

УДК 556.161

ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ПОВІТРЯ В БАСЕЙНІ РІЧКИ ДНІСТЕР НА ПОЧАТКУ ХХІ СТОРІЧЧЯ

Н. С. Лобода, М. Р. Розвод

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

Актуальність обраної теми обумовлена цілями та завданнями Водної Стратегії України до 2050 року, яка передбачає стимулювання досліджень впливу змін клімату на водність річок України. Річка Дністер є транскордонною. Вона забезпечує водою Молдову та декілька областей України. Передбачення можливих змін стоку річки Дністер внаслідок глобального потепління допоможе суспільству адаптуватися до нових кліматичних умов та вжити запобіжні заходи. Особливу увагу привертає дослідження гірської частини водозбору, оскільки вона є зоною формування стоку. Потепління може змінити внесок снігової складової живлення річки і вплинути на сумарний стік річки. *Об'єктом дослідження* є зміни температурного режиму повітря внаслідок глобального потепління. *Предметом дослідження* є оцінка змін температурного режиму на водозборі Дністра та вплив цих змін на формування стоку його гірської частини. *Метою роботи* є оцінка змін температурного режиму повітря на водозборі річки Дністер на початку ХХІ сторіччя та впливу потепління у зимовий сезон на формування весняного водопілля гірських річок. Основними методами досліджень є метод різницевих інтегральних кривих та метод регресійного аналізу. Матеріалами досліджень є середні місячні та річні температури повітря по 13 метеостанціях, розташованих на водозборі Дністра, за період 1947-2021 роки. В результаті досліджень встановлено, що на території водозбору Дністра проходить потепління. Початок статистично значущих змін температури повітря припадає на 1988 рік. Коливання середніх річних температур повітря відбуваються синхронно. Позитивні статистично значущі тренди у межах всього періоду спостережень (1947-2021) виявлені для середніх річних температур повітря, середніх місячних температур теплою та холодною періоду, а також зимового сезону. При розгляді двох розрахункових періодів (до 1989 року та після) встановлено, що до 1989 року статистично значущих трендів не спостерігалось, вони сформувалися після 1989 року. Виявлено, що гірські водозбори Українських Карпат реагують на потепління формуванням від'ємних трендів у коливаннях середнього місячного стоку весняного водопілля.

Ключові слова: глобальне потепління; зростання температури повітря; позитивні тренди за рік та сезони; стік весняного водопілля.

1 ВСТУП

Актуальність обраної теми визначається необхідністю постійного моніторингу гідрометеорологічних характеристик в умовах глобального потепління. У Водній стратегії України до 2050 року (розпорядження від 9 грудня 2022 р. № 1134-р Київ) [1] зазначається, що завданнями з досягнення цілі 4 (Скорочення зростаючих ризиків нестачі води та надлишку води) є “стимулювання дослідження щодо змін кількісних характеристик водних ресурсів України внаслідок зміни клімату; розроблення та включення до планів управління річковими басейнами заходів з адаптації до зміни клімату з урахуванням середньо- та довгострокових сценаріїв зміни клімату”.

“Одним з головних проявів регіональних

кліматичних змін на тлі глобальних процесів потепління є істотне підвищення температури повітря, зміна термічного режиму та структури опадів, збільшення кількості небезпечних метеорологічних явищ та екстремальних погодних умов, збитків, які вони зумовлюють різним галузям економіки та населенню країни” [2].

Водозбір Дністра знаходиться у Північній Атлантико-континентальній кліматичній та Південній Атлантико-кліматичній областях [3]. У північній кліматичній області розташовані такі природні зони як Українські Карпати, зона широколистяних лісів та лісостепова зона (західний кліматичний район). У Південній кліматичній області знаходиться степова природна зона. Межа між цими кліматичними областями відповідає межі між лісостеповою та

степовою природними зонами. Українські Карпати є областю формування стоку річки Дністер. Тут розташовані Центрально-Карпатська область високої водності та Дністровсько-Прутська область підвищеної водності [4]. Значна частина стоку річки Дністер формується також у природній зоні широколистяних лісів (Волинська підобласть гідрологічної зони достатньої водності). Нижче за течією (нижче створу р. Дністер-с. Заліщики) внесок правобережних та лівобережних приток у загальну водність річки зменшується, відбувається перехід від зони достатньої водності (середня течія Дністра) до зони недостатньої водності (нижня течія Дністра). За рахунок глобального потепління наприкінці ХХ та на початку ХХІ сторіччя відбувається зміна температурного режиму повітря в басейні річки Дністер, яка може призвести до зміни меж зон водності. Особливістю формування стоку в басейні Дністра є зміна основних складових живлення річки по природних зонах. У верхній частині річки переважає внесок дощового та снігового живлення. У середній частині водозбору поряд із сніговим живленням значну роль у формуванні стоку відіграють підземні води, особливо ті, що знаходяться у карстових утвореннях [5]. У нижній частині водозбору основна роль у формуванні стоку належить весняному водопіллю. Зміни внеску снігового живлення у формування стоку річок Карпат внаслідок зростання температур холодного періоду може суттєво вплинути на загальну водність приток та головної річки.

Об'єктом дослідження є зміни температурного режиму повітря внаслідок глобального потепління. *Предметом дослідження* є оцінка змін температурного режиму на водозборі Дністра та вплив цих змін на формування стоку його гірської частини.

Метою роботи є оцінка змін температурного режиму повітря на водозборі річки Дністер на початку ХХІ сторіччя та їх впливу на формування стоку річок.

Огляд літератури. Прогнози змін водних ресурсів України на 2041-2070 рр. та 2071-2100 рр. , виконані для восьми основних басейнів України на базі шести глобальних кліматичних моделей (GHMs) сценаріїв RCP2.6 та RCP8.5 показали [6], що у межах Українських Карпат очікується зменшення річних сум опадів у межах 10% на періоди 2041-2040 рр. та 2071-2100 рр. (сценарій RCP2.6). Для сценарію RCP8.5 очікувані зміни становитимуть “мінус” 10% у період 2041-2040 рр. та “мінус” 5% у

період 2071-2100 рр. (сценарій RCP8.5). Зростання температур повітря буде знаходитися у межах 2,0-2,5°C для обох періодів сценарію RCP2.6. Згідно із сценарієм RCP8.5 у період 2041-2070 рр. температура повітря може зрости на 2,0-2,5°C, а у період 2071-2100 рр. – на 4-5°C. Прогноз зміни водних ресурсів наданий за математичною моделлю WaterGAP2 для річки в цілому: очікується зменшення водних ресурсів на 25% за сценарієм RCP2.6 та на 30% за сценарієм RCP8.5.

