

main watercourses in the Dniester basin in the context of determining the direction of vertical channel deformations// Hydrology, hydrochemistry and hydroecology. K., VGG "Obrii", 2008, vol. 15. - P.43-54.

12. Rozlach Z.V., Obodovskyi O.G., Samoilenko V.M. Normalization of longitudinal profiles of watercourses of the upper and middle Dniester basin for zoning tasks// Scientific works of UkrNDGMI, issue 257, K., 2008 P.199-206.

#### **Assessment of vertical channel deformations of the Teteriv basin rivers**

**Obodovskyi O.G., Korniienko V.O., Kuzmochko V.Yu.**

*The investigation of vertical channel deformations of the main rivers of the Teteriv basin over the last 40 years according to the data of 6 hydrological stations was carried out. The prerequisite for this was the establishment of trends in changes in the water discharge of the considered watercourses. A general decrease of these indicators, especially the average and maximum flow indicators, was revealed. This is confirmed by previously conducted studies on water level fluctuations of the researched rivers. The results proved a universal increase in water levels for the rivers of the basin at fixed water discharge within the river banks. This is evidence that accumulation processes are observed on all explored riverbeds, although their intensity may be manifested in different ways. It is shown that modern vertical channel deformations characterize the accumulation of sediments in the riverbeds of the basin, the average intensity of which varies within 0.27-1.31 cm/year. In general, this trend is confirmed by the change in the longitudinal profiles of the rivers during the specified period, where in the areas where the hydrological stations are located, a slight shift of one relative to the other can be observed, with the prevailing height positions of the longitudinal profile for the year 2020.*

*Comparative analysis of discrete (according to flow curves based on data from hydrological stations) and continuous (according to longitudinal profiles) estimates of vertical channel deformations makes it possible to more objectively establish the trends of their manifestations.*

**Key words:** rivers of the Teteriv basin, vertical channel deformations, water flow fluctuations, processes of sediment accumulation, longitudinal profiles of rivers.

**Надійшла до редколегії 01.06.2023**

**DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.2.3>**

УДК 556.06+556.535

**Христюк Б.Ф., Горбачова Л.О., Розлач В.О.**

*Український гідрометеорологічний інститут НАН України та ДСНС України, м. Київ*

#### **ДАТИ ПОЯВИ ЛЬДОВИХ ЯВИЩ НА ВОДОСХОВИЩАХ ДНІПРОВСЬКОГО КАСКАДУ ТА МОЖЛИВОСТІ ЇХ ДОВГОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ**

*Довгострокове прогнозування дат появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду, особливо із завчасністю не менше 1 місяця, має важливе практичне та наукове значення. Так, на основі саме цієї характеристики льодового режиму визначають строки та глибини осіннього спрацювання кожного з шести Дніпровських водосховищ. Разом з цим, методик довгострокового прогнозування дат появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду не існує. Вочевидь, це пов'язано з тим, що проблема розробки надійних довгострокових прогнозів льодового режиму водних об'єктів є однією з найбільш важких у гідрометеорології, яка і досі ще не отримала в повній мірі задовільного рішення. У довгострокову прогнозуванні льодового режиму використовують статистичний, кореляційний, регресійний аналіз, а в якості предикторів розглядають атмосферні показники. Отже, у роботі досліджено зв'язки між кількісними показниками атмосферних процесів Північної Атлантики і датами появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду. Отримані результати показують, що такі показники атмосферних процесів Північної Атлантики як мінімальний тиск атмосферного повітря у центрі Ісландського мінімуму, паттерн Північно-Атлантичного коливання (ПАК) і паттерн Скандинавського коливання (СКАНД) безсумнівно мають досить значний вплив на формування дат появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду, але такий вплив не є переважачим і такі показники можна тільки частково застосувати в якості предикторів для довгострокового прогнозування. Отже, для отримання більш прийнятних результатів необхідно розширити пошук предикторів атмосферних процесів як у просторі, так і часі.*

**Ключові слова:** Дніпровські водосховища, льодові явища, довгострокове прогнозування, атмосферні процеси, Ісландський мінімум, паттерн ПАК, паттерн СКАНД

**Вступ.** Льодові явища на річках, озерах та водосховищах, які широко поширені в середніх і високих широтах, особливо Північної півкулі, є невід'ємною складовою їхнього гідрологічного режиму [1]. Вони впливають на гідрологічні, геоморфологічні, біологічні, хімічні, екологічні процеси водних об'єктів, а також обумовлюють соціально-економічні аспекти деяких галузей економіки [2-5]. Час від часу на водних об'єктах льодові явища

ISSN:2306-5680 **Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2023. № 2 (68)**

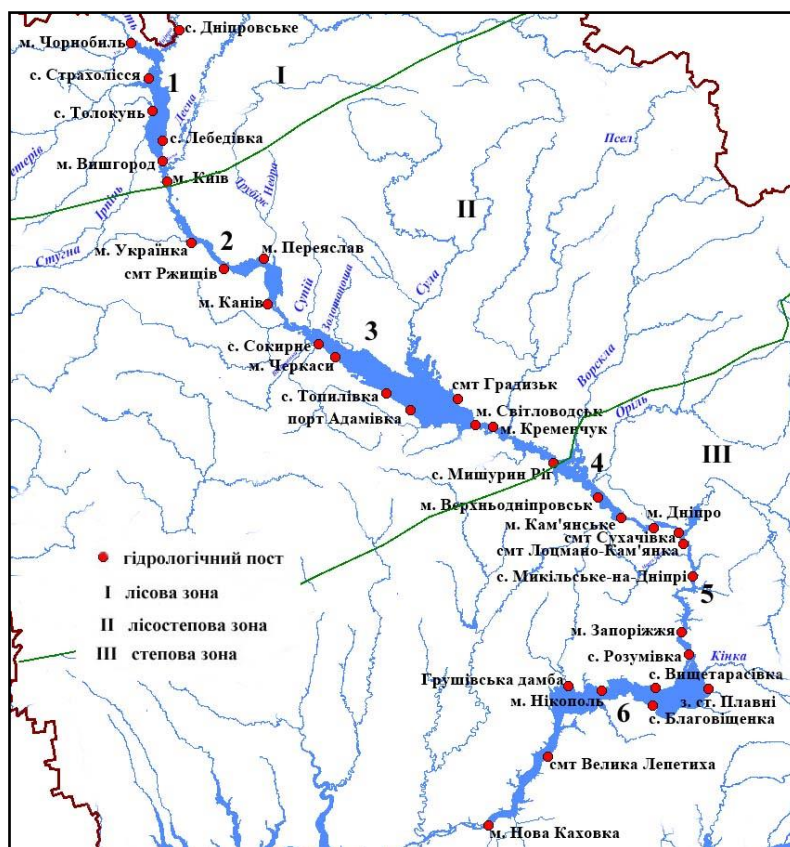
утворюють небезпечні ситуації. Так, катастрофічне підняттям рівнів води внаслідок утворення заторів або зажорів призводить до затоплення територій і руйнуванню інфраструктурних об'єктів населених пунктів та загрози життю людей [4]. Шуга, внутрішньоводний і плавучий лід, льодохід є вкрай небезпечними для судноплавства, гідроенергетики, оскільки можуть пошкодити судна, навігаційні системи, греблі, шлюзи, мости, тощо [3, 5]. Утворення стійкого льодового покриву сприяє зниженню рівня розчиненого кисню у воді та проникнення світла, що, безумовно, негативно впливає на усі біологічні процеси водного об'єкта [3]. Разом з цим, підвищення температури повітря призводить до змін льодового режиму водних об'єктів, а саме, зміщуються строки їхнього настання, зменшується їхня тривалість, льодостав стає нестійким або взагалі може не утворюватися [2, 5]. Нестійкість льодових явищ впродовж зимового сезону може створювати додаткові небезпеки для роботи гідроенергетики, судноплавства, рибного та комунального господарств тощо. Отже, для запобігання негативних наслідків від льодових явищ вкрай необхідне їхнє прогнозування.

