

## Просторово-часові тенденції льодового режиму водосховищ Дніпровського каскаду

**Борис Христюк**<sup>1</sup>

к. геогр. н., ст. дослідник, зав. лабораторії гідрологічних розрахунків,

<sup>1</sup> Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України і НАН України,

пр. Науки, 37, м. Київ, 03028, Україна,

e-mail: [khryst@uhmi.org.ua](mailto:khryst@uhmi.org.ua),  <https://orcid.org/0000-0003-4290-3745>;

**Людмила Горбачова**<sup>1</sup>

д. геогр. н., професор, зав. відділу гідрологічних досліджень,

e-mail: [gorbachova@uhmi.org.ua](mailto:gorbachova@uhmi.org.ua),  <https://orcid.org/0000-0003-1033-9385>

Відомості про формування, руйнування та тенденції льодового режиму річок і водосховищ особливо важливі для гідроенергетики, судноплавства, рибного господарства тощо. Дослідження сучасних тенденцій льодового режиму водних об'єктів та вивчення його просторово-часових коливань є актуальним завданням, особливо в умовах мінливого клімату. У даній роботі на основі комплексного підходу з використанням статистичних і графічних методів досліджено тенденції та довгострокові циклічні коливання рядів спостережень за основними фазами льодового режиму водосховищ Дніпровського каскаду. У дослідженні використано метод Пірсона, статистичний непараметричний критерій Манна-Кенделла, сумарна крива, інтегральна крива відхилень та суміщені хронологічні графіки. Дослідження виконано за даними спостережень 35 гідрологічних постів, які розташовано на 6 водосховищах Дніпровського каскаду. Створено базу даних, яка містить відомості щодо дат появи льодових явищ, встановлення і руйнування льодоставу та очищення від льоду на кожному гідрологічному посту по 2020 рік включно. За статистичним тестом Манна-Кендалла отримано суперечливі результати щодо стаціонарності рядів спостережень льодового режиму водосховищ Дніпровського каскаду. Разом з цим, за графічним аналізом такі ряди виявилися квазіоднорідними і квазістаціонарними, оскільки вони мають незавершені фази підвищення і зниження довготривалих циклічних коливань. У свою чергу, для циклічних коливань характерна синхронність і синфазність, що вказує на однакові часові і просторові тенденції льодового режиму шести водосховищ. Дати настання основних фаз льодового режиму водосховищ Дніпровського каскаду вирізняються значною мінливістю. За період спостережень поява льодових явищ на водосховищах стала відбуватися пізніше у діапазоні від 2 до 21 дня, встановлення льодоставу – від 1 до 18 днів. Руйнування льодоставу і очищення від льоду, навпаки, стали відбуватися раніше у діапазоні від 9 до 21 дня і від 8 до 17 днів, відповідно.

**Ключові слова:** льодовий режим, Дніпровські водосховища, однорідність, стаціонарність, циклічні коливання, тенденції, графічні і статистичні методи.

**Як цитувати:** Христюк Борис. Просторово-часові тенденції льодового режиму водосховищ Дніпровського каскаду / Борис Христюк, Людмила Горбачова // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 59. – С. 249-259. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-18>.

**In cites:** Khrystiuk Borys, Gorbachova Liudmyla (2023). Spatial-temporal tendencies of the ice regime of the Dnipro Cascade reservoirs. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (59), 249-259. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-18> [in Ukrainian]

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій.** У світі перші дослідження льодових явищ на водних об'єктах обумовлювалися, перш за все, економічною та суспільною безпекою [1, 2]. У подальшому розпочалися дослідження з огляду на екологічні аспекти, які можуть виникати під дією льодових явищ [1, 3, 4], а також мінливості і зміни клімату [5-8]. Так, утворення льодових явищ на річках і водосховищах, на яких побудовано гідроелектростанції призводить до економічних втрат внаслідок, наприклад, зменшення кількості води через її замерзання, скидів води, а також залучення додаткових засобів для уникнення пошкоджень обладнання тощо [1-3]. Повені, які виникають від заторів і загорів на річках наносять значні матеріальні збитки, а іноді призводять і до загибелі людей [9, 10]. Комерційне або рекреаційне судноплавство також потерпає від льодових явищ на

річках, озерах та водосховищах, оскільки можливе пошкодження як самих суден, так і навігаційних систем, шлюзів, мостів [11]. Видобуток і транспортування корисних копалин надає поштовх у розвитку досліджень льодових явищ з огляду соціально-економічних і екологічних наслідків [2, 9]. Льодові явища на річках впливають на їхнє фізичне середовище і екологічний стан, змінюючи гідравлічні умови, які, у свою чергу, контролюють перенесення потоку, перемішування забруднюючих речовин, і перенесення наносів [1, 3, 4]. Окрім цього, льодовий покрив знижує швидкість аерації, тим самим знижуючи рівень розчиненого кисню під льодом та проникнення світла, що обумовлює низьку швидкість фотосинтезу [2, 3, 12]. Мінливість клімату змінює гідрокліматичні умови річок і, відповідно, їхній водний та льодовий режими. Внаслідок потепління клімату льодовий покрив на водних об'єк-

тах стає нестійким або взагалі може не утворюватися. Разом з цим, товщина льодового покриву зменшується. Змінюються також і строки настання і очищення від льодових явищ. Такі зміни льодових явищ впливають на роботу інфраструктури, наприклад, гребель, мостів і водозаборів, частоту і силу повеней від заторів/зажорів, здоров'я водних екосистем тощо [5-8, 13]. Отже, дослідження умов формування, тенденцій, кількісних характеристик льодового режиму водних об'єктів має важливе теоретичне і практичне значення.

В Україні дослідженням льодового режиму водних об'єктів не приділяється належної уваги. Перше найбільш повне ґрунтовне узагальнення матеріалів спостережень за характеристиками льодового режиму річок України було виконано у 60-70-х роках ХХ століття. У подальшому такі дослідження виконувались для окремих річкових басейнів та за різні періоди спостережень [14-22].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Оцінювання тенденцій, змін і коливань в часових рядах спостереження здійснюється різними методами [27]. Вибір таких методів є відповідальним завданням, оскільки такий вибір безпосередньо впливає на достовірність отриманих результатів дослідження. Для отримання більш надійних результатів рекомендується застосовувати комплексний підхід, що базується на використанні різних тестів і методів [23-25].

Досліджень, які присвячено оцінюванню характеристик льодового режиму саме каскаду Дніпровський водосховищ майже немає, окрім робіт Сусідка М.М. та ін., Вишневецького В.І. [16, 26]. Зазначимо, що сьогодні тривалість рядів спостережень за льодовим режимом на водосховищах Дніпровського каскаду значно збільшилася (більші ніж на 10 років) у порівнянні з тривалістю рядів, які використано у роботах [16, 26].

