

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2025.3.2>

УДК 556.161

Лобода Н.С., Розвод М.Р.

Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова

ОЦІНКА ЗМІН У ХАРАКТЕРІ ВЕРТИКАЛЬНОЇ ЗОНАЛЬНОСТІ РІЧНОГО СТОКУ ГІРСЬКОГО ДНІСТРА НА ПОЧАТКУ ХХІ СТОРІЧЧЯ

Актуальність теми обумовлена необхідністю моніторингу впливу змін клімату на формування водних ресурсів річки Дністер. Метою роботи є установлення змін у характері вертикальної зональності річного стоку Гірського Дністра на початку ХХІ сторіччя. У роботі використані дані по річному стоку та метеорологічні характеристики за період 1945-2021 рр. Основними методами досліджень є метод різницевої інтегральних кривих, метод лінійної парної регресії, метод водно-теплового балансу, який є складовою моделі «клімат-стік». За даними гідрологічних спостережень розраховані середні значення стоку за цикли водності 1945-1980 рр. (базовий), 1981-2010 рр. (початок значущих змін температур повітря) та для маловодної фази, яка розпочалася з 2011 року. Отримані регресійні залежності розподілу середніх значень стоку по висоті місцевості. Виконаний порівняльний аналіз із нормативною залежністю виду $\bar{q} = f(H_{\text{сеп}})$, наведеною у СНІП 2.01.14-83. Показано, що такі притоки Дністра як Стрвяж, Верещиця, Щерек належать до іншого гідрологічного району. Після їх виключення отримано, що розподіл характеристик стоку по висоті за обидва розрахункових періоди (1945-1980) та (1981-2010) добре узгоджується із нормативним. Статистично значуще зменшення середніх значень річного стоку виявлене у поточній маловодній фазі його коливань (2011-2021 рр.): середнє значення відносних відхилень становить “мінус” 16,7%. Результати розрахунків середніх значень стоку за метеорологічними даними, виконані на основі рівняння водно-теплового балансу для періоду 2011-2021, також показали існування суттєвого зменшення водних ресурсів у середньому на 26,2%. Неоднорідна реакція водозборів Гірської частини Дністра на зміни клімату на різних водозборах обумовлена впливом місцевих чинників, таких як орієнтація схилів, малі площі, залісеність та інше. Суттєву роль відіграє співвідношення між внеском талого та дощового стоку у формуванні загального об'єму стоку з водозборів, оскільки саме на водозборах із перевагою снігового живлення потепління у зимовому сезоні може призвести до значних втрат стоку. Отримані результати є частиною моніторингу наслідків впливу змін клімату на формування водних ресурсів Дністра.

Ключові слова: гірська частина Дністра; вертикальна зональність розподілу гідрометеорологічних характеристик; зміни клімату; зміни водних ресурсів.

Вступ. Актуальність теми обумовлена необхідністю моніторингу впливу змін клімату на формування водних ресурсів річки Дністер, оскільки “негативний вплив зміни клімату проявляється у зростанні вірогідності виникнення надзвичайних природних явищ, пов'язаних з надмірною кількістю або тривалою нестачею води” [24]. Зона формування стоку річки Дністер розташована у верхній, гірській частині водозбору. Основними елементами живлення гірських річок є дощовий і талий весняний стік, який надходить з поверхонь водозборів. Потепління, яке прослідковується на території України з 1989 року [8], здатне викликати зменшення витрат і об'ємів стоку весняного водопілля та зростання втрат на випаровування з поверхні водозбору у теплий період [17]. Ці обставини одночасно із значним антропогенним навантаженням можуть викликати посилення водного стресу у середній та нижній течії річки Дністер, які відносяться до зони інтенсивного використання водних ресурсів [2]. Таким чином, оцінки змін стоку в басейні Гірського Дністра є важливою задачею, яка відповідає Цілям сталого розвитку України до 2030 року (ціль 6), а саме “забезпечити досягнення доброго стану водних ресурсів та закласти основу для подолання істотної диспропорції у доступі населення до якісного водопостачання і санітарії” [19].

Аналіз виконаних досліджень за означеною темою. Загальний аналіз гідрологічного режиму річок у басейні Дністра з урахуванням змін клімату на початку ХХІ сторіччя наведений у роботах виконаних під керівництвом В.К. Хільчевського [3], В.В. Гребіня [8], Н.С. Лободи [18], Є.Д. Гопченка та В.А. Овчарук [20], С.М. Сніжка [29],

О.Г. Ободовського [22], Л.О. Горбачової [6] та багатьох інших науковців України.

У більшості наукових робіт, присвячених гідрологічному режиму Дністра зазначається, що у гірській частині Дністра зміна річного стоку залежить від коливань талого стоку та дощових атмосферних опадів. У верхів'ях Бистриці Надворнянської та Солотвинської головну роль у формуванні річного стоку відіграють літні опади [4]. На лівобережних притоках Дністра значний вплив чинять карстові утворення, які визначають внесок підземної складової у загальний стік річок. У роботі Горбачової Л.О. показано, що за характером внутрішньорічного розподілу Карпатський район підрозділяється на Верхньо – Дністрянський та Дністровсько – Тиський, до якого входять, окрім приток Тиси, річки Стрий, Луква, Бистриця Солотвинська [7]. Західно-Бузький та Дністерсько-Бузький райони (Гнила Липа, Серет, Ушиця) також розрізняються своїми особливостями. Річка Стрий розглядається як одна із найпотужніших приток Верхнього Дністра, де часто формуються катастофічні паводки [27].

У роботі [10] підчас розгляду складових водного балансу водозборів Верхнього Дністра встановлено, що найбільша кількість опадів випадає на водозборах річок Стрий, Бистриця Надворнянська, Свіча. Вони також характеризуються найменшими величинами випаровування з поверхні суші. Найвищі показники сумарного випаровування належать річці Ворона. Водний баланс річки Тисмениця – Дрогобич має найбільші нев'язки, появу яких автори пояснюють неточністю спостережень. Порівняння складових водного балансу за два тридцятирічних періоди (1956-1985 рр. та 1986-2015 рр.) показало зростання на усіх водозборах сумарного випаровування (за виключенням Луква, Бистриця Солотвинська, Бистриця Надворнянська та Ворона). Результатом збільшення випаровування на фоні незначної зміни опадів стало зменшення стоку на річках Стрий, Лімниця.

У роботі Лободи Н.С. [15] виконано порівняння середніх багаторічних значень річного стоку приток Карпатського району, розрахованих за два періоди спостережень 1956-1988 рр. та 1989-2018 рр., із розрахунками за нормативною залежністю норм річного стоку від висоти місцевості, наведеною у СНІП 2.01.14-83 [21]. Встановлено, що розподіл середніх багаторічних величин стоку із висотою місцевості до 1989 р. та після практично не змінився. Середнє за абсолютною величиною відхилення становить $\pm 12,3$. Дані за обома періодами відповідають нормативній залежності.

Прогноз змін водних ресурсів Дністра, виконаний за моделлю REMO щодо гілки сценаріїв А1В [9], показав, що середнє для басейну зменшення середньобогаторічного стоку у 2041-2070 рр. досягне лише 16,7%, хоча у його нижній частині зменшення можуть досягти 25% і більше.

Прогноз змін водних ресурсів гірської частини Дністра, наданий на основі моделі "клімат-стік" за сценарієм RCP8.5 (використані осереднені дані по 14 математичним моделям проекту CORDEX) для періоду 2021-2050 рр., показав, що зменшення водних ресурсів за цей час буде становити у середньому мінус 8,87% [15].