Кількісна характеристика змін максимального стоку період 1960-2010 рр. дозволила установити, що на території Українських Карпат зменшення максимального стоку у середньому становить “мінус” 10-15% на десятиріччя [7].

У роботі [8] на основі використання гідрометеорологічних даних до 2010 р. включно було установлене існування стійкої тісної кореляційної залежності максимальних запасів води у сніговому покриві перед початком весняного водопілля та шарів стоку за період весняного водопілля рідкої повторюваності для Гірського Дністра. На основі операторної моделі формування стоку виконана оцінка можливих змін весняного водопілля з використанням даних двох прогностичних моделей – HADCM3, яка розроблена Центром Хедлі по дослідженню та прогнозуванню клімату (метеорологічна служба Великобританії MetOffice) та CCSM3, розроблена Національним центром атмосферних досліджень (NCAR, США). Для розрахунку використані прогнозовані середні зміни річних опадів і температур повітря для сценаріїв A1B, A2, B1 та COMMIT. В результаті для верхньої (Карпатської) частини басейну Дністра за всіма сценаріями, модель NCAR_CCSM3, на період 2010-2039 рр. прогнозується зменшення стоку весняного водопілля практично на 50%, в той же час за моделлю HADCM3 на цей період очікується незначне збільшення на 12-17% з подальшим суттєвим зниженням у період до 2069р.

У роботі [9] на основі прогнозованих показників посушливості показано, що у період 2021-2050 рр. за сценаріями RCP8.5 очікується розширення до півночі та північного заходу зони недостатнього зволоження та напіваридної зони, яка сформувалася в теперішній час. Зона достатнього зволоження буде скорочуватися у північно-західному напрямку. Територія Північно-Західного Причорномор'я буде знаходитися в аридній зоні, що призведе до зменшення притоку прісних вод до лиманів, їх поступового обміління та зростання солоності їх

вод [10]. Дослідження осереднених по групах водозборів різницевих інтегральних кривих, побудованих для річних, а також для максимальних витрат весняного водопілля та дощових паводків дозволив установити, що різниця у характері коливань річного стоку у створах однієї і тієї ж річки або поряд розташованих річок може бути поясненою різною роллю весняного водопілля у формуванні річного стоку річок [11].

Результати сучасних спостережень та прогнози указують на необхідність постійного моніторингу змін кліматичних чинників та водних ресурсів у басейні Дністра, водозбір якого вміщує у собі декілька природних зон.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

У роботі використані метеорологічні середні місячні дані (1946-2021рр.) по 13 метеорологічним станціям, розташованим на водозборі або на прилеглих територіях. Тривалість спостережень 76 років. Дані гідрологічних спостережень представлені у вигляді середніх місячних витрат води за період спостережень 1945-2021рр. Дані гідрометеорологічних спостережень надані Центральною Геофізичною Обсерваторією (м. Київ) за договором від 21.02.2023. Основними методами досліджень є метод різницевих інтегральних кривих [12] та регресійний аналіз даних [13].

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. Вони 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.

Різницева інтегральна крива має таку властивість. Відхилення середнього значення величини (модульного коефіцієнта) за будь-який інтервал часу від його середнього значення за багаторічний період спостережень дорівнює одиниці, характеризується тангенсом кута нахилу лінії, яка поєднує точки початку та кінця інтервалу, до горизонтальної прямої і визначається за формулою

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= (k_i - 1)_{\text{сеп}} = \frac{l_k - l_n}{m} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1) - \sum_{i=1}^{n-m} (k_i - 1)}{m} = \frac{\sum_{i=1}^m (k_i - 1)}{m} \end{aligned} \quad (5)$$

де l_k, l_n - відповідно кінцева та початкова ординати інтегральної кривої для періоду часу, який розглядається;

m – число років у періоді часу.

Період часу, для якого ділянка інтегральної кривої має нахил вгору відносно осі абсцис та значення $(k_i - 1)_{\text{сеп}}$ є додатним (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 позитивної та однієї негативної фаз, 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.

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

$$\tilde{y}_i = \tilde{y}(x_i) = \hat{m}_{y/x} = ax_i + b \quad (6)$$

де x_i – дискретні значення випадкової величини X ;

y_i – дискретні значення випадкової величини Y ;

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

a, b – шукані параметри рівняння.

Оцінка параметра рівняння лінійної регресії a зазвичай записується через коефіцієнт кореляції $r_{x,y}$

$$a = r_{x,y} \frac{S_y}{S_x}, \quad (7)$$

де S_x – оцінка середнього квадратичного відхилення σ_x випадкової величини X ;

S_y – оцінка середнього квадратичного відхилення σ_y випадкової величини Y .

Оцінка коефіцієнта кореляції, який відображає тісноту лінійного зв'язку між залежними змінними X та Y , надається у вигляді

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (8)$$

де \bar{x}, \bar{y} – середні арифметичні значення вибірок довжиною n .

Середня квадратична похибка апроксимації S розраховується за рівнянням

$$S = S_y \sqrt{1 - r_{xy}^2}. \quad (9)$$

S не є достатньо інформативною оцінкою, оскільки нев'язка розрахунку визначається в першу чергу вірогідністю визначення коефіцієнтів регресії та кореляції. Щоб переконатись у вірогідності побудованої регресійної моделі необхідно перевірити гіпотези про статистичну значущість коефіцієнта кореляції і коефіцієнтів рівняння регресії.

При спрощеному підході, рівняння лінійної парної регресії приймаються статистично

значущими, якщо коефіцієнт кореляції r , який оцінює тісноту лінійного зв'язку, має значення більше подвоєної похибки свого визначення, тобто:

$$r \geq 2\sigma_r, \quad (10)$$

де r – коефіцієнт кореляції;

σ_r – середнє квадратичне відхилення вибіркового коефіцієнту кореляції.

$$\sigma_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n - 1}}, \quad (11)$$

де n – довжина ряду.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У коливаннях середніх річних температур повітря, описаних за допомогою різницевих інтегральних кривих, виявлено дві фази: холодну (1947-1987 рр.) та теплу (1989-2021 рр.). Точкою перегину є 1988 рік (рис 1). Оскільки за даними В.В. Гребіня [14] початок значущих змін температур повітря на території України припадає на 1989 рік, то можна припустити, що наведені різницеві інтегральні криві ілюструють наслідки впливу змін глобального клімату. Вид різницевих інтегральних кривих дозволяє зробити висновок, що коливання температур повітря відбуваються синхронно по всіх метеостанціях, розташованих на водозборі та прилеглих територіях.