Каскад Дніпровських водосховищ є єдиним водогосподарським комплексом, основною функцією якого є генерація електроенергії [6]. Льодові явища впливають на роботу його гідротехнічних споруд, виробіток електроенергії на ГЕС, тривалість навігації, рибне господарство тощо. Особливо важливо мати уявлення про дати появи льодових явищ на водосховищах, оскільки на їх основі визначають строки та глибини осіннього спрацювання кожного з шести Дніпровських водосховищ [7]. Отже, прогнозування цієї характеристики льодового режиму Дніпровських водосховищ, особливо із завчасністю не менше 1 місяця (довгострокове) має велике практичне значення. Разом з цим, методик довгострокового прогнозування основних фаз льодового режиму, у тому числі і дат появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду, не існує. Український гідрометеорологічний центр Державної служби України з надзвичайних ситуацій (УкрГМЦ) використовує науково-методичні надбання для довгострокового прогнозування льодових явищ, які розроблено тільки для річок України ще у середині ХХ століття [8-10]. Отже, розроблення методик довгострокового прогнозування дат появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду є актуальним завданням.

Проблема розробки надійних довгострокових прогнозів льодового режиму водних об'єктів є однією з найбільш важких у гідрометеорології, яка і досі ще не отримала в повній мірі задовільного рішення [11]. Найбільш розповсюдженими підходами при довгостроковому прогнозуванні льодового режиму водних об'єктів є статистичний, дискримінантний, кореляційний, регресійний аналізи, ортогональні функції для визначення оптимальних предикторів атмосферних процесів [11, 12]. Зазвичай використовується два основних підходи. Перший підхід засновано на знаходженні зв'язків між кількісними показниками атмосферної циркуляції над об'єктом прогнозування або над окремими суміжними (великими за площею) синоптичними районами чи зонами та строками (датами) настання льодових явищ (частіше їхніми відхиленнями від норми). Саме такий підхід використано у методиках [8-10] для довгострокового прогнозування льодового режиму річок України. Другий підхід базується на фізико-статистичних методах, які застосовують рівняння множинної лінійної регресії з представленням гідрометеорологічних полів при розкладі їх по природних ортогональних складових або поліномах Чебишева [11, 12]. В останні десятиліття для дослідження і прогнозування льодових явищ водних об'єктів використовують методи дистанційного супутникового зондування, телеконекційні показники, методи машинного навчання [13-16]. В Україні сучасні дослідження присвячено короткостроковому прогнозуванню льодового режиму річок з використанням фізико-статистичних залежностей, багатовимірного статистичного аналізу [7, 17]. Зазначимо, що у всіх роботах [7, 8-10, 17] атмосферну циркуляцію над об'єктом прогнозування розглядають з точки зору впливу на процеси льодоутворення атмосферних процесів Північної Атлантики, що виражається через певні показники.

**Метою даного дослідження** є знаходження зв'язків між кількісними показниками атмосферних процесів Північної Атлантики і датами появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду та оцінювання можливостей використання отриманих результатів для оперативного довгострокового прогнозування.

**Матеріали та методи дослідження.** Впродовж ХХ століття у різні проміжки часу на р. Дніпро було побудовано шість водосховищ: Київське, Канівське, Кременчуцьке, Кам'янське, Дніпровське та Каховське (рис. 1). Усі водосховища поєднані спільними правилами експлуатації, утворюючи каскад і єдиний водогосподарський комплекс [6]. Каскад водосховищ перетинає три фізико-географічні зони: лісову (Київське водосховище), лісостепову (Канівське та частково Кременчуцьке водосховища) і степову (частково Кременчуцьке, Кам'янське, Дніпровське та Каховське водосховища). Кожне з шести Дніпровських водосховищ характеризується своїми гідрологічними та морфометричними характеристиками, які безпосередньо впливають на умови їхнього льодового режиму, особливо це стосується окремих ділянок. Загальний процес формування льодового режиму на водосховищах визначається метеорологічними умовами (температура повітря, швидкість вітру тощо), запасами тепла у водних масах водосховища та інтенсивністю віддачі тепла в атмосферу, течіями та вітровими хвилями, що перемішують водні маси. Зазвичай, перші льодові явища на водосховищах спостерігаються під час вторгнення холодних арктичних повітряних мас на територію України в осінньо-зимовий період. Календарні дати таких вторгнень коливаються з року в рік у широких межах та залежать від загальної атмосферної циркуляції у Північній півкулі [7-10]. Льодові явища вперше з'являються передусім на мілководних ділянках, у гирлах річок, які впадають у водосховища. У цих місцях водні маси за рахунок невеликих глибин, значного водообміну та перемішування охолоджуються раніше, ніж в глибоководній частині водосховищ [18].



**Рис. 1** Схема розташування водосховищ Дніпровського каскаду і гідрологічних постів на них

Спостереження за льодовим режимом на водосховищах Дніпровського каскаду виконуються на 38 гідрологічних постах, які розташовано на берегах водосховищ (рис. 1). На кожному з водосховищ розташовано від 5 до 8 постів. У роботі створено електронну базу даних щодо дат появи льодових явищ на 38 гідрологічних постах за даними спостережень, які містяться в опублікованих довідкових матеріалах, підготовлених Центральною геофізичною обсерваторією ім. Бориса Срезневського (м. Київ).

У базі даних початок періоду для дослідження на кожному гідрологічному посту приймався в залежності від року заповнення водою кожного водосховища. Відомості до бази даних занесено по 2020 рік включно. За дати появи льодових явищ приймалися дати їхньої першої появи у поточному зимовому періоді.

