

УДК 556.047

ОЦІНКА ЗМІН ХАРАКТЕРИСТИК СТОКУ ЛІВОБЕРЕЖНИХ ПРИТОК ВЕРХНЬОГО ДНІСТРА В УМОВАХ ПОТЕПЛІННЯ

С. В. Мельник¹, Н. С. Лобода²

¹ Одеський національний політехнічний університет,
проспект Шевченка, 1, 65044, Одеса, Україна, melnik.s.v@opu.ua

² Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, natalie.loboda@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0794-9951>

Надходження об'ємів води від лівобережних приток Верхнього Дністра є вагомою складовою формування стоку усєї річки. Дослідження змін їх водності в умовах глобального потепління є актуальним і відповідає положенням стратегічної програми в басейні р. Дністер на 2021-2035рр. з питань "пом'якшення наслідків змін клімату" та "просування принципів раціонального використання водних ресурсів".

Метою роботи є дослідження змін кліматичних чинників та характеристик стоку, які відбулися на лівобережжі Верхнього Дністра на початку ХХІ сторіччя.

Дослідження виконано на базі гідрометеорологічних даних за період 1945-2018 рр. Основними методами дослідження є метод регресійного аналізу та різницевих інтегральних кривих.

З'ясовано, що на розглядуваній території відбувається зростання середніх річних температур повітря на фоні незмінних або несуттєво зростаючих сум річних опадів, що забезпечує несприятливі умови формування стоку. Установлено, що у місяці холодного періоду відбувається зростання температур повітря та з 1989 року збільшується частота випадків, коли температура переходить у область додатних значень. 1989 рік є переламним роком у хронологічному ході середніх річних температур повітря; з цього року починається додатна фаза багаторічних коливань. У коливаннях річних сум опадів з середини 60-х років минулого сторіччя до 2013 р. також виділена додатна фаза, у межах якої існував короткий період недостатнього зволоження (1981- 1996 рр.). Виявлено, що реакція характеристик стоку на зміни клімату була неоднаковою. Найбільш чутливим до потепління є максимальний стік весняного водопілля, оскільки за рахунок потепління погіршилися умови накопичення запасів води у сніговому покриві. Перехід коливань максимального стоку у від'ємну фазу відбувся у 1981 році. Середнє багаторічне зменшення максимальних витрат води весняного водопілля за період 1950-2018 рр. становить -16,9 %. На відміну від максимального стоку, характеристики річного і мінімального стоку зимової та літньої межени змінювалися поступово і остаточний перехід у маловодну фазу коливань відбувся лише у 2009-2011 роках. Певну інерцію змін водних ресурсів річок Поділля в умовах потепління забезпечує високий внесок підземної складової у формування річного стоку (60%). Значна частка підземного живлення "пом'якшувала" наслідки втрат поверхневого стоку підчас весняного водопілля. Установлене існування статистично значущих від'ємних трендів у коливаннях річного та мінімального стоку, починаючи з 1998 року. За умови збереження установлених тенденції кліматичних змін приплив води від річок Поділля до головної річки Дністер буде зменшуватися.

Ключові слова: лівобережжя Верхнього Дністра; зміни клімату; зміни характеристик річного, максимального та мінімального стоку

1. ВСТУП

Проблема, розглянута у статті, полягає у перспективі зменшення водних ресурсів України внаслідок глобального потепління та змін регіонального клімату [1]. Річка Дністер є основним джерелом прісних вод, яке забезпечує населення і економіку республіки Молдова та територію

західної і південно-західної України [2]. Зона формування стоку р. Дністер знаходиться у верхній частині водозбору (Карпати та Волино-Подільська височина). Від водності цієї частини залежить стік усєї річки. Поряд із гірськими притоками, які забезпечують майже 50 % річного об'єму стоку Дністра, внесок лівобережних

(Подільських) приток становить близько 30 % [3]. Частина стоку, яка надходить від нижче розташованих приток (як лівобережних, так і правобережних) у формуванні стоку Дністра не є суттєвою. У зв'язку із цим дослідження змін водності лівобережних приток верхньої частини Дністра, які відбуваються у першій половині XXI сторіччя внаслідок змін клімату, є актуальним і відповідає положенням стратегічної програми в басейні р. Дністер на 2021-2035 рр. з питань “пом'якшення наслідків змін клімату” та “просування принципів раціонального використання водних ресурсів” [4].

Метою роботи є дослідження змін кліматичних чинників та характеристик стоку, які відбулися на лівобережжі Дністра на початку XXI сторіччя.

2. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Детальний розгляд кліматичних умов формування максимального стоку весняного водопілля в басейні Дністра та розроблення методики розрахунків характеристик максимального стоку за метеорологічними даними представлені в монографії Овчарук В.А., Гопченка Є.Д. та Траскової А.В. [5], де відзначене існування від'ємних трендів у хронологічному ході (1945-2010 рр.) максимальних витрат води. За даними Л.О. Горбачової [6] лівобережні Подільські притоки Дністра за внутрішньорічним розподілом віднесені до Дністерсько-Бузького району, де у весняний сезон (III-V) формується основна частина стоку річок. У роботі В.В. Гребіня [7] наведені дані про вирівнювання внутрішньорічного розподілу стоку, коли частка снігового живлення зменшується, а підземного зростає. Дослідження Ж.Р. Шакірманової в області умов формування максимального стоку весняних водопілля рівнинних річок [8] показали, що “високий весняний стік формується у роки з холодними зимами при значному і стабільному снігонакопиченні, малій водопоглинальній спроможності ґрунтів та інтенсивному сніготаненні... “. Аналіз коливань середньорічного, максимального та мінімального стоку річок басейну Дністра, виконаний К.І. Мудрою [9], дозволив зробити висновки про формування маловодної фази коливань на річках басейну. У попередніх публікаціях авторів представленої статті проблема змін водності річок Поділля розглядалася з точки зору формування наносів [10, 11]. Основна увага була приділена змінам характеристик максимального стоку, оскільки саме він визначає інтенсивність змиву

ґрунтів з поверхні водозбору підчас паводків та водопілля [12]. Пошук трендів у коливаннях місячних та сезонних максимумів стоку показав відсутність певних тенденцій до їх зменшення або зростання на початку XXI сторіччя [13].

Вплив кліматичних чинників на формування стоку рівнинних річок Волино-Подільської височини в літературі освітлений слабо. Однозначної думки з питання сучасних тенденцій змін водного режиму річок басейну Дністра не існує. З'ясування цього питання вимагає постійного оновлення вихідних гідрометеорологічних даних з врахуванням поточних змін клімату і характеристик водного режиму річок.