Математичне моделювання та прогноз змін водних ресурсів за сценаріями кліматичних змін, виконане іншими авторами, також показує, що змінення водності річки Дністер буде поступовим. За глобальною гідрологічною моделлю WaterGAP2 [26] прогнозується суттєве зменшення річного та середнього місячного (окрім лютого) стоку річки Дністер у середині (2040-2070 рр.) та наприкінці XXI (2070-2100 рр.) сторіччя як за помірним сценарієм RCP2.6 (від -2% до -20%), так і за жорстким сценарієм RCP8.5 (від -5% до -35%) [29].

Однак, дослідження змін метеорологічних і гідрологічних характеристик у басейні Верхнього Дністра на початку XXI сторіччя вказують на формування статистично значущих трендів, а саме трендів у коливаннях температур повітря [14], опадів [13] та стоку [16]. У роботі [28] показано, що формуються тенденції зниження максимального стоку на усіх водозборах Верхнього Дністра у період 1999-2015 роки.

Починаючи з 2011 року коливання річного стоку Дністра увійшли у маловодну фазу, а після 2020 року почалися найпосушливі роки за весь період спостережень. Зростання температур виявлене на усіх метеорологічних станціях басейну Дністра для років, а також теплого і холодного періодів. Якщо зростання температур теплого періоду обумовлює зростання випаровування, то потепління холодного періоду впливає на накопичення запасів вологи у сніговому покриві, строки настання та закінчення водопілля і

характеристики максимального стоку. Ці обставини можуть позначитися на водності гірських приток і головної річки. У нових кліматичних умовах важливим кроком перевірки надійності сценарних моделей має бути моніторинг даних спостережень за гідрологічним режимом досліджуваних річок.

Метою роботи є установлення змін у характері вертикальної зональності річного стоку Гірського Дністра на початку XXI сторіччя.

Матеріали та методи. У роботі використані річні та середні місячні дані гідрометеорологічних спостережень в басейні Верхнього Дністра за 1946-2021 рр.

Основними методами досліджень є методи статистичного аналізу даних спостережень [25], метод регресійного аналізу [11], метод різницевих інтегральних кривих [5].

Ординати різницевих інтегральних кривих являють собою послідовне накопичення відхилень гідрометеорологічних величин від середнього значення. Щоб криві набули безрозмірного виду, їх представляють у вигляді безрозмірних величин, які називають модульними коефіцієнтами. Модульні коефіцієнти являють собою відношення поточного значення досліджуваної характеристики до її середньої багаторічної величини. Наприклад, розрахунки модульних коефіцієнтів стоку виконуються за такими характеристиками водності як модуль стоку, витрата стоку, об'єм стоку та шар стоку

$$k_i = \frac{q_i}{\bar{q}} = \frac{Q_i}{\bar{Q}} = \frac{W_i}{\bar{W}} = \frac{Y_i}{\bar{Y}}, \quad (1)$$

де q, Q, W, Y – модуль стоку, витрата стоку, об'єм стоку та шар стоку, відповідно;

$\bar{q}, \bar{Q}, \bar{W}, \bar{Y}$ – середні багаторічні значення розглядуваних характеристик стоку, відповідно.

Модульні коефіцієнти для температур повітря та опадів розраховуються за формулами

$$k_i = \frac{T_i}{\bar{T}} \quad (2)$$

$$k_i = \frac{X_i}{\bar{X}} \quad (3)$$

Середнє багаторічне значення модульного коефіцієнта завжди дорівнює одиниці, отже, поточні ординати різницевої інтегральної кривої на кінець t -го року від початку побудування кривої визначають за рівнянням

$$\sum_{i=1}^t (k_i - 1) = f(t) \quad (4)$$

де k_i - модульний коефіцієнт.

Період часу, для якого ділянка інтегральної кривої має нахил вгору відносно осі абсцис та значення $(k_i - 1)_{\text{сеп}}$ додатне (переважають додатні відхилення від середнього), відповідає позитивній фазі коливань стоку. Період, для якого з'єднуюча лінія і відповідна ділянка нахилена вниз та $(k_i - 1)_{\text{сеп}}$ є від'ємним, відповідає від'ємній (негативній) фазі коливань стоку. Для одного виділеного циклу, який складається із однієї додатної та однієї від'ємної фази, середнє значення модульного коефіцієнта $k_{\text{сеп}}$ дорівнюватиме 1, для

позитивної фази – більше за 1, для негативної – менше за 1, сума $\sum_{i=1}^m (k_i - 1) = 0$ для одного або декількох циклів.

Різницеві інтегральні криві були використані для установлення фаз водності та циклів коливань водності досліджуваних річок.

Рівняння лінійної парної регресії для залежних випадкових величин X та Y представляється у вигляді

$$\tilde{y}_i = \tilde{y}(x_i) = \hat{m}_{y/x} = ax_i + b \quad (5)$$

де x_i – дискретні значення випадкової величини X (предиктора);

y_i – дискретні значення випадкової величини Y (предиктанта);

\tilde{y}_i – значення випадкової величини Y , розраховані за рівнянням регресії;

a, b – шукані параметри рівняння, які розраховуються через середні квадратичні відхилення предиктора і предиктанта, та коефіцієнт кореляції [11].

Окрім того, у роботі використаний метод водно-теплого балансу, який є складовою моделі «клімат-стік». Розрахунки стоку, що отримав назву кліматичного, за цим методом проводяться на основі метеорологічних даних – опадів та температур повітря. Метод водно-теплого балансу базується на сумісному розгляді рівнянь водного та теплового балансів, що містять загальну для обох складову – випаровування. Детальний опис цього підходу при застосуванні його до гірських районів наведений у роботах Н.С. Лободи [12] та [15]. Цей метод рекомендований до використання при відсутності або недостатності даних гідрологічних спостережень у нормативних документах для республіки Молдова «Визначення гідрологічних характеристик для умов республіки Молдова. СР D.01.05-2012» та для України (ДБН В.2.4-8:2014 "Визначення розрахункових гідрологічних характеристик"). Модель «клімат-стік» також застосовується для оцінки водних ресурсів за сценаріями кліматичних змін, оскільки на вході використовуються метеорологічні дані [17].

Результати та їх аналіз. Особливістю запропонованого підходу під час оцінок змін характеристик річного стоку на основі аналізу різницевих інтегральних кривих є урахування циклічності коливань річного стоку Дністра. Якщо розглядати інтервали коливань стоку до 1989 року та після (як це виконувалось у попередніх дослідженнях), то отримуємо трицятирічні періоди, які вміщують у собі непарну кількість фаз водності, що впливало на результати аналізу.

У наведеному дослідженні порівнюються гідрологічні дані за два повних цикли (рис. 1), які порівнюються, утворюють по одному гідрологічному циклу. Перший цикл відповідає базовому періоду (1946-1980 рр.), коли зміни клімату, насамперед, температур повітря, ще не набули статистичної значущості. Другий цикл (1981-2010 рр.) формувався у період, коли зростання середніх річних температур повітря в Україні вже стало значущим. В роботі окремо розглянута маловодна фаза коливань стоку, яка розпочалася з 2011 року.