Формування льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду пов'язано з масштабними процесами в атмосфері, що розвиваються на величезних просторах протягом тривалого часу. У роботах [7, 8-10, 17] показано певний вплив атмосферних процесів Північної Атлантики на формування льодових явищ річок України. Отже, у цьому дослідженні атмосферні процеси Північної Атлантики характеризуються Ісландським центром дії атмосфери (Ісландський мінімум), Північно-Атлантичним коливанням (ПАК) і Скандинавським коливанням (СКАНД).

Ісландський центр дії атмосфери є малорухливою областю низького тиску з центром поблизу острова Ісландія. Ісландський мінімум утворює один полюс Північно-Атлантичного коливання, другим є Азорський антициклон [19]. Чим активніший Ісландський центр дії атмосфери, тим більшу територію охоплює циклонічна діяльність, і тим на більший період вона зберігається. Як наслідок, спостерігається менше випадків вторгнення холодного повітря і поява льодових явищ відбувається в більш пізні строки. І навпаки, сильніше розвинутий підвищений тиск повітря у північних широтах призводить до послаблення циклонічної діяльності Ісландського мінімуму, через це, територія України частіше знаходиться під дією холодних мас повітря з півночі у вигляді антициклонічних систем. Це призводить до прискореної появи льодових явищ в осінній період. За кількісну характеристику, яка виражає потужність Ісландського мінімуму приймають мінімальний тиск повітря в його центрі. Отже, для дослідження було створено базу даних щодо мінімального тиску атмосферного повітря у центрі Ісландського мінімуму ( $P_{\text{мін}}$ ) на висоті АТ-500 гПа за період з 1 вересня по 10 жовтня кожного року. Вихідними даними слугували матеріали відділу метеорологічних прогнозів УкрГМЦ та архівні карти Національного управління океанічних і атмосферних досліджень США (National Oceanic & Atmospheric Administration USA, NOAA), які містить сайт <https://www.wetterzentrale.de/topkarten.php?model=gfs&time=3&lid=OP> (приклад карти наведено на рис. 2).

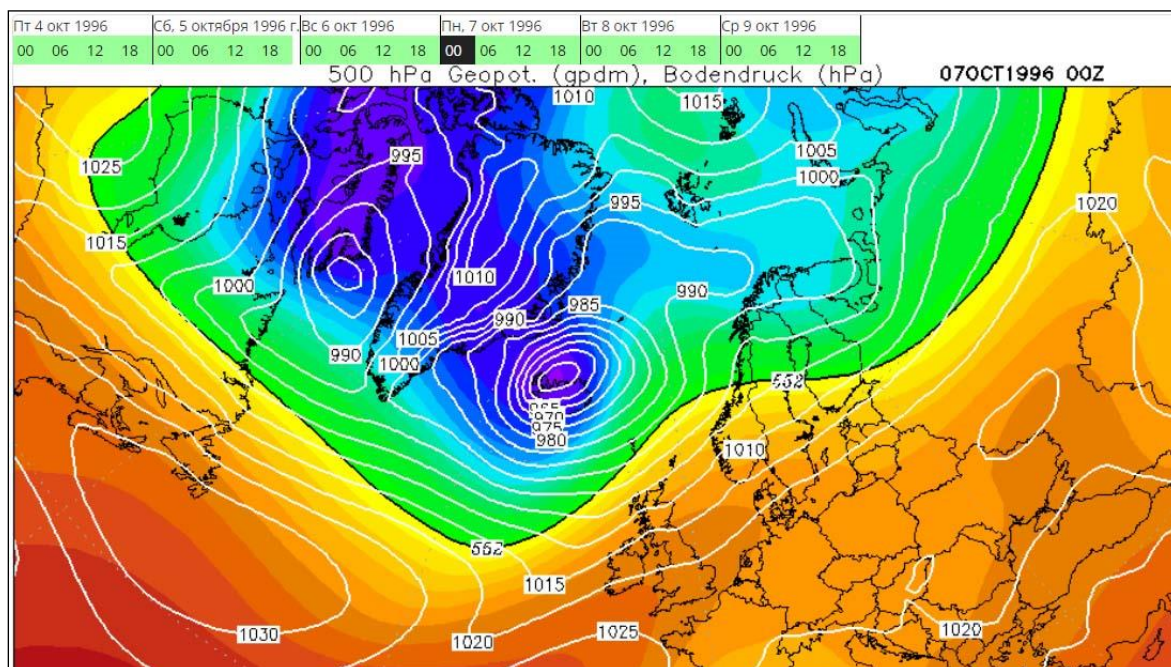


Рис. 2 Тиск атмосферного повітря на висоті АТ-500 гПа у районі Ісландського центру дії атмосфери за 07.10.1996 р.

Північно-Атлантичне коливання (ПАК) є найбільш відомим проявом мінливості клімату у Північній Атлантиці і впливає на кліматичні умови багатьох регіонів Євразії та Північної

Америци [19, 20]. ПАК характеризує перерозподіл тиску атмосферного повітря між двох центрів дії, а саме Азорського максимуму і Ісландського мінімуму. Мінливість цих центрів дії атмосфери безпосередньо впливає на розподіл температури, опадів, хмарності і багатьох інших гідрометеорологічних величин, що проявляється у формуванні холодніших або, навпаки, тепліших зим у Європі [19]. Скандинавське коливання (СКАНД) визначається характером атмосферної циркуляції над Скандинавським півостровом, Західною Європою та східною частиною Російської Федерації / західною частиною Монголії. СКАНД може обумовлювати значні кліматичні аномалії над Євразією та прилеглими територіями [20, 21]. Для дослідження використано середні місячні значення телеконекційних паттернів ПАК і СКАНД, які визначаються Національною службою погоди (National Weather Service, NWS) Національного управління океанічних і атмосферних досліджень США (National Oceanic & Atmospheric Administration USA, NOAA) і, які наведено на сайті: [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/MD\\_index.php](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/MD_index.php).

Оцінювання відгуку льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду на зміни атмосферних показників Північної Атлантики визначалося за розрахованими коефіцієнтами кореляції між датами появи льодових явищ та значеннями мінімального тиску атмосферного повітря у центрі Ісландського мінімуму, а також паттернами ПАК і СКАНД. Оцінювання ефективності отриманих залежностей (прогностичних рівнянь) і можливостей їхнього використання для оперативного довгострокового прогнозування виконано за залежними даними згідно критеріїв, які наведено у табл. 1.