**Мета цієї публікації** – оцінювання просторово-часових тенденцій рядів спостережень за льодовим режимом водосховищ Дніпровського каскаду на основі комплексного підходу за статистичними та графічними методами. Відповідно до поставленої мети в роботі вирішувались наступні завдання:

- дослідити стаціонарність рядів спостережень льодового режиму за непараметричним статистичним критерієм Манна-Кендалла;
- виконати просторовий аналіз тенденцій льодового режиму за суміщеними графіками;
- дослідити часову однорідність рядів спостережень льодового режиму за сумарної кривою;
- проаналізувати циклічні коливання (фази підвищення і зменшення, синхронність, синфазність) та стаціонарність рядів спостережень льодового режиму за інтегральною кривою відхилень;

- визначити мінливість строків настання основних фаз льодового режиму водосховищ за період спостережень.

Такий комплексний підхід для дослідження тенденцій льодового режиму водосховищ Дніпровського каскаду буде застосовано вперше, оскільки раніше у роботі [16] було розраховано тільки лінійні тренди без визначення їхньої статистичної значущості, а у роботі [26] зміни характеристик льодового режиму водосховищ з часом не розглядалися взагалі.

**Вихідні дані та методи дослідження.** Каскад Дніпровських водосховищ складається із 6 водосховищ, які було побудовано на р. Дніпро впродовж ХХ століття. Отже, до каскаду входять Київське, Канівське, Кременчуцьке, Кам'янське, Дніпровське та Каховське водосховища (рис. 1).

Спостереження за льодовим режимом на водосховищах Дніпровського каскаду виконуються на 38 гідрологічних постах, які розташовано на берегах водосховищ (табл. 1). Найбільшу кількість постів спостережень мають Кременчуцьке і Каховське водосховища, тобто 7 і 8 постів відповідно. Найменшу кількість постів має Кам'янське водосховище, тобто – 5. Інші водосховища мають по 6 постів спостережень.

У роботі створено електронну базу даних, що містить відомості для 35 гідрологічних постів за зимовий сезон (жовтень-квітень) за наступними характеристиками:

- дата появи льодових явищ (ДПЯ);
- дата встановлення льодоставу (ДВЛ);
- дата руйнування льодоставу (ДРЛ);
- дата очищення від льоду (ДОЛ).

Початок спостережень на кожному гідрологічному посту відбувався у різні роки, але відомості до бази даних занесено по 2020 рік включно. Інформація до бази даних занесено з матеріалів спостережень за гідрологічним режимом озер та водосховищ басейну р. Дніпро, що містяться у різних опублікованих довідкових матеріалах, підготовлених Центральною геофізичною обсерваторією ім. Бориса Срезневського (м. Київ). Три гідрологічних поста, а саме вдсх Канівське – м. Вишгород, вдсх Кам'янське – м. Світловодськ і вдсх Дніпровське – м. Кам'янське мають значний антропогенний вплив, тому дані спостережень цих постів у дослідженні не розглядалися. Середня тривалість рядів спостережень становить 55 років. Переважна більшість рядів має тривалість понад 50 років. Найдовший ряд має тривалість спостереження 74 роки (вдсх Дніпровське – м. Дніпро), а найкоротший – 43 роки (вдсх Дніпровське – смт Сухачівка).

За дату появи льодових явищ та встановлення льодоставу на водосховищах приймалась дата їхньої першої появи у поточному зимовому

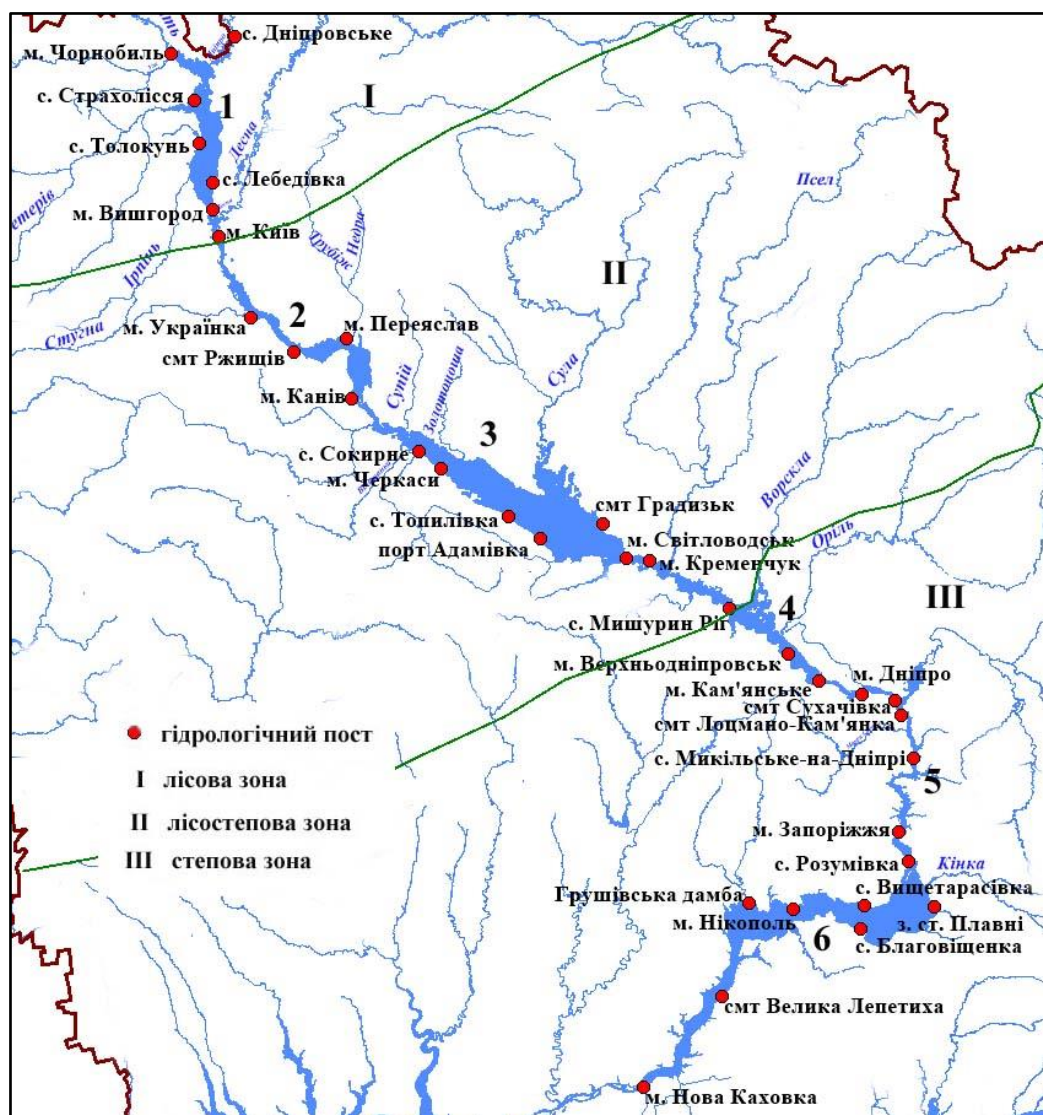


Рис. 1. Схема водосховищ Дніпровського каскаду та розташування гідрологічних постів на них (нумерація водосховищ відповідає таблиці 1) /