Представлена стаття присвячена визначенню основних тенденцій у змінах характеристик водного режиму Подільських приток Дністра на базі сучасних гідрометеорологічних даних.

3. ОПИС РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ

У роботі розглянуті лівобережні притоки (від Верещиці до Мурафи) річки Дністер, які беруть початок з Волино-Подільської височини. Більшість річок сформувалася підчас танення давніх льодовиків. Талі води промили собі дорогу вздовж лінії глибинних розломів (річки Золота Липа, Серет, Збруч та інші). Річкові долини звужені, глибоко врізані, каньйоноподібні, часто мають заболочені заплави та надзаплавні тераси. Межиріччя переважно пласкі. Підняті ділянки височин складаються з неогенових вапняків [14]. Глибина ерозійного врізу досягає 200-250 м. Леси та лесоподібні відклади служили основою для розвитку чорноземних ґрунтів. Карстовий рельєф представлений карстовими формами – печерами, прокладеними підземними водами.

Розглядувані річки (крім Серета і Збруча) відносяться до малих, площа яких менша 2000 км². Річний стік характеризується високою часткою підземного стоку (до 60%). За даними роботи А.М. Бефані та О.М. Мельничука [15] поверхнева складова сумарного стоку річок у середині минулого сторіччя становила 100-45 мм, зменшуючись у напрямі з північного заходу на південний схід. Підземна складова змінювалася від 130 мм до 50 мм, відповідно. Значна доля підземного стоку забезпечувала високу водність річок у період межені. Внутрішньорічний розподіл характеризується рівномірністю для літнього, осіннього та зимового сезонів (близько 20 % від річного). У середньому на весняний сезон припадає 38 % для Бузько-Дністровської ландшафтно-гідрологічної провінції та до 42 % для Дністровсько-

Дніпровської [7]. У напрямку із північного заходу до південного сходу внесок сезону «весна» у сумарний стік зростає, а частка підземного стоку зменшується. Саме весняний сезон найбільше підлягає впливу змін клімату через зростання температур повітря холодного періоду [13]. Вплив потепління у зимовий сезон на накопичення запасів води у сніговому покриві і формування максимумів весняного водопілля буде суттєвим лише за умови переходу середньомісячної температури повітря у область додатних значень через нуль градусів Цельсію. Якщо ж підвищення температур буде знаходитися у області її від'ємних значень, то наслідки потепління можуть не бути суттєвими. Саме через цю особливість формування стоку річок Поділля різні автори відзначають слабкий відгук їх водних ресурсів на зміни клімату.

4. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У роботі використані матеріали гідрометеорологічних спостережень лівобережної частини Дністра, наданих Центральною Геофізичною Обсерваторією (імені Бориса Срезневського). Основні метеорологічні характеристики розглянуті по метеостанціям Тернопіль та Кам'янець-Подільський. Дані метеостанції Львів використані як додаткова інформація.

Основними методами досліджень є метод регресійного аналізу [16] та різницевої інтегральних кривих. Дані метеорологічних спостережень розглянуті до 2019 року включно, дані гідрологічних спостережень до 2018 р. включно.

За допомогою регресійного аналізу визначалися тенденції змін гідрометеорологічних характеристик та установлювалася статистична значущість коефіцієнтів отриманих регресійних рівнянь та коефіцієнтів кореляції з використанням критерію Стюдента. Значення статистики t визначається за вибірковими оцінками коефіцієнтів регресії і коефіцієнта кореляції (загальне позначення A), віднесеними до середньої квадратичної похибки σ_A їх визначення за вибірковими даними

$$t = \frac{|A_{xy}|}{\sigma_A} \quad (1)$$

і порівнюється з критичним значенням $t_{кр}$, котре залежить від числа ступенів свободи

$\nu = n - 1$, де n - довжина ряду спостережень й рівня значущості q .

Коли $t < t_{кр}$ нульова гіпотеза приймається, а коли $t > t_{кр}$ - відхиляється, тобто досліджуваний коефіцієнт визнається статистично значущим.

З метою оцінки просторово-часових коливань характеристик стоку та кліматичних чинників його формування, а також виділення додатних і від'ємних фаз їх коливань були побудовані графіки різницевої інтегральних кривих. Такі графічні побудови широко використовують для установлення довготривалих циклів, виявлення синхронності у коливаннях гідрометеорологічних характеристик [17]. Ординати $f(t)$ цієї кривої є накопиченими у часі послідовними сумами відносних значень (модульних коефіцієнтів) досліджуваної величини від одиниці

$$f(t) = \sum_{t=1}^T (k(t) - 1), \quad (2)$$

де T - кількість років спостережень, $k(t) = Q(t)/Q_{сер}$ - модульний коефіцієнт; $Q(t)$ - значення досліджуваної характеристики у момент часу t , $Q_{сер}$ - середнє значення досліджуваної характеристики за весь період спостережень. Слід зазначити, що середнє арифметичне значення модульного коефіцієнта завжди дорівнює одиниці $k_{сер} = 1$.

Період часу, для якого ділянка інтегральної кривої має нахил вгору по відношенню до горизонтальної лінії (осі абсцис) відповідає позитивній (додатній) фазі коливань гідрометеорологічної характеристики. Період часу, для якого ділянка інтегральної кривої має нахил униз по відношенню до горизонтальної лінії відповідає від'ємній фазі.

5. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналіз довготривалих рядів середньорічних температур повітря і річних сум опадів на метеостанції Тернопіль показав існування статистично значущого додатного тренду у коливаннях температур повітря (рис. 1) і відсутність будь-яких тенденцій у коливаннях опадів (рис. 2). Перевірка статистичної значущості тенденцій за антропогенний період (1945-2019 рр.) показала (табл. 1), що додатні тренди в коливаннях температур повітря є статистично значущими. В коливаннях опадів виявлені тенденції є статистично незначущими.