Для подальших досліджень були обрані метеостанції, розташовані у різних природних зонах та різних висотах (Н): Славське (Н=592 м, Карпати, Гірсько-Карпатський кліматичний район), Дрогобич (Н=295 м, Карпати, Передкарпатський кліматичний район), Рава-Руська (Н=252 м, лівобережжя, зона широколистяних лісів), Любашівка (Н=181 м, лівобережжя, лісостепова зона, західний кліматичний район); Роздільна (Н=146 м, лівобережжя, степова зона, північний кліматичний район).

Якщо розглянути хронологічні графіки ходу середніх річних температур повітря, то простежуються тенденції зростання температур повітря, які сформувались наприкінці 80-х років минулого сторіччя (рис.2, рис.3). Як правило, до 1989р. тенденції або відсутні, або є статистично незначущими. На основі методу регресійного аналізу були отримані рівняння регресії для різних періодів спостережень (1947-2021рр.; 1947-1988рр.; 1989-2021 рр.) та оцінено їхню статистичну значущість.

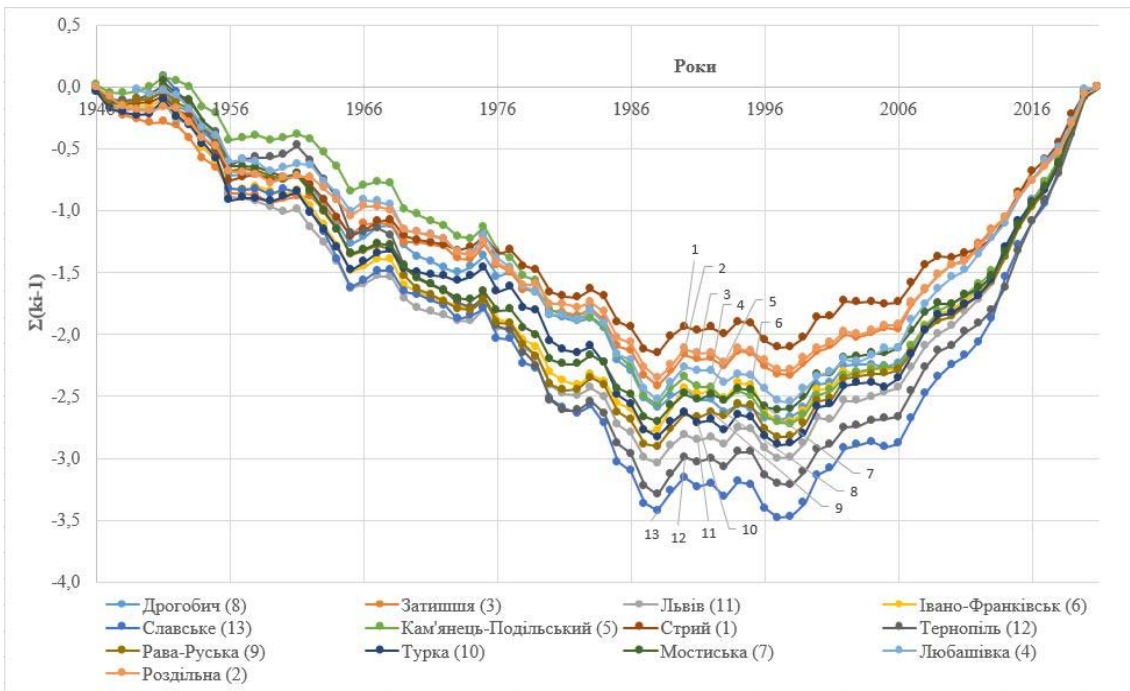


Рис. 1 – Різницево-інтегральні криві середніх річних температур повітря басейну річки Дністер (Україна)
Fig. 1 – Residual mass curves of annual mean air temperatures of the Dniester River basin (Ukraine)

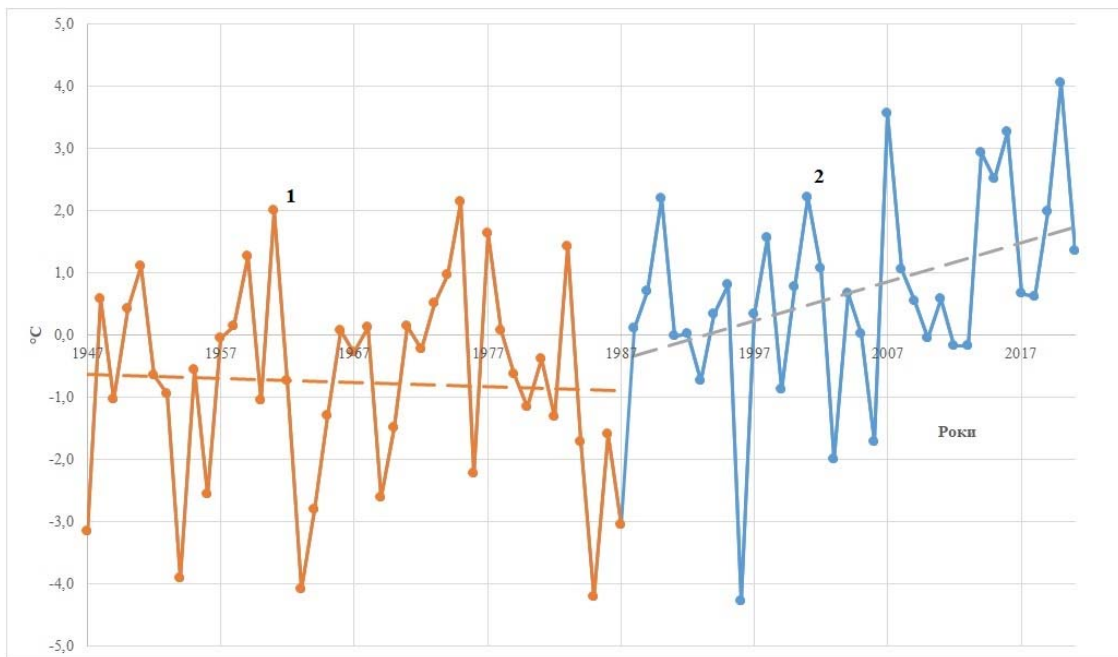


Рис. 2 – Графік хронологічного ходу середніх температур повітря холодного періоду (XI-III) та лінії регресії, метеостанція Дрогобич 1947-2021рр. Коефіцієнт кореляції для періоду 1947-1988 $r=0,047$, коефіцієнт кореляції для періоду 1949-2021 $r=0,27$
Fig. 2 – Chronological chart of cold period mean air temperatures at Drogobych climatological station. Correlation coefficient for the period 1947-1988 $r=0.047$, correlation coefficient for the period 1949-2021 $r=0.27$

Для усіх розглянутих метеорологічних станцій встановлено існування статистично значущих трендів для середніх річних температур повітря за весь період спостережень 1947-2021 рр. та період 1989-2021рр. Для періоду 1947-1988 рр.