Таблиця 1 Показники якості методики при кількості членів ряду  $n \geq 25$  [12]

Категорія	Показники якості		
	$\bar{S} / \bar{\sigma}$	Коефіцієнт кореляції ( $r$ )	Забезпеченість допустимої похибки прогнозів ( $\delta_{\text{доп}}$ ), %
добра	$\leq 0,50$	$\geq 0,87$	$\geq 82$
задовільна	0,51 – 0,80	0,86 – 0,60	81 – 60

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз статистичних характеристик дати появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду, які розраховано для 38 гідрологічних постів показав, що дані 3-х гідрологічних постів, а саме вдсх Канівське – м. Вишгород, вдсх Кам'янське – м. Світловодськ і вдсх Дніпровське – м. Кам'янське мають значний антропогенний вплив. Отже, відомості по цих постах було виключено з подальших досліджень. Надалі, для кожного водосховища було визначено пост-індикатор, для якого і визначався кореляційний зв'язок між датами початку льодових явищ та показниками атмосферних процесів Північної Атлантики. Пости-індикатори обиралися з поміж інших як такі, на яких льодові явища щорічно з'являються у першу чергу. Настання дат появи льодових явищ у пізніші строки на інших постах обумовлюються їхніми гідрологічними та морфометричними характеристиками (глибоководні, гирлові річкові ділянки, тощо), які також впливають на формування льодових явищ. Враховуючи морфометричні особливості Кременчуцького водосховища, а саме його поділ на дві частини – верхню (руслону) та нижню (озерну), для нього визначено два поста-індикатори.

На водосховищах Дніпровського каскаду простежуються закономірні зміни з півночі на південь середніх, ранніх і пізніх дат появи льодових явищ відповідно до фізико-географічних умов їхнього формування (табл. 2). Разом з цим, дати появи льодових явищ характеризуються значною мінливістю. Так, різниці між пізніми та ранніми датами появи льодових явищ становлять близько 3-х місяців. Допустимі похибки прогнозів коливаються в межах від 10 до 13 діб, середня завчасність прогнозів у разі їхнього випуску 20 жовтня – від 38 до 61 доби.

Аналіз кореляційних зв'язків дат появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду з показниками атмосферних процесів Північної Атлантики показав, що дуже слабкі зв'язки має мінімальний тиск атмосферного повітря у центрі Ісландського мінімуму. Коефіцієнти кореляції коливаються від 0,004 до 0,12 (табл. 3). Паттерн ПАК має найкращі зв'язки, але і вони характеризуються як слабкі і помірні, тобто коливаються всього у межах від 0,25 до 0,38. Паттерн СКАНД має помірний зв'язок на півночі каскаду Дніпровських водосховищ (0,37), який поступово зменшується спочатку до слабого (0,22-

0,25) і до дуже слабкого на півдні (0,14-0,19). Звісно, що тіснота лінійного кореляційного зв'язку є важливою характеристикою, яка показує міру залежності одного показника від іншого. Зазначимо, що слабкий кореляційний зв'язок ще не означає відсутність залежності між показниками. Так, на рис. 3 для поста вдсх Канівське – м. Київ отримано дуже низький коефіцієнт кореляції між датами початку льодових явищ і мінімальним тиском атмосферного повітря у центрі Ісландського мінімуму.

Таблиця 2 Статистичні характеристики рядів спостережень дати появи льодових явищ на постах-індикаторах водосховищ Дніпровського каскаду

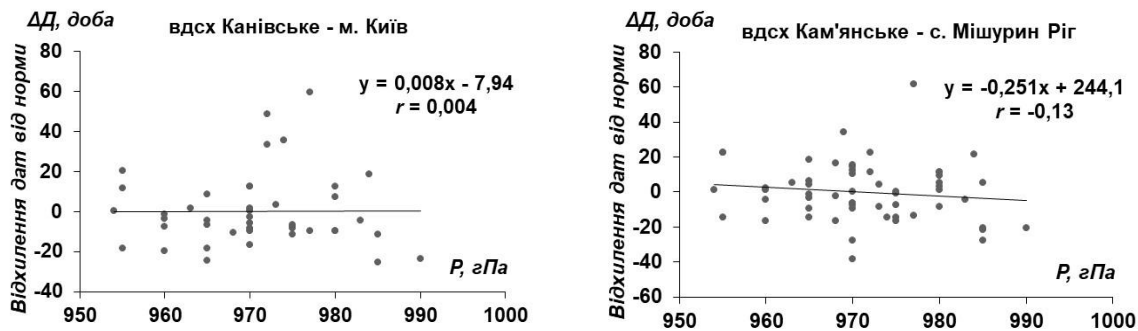
Назва поста	Період/тривалість спостережень, роки	Дата			$\Delta$ , доба	$\delta_{\text{доп}}$ , доба	$Z_{\text{серед}}$
		середня	рання	пізня			
вдсх Київське - с. Страхолісся	1966-1974, 1978-2020 / 52	27.11	30.10.1979	28.01.2007	90	11	38
вдсх Канівське - м. Київ	1977-2020 / 43	13.12	17.11.1993	10.02.2020	85	12	54
вдсх Кременчуцьке - м. Черкаси	1976-2020 / 45	15.12	14.11.1993	08.02.2020	86	13	56
вдсх Кременчуцьке - порт Адамівка	1976-2020 / 45	10.12	13.11.1993	30.01.2007	78	10	51
вдсх Кам'янське - с. Мишурич Ріг	1964-2020 / 57	10.12	01.11.2000	09.02.2020	100	11	51
вдсх Дніпровське - м. Кам'янське	1964-87, 1990-2020 / 55	21.12	18.11.1993	09.02.2020	83	13	62
вдсх Каховське - с. Благовіщенка	1958-2020 / 63	20.12	12.11.1993	08.02.2020	87	13	61

**Примітка:**  $\Delta$  – різниця між пізньою та ранньою датами появи льодових явищ;  $\delta_{\text{доп}}$  – допустима похибка прогнозу;  $Z_{\text{серед}}$  – середня завчасність прогнозу у разі його випуску 20 жовтня.