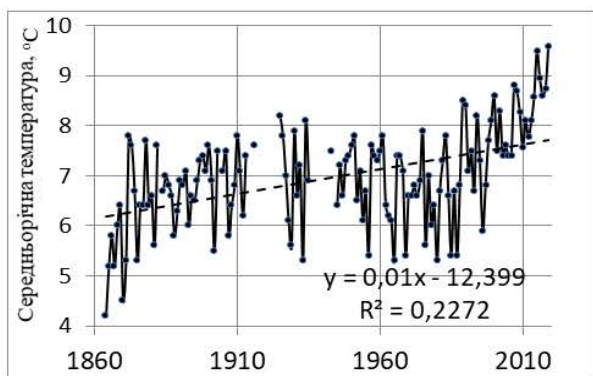


Рис. 1 - Хронологічний хід середніх річних температур повітря, метеостанція м.Тернопіль

Fig. 1 -- Annual air temperature time series, meteorological station in Ternopil

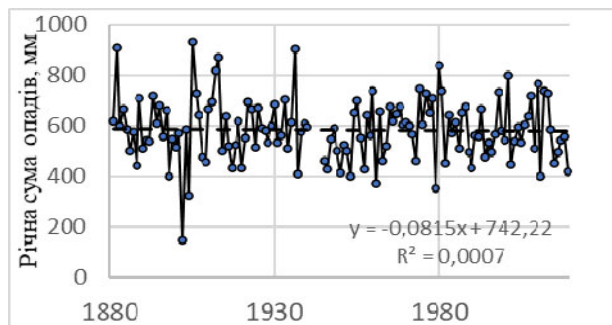


Рис. 2 - Хронологічний хід річних сум опадів по метеостанції м. Тернопіль

Fig 2 - Annual precipitation time series, meteorological station in Ternopil

На різницевих інтегральних кривих (рис. 3) у коливаннях середніх річних температур повітря виділяється один цикл із точкою перегину у 1988 році, що відповідає висновкам В.В. Гребіня [18] про стійкий перехід у додатну фазу середніх річних температур повітря рівнинної України, починаючи з 1989 р.

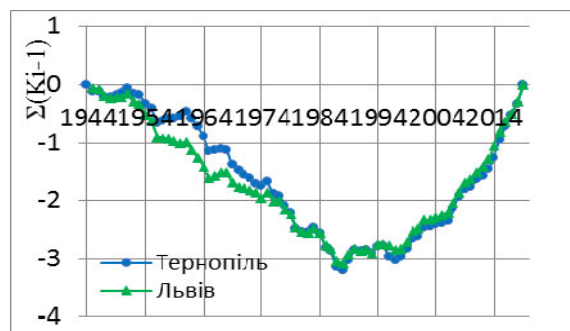


Рис. 3 - Різницева інтегральна крива середньої річної температури повітря по метеостанціям м. Львів і м. Тернопіль

Fig. 3 – Residual mass curve of average annual air temperature on meteorological stations in Lviv and Ternopil

Підчас розгляду середніх місячних температур повітря зимового сезону (XII-II) встановлено зростання кількості випадків переходу температури через нуль градусів Цельсія у область додатних значень після 1989 р., що особливо яскраво проявилось у лютому місяці (рис. 4). Якщо до 1989 р. такий перехід спостерігався лише 1 раз, то після 1989 р. – 9 разів.

Таблиця 1 - Рівняння регресії, які описують зміни у часі метеорологічних характеристик за період 1945-2019 рр. та оцінка статистичної значущості коефіцієнтів кореляції (для всіх випадків $t_{кр}=2,00$)

Table 1 - Regression equations, describing changes in meteorological characteristics for the period 1945-2019, and assessment of statistical significance of the correlation coefficient (for all cases $t_{cr}=2.00$)

Метеостанція	Вид рівняння регресії	Коефіцієнт кореляції	Середня квадратична похибка визначення коефіцієнта кореляції	статистика Стьюдента (t)	Висновок щодо існування тренду
Рівняння для сум річних опадів					
Тернопіль	$y=0,486x-387$	0,096	0.115	0,82	Не значущий
Львів	$y= 1,81x-2859$	0,319	0.110	2,87	Значущий
Кам'янець-Подільський	$y=1,17x-1727$	0,220	0,111	1,93	Не значущий
Рівняння для середньорічних температур повітря					
Тернопіль	$y= 0,025x-42,3$	0,545	0.082	5,55	Значущий
Львів	$y= 0,0274x-46,6$	0,632	0.070	6,97	Значущий
Кам'янець-Подільський	$y=0,0303x-51,8$	0,605	0,073	6,40	Значущий

Аналіз різницевої інтегральної кривої середніх сум опадів (рис. 5) за період 1945-2019 рр. показав існування тривалої додатної фази в їх коливаннях, яка розпочалася з середини 60-років минулого сторіччя. За даними метеостанції Львів ця фаза триває. За даними метеостанції Кам'янець-Подільський та Тернопіль додатна фаза закінчилася у 2013 році. На фоні цієї додатної фази можна виділити період недостатнього зволоження, який тривав з 1982 року до середини 90-х.

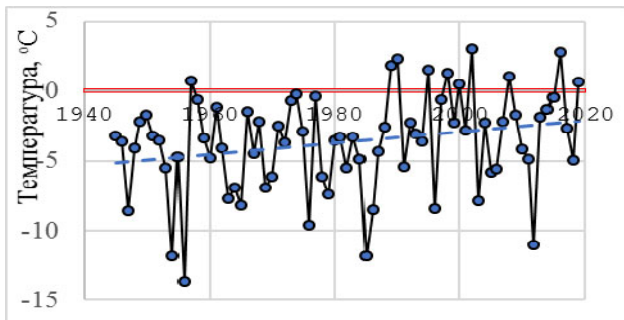


Рис. 4 - Багаторічні коливання середньої за лютий місяць температури повітря та лінійний тренд, метеостанція Тернопіль

Fig. 4 - Long-term fluctuations in the average air temperature and the linear trend for February, meteorological station in Ternopil

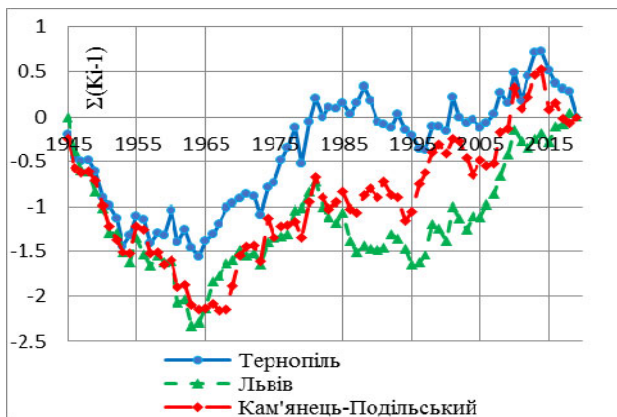


Рис. 5 - Різницеві інтегральні криві річних сум опадів по метеостанціям

Fig. 5 - Residual mass curve of annual precipitation by meteorological stations

Головні особливості багаторічних коливань річних сум опадів повторюються у різницевої інтегральних кривих річного стоку (рис.6). Однак, вплив змін температурного режиму на формування стоку обумовив деякі відмінності. Перехід коливань річного стоку у багатоводну фазу

