

ВПЛИВ ПІВНІЧНОАТЛАНТИЧНОГО КОЛИВАННЯ ТА ПІВНІЧНОМОРСЬКО-КАСПІЙСЬКОГО КОЛИВАННЯ НА КЛІМАТИЧНІ ЧИННИКИ ФОРМУВАННЯ СТОКУ ДНІСТРА (УКРАЇНА) НА ПОЧАТКУ ХХІ СТОРІЧЧЯ

Н. С. Лобода, М. Р. Розвод

*Одеський національний університет імені І.І. Мечникова,
вул. Всеволода Змієнка, 2, 65000, Одеса, Україна
natalie.loboda@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0794-9951>*

Актуальність обраної теми обумовлена впливом змін клімату на формування водності річок України, серед яких значуще місце посідає річка Дністер. Дністер забезпечує водою південно-західну частину України і республіку Молдова. Зміни клімату обумовлюють, насамперед, вплив кліматичних чинників (опадів та температур повітря) на формування стоку. Метою роботи є виявлення ролі атмосферних процесів – Північно-Атлантичного коливання (ПАК) або North Atlantic Oscillation (NAO) та Північноморсько-Каспійського коливання (ПКК) або North Sea Caspian Pattern (NCP) на кліматичні чинники формування стоку Дністра. Головним методом дослідження є метод регресійного аналізу. Для виявлення циклічності у коливаннях індексів застосований метод ковзного осереднення. У роботі використані гідрологічні та метеорологічні дані з 1948 року, для сумісного аналізу рядів – з 1955 по 2021 рр. Оскільки у наявних базах даних індекси NCP наведені лише до 2005 року, авторами був продовжений ряд індексів до 2021 року згідно із методикою Kutiel H., Benaroch Y. (2002). Для розрахунку індексу NCP за період 2006–2021 рр. використано дані реаналізу ERA5 щодо геопотенціалу на ізобаричній поверхні 500 гПа (Z500) у центрах дії Північного моря (55°N, 5°E) та Північного Каспію (45°N, 55°E). Опрацьовано дані тринадцяти метеорологічних станцій (Мостиська, Яворів, Львів, Стрий, Дрогобич, Турка, Славське, Коломия, Івано-Франківськ, Кам'янець-Подільський, Тернопіль, Любашівка, Роздільна). Виявлено, що середні багаторічні температури повітря по всіх метеорологічних станціях характеризуються статистично значущим кореляційним зв'язком із зимовими індексами NAO. Це свідчить про вплив Північно-Атлантичного коливання на формування температурного режиму повітря на водозборі Дністра на всій його протяжності з північного заходу на південний схід (у межах України). Зв'язків індексів NAO із характеристиками опадів не встановлено. Роль NCP у формуванні річного стоку Дністра є менш значущою. Установлений тісний зворотній зв'язок між річними сумами опадів та індексами NCP для верхньої частини Дністра (Мостиська, Яворів, Львів, Івано-Франківськ, Стрий, Дрогобич). Для інших метеорологічних станцій таких зв'язків не виявлено. Показано, що у негативну фазу коливань NCP зростають як опади, так і стік річок Стрв'яж, Верещиця, Щерек. Ця обставина обумовлює особливості коливань стоку указаних річок на відміну від інших приток Дністра. Встановлені закономірності дозволять точніше оцінювати перспективи змін стоку приток Дністра під впливом глобальних атмосферних процесів.

Ключові слова: Північно-Атлантичне Коливання (ПАК або NAO); Північноморсько-Каспійське коливання (ПКК або NCP); кліматичні чинники формування стоку, температури повітря; опади; річний стік

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”.

Водозбір річки Дністер має значну протяжність з північного заходу на південний схід України і проходить через декілька географічних зон. Дністер є транскордонною річкою, яка постачає

воду у 7 областей України та республіку Молдова.

Водозбір Дністра знаходиться у Північній Атлантико-континентальній кліматичній та Південній Атлантико-кліматичній областях [2].

Зона формування стоку знаходиться у верхній частині водозбору і припадає на правобережні гірські притоки (область підвищеної водності) та лівобережжя Дністра, яке знаходиться в гідрологічній області достатньої водності, провінції широколистяних мішаних лісів [3].

Широколиста волога ландшафтно-гідрологічна зона [4] відрізняється від інших територій Дністра проявом деяких особливостей у характері коливань стоку. Наприклад, у роботі Овчарук В.А. та Мартинюка М.О. [5] на початку ХХІ століття установлені зміни у характері коливань максимальних витрат та шарів стоку у період весняного водопілля та формування позитивної фази коливань дощових паводків в басейні річки Західний Буг, який межує із басейном Дністра у його верхній частині. У роботі Горбачової Л.О. та Христюка Б.Ф. розглядувана зона виділена в окремий Західно-Бузький район за кривими Ендрюса [6], куди входять як притоки Західного Бугу, так і лівобережні притоки Верхнього Дністра. Авторами цієї статті [7] установлене, що на цих притоках коливання ординат різницевих інтегральних кривих річного стоку та максимального стоку весняного водопілля і дощових паводків відбуваються майже синхронно із формуванням позитивної (багатоводної) фази, що виділяє їх серед інших приток Дністра.

Зміна фаз водності річок визначається глобальними атмосферними процесами [8], які в першу чергу впливають на кліматичні чинники формування стоку - опади та температуру повітря, як головний показник теплоенергетичних ресурсів клімату [9].

Оскільки атмосферні процеси визначають особливості коливань кліматичних чинників та стоку річок, то досліджуючи їх можна установити причини мінливості стоку Дністра.

Метою роботи є виявлення ролі атмосферних процесів – Північно-Атлантичного коливання (ПАК або NAO) та Північноморсько-Каспійського коливання (ПКК або NCP) на кліматичні чинники формування стоку Дністра.

Огляд літератури. Регіональні зміни температури, що відбуваються, частково співвідносяться з різними фазами атмосферно-океанічних коливань, таких як Північно-Атлантичне – Арктичне коливання [10].

Квазісинхронні низькочастотні коливання тиску в Азорському максимумі та в Ісландському

мінімумі називають Північно-Атлантичним Коливанням (ПАК) або North Atlantic Oscillation (NAO) [11]. Це гігантська система, яка визначає «західне перенесення» вологи на всю Європу. Проте, як указано в [12], для Східного Середземномор'я та Східної Європи NAO часто пояснює лише 10–15% мінливості опадів.

NAO описує загальне західне перенесення вологи з Атлантики і визначає силу зональної (захід–схід) циркуляції, оскільки контролює інтенсивність західних вітрів та перенесення повітряних мас над Атлантикою [9]. Однак, на території України атлантичні повітряні маси часто стикаються з континентальними або трансформуються [10].

Важливим індикатором кліматичної мінливості Північної півкулі виступає Північноморсько-Каспійське коливання [11]. «Оскільки територія України розташована досить близько до одного з полюсів цього атмосферного циркуляційного сигналу, то даний тип мінливості представляє особливий інтерес, і багато в чому визначає величину аномалій температури, особливо на півдні країни і над акваторією Чорного і Азовського морів» [12].