Fig. 1. Scheme of the Dnipro Cascade reservoirs and location of the water gauges on them (numbering of reservoirs corresponds to table 1)

Таблиця 1 / Table 1

Перелік гідрологічних постів на водосховищах Дніпровського каскаду /  
List of water gauges at the Dnipro Cascade reservoirs

№	Назва водосховища	Рік наповнення	Кількість постів	Назви постів
1	Київське	1966	6	с. Дніпровське, м. Чорнобиль, с. Страхолисея, с. Толокунь, с. Лебедівка, м. Вишгород
2	Канівське	1976	6	м. Вишгород, м. Київ, м. Українка, смт Ржищів, м. Переяслав, м. Канів
3	Кременчуцьке	1961	7	м. Канів, с. Сокирне, с. Топилівка, порт Адамівка, смт Градизьк, м. Світловодськ, м. Черкаси
4	Кам'янське	1964	5	м. Світловодськ, м. Кременчук, с. Мишури́н Ріг, м. Кам'янське, м. Верхньодніпровськ
5	Дніпровське	(1932) 1948	6	м. Кам'янське, м. Запоріжжя, м. Дніпро, смт Лоцмано-Кам'янка, с. Микільське на Дніпрі, смт Сухачівка
6	Каховське	1958	8	с. Розумівка, з.ст. Плавні, Грушівська дамба, м. Нікополь, смт Велика Лепетиха, м. Нова Каховка, с. Благовіщенка, с. Вищитарасівка

сезоні. За дату руйнування льодоставу приймалась дата початку його руйнування, тобто його танення, а за дату очищення від льоду – дата після останнього дня з льодовими явищами або льодоставом, тобто дата першого дня «чистої води».

Для оцінювання тенденцій рядів спостережень за льодовим режимом водосховищ Дніпровського каскаду застосовано комплексний підхід, який полягає у використанні статистичних та графічних методів. Враховуючи особливості гідрологічних рядів спостережень (ненормальний розподіл, залежність у часі, циклічні коливання) у статистичному підході використовували метод Пірсона і непараметричний критерій Манна-Кендалла [23, 27]. Встановлення рівняння тренду в часовому ряді та коефіцієнт кореляції між змінними визначали за методом Пірсона. Оцінювання статистичної значущості тренду проводили за допомогою непараметричного критерію Манна-Кендалла [28, 29]. Розрахунки проводились за допомогою програмного забезпечення RStudio (версія 1.4.1717) [30]. Отже, якщо статистичні характеристики (середнє значення, дисперсія) часового ряду не змінюються з часом, то такий ряд є стаціонарним, тобто у часовому ряді спостережень тренд відсутній.

У роботі Кундцевича З., Робсона А. [27] показано, що результати аналізу за статистичними тестами необхідно підтверджувати аналізом за графічними методами та історичними даними. Графічні методи надають можливість виконувати аналіз тенденції гідрометеорологічних даних з часом, визначати їхні зміни, циклічні коливання різної тривалості та їхні характеристики (фази підвищення і зменшення, їхню тривалість, синхронність, синфазність). У роботі використано підхід, який розроблено Горбачовою Л.О. [31, 32] на основі застосування наступних графічних методів, а саме сумарної кривої, інтегральної кривої відхилення, суміщених графіків. Графічні методи широко застосовуються і для аналізу тенденцій льодових явищ [17-21]. Комплексне застосування статистичних і графічних методів надає можливість отримувати більш достовірні результати [18, 23-25, 27, 31].

При побудові графіків строків настання фаз льодового режиму за початкові значення для їхнього числового представлення приймалися самі ранні дати [18]. Сумарна крива, яка є графіком накопичувальних величин характеристики льодового режиму, за незмінних умов її формування наближається до вигляду прямої лінії, нахил якої щодо осі абсцис є постійним з часом коефіцієнтом. Відхилення характеристики від прямої лінії є індикатором змін в умовах її формування. За інтегральною кривою відхилення аналізують коротко- та довготривалі циклічні коливання харак-

теристик льодового режиму, а також їхню тривалість, синхронність, синфазність і стаціонарність. Ряд вважається стаціонарним у випадку сталості його середнього значення з часом, що досягається наявністю хоча б одного повного замкнутого циклу (фази підвищення і фази зменшення) довготривалих циклічних коливань. Суміщені графіки дозволяють виконувати просторовий аналіз, а саме визначати синхронні та синфазні або навпаки довготривалі циклічні коливання характеристик льодового режиму на різних постах спостережень. У свою чергу, синхронні коливання вказують на однорідні кліматичні умови формування характеристик льодового режиму [31, 32].

**Результати дослідження.** Аналіз результатів перевірки рядів спостережень льодового режиму водосховищах Дніпровського каскаду на стаціонарність за критерієм Манна-Кендалла показав, що більшість рядів дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу є стаціонарними, тоді як більшість рядів дат руйнування льодоставу і очищення від льоду виявилися нестаціонарними. Так, з 35 рядів нестаціонарними виявилися тільки 8 для дат появи льодових явищ (ДПЯ) і 1 – для дат встановлення льодоставу (ДВЛ), 21 – для дат руйнування льодоставу (ДРЛ) і 23 – для дат очищення від льоду (ДОЛ) (табл. 2). Для більш чіткого розуміння та підтвердження результатів за статистичним тестом Манна-Кендалла надалі у дослідженні було побудовано для всіх 35 гідрологічних постів графіки сумарних кривих, інтегральних кривих відхилення та суміщені хронологічні графіки характеристик льодового режиму водосховищ Дніпровського каскаду.

Для всіх фаз льодового режиму і для кожного водосховища Дніпровського каскаду спостерігаються синхронні і синфазні коливання, що свідчить про однорідність умов їхнього формування.