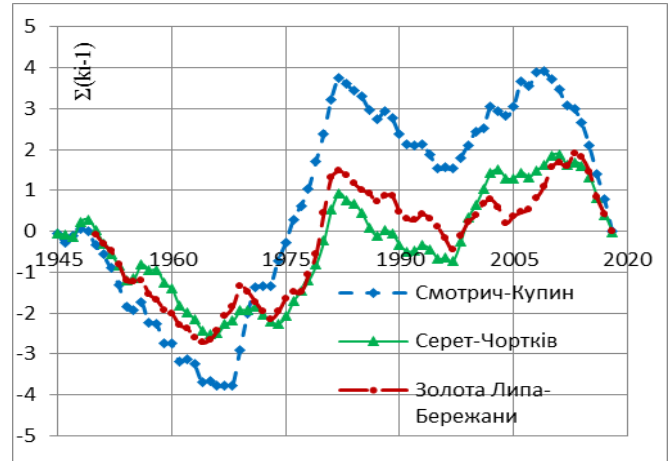


Рис. 6 - Різницеві інтегральні криві річного стоку на річках Смотрич, Серет та Золота Липа

Fig. 6 - Residual mass curve annual flow on the rivers Smotrich, Seret and Zolota Lipa

відбувся у 60-ті роки минулого сторіччя, що відповідає коливанням опадів. Однак виявлене для опадів маловіддя у період 1982-1997 рр. у коливаннях річного стоку виражене набагато сильніше ніж в опадах. Кінець багатоводної фази наступив раніше ніж в опадах. Точка перегину і перехід після багатовіддя у маловодну фазу відбувся раніше - у 2009-2010 роках.

Вид різницевої інтегральної кривої мінімального стоку літньої межні (рис. 7) повторює хід відповідної кривої річного стоку. Для зимової межні початок додатної фази настав дещо пізніше ніж для річного - у 70-х роках минулого сторіччя). Як і у коливаннях річного стоку перехід коливань характеристик мінімального стоку у маловодну фазу відбувся у 2010-2011 роках.

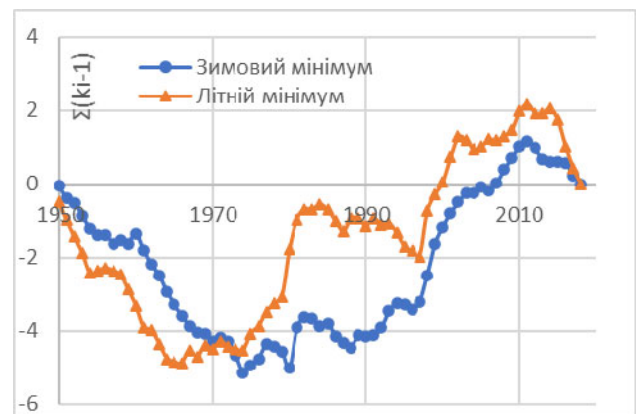


Рис. 7 - Різницеві інтегральні криві літніх і зимових мінімальних середньомісячних витрат, р. Серет-м.Чортків

Fig. 7 - The residual mass curves of the summer and winter minimum average monthly discharges in Seret (Chortkiv site)

Що стосується змін максимального стоку річок Поділля, то авторами у роботі [19] показано, що перехід у від'ємну фазу коливань цієї важливої характеристики відбувся набагато раніше, ще у 1981 році, і продовжується до сьогодні (рис. 8).

Аналіз хронологічних графіків показав, що у ході характеристик річного та мінімального стоку виділяється статистично значущий тренд, починаючи з 1998 року (рис. 9, 10, 11). У хронологічному ході добових максимумів весняного водопілля відзначається їх зменшення з початку 80-х років минулого століття (рис. 12, табл. 2).

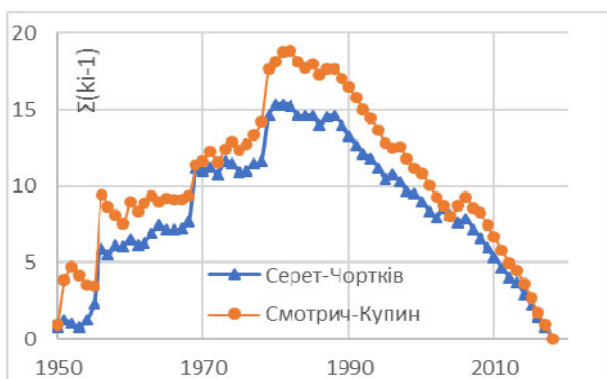


Рис. 8 - Різницеві інтегральні криві максимальних витрат
Fig. 8 - Residual mass curves of the maximum river discharge

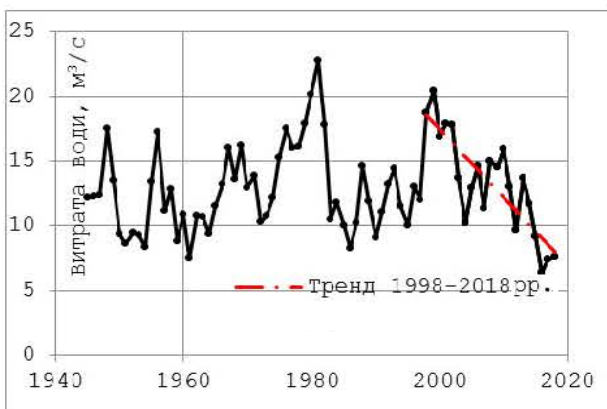


Рис. 9 - Багаторічні коливання річного стоку та лінійний убутний тренд (1998-2018) р. Серет-м. Чортків

Fig. 9 - Long-term fluctuations of the annual runoff discharges and the declining linear trend (1998-2018) in Seret (Chortkiv site)

6. ОБГОВОРЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

У роботі В.В. Гребіня [20], присвяченій оцінці змін стоку води і наносів лівобережних приток Дністра у період 1983-2000 рр., зроблений висновок про “зменшення частки весняного стоку води і наносів при збільшенні частки стоку