статистично значущих трендів не виявлено. Така ж ситуація сформувалася для теплого періоду (VI-X). Для холодного періоду (XI-III) та зимового сезону (XII-II) встановлено існування статистично значущих трендів (табл.1, табл.2) за

весь період спостережень та виявлені позитивні тенденції для періоду 1989-2021рр. За отриманими рівняннями можна зробити висновок, що зростання температур повітря холодного періоду для водозбору Дністра становить у середньому 0,0340 градусів на рік. Зростання температур повітря зимового сезону є більш інтенсивним для метеостанцій верхньої частини водозбору (Славське, Дрогобич, Рава-Руська) і уповільнюється у південному напрямку (Любашівка, Роздільна). Зростання температур

повітря зимового сезону на водозборах Карпат до 1989 року проходило, головним чином, в області від'ємних температур повітря. Наприклад, для метеостанції Славське Гірсько-Карпатського кліматичного району ($H=586$ м) перехід середньої температури зимового сезону у область позитивних значень вперше відбувся лише у 2007 році (рис.4), а для метеостанції Дрогобич ($H=295$ м) Передкарпатського району, кількість таких випадків за період 1989-2021 рр. дорівнює 5 (рис.5).

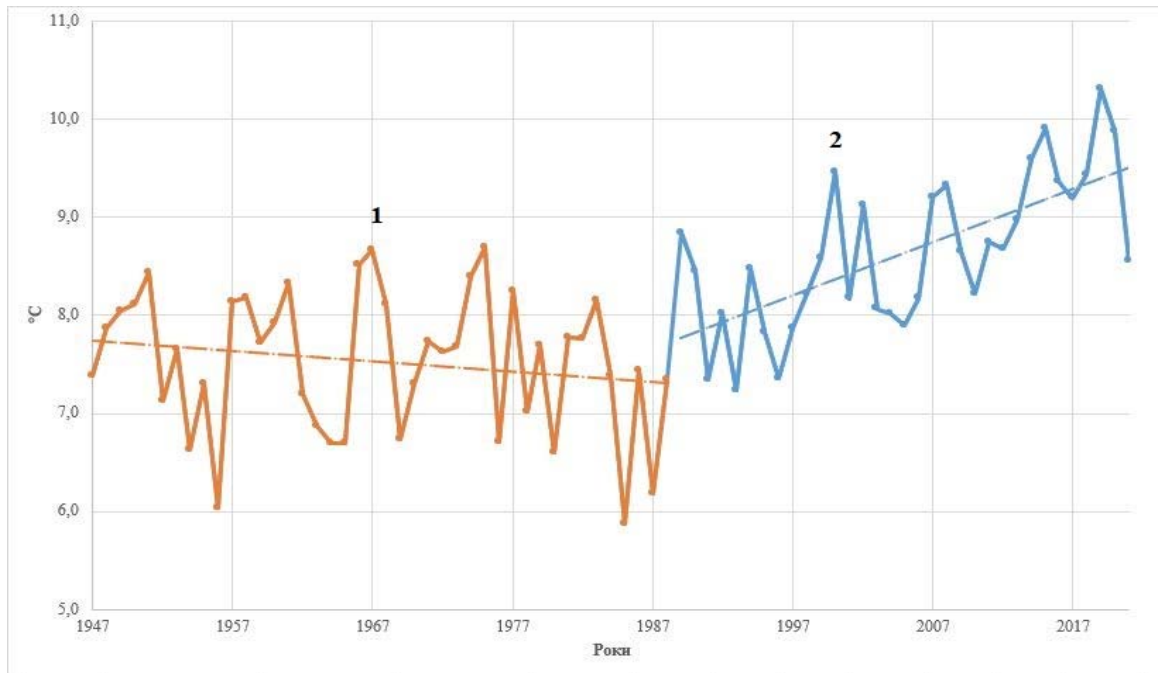


Рис. 3 – Графік хронологічного ходу середніх річних температур повітря метеостанції Дрогобич (1 – період 1947-1988 рр., $r=0,17$; 2 – період 1989-2021 рр., $r=0,70$)

Fig. 3 – Chronological chart of annual mean air temperatures at Drogobych climatological station (1 – period 1945-1988, $r=0,17$; 2 – period 1989-2021, $r=0,70$)

Таблиця 1 – Рівняння регресії для оцінки змін у часі (1947-2021рр.) середніх температур повітря T холодного періоду
Table 1 – Regression equations for determining cold period mean air temperatures changes in time (1947-2021pp.)

Кліматичний район	Метеостанція	Вид рівняння регресії	Коефіцієнт кореляції	Висновок щодо тренду
Карпати, Гірсько-Карпатський кліматичний район	Славське	$T = 0,0330t - 67,3$	0,40	значущий
Карпати, Передкарпатський кліматичний район	Дрогобич	$T = 0,0338t - 67,1$	0,41	значущий
Лівобережжя, зона широколистяних лісів	Рава-Руська	$T = 0,0359t - 71,7$	0,48	значущий
Лівобережжя, лісостепова зона, західний кліматичний район	Любашівка	$T = 0,0351t - 70,4$	0,40	значущий
Лівобережжя, степова зона, північний кліматичний район	Роздільна	$T = 0,0323t - 70,4$	0,41	значущий

Розгляд осереднених місячних витрат води за весняне водопілля (III-V) для водозборів гірської частини Дністра показав, що реакція водозборів на зростання температур повітря зимового сезону на окремих водозборах проявляється безпосередньо з 1989 року (рис.6), або дещо пізніше (рис.7), що може бути пов'язане із впливом підстильної поверхні (рельєф,

залісеність, експозиція схилів, які впливають на умови снігонакопичення на малих гірських водозборах). Слід зазначити, що після 2010 року забезпеченість (ймовірність перевищення) осереднених витрат весняного водопілля приймає значення більші 85%, що свідчить про стійке маловоддя. (рис. 8)