У ході виконання досліджень були побудовані залежності середніх багаторічних значень річного стоку Верхнього Дністра від висоти місцевості за різні розрахункові періоди (1946-2021 рр., 1946-1980 рр., 1981-2010 рр., 2011-2021 рр.). Вибір розрахункових періодів виконаний на основі аналізу закономірностей коливань річних сум опадів та річного стоку за осередненими по території різницевиими інтегральними кривими [13].

Перший цикл коливань цих гідрометеорологічних характеристик тривав з 1946 по 1980 рік, точкою перегину (перехід від маловодної фази коливань до багатоводної) був 1964 рік. Другий цикл коливань тривав з 1981 року по 2010 рік, точкою перегину був 1995 рік. Починаючи з 2011 року у коливаннях характеристик зволоження та водності почала формуватися від'ємна (маловодна) фаза, яка триває і досі.

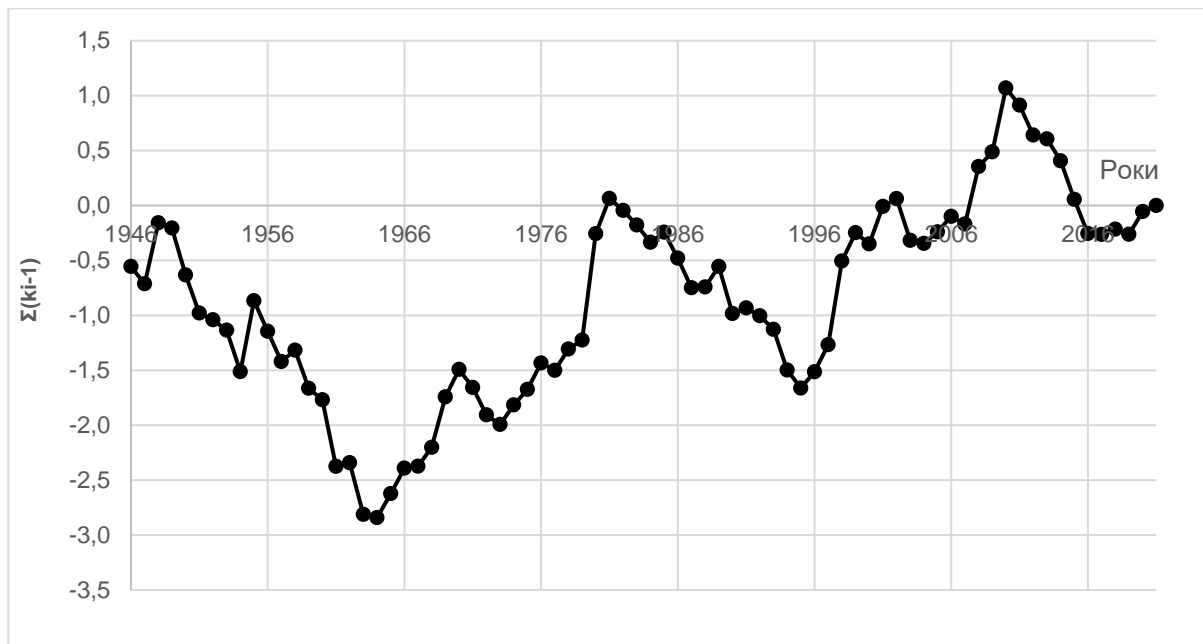


Рис. 1. Різницево-інтегральна крива річних витрат води за період 1945-2021 рр. у створі Галич

Порівняння розподілу середніх значень річного стоку по висоті місцевості ($H_{\text{сеп}}$) за періоди (1946-1980 рр.) та (1981-2010 рр.) із нормативною залежністю виду $\bar{q} = f(H_{\text{сеп}})$, наведеною у СНІП 2.01.14-83 [23], показало їх достатню відповідність (рис. 2, рис. 3).

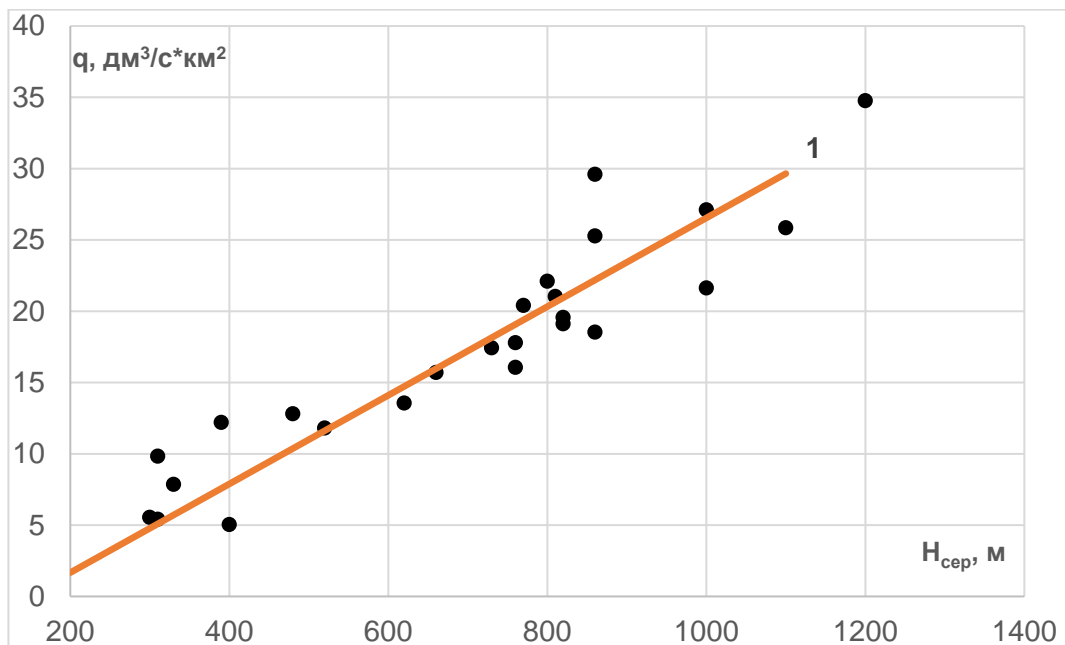


Рис. 2. Залежності середніх значень річного стоку від середньої висоти водозборів для Гірського Дністра у період 1945-1980 рр.

1– залежність, наведена у СНІП 2.01.14-83;

- середні значення річного стоку за даними спостережень на гідрологічних постах басейну Гірського Дністра у період 1945-1980 рр.