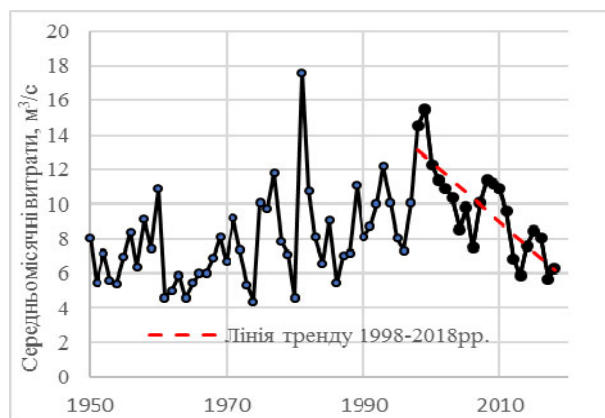


Рис. 10 - Багаторічні коливання мінімальних зимових середньомісячних витрат та убутний лінійний тренд (1998-2018), р. Серет- м.Чортків

Fig. 10 - Long-term fluctuations of the the minimum winter average monthly discharges and the declining linear trend (1998-2018) in Seret (Chortkiv site)

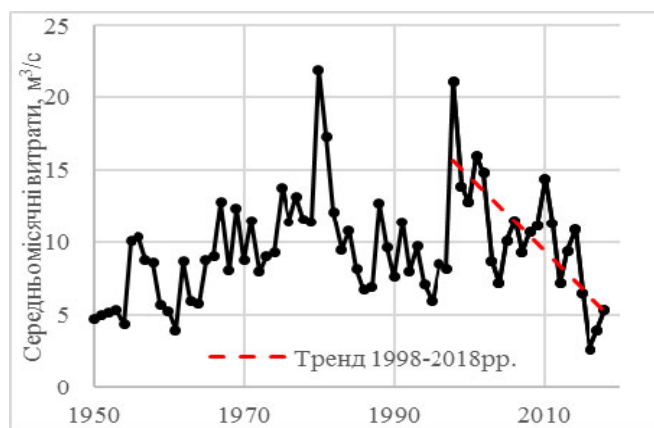


Рис. 11 – Багаторічні коливання мінімальних літніх середньомісячних витрат та лінійний убутний тренд, р. Серет-Чортків

Fig. 11 - Long-term fluctuations of the minimum summer average monthly discharges and the declining linear trend (1998-2018) in Seret (Chortkiv site)

у всі інші сезони року, що супроводжується зростанням мінімального стоку”.

Аналіз рядів характеристик стоку за період спостережень, продовжений на 18 років (до 2018 р.) показав, що виявлені тенденції продовжуються для річного і максимального стоку. Що стосується мінімального стоку, то з кінця 90-х почалося його зменшення, що може бути обумовлено зниженням рівнів підземних вод в результаті потепління.

Оцінка змін кліматичних чинників формування стоку лівобережного Дністра, виконана за даними спостережень, підтверджує прогнози змін середніх річних температур повітря та річ-

Таблиця 2 – Динаміка змін щорічних максимальних витрат весняного водопілля, розглянута по десятирічках, р. Серет-м. Чортків

Table 2 - Dynamics of changes in mean spring flood discharges per decade (%) in Seret (Chortkiv site)

Десятиріччя	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	2011-2018
Осереднені по десятирічках максимальні щорічні витрати весняного водопілля, м ³ /с	106	98	97	54	38,4	43,3	22,4
Зміни максимальних витрат, %		-8,23	-1,25	-44,1	-29,6	12,8	-48,3
Середня зміна за десятиріччя, %	-16,9						

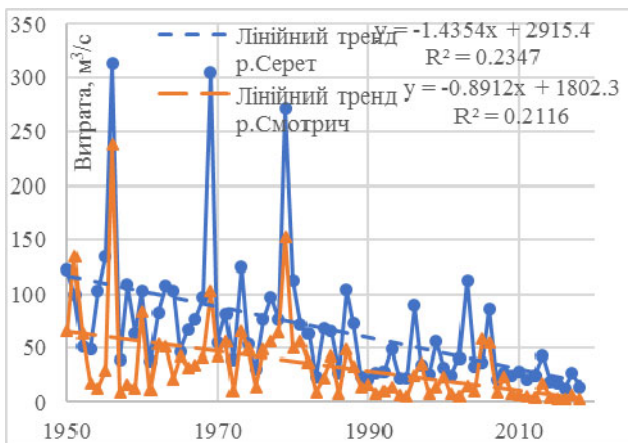


Рис.12 - Багаторічні коливання максимальних витрат весняного водопілля р. Серет-м.Чортків, р.Смотрич-с.Купин

Fig. 12 - Long-term fluctuations of the maximum discharge of the spring flood and the declining linear trends in the Seret-Chortkiv and Smotrych-Kupin rivers

них сум опадів, наданих для періоду 2001-2040 рр. за моделлю WaterGap2 за даними сценарію RCP8.5 у роботі [21]. У цій роботі відзначається, що підвищення температури повітря на фоні невеликого зменшення та помірного збільшення опадів (від -5 до +10 %) призведе до зменшення максимального стоку річок у період весняного водопілля.

У роботі авторів ЄС [22] досліджувана територія також віднесена до таких, де спостерігається стійка тенденція до зменшення максимального стоку зимового сезону. Кількісна характеристика змін максимального стоку по десятиріччя надана в роботі [23], де зазначається, що на досліджуваній території зменшення максимального стоку у середньому становить “мінус” 10-15 % на десятиріччя, якщо розглядати період 1960-2010 рр. Згідно із нашими результатами зменшення максимального стоку за десятиріччя складає мінус 16,9% при розгляді багаторічного періоду 1951-2018рр. (табл.2). Що стосується інших характеристик стоку (річний, мінімальний

зимовий та літній), то до 2010 року їх приріст по десятиріччя є позитивним і лише з 2011 року набуває від’ємних значень.

7. ВИСНОВКИ

Установлено, що характер коливань річного стоку річок Поділля у минулому сторіччі визначався, головним чином, загальним зволоженням території: коливання річних сум опадів відбувалися синфазно. Роль термічного режиму у формуванні стоку через його інертність залишалася майже незмінною.

На початку ХХІ сторіччя внаслідок впливу потепління зросла роль температур повітря як одного з головних кліматичних чинників формування стоку. Особливо впливовим є зростання температур повітря зимового гідрологічного сезону, яке супроводжується їх переходом через нуль градусів Цельсію у область додатних значень. Ця обставина призводить до зменшення глибини промерзання ґрунтів, зменшення запасів води у сніговому покриві перед початком весняного водопілля, сприяє формуванню зимових паводків, що негативно впливає на максимальний стік весняного водопілля. Зростання температури повітря у інші сезони року обумовлює збільшення втрат на випаровування і виснаження запасів підземних вод.