У свою чергу, Північноморсько-Каспійське коливання або North Sea Caspian Pattern (NCP) є диполним телезв'язком між районом Північного моря та Каспійського регіону, що формує просторову структуру типу «північний захід – південний схід» з позитивними аномаліями у північно-західній Європі та негативними — у південно-східних регіонах. Атмосферний процес NCP є диполем, який описує меридіональні потоки повітря в Європі [13; 14].

Раніше вважалося, що NCP впливає лише на Балкани, Туреччину та Ізраїль. У роботі [14] доводиться, що вплив Північноморсько-Каспійського коливання поширюється на значну частину Європи. Доведено, що в певних регіонах NCP пояснює варіативність клімату краще, ніж NAO (Північно-Атлантичне коливання) або EA (Східно-Атлантичне коливання).

Хоча основи вивчення NCP були закладені Kutiel H., Benaroch Y. (2002) [11] на початку 21 століття, сучасні дослідження [15] підтверджують, що цей індекс залишається важливим для розуміння кліматичної мінливості не лише Середземномор'я, а й усієї Євро-Середземноморської зони, включаючи територію України. Басейн Дністра знаходиться в зоні трансформації повітряних мас [16], де атлантичний вплив (NAO) при переході на схід слабшає, а вплив «баричного жолоба» (NCP) між Північним морем та Каспієм

стає визначальним для опадів [13]. Згідно із даними роботи [17] індекси NCP в позитивній фазі можуть суттєво посилювати посушливість клімату Європи. У [15] зазначається, що NCP корисний для зображення не лише температури, але й аномалій опадів у центральній, західній, та північно-західній частинах Європи.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

У роботі використані дані метеорологічних спостережень на діючих метеорологічних постах, які розташовані на водозборі р. Дністер або поряд у межах України (Мостиська, Яворів, Львів, Стрий, Дрогобич, Турка, Славське, Коломия, Івано-Франківськ, Кам'янець-Подільський, Тернопіль, Любашівка, Роздільна). Оскільки на багатьох метеорологічних та гідрологічних станціях басейну Дністра початок спостережень припадає на 50 – ті роки минулого сторіччя, ряди формувалися за єдиним періодом спостережень: 1955–2021 рр. Максимальна тривалість спостережень становить 71 рік (1951–2021 рр.).

Кількісні показники атмосферних процесів представляються у виді атмосферних індексів, телеконнекційних індексів та патернів. Телеконнекційні індекси широко використовуються для прогнозування гідрометеорологічних режимів річок України [18; 19; 20]. Північно-Атлантичне коливання є термобаричною схемою, яка відображає наявність коливальних аномалій тиску в атмосфері Північної Атлантики. Дію атмосферних процесів можна оцінити за допомогою індексів, які зазвичай розраховуються як різниця між характеристиками тиску у певних точках. Наприклад, індекс ПАК можна оцінити як різницю між зниженим тиском Ісландії (Ісландський мінімум) і підвищеним тиском Азорських островів (Азорський максимум). Коливання аномалій тиску викликають зміни у коливаннях клімату на Європейському континенті. Позитивні значення індексів Північно-Атлантичного коливання зв'язують із підвищенням температур повітря та опадів в Північній Європі та зменшенням температури та кількості опадів у Південній Європі. Та навпаки, негативні індекси ПАК супроводжуються більш сухим кліматом в Північній Європі, та більш теплим й вологим кліматом у Південній Європі.

У роботі використовувався часовий ряд середніх місячних значень індексу NAO, запропонованому центром прогнозування клімату NOAA Climate Prediction Center (CPC) [21]. Дата 1950 року обрана не випадково: вона вважається початком ери «надійних даних», коли мережа метео-

рологічних спостережень та аерологічного зондування стала достатньо щільною для точного моделювання глобальної атмосфери. Індекс NAO від NOAA базується на методі ротації головних компонент (RPCA) [22].

На відміну від станційного методу (де просто порівнюють тиск у двох точках), NOAA використовує аналіз полів висоти геопотенціалу 500 гПа над усією Північною півкулею. Це дозволяє виділити NAO як домінуючу форму мінливості, що не залежить від дрібних помилок окремих метеостанцій [24]. Станційний метод (Station-based indices) – це класичний метод, який базується на різниці нормалізованих аномалій тиску між двома конкретними метеорологічними станціями: однією в зоні Азорського максимуму, іншою — в зоні Ісландського мінімуму [23].

Кількісною мірою інтенсивності Північноморсько-Каспійського коливання або North Sea-Caspian Pattern виступає спеціальний кліматичний індекс NCP, визначений через середньобаторічні значення геопотенціальної висоти ізобаричної поверхні 500 гПа між Північним морем та Каспійським морем [11].

Більшість класичних робіт [25; 13; 11] обмежуються даними до початку 2000-х років, оскільки індекси NCP, які були розраховані відділом кліматичних досліджень Університету Східної Англії закінчуються у 2005 році (1948–2005 рр.).

Для самостійного розрахунку та подовження рядів, у даній роботі використовувалися нормалізовані значення геопотенціалу Z500 у двох полюсах: N1 (Північне море): 55°N, 5°E та N2 (Північний Каспій): 45°N, 55°E [11]. Залучені дані отримані з проекту реаналізу ERA5, які доступні для завантаження на сітці 0,25 × 0,25 км і охоплюють весь період від 1950 року до сьогодення [26; 27].

Для розрахунку значень, починаючи з 2006 року, була використана формула, яка наведена в стандартних таблицях [11]:

$$NCPI = \frac{Z500N1 - \overline{Z500N1}}{\sigma(Z500N1)} - \frac{Z500N2 - \overline{Z500N2}}{\sigma(Z500N2)},$$

де Z500N1 – нормалізовані значення геопотенціалу у полюсі N1 (Північне море)

$\overline{Z500N1}$ – середнє багаторічне значення геопотенціалу у полюсі N1 (Північне море)

Z500N2 – нормалізовані значення геопотенціалу у полюсі N2 (Каспійське море)

$\overline{Z500N2}$ – середнє багаторічне значення геопотенціалу у полюсі N2 (Каспійське море)

$\sigma(Z500N1)$ – кліматологічне стандартне відхилення у полюсі N1 (Північне море)

$\sigma(Z500N2)$ – кліматологічне стандартне відхилення у полюсі N2 (Каспійське море)

Для кожного місяця було розраховано середнє значення та середньоквадратичне відхилення σ на основі масиву даних за 2006–2021 рр. Далі були обчислені нормовані аномалії для кожного полюса та виведено підсумковий індекс як різницю. Це нівелює сезонний хід (різницю між літом і зимою).