Синхронні і синфазні коливання характеристик льодового режиму надали змогу осереднити їхні показники для кожного водосховища (рис. 2). Побудовані осереднені сумарні криві характеристик льодового режиму показують відсутність односторонніх стійких тенденцій у рядах спостережень. Форма сумарних кривих показує, що ряди спостережень мають точку перегину, після якої вони змінюють тенденцію (рис. 2 по центру). Разом з цим, вигляд сумарних кривих вказує на те, що зміна тенденцій має коливальний характер, який пов'язано з різними фазами довготривалих циклічних коливань льодового режиму водосховищ Дніпровського каскаду. Так, згідно осереднених інтегральних кривих відхилення для дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу фаза зниження розпочалася у 1982 році і тривала до 1999 року, тобто поява льодових явищ і встановлення льодоставу відбувається у більш пізні дати

Результати перевірки рядів спостережень за льодовим режимом на водосховищах  
Дніпровського каскаду на стаціонарність за тестом Манна-Кенделла /  
The checking results of the ice regime observation series for stationarity according to the Mann-Kendell test  
at the Dnipro Cascade reservoirs

№	Назва гідрологічного поста	Статистична значущість тренду на рівні 5%			
		ДПЯ	ДВЛ	ДРЛ	ДОЛ
1	вдсх Київське – с. Дніпровське	ні	ні	так	ні
2	вдсх Київське – м. Чорнобиль	ні	ні	так	так
3	вдсх Київське – с. Зелений Мис	ні	так	так	так
4	вдсх Київське – с. Толокунь	ні	ні	так	так
5	вдсх Київське – с. Лебедівка	так	ні	так	так
6	вдсх Київське – м. Вишгород	ні	ні	так	так
7	вдсх Канівське – м. Київ	так	ні	ні	ні
8	вдсх Канівське – м. Українка	ні	ні	ні	так
9	вдсх Канівське – смт Ржищев	так	ні	ні	ні
10	вдсх Канівське – м. Переяслав	так	ні	ні	ні
11	вдсх Канівське – м. Канів	так	ні	ні	ні
12	вдсх Кременчуцьке – м. Канів	так	ні	так	ні
13	вдсх Кременчуцьке – с. Сокирне	ні	ні	так	так
14	вдсх Кременчуцьке – м. Черкаси	ні	ні	так	так
15	вдсх Кременчуцьке – с. Топилівка	ні	ні	так	так
16	вдсх Кременчуцьке – порт Адамівка	так	ні	так	так
17	вдсх Кременчуцьке – смт Градизьк	ні	ні	ні	ні
18	вдсх Кременчуцьке – м. Світловодськ	ні	ні	так	так
19	вдсх Кам'янське – м. Кам'янське	ні	ні	так	так
20	вдсх Кам'янське – с. Мішурин Ріг	ні	ні	ні	ні
21	вдсх Кам'янське – м. Верхньодніпровськ	ні	ні	так	так
22	вдсх Кам'янське – м. Кременчук	ні	ні	ні	ні
23	вдсх Дніпровське – смт Сухачівка	ні	ні	ні	ні
24	вдсх Дніпровське – м. Дніпро	ні	ні	так	так
25	вдсх Дніпровське – смт Лоцмано-Кам'янка	ні	ні	ні	так
26	вдсх Дніпровське – с. Микільське-на-Дніпрі	ні	ні	так	так
27	вдсх Дніпровське – м. Запоріжжя	ні	ні	так	так
28	вдсх Каховське – с. Розумівка	ні	ні	ні	ні
29	вдсх Каховське – с. Вищетарасівка	ні	ні	ні	ні
30	вдсх Каховське – з. ст. Плавні	ні	ні	ні	так
31	вдсх Каховське – с. Благовіщенка	ні	ні	так	так
32	вдсх Каховське – м. Нікополь	ні	ні	так	так
33	вдсх Каховське – Грушівська дамба	так	ні	так	так
34	вдсх Каховське – смт Велика Лепетиха	ні	ні	ні	так
35	вдсх Каховське – м. Нова Каховка	ні	ні	так	так

(рис. 2 зліва). Для дат руйнування льодоставу і очищення від льоду з початку спостережень тривала фаза підвищення, яка змінилася у 1988 році на фазу зниження, тобто скресання льодоставу і очищення від льодових явищ відбувається у більш ранні дати.

За інтегральними кривими відхилень дат руйнування льодоставу і очищення від льоду не можна чітко визначити початок фази підвищення, оскільки спостереження розпочалися тоді, коли ця фаза вже тривала. Окрім цього, для цих характеристик також не можна визначити і закінчення фази зниження, яка триває дотепер. Для дат появи

льодових явищ і встановлення льодоставу неможливо визначити тільки закінчення фази підвищення, яка також триває дотепер. Отже, такі ряди спостережень не є репрезентативними для сталого визначення їхнього середнього багаторічного значення, а саме норми. У роботах [18, 33] доведено, що зміна середнього значення рядів спостережень залежить від наявності або відсутності репрезентативного періоду, тобто фази підвищення і фази зниження. Разом з цим, ряди спостережень характеристик льодового режиму водосховищ все ж таки мають фази зниження і підвищення, хоча деякі з них і є незавершеними.

Отже, такі ряди спостережень можна віднести до квазістаціонарних, а за сумарними кривими – до квазіоднорідних. Саме для таких рядів особливо важливо періодично повторювати дослідження.

Суміщені хронологічні графіки, так саме, як і графіки різницевої кривих відхилень вказують на синхронні коливання строків настання основних фаз льодового режиму шести водосховищ Дніпровського каскаду (рис. 2 справа). Разом з

цим, кожне водосховище Дніпровського каскаду вирізняється мінливістю у строках настання основних фаз льодового режиму за період спостережень (табл. 3). Отже, найбільшою мінливістю характеризуються дати появи льодових явищ і встановлення льодоставу, що обумовлюється тривалістю спостережень, а також наявністю і довжиною окремих повних циклів довготривалих коливань та їхніх фаз (підвищення та зниження) (рис. 2 зліва).