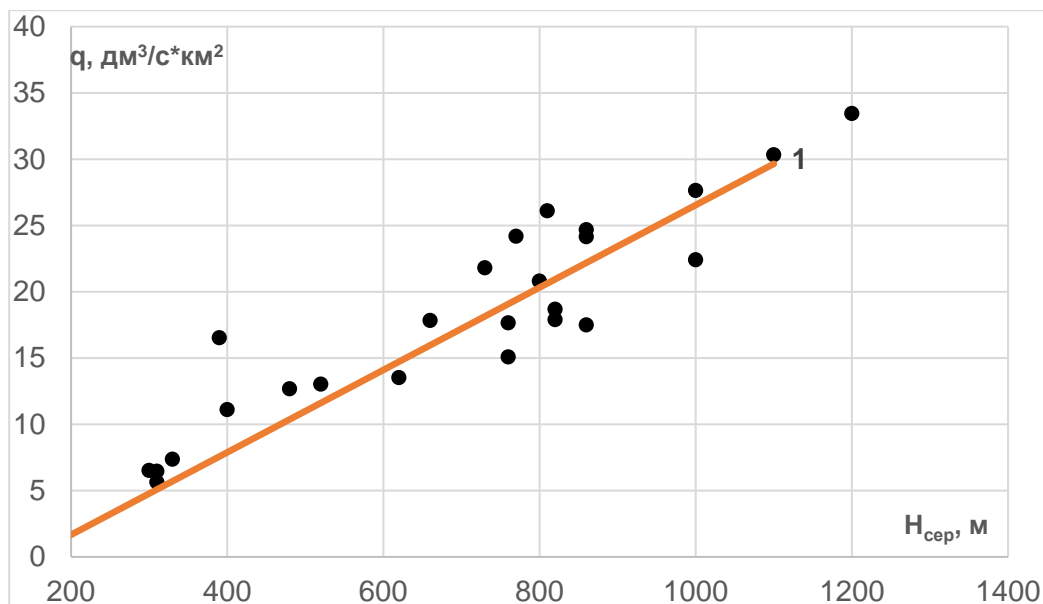


Рис. 3. Залежність норм річного стоку від висоти місцевості для правобережної частини басейну Гірського Дністра за період 1981-2010 рр.

1– залежність, наведена у СНІП 2.01.14-83;

- середні значення річного стоку за даними спостережень на гідрологічних постах басейну Гірського Дністра у період дані спостережень на гідрологічних постах басейну р. Дністер у період 1981-2010 рр.

Залежність, розроблена для гірської частини Дністра і запропонована в СНІП 2.01.14-83 (нормативна залежність), може бути представленою наступним рівнянням лінійної парної регресії:

$$\bar{q} = 0,0311(H_{CEP} - 200) + 1,77 \quad (6)$$

де \bar{q} – норма річного стоку, (дм³/с/км²);

H_{CEP} – середня висота водозбору, (м).

Середнє відносне відхилення (за абсолютною величиною) середніх значень, отриманих за даними спостережень, від значень, розрахованих за рівнянням нормативної залежності $\bar{q} = f(H_{CEP})$, для першого розрахункового періоду становить $\bar{\delta} = \pm 13,8\%$, а для другого - $\pm 21,5\%$. Найбільше відхилення у 1946-1980 рр. виявлене для річного стоку у створі Тисмениця – Дрогобич, де установлений значний антропогенний вплив [1]. У період 1981- 2010 рр. додатні відхилення від нормативної залежності зростають у створах Стрвяж-Луки (+49,46%), р.Верещиця – Комарно (+28,0%), Щерек – Щирець (+37,6). Якщо виключити указані притоки з розгляду, як такі що належать до іншого гідрологічного району [16,18], то для першого розрахункового періоду середнє відносне відхилення спостережених значень від нормативної залежності становить $\bar{\delta} = \pm 6,0\%$, а для другого - $\pm 9,5\%$. Підчас розгляду від'ємної фази коливань, яка розпочалася з 2011 року, виявлено статистично значуще зменшення середніх величин річного стоку (рис. 4), яке становить у середньому мінус 16,8% (табл. 1). Поточна маловодна фаза відрізняється від попередньої (1981-1995рр.) наявністю значних відхилень від нормативної залежності. Зниження середнього стоку більш ніж на 40% установлені для створів Опір – Сколе, Славська – Славське, Лімниця – Перевозець. Для попередньої маловодної фази були характерні як додатні, так і від'ємні відхилення, середнє значення яких за абсолютною величиною становило $\pm 10,0\%$ (табл. 2). Практично всі роки поточної (2011-2021 рр.) від'ємної фази коливань стоку зосереджені в області забезпеченостей більше 75% (рис. 5).

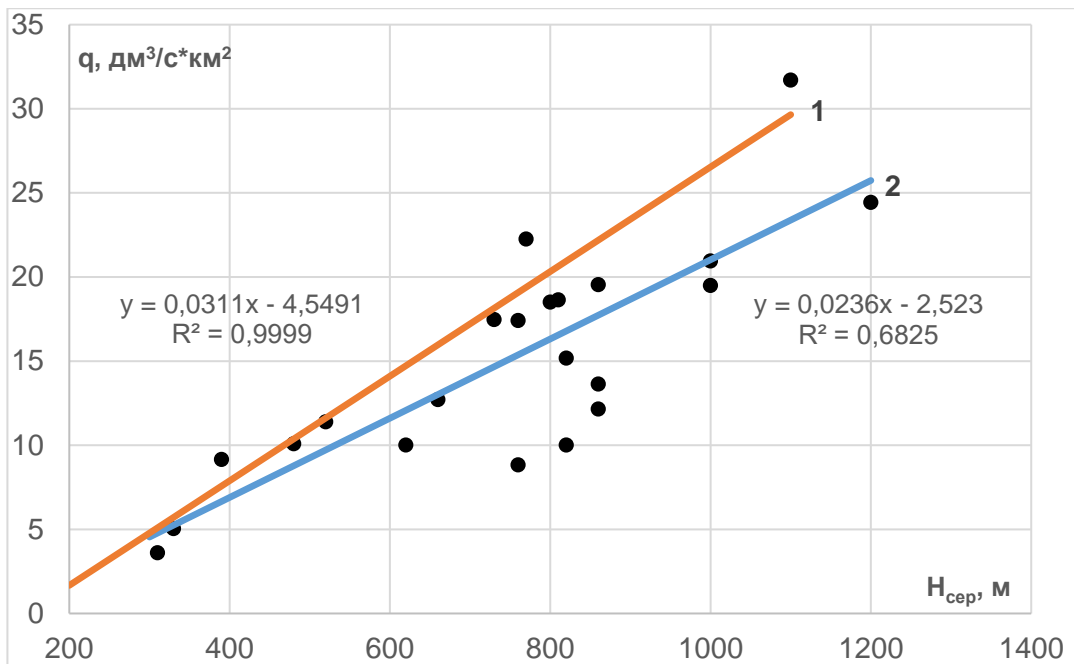


Рис. 4. Залежність норм річного стоку від висоти місцевості для правобережної частини басейну Гірського Дністра у період 2011-2021 рр.

1 – залежність, наведена у СНІП 2.01.14-83;

2 – залежність, побудована за даними спостережень 2011-2021 рр;

- дані спостережень на гідрологічних постах басейну р. Дністер у період 2011-2021 рр.