З метою оцінки впливу атмосферних процесів на кліматичні чинники формування стоку був застосований регресійний аналіз [28] для пошуку зв'язків між кліматичними характеристиками та індексами розглянутих атмосферних процесів. Також був застосований метод згладжування хронологічних рядів індексів NAO та NCP для виявлення фази їх коливань. Зазвичай п'ятирічне згладжування використовується для виявлення короткострокових квазіперіодичних коливань (цикли 3–5 років, характерні для опадів). Одинадцятирічне згладжування дозволяє нівелювати випадкові шуми та побачити багаторічні тренди, які можливо пов'язані з сонячною активністю або глобальними кліматичними змінами.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ АНАЛІЗ

Аналізуючи згладжені по 11-річках коливання середнього річного індексу ПАК (NAO), можна зробити висновок, що перехід у позитивну фазу їх коливань відбувся у 1980/1981 році (максимум значень індексів спостерігався у 1989 році). Початок від'ємної фази припадає на 2004 рік з мінімумом у 2010 році (рис.1). У багатьох дослідженнях впливу ПАК (NAO) на гідрометеорологічні процеси використовується зимовий індекс (грудень, січень, лютий), оскільки в цей період градієнт тиску між центрами дії атмосфери є максимальним. У зимового індексу NAO позитивна фаза коливань починається з 1989 і триває до 2021 року із формуванням від'ємного “сплеску” у період 2005-2014 рр. (рис.2). Пошук зв'язків між кліматичними чинниками та індексами NAO дозволив виявити статистично значущі залежності середніх річних температур повітря від зимових індексів NAO (табл.1), (рис.3). Слід зазначити, що на водозборі річки Дністер (Україна) для усіх метеостанцій у коливаннях різницевого інтегральних кривих середніх річних температур повітря

була виділена позитивна фаза коливань, яка розпочалася з 1989 року [29, 30]. Це дозволяє зробити висновок про вплив глобального коливання ПАК на формування температурного режиму в басейні Дністра. Статистично значущих кореляційних зв'язків індексів ПАК із характеристиками опадів (річні, сезонні, місячні суми опадів) у даному дослідженні не було виявлено.

Аналіз згладженого по 11-річках хронологічного ряду індексів Північноморського-Каспійського коливання (NCP) показав, що позитивне коливання тривало з 1998 року по 2005, після чого почалася від'ємна фаза (рис.4). Виявлено існування тісного зв'язку між річними індексами NCP та річними сумами опадів на таких метеостанціях верхньої течії Дністра: Мостиська, Яворів, Львів, Стрий, Івано-Франківськ, Дрогобич, що свідчить про вплив меридіанального (Північне море-Каспій) переносу повітряних мас на розподіл опадів верхньої рівнинної течії Дністра. Значення коефіцієнтів кореляції знаходяться у межах $r \approx -0,33$ до $-0,55$ (табл. 2). У той же час на інших метеорологічних станціях водозбору Дністра зв'язку опадів із індексами Північноморського-Каспійського коливання (NCP) не виявлено. Значення коефіцієнтів кореляції знаходяться у межах $r \approx -0,08$ до $-0,26$ (табл. 2). З рисунка 5 видно, що при від'ємних значеннях індексу NCP кількість опадів у лівобережній частині верхів'я Дністра зростає, а при позитивних - зменшується. Можливо, саме за рахунок впливу Північноморського-Каспійського коливання пояснюються зміни у характері коливань стоку приток верхнього Дністра та їх приналежність до правобережного або лівобережного районів із синхронними коливаннями стоку у різні інтервали часу [31].

Якщо розглядати різницеві інтегральні криві річних опадів верхньої течії Дністра, то можна побачити, що саме у цій частині басейну з середини 90-х сформувалася додатна фаза коливань опадів (рис.6). І це знайшло своє відображення у коливаннях річного стоку (рис.7). У свою чергу, характер різницевого інтегральних кривих опадів та стоку у інших частинах басейну Дністра характеризується наявністю від'ємних фаз коливань, що суттєво відрізняє їх від коливань верхньої течії (рис. 8, 9). Таким чином, індекс ППК (NCP) відіграє важливу, але не визначальну роль у формуванні режиму зволоження басейну Дністра, впливаючи передусім на рівнинну частину верхньої течії.

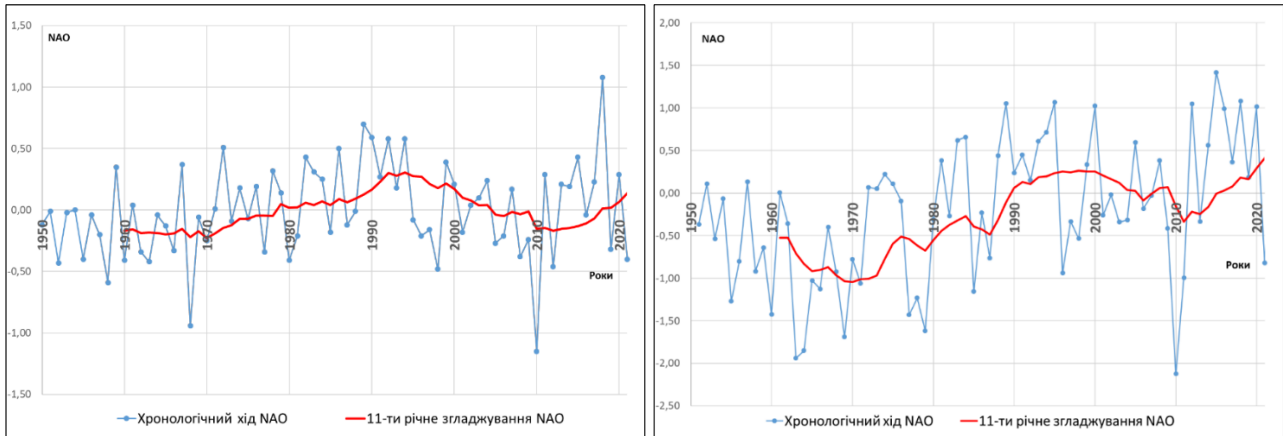


Рис. 1 – Графік хронологічного ходу індексу NAO (1950–2021 рр.) та згладжена крива індексу NAO (зліва)

Fig. 1 – Graph showing the chronological trend of the NAO index (1950–2021) and NAO index moving average (left)

Рис. 2 – Графік хронологічного ходу зимового індексу NAO (1950–2021 рр.) та згладжена крива зимового індексу NAO (справа)

Fig. 2 – Graph showing the chronological trend of the winter NAO index (1950–2021) and NAO winter index moving average (right)

Таблиця 1 – Рівняння регресії та висновки щодо значущості трендів залежності середніх річних температур повітря від зимових індексів NAO на метеостанціях в межах басейну р. Дністер (Україна)

Table 1 – Regression equations and conclusions regarding the significance of trends in the relationship between mean annual air temperatures and winter NAO indices at weather stations within the Dniester River basin (Ukraine)