Зміни клімату на території лівобережних приток Дністра на початку ХХІ сторіччя проявляються у виді зростання температур повітря (починаючи з 1989 року) та статистично незначущому збільшенні річних опадів. У зимові місяці (насамперед, лютому місяці), починаючи з 1989року, збільшилася кількість випадків переходу температури повітря через нуль градусів Цельсію.

Результатом кліматичних змін стало зменшення річного, мінімального та максимального стоку досліджуваних річок. Негативна реакція водозборів на потепління почала проявлятися

з 1998 року, починаючи з якого у хронологічному ході річного, мінімального зимового та мінімального літнього стоку виявився статистично значущий від'ємний тренд. Перехід у маловодну фазу коливань цих характеристик відбувся у 2009 – 2010 рр.

Що стосується коливань максимального стоку весняного водопілля, то статистично значущий від'ємний тренд сформувався ще з 1981 року. Наприклад, за даними р. Серет – м. Чортків середнє багаторічне зменшення витрат весняного водопілля за кожне десятиріччя періоду 1950-2018 рр. становить “мінус” 16,9 %.

Значний внесок підземного стоку з водозборів розглядуваної території забезпечував стабільність характеристик річного та мінімального стоку. Із зростанням посушливості клімату ці характеристики водності почали зменшуватись.

За умови збереження установлених тенденцій кліматичних змін приплив води від річок Поділля до головної річки Дністер буде зменшуватися.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату: колективна монографія / Одеський державний екологічний ун-т; за ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. Одеса : ТЕС, 2018. 548 с.
- Bo Libert. Joint and coordinated monitoring of transboundary rivers, frameworks, opportunities and bottlenecks – the example of the Dniester River. *Hydropower Impact on River Ecosystem Functioning. Proceeding of the International Conference. Eco-Tiraspol*. International Association of River Keepers, Tiraspol, Moldova, October 8-9, 2019. Pp. 212-216.
- Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України / Хільчевський В. К., Гончар О. М., Забокрицька М. Р. та інш. Київ : Нікацентр, 2013, 256 с.
- Strategic Action Programme for the Dniester River Basin 2021-2035. Chisinau – Kyiv, 2021. 68 p. Стратегическая программа действий для бассейна р.Днестр. Кишинев - Киев, 2020. URL: <https://dniester-commission.com/novosti/podpisano-sovmestnoe-zayavlenie-o-strategicheskoy-programme-dejstvii-pobassejnu-reaki-dnestr-na-2021-2035-gg> (дата обращения: 21.04.2021)
- Овчарук В. А., Гопченко С. Д., Траскова А. В. Нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні річки Дністер. Харків : ФОП Панов, 2017. 252 с.
- Горбачова Л. О. Сучасний внутрішньорічний розподіл стоку річок України. *Український географічний журнал*. 2015. №3. С. 16-23.
- Гребінь В. В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) : монографія. Київ : Ніка-центр, 2010. 316 с.
- Шакирзанова Ж. Р. Довгострокові прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок та естуаріїв території України. Одеса : ФОП Бондаренко М.О., 2015. 252 с.
- Мудра К. В. Аналіз багаторічної динаміки коливань стоку Дністра та його приток. *Фізична географія та геоморфологія*. 2018. Вип.3(91). С. 15-20.
- Мельник С. В., Лобода Н. С. Разработка методики расчета стока наносов верхнего и среднего Днестра. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2016. №18. С. 121- 131. <https://doi.org/10.31481/uhmj.18.2016.14>
- Мельник С. В., Лобода Н. С. Сток наносов Днестра в условиях измененной климата. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. №3 (54). С.63-64.
- Мельник С. В., Лобода Н. С. Динамика наносов верхнего и среднего Днестра в условиях антропогенной нагрузки и изменения климата : монографія. Одесса : ТЭС, 2019. 294 с.
- Melnyk S., Loboda N. Trends in monthly, seasonal and annual fluctuations in flood peaks for upper Dniester River. *Meteorology, Hydrology and Water Management*. 2020. 8 (2). Pp. 28-36. <http://doi.org/10.26491/mh/126705MHW-00136-2020-03>.
- Камзіст Ж. С., Шевченко О. Л. Гідрогіологія України : навчальний посібник. Київ : Інкос, 2009. 612 с.
- Бефани А. Н., Мельничук О. Н. Расчет нормы стока временных водотоков и горных рек Украинских Карпат. *Труды УкрНИГМИ*. 1967. Вып. 69. С. 105-131.
- Лобода Н. С. Методи статистичного аналізу у гідрологічних розрахунках і прогнозах : навчальний посібник. Одеса : Екологія, 2010. 184 с.
- Tetiana Zabolotnia, Liudmyla Gorbachova, Borys Khrystiuk. Estimation of the long-term cyclical fluctuations of snow-rain floods in the Danube basin within Ukraine. *Meteorology Hydrology and Water Management*. 2019. 7 (2). Pp. 3-12.
- Гребінь В. В. Географо-гідрологічний аналіз як метод досліджень сучасних змін водного режиму річок. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2006. Т. 9. С. 17–30.
- Melnyk S., Loboda N. Maximum flow of rivers of the Ukrainian Carpathians (in the upper Dniester) in the climate change conditions. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*. 2018. 10(3). Pp.357-375. URL: <http://jfas.info/psjfas/index.php/jfas/article/view/2557> (Accessed: 21.04.2021).
- Гребінь В. В. Внутрірічний розподіл стоку води і наносів лівобережних приток Дністра та його сучасні зміни. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2005. Т.7. С. 133-143.
- Climate change impact on water availability of main water rivers basins in Ukraine / Didovets I. et al. *Journal of Hydrology. Regional studies*. 2020. 32. Article100761.
- Understanding flood regime changes in Europe: a state-of-the-art assessment / Hall J., Arheimer B., Borga M. et al. *Hydrol. Earth Syst. Sci*. 2014. 18. Pp. 2735–2772. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-18-2735-2014>.
- Changing climate both increases and decreases European river floods / Blöschl G., Hall J., Viglione A. et al. *Nature*. 2019. 573. Pp. 108–111. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6>

REFERENCES

- Stepanenko, S.M. & Polovyi, A.M. (eds). (2018). Klimatychni ryzyky funkcionuvannya haluzei ekonomiky Ukrainy v umovakh zminy klimatu [Climatic risks of functioning of branches of economy of Ukraine in the conditions of climate change]. Odessa: TES Publ. (in Ukr.)