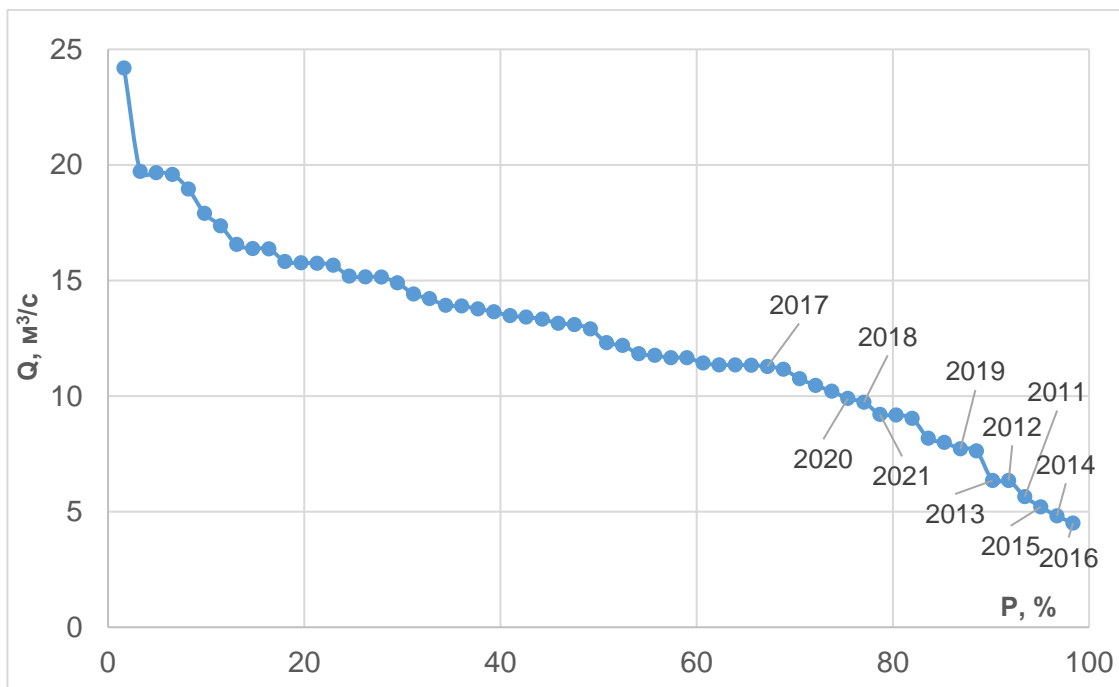


Рис. 5. Крива забезпеченості річних витрат у створі Опір-Сколе. На графіку показані роки маловодної фази (2011-2021 рр.)

Таблиця 1. Оцінка відхилень середнього річного стоку за період 2011-2021 рр. у порівнянні із нормативною залежністю

Річка -пост	$H_{сер},$ м	Середня багаторічна величина річного стоку за нормативною залежністю $\bar{q} = f(H_{сер}),$ дм ³ /(с·км ²)	Середня величина спостереженого річного стоку за період 2011-2021 рр., дм ³ /(с·км ²)	$\delta = \frac{\bar{q}_c - \bar{q}_{норм}}{\bar{q}_{норм}} \cdot 100,$ %
Дністер-Стрілки	620	14,69	10,01	-31,87
Бистриця-Озимина	520	11,58	11,39	-1,68
Тисмениця-Дрогобич	390	7,54	9,15	+21,40
Стрий-Матків	860	22,16	19,54	-11,80
Стрий-Завадівка	800	20,29	18,50	-8,80
Стрий-Межироди	760	19,05	17,41	-8,59
Опір-Сколе	820	20,91	10,01	-52,14
Славське-Славське	860	22,16	12,14	-45,19
Головчанка-Тухля	810	20,60	18,63	-9,54
Орава-Святослав	860	22,16	13,63	-38,49
Свіча-Мислівка	1000	26,51	20,95	-20,98
Свіча-Зарічне	730	18,11	17,47	-3,57
Лужанка-Гошів	660	15,94	12,71	-20,26
Сукель-Тисів	770	19,36	22,25	+14,95
Свіж-Букачевці	310	5,05	3,60	-28,68
Лімниця-Осмолода	1200	32,73	24,43	-25,36
Лімниця-Перевозець	760	19,05	8,83	-53,65
Чечва-Спас	820	20,91	15,17	-27,45
Луква-Бондарів	480	10,34	10,08	-2,45
Бистриця Надвірнянська-Пасічна	1000	26,51	19,49	-26,46
Бистриця Солотвинська-Гута	1100	29,62	31,70	+7,03
Ворона-Тисьменниця	330	5,67	5,04	-11,07

Розрахунок середніх величин “кліматичного” стоку за моделлю “клімат-стік” у період 2011-2021 рр. на базі метеорологічних даних окремих станцій Верхнього Дністра та наступне порівняння отриманих характеристик із відповідними характеристиками базового періоду (1946-1980 рр.) показали, що зменшення водних ресурсів за рахунок кліматичних змін має становити у середньому 23% (табл. 2). Різниця в показниках зменшення обумовлена тим, що гірські водозбори відносяться до малих, вони розташовані на значних висотах та на формування стоку впливає не тільки загальна кількість опадів, а й їх генетичний склад.

Таблиця 2. Оцінка відхилень середнього річного стоку за період 1981-1995 рр. у порівнянні із нормативною залежністю

Річка -пост	$H_{сер},$ м	Середня багаторічна величина річного стоку за нормативною залежністю $\bar{q} = f(H_{сер}),$ дм ³ /(с·км ²)	Середня величина спостереженого річного стоку за період 1981-1995 рр., дм ³ /(с·км ²)	$\delta = \frac{\bar{q}_c - \bar{q}_{норм}}{\bar{q}_{норм}} \cdot 100,$ %
Дністер-Стрілки	620	14,69	12,72	-13,42
Бистриця-Озимина	520	11,58	10,29	-11,11
Стрий-Матків	860	22,16	22,19	+0,18

Річка - пост	H _{сеп} , м	Середня багаторічна величина річного стоку за нормативною залежністю $\bar{q} = f(H_{сеп})$, дм ³ /(с·км ²)	Середня величина спостереженого річного стоку за період 1981-1995 рр., дм ³ /(с·км ²)	$\delta = \frac{\bar{q}_c - \bar{q}_{норм}}{\bar{q}_{норм}} \cdot 100$,
				%
Стрий-Завадівка	800	20,29	20,17	-0,58
Стрий-Межироди	760	19,05	18,23	-4,27
Опір-Сколе	820	20,91	18,50	-11,51
Славське-Славське	860	22,16	23,34	+5,37
Головчанка-Тухля	810	20,60	23,42	+13,68
Орава-Святослав	860	22,16	14,88	-32,84
Свіча-Мислівка	1000	26,51	28,46	+7,38
Свіча-Зарічне	730	18,11	18,51	+2,21
Лужанка-Гошів	660	15,94	16,70	+4,79
Сукель-Тисів	770	19,36	22,79	+17,75
Свіж-Букачевці	310	5,05	5,19	+2,78
Лімниця-Осмолода	1200	32,73	32,78	+0,15
Лімниця-Перевозець	760	19,05	14,21	-25,37
Чечва-Спас	820	20,91	16,43	-21,43
Луква-Бондарів	480	10,34	10,34	+0,05
Бистриця Надвірнянська-Пасічна	1000	26,51	21,16	-20,17
Бистриця Солотвинська-Гута	1100	29,62	26,62	-10,14
Ворона-Тисьменниця	330	5,67	6,02	+6,12

Таблиця 3. Оцінка змін водних ресурсів Верхнього Дністра на початку XXI сторіччя за метеорологічними даними, виконана на базі моделі “клімат-стік”

Метеостанція	H _{сеп} , м	Середня багаторічна величина кліматичного стоку, розрахована за метеорологічними даними, мм		Відносне відхилення значень стоку, розрахованих за різні періоди
		1946-1980 рр. Базовий період	2011-2021 рр.	
Дрогобич	275	149	117	-21,5
Турка	594	333	321	-3,6
Стрий	294	150	85,3	-43,1
Славське	592	455	359	-21,1
Мостиська	232	113	75,7	-33,0
Івано-Франківськ	315	112	81,7	-27,1
Львів	312	158	126	-20,3
Броди	225	130	100	-23,1
Кам'янка-Бузька	212	106	80,6	-24,0
Яворів	245	131	102	-22,1
Середнє значення	—	—	—	-26,2

