

cryospheric-dominated watershed of the northeast Tibetan Plateau, China. *Hydrological Processes*. 2019. Vol. 33 (33). P. 1040– 1058. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.13383>

35. Zal N., Globevnik L., Austnes, K., et al. Water availability, surface water quality and water use in the Eastern Partnership countries: an indicator-based assessment. European Environment Agency. Publications Office. 2020. URL: <https://data.europa.eu/doi/10.2800/635170> (last accessed: 21.03.2023)

36. Zhang Y., et al. A Climate Data Record (CDR) for the global terrestrial water budget: 1984–2010. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2018 Vol. 22 (1). P. 241–263. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-22-241-2018>

Зміна водного балансу басейну річки Горинь в умовах потепління клімату Чорноморець Ю.О., Лободзінський О.В.

Потепління клімату обумовило великий комплекс наслідків, що проявилися у кожній ланці глобального гідрологічного циклу. У більшості випадків ці зміни мають нелінійний характер та проходять з різною інтенсивністю у гідрологічних та метеорологічних системах. Тому, на нашу думку, дуже важливо вивчати такі процеси разом, що дозволить одночасно виявляти їх взаємні впливи. Для вирішення подібного завдання найкраще підходить метод водного балансу, коли всі складові обчислюються в одних і тих же розмірностях (мм), а потім порівнюються між собою.

Зростання температури повітря з періоду 1961-1990 до 1991-2020 на 1.2°C обумовлює значні зміни в загальній структурі водного балансу басейну річки Горинь. В першу чергу це зростання невизначеності у витратних частинах кожного з обчислених водних балансів для сучасного періоду 1991-2020. Збільшення нев'язки відбувається переважно за рахунок витратної частини й головної її складової - сумарного випаровування. Невизначеність підтверджується порушенням однорідності за параметричним критерієм *t*-test (Критерій Стюдента) рядів температури та абсолютної вологості повітря. У абсолютних значеннях за даними замикального гідрологічного посту Малі Викоровичі можна простежити зниження річної суми опадів на 18 мм, річкового стоку води на 21 мм та зростанням сумарного випаровування на 35 мм.

Більш чітко локальні прояви глобальних змін клімату можна побачити, якщо оцінювати воднобалансові співвідношення в межах кліматичного балансу. Тут фіксується зміна пропорції накопичення вологи (S) – виснаження/ відновлення (U/R) від 131 мм (S) – 28 мм (U/R) для 1961-1990 до 74 мм (S) 49 мм (U/R) для 1991-2020. Тобто якщо у період кліматологічної стандартно норми накопичення вологи переважало над її виснаженням майже у 5 разів, то зараз, через зростання температури повітря, їх співвідношення практично вирівнялося. Це призвело до того, що нині водний режим річки із категорії надмірно зволжених може перейти у категорію достатньо зволжених і намічені тенденції свідчать про можливий початок домінування процесів виснаження вологи у басейні над її накопиченням.

Ключові слова: зміни клімату; водний баланс; стік води; річка Горинь

Надійшла до редколегії 10.10.2023

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.4.3>

УДК 556.16.06

Христюк Б.Ф.

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

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА «ICE-AUTUMN» ДЛЯ ДОВГОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ДАТ ПОЯВИ ЛЬДОВИХ ЯВИЩ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ ЛЬДОСТАВУ НА ВОДОСХОВИЩАХ ДНІПРОВСЬКОГО КАСКАДУ

Довгострокове прогнозування дат появи льдових явищ і встановлення льдоставу на водосховищах Дніпровського каскаду має важливе, перш за все, практичне значення, оскільки на його основі планується робота гідроенергетики, судноплавства, рибного, комунального господарств, тощо. У сучасному світі забезпечення споживачів прогнозно-гідрологічною продукцією відбувається за допомогою різноманітних автоматизованих комп'ютерних комплексів і систем, які мають зручний інтерфейс для користувача. Такий підхід набув широкого використання і в Україні. Так, в Українському гідрометеорологічному центрі (УкрГМЦ) використовуються автоматизовані прогнозно-моделювальні комплекси, які дозволяють виконувати коротко- і довгострокове прогнозування перебігу стоку води під час повені на річках України. Разом з цим, автоматизована система прогнозування строків настання основних фаз льдогового режиму річок і водосховищ України була створена тільки для короткострокового прогнозування. Отже, у роботі вперше створено автоматизовану систему «Ice-Autumn» для довгострокового прогнозування дат появи льдових явищ і встановлення льдоставу на водосховищах Дніпровського каскаду, для якої програмне забезпечення написане на мовах програмування C# та C++ у середовищі Visual Studio 2022 Community Edition у вигляді Windows форм та консольних додатків. Основою