2. Bo Libert. (2019). Joint and coordinated monitoring of transboundary rivers, frameworks, opportunities and bottlenecks – the example of the Dniester river. *Hydropower Impact on River Ecosystem Functioning. Proceeding of the International Conference*. Eco-TirasP. International Association of River Keepers, Tiraspol, Moldova, October 8-9, pp. 212-216.
3. Khilchevskiy, V.K., Honchar, O.M., Zabokrytska, M.R. et al. (2013). *Hidrokhimichniy rezhym ta yakist poverkhnevnykh vod baseinu Dnistra na terytorii Ukrainy [Hydrochemical regime and surface water quality of the Dniester basin on the territory of Ukraine]*. Kyiv: Nikatsentr, Publ. (in Ukr.)
4. Strategic action programme for the Dniester River basin 2021-2035. (2021). Chisinau - Kyiv. Strategicheskaya programa deystviy dlya baseyna r. Dnestr. Kishinev. Kiev, 2020. Available at: <https://dniester-commission.com/novosti/podpisano-sovmestnoe-zayavlenie-o-strategicheskoy-programme-dejstviy-po-bassejnu-reki-dnestr-na-2021-2035-gg>, (Accessed: 21.04.2021). (in Russ.)
5. Ovcharuk, V.A., Hopchenko, Ye.D. & Traskova, A.V. (2017). *Normuvannya kharakterystyk maksimalnogo stoku vesnianoho vodopillia v baseini richky Dnister [Rationing of the characteristics of the maximum runoff the spring flood in the Dniester River basin]* Kharkiv: FOP Panov Publ. (in Ukr.)
6. Horbachova, L.O. (2015). Suchasnyi vnutrishnorichniy rozpodil stoku richok Ukrainy. [Modern annual distributing of discharge rivers of Ukraine] *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal [Ukrainian geographical magazine]*, 2015, 3, pp. 16-23. (in Ukr.)
7. Hrebin, V.V. (2010). *Suchasnyi vodnyi rezhym richok Ukrainy (landshaftno-hidrolohichnyi analiz) [Modern water regime of rivers of Ukraine (landscape-hydrological analysis)]*. Kyiv: Nika-tsentr Publ. (in Ukr.)
8. Shakirzanova, Zh.R. (2015). *Dovhostrokoviy prohozuvannya kharakterystyk maksimalnogo stoku vesnianoho vodopillia rivnynykh richok ta estuariiv terytorii Ukrainy. [Long-term prognostications of descriptions of maximal discharge of spring tide of the flat rivers and estuaries of territory of Ukraine]* Odesa: FOP Bondarenko Publ. (in Ukr.)
9. Mudra, K.V. (2018). Analiz bahatorichnoi dynamiky kolyvan stoku Dnistra ta yoho pryток. [Analysis of long-term dynamics of vibrations of discharge of Dnestr and its influxes]. *Fizychna heohrafiya ta heomorfolohiia [Physical geography and geomorphology]*, 3(91), pp. 15-20. (in Ukr.)
10. Melnyk, S.V. & Loboda, N.S. (2016). Razrabotka metodiki rascheta stoka nanosov verkhnego y srednego Dnestra [Development of a methodology for calculating the sediment runoff of the upper and middle Dniester]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*, №18, pp.121-131. (in Russ.) <https://doi.org/10.31481/uhmj.18.2016.14>
11. Melnyk, S.V. & Loboda, N.S. (2019). Stok nanosov Dnestra v usloviyakh izmeneniy klimata [Dniester sediment runoff under climate change conditions]. *Hidrolohiia, hidrokimiia i hidroekolohiia. [Hydrology, hydrochemistry and hydroecology]*, 3 (54), pp.63-64. (in Russ.)
12. Melnyk, S.V. & Loboda, N.S. (2019). *Dinamika nanosov verkhnego i srednego Dnestra v usloviyakh antropogennoy nagruzki i izmeneniya klimata [Dynamics of sediments of the upper and middle Dniester under anthropogenic load and climate change]*. Odesa: TES Publ. (in Russ.)
13. Melnyk, S. & Loboda, N. (2020). Trends in monthly, seasonal and annual fluctuations in flood peaks for upper Dniester River. *Meteorology, Hydrology and Water Management*, 8 (2), pp. 28-36. <http://doi.org/10.26491/mh/126705 MHW-00136-2020-03>.
14. Kamzist, Zh.S. & Shevchenko, O.L. (2009). *Hidroekolohiia Ukrainy [Hydroecology of Ukraine]*. Kyiv: Inkos Publ. (in Ukr.)
15. Befany, A.N. & Melnychuk, O.N. (1967). Raschyot normy stoka vremennykh vodotokov i gornyykh rek Ukrainskikh Karpat [Calculation of the flow rate of temporary streams and mountain rivers of the Ukrainian Carpathians]. *Trudy UkrNYHMY [Proceedings UkrSRHMI]*, 69, pp. 105-131. (in Russ.)
16. Loboda, N.S. (2010). *Metody statystychnoho analizu u hidrolohichnykh rozrakhunkakh i prohozakh. [Methods of statistical analysis in hydrological calculations and forecasts]*. Odesa: Ekolohiia Publ. (in Ukr.)
17. Tetiana Zabolotnia, Liudmyla Gorbachova & Borys Khrystiuk. (2019). Estimation of the long-term cyclical fluctuations of snow-rain floods in the Danube basin within Ukraine. *Meteorology Hydrology and Water Management*, 7 (2), pp. 3-12.
18. Hrebin, V.V. (2006). Heohrafo-hidrolohichnyi analiz yak metod doslidzhen suchasnykh zmin vodnoho rezhymu richok [Geographic and hydrological analysis as a method of research of modern changes in the water regime of rivers]. *Hidrolohiia, hidrokimiia i hidroekolohiia, [Hydrology, hydrochemistry and hydroecology]*, 9 pp. 17–30. (in Ukr.)
19. Melnyk, S. & Loboda, N. (2018). Maximum flow of rivers of the Ukrainian Carpathians (in the upper Dniester) in the climate change conditions. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 10(3), pp. 357-375. Available at: <http://jfas.info/psjfas/index.php/jfas/article/view/2557> (Accessed: 21.04.2021).
20. Hrebin, V.V. (2005). Vnutryrichnyi rozpodil stoku vody i nanosiv livoberezhnykh pryток Dnistra ta yoho suchasni zminy [Intra-annual distribution of water runoff and sediments of the left-bank tributaries of the Dniester and its current changes]. *Hidrolohiia, hidrokimiia i hidroekolohiia [Hydrology, hydrochemistry and hydroecology]*, 7, pp.133-143. (in Ukr.)
21. Didovets, I., Krusanova, V., Fattermann, F. et al. (2020). Climate change impact on water availability of main water rivers basins in Ukraine. *Journal of Hydrology. Regional studies*, 32, article 100761.
22. Hall, J., Arheimer, B., Borga, M. et al. (2014). Understanding flood regime changes in Europe: a state-of-the-art assessment. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, pp. 2735–2772. <https://doi.org/10.5194/hess-18-2735-2014>.
23. Blöschl, G., Hall, J., Viglione, A. et al. (2019). Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*, 573, pp.108–111. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6>