Висновки. Досліджено зміни розподілу середнього багаторічного річного стоку по висоті місцевості Гірського Дністра за різні розрахункові періоди, виділені з урахуванням циклів коливань водності: 1946-1980рр. (базовий), 1981-2010 рр. Особливо розглянута поточна маловодна фаза коливань, яка розпочалася з 2011 року. Виконано порівняння фактичного розподілу середніх характеристик стоку по висоті із нормативною залежністю виду $\bar{q} = f(H_{сеп})$, наведеною у СНІП 2.01.14-83. Установлено, що розподіл характеристик

стоку по висоті за обидва розрахункових періоди добре узгоджується із нормативною залежністю. Статистично значуще зменшення характеристик стоку спостерігається у поточну маловодну фазу (середнє значення відносних відхилень дорівнює становить мінус 16,%). Зниження середнього стоку більш ніж на 40% установлені для створів Опір – Сколе, Славська – Славське, Лімниця – Перевозець. Розрахунки змін стоку за метеорологічними даними на основі моделі «клімат - стік» підтверджують гіпотезу про те, що головна причина зниження стоку полягає у змінах клімату. Існування відмінностей у реакції водозборів Гірського Дністра на потепління пояснюється тим, що більшість з цих водозборів відноситься до малих, у межах яких окрім кліматичних чинників значний вплив мають місцеві чинники. Важливим є співвідношення між талою (весна) і дощовою (літо-осінь) складовими стоку з водозборів. Запропонована робота є частиною моніторингу впливу змін клімату на формування водних ресурсів річки Дністер в умовах змін клімату.

Список літератури

1. Вишневецький В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України. Київ : Ніка-центр. 2003. 324 с.
2. Вишневецький В.І., Куций А.В. Багаторічні зміни водного режиму річок України. Київ : Наукова думка, 2022. 252 с.
3. Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України / Хільчевський В.К., Гончар О.М., Забокрицька М.Р., Кравчинський Р.Л., Сташук В.А., Чунар'єв О.В.; за ред. Хільчевського В.К. та Сташука В.А. Київ : Ніка-Центр, 2013. 256 с.
4. Гончар О.М. Загальний аналіз гідрологічного режиму річок в басейні Дністра. *Науковий вісник Чернівецького університету*. 2011. Вип. 553-554. С. 83-87.
5. Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. Гідрологічні розрахунки: підручник. Одеса: ТЕС, 2014. 484с.
6. Горбачова Л. О., Барандіч С. І. Просторово-часова мінливість максимального стоку весняного водопілля та паводків змішаного походження річок України. *Гідрологія. Водні ресурси. Наукові праці УкрДГМІ*. 2016. Вип. 269. С. 107-114.
7. Горбачова Л.О. Сучасний внутрішньорічний розподіл водного стоку річок України. *Український географічний журнал*. 2015, № 3. С. 16-23. URL: <https://doi.org/10.15407/ugz2015.03.016>
8. Гребін'єв В. В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз): монографія. Київ : Ніка-центр, 2010. 316 с.
9. Гребін'єв В., Мудра К. Використання регіональної моделі клімату (remo) для оцінювання тенденцій коливань стоку води в басейні Дністра. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. ISSN 1728-3817. 2018. С. 22-28. <https://doi.org/10.17721/1728-2721.2018.70.4>
10. Кожем'якін Д.В., Чорноморець Ю.О. Просторова та часова динаміка складових водного балансу басейну річки Дністер до міста Заліщики. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 2 (53). С. 21-30.
11. Лобода Н.С. Методи статистичного аналізу у гідрологічних розрахунках і прогнозах. Навчальний посібник. Одеса: Екологія. 2010. 184 с.
12. Лобода Н.С. Методические подходы к оценке естественных водных ресурсов горных районов на основе метеорологической информации (на примере горной части бассейна р.Днестр). *Метеорологія, кліматологія та гідрологія*. 2002. № 45. С. 118-124.
13. Лобода Н.С., Розвод М.Р. Зміна температурного режиму та режиму зволоження в басейні Верхнього Дністра на початку ХХІ сторіччя. Матеріали 79-ї звітної наукової конференції професорсько-викладацького складу і наукових працівників факультету гідрометеорології і екології Одеського національного університету імені І.І. Мечникова (м. Одеса, 27–29 листопада 2024 р.) [Електронний ресурс]. Одеса: Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова. 2024. С.71-74.
14. Лобода Н.С., Розвод М.Р. Зміни температурного режиму повітря в басейні річки Дністер на початку ХХІ сторіччя. *Український гідрометеорологічний журнал*, 33. 2024. С. 38-48. URL: <https://doi.org/10.31481/uhmj.33.2024.03>
15. Лобода, Н. С., Козлов, М. О., Катинська, І. В. Оцінка змін водних ресурсів Гірського Дністра у ХХІ сторіччі за сценарієм RCP8.5 на основі моделі «клімат-стік». *Український гідрометеорологічний журнал*, 28. 2021. ISSN 2311-0902, 2616-7271. С. 48-64. URL: <http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/9708>
16. Лобода, Н. С., Розвод, М. Р. Закономірності коливань стоку річки Дністер (Україна) в умовах кліматичних змін на початку ХХІ сторіччя. *Український гідрометеорологічний журнал*, 32. ISSN 2311-0902, 2616-7271. 2023. С. 50-62.
17. Лобода, Н.С., Козлов, М.О. Оцінка водних ресурсів річок України за середніми статистичними моделями траєкторій змін клімату RCP4.5 та RCP8.5 у період 2021-2050 роки. *Український*

гідрометеорологічний журнал. 2020. № 25. С. 93-104.

18. Мельник С. В., Лобода Н. С. Динаміка наносів верхнього та середнього Дністра в умовах антропогенного навантаження та змін клімату. Одеський державний екологічний університет. Одеса: ТЕС, 2019. 296 с.

19. Національна доповідь Цілі сталого розвитку: Україна. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/natsionalna-dopovid-csr-Ukrainy.pdf> (дата звернення 10.07.2025).

20. Овчарук В. А., Гопченко Є. Д., Траскова А. В. Нормування характеристик максимального стоку весняного водпілля в басейні річки Дністер: моногр. Харків: ФОП Панов А. М., 2017. 252 с.

21. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Гидрометеиздат, 1984. 447 с.

22. Лук'янець О. І., Ободовський О. Г., Гребінь В. В., Почаєвець О. О., Корнієнко В. О. Просторові закономірності зміни середнього річного стоку води річок України *Український географічний журнал*. 2021, 1 (113). С. 1-14.

23. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. Стройиздат, 1985. 36 с.

24. Стратегія розвитку водної політики України – Водна Стратегія. URL: https://mepg.gov.ua/wp-content/uploads/2023/04/KMU_Water-Strategy_new.pdf (дата звернення 07.07.2025).

25. Школьній Є. П., Гончарова Л. Д., Миротворська Н. К. Методи обробки та аналізу гідрометеорологічної інформації. Київ: Міносвіти і науки України. 2000. 419 с.

26. Iulii Didovets, Valentina Krysanova, Fred Fokko Hattermann, María del Rocío Rivas López, Sergiy Snizhko, Hannes Müller Schmied. Climate change impact on water availability of main river basins in Ukraine. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. Volume 32. December 2020. ISSN 2214-5818.