Таблиця 3 Кореляційні залежності дат появи льодових явищ на постах-індикаторах водосховищ Дніпровського каскаду від кількісних показників атмосферних процесів Північної Атлантики та оцінка їх ефективності

Назва поста	Рівняння	$r$	$\bar{S}/\bar{\sigma}$	$\delta_{\text{доп}}$ , %
<i>Ісландський мінімум</i>				
вдсх Київське – с. Страхолісся	$\Delta D = -0,227 P_{\text{мін}} + 220,0$	-0,12	0,98	56
вдсх Канівське – м. Київ	$\Delta D = 0,008 P_{\text{мін}} - 7,94$	0,004	0,99	70
вдсх Кременчуцьке – м. Черкаси	$\Delta D = 0,120 P_{\text{мін}} - 116,9$	0,06	0,99	60
вдсх Кременчуцьке – порт Адамівка	$\Delta D = 0,023 P_{\text{мін}} - 22,5$	0,01	0,99	56
вдсх Кам'янське – с. Мишурич Ріг	$\Delta D = -0,251 P_{\text{мін}} + 244,1$	-0,13	0,99	49
вдсх Дніпровське – м. Кам'янське	$\Delta D = 0,122 P_{\text{мін}} - 118,7$	0,05	0,99	49
вдсх Каховське – с. Благовіщенка	$\Delta D = -0,084 P_{\text{мін}} + 81,3$	-0,04	0,99	48
<i>Північно-Атлантичне коливання</i>				
вдсх Київське – с. Страхолісся	$\Delta D = -3,93 \text{ ПАК}_{\text{VIII}} - 0,26$	-0,25	0,96	58
вдсх Канівське – м. Київ	$\Delta D = 7,00 \text{ ПАК}_{\text{VIII}} - 0,61$	0,38	0,92	58
вдсх Кременчуцьке – м. Черкаси	$\Delta D = 5,33 \text{ ПАК}_{\text{VI}} - 1,28$	0,28	0,95	60
вдсх Кременчуцьке – порт Адамівка	$\Delta D = -3,38 \text{ ПАК}_{\text{V}} - 0,58$	-0,25	0,96	60
вдсх Кам'янське – с. Мишурич Ріг	$\Delta D = -4,89 \text{ ПАК}_{\text{V}} - 0,72$	-0,32	0,94	56
вдсх Дніпровське – м. Кам'янське	$\Delta D = -5,30 \text{ ПАК}_{\text{VIII}} - 0,03$	-0,29	0,95	56
вдсх Каховське – с. Благовіщенка	$\Delta D = -6,62 \text{ ПАК}_{\text{VIII}} - 0,12$	-0,35	0,91	58
<i>Скандинавське коливання</i>				
вдсх Київське – с. Страхолісся	$\Delta D = 5,60 \text{ СКАНД}_{\text{VIII}} - 0,02$	0,37	0,92	62
вдсх Канівське – м. Київ	$\Delta D = -4,77 \text{ СКАНД}_{\text{VI}} - 0,53$	-0,25	0,96	63
вдсх Кременчуцьке – м. Черкаси	$\Delta D = -4,39 \text{ СКАНД}_{\text{VI}} - 0,40$	-0,22	0,96	62
вдсх Кременчуцьке – порт Адамівка	$\Delta D = -4,02 \text{ СКАНД}_{\text{VI}} - 0,36$	-0,24	0,96	67
вдсх Кам'янське – с. Мишурич Ріг	$\Delta D = 2,25 \text{ СКАНД}_{\text{VIII}} - 0,22$	0,14	0,98	54
вдсх Дніпровське – м. Кам'янське	$\Delta D = -3,91 \text{ СКАНД}_{\text{V}} + 1,05$	-0,19	0,97	56
вдсх Каховське – с. Благовіщенка	$\Delta D = -3,54 \text{ СКАНД}_{\text{VI}} + 0,47$	-0,17	0,97	48

**Примітка:**  $r$  – коефіцієнт кореляції між предиктором і прогнозною величиною;  $\delta_{\text{доп}}$ , % – забезпеченість допустимої похибки прогнозу;  $\bar{S}$  – середня квадратична похибка перевірочних прогнозів;  $\bar{\sigma}$  – середнє квадратичне відхилення прогнозової величини



**Рис. 3** Приклад кореляційних залежностей дат появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду від мінімального тиску атмосферного повітря у центрі Ісландського мінімуму

Разом з цим, перевірочні розрахунки за кореляційним рівнянням показали, що у 30 випадках з 43 похибка прогнозування не перевищує допустиму похибку прогнозу (12 діб) (табл. 2), і відповідно, забезпеченість допустимої похибки прогнозу склала 70 % (табл. 3). Такий показник відповідає оцінці якості прогнозу «задовільно» згідно [12]. Отже, виконана у роботі перевірка прогнозних рівнянь (табл. 3) за залежними даними показала, що використати в якості предиктора для довгострокового прогнозування дати появи льодових явищ мінімальний тиск атмосферного повітря у центрі Ісландського мінімуму можна тільки для двох постів (вдсх Канівське – м. Київ і вдсх Кременчуцьке – м. Черкаси), паттерн ПАК – також для двох постів (вдсх Кременчуцьке - м. Черкаси і вдсх Кременчуцьке - порт Адамівка) і паттерн СКАНД – для чотирьох постів (вдсх Київське - с. Страхолиця, вдсх Канівське - м. Київ, вдсх Кременчуцьке - м. Черкаси, вдсх Кременчуцьке - порт Адамівка). Зазначимо, що навіть для цих постів виконати всі критерії якості, що наведено у табл. 1. неможливо.

Високі значення співвідношення середньої квадратичної похибки перевірочних прогнозів ( $\bar{s}$ ) до середнього квадратичного відхилення прогнозовної величини ( $\bar{\sigma}$ ) (табл. 3) обумовлюються значеннями екстремальних дат появи льодових явищ. Кількість таких екстремальних значень у рядах спостережень незначна (приклад на рис. 2), але, як зазначається у роботі [22], навіть одиничний випадок може призвести до перевищення встановленої межі співвідношення.

Отримані результати показують, що такі показники атмосферних процесів Північної Атлантики як мінімальний тиск атмосферного повітря у центрі Ісландського мінімуму, паттерни ПАК і СКАНД безсумнівно мають досить значний вплив на формування дат появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду, але такий вплив не є переважаючим і такі показники можна тільки частково застосувати в якості предикторів для довгострокового прогнозування. Зазначимо, що у роботі [17] паттерн ПАК використано в якості предиктора для прогнозування льодових явищ на р. Дністер і отримано хороші результати. Однак, ця робота присвячена короткостроковому прогнозуванню і разом з паттерном ПАК використано також інші предиктори. Вибір предикторів для довгострокового прогнозування є дуже обмеженим на відміну від короткострокового. У роботах [17, 19, 20] показано, що вплив ПАК і СКАНД на атмосферні процеси і гідрометеорологічні характеристики річок України не є однаковим, тобто їхній прояв має фізико-географічну зональність, сезонність, тощо. Разом з цим, цілком зрозуміло, що атмосферні процеси над водосховищами Дніпровського каскаду досить різноманітні, що опосередковано підтверджується їхнім нестійким льодовим режимом. Отже, вочевидь, досягнути більш менш прийнятних результатів довгострокового прогнозування льодових явищ водосховищ Дніпровського каскаду можливо за рахунок розширення пошуку предикторів як у просторі, так і часі. Такий підхід цілком обґрунтовується сучасними уявленнями щодо формування гідрологічного, у тому числі і льодового, режиму водойм, який є результатом складних процесів кліматичних і гідрологічних взаємодій, обумовлених циркуляцією атмосфери і океану на Земній кулі [23]. Такі уявлення успішно реалізовано у роботах [15, 16, 23-25], у тому числі і для прогнозування дати встановлення льодоставу на Київському водосховищі

[16] шляхом використання різних телеконекційних показників атмосферних процесів Земної кулі.