Метеостанція	Вид рівняння регресії (y – середня річна температура повітря, x – зимовий індекс NAO)	Коефіцієнт детермінації, R^2	Коефіцієнт кореляції, r	Висновок щодо значущості
Івано-Франківськ	$y = 0,6647x + 7,7527$	0,37	0,61	Значущий
Мостиська	$y = 0,7567x + 8,2608$	0,36	0,60	Значущий
Яворів	$y = 0,7854x + 7,9796$	0,34	0,58	Значущий
Львів	$y = 0,7252x + 7,5967$	0,33	0,57	Значущий
Стрий	$y = 0,6307x + 8,1455$	0,33	0,57	Значущий
Дрогобич	$y = 0,6308x + 7,987$	0,27	0,52	Значущий
Славське	$y = 0,593x + 5,9077$	0,25	0,50	Значущий
Турка	$y = 0,5426x + 6,3271$	0,24	0,49	Значущий
Коломия	$y = 0,9365x + 8,0089$	0,39	0,62	Значущий
Кам'янець-Подільський	$y = 0,665x + 8,2691$	0,26	0,51	Значущий
Тернопіль	$y = 0,777x + 7,2369$	0,33	0,57	Значущий
Любашівка	$y = 0,6847x + 8,8365$	0,27	0,52	Значущий
Роздільна	$y = 0,6419x + 9,8591$	0,24	0,49	Значущий

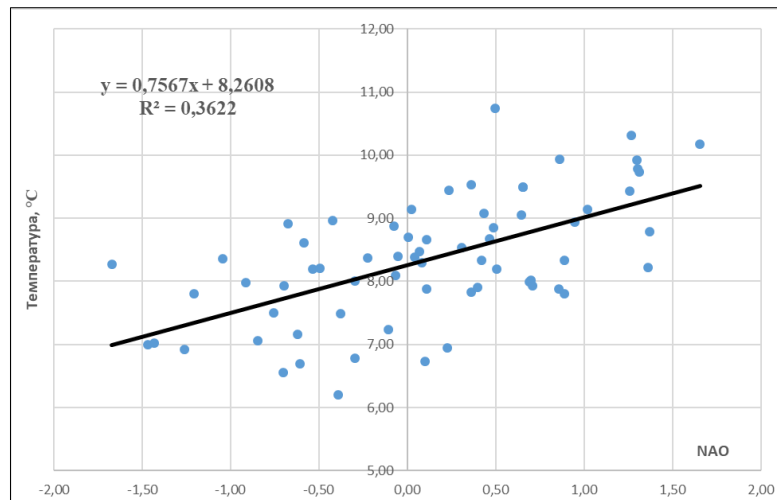


Рис.3 – Залежність середніх річних температур повітря від зимових індексів NAO на метеостанції Мостиська (1955-2021 рр.)
Fig. 3 – Correlation between average annual air temperatures and winter NAO indices at the Mostyska weather station (1955–2021)

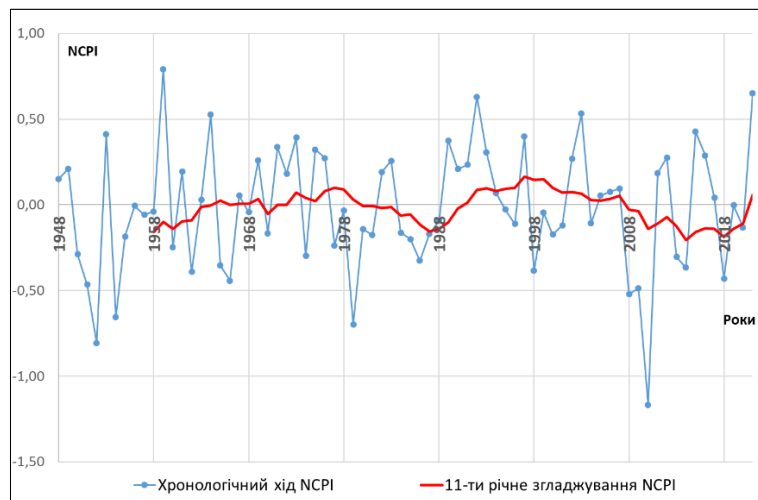


Рис. 4 – Графік хронологічного ходу індексу NCP (1948-2021 рр.) та згладжений ряд індексу NCP
Fig. 4 – Graph showing the chronological trend of the NCP index (1948–2021) and NCP index moving average

Таблиця 2 – Статистичні параметри зв'язку між індексом NCP та річними сумами опадів (1955–2021 рр.)
Table 2 – Statistical parameters of the relationship between the NCP index and annual precipitation totals (1955–2021)

Метеостанція	Коефіцієнт детермінації, R^2	Коефіцієнт кореляції, r	Висновок щодо значущості
Верхня течія Дністра, лівобережжя			
Мостиська	0,30	-0,55	Значущий
Яворів	0,23	-0,48	Значущий
Львів	0,15	-0,39	Значущий
Передкарпатський кліматичний район, правобережжя			
Стрий	0,16	-0,40	Значущий
Дрогобич	0,13	-0,36	Значущий

Кінець таблиці 2

Івано-Франківськ	0,11	-0,33	Значущий
Гірськокарпатський кліматичний район, правобережжя			
Славське	0,01	-0,10	Незначущий
Турка	0,07	-0,27	Незначущий
Поділля, лівобережжя			
Кам'янець-Подільський	0,006	-0,08	Незначущий
Тернопіль	0,006	-0,08	Незначущий
Степова зона, лівобережжя			
Любашівка	0,07	-0,26	Незначущий

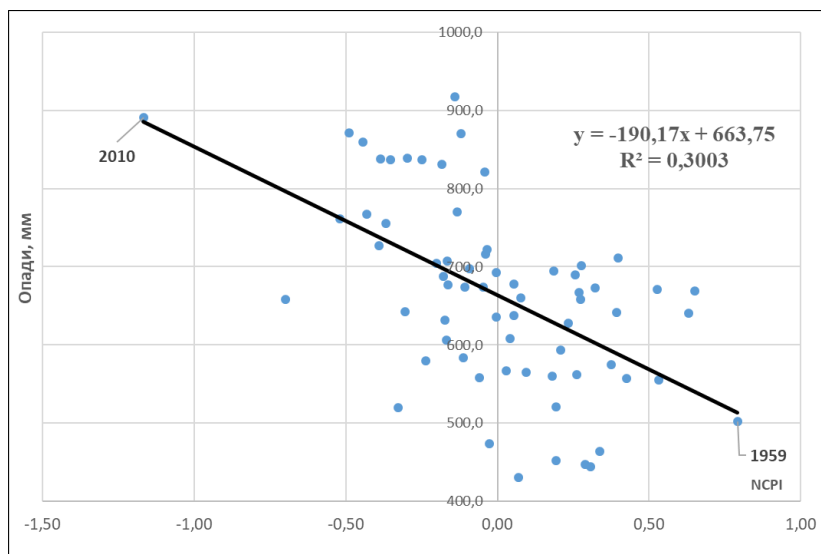


Рис. 5 – Графік зв'язку індексу NCP та річної кількості опадів на метеостанції Мостиська з лінією тренду (період 1955-2021 рр., $r=0,55$)