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2023. № 4 (70)

системи є прогностичні залежності, які визначено шляхом пошуку найкращого кореляційного або регресійного зв'язків між датами на постах-індикаторах та телеконнекційними показниками, а також між датами на постах-індикаторах і датами на інших постах водосховищ. Випуск прогнозів можливий один раз на рік, а саме у жовтні місяці. Тестування системи «Ice-Autumn» показало її працездатність і, відповідно, можливість її використання в оперативній роботі УкрГМЦ. Розроблено інструкцію зі встановлення системи «Ice-Autumn» на персональний комп'ютер та посібник користувача.

Ключові слова: льодові явища, льодостав, програмне забезпечення, Дніпровські водосховища, довгострокове прогнозування.

Вступ. Сучасне оперативне прогнозування гідрологічних характеристик відбувається на основі різноманітних комп'ютерних моделювальних систем та комплексів, які працюють автоматично і мають зручний інтерфейс для користувача [1-3]. Найбільш поширеними є моделювальні комплекси, які виконують прогнозування у режимі реального часу. Їхньою основою є гідрологічна модель, що працює автоматично з урахуванням прогнозу погоди. Зазвичай вони використовуються для короткострокового гідрологічного прогнозування. Основою таких комплексів є різноманітні гідрологічні моделі, які забезпечують безперервне прогнозування гідрологічних характеристик із завчасністю від 12-24 годин до 1-7 діб [3-7]. Для довгострокового прогнозування гідрологічних характеристик також створюються автоматизовані моделювальні комплекси, основою яких є як прості кореляційні і регресійні рівняння, так і математичні моделі [3, 8]. Автоматизація процесу гідрологічного прогнозування набуває особливо важливого значення для великих басейнів річок, оскільки при цьому використовуються значні обсяги гідрометеорологічної інформації з різних баз даних, які потребують аналізу, узагальнення, обробки та надання результатів прогнозування у відповідних форматах зручних для користувачів.

В оперативній діяльності Українського гідрометеорологічного центру Державної служба України з надзвичайних ситуацій (УкрГМЦ) для гідрологічного прогнозування використовуються автоматизовані прогнозно-моделювальні комплекси, які в основному були розроблені фахівцями Українського гідрометеорологічного інституту (УкрГМІ), а також Одеського державного екологічного університету (ОДЕКУ). Так, у роботах Сусідко М.М., Лук'янець О.І., Маслової Т.В., Приймаченко Н.В., Розлач В.О. та Москаленко С.О. [9-14] створено автоматизовані комплекси і басейнові системи коротко- і довгострокового прогнозування перебігу стоку води під час повені для річок р. Прип'ять, Середньої та Нижньої частини р. Дніпро, р. Дністер, р. Південний Буг, р. Західний Буг, р. Сіверський Донець, річок Закарпаття. Основою таких систем є математичне моделювання процесів формування стоку весняного водопілля і дощових паводків на річках. Аналітично-експертна система «Істер» для прогнозування щоденних, характерних декадних і місячних рівнів води суднохідної частини р. Дунай створена Христюком Б.Ф. [8]. Прогнозування у цій системі здійснюється за методом відповідних добових приростів рівнів води. Автоматизовані системи короткострокового прогнозування припливу води до Дністровського водосховища (Dniester-Influx) та паводків у басейні р. Стрий (FFS Striy) з урахуванням чисельного прогнозу параметрів погоди також розроблено Христюком Б.Ф. та ін. [15, 16]. Основою цих систем є гідрологічна модель NAM моделі Rainfall-Runoff програмного комплексу MIKE 11 (Данія) та чисельна мезомасштабна атмосферна модель WRF ARW v. 3.6.1 (США). Фахівцями ОДЕКУ, а саме Шакірянною Ж.Р. та ін. у роботах [3, 17, 18] розроблено комплексний метод територіальних довгострокових прогнозів гідрологічних характеристик весняного водопілля рівнинних річок України і створено на його основі автоматизовані програмні комп'ютерні комплекси. Метод прогнозів шарів весняного стоку та максимальних витрат води базується на принципі поділу сукупності років на групи водності за допомогою лінійної дискримінантної функції за комплексом гідрометеорологічних чинників, які зумовлюють процеси формування весняного водопілля.