**Висновки.** На водосховищах Дніпровського каскаду дати появи льодових явищ характеризуються значною мінливістю. Різниці між пізніми та ранніми датами появи льодових явищ становлять близько 3-х місяців. Під час розроблення методик довгострокового прогнозування льодових явищ водойм виникають певні труднощі з пошуку предикторів, що обумовлюється різноманітністю атмосферних процесів над територією України в осінньо-зимовий період. Зазвичай, для прогнозування льодового режиму річок України широко використовуються показники атмосферних процесів Північної Атлантики, оскільки вони домінуючи впливають на формування гідрометеорологічних показників над Європою. Разом з цим, аналіз кореляційних зв'язків мінімального тиску атмосферного повітря у центрі Ісландського мінімуму, паттернів ПАК і СКАНД з датами появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду показав, що їх коефіцієнти кореляції коливаються у межах від 0,004 до 0,38, тобто такі зв'язки класифікуються в межах категорій як «відсутність зв'язку» до «помітних». За показниками ефективності прогнозних кореляційних рівнянь мінімальний тиск атмосферного повітря у центрі Ісландського мінімуму, паттернів ПАК і СКАНД можна використати в якості предикторів для довгострокового прогнозування дати появи льодових явищ тільки для деяких водосховищ, оскільки для них отримано найбільші значення забезпеченості допустимих похибок прогнозів у межах 60-70 %.

Аналіз методичних підходів, які застосовуються у світі, показав, що досягнути більш менш прийнятних результатів довгострокового прогнозування льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду можливо за рахунок розширення пошуку предикторів атмосферних процесів як у просторі, так і часі. Одним із таких підходів є використання різних телеконекційних показників атмосферних процесів Земної кулі.

*Дане дослідження виконано згідно держбюджетної теми № 5/21 "Розроблення системи довгострокового прогнозування строків настання фаз льодового режиму на водосховищах басейну р. Дніпро" Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України (№ державної реєстрації 0121U108580).*

#### Список літератури

1. Prowse T.D. River-ice ecology. I: Hydrologic, geomorphic, and water-quality aspects. Journal of Cold Regions Engineering. 2001. Vol. 15. Issue. 1. P. 1-16. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-381X\(2001\)15:1\(1\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-381X(2001)15:1(1))
2. Yang X., Pavelsky T.M., Allen G.H. The past and future of global river ice. Nature. 2020. Vol. 577. Issue 7788. P. 69–73. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1848-1>
3. Beltaos S., Burrell B. Hydrotechnical advances in Canadian river ice science and engineering during the past 35 years. Canadian Journal of Civil Engineering. 2015. Vol. 42. Issue 9. P. 583-591, DOI: <https://doi.org/10.1139/cjce-2014-0540>
4. Rokaya P., Lindenschmidt K.-E., Pietroniro A., Clark M. Modelling of ice jam floods under past and future climates: A review. Journal of Hydrology X. 2022. Vol. 15. 100120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2022.100120>
5. Marszelewski W., Pawłowski B. Long-Term Changes in the Course of Ice Phenomena on the Oder River along the Polish-German Border. Water Resources Management. 2019. Vol. 33. P. 5107-5120. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02417-2>
6. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Каскад днепровских водохранилищ / под ред. М. С. Каганера. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1976. 348 с.
7. Бойко В.М., Петренко Л.В., Щербак А.В. Короткострокове прогнозування характеристик льодового режиму водних об'єктів України за фізико-статистичною моделлю ICE\_1\_5. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2014. Т. 4 (35). С. 65-72.
8. Гусева А.А. Анализ синоптических условий вскрытия и замерзания рек Украины и его применения в гидропрогностике этих явлений (отчет). Киев: Управление гидрометеорологической службы УССР, 1947. 29 с.
9. Еременко Л.В. Метод прогноза замерзания рек Верхнего и Среднего Днепра на основе анализа атмосферных процессов (отчет). Киев: Управление гидрометеорологической службы УССР, 1962. 67 с.



10. Гусева А.А. Метод долгосрочного прогноза замерзания рек бассейна Верхнего и Среднего Днепра на основе анализа атмосферных процессов (отчет). Киев: Управление гидрометеорологической службы УССР, 1963. 65 с.
11. Guide to hydrological practices. Volume II: Management of water resources and application of hydrological practices. WMO-No. 168. 6th ed. Geneva: World Meteorological Organization, 2009. 324 p.
12. Настанова з оперативної гідрології. Прогнози режиму вод суші. Гідрологічне забезпечення і обслуговування / Керівний документ. Київ: Український гідрометеорологічний центр, 2012. 120 с.
13. Lindenschmidt K., Syrenne G., Harrison R. Measuring ice thicknesses along the Red River in Canada using RADARSAT-2 satellite imagery. *Journal of Water Resource and Protection*. 2010. Vol. 2. P. 923-933.
14. Graf R., Kolerski T., Zhu S. Predicting ice phenomena in a river using the artificial neural network and extreme gradient boosting. *Resources*. 2022. Vol. 11(2). 12. DOI: <https://doi.org/10.3390/resources11020012>
15. Сутырина Е. Н. Методики долгосрочного прогнозирования сроков полного очищения ото льда водохранилищ Ангаро-Енисейского каскада. *Географический вестник*. 2017. № 1(40). С. 66-72.
16. Khrystiuk B.F., Gorbachova L.O. Application of the Natl Index for Long-Term Forecasting of Freeze-Up Appearance Date at the Kyiv Reservoir. *Proceedings of the XVI International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment»*. Kyiv, Ukraine, November 15-18, 2022. European Association of Geoscientists & Engineers (EAGE). 2022. Vol. 2022. P. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580071>
17. Лобода Н.С., Сиренко А.М. Вдосконалення методик прогнозування льодових явищ на річках України на основі методів багатовимірного статистичного аналізу. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2010. Т. 3(20). С. 21-29.
18. Vyshnevskiy V.I., Shevchuk S.A. Use of remote sensing data to study ice cover in the Dnipro Reservoirs. *Journal of Geology, Geography, and Geocology*. 2020. Vol. 29(1). P. 206-216. DOI: <https://doi.org/10.15421/112019>
19. Хохлов В.Н., Романова А.В., Меньшова Ю.В. Вейвлет-аналіз зв'язку синоптичних процесів над Північною Атлантикою та Україною. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2007. Вип. 4. С. 135-145.
20. Лобода Н.С., Коробчинська А.О. Оцінка впливу мінливості Північно-Атлантичного та Скандинавського коливаний на гідрометеорологічні характеристики України. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2010. Т. 18. С. 91-98.
21. Wang M., Tan B. Two Types of the Scandinavian Pattern: Their Formation Mechanisms and Climate Impacts. *Journal of Climate*. 2020. Vol. 33 (7). P. 2645–2661. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0447.1>
22. Попов Е.Г. Гидрологические прогнозы. Ленинград. Гидрометеоиздат, 1979. 256 с.
23. Wang J., Wang X., Lei X., Wang H., Zhang X., You J., Tan Q., Liu X. Teleconnection analysis of monthly streamflow using ensemble empirical mode decomposition. *Journal of Hydrology*. 2020. Vol. 582. 124411. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124411>
24. Sobolowski S., Frei A. Lagged relationships between North American snow mass and atmospheric teleconnection indices. *International Journal of Climatology*. 2007. Vol. 27(2). P. 221-231. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.1395>
25. Христюк Б.Ф., Горбачова Л.О. Довгострокове прогнозування дати початку весняного водопілля у верхів'ї річки Південний Буг за телеконекційними індексами. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2023. № 1(67). С. 26-33. DOI: 10.17721/2306-5680.2023.1.3