Таблиця 2 – Рівняння регресії для оцінки змін у часі (1947-2021рр.) середніх температур повітря Т зимового сезону
Table 2 – Regression equations for determining winter season mean air temperatures changes in time (1945-2021)

Кліматичний район	Метеостанція	Вид рівняння регресії	Коефіцієнт кореляції	Висновок щодо тренду
Карпати, Гірсько-Карпатський кліматичний район	Славське	$T = 0,0354t - 73,9$	0,34	значущий
Карпати, Передкарпатський кліматичний район	Дрогобич	$T = 0,0364t - 74,3$	0,34	значущий
Лівобережжя, зона широколистяних лісів	Рава-Руська	$T = 0,0381t - 77,8$	0,35	значущий
Лівобережжя, лісостепова зона, західний кліматичний район	Любашівка	$T = 0,0313t - 64,9$	0,30	значущий
Лівобережжя, степова зона, північний кліматичний район	Роздільна	$T = 0,0289t - 59,1$	0,30	значущий

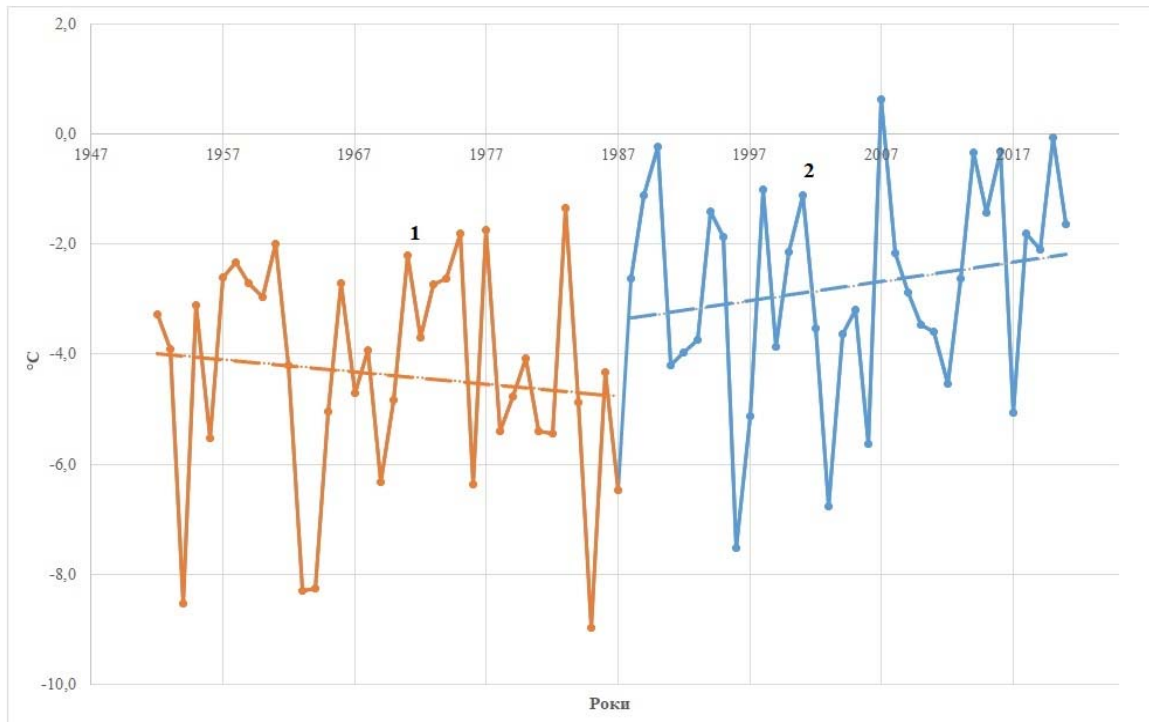


Рис. 4 – Графік хронологічного ходу середніх температур повітря зимового сезону та лінії регресії на метеостанції Славське (1 – період 1947-1988 рр.; 2 – період 1989-2021 рр.)

Fig. 4 – Chronological chart of winter season mean air temperatures and regression lines at Slavske climatological station (1 – period 1947-1988; 2 – period 1989-2021)

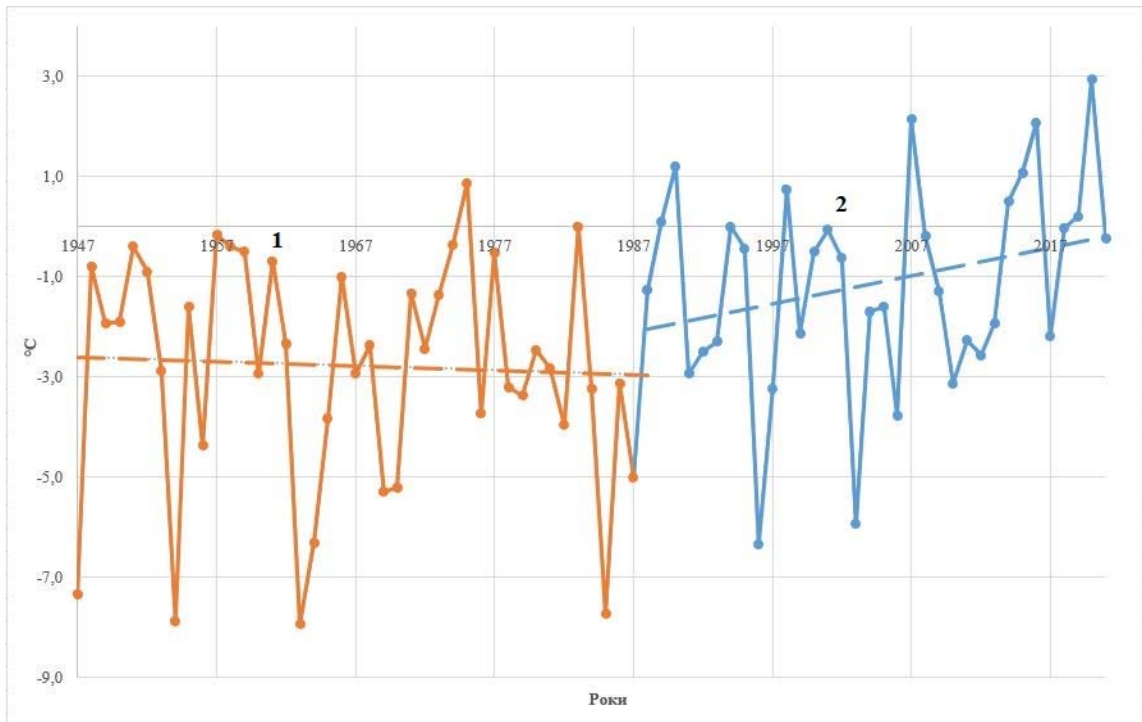


Рис. 5 – Графік хронологічного ходу середніх температур повітря зимового сезону та лінії регресії метеостанції Дрогобич (1 – період 1947-1988 рр.; 2 – період 1989-2021 рр.)

