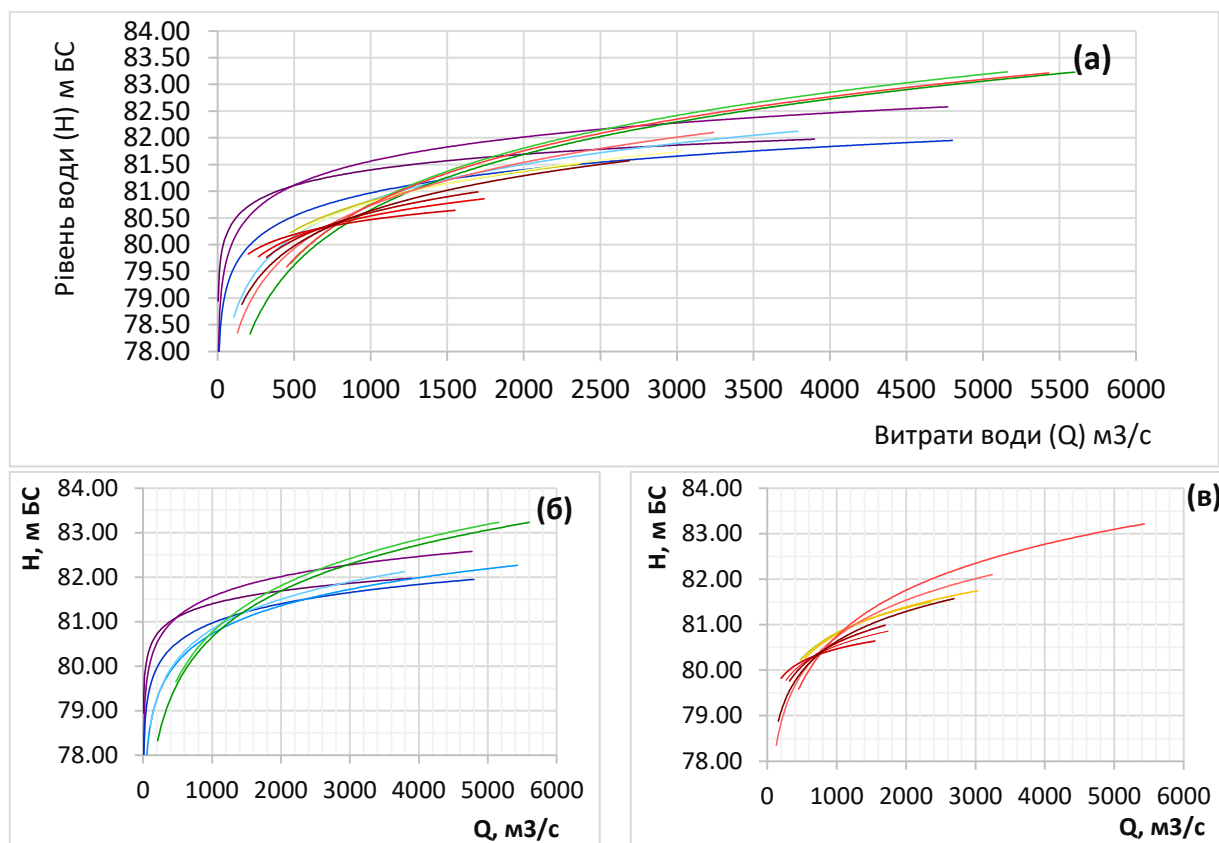


Рис. 7. Криві витрат води $Q = f(H)$ в нижньому б'єфі Канівської ГЕС (а) 1977 – 2021 рр.; (б) 1977 – 1999 рр.; (в) 2000-2021 рр.

Виходячи з вище наведеного слід зазначити, що з 1977 по 2021 роки для витрат до 2500 м³/с зафіксовано значне просідання рівнів води (рис.8) з найбільшим зменшенням на 1,5 м для витрати 500 м³/с та поступовим зменшенням даної величини зі збільшенням витрат води. На відрізку після 3 000 м³/с спостерігається зворотний процес, а саме збільшення рівнів води на 1,4 м на інтервалі витрат 4 500 м³/с. Наведені вище величини витрат води можуть слугувати непоганим орієнтиром початку (3000 м³/с) і закінчення (4500 м³/с) затоплення поверхні заплави в нижньому б'єфі Канівської ГЕС. Якщо порівнювати цей процес за періодами, то основні зміни в просіданні чи піднятті рівнів відносно витрат води відбулись з 1977 по 1999 роки, а за 2000 – 2021 роки значних змін не відбулось (вони не перевищують 0,6 м). Це може засвідчувати той факт, що найбільш інтенсивні зміни в

процесах руслоформування відбуваються саме в період підвищеної водності річки (багатоводна фаза) [13].