Fig. 5 – Correlation between NCP index and annual precipitation at the Mostyska weather station with a trend line (1955–2021, $r = 0,55$)

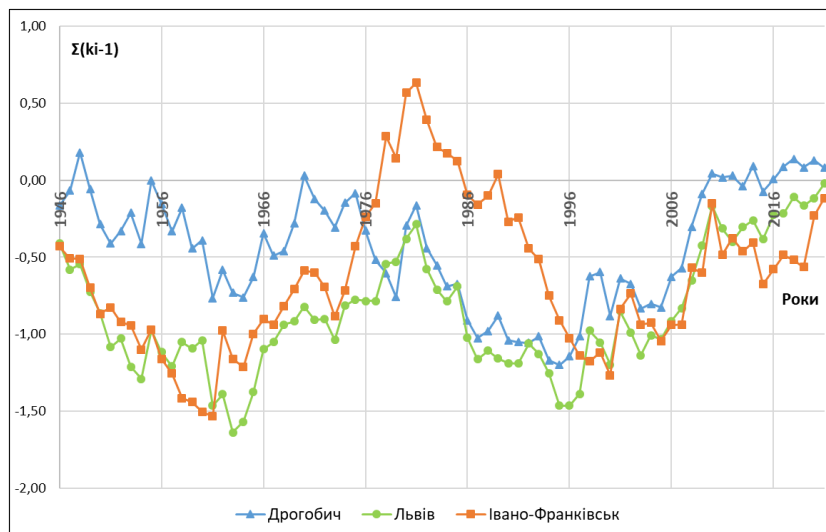


Рис. 6 – Різницеви інтегральні криві річної кількості опадів на метеостанціях верхньої течії Дністра (1946-2021 рр.)

Fig. 6 – Residual mass curves of annual precipitation at weather stations in the upper reaches of the Dniester (1946–2021)

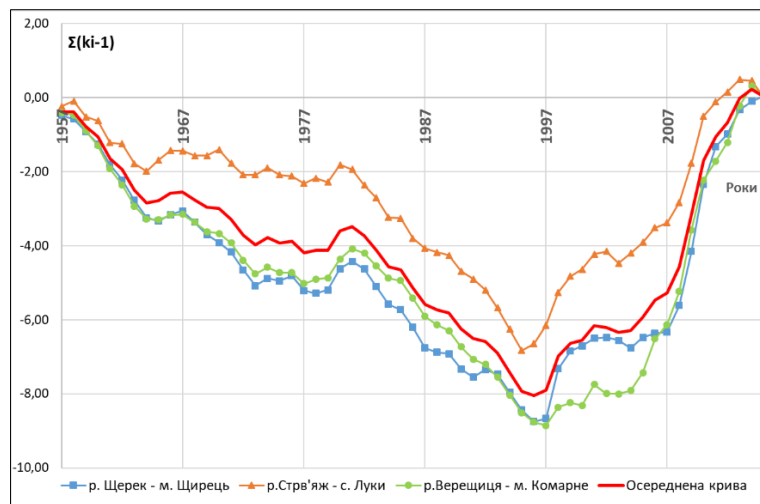


Рис. 7 – Різницеви інтегральні криві річного стоку лівобережних приток у верхній течії Дністра та осереднена інтегральна крива

Fig. 7 – Residual mass curves of the annual runoff of the left-bank tributaries in the upper reaches of the Dniester and the averaged residual mass curve

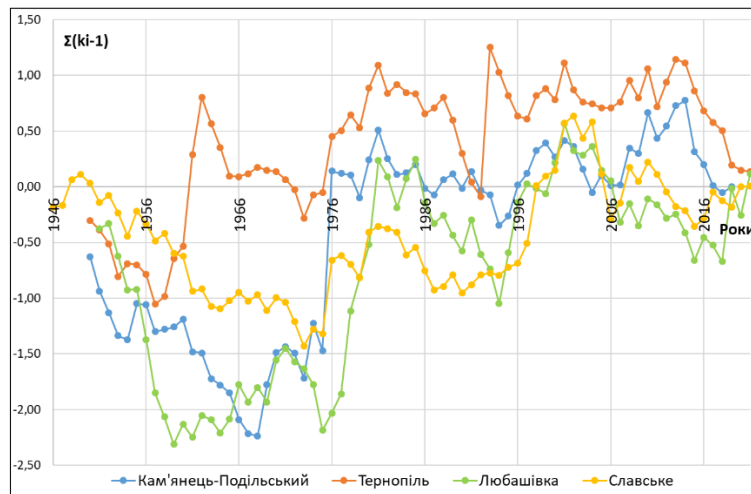


Рис. 8. - Різницеви інтегральні криві річної кількості опадів на метеостанціях басейну Дністра (1946-2021 рр.)

Fig. 8 - Residual mass curves of annual precipitation at weather stations of the Dniester river basin (1946–2021)

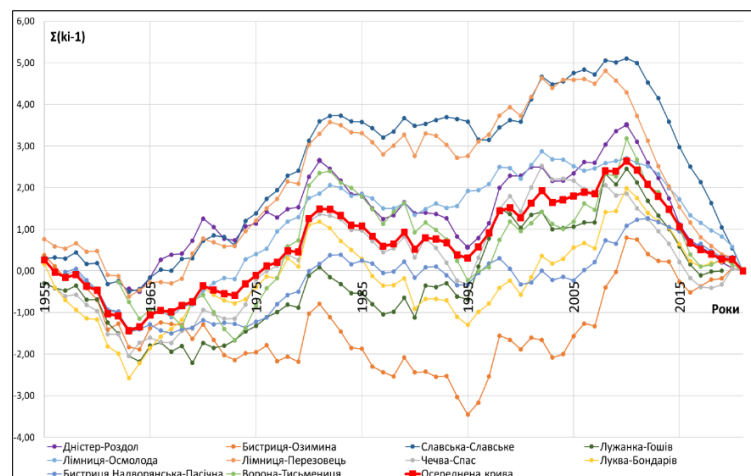


Рис. 9 – Різницеви інтегральні криві річного стоку правобережних приток у гірській частині Дністра та осереднена інтегральна крива

Fig. 9 – Residual mass curves of the annual runoff of the right-bank tributaries in the mountainous area of Dniester and the averaged residual mass curve

4. ВИСНОВКИ

1. Установлено, що в басейні річки Дністер вплив Північно-Атлантичного Коливання (ПАК) на кліматичні чинники проявляється у формуванні температурного режиму повітря, що підтверджується виявленими тісними кореляційними зв'язками між зимовими індексами ПАК та середніми річними температурами повітря у межах усього басейну. Стійких зв'язків індексів ПАК із характеристиками опадів не виявлено.

2. З метою подовження рядів значень індексів ПКК (NCP) виконано розрахунок значень цього індексу за період 2006-2021 рр. на основі методики Kutiel H., Benaroch Y. (2002). Індекс ПКК (NCP) відображає інтенсивність атмосферних процесів, які формуються у результаті баричних коливань між Північною Європою та Каспієм.