Fig. 5 – Chronological chart of winter season mean air temperatures regression lines at Drohobych climatological station (1 – period 1947-1988; 2 – period 1989-2021)

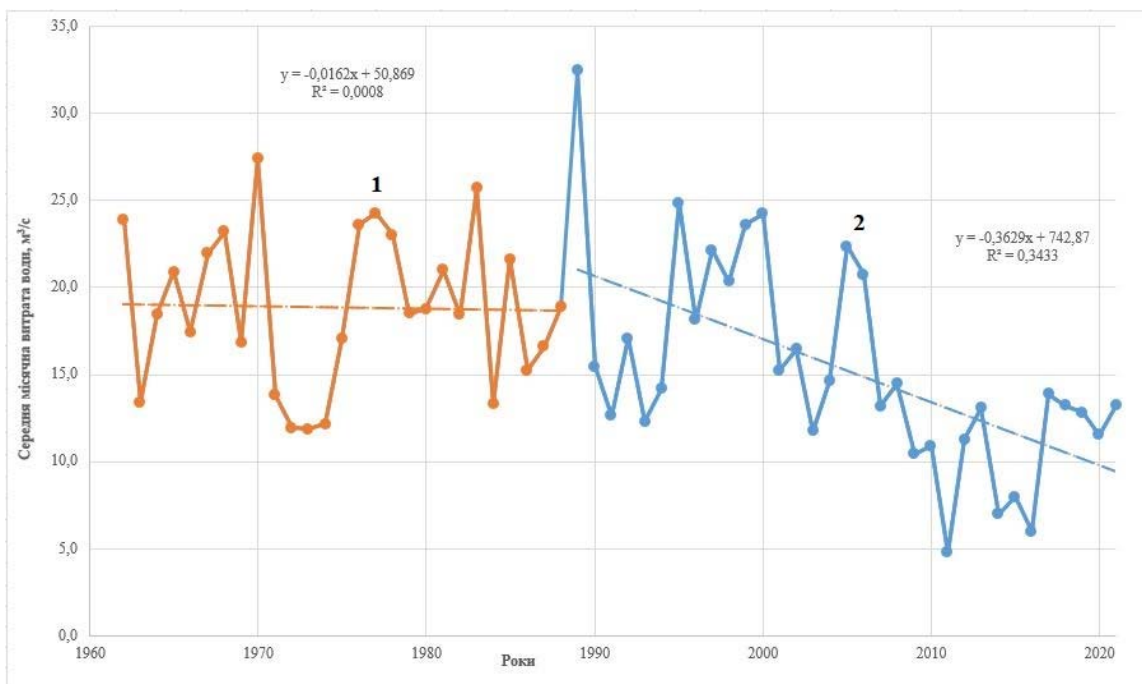


Рис. 6 – Хронологічний графік ходу осереднених місячних витрат води та лінії регресії з відповідними рівняннями за період весняного водопілля (р. Опір – с. Сколе) (1 – період 1947-1988 рр.; 2 – період 1989-2021 рр.)

Fig. 6 – Chronological chart of mean monthly discharge and regression lines with equations during flood period (r. Opir – t. Skole) (1 – period 1947-1988; 2 – period 1989-2021)

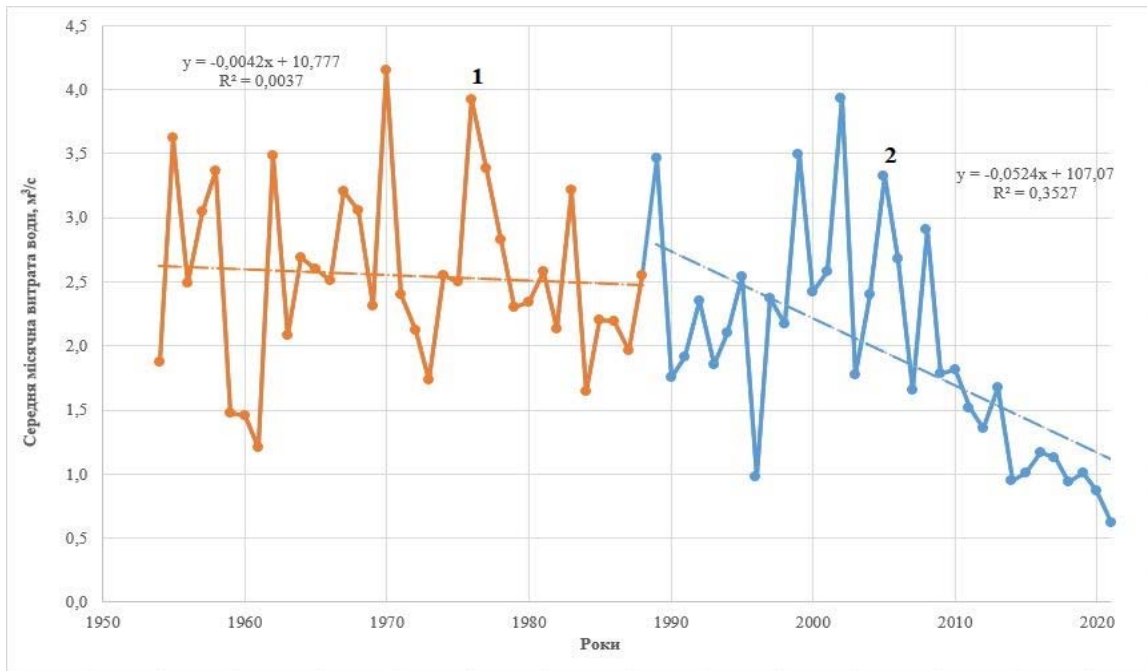


Рис. 7 – Хронологічний графік ходу осереднених місячних витрат води та лінії регресії з відповідними рівняннями за період весняного водопілля (р. Славська –смт Славське) (1 – період 1947-1988 рр.; 2 – період 1989-2021 рр.)
Fig. 7 – Chronological chart of mean monthly discharge and regression lines with equations during flood period (r. Slavska- Slavska vil.) (1 – period 1947-1988; 2 – period 1989-2021)