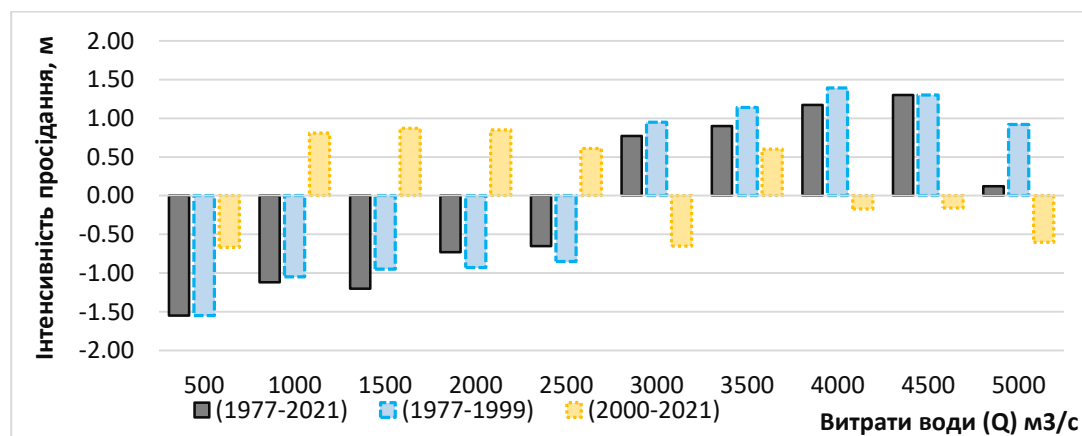


Рис. 8. Інтенсивність змін рівня за кривими витрат води ($Q = f(H)$) по гідропосту Канів

Процеси руслоформування в нижньому б'єфі Канівської ГЕС. Процес руслоформування є багатфакторним, який в основному залежить від природних та антропогенних чинників прояву руслових процесів. Визначальними природними складовими тут є: геолого-геоморфологічна будова, стік води та наносів. Найбільш активним і чинником прямої дії є водний стік, який може бути презентований зокрема, руслоформувальними витратами води (Q_{Φ}) [8]. Розрахунок руслоформувальних витрат проведено за методикою М.І. Маккавеева та доповненою О.Г. Ободовським [13, 14] і представлені на рис.9. На епюрі, побудованій за період 1997-2021 рр. (рис. 9,а) чітко виражений один максимум $1250 \text{ м}^3/\text{с}$ (з ймовірністю перевищення 15%), який знаходиться нижче виходу рівня води на заплаву. Варто зазначити, що руслоформувальна витрата за період 2000-2021 роки змінилась у порівнянні з попереднім періодом (1977-1999 рр.) (рис. 9,б). За цей час її значення склало $750 \text{ м}^3/\text{с}$, що відповідає 50% ймовірності перевищення. Тут слід згадати про добове регулювання Канівської ГЕС, яка працює двома піками витрат: більшим ранковим та меншим вечірнім. Натомість в останні роки цей режим також зазнав певних змін (можливий один невисокий, розтягнутий в часі пік). Це обумовлює зниження абсолютних показників руслоформувальних витрат води, що має суттєвий вплив на прояв руслових процесів.