3. Отримано, що зимові індекси ПАК з 2011 по 2020 рік знаходилися у позитивній фазі коливань, а індекси ПКК – у від'ємній. Така ситуація забезпечує переважання західного переносу над водозбором Дністра.

4. На основі пошуку зв'язків між індексами Північноморсько-Каспійського коливання та характеристиками температур повітря впливу ПКК на температурний режим повітря у межах водозбору Дністра не виявлено. Статистично значущі зворотні зв'язки між індексами ПКК і річними сумами опадів отримані лише для верхньої течії Дністра (лівобережні притоки), що обумовило наявність позитивної фази коливань стоку у цій частині басейну на відміну від інших приток Дністра та головної річки.

5. Виявлено, що із зростанням зимового індексу ПАК зростає середня річна температура повітря; із зростанням річного індексу ПКК зменшується кількість річних опадів.

6. Установлення ролі ПКК (NCP) у формуванні стоку та взаємодії цього меридіонального атмосферного процесу із західним переносом ПАК (NAO) в басейні Дністра потребує подальшого дослідження, особливо в межах гірської зони.

7. Індекс ПКК (NCP) відіграє важливу, але не визначальну роль у формуванні режиму зволоження басейну Дністра, впливаючи передусім на рівнинну частину верхньої течії. Основним великомасштабним атмосферним процесом, який означає синхронність коливань стоку є Північно-Атлантичне Коливання.

8. Практичне значення. Отримані результати відповідають стратегічним цілям «Водної стратегії України до 2050 року» та можуть бути інтегровано

вані в плани управління річковим басейном Дністра. Встановлені закономірності дозволяють точніше оцінювати ризики нестачі або надлишку води в умовах кліматичних змін.

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 27.03.2026)
2. Кліматичне районування України. URL: <https://geomap.land.kiev.ua/zoning-12.html#w1n1> (дата звернення 25.03.2026).
3. Гідрологічне районування України URL: <https://geomap.land.kiev.ua/zoning-7.html> (дата звернення 25.03.2026).
4. Гребін В. В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). Київ Ніка-центр. 2010. С. 316.
5. Мартинюк М. О., Овчарук В. А. Просторова і часова мінливість максимального стоку в басейні Вісли в умовах кліматичних змін. *Екологічні науки*. Київ. 2023. № 3(48) С. 148-155. <https://doi.org/10.32846/23069716/2023.eco.3-48.24>
6. Горбачева Л. О., Христюк Б. Ф. Гідрологічне районування території України за умовами формування стоку води на основі кривих Ендрюса. *Український географічний журнал*. 2016. № 3. С. 27-33.
7. Гончарова Л. Д., Серга Е. М., Школьнік Є. П. Клімат і загальна циркуляція атмосфери. Київ. 2005. С. 251.
8. Лобода Н.С., Коробчинська А.О. Оцінка впливу мінливості Північно-Атлантичного та Скандинавського коливань на гідрометеорологічні характеристики України. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2010. С. 91-98.
9. 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*. Одеса. 2002. № 45. С. 118 – 124.
10. Decadal trends in the North Atlantis Oscillation: Regional temperature and precipitation / Hurrell J. W. *Science*. 1995. Vol. 269. Pp. 676-679.
11. North Sea-Caspian (NCP) – an upper level atmospheric teleconnection affecting the Eastern Mediterranean: Identification and definition / Kutiel H., Benaroch Y. *Theor. Appl. Climatol.* 2002. Vol. 71. Pp. 17-28.
12. Гончарова Л. Д., Прокоф'єв О. М., Решетченко С. І., Черниченко А. В. Вплив атмосферних макропроцесів на просторовий розподіл опадів по території України у весняний сезон. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2021. № 27. С. 5-15. <https://doi.org/10.31481/uhmj.27.2021.01>.
13. North Sea Caspian Pattern (NCP) – an upper level atmospheric teleconnection affecting the eastern Mediterranean: Implications on the regional climate / Kutiel H., Maheras P., Türkes M., Paz S. *Theoretical and Applied Climatology*. 2002. Vol. 72, 173-192. <https://doi.org/10.1007/s00704-002-0674-8>.
14. The relevance of the North-Sea Caspian Pattern (NCP) in explaining temperature variability in Europe and the Mediterranean / Brunetti M., Kutiel H.: *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 2011. Vol 11, Pp. 2881–2888,

- <https://doi.org/10.5194/nhess-11-2881-2011>.
15. The merit of the North Sea-Caspian pattern in explaining climate variability in the Euro-Mediterranean region / Çaglar F., Yetemen O., Chun K. P., Sen O. L. *International Journal of Climatology*. 2023. Vol. 43 (10), Pp. 4648–4661. <https://doi.org/10.1002/joc.8108>.
 16. План управління річковим басейном Дністра 2025-2030. URL: https://davr.gov.ua/fls18/tu/RBMP_Dniester/purb_dnis.pdf (дата звернення 22.03.2026)
 17. Impact of the North Sea–Caspian pattern on meteorological drought and vegetation response over diverging environmental systems in western Eurasia / He, Q. et al. *Ecohydrology*. 2022. Vol. 15. <https://doi.org/10.1002/eco.2446>
 18. Серга Е. М., І. М. Серга. Відгуки аномалій характеристик клімату України у зимовий період на процеси взаємодії в системі «атмосфера-океан» в Північній Атлантиці. Монографія. 2021.
 19. Хохлов В. Н. Вплив Північноатлантичного коливання на енергетику позатропічних широт. *Метеорологія, кліматологія та гідрологія: Міжвід. науковий збірник. України*. Одеса. 2002. Вип. 46. С. 30-34.
 20. Христюк Б., Горбачова Л. Методики довгострокового прогнозування строків довготривалого льодоставу та очищення від льоду водосховищ Дніпровського каскаду за телеконнекційними показниками. *Геофізичний журнал*. 2023. Вип. 45 (6). С. 87-101.
 21. Часовий ряд місячних значень індексу NAO центру прогнозування клімату NOAA Climate Prediction Center (CPC) URL: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly.b5001.current.ascii.table> (дата звернення 01.04.2026)
 22. Rotation of principal components. / Richman M. B., *Journal of Climatology*, 1986. Vol. 6. Pp. 293-335. <https://doi.org/10.1002/joc.3370060305>.
 23. Structure and evolution of the North Atlantic Oscillation identified through station-based and EOF-based indices / Benedict, J. J., et al. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 2004. Vol. 61(2). Pp. 121-144.
 24. Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland / Jones P. D et al. *International Journal of Climatology*. 1997. Vol. 17(13). Pp. 1433-1450, [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(19971115\)17:13%3C1433::AID-JOC203%3E3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(19971115)17:13%3C1433::AID-JOC203%3E3.0.CO;2-P)
 25. New evidences for the role of the North Sea – Caspian Pattern on the temperature and precipitation regimes in continental central Turkey / Kutiel H., Türke M. *Geogr. Ann.* 2005. Vol. 87. Pp. 501–513. <https://doi.org/10.1111/j.0435-3676.2005.00274.x>
 26. The ERA5 global reanalysis: preliminary extension to 1950 / Bell B., Hersbach H., Simmons A., Berrisford P., Dahlgren P., Horanyi A. et al. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2021. Vol. 147. Pp. 4186–4227. <https://doi.org/10.1002/qj.4174>.
 27. The ERA5 global reanalysis / Hersbach H., Bell B., Berrisford P., Hirahara S., Horanyi A., Muñoz-Sabater J. et al. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2020. Vol. 146 (730), Pp. 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.
 28. Школьнік С. П., Лосєва І. Д., Гончарова Л. Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації. Київ. *Міносвіти України*. 1999. С. 600.
 29. Лобода Н. С., Розвод М. Р. Зміни температурного режиму повітря в басейні річки Дністер на початку XXI сторіччя. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2024. Вип. 33. С. 38-48. <https://doi.org/10.31481/uhmj.33.2024.03>
 30. Лобода Н. С., Розвод М. Р. Закономірності коливаний стоку річки Дністер (Україна) в умовах кліматичних змін на початку XXI сторіччя. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2023. Вип. 32. С. 50-62. <https://doi.org/10.31481/uhmj.32.2023.04>
 31. Мельник С.В., Лобода Н.С. Динамика наносов верхнього і середнього Дністра в умовах антропогенної навантаженості і змін клімату. Монографія. 2019. С. 294