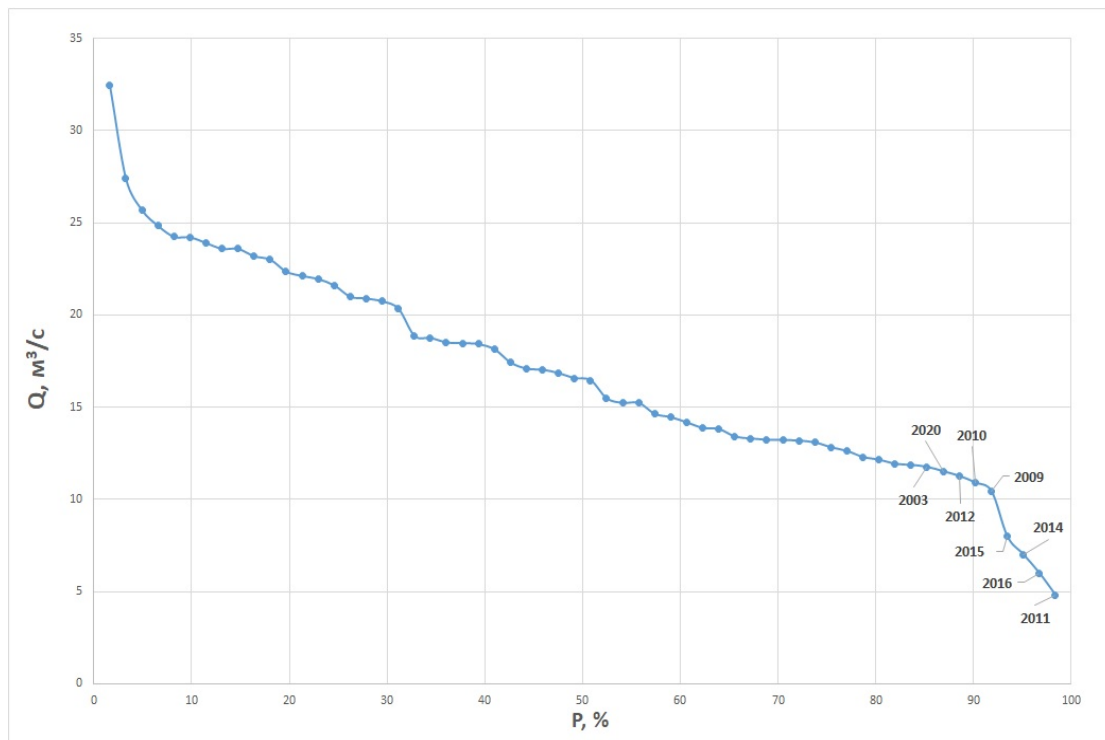


Рис. 8 – Крива забезпеченості осереднених витрат весняного водопілля (р. Опір –с. Сколе)
Fig. 8 – Curve of availability of average flood discharge (r. Opir – t. Skole)

4 ВИСНОВКИ

Установлено, що для режиму середніх річних температур на водозборі річки Дністер 1988 рік є критичним, починаючи з якого зростання температур повітря набуває статистичної значущості.

На основі аналізу різницевих інтегральних кривих середніх річних температур повітря виявлено, що їх коливання відбуваються синхронно не зважаючи на значну протяжність водозбору Дністра з північного заходу на південний схід. На основі регресійного аналізу

установлено існування позитивних статистично значущих трендів для середніх річних температур повітря за весь період спостережень 1947-2021 рр. та період 1989-2021рр. Для періоду 1947-1988 рр. статистично значущих трендів не виявлено.

Виявлено існування позитивних статистично значущих трендів у коливаннях середніх місячних температур повітря теплої періоду (VI-X) за весь період спостережень 1947-2021 рр. та період 1989-2021рр. Для періоду 1947-1988 рр. статистично значущих трендів не виявлено.

Установлено існування статистично значущих позитивних трендів у коливаннях середніх місячних температур зимового сезону (XII-II) та холодного періоду (XI-III) за весь період спостережень 1947-2021 рр. До 1989 року існування трендів у цих коливаннях не виявлено. Після 1989 року на високогір'ях Українських Карпат у змінах температурного режиму холодного періоду та зимового сезону формуються позитивні тенденції, оскільки потепління відбувається в області від'ємних температур, проходить дуже уповільнено, стійкого переходу температур повітря у область додатних значень не виявлено.

Відгук гірських водозборів на зростання температур зимового сезону та холодного періоду в цілому проявився через формування статистично значущих убутних трендів у коливаннях стоку весняного сезону.

Подальші дослідження мають більш детально описати закономірності змін коливань опадів на водозборі р. Дністер у просторі та часі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Водна стратегія України на період до 2050 року (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 9 грудня 2022 р. № 1134-р) URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text> (дата звернення 30. 04. 2024)
2. План управління річковим басейном Дністра 2025-2030. URL: (дата звернення 10.04.2024)
3. Кліматичне районування України. URL: <https://geomap.land.kiev.ua/zoning-12.html#win1> (дата звернення 17.04.2024)
4. Гідрологічне районування України. <https://geomap.land.kiev.ua/zoning-7.html> (дата звернення 17.04.2024)
5. Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України / В. К. Хільчевський, О. М. Гончар, М. Р. Забокрицька та ін; за ред. В. К. Хільчевського, В. А. Сташука. Київ : Ніка-центр, 2013. 256 с.
6. Climate change impact on water availability of main river basins in Ukraine / Didovets I., Krysanova V., Hattermann F. F., Rivas María del Rocío L., Snizhko S., Schmied H. M. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2020. № 32. Pp. 1-13
7. Changing climate both increases and decreases European river floods / Blöschl G., Hall J., Viglione A. et al. *Nature*. 2019. № 573. Pp. 108-111.
8. 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.
9. Лобода Н. С., Козлов М. О., Катинська І. В. Оцінка змін водних ресурсів Гірського Дністра у XXI сторіччі за сценарієм RCP8.5 на основі моделі «клімат-стік». *Український гідрометеорологічний журнал*. 2021. 28. С. 48-64. <https://doi.org/10.31481/uhmj.28.2021.05>
10. Tuchkovenko Y., Khokhlov V., Loboda N. Climate change impact on the freshwater balance of quasi-closed lagoons in the North-Western Black Sea coast. *Journal of Water and Climate Change*. 2023. Vol. 4(7). 2416-2431. <http://doi:10.2166/wcc.2023.109>.
11. Лобода Н. С., Розвод, М. Р. Закономірності коливань стоку річки Дністер (Україна) в умовах кліматичних змін на початку XXI сторіччя. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2023. 32. С. 50-62.
12. Гопченко Є. Д., Лобода Н. С., Овчарук В. А. Гідрологічні розрахунки: підручник. Одеса : ТЕС, 2014. 484 с.
13. Лобода Н. С. Методи статистичного аналізу у гідрологічних розрахунках і прогнозах: навчальний посібник. Одеса: Екологія, 2010. 184 с.
14. Гребінь В. В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз): монографія. Київ : Ніка-центр, 2010. 316 с.