## References

1. Prowse T.D. River-ice ecology. I: Hydrologic, geomorphic, and water-quality aspects. *Journal of Cold Regions Engineering*. 2001. Vol. 15. Issue. 1. P. 1-16. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-381X\(2001\)15:1\(1\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-381X(2001)15:1(1))
2. Yang X., Pavelsky T.M., Allen G.H. The past and future of global river ice. *Nature*. 2020. Vol. 577. Issue 7788. P. 69–73. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1848-1>
3. Beltaos S., Burrell B. Hydrotechnical advances in Canadian river ice science and engineering during the past 35 years. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2015. Vol. 42. Issue 9. P. 583-591, DOI: <https://doi.org/10.1139/cjce-2014-0540>
4. Rokaya P., Lindenschmidt K.-E., Pietroniro A., Clark M. Modelling of ice jam floods under past and future climates: A review. *Journal of Hydrology X*. 2022. Vol. 15. 100120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2022.100120>
5. Marszelewski W., Pawłowski B. Long-Term Changes in the Course of Ice Phenomena on the Oder River along the Polish-German Border. *Water Resources Management*. 2019. Vol. 33. P. 5107-5120. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02417-2>
6. Kaganer, M.S. (ed.). (1976). *Hydrometeorological regime of lakes and reservoirs of the USSR. Cascade of the Dnieper reservoirs*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ. (in Russ.)

7. *Boyko V.M., Petrenko L.V., Shcherbak A.V.* Korotkostrokovye prognozuvannia kharakterystyk l'odovogo rezhymu vodnykh ob'ektiv Ukrainy za fizyko-statystychnoiu modelliu ICE\_1\_5 [Short-term forecasting of ice regime characteristics of Ukraine water objects for physico-statistical model ICE\_1\_5]. *Hidrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekolohiia*. 2014. T. 4(35). S. 65-72.
8. *Guseva A.A.* Analiz sinopticheskikh uslovij vskrytija i zamerzaniia rek Ukrainy i ego primenenija v gidroprognozi jehih javlenij (otchet) [Analysis of the synoptic conditions of the opening and freezing of the rivers of Ukraine and its application in hydroprognostication of these phenomena (report)]. Kyiv: Department of Hydrometeorological Service of Ukrainian SSR, 1947. 29 s.
9. *Eremenko L.V.* Metod prognoza zamerzaniia rek verhnego i srednego Dnepra na osnove analiza atmosferynykh processov (otchet) [Method of the rivers freezing forecasting of the Upper and Middle Dnieper based on the analysis of atmospheric processes (report)]. Kyiv: Department of Hydrometeorological Service of Ukrainian SSR, 1962. 67 s.
10. *Guseva A.A.* Metod dolgosrochnogo prognoza zamerzaniia rek bassejna Verhnego i Srednego Dnepra na osnove analiza atmosferynykh processov (otchet) [Method of long-term rivers freezing forecasting of the Upper and Middle Dnieper basin based on the analysis of atmospheric processes (report)]. Kyiv: Department of Hydrometeorological Service of Ukrainian SSR, 1963. 65 s.
11. Guide to hydrological practices. Volume II: Management of water resources and application of hydrological practices. WMO-No. 168. 6th ed. Geneva: World Meteorological Organization, 2009. 324 p.
12. *Nastanova z operativnoi hidrolohi. Prohnozy rezhymu vod sushi. Hidrolohichne zabezpechennia i obsluhovuvannia* [Manual on operational hydrology. Forecasts of land water regime. Hydrological support and maintenance] / Kerivnyj dokument. Kyiv: Ukrain's'kyj hidrometeorolohichnyj tsentr, 2012. 120 s.
13. *Lindenschmidt K., Syrenne G., Harrison R.* Measuring ice thicknesses along the Red River in Canada using RADARSAT-2 satellite imagery. *Journal of Water Resource and Protection*. 2010. Vol. 2. P. 923-933.
14. *Graf R., Kolerski T., Zhu S.* Predicting ice phenomena in a river using the artificial neural network and extreme gradient boosting. *Resources*. 2022. Vol. 11(2). 12. DOI: <https://doi.org/10.3390/resources11020012>
15. *Sutyryna E.N.* Metodiki dolgosrochnogo prognozuvannia srokov polnogo ochyshhenija oto l'da vodohranilishh Angaro-Enisejskogo kaskada [Long-term forecasting techniques for the terms of the complete disappearance of ice on reservoirs of the Angara-Yenisei cascade]. *Geograficheskij vestnik*. 2017. Vol. 1(40). P. 66-72. DOI: <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2017-1-66-72>
16. *Khrystiuk B.F., Gorbachova L.O.* Application of the Natl Index for Long-Term Forecasting of Freeze-Up Appearance Date at the Kyiv Reservoir. *Proceedings of the XVI International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment»*. Kyiv, Ukraine, November 15-18, 2022. European Association of Geoscientists & Engineers (EAGE). 2022. Vol. 2022. P. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580071>
17. *Loboda N.S., Sirenko A.M.* Vdoskonalennja metodyk prognozuvannja l'odovykh javyssh na richkah Ukraïny na osnovi metodyk bagatovymirnogo statystychnogo analizu [The improvement of ice forecast for the Ukrainian rivers on basis of methods of multivariate statistical analysis]. *Hidrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekolohiia*. 2010. T. 3(20). S. 21-29.
18. *Vyshnevskiy V.I., Shevchuk S.A.* Use of remote sensing data to study ice cover in the Dnipro Reservoirs. *Journal of Geology, Geography, and Geoecology*. 2020. Vol. 29(1). P. 206-216. DOI: <https://doi.org/10.15421/112019>
19. *Khokhlov V.N., Romanova A.V., Menshova Yu.V.* Vejvlet-analiz zv'jazku synoptychnykh procesiv nad Pivnichnoju Atlantykoju ta Ukraïnoju [Wavelet analysis of linkage between synoptic processes of North Atlantic and Ukraine]. *Visnyk Odes'kogo derzhavnogo ekologichnogo universytetu*. 2007. Vyp. 4. S. 135-145.
20. *Loboda N.S., Korobchinskaya A.A.* Ocinka vplyvu minlyvosti Pivnichno-Atlantychnogo ta Skandynavs'kogo kolyvan' na gidrometeorolohichni harakterystyky Ukraïny [Assessing the impact of variability of the North Atlantic and Scandinavian fluctuations in the hydrological and meteorological characteristics of the Ukraine]. *Hidrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekolohiia*. 2010. T. 18. S. 91-98.
21. *Wang M., Tan B.* Two Types of the Scandinavian Pattern: Their Formation Mechanisms and Climate Impacts. *Journal of Climate*. 2020. Vol. 33 (7). P. 2645–2661. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0447.1>
22. *Popov E.G.* *Gidrologicheskie prognozy* [Hydrological forecasts]. Leningrad. Gidrometeoizdat, 1979. 256 s.
23. *Wang J., Wang X., Lei X., Wang H., Zhang X., You J., Tan Q., Liu X.* Teleconnection analysis of monthly streamflow using ensemble empirical mode decomposition. *Journal of Hydrology*. 2020. Vol. 582. 124411. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124411>
24. *Sobolowski S., Frei A.* Lagged relationships between North American snow mass and atmospheric teleconnection indices. *International Journal of Climatology*. 2007. Vol. 27(2). P. 221-231. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.1395>