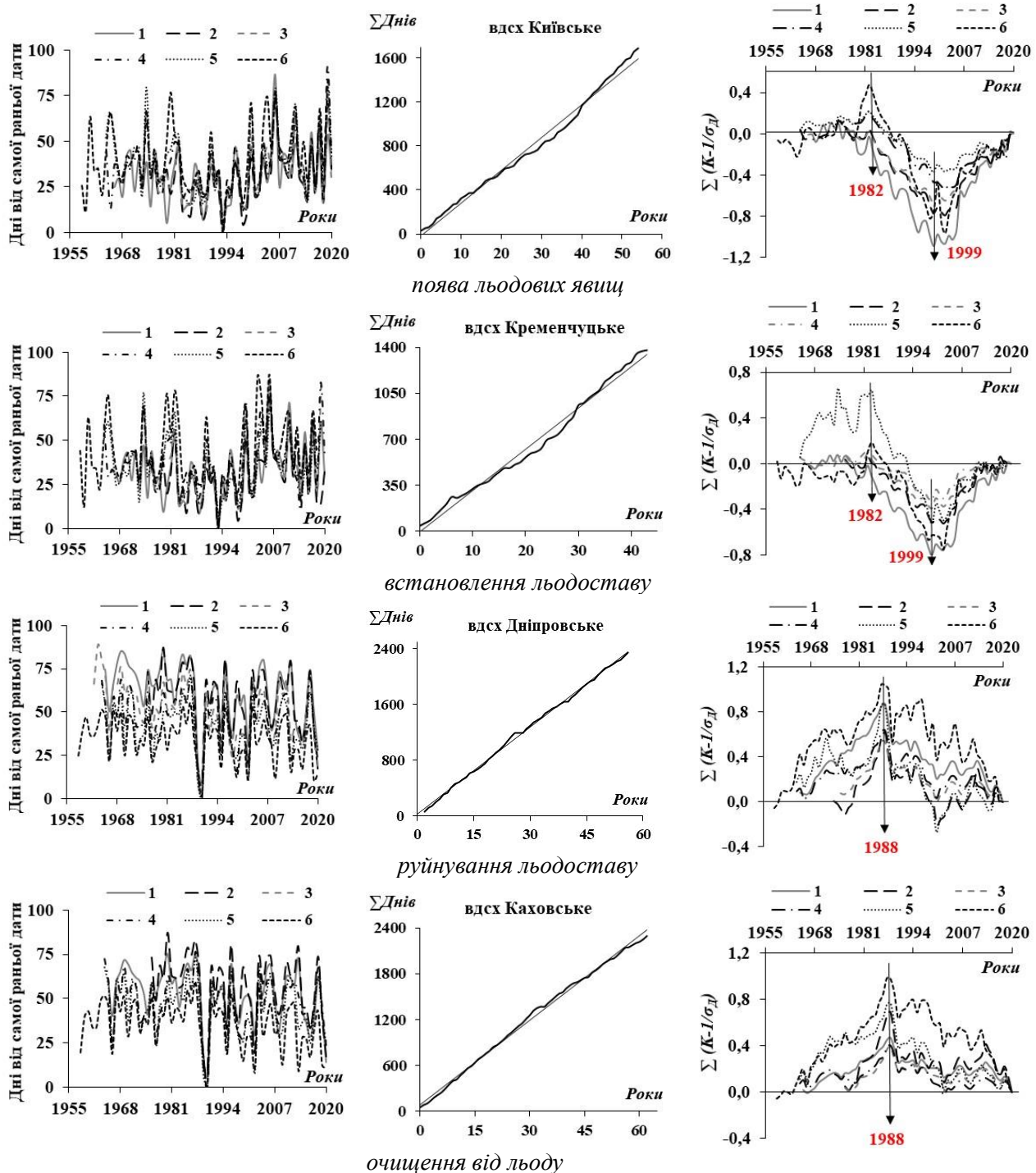


Рис. 2. Осереднені для кожного водосховища Дніпровського каскаду суміщені хронологічні графіки (зліва), сумарні криві (по центру) та інтегральні криві відхилень (справа) (нумерація водосховищ відповідає табл. 1) /

Fig. 2. Averaged for each reservoir of the Dnipro Cascade the combined chronological graphs (left), mass curves (center) and residual mass curves (right) (numbering of reservoirs corresponds to Table 1)

Мінливість дат настання основних фаз льодового режиму водосховищ Дніпровського каскаду /  
Changeability of the appearance dates of the main phases of the ice regime of the Dnipro Cascade reservoirs

Назва водосховища	Рівняння*	R	Мінливість, дні/роки
<i>дати появи льодових явищ</i>			
Київське	$y = 0,24x - 450,4$	0,26	13 днів/54 роки
Канівське	$y = 0,48x - 927,7$	0,37	21 день/44 роки
Кременчуцьке	$y = 0,44x - 853,0$	0,36	19 днів /44 роки
Кам'янське	$y = 0,17x - 298,3$	0,18	9 днів /56 років
Дніпровське	$y = 0,04x - 41,7$	0,04	2 дні /56 років
Каховське	$y = 0,19x - 338,5$	0,19	12 днів /62 роки
<i>дати встановлення льодоставу</i>			
Київське	$y = 0,26x - 489,2$	0,26	14 днів/54 роки
Канівське	$y = 0,28x - 523,8$	0,23	12 днів /44 роки
Кременчуцьке	$y = 0,41x - 783,1$	0,30	18 днів /44 роки
Кам'янське	$y = 0,12x - 204,8$	0,12	7 днів /56 років
Дніпровське	$y = 0,01x + 6,11$	0,01	1 день /56 років
Каховське	$y = 0,13x - 217,9$	0,12	8 днів /62 роки
<i>дати руйнування льодоставу</i>			
Київське	$y = -0,39x + 849,5$	-0,36	- 21 день/54 роки
Канівське	$y = -0,21x + 476,0$	-0,18	- 9 днів /44 роки
Кременчуцьке	$y = -0,26x + 573,4$	-0,20	- 12 днів /44 роки
Кам'янське	$y = -0,22x + 477,6$	-0,23	- 12 днів /56 років
Дніпровське	$y = -0,16x + 371,7$	-0,18	- 9 днів /56 років
Каховське	$y = -0,20x + 442,7$	-0,30	- 13 днів /62 роки
<i>дати очищення від льоду</i>			
Київське	$y = -0,31x + 679,3$	-0,33	- 17 днів /54 роки
Канівське	$y = -0,38x + 823,0$	-0,26	- 17 днів /44 роки
Кременчуцьке	$y = -0,34x + 722,8$	-0,25	- 15 днів /44 роки
Кам'янське	$y = -0,15x + 348,1$	-0,16	- 8 днів /56 років
Дніпровське	$y = -0,20x + 449,3$	-0,20	- 11 днів /56 років
Каховське	$y = -0,25x + 528,9$	-0,33	- 15 днів /62 роки

Примітка: \* – усереднено для водосховища; R – коефіцієнт кореляції за методом Пірсона

Так, у таких рядах наявність частини кінцевої фази суміжного циклу довготривалих коливань на початку спостережень та її тривалість, тобто до 1982 року і обумовлює суттєві розбіжності у днях у табл. 3 за аналізом на основі рівняння тренду та оцінювання статистичної значущості його коефіцієнта кореляції за тестом Манна-Кендалла (табл. 2). Ряди спостережень за датами руйнування льодоставу і очищення від льоду мають тільки незавершені фази підвищення і зниження, що й обумовлює схожість їхніх результатів мінливості днів у табл. 3, а також їхню статистичну значимість трендів у табл. 2. Зрозуміло, що фази підвищення і зниження мають суттєві розбіжності у середніх значеннях і завжди при їхньому порівнянні за будь-якими статистичними тестами класифікуються як нестационарні. Деякі відмінності у результатах у табл. 2 для дат руйнування льодоставу і очищення від льоду пояснюються різницею у тривалості рядів спостережень (водосховища побудовані у різні проміжки часу) і, відпо-

відно, охоплюють різні частини фаз довготривалих коливань. Отже, статистично значущі тренди рядів спостережень характеристик льодового режиму водосховищ, які наведено у табл. 2, носять тимчасовий характер, оскільки вони залежать від довготривалих циклічних коливань, а також тривалості спостережень, які можуть охоплювати цикли, різні фази або частини таких коливань. Такі висновки співпадають з результатами роботи [34], які отримано для головних річок світу.

**Висновки.** У дослідженні представлено результати оцінювання тенденцій льодового режиму водосховищ Дніпровського каскаду, які дозволяють зробити наступні висновки:

- За статистичним тестом Манна-Кендалла отримано суперечливі результати щодо стаціонарності рядів спостережень льодового режиму водосховищ.