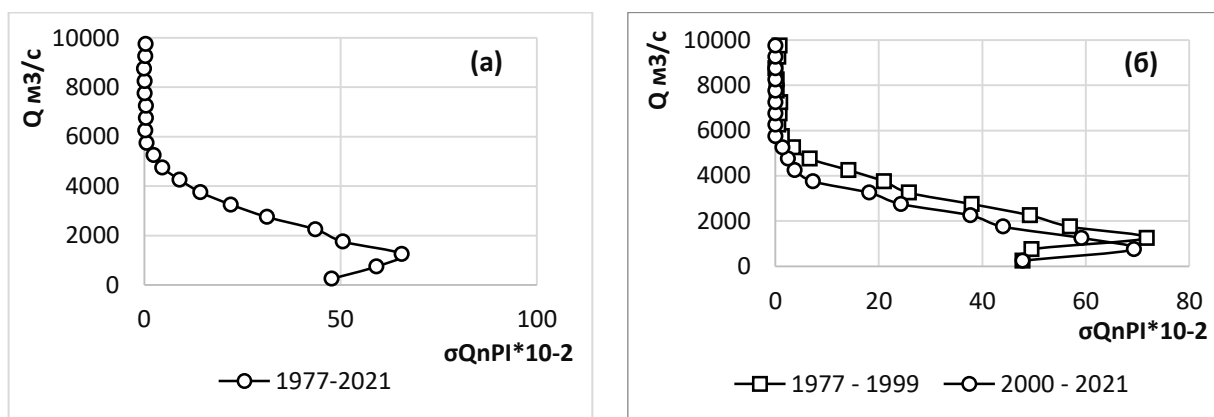


Рис. 9 Епюри руслоформувальних витрат води у нижньому б'єфі Канівської ГЕС: (а) за весь період (1977 – 2021 рр.); (б) 1977 – 1999 рр. та 2000 – 2021 рр.

Порівняння розрахованих руслоформувальних витрат з наведеними у роботі О.Г. Ободовського [14] (рис. 10) до побудови Канівської ГЕС має суттєві відмінності.

Для зіставлення використано епюри Q_{Φ} по гідрологічному посту Київ, який є достатньо репрезентативним для даної ділянки річки Дніпро.

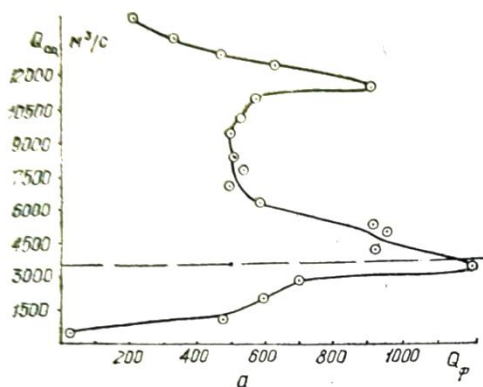


Рис. 10 Епюра руслоформувальних витрат р. Дніпро (гідропост Київ) [14]

руслоформувальних витрат, який спостерігається в сучасних умовах. Це, зокрема, також вказує на значні зміни водного режиму та морфології русла річки до та після її зарегулювання.

Висновки. Встановлено закономірні зміни в часі щоденних рівнів та витрат води. Виявлено, що для рівнів та витрат води лінії геометричного відображення середніх значень зменшуються. За емпіричними кривими забезпеченості щоденних рівнів та витрат води, визначено, що рівні 80,00-83,00 мБС (500 – 800 см) та витрати < 3500 м³/с мають найбільшу ймовірність настання. Встановлено, що ряди є неоднорідними за критеріями Стюдента, Фішера, що свідчить про значну зміну їх водного режиму в умовах зарегулювання стоку води на досліджуваній ділянці Дніпра.

З'ясовано, що характеристики водного режиму в нижньому б'єфі Канівської ГЕС тісно пов'язані з характеристиками Київської ГЕС та гідрологічного поста Літки на р. Десна та виявлено їх тренди до зменшення.

Виділено фази водності для середніх середньорічних рівнів та середніх, максимальних та мінімальних середньорічних витрат води у нижньому б'єфі Канівської ГЕС (1977- 2021 рр.). Засвідчено, що орієнтовно з 2003 року розпочалась маловодна фаза, яка продовжується і до нині.

За кривими витрат води в нижньому б'єфі Канівської ГЕС встановлено тенденції до прояву ерозійних процесів, які чітко можна прослідкувати на зміні рівня води в бік зменшення для витрат до 2 500 м³/с, тобто має місце просідання рівнів при однакових витратах води. Разом з тим відбувається зростання рівнів води для витрат 3 000 м³/с і більших, що є наслідком виходу води на заплаву.

Доказано вплив Канівської ГЕС на зміну руслоформувальних витрат води р. Дніпро, яке проявилось в зміні кількості максимумів на епюрі Q_{ϕ} та значне зменшення величини руслоформувальної витрати води.