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: 27.03.2026) (in Ukr.)
2. Climatic zoning of Ukraine. Available at: <https://geomap.land.kiev.ua/zoning-12.html#w1n1> (Accessed: 25.03.2026) (in Ukr.)
3. Hydrological zoning of Ukraine. Available at: <https://geomap.land.kiev.ua/zoning-7.html> (Accessed 25 March 2026) (in Ukr.)
4. Hrebin, V. (2010). *Suchasnyi vodnyi rezhym richok Ukrainy (landshaftno-hidrolohiichnyi analiz) [Modern water regime of Ukrainian rivers (landscape and hydrological analysis)]*. Kyiv: Nika-Centr Publ. Pp. 316. (in Ukr.)
5. Martyniuk, M. O., Ovcharuk, V. A. (2023). *Prostorova i chasova minlyvist maksimalnoho stoku v baseini Visly v umovakh klimatichnykh zmin [Spatial and temporal variability of maximum runoff in the Vistula basin under climate change conditions]*. *Ekolohichni nauky [Environmental Sciences]*. Vol. 3(48). Pp. 148-155. <https://doi.org/10.32846/23069716/2023.eco.3-48.24> (in Ukr.)
6. Horbachova, L. O., Khrystiuk, B. F. (2016). *Hidrolohiichne raionuvannya terytorii Ukrainy za umovamy formuvannya stoku vody na osnovi kryvykh Endriusa [Hydrological zoning of the territory of Ukraine by the conditions of water runoff formation based on Andrews curves]*. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal [Ukrainian Geographical Journal]*. Vol. 3. Pp. 27-33. (in Ukr.)
7. Honcharova, L. D., Serha, E. M., Shkolnyi, Ye. P. (2005). *Klimat i zahalna tsyrkuliatsiia atmosfery [Climate and general circulation of the atmosphere]*. Kyiv. Pp. 251. (in Ukr.)
8. Loboda N. S., Korobchinska A. O. (2010). *Otsinka vplyvu minlyvosti Pivnichno-Atlantynohoho ta Skandinavskoho kolyvan na hidrometeorolohichni kharakterystyky Ukrainy [Assessment of the Impact of Variability in North Atlantic and Scandinavian Oscillations on the Hydrometeorological Characteristics of Ukraine]*. *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia [Hydrology, Hydrochemistry, and Hydroecology]*. Pp. 91–98.
9. Loboda N. S. (2002). *Metodycheskye podkhody k otsenke estestvennykh vodnykh resursov hornykh raionov na osnove meteorolohicheskoi informatsiy (na prymere hornoi chasty basseina r.Dnestr) [Methodological Approaches to Assessing Natural Water Resources in Mountainous Areas Based on*