- Графічний аналіз на основі застосування сумарної кривої, різницевої кривої відхилень і сумішених хронологічних графіків показав, що

ряди спостережень за льодовим режимом мають синхронні і синфазні коливання, отже, мають однакові часові і просторові тенденції.

- Ряди спостережень дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу з 1982 року мають фазу зниження довготривалих циклічних коливань, яка змінюється на фазу підвищення у 1999 році і, яка триває дотепер. У рядах спостережень дат руйнування льодоставу і очищенні від льоду фаза підвищення тривала від початку спостережень до 1988 року, після якого розпочалася фаза зниження, яка також триває дотепер. Отже, усі ряди спостережень є не репрезентативними для визначення їхнього середнього значення, оскільки мають незавершені цикли довготривалих коливань. Такі ряди є квазістаціонарними і квазіоднорідними;

- Дати настання основних фаз льодового режиму водосховищ Дніпровського каскаду вирізняються мінливістю. Так, за період спостережень поява льодових явищ на водосховищах стала відбуватися пізніше у діапазоні від 2 до 21 дня, встановлення льодоставу – від 1 до 18 днів. Руйнування льодоставу і очищення від льоду, навпаки, стали відбуватися раніше у діапазоні від 9

до 21 дня і від 8 до 17 днів, відповідно. Разом з цим, такі тенденції не є стійкими у часі, оскільки статистична значущість трендів є тимчасовою і у майбутньому буде визначатися довготривалими циклічними коливаннями характеристик льодового режиму водосховищ Дніпровського каскаду.

- Отримані результати дослідження дозволяють використовувати ряди спостережень за льодовим режимом водосховищ Дніпровського каскаду для подальших досліджень, а саме будь якої статистичної обробки (визначення ймовірнісних характеристик, пошуку прогностичних залежностей, узагальнень, тощо).

Дане дослідження виконано згідно держбюджетних тем Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України, а саме № 5/21 "Розроблення системи довгострокового прогнозування строків настання фаз льодового режиму на водосховищах басейну р. Дніпро" (№ державної реєстрації 0121U108580) та № 1/22 «Розроблення системи довгострокового прогнозування строків руйнування льодоставу та очищення від льоду на водосховищах Дніпровського каскаду» (№ державної реєстрації 0122U002426).

#### Список використаної літератури

1. Beltaos S. *Hydrotechnical advances in Canadian river ice science and engineering during the past 35 years* [Text] / S. Beltaos, B. Burrell // *Canadian Journal of Civil Engineering*. – 2015. – Vol. 42(9). – 583-591. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjce-2014-0540>
2. Stickler M. *Factors controlling anchor ice formation in two Norwegian rivers* [Text] / M. Stickler, K. Alfredsen // *CGU HS Committee on River Ice Processes and the Environment, 13th Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers, Hanover, NH, September 15-16, 2005*.
3. Prowse T.D. *Climatic control of river-ice hydrology: a review* [Text] / T.D. Prowse, S. Beltaos // *Hydrological Processes*. – 2002. – Vol. 16(4). – P. 805-822. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.369>
4. Stonevicius E. *Ice regime dynamics in the Nemunas River, Lithuania* [Text] / E. Stonevicius, G. Stankunavicius, K. Kilkus // *Climate Research*. – 2008. – Vol. 36. – P. 17-28. DOI: <https://doi.org/10.3354/cr00707>
5. SolarSKI M. *Ice Regime of the Kozłowa Góra Reservoir (Southern Poland) as an Indicator of Changes of the Thermal Conditions of Ambient Air* [Text] / M. SolarSKI, M. Rzętała // *Water*. – 2020. – Vol. 12. – 2435. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12092435>
6. Klavins M. *Long-term changes in ice and discharge regime of rivers in the Baltic region in relation to climatic variability* [Text] / M. Klavins, A. Briede, V. Rodinov // *Climatic Change*. – 2009. – Vol. 95. – P. 485-498. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9567-5>
7. Efremova T.V. *Ice Phenomena Terms on the Water Bodies of Northwestern Russia* [Text] / T.V. Efremova, N.I. Pal'shin // *R. Meteorology and Hydrology*. – 2011. – Vol. 36(8). – P. 559-565.
8. Magnuson J.J. *Historical trends in lake and river ice cover in the northern hemisphere* [Text] / J.J. Magnuson, D. Robertson, B. Benson et al. // *Science*. – 2000. – Vol. 289. – P. 1743-1746. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.289.5485.1743>
9. Das A. *Sustainable ice-jam flood Management for Socio-Economic and Socio-Ecological Systems* [Text] / A. Das, M. Reed, K.-E. Lindenschmidt // *Water*. – 2018. – Vol. 10(2). – 135. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10020135>
10. Rokaya P. *Trends in the timing and magnitude of ice-jam floods in Canada* [Text] / P. Rokaya, S. Budhathoki, K.-E. Lindenschmidt // *Science Report*. – 2018. – Vol. 8. – P. 583. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24057-z>
11. Marszelewski W., Pawłowski B. *Long-Term Changes in the Course of Ice Phenomena on the Oder River along the Polish-German Border* [Text] / W. Marszelewski, B. Pawłowski // *Water Resources Management*. – 2019. – Vol. 33. – P. 5107-5120. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02417-2>
12. Beltaos S. *River ice jams* [Text] / S. Beltaos – *Water Resources Publications: Highlands Ranch, Colorado, 1995*. – 390 p.
13. Yang X. *The past and future of global river ice* [Text] / X. Yang, T.M. Pavelsky, G.H. Allen // *Nature*. – 2020. – Vol. 577. – P. 69-73. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1848-1>