Окрім прогнозування водного стоку річок УкрГМЦ виконує прогнозування строків настання основних фаз льодового режиму річок і водосховищ України. Разом з цим, автоматизована система була створена тільки для короткострокового прогнозування його характеристик на основі методичних підходів розроблених Сусідко М.М. та ін. [19]. Довгострокове прогнозування характеристик льодового режиму водосховищ

Дніпровського каскаду довгий час залишалося поза увагою, оскільки методик для такого прогнозування не було розроблено. Зазначимо, що розроблення надійних методик довгострокових прогнозів льодового режиму водних об'єктів є складним завданням, яке у повній мірі не вирішено і дотепер. Для водосховищ Дніпровського каскаду розроблення методик довгострокового прогнозування строків появи основних фаз льодового режиму ускладнюється значною мінливістю атмосферних процесів над територією України в осінньо-зимовий період. Разом з цим, Христюком Б.Ф. та Горбачовою Л.О. у роботі [20] були розроблені методики довгострокового прогнозування дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу на водосховищах Дніпровського каскаду за телеконнекційними показниками і отримано прийнятні результати. Отже, це надає підстави для автоматизації такого процесу прогнозування шляхом створення комп'ютерної програми.

Метою даного дослідження є створення автоматизованої системи довгострокового прогнозування дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу на водосховищах Дніпровського каскаду для її подальшого використання в оперативній практиці УкрГМЦ.

Матеріали та методи дослідження. Каскад Дніпровських водосховищ складався з 6 водосховищ, які було побудовано впродовж XX століття [21]. Проте, вночі 6 червня 2023 року російськими окупантами було підірвано Каховську ГЕС і Каховське водосховище припинило своє існування [22]. Разом з цим, Кабінет міністрів України прийняв рішення щодо відбудови Каховської ГЕС та наповнення Каховського водосховища з метою забезпечення надійної експлуатації водозабору Запорізької АЕС, а також інших водозаборів комунального та промислового водопостачання і забезпечення сталої роботи енергосистеми України [23]. Окрім цього, у роботі [20] методики довгострокового прогнозування дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу були розроблені для 6 водосховищ Дніпровського каскаду, тобто і для Каховського водосховища включно. Отже, враховуючи ці обставини для розроблення автоматизованої системи прогнозування використано відомості щодо дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу на 36 гідрологічних постах від початку спостережень по 2020 рік включно по 6 водосховищах Дніпровського каскаду (рис. 1). Це дозволить фахівцям УкрГМЦ після відбудови Каховської ГЕС та наповнення Каховського водосховища надавати довгострокові прогнози дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу по всьому Дніпровському каскаду. Чисельне вираження дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу здійснювалось шляхом визначення їх відхилень від норми.

Основою методик довгострокового прогнозування дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу на 6 водосховищах Дніпровського каскаду є регресійні залежності, які в якості предикторів містять телеконнекційні показники [20]. Ці показники визначаються Національною службою погоди (National Weather Service, NWS) Національного управління океанічних і атмосферних досліджень США (National Oceanic & Atmospheric Administration USA, NOAA) і розміщуються на сайті: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/MD_index.php. Отже, у дослідженні використано середні місячні значення цих показників.

Створення автоматизованої системи прогнозування (АСП) відбувалося згідно наступних етапів:

- розроблення структури;
- аналіз вихідної інформації та проведення необхідних розрахунків;
- вибір мови програмування;
- створення програмного забезпечення;
- тестування АСП;
- розроблення інструкції зі встановлення АСП на персональний комп'ютер;
- розроблення посібника користувача.

У роботі при аналізі рядів спостережень використано методи математичної статистики, для побудови прогностичних залежностей застосовано методи кореляції і регресії, при визначенні ефективності отриманих залежностей – ймовірнісні математичні методи, для створення програмного забезпечення АПС – мови програмування C# та C++.