25. *Khrystiuk B.F., Gorbachova L.O.* Dvougostrokove prognozuvannja daty pochatku vesnjanoogo vodopillja u verhiv'i' richky Pivdennyj Bug za telekonnekciynomy indeksamy [Long-term forecasting of the start date of spring flood in the upper of the Southern Buh River by teleconnection indices]. *Hidrolohiya, hidrokimiya i hidroekolojiya*. 2023. № 1(67). С. 26-33. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.1.3>

#### **Appearance dates of ice phenomena on the Dnipro Cascade reservoirs and the possibility of their long-term forecasting**

**Khrystiuk B.F., Gorbachova L.O., Rozlach V.O.**

*Long-term forecasting of the appearance dates of ice phenomena on the Dnipro Cascade reservoirs, especially with the forecast lead time at least 1 month, has important practical and scientific significance. So, it is on the basis of this characteristic of the ice regime that the terms and depths of autumn operation of each of the six Dnipro reservoirs are determined. Along with this, there are no methods for long-term forecasting of the appearance date of ice phenomena on the Dnipro Cascade reservoirs. Obviously, this is due to the fact that the problem of developing reliable long-term forecasts of the ice regime of water bodies is one of the most difficult in hydrometeorology, which has not yet received a fully satisfactory solution.*

*The objective of this of the research is to find connections between quantitative indicators of atmospheric processes in the North Atlantic and the appearance dates of ice phenomena on the Dnipro Cascade reservoirs, and to evaluate the possibilities of using the obtained results for operational long-term forecasting.*

*In long-term forecasting of ice regime is used the statistical, correlational, regression analysis as well as the atmospheric indicators as predictors. Therefore, the minimum atmospheric pressure in the center of the Icelandic minimum, the North Atlantic Oscillation (NAO) pattern and the Scandinavian Oscillation (SCAND) pattern were used in the research. These indicators characterize the atmospheric processes of the North Atlantic. Materials of the Department of Meteorological Forecasts of the Ukrainian Hydrometeorological Center (Kyiv) and the National Oceanic & Atmospheric Administration USA (archival synoptic maps, the values of NAO and SCAND patterns) were used as initial data. The obtained results show that such indicators of the atmospheric processes of the North Atlantic as the minimum atmospheric pressure in the center of the Icelandic minimum, NAO and SCAND patterns undoubtedly have a fairly significant influence on the formation of the appearance dates of ice phenomena on the Dnipro Cascade reservoirs, but such an influence is not predominant and such indicators can only be partially used as predictors for long-term forecasting. Therefore, to obtain more acceptable results, it is necessary to expand the search for predictors of atmospheric processes both in space and time.*

**Keywords:** Dnipro reservoirs, ice phenomena, long-term forecasting, atmospheric processes, Icelandic minimum, NAO pattern, SCAND pattern.

**Надійшла до редколегії 22.05.2023**

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.2.4>

УДК 556.16.047

**Лободзінський О.В., Данько К.Ю.**

*Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, м. Київ*

#### **ВИЗНАЧЕННЯ ТА ОЦІНКА ЗМІНИ ТИПІВ ЖИВЛЕННЯ РІЧОК БАСЕЙНУ Р. ГОРИНЬ**

*На прикладі річок басейну річки Горинь визначено алгоритм розчленування гідрографів стоку, наведено результати розрахунку величин різних типів живлення та проаналізовано їх багаторічну динаміку. Для річок України характерними є снігове, дощове та підземне (грунтове та глибоке підземне) живлення. Визначення величини снігового та дощового живлення річок, здійснюється з урахуванням характеристик атмосферних опадів, та їх співвідношення з характеристиками водного стоку. У роботі за допомогою аналітичного (розрахункового) методу встановлено показники підземного живлення, зокрема глибокого підземного. Викладено ключові принципи визначення показників живлення річок, графічну та геометричну складові застосування методу розчленування гідрографів. Розглянуто приклади застосування комп'ютерного програмного забезпечення для вирішення подібних задач. Метеорологічні характеристики приведено до відповідних водозборів за допомогою визначення вагових коефіцієнтів. Для річок басейну оцінено зміни типів живлення за два характерні періоди 1961-1990 та 1991-2020 роки.*

**Ключові слова:** гідрограф, живлення річок, поверхневий стік, підземний стік.

**Вступ.** Визначення кількісних характеристик різних типів живлення водного стоку річок є одним із найважливіших питань при дослідженні їх гідрологічного режиму. Джерела живлення водного стоку річок, визначають загальний характер гідрологічного режиму річок, а разом з тим і прояв фаз водного режиму, режим хімічного складу річкових вод, режим температури води, наявність льодових явищ тощо. Динаміка живлення водного стоку, в першу чергу, проявляється через коливання рівнів та змінювання витрат води. Відповідні

ISSN:2306-5680 **Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2023. № 2 (68)**