14. Вишневецький В.І. Вплив кліматичних змін і господарської діяльності на термічний і льодовий режими річок [Текст] / В.І. Вишневецький // Наук. праці УкрНДДГМІ. – 2002. – Вип. 250. – С. 121-137.
15. Щербак А.В. Льодовий режим річок України (льодоутворення та його характеристики) [Текст] / А.В. Щербак, М.В. Зеленська, Ю.М. Гайдай // Наук. праці УкрНДДГМІ. – 2007. – Вип. 256. – С. 214-222.
16. Вишневецький В.І. Льодовий режим Дніпровських водосховищ [Текст] / В.І. Вишневецький, А.М. Заводцова // Праці Центральної геофізичної обсерваторії. – 2009. – Вип. 5(19). – С. 46-54.
17. Струтинська В.М. Термічний та льодовий режими річок басейн у Дніпра з другої половини XX століття [Текст] / В.М. Струтинська, В.В. Гребінь. – К.: Ніка-Центр, 2010. – 196 с.
18. Gorbachova L. The dynamics and probabilistic characteristics of the ice phenomena of the Danube River and its Kiliysky channel [Text] / L. Gorbachova, B. Khrystyuk // Conference proceeding «Water resource and wetlands», 14-16 September, Tulcea, Romania. – 2012. – P. 319-324. Available at: <http://www.limnology.ro/water2012/Proceedings/048.pdf>
19. Горбачова Л.О. Багаторічна динаміка льодових явищ в басейні річки Південний Буг [Текст] / Л.О. Горбачова // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2013. – Т. 3 (30). – С. 21-27.
20. Rachmatullina E. Homogeneity analysis of winter regime characteristics for the Southern Bug River basin [Text] / E. Rachmatullina, V. Grebin // Energetika. – 2014. – Vol. 60 (3). – P. 184-196. DOI: <https://doi.org/10.6001/energetika.v60i3.2991>
21. Афтенюк О.О. Дати настання основних фаз льодового режиму річок в басейні Прип'яті (у межах України) [Текст] / О.О. Афтенюк // Матеріали IV-го Всеукраїнського пленеру з питань природничих наук, 19 червня 2020 р. Одеса, 2020. – С. 10-12.
22. Khrystyuk, B.F. Application of the Natl Index for Long-Term Forecasting of Freeze-Up Appearance Date at the Kyiv Reservoir [Text] / B.F. Khrystyuk, L.O. Gorbachova // 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>
23. Guide to Hydrological Practices. Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices [Text]. – Sixth edition. – World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 2009. – WMO-No. 168. – 324 p.
24. Gorbachova L. Estimation of tendencies, homogeneity and stationarity of air temperature at the Ukrainian Antarctic Akademik Vernadsky station during 1951-2020 [Text] / L. Gorbachova, B. Khrystyuk, V. Shpyg, D. Pishniak // Geofizicheskyy Zhurnal. – 2022. – Vol. 44 (4). – P. 111-122. DOI: <https://doi.org/10.24028/gj.v44i4.264848>
25. Hussain I. Outlier Detection using Graphical and Nongraphical Functional Methods in Hydrology [Text] / I. Hussain // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. – 2019. – Vol. 10 (12). DOI: <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0101259>
26. Сусідко М.М. Льодовий режим рівнинних річок і водосховищ України. Система короткотермінового прогнозування його характеристик [Текст] / М.М. Сусідко, А.В. Щербак, М.В. Зеленська, В.І. Данильчук // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2007. – Т. 13. – С. 62-84.
27. Kundzewicz Z.W. Change detection in hydrological records – a review of the methodology [Text] / Z.W. Kundzewicz, A.J. Robson // Hydrological Sciences Journal. – 2004. – Vol. 49 (1). – P. 7-19. DOI: <https://doi.org/10.1623/hysj.49.1.7.53993>
28. Mann H.B. Nonparametric tests against trend [Text] / H.B. Mann // Econometrica. – 1945. – Vol. 13 (3). – P. 245-259. DOI: <https://doi.org/10.2307/1907187>
29. Kendall M.G. Rank Correlation Methods [Text] / M.G. Kendall. – 4th edition. – Charles Griffin, London, 1975. – 202 p.
30. R Core Team. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2017. Available online <https://www.r-project.org> (data access 14.04.2023)
31. Горбачова Л.О. Методичні підходи щодо оцінки однорідності та стаціонарності гідрологічних рядів спостережень [Текст] / Л.О. Горбачова // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2014. – Т. 1 (32). – С. 22-31.
32. Gorbachova L. Homogeneity and stationarity analysis of the snow-rain floods in the Danube basin within Ukraine [Text] / L. Gorbachova, T. Zabolotnia, B. Khrystyuk // Acta Hydrologica Slovaca. – 2018. – Vol. 19(1). – P. 35-41.
33. Gorbachova L. The intra-annual streamflow distribution of Ukrainian rivers in different phases of long-term cyclical fluctuations [Text] / L. Gorbachova // Energetika. – 2015. – Т. 61(2). – P. 71-80. DOI: <https://doi.org/10.6001/energetika.v61i2.3134>
34. Pekarova P. Spatial and temporal runoff oscillation analysis of the main rivers of the world during the 19<sup>th</sup>-20<sup>th</sup> centuries [Text] / P. Pekarova, P. Miklánek, J. Pekár // Journal of Hydrology. – 2003. – Vol. 274. P. 62-79. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00397-9](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00397-9)

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу.

## Spatial-temporal tendencies of the ice regime of the Dnipro Cascade reservoirs

*Borys Khrystiuk*<sup>1</sup>

PhD (Geography), Senior Researcher,

Head of the Laboratory of hydrological calculations,

<sup>1</sup> Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine

and the National Academy of Sciences of Ukraine,

37 Prospekt Nauky, Kyiv, 03028, Ukraine;

*Liudmyla Gorbachova*<sup>1</sup>

DSc (Geography), Professor, Head of the Department of hydrological research

**Formulation of the problem.** Knowledge about the formation, destruction and trends of the ice regime of rivers and reservoirs is very important for hydropower, shipping, fisheries, etc. There are almost no studies that evaluated the trends, homogeneity and stationarity of the ice regime of the Dnipro Cascade reservoirs. At the same time, such research is relevant especially in the conditions of a changing climate.

**The objective of this paper** is evaluation of spatio-temporal trends of a observation series for the ice regime of the Dnipro Cascade reservoirs based on a complex approach using statistical and graphical methods.

**Methods.** The research used statistical methods, namely the Pearson method for establishing of the trend equation in the time series and the correlation coefficient between variables, and the Mann-Kendell statistical non-parametric test for assessing the statistical significance of the trend. Among the graphic methods, the mass curve and residual mass curve were used to assess the homogeneity and stationarity of observation series, respectively, as well as combined chronological graphs for spatial analysis, determination of synchronous and in-phase (or on the contrary) long-term cyclic fluctuations of the ice regime characteristics at various water gauges. The research was carried out based on the observation data for dates of ice appearance, ice freeze-up, ice break-up (i.e., melt onset), ice disappearance for 35 water gauges.

**Results.** According to the Mann-Kendall statistical test, contradictory results were obtained regarding the stationarity of the observation series of the ice regime of the Dnipro Cascade reservoirs. At the same time, according to graphic analysis, such series turned out to be quasi-homogeneous and quasi-stationary, since they have unfinished phases of increase and decrease of long-term cyclical fluctuations. In turn, the cyclic fluctuations are characterized by synchronous and in-phase, which indicates the same temporal and spatial tendencies of the ice regime of six reservoirs. The dates of the appearance of main phases of the ice regime of the Dnipro Cascade reservoirs are characterized by significant variability.

**Scientific novelty and practical significance.** For the first time, modern knowledge about the ice regime characteristics of the Dnipro Cascade reservoirs were obtained based on the simultaneous application of statistical and graphical methods. In addition, the research results can be used for further research, namely any statistical processing (determination of probabilistic characteristics, search for prognostic dependencies, generalizations, etc.).