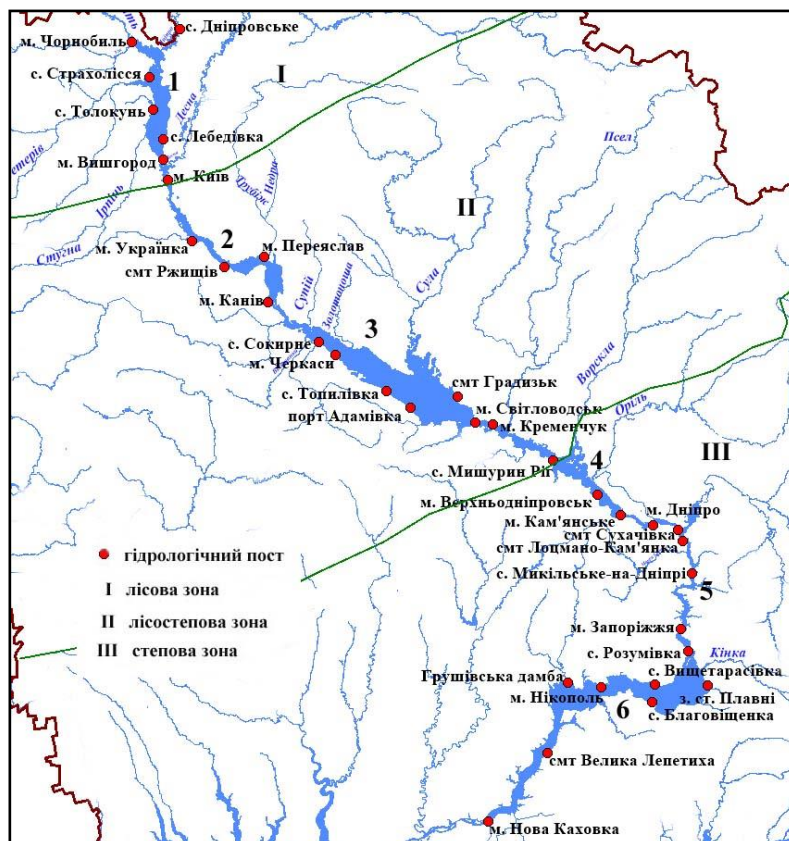


Рис. 1. Схема розташування водосховищ Дніпровського каскаду і гідрологічних постів на них (1 – вдсх Київське, 2 – вдсх Канівське, 3 – вдсх Кременчуцьке, 4 – вдсх Кам'янське, 5 – вдсх Дніпровське, 6 – вдсх Каховське наведено у межах до 06.06.2023)

Виклад основного матеріалу. Автоматизована система прогнозування повинна забезпечувати користувачу основні етапи створення прогнозної продукції: можливість виконання одного з двох різновидів прогнозів, а саме прогнозування дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу, введення вихідної гідрометеорологічної інформації, розрахунки за прогнозними залежностями для 36 гідрологічних постів на 6 водосховищах Дніпровського каскаду, отримання результатів у вигляді прогнозних величин у необхідному для користувача форматі. Отже, відповідно до цих вимог створено блок-схему автоматизованої системи «Ice-Autumn» довгострокового прогнозування дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу на водосховищах Дніпровського каскаду (рис. 2).

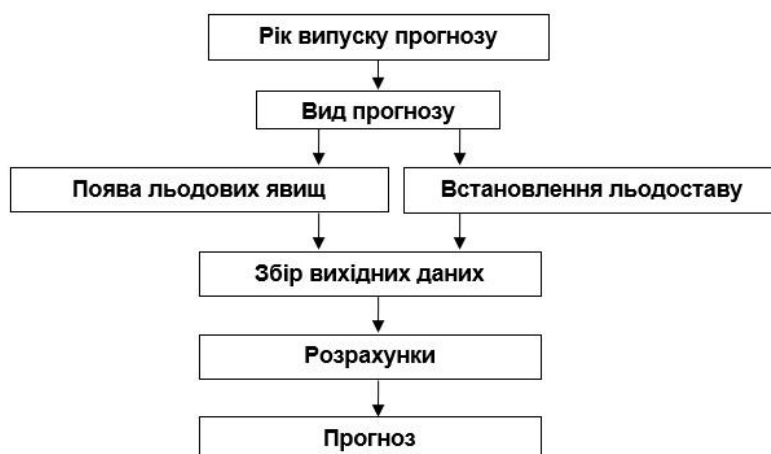


Рис. 2. Блок-схема системи «Ice-Autumn»

Випуск прогнозу дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу на водосховищах виконується один раз на рік, а саме 20 жовтня для дат появи льодових явищ та 1 листопада для дат встановлення льодоставу. Саме тому, в блок-схемі автоматизованої системи прогнозування «Ice-Autumn» вказується не дата прогнозування, а тільки рік, в якому здійснюється випуск прогнозу.