ASSESSMENT OF RUNOFF CHARACTERISTICS CHANGES OF THE LEFT BANK TRIBUTARIES OF THE UPPER DNIESTER UNDER WARMING CONDITIONS

Melnyk S. V.¹, Loboda N. S.²

¹ Odessa National Polytechnic University,
1 Shevchenko Avenue, 65044, Odesa, Ukraine, melnik.s.v@opu.ua

² Odessa State Environmental University,
15 Lvivska Street, 65016, Odesa, Ukraine, natalie.loboda@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0794-9951>

The inflow of water from the left-bank tributaries of the Upper Dniester is an important component of the runoff formation for the whole river. The study of changes in their water content in the context of global warming is quite urgent and agrees with the provisions of the strategic programme for the Dniester Basin for 2021-2035 aimed at 'climate change mitigation' and 'promoting the principles of sustainable water management'.

The paper's objective is to carry out a research into the changes in climatic factors and runoff characteristics that occurred on the left bank of the Upper Dniester in the early 21st century.

The research was performed on the basis of hydrometeorological data for the period of 1945-2018. The main research methods include the regression analysis and the method of differential integral curves.

It is found that, within the area under study, there is an increase in average annual air temperatures against the background of constant or insignificantly increasing amounts of annual precipitation, thus creating unsatisfactory conditions for runoff formation. It is established that, during the months of cold period, there is an increase in air temperature and that since 1989 the frequency of cases, when the temperature crosses the range of positive values, keeps increasing. 1989 is a turning point in the chronological course of average annual air temperatures; a positive phase of long-term fluctuations starts since that year. With regard to annual precipitation fluctuations from the mid-60s of the last century up to 2013, a positive phase was also identified; within this phase there was a short period of insufficient moisture (1981-1996). It was found that the response of runoff characteristics to climate change was not the same. Maximum runoff during the spring flood is the most sensitive to global warming, since such warming has worsened the conditions for accumulation of water reserves in the snow cover. The transition of maximum runoff fluctuations to the low-water phase took place in 1981. The average long-term decrease in the maximum water flow rates during the spring flood for the period of 1950-2018 amounts to -16.9%. Unlike maximum runoff, the characteristics of the annual and minimum runoff changed gradually during the winter and summer low-water periods and the final transition to the low-water phase of fluctuations occurred only in 2009-2011. Certain inertia of changes in the water resources of Podillya rivers under the warming conditions is caused by the subsurface component making a high contribution to the annual runoff formation (60%). Significant portion of the groundwater supply 'mitigated' the effects of surface runoff loss during spring floods. The research allowed establishing the occurrence of statistically significant negative trends in the annual and minimum runoff fluctuations since 1998. If continue to preserve, the identified climate change trends will decrease the inflow of water from the Podillya rivers to the main Dniester River.

Keywords: left bank of the Upper Dniester; climate changes; changes in the characteristics of annual, maximum and minimum runoff

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК СТОКА ЛЕВОБЕРЕЖНЫХ ПРИТОКОВ ВЕРХНЕГО ДНЕСТРА В УСЛОВИЯХ ПОТЕПЛЕНИЯ

С. В. Мельник¹, Н.С. Лобода²

¹ Одесский национальный политехнический университет,
проспект Шевченко, 1, 65044, Одесса, Украина, melnik.s.v@opu.ua

² Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, natalie.loboda@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0794-9951>

Поступление объемов воды от левобережных притоков верхнего Днестра является весомой составляющей формирования стока всей реки. Исследование изменений их

водности в условиях глобального потепления является актуальным и отвечает положению стратегической программы бассейна р. Днестр на 2021-2035 гг. по вопросам “смягчения последствий изменений климата” и “продвижения принципов рационального использования водных ресурсов”.

Целью работы является исследование изменений климатических факторов и характеристик стока, которые произошли на левобережье Верхнего Днестра в начале XXI столетия.

Исследование выполнено на базе гидрометеорологических данных за период 1945-2018 гг. Основными методами исследования является метод регрессионного анализа и разностных интегральных кривых.

Выяснено, что на рассматриваемой территории происходит рост средних годовых температур воздуха на фоне неизменных или несущественно растущих сумм годовых осадков, что обуславливает неблагоприятные условия формирования стока. Установлено, что в месяцах холодного периода происходит рост температур воздуха и с 1989 года увеличивается частота случаев, когда температура переходит в область положительных значений. 1989 год является переломным годом в хронологическом ходе средних годовых температур воздуха; с этого года начинается положительная фаза многолетних колебаний. В колебаниях годовых сумм осадков с середины 60-х годов прошлого столетия до 2013 г. также выделена положительная фаза, в пределах которой существовал короткий период недостаточного увлажнения (1981- 1996 гг.). Обнаружено, что реакция характеристик стока на изменения климата была неодинаковой. Наиболее чувствительным к потеплению является максимальный сток весеннего водополья, поскольку за счет потепления ухудшились условия накопления запасов воды в снежном покрове. Переход колебаний максимального стока в отрицательную фазу произошел в 1981 году. Среднее многолетнее уменьшение максимальных расходов воды весеннего водополья за период 1950-2018 гг. составляет -16,9%. В отличие от максимального стока характеристики годового и минимального стока зимней и летней межени изменялись постепенно и окончательный переход в маловодную фазу колебаний состоялся лишь в 2009-2011 годах. Определенную инерцию изменений водных ресурсов рек Подолии в условиях потепления обеспечивает высокий вклад подземной составляющей в формирование годового стока (60 %). Значительная часть подземного питания “смягчала” последствия потерь поверхностного стока во время весеннего половодья. Установлено существование статистически значимых отрицательных трендов в колебаниях годового и минимального стока, начиная с 1998 года. При условии сохранения установленных тенденций климатических изменений поступление воды от рек Подолии к главной реке Днестр будет уменьшаться.

Ключевые слова: левобережье Верхнего Днестра; изменения климата; изменения характеристик годового, максимального и минимального стока

*Подання до редакції : 01. 06. 2021
Надходження остаточної версії : 14. 06. 2021
Публікація статті : 30. 06. 2021*