**Keywords:** *ice regime, Dnipro reservoirs, homogeneity, stationarity, cyclic fluctuations, tendencies, graphical and statistical methods.*

### References

1. Beltaos S., Burrell B. (2015). *Hydrotechnical advances in Canadian river ice science and engineering during the past 35 years*. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 42(9), 583-591. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjce-2014-0540>
2. Stickler M., Alfredsen K. (2005). *Factors controlling anchor ice formation in two Norwegian rivers*. *CGU HS Committee on River Ice Processes and the Environment, 13th Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers, Hanover, NH, September 15-16, 2005*.
3. Prowse T.D., Beltaos S. (2002). *Climatic control of river-ice hydrology: a review*. *Hydrological Processes*, 16(4), 805-822. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.369>
4. Stonevicius E., Stankunavicius G., Kilkus K. (2008). *Ice regime dynamics in the Nemunas River, Lithuania*. *Climate Research*, 36, 17-28. DOI: <https://doi.org/10.3354/cr00707>
5. Solarski M., Rzętala M. (2020). *Ice Regime of the Kozłowa Góra Reservoir (Southern Poland) as an Indicator of Changes of the Thermal Conditions of Ambient Air*. *Water*, 12, 2435. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12092435>
6. Klavins M., Briede A., Rodinov V. (2009). *Long-term changes in ice and discharge regime of rivers in the Baltic region in relation to climatic variability*. *Climatic Change*, 95, 485-498. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9567-5>
7. Efremova T.V., Pal'shin N.I. (2011). *Ice Phenomena Terms on the Water Bodies of Northwestern Russia*. *R. Meteorology and Hydrology*, 36(8), 559-565.
8. Magnuson J.J., Robertson D., Benson B., Wynne R., Livingstone D., Arai T., Assel R., Barry R., Card V., Kuusisto E., Granin N., Prowse T., Steward K., Vuglinski V. (2000). *Historical trends in lake and river ice cover in the northern hemisphere*. *Science*, 289, 1743-1746. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.289.5485.1743>
9. Das A., Reed M., Lindenschmidt K.-E. (2018). *Sustainable ice-jam flood Management for Socio-Economic and Socio-Ecological Systems*. *Water*, 10(2), 135. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10020135>
10. Rokaya P., Budhathoki S., Lindenschmidt K.-E. (2018). *Trends in the timing and magnitude of ice-jam floods in Canada*. *Science Report*, 8, 583. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24057-z>

11. Marszelewski W., Pawłowski B. (2019). Long-Term Changes in the Course of Ice Phenomena on the Oder River along the Polish-German Border. *Water Resources Management*, 33, 5107-5120. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02417-2>
12. Beltaos S. (ed.) (1995). *River ice jams*. Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado.
13. Yang X., Pavelsky T.M., Allen G.H. (2020). The past and future of global river ice. *Nature*, 577, 69-73. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1848-1>
14. Vishnevsky V.I. (2002). The influence of climatic changes and economic activity on the thermal and ice regimes of rivers. *Proceedings of the Ukrainian Hydrometeorological Institute*, 250, 121-137. [in Ukrainian].
15. Scherbak A.V., Zelenska M.V., Haidai Yu.M. (2007). The ice regime of Ukraine rivers (freeze-up formation and its characteristics). *Proceedings of the Ukrainian Hydrometeorological Institute*, 256, 214-222. [in Ukrainian].
16. Vishnevsky V.I., Zavodtsova A.M. (2009). The ice regime of the Dnipro reservoirs. *Proceedings of the Central Geophysical Observatory*, 5(19), 46-54. [in Ukrainian].
17. Strutynska V.M., Grebin V.V. (2010). *Thermal and ice regimes of the rivers of the Dnipro basin since the second half of the 20th century*, Kyiv, Nika-Center, 196. [in Ukrainian]
18. Gorbachova L., Khrystiuk B. (2012). The dynamics and probabilistic characteristics of the ice phenomena of the Danube River and its Kiliysky channel. *Conference proceeding «Water resource and wetlands», 14-16 September, Tulcea, Romania*, 319-324. Available at: <http://www.limnology.ro/water2012/Proceedings/048.pdf>
19. Gorbachova L. (2013). Long-term dynamics of ice phenomena in the basin of the Southern Bug River. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, 3 (30), 21-27. [in Ukrainian]
20. Rachmatullina E., Grebin V. (2014). Homogeneity analysis of winter regime characteristics for the Southern Bug River basin. *Energetika*, 60 (3), 184-196. DOI: <https://doi.org/10.6001/energetika.v60i3.2991>
21. Afteniuk O.O. (2020). Dates of appearance of the main phases of the ice regime of rivers in the Pripjat basin (within Ukraine). *Proceeding IV All-Ukrainian Plein Air on Natural Sciences, 19 June 2020, Odesa, Ukraine*. OSENU, 10-12. [in Ukrainian]
22. Khrystiuk B.F., Gorbachova L.O. (2022). 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, 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580071>
23. WMO (2009). *Guide to Hydrological Practices. Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices*, 6th edition. Geneva, Switzerland. WMO-No. 168.
24. Gorbachova L., Khrystiuk B., Shpyg V., Pishniak D. (2022). Estimation of tendencies, homogeneity and stationarity of air temperature at the Ukrainian Antarctic Akademik Vernadsky station during 1951-2020. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 44(4), 111-122. DOI: <https://doi.org/10.24028/gj.v44i4.264848>
25. Hussain I. (2019). Outlier Detection using Graphical and Nongraphical Functional Methods in Hydrology. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10 (12). DOI: <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0101259>
26. Susidko M.M., Scherbak A.V., Zelenska M.V., Danylchuk V.I. (2007). Ice regime of plain rivers and reservoirs of Ukraine. A system of short-term forecasting of its characteristics. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*. 13, 62-84. [in Ukrainian]
27. Kundzewicz Z.W., Robson A.J. (2004). Change detection in hydrological records – a review of the methodology. *Hydrological Sciences Journal*, 49 (1), 7-19. DOI: <https://doi.org/10.1623/hysj.49.1.7.53993>
28. Mann H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13 (3), 245-259. DOI: <https://doi.org/10.2307/1907187>
29. Kendall M.G. (1975). *Rank Correlation Methods*, 4th edition. Charles Griffin, London.
30. R Core Team (2017). *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Available at: <https://www.r-project.org>
31. Gorbachova L. (2014). Methodical approaches the assessment of the homogeneity and stationarity of hydrological observation series. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, 5 (32), 22-31. [in Ukrainian]
32. Gorbachova L., Zabolotnia T., Khrystiuk B. (2018). Homogeneity and stationarity analysis of the snow-rain floods in the Danube basin within Ukraine. *Acta Hydrologica Slovaca*, 19(1), 35-41.
33. Gorbachova L. (2015). The intra-annual streamflow distribution of Ukrainian rivers in different phases of long-term cyclical fluctuations. *Energetika*, 61(2), 71-80. DOI: <https://doi.org/10.6001/energetika.v61i2.31343>
34. Pekarova P., Miklánek P., Pekár J. (2003). Spatial and temporal runoff oscillation analysis of the main rivers of the world during the 19<sup>th</sup>-20<sup>th</sup> centuries. *Journal of Hydrology*, 274, 62-79. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00397-9](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00397-9)

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

Received 2 May 2023  
Accepted 6 June 2023