У регресійних залежностях, які отримано у роботі [20] для довгострокового прогнозування дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу на постах-індикаторах на водосховищах Дніпровського каскаду чисельне вираження дат здійснювалось шляхом визначення їх відхилень від умовної дати, за яку для зручності розрахунків була прийнята дата 30 листопада. Разом з цим, у практиці гідрологічного прогнозування зазвичай використовують відхилення від норми [24]. Отже, регресійні залежності були оновлені з урахуванням чисельного вираження дат через їхнє відхилення від норми, яка розрахована окремо для кожного поста-індикатора (табл. 1). Зазначимо, що унаслідок такого оновлення у регресійних залежностях змінилися лише вільні члени, що не призвело до зміни показників їхньої якості. Для довгострокового прогнозування дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу на інших гідрологічних постах було побудовано кореляційні залежності між датами на посту-індикаторі і датами на постах, які розташовано в межах певного водосховища. Отримані кореляційні залежності для більшості гідрологічних постів характеризуються сильними зв'язками ($0,70 < r < 0,89$) (табл. 2). Разом з цим, для деяких постів такий зв'язок є середнім ($0,50 < r < 0,69$). Отже, отримані регресійні (табл. 1) і кореляційні (табл. 2) залежності дозволяють виконувати довгострокове прогнозування дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу на 36 гідрологічних постах водосховищ Дніпровського каскаду і є основою автоматизованої системи прогнозування «Ice-Autumn».

Таблиця 1. Регресійні залежності для довгострокового прогнозування дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу на водосховищах Дніпровського каскаду для гідрологічних постів-індикаторів

Назва поста	Прогнозне рівняння	$\bar{S}/\bar{\sigma}$	$\delta_{\text{доп}}, \%$
поява льодових явищ			
вдсх Київське – с. Страхолісся	$\Delta D_{\text{я}} = -405,7 + 14,5 \cdot NATL_{IX} + 1,13 \cdot Z500t_{IX}$	0,95	67
вдсх Канівське – м. Київ	$\Delta D_{\text{я}} = -0,80 - 12,8 \cdot AO_{VII-IX} + 2,29 \cdot EqSOI_{II}$	0,96	72
вдсх Кременчуцьке – м. Черкаси	$\Delta D_{\text{я}} = -0,54 + 6,56 \cdot EA_{VI} - 5,14 \cdot AO_{VII-IX}$	0,92	69
вдсх Кам'янське – с. Мишурин Ріг	$\Delta D_{\text{я}} = 0,38 - 4,51 \cdot PNA_{II} - 2,34 \cdot repac_slpa_{IX}$	0,95	67
вдсх Дніпровське – м. Кам'янське	$\Delta D_{\text{я}} = -0,45 + 9,08 \cdot TAHITI_{IV} - 1,03 \cdot SOI_{IV}$	0,94	69
вдсх Каховське – с. Благовіщенка	$\Delta D_{\text{я}} = 0,33 - 5,76 \cdot EATL/WRUS_{VII-IX} + 2,36 \cdot SOI_I$	0,96	60
встановлення льодоставу			
вдсх Київське – с. Страхолісся	$\Delta D_{\text{л}} = 21,3 \cdot NATL_{IX} - 597,6$	0,88	67
вдсх Канівське – м. Переяслав	$\Delta D_{\text{л}} = 0,66 - 4,88 \cdot EA_I - 4,53 \cdot PNA_{II}$	0,89	70
вдсх Кременчуцьке – м. Черкаси	$\Delta D_{\text{л}} = 0,83 - 5,14 \cdot SCAND_V + 3,35 \cdot EAWR_{I-II}$	0,94	70
вдсх Кременчуцьке – с. Топилівка	$\Delta D_{\text{л}} = -64,8 + 17,0 \cdot TROPan_{IX} + 2,61 \cdot Ni\tilde{\theta}o3_{IX}$	0,94	68
вдсх Кам'янське – с. Мишурин Ріг	$\Delta D_{\text{л}} = 90,80 - 3,46 \cdot SCAND_V - 3,41 \cdot Ni\tilde{\theta}o3_{I}$	0,96	64
вдсх Дніпровське – с. Микільське-на-Дніпрі	$\Delta D_{\text{л}} = -0,92 + 8,36 \cdot TAHITI_{IV} + 7,62 \cdot EA_{VI}$	0,87	61
вдсх Каховське – з.ст. Плавні	$\Delta D_{\text{л}} = -0,29 - 4,94 \cdot EATL/WRUS_{VIII} + 6,91 \cdot TAHITI_{IV}$	0,91	67