- Meteorological Data (Using the Mountainous Part of the Dniester River Basin as an Example)*. Meteorologiya, klimatologiya ta hidrolohiya [Meteorology, climatology, and hydrology] Vol. 45. Pp. 118 – 124. (in Ukr.)
10. Hurrell, J. W. (1995). Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperature and precipitation. *Science*, 269. pp. 676-679.
11. Kutiel, H., Benaroch, Y. (2002). North Sea-Caspian (NCP) – an upper level atmospheric teleconnection affecting the Eastern Mediterranean: Identification and definition. *Theoretical and Applied Climatology*, 71. pp. 17-28. <https://doi.org/10.1007/s704-002-8205-x>
12. Honcharova L. D., Prokofiev O. M., Reshetchenko S. I., Chernychenko A. V. (2021). Vplyv atmosfernykh makroprosesiv na prostorovy rozpodil opadiv po terytorii Ukrainy u vesnianyi sezon [Influence of atmospheric macroprocesses on the spatial distribution of precipitation in Ukraine during the spring season]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal* [Ukrainian Hydrometeorological Journal], 27. pp. 5–15. <https://doi.org/10.31481/uhmj.27.2021.01> (in Ukr.)
13. Kutiel, H., Maheras, P., Türkes, M., Paz, S. (2002). North Sea Caspian Pattern (NCP) - an upper level atmospheric teleconnection affecting the eastern Mediterranean: Implications on the regional climate. *Theoretical and Applied Climatology*, 72. pp. 173-192. <https://doi.org/10.1007/s00704-002-0674-8>.
14. Brunetti, M. and Kutiel, H. (2011). The relevance of the North-Sea Caspian Pattern (NCP) in explaining temperature variability in Europe and the Mediterranean. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11. pp. 2881–2888, <https://doi.org/10.5194/nhess-11-2881-2011>.
15. Çaglar, F., Yetemen, O., Chun, K. P., & Sen, O. L. (2023). The merit of the North Sea-Caspian pattern in explaining climate variability in the Euro-Mediterranean region. *International Journal of Climatology*, 43(10). pp. 4648–4661. <https://doi.org/10.1002/joc.8108>.
16. 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: 22.03.2026) (in Ukr.)
17. He, Q. et al. (2022). Impact of the North Sea–Caspian pattern on meteorological drought and vegetation response over diverging environmental systems in western Eurasia / *Ecohydrology*. Vol. 15. <https://doi.org/10.1002/eco.2446>
18. Serha, E. M., Serha, I. M. (2021). Vidhuky anomalii kharakterystyk klimatu Ukrainy u zymovyi period na protsesy vzaiemodii v systemi «atmosfera-ocean» v Pivnichnii Atlantysi [Responses of climate characteristic anomalies of Ukraine in the winter period to interaction processes in the "atmosphere-ocean" system in the North Atlantic]. Monograph. (in Ukr.)
19. Khokhlov, V. N. (2002). Vplyv Pivnichnoatlantynohoho kolyvannia na enerhetyku pozatropichnykh shyrot [Influence of the North Atlantic Oscillation on the energetics of extratropical latitudes]. *Meteorologiya, klimatologiya ta hidrolohiya* [Meteorology, Climatology and Hydrology]. Vol. 46. Pp. 30-34. (in Ukr.)
20. Khrystiuk, B. F., Horbachova, L. O. (2023). Metodyky dovhostrokovoho prohnozuvannia strokiv dovhotryvaloho liodostavu ta ochyshchennia vid liodu vodoskhovysh Dniprovskoho kaskadu za telekonneksiinymy pokaznykamy [Methods of long-term forecasting of long-term ice cover dates and ice clearing of the Dnieper cascade reservoirs by teleconnection indicators]. *Heofizychnyi zhurnal* [Geophysical Journal]. Vol. 45(6). Pp. 87-101. (in Ukr.)
21. Monthly Mean NAO index of the NOAA Climate Prediction Center (CPC). Available at: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly.b5001.current.ascii.table> (Accessed: 01.04.2026).
22. Richman, M. B. (1986). Rotation of principal components. *Journal of Climatology*. Vol. 6. Pp. 293-335. <https://doi.org/10.1002/joc.3370060305>
23. Benedict, J. J., et al. (2004). Structure and evolution of the North Atlantic Oscillation identified through station-based and EOF-based indices. *Journal of the Atmospheric Sciences*. Vol. 61(2). Pp. 121-144.
24. Jones, P. D., et al. (1997). Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland. *International Journal of Climatology*. Vol. 17(13). Pp. 1433-1450. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(19971115\)17:13%3C1433::AID-JOC203%3E3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(19971115)17:13%3C1433::AID-JOC203%3E3.0.CO;2-P)
25. Kutiel, H., Türkes, M., (2005). New Evidence for the role of the North Sea – Caspian Pattern on the temperature and precipitation regimes in continental central Turkey. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 87:4. Pp. 501–513. <https://doi.org/10.1111/j.0435-3676.2005.00274.x>
26. Bell, B., Hersbach, H., Simmons, A., Berrisford, P., Dahlgren, P., Horanyi, A. et al. (2021). The ERA5 global reanalysis: preliminary extension to 1950. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 147. Pp. 4186–4227. <https://doi.org/10.1002/qj.4174>
27. Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horanyi, A., Muñoz-Sabater, J. et al. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730). Pp. 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.
28. Shkolnyi, Ye. P., Loieva, I. D., Honcharova, L. D. (1999). *Obrobka ta analiz hidrometeorologichnoi informatsii* [Processing and analysis of hydrometeorological information]. Kyiv: Minosvity Ukrainy. Pp. 600. (in Ukr.)
29. Loboda, N. S., Rozvod, M. R. (2024). Changes in the air temperature regime in the Dniester River basin at the beginning of the 21st century. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal* [Ukrainian Hydrometeorological Journal]. Vol. 33. Pp. 38-48. <https://doi.org/10.31481/uhmj.33.2024.03> (in Ukr.)
30. Loboda, N. S., Rozvod, M. R. (2023). Patterns of Dniester River runoff fluctuations (Ukraine) under climate change conditions at the beginning of the 21st century. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal* [Ukrainian Hydrometeorological Journal]. Vol. 32. Pp. 50- 62. <https://doi.org/10.31481/uhmj.32.2023.04> (in Ukr.)
31. Melnyk S. V., Loboda N. S. Dynamika nanosov verhnego I srednego Dnestra v usloviyah antropogennoy nagruzki I izmeneniy klimata [Sediment dynamics in the upper and middle Dniester under the influence of human activity and climate change]. Monography. 2019. C. 294

THE NORTH ATLANTIC OSCILLATION AND THE NORTH SEA–CASPIAN OSCILLATION INFLUENCE ON THE CLIMATIC FACTORS OF THE DNISTER RIVER RUNOFF FORMATION IN THE BEGINNING OF THE XXI CENTURY (UKRAINE)

N.S. Loboda, M.R. Rozvod

*Odesa I.I. Mechnikov National University,
2 Vsevolod Zmienko Street, Odessa, 65000, Ukraine,
natalie.loboda@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0794-9951>*

The relevance of the chosen topic stems from the impact of climate change on the water runoff of Ukraine's rivers, among which the Dniester River plays a significant role. The Dniester supplies water to the south-western part of Ukraine and the Republic of Moldova. Climate change is primarily driven by the influence of climatic factors (precipitation and air temperature) on runoff formation. The aim of this study is to identify the role of atmospheric processes – the North Atlantic Oscillation (NAO) and the North Sea Caspian Pattern (NCP) – on the climatic factors influencing the Dniester's runoff. The main research method is regression analysis. The moving average method was applied to identify cyclicity in the fluctuations of the indices. The study utilises hydrological and meteorological data from 1948, and for the joint analysis of time series – from 1955 to 2021. Since the available databases contain NCP indices only up to 2005, the authors extended the index series to 2021 in accordance with the methodology of Kutiel H., Benaroch Y. (2002). To calculate the NCP index for the period 2006–2021, ERA5 reanalysis data on geopotential at the 500 hPa isobaric surface (Z500) were used at the centres of the North Sea (55°N, 5°E) and the North Caspian Sea (45°N, 55°E). Data from thirteen meteorological stations (Mostyska, Yavoriv, Lviv, Stryi, Drohobych, Turka, Slavske, Kolomyia, Ivano-Frankivsk, Kamianets-Podilskyi, Ternopil, Liubashivka, Rozdilna) were analysed. It was found that the long-term average air temperatures at all meteorological stations are characterised by a statistically significant correlation with winter NAO indices. This indicates the influence of the North Atlantic Oscillation on the formation of the air temperature regime in the Dniester catchment along its entire length from the north-west to the south-east (within Ukraine). No links between NAO indices and precipitation characteristics have been established. The role of the NCP in shaping the Dniester's annual runoff is less significant. A close inverse relationship has been established between annual precipitation totals and NCP indices for the upper reaches of the Dniester (Mostyska, Yavoriv, Lviv, Ivano-Frankivsk, Stryi, Drohobych). No such correlations were found for other meteorological stations. It has been shown that during the negative phase of NCP fluctuations, both precipitation and the flow of the Strv'yazh, Vereshchytsia and Shcherok rivers increase. This circumstance accounts for the distinctive characteristics of flow fluctuations in these rivers, in contrast to other tributaries of the Dniester. The established patterns will allow for a more accurate assessment of the prospects for changes in the flow of the Dniester's tributaries under the influence of global atmospheric processes.

Keywords: North Atlantic Oscillation (NAO); North Sea-Caspian Oscillation (NCP); climatic factors influencing runoff formation; air temperature; precipitation; annual runoff

*Подання до редакції : 26. 01. 2026
Надходження остаточної версії : 27. 03. 2026
Публікація статті : 25. 05. 2026*