27. Khrystiuk B., Gorbachova L., Shpyg V. Verification of the automated flood forecasting system on the Stryi River. *Acta Hydrologica Slovaca*. 2022. Vol. 23(2). Pp. 234-240. <https://doi.org/10.31577/ahs-2022-0023.02.0026>

28. Melnic V. S., Loboda N. S. Trends in monthly, seasonal and annual fluctuations in flood peaks for upper Dniester River. *Meteorology, Hydrology and Water Management*. 2020. Vol. 8, Iss. 2. Pp. 28-36. <https://doi.org/10.26491/mhwm/126705>

29. Snizhko S., Didovets I., Bronstert A. Ukraine's water security under pressure: Climate change and wartime. *Water security*. Volume 23. December 2024. ISSN 2468-3124. 13 p.

References

1. Vyshnevskyy V. I., Kosovets O. O. Hidrolohichni kharakterystyky richok Ukrayiny [Hydrological characteristics of rivers in Ukraine] Kyiv: Nika-tsentr. 2003. 324 s.

2. Vyshnevskyy V. I., Kutsyy A. V. Bahatorichni zminy vodnoho rezhymu richok Ukrayiny [Long-term changes in the water regime of Ukrainian rivers] Kyiv: Naukova dumka, 2022. 252 s.

3. Hidrokhimichnyy rezhym ta yakist poverkhnevyykh vod baseynu Dnistra na terytoriyi Ukrayiny [Hydrochemical regime and quality of surface waters in the Dniester basin in Ukraine] / Khilchevskyy V. K., Honchar O. M., Zabokrytska M. R., Kravchynskyy R. L., Stashuk V. A., Chunarov O. V.; za red. Khilchevskoho V. K. ta Stashuka V. A. Kyiv: Nika-Tsentr, 2013. 256 s.

4. Honchar O. M. Zahalnyy analiz hidrolohichnoho rezhymu richok v baseyni Dnistra [General analysis of the hydrological regime of rivers in the Dniester basin]. *Naukovyy visnyk Chernivetskoho universytetu*. 2011. Vyp. 553-554. S. 83-87.

5. Hoptchenko Ye. D., Loboda N. S., Ovcharuk V. A. Hidrolohichni rozrakhunky: pidruchnyk [Hydrological calculations: textbook]. Odessa: TES, 2014. 484s.

6. Horbachova L. O., Barandich S. I. Prostorovo-chasova minlyvist maksimalnoho stoku vesnyanoho vodopillya ta pavodkiv zmishanoho pokhodzhennya richok Ukrayiny [Spatial and temporal variability of maximum spring flood discharge and mixed-origin floods in Ukrainian rivers] / *Hidrolohiya. Vodni resursy. Naukovi pratsi UkrDHMI*. 2016. Vyp. 269. S. 107-114.

7. Horbachova L. O. Cuchasnyy vnutrishnorichnyy rozpodil vodnoho stoku richok Ukrayiny [Current intra-annual distribution of water flow in Ukrainian rivers]. *Ukrayinskyy heohrafichnyy zhurnal*. 2015, № 3. S. 16-23 URL: <https://doi.org/10.15407/ugz2015.03.016>

8. Hrebin V. V. Suchasnyy vodnyy rezhym richok Ukrayiny (landshaftno-hidrolohichnyy analiz): monohrafiya [The modern water regime of Ukraine's rivers (landscape-hydrological analysis): monograph]. Kyiv: Nika-tsentr, 2010. 316 s.

9. Hrebin V., Mudra K. Vykorystannya rehionalnoyi modeli klimatu (remo) dlya otsynuvannya tendentsiy kolyvan stoku vody v baseyni Dnistra [Use of a regional climate model (REMO) for water flow trends evaluation in the Dniester river basin]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka*. ISSN 1728-3817. 2018. S. 22-28. URL: <https://doi.org/10.17721/1728-2721.2018.70.4>

10. Kozhemyakin D. V., Chornomorets Yu. O. Prostorova ta chasova dynamika skladovyykh vodnoho balansu baseynu richky Dnister do mista Zalishchyky [Spatial and temporal dynamics of water balance

components in the Dniester River basin up to the town of Zalizhchyky]. *Hidrolohiya, hidrokimiya i hidroekolojiya*. 2019. № 2 (53). S. 21-30.

11. Loboda N.S. Metody statystychnoho analizu u hidrolohichnykh rozrakhunkakh i prohnozakh. Navchalnyy posibnyk [Methods of statistical analysis in hydrological calculations and forecasts. Study guide]. – Odesa: Ekolojiya. 2010. 184 s.

12. Loboda N.S. Metodicheskiye podkhody k otsenke estestvennykh vodnykh resursov hornykh rayonov na osnove meteorolohycheskoy informatsyy (na prymerе hornoy chasty basseyna r.Dnestr) [Methodological approaches to assessing natural water resources in mountainous areas based on meteorological information (using the mountainous part of the Dniester River basin as an example)]. *Meteorolohiya, klimatolohiya ta hidrolohiya*. 2002. № 45. S. 118-124.

13. Loboda N.S., Rozvod M.R. Zmina temperaturnoho rezhymu ta rezhymu zvolozhennya v baseyni Verkhnoho Dnistra na pochatku XXI storichchya [Changes in temperature and humidity conditions in the Upper Dniester basin at the beginning of the 21st century]. Materialy 79-yi zvitnoyi naukovoї konferentsiyi profesorsko-vykladatskoho skladu i naukovykh pratsivnykiv fakultetu hidrometeorolohiyi i ekolohiyi Odeskoho natsionalnoho universytetu imeni I. I. Mechnykova (m. Odesa, 27–29 lystopada 2024 r.) [Elektronnyy resurs]. Odesa: Odes. nats. un-t im. I. I. Mechnykova. 2024. S.71-74

14. Loboda N.S., Rozvod M.R. Zminy temperaturnoho rezhymu povitrya v baseyni richky Dnister na pochatku XXI storichchya [Changes in air temperature in the Dniester River basin at the beginning of the 21st century]. *Ukrayinskyy hidrometeorolohichnyy zhurnal*, 33. 2024. S. 38-48. URL: <https://doi.org/10.31481/uhmj.33.2024.03>

15. Loboda, N. S., Kozlov, M. O., Katynska, I. V. Otsinka zmin vodnykh resursiv Hirskoho Dnistra u XXI storichchi za stsenariyem RCP8.5 na osnovi modeli «klimat-stik» [Assessment of changes in water resources of the Mountain Dniester in the 21st century according to the RCP8.5 scenario based on the climate-runoff model]. *Ukrayinskyy hidrometeorolohichnyy zhurnal*, 28. 2021. ISSN 2311-0902, 2616-7271. S. 48-64. URL: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/9708>

16. Loboda, N. S., Rozvod, M. R. Zakonomirnosti kolyvan stoku richky Dnister (Ukrayina) v umovakh klimatychnykh zmin na pochatku XXI storichchya [Patterns of fluctuations in the flow of the Dniester River (Ukraine) under climate change conditions at the beginning of the 21st century]. *Ukrayinskyy hidrometeorolohichnyy zhurnal*, 32. ISSN 2311-0902, 2616-7271. 2023. S. 50-62.

17. Loboda, N.S., Kozlov, M.O. Otsinka vodnykh resursiv richok Ukrayiny za serednimy statystychnymy modelyamy traektoriy zmin klimatu RCP4.5 ta RCP8.5 u period 2021-2050 roky [Assessment of water resources of Ukrainian rivers based on average statistical models of climate change trajectories RCP4.5 and RCP8.5 for the period 2021-2050]. *Ukrayinskyy hidrometeorolohichnyy zhurnal*. 2020. № 25. S. 93-104.