Список літератури

1. Вишневецький В.І. Ріка Дніпро : Наукове видання / К.: Інтерпрес ЛТД, 2011 384 с.
2. Водний фонд України: Штучні водойми - водосховища і ставки: Довідник / [В.В. Гребінь, В.К. Хільчевський, В.А. Сташук, О.В. Чунарьов, О.Є. Ярошевич] / За ред. В.К. Хільчевського, В.В. Гребеня. К.: «Інтерпрес ЛТД», 2014. 164 с.
3. Гідрологічне районування України, річка Дніпро. URL: <https://river.land.kiev.ua/dnepr.html#>
4. Іванік О.М., Мєнасова А.Ш., Огієнко О.С., Тустановська Л.В. Перша навчальна геологічна практика. Методична розробка. К.: ВПЦ "Київський університет", 2017. 50 с
5. Куликівська І. М. Оцінка циклічності коливань середньорічних спостережень на Канівській ГЕС /Шевченківська весна-2021: Географія. Київ: Вид-во «Фенікс», 2021. С. 36–38.
6. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Річковий стік та гідрологічні розрахунки» для студентів географічного факультету / Упорядник С.С. Дубняк. Київ.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2006. 37 с.
7. Методичні вказівки до виконання практичних робіт із дисципліни «Математичні методи в гідрометеорології» для студентів географічного факультету / упоряд. О.І. Лук'янець. К.: ВПЦ «Київський університет», 2010. 60 с.

8. *Ободовський О.Г.* Гідролого-екологічна оцінка руслових процесів (на прикладі річок України). К., Ніка-Центр, 2001. 274с.
9. Організація моніторингу гідрологічного режиму і руслових процесів Дніпра в районі Канівського заповідника / *Ободовський О.Г., Гребін В.В.* // Заповідна справа в Україні. 2001. С. 59–64.
10. *Паламарчук М.М., Загорчевна Н.Б.* Водний фонд України: Довідковий посібник. 2-е вид., доп. К.: Ніка-Центр, 2006. 320 с.
11. Положення про порядок складання та доведення попереджень, оповіщень, донесень про виникнення і розвиток гідрологічних явищ різного рівня небезпеки на водних об'єктах суші України. Київ:Український гідрометеорологічний центр, 2020. 27 с.
12. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Черкаській області у 2016 році. Черкаси: Управління екології та природних ресурсів, 2017. 249 с.
13. Руслові процеси: підручник / *О. Г. Ободовський*. Київ: ВПЦ "Київський університет", 2017. 511 с.
14. Руслоформувальні витрати річки Дніпро / *Ободовський О. Г.* // ВПЦ "Київський університет". 1985. С. 49–53

References

1. *Vyshnevskiy V.I.* Rika Dnipro [Dnieper River]: Naukove vydannia / K.: Interpres LTD, 2011 384 s.
2. *Vodnyi fond Ukrainy: Shtuchni vodoimy - vodoskhovyshcha i stavky: Dovidnyk* [Water Fund of Ukraine: Artificial reservoirs - reservoirs and ponds: Handbook] / [V.V. Hrebin, V.K. Khilchevskiy, V.A. Stashuk, O.V. Chunarov, O.Ie Yaroshevych] / Za red. V.K. Khilchevskoho, V.V. Hrebenia. K.: «Interpres LTD», 2014. 164 s.
3. *Hidrolohichne raionuvannia Ukrainy, richka Dnipro* [Hydrological zoning of Ukraine, Dnieper river]. URL: <https://river.land.kiev.ua/dnepr.html#>
4. *Ivanik O.M., Mienasova A.Sh., Ohienko O.S., Tustanovska L.V.* Persha navchalna heolohichna praktyka. Metodychna rozrobka [The first educational geological practice. Methodical development]. K.: VPTs "Kyivskiy universytet", 2017.
5. *Kulykivska I. M.* Otsinka tsyklichnosti kolyvan serednorichnykh sposterezhen na Kanivskii HES [Estimation of cyclical fluctuations of average annual observations at Kaniv HPP] / *Shevchenkivska vesna-2021: Heohrafiia*. Kyiv: Vyd-vo «Feniks», 2021. S. 36–38.
6. *Metodychni vkazivky do vykonannia praktychnykh robot z dystsypliny «Richkovyi stik ta hidrolohichni rozrakhunky» dlia studentiv heohrafichnoho fakultetu* [Methodical instructions for practical work in the discipline "River runoff and hydrological calculations" for students of the Faculty of Geography] / *Uporiadnyk S.S. Dubniak*. Kyiv.: Vydavnycho-polihrafichniy tsentr «Kyivskiy universytet», 2006. 37 s.
7. *Metodychni vkazivky do vykonannia praktychnykh robot iz dystsypliny «Matematychni metody v hidrometeorologii» dlia studentiv heohrafichnoho fakultetu* [Methodical instructions for practical work in the discipline "Mathematical methods in hydrometeorology" for students of the Faculty of Geography] / *uporiad. O.I. Lukianets*. K.: VPTs «Kyivskiy universytet», 2010. 60 s.
8. *Obodovskiy O.H.* Hidroloho-ekolohichna otsinka ruslovykh protsesiv (na prykladi richok Ukrainy) [Hydrological and ecological assessment of channel processes (on the example of rivers of Ukraine)]. K., Nika-Tsentr, 2001. 274 s.
9. *Orhanizatsiia monitorynhu hidrolohichnoho rezhymu i ruslovykh protsesiv Dnipra v raioni Kanivskoho zapovidnyka* [Organization of monitoring of hydrological regime and channel processes of the Dnieper in the area of Kaniv Reserve] / *Obodovskiy O.H., Hrebin V.V.* // *Zapovidna sprava v Ukraini*. 2001. S. 59–64.
10. *Palamarchuk M.M., Zakorchевна N.B.* Vodnyi fond Ukrainy: Dovidkovyi posibnyk [Water Fund of Ukraine: Reference Guide]. 2-e vyd., dop. K.: Nika-Tsentr, 2006. 320 s.
11. *Polozhennia pro poriadok skladannia ta dovedennia poperedzhen, opovishchen, donesen pro vynyknennia i rozvytok hidrolohichnykh yavyshek riznoho rivnia nebezpeky na vodnykh ob'ekтах sushi Ukrainy* [Regulations on the procedure for compiling and proving warnings, notifications, reports on the occurrence and development of hydrological phenomena of different levels of danger on water bodies of the land of Ukraine]. Kyiv: Ukrainskiy hidrometeorolohichniy tsentr, 2020. 27 s.
12. *Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Cherkaskii oblasti u 2016 rotsi* [Regional report on the state of the environment in Cherkasy region in 2016]. Cherkasy: Upravlinnia ekolohii ta pryrodnykh resursiv, 2017. 249 s.
13. *Ruslovi protsesy: pidruchnyk* [Flow processes: textbook] / *O. H. Obodovskiy*. Kyiv: VPTs "Kyivskiy universytet", 2017. 511 s.
14. *Rusloformuvalni vytraty richky Dnipro* [Channel-forming costs of the Dnieper River] / *Obodovskiy O. H.* // VPTs "Kyivskiy universytet". 1985. S. 49–53