REFERENCES

1. Order № 1134-p of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 23 December 2022 On Approval of the Water Strategy of Ukraine until 2050 // Verkhovna Rada of Ukraine. 12.09.2022. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text> (Accessed: 04.30.24) (in Ukr.)
2. Dniester River Basin Management Plan 2025-2030. // Verkhovna Rada of Ukraine. Available at: https://dav.gov.ua/fls18/tu/RBMP_Dniester/purb_dnis.pdf (Accessed: 04.10.24) (in Ukr.)
3. Climatic zoning of Ukraine. Available at: <https://geomap.land.kiev.ua/zoning-12.html#win1> (Accessed: 04.17.24) (in Ukr.)
4. Hydrological zoning of Ukraine. Available at: <https://geomap.land.kiev.ua/zoning-7.html> (Accessed: 04.17.24) (in Ukr.)
5. Khilchevskiy, V.K., Honchar, O.M., Zabokrytska, M.R. & Stashuk, V.A. (eds). (2013). *Hidrokhimichniy rezhym ta yakist poverkhnevyykh vod baseinu Dnistra na terytorii Ukrainy [Hydrochemical regime and quality of surface waters of the Dniester basin in Ukraine]*. Kyiv: Nika-Centr Publ. (in Ukr.)
6. Didovets, I., Krysanova, V., Hattermann, F.F., Rivas María del Rocío, L., Snizhko, S. & Schmied, H.M. (2020) Climate change impact on water availability of main river basins in Ukraine. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 32, pp. 1-13.
7. Blöschl, G., Hall, J. & Viglione, A. (2019). Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*, 573, pp. 108-111.
8. Ovcharuk, V.A., Hopchenko, Y.D. & Traskova, A.V. (2017). *Normuvannya kharakterystyk maksimalnoho stoku vesnianoho vodpillia v baseini richky Dnister*

- [Normalization of the characteristics of the maximum spring flood runoff in the Dniester River basin]. Kharkiv: FOP Panov A. M. Publ. (in Ukr.)
9. Loboda, N.S., Kozlov, M.O. & Katynska, I.V. (2021). Otsinka zmin vodnykh resursiv Hirskoho Dnistra u XXI storichchi za stsenariiem RCP8.5 na osnovi modeli «klimat-stik» [Assessment of changes in the water resources of the Mountain Dniester in the XXI century under the RCP8.5 scenario based on the climate-runoff model]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal* [Ukrainian Hydrometeorological Journal], 28, pp. 48-64. <https://doi.org/10.31481/uhmj.28.2021.05> (in Ukr.)
 10. Tuchkovenko, Y., Khokhlov, V. & Loboda, N. (2023). Climate change impact on the freshwater balance of quasi-closed lagoons in the North-Western Black Sea coast // *Journal of Water and Climate Change*, vol. 14(7), 2416-2431. <http://doi: 10.2166/wcc.2023.109>.
 11. Loboda, N S., Rozvod, M R. Patterns of runoff fluctuations of the Dniester river (Ukraine) under conditions of climate change at the beginning of the 21st century. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal* [Ukrainian hydrometeorological journal], vol. 32, pp. 50-62. (in Ukr.)
 12. Hopchenko, Y.D., Loboda, N.S. & Ovcharuk, V.A. (2014). *Hidrolohichni rozrakhunky* [Hydrological calculations]. Odesa: TES Publ. (in Ukr.)
 13. Loboda, N.S. (2010). Methods of statistical analysis in hydrological calculations and forecasts. Odesa: Ekologiya.
 14. Hrebin, V.V. (2010). *Suchasnyi vodnyi rezhym richok Ukrainy (landshaftno-hidrolohichniy analiz)* [Modern water regime of Ukrainian rivers (landscape and hydrological analysis)]. Kyiv: Nika-Centr Publ. (in Ukr.)

CHANGES IN THE AIR TEMPERATURE REGIME ACROSS THE DNIESTER RIVER BASIN AT THE BEGINNING OF THE 21ST CENTURY

N. S. Loboda, M. R. Rozvod

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

The relevance of the chosen topic is based on the goals and objectives of the Water Strategy of Ukraine until 2050 that provides for promotion of studies on the impact of climate change on the water content of Ukrainian rivers. The Dniester River is a transboundary river. It supplies water to Moldova and several regions of Ukraine. Predicting possible changes in the Dniester River's runoff due to global warming will help our society adapt to new climate conditions and take preventive measures. The research of the mountainous part of the watershed is of particular importance, as it is the area of runoff formation. Warming can change contribution of the snow component to the river's feed pattern and affect the total river flow. The object of the study: changes in air temperature due to global warming. The subject of the study: assessment of changes in the temperature regime within the Dniester watershed and impact of such changes on formation of its mountainous part's runoff. The study is aimed at assessing the changes in the air temperature regime within the Dniester River watershed at the beginning of the 21st century and assessing the impact of warming during winter season on formation of mountain rivers' spring floods. The main research methods include the method of difference integral curves and the method of regression analysis. The research materials include average monthly and annual air temperatures at 13 meteorological stations located within the Dniester watershed for the period of 1947-2021. The research indicated that the Dniester watershed is subject to warming. Statistically significant changes in air temperature began in 1988. Fluctuations in average annual air temperatures occur synchronously. Positive statistically significant trends over the entire observation period (1947-2021) were found for average annual air temperatures, average monthly temperatures of both warm and cold periods, and for the winter season. When considering two measurement periods (before 1989 and after), it was found that no statistically significant trends were observed before 1989. They were formed after 1989. It was also discovered that mountainous watersheds of the Ukrainian Carpathians respond to warming by forming negative trends in the fluctuations of average monthly runoff of spring floods.

Keywords: global warming; rising air temperature; positive trends over a year and its seasons; spring flood runoff.

Подання до редакції: 12.03.2024
Надходження остаточної версії: 20.03.2024
Публікація статті: 25.04.2024