18. Melnyk S. V, Loboda N.S. Dynamika nanosiv verkhnoho ta serednoho Dnistra v umovakh antropohennoho navantazhennya ta zmin klimatu [Dynamics of sediments in the upper and middle Dniester under anthropogenic pressure and climate change]. Odeskyy derzhavnyy ekolohichnyy universytet. Odesa: TES, 2019. 296 s.

19. Natsionalna dopovid Tsili staloho rozvytku: Ukrayina [National Report on Sustainable Development Goals: Ukraine]. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/natsionalna-dopovid-csr-Ukrainy.pdf> (data zvernennya 10.07.2025).

20. Ovcharuk V.A., Hopchenko Ye.D., Traskova A.V. Normuvannya kharakterystyk maksimalnoho stoku vesnyanoho vodpillya v baseyni richky Dnister: monohr. [Standardisation of maximum spring flood characteristics in the Dniester River basin: monograph] Kharkiv: FOP Panov A.M., 2017. 252 s.

21. Posobye po opredelenyyu raschetnykh hidrolohycheskykh kharakterystyk [Guide to determining calculated hydrological characteristics]. *Hydrometeoyzdat*, 1984. 447 s.

22. Lukyanets O. I., Obodovskyy O.H., Hrebin V.V., Pochayevets O.O., Korniyenko V.O. Prostorovi zakonomirnosti zminy serednoho richnoho stoku vody richok Ukrayiny [Spatial patterns of changes in the average annual water flow of rivers in Ukraine]. *Ukrayinskyy heohrafichnyy zhurnal*. 2021, 1 (113). S.1-14.

23. SNyP 2.01.14-83. Opredelenye raschetnykh hidrolohycheskykh kharakterystyk [Determination of calculated hydrological characteristics]. Stroyizdat, 1985. 36 s.

24. Stratehiya rozvytku vodnoyi polityky Ukrayiny – Vodna Stratehiya [Ukraine's Water Policy Development Strategy – Water Strategy]. URL: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/04/KMU_Water-Strategy_new.pdf (data zvernennya 07.07.2025).

25. Shkolnyy Ye.P., Honcharova L.D., Myrotvorska N.K. Metody obrobky ta analizu hidrometeorolohichnoyi informatsiyi [Methods for processing and analysing hydrometeorological information]. Kyiv : Minosvity i nauky Ukrayiny. 2000. 419 s.

26. Iulii Didovets, Valentina Krysanova, Fred Fokko Hattermann, Maria del Rocío Rivas López, Sergiy Snizhko, Hannes Müller Schmied Climate change impact on water availability of main river basins in Ukraine. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. Volume 32. December 2020. ISSN 2214-5818.

27. Khrystiuk B., Gorbachova L., Shpyg V. Verification of the automated flood forecasting system on the Stryi River. *Acta Hydrologica Slovaca*. 2022. Vol. 23(2). Pp. 234-240. URL:

<https://doi.org/10.31577/ahs-2022-0023.02.0026>

28. Melnic V. S., Loboda N. S. Trends in monthly, seasonal and annual fluctuations in flood peaks for upper Dniester River. *Meteorology, Hydrology and Water Management*. 2020. Vol. 8, Iss. 2. Pp. 28-36. URL: <https://doi.org/10.26491/mhwm/126705>

29. Snizhko S., Didovets I., Bronstert A. Ukraine's water security under pressure: Climate change and wartime. *Water security*. Volume 23. December 2024. ISSN 2468-3124. 13 p.

Assessment of changes in the character of vertical zonation of river runoff in the Mountainous Dniester at the beginning of the 21st Century

Loboda N.S., Rozvod M.R.

The relevance of the topic is determined by the need to monitor the impact of climate change on the formation of water resources in the Dniester River. The aim of the work is to determine the changes in the nature of the vertical zonation of the annual runoff of the Mountainous Dniester at the beginning of the XXI century. The work uses data on annual runoff and meteorological characteristics for the period 1945-2021. The main research methods used are the method of difference integral curves, the method of linear pair regression, and the method of water-heat balance, which is a component of the climate-runoff model. Based on hydrological observations, the average runoff values were calculated for the water cycles of 1945-1980 (baseline), 1981-2010 (the beginning of significant changes in air temperature) and for the dry phase that began in 2011. Regression dependencies of the distribution of average runoff values by terrain elevation were obtained. A comparative analysis was performed with the normative dependence of the type given in SNIP 2.01.14-83. It was shown that such tributaries of the Dniester as Strvyazh, Vereshchytsia, and Shcherek belong to a different hydrological region. After their exclusion, it was found that the distribution of runoff characteristics by elevation for both calculation periods (1945-1980) and (1981-2010) is well consistent with the normative one. A statistically significant decrease in the average values of annual runoff was found in the current dry phase of its fluctuations (2011-2021): the average value of relative deviations is negative 16.7%. The results of calculations of average runoff values based on meteorological data, performed using the water-heat balance equation, also showed a significant decrease in water resources by an average of 26.2%. The uneven response of the catchment areas of the mountainous part of the Dniester to climate change in different catchment areas is due to the influence of local factors such as slope orientation, small catchment areas, forest cover, and others. The ratio between meltwater and rainwater runoff in the formation of the total runoff volume from catchment areas plays a significant role, since it is in catchment areas with predominantly snowmelt that warming in the winter season can lead to significant losses of runoff. The results obtained are part of the monitoring of the impact of climate change on the formation of water resources in the Dniester.

Key words: mountainous part of the Dniester; vertical zonality of hydrometeorological characteristics distribution; climate change; water resources changes.

Надійшла до редколегії 07.08.2025

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2025.3.3>

УДК 556.166

Сіваєв Д.В., Шакірзанова Ж.Р.

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ МАКСИМАЛЬНОГО ТАЛО-ДОЩОВОГО СТОКУ РІЧОК УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ В УМОВАХ ЙОГО СЕЗОННОГО ПЕРЕРОЗПОДІЛУ ТА ЗМІНИ КЛІМАТУ

У роботі проаналізовано результати наукових досліджень як закордонних, так і українських вчених щодо впливу зміни клімату на гідрологічний режим річок. Авторами роботи встановлено тенденції сезонного перерозподілу водних ресурсів при зменшенні частки весняного стоку, зміщення термінів його формування та підвищення частоти тало-дощових паводків у зимовий період. При цьому на річках характерним стало формування максимального тало-дощового стоку річок у зимово-весняний період року, на відміну від характерної фази їх водного режиму - весняного водопілля.

У роботі розглянуто вплив змін клімату на максимальний тало-дощовий стік річок Українського Полісся, із фокусом на трансформацію весняних повеней та прояву явища snow drought (снігові посухи), які пов'язані з дефіцитом запасів снігу взимку та призводять у наступний період до формування весняно-літніх гідрологічних посух. Одночасно, в умовах потепління клімату, зберігається ймовірність інтенсивних тало-дощових чи дощових паводків при їх послідовному накладанні у зимово-весняний період року, на відміну від традиційного весняного водопілля річок. В роботі розглянуті методологічні підходи до оцінки впливу зміни клімату в методах гідрологічних розрахунків і прогнозів.

Ключові слова: сезонний перерозподіл стоку; максимальний тало-дощовий стік; паводки змішаного походження.

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2025. № 3 (77)