Temporal estimation of water regime and channels formation in the lower channel of the Kaniv HPP
Kulykivska I.M., Obodovskyi O.G.

After the construction of the cascade of reservoirs on the Dnieper River, the over-regulation of water runoff caused significant changes in its water regime. In particular, this applies to the Kaniv Hydroelectric power station (HPP), which was the last to be built in the cascade. In addition, the rivers of Ukraine have a low-water phase of the water regime, which leads to a decrease in their runoff. This, in turn, affects the dynamics of channel formation processes. That is why the current assessment of water regime and channel processes in the lower reaches of the Kaniv HPP is important, because they depend on effective water management activities, operation of reservoirs throughout the Dnieper cascade. The dependence of water inflow to Kaniv HPP on discharges from Kyiv HPP and water runoff of the Desna River has been established. The paper analyzes the current changes in the water regime in the lower reaches of the Kaniv HPP and identifies the main factors of runoff formation in the study area. Hydrological information for 45 years (1977 - 2021) is taken as a basis for research of the regime of daily levels and water consumption in the lower reaches of the Kaniv HPP. With the help of statistical analysis, the tendencies to decrease the levels and change of water consumption after the construction of Kaniv HPP were determined. According to the difference integral curves, the cyclicity of water runoff in the lower reaches of the Kaniv HPP was studied and the water phases for average, minimum and maximum water consumption were identified. Graphs of empirical curves of daily supply levels and water consumption are constructed. To obtain the closest approximation of the empirical estimate of the probability of exceeding its analytical value, taking into account the variability of variable random variables of the variational series, the formula of Kritsky and Menkel was used. Water flow curves are constructed and changes in subsidence and rising water levels over different time periods are determined. Significant changes in water content and its impact on the processes of channel formation in the lower reaches of the Kaniv HPP were shown by graphs of relationships between levels and costs for 45 years of its operation. For further calculations, 15 representative curves were selected. The process of channel formation is multifactorial, which mainly depends on natural and anthropogenic factors of channel processes. The calculation of channel formation costs was carried out according to the method of M.I. Makkaveeva and supplemented by O.G. Obodovskyi and set their time dynamics.

Keywords: downstream of Kaniv HPP, water regime, statistical analysis, water level regime, water flow curves, long-term fluctuations of runoff, channel processes, channel-forming water costs..

Надійшла до редколегії 02.05.2022