Примітка: $\bar{S}$ – середня квадратична похибка перевірочних прогнозів; $\bar{\sigma}$ – середнє квадратичне відхилення прогнозованої величини; $\delta_{\text{доп}}, \%$ – забезпеченість допустимої похибки методики; $\Delta D_{\text{я}}, \Delta D_{\text{л}}$ – розраховані відхилення дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу від норми, дні

Таблиця 2. Кореляційні залежності між датами появи льодових явищ і встановлення льодоставу на гідрологічних постах (Y) і датами на постах-індикаторах водосховищ Дніпровського каскаду

Назва поста	Поява льодових явищ		Встановлення льодоставу	
	Залежність	r	Залежність	r
вдсх Київське - с. Дніпровське	$Y = 0,77 \cdot X + 3,37$	0,70	$Y = 0,80 \cdot X + 8,29$	0,75
вдсх Київське - м. Чорнобиль	$Y = 0,83 \cdot X + 6,71$	0,85	$Y = 0,84 \cdot X + 11,5$	0,68
вдсх Київське - с. Толокунь	$Y = 0,80 \cdot X + 9,17$	0,72	$Y = 0,80 \cdot X + 9,04$	0,75
вдсх Київське - с. Лебедівка	$Y = 0,76 \cdot X + 11,3$	0,70	$Y = 0,71 \cdot X + 11,0$	0,81
вдсх Київське - м. Вишгород	$Y = 0,66 \cdot X + 14,4$	0,73	$Y = 0,69 \cdot X + 11,3$	0,79
вдсх Канівське - м. Київ	-	-	$Y = 0,96 \cdot X + 7,63$	0,77
вдсх Канівське - м. Українка	$Y = 0,97 \cdot X + 1,16$	0,95	$Y = 0,98 \cdot X + 2,13$	0,89
вдсх Канівське - смт Ржищів	$Y = 0,82 \cdot X + 0,55$	0,74	$Y = 0,99 \cdot X + 3,50$	0,89
вдсх Канівське - м. Переяслав	$Y = 0,99 \cdot X + 1,34$	0,97	-	-
вдсх Канівське - м. Канів	$Y = 0,81 \cdot X + 0,87$	0,92	$Y = 0,97 \cdot X + 1,33$	0,97
вдсх Кременчуцьке - м. Канів	$Y = 0,92 \cdot X + 4,11$	0,87	$Y = 0,65 \cdot X + 3,79$	0,69
вдсх Кременчуцьке - с. Сокирне	$Y = 0,97 \cdot X + 2,27$	0,93	$Y = 0,91 \cdot X + 4,88$	0,81
вдсх Кременчуцьке - порт Адамівка	$Y = 0,72 \cdot X - 4,75$	0,87	$Y = 0,92 \cdot X - 0,84$	0,93
вдсх Кременчуцьке - с. Топилівка	$Y = 0,76 \cdot X - 3,55$	0,81	-	-
вдсх Кременчуцьке смт - Градизьк	$Y = 0,70 \cdot X + 0,98$	0,84	$Y = 0,74 \cdot X + 3,34$	0,74
вдсх Кременчуцьке - м. Світловодськ	$Y = 0,89 \cdot X + 2,84$	0,96	$Y = 0,83 \cdot X + 5,27$	0,90
вдсх Кам'янське - м. Кременчук	$Y = 0,59 \cdot X + 10,3$	0,59	$Y = 0,82 \cdot X + 7,23$	0,84
вдсх Кам'янське - м. Верхньодніпровськ	$Y = 0,64 \cdot X + 4,85$	0,59	$Y = 0,71 \cdot X + 0,52$	0,71
вдсх Кам'янське - м. Кам'янське	$Y = 0,65 \cdot X + 7,98$	0,62	$Y = 0,76 \cdot X + 2,27$	0,75
вдсх Дніпровське - м. Кам'янське	-	-	$Y = 0,55 \cdot X + 14,9$	0,45
вдсх Дніпровське - смт Сухачівка	$Y = 0,68 \cdot X - 0,55$	0,82	$Y = 0,77 \cdot X + 7,42$	0,73
вдсх Дніпровське - м. Дніпро	$Y = 0,82 \cdot X + 3,23$	0,86	$Y = 0,86 \cdot X + 4,86$	0,82
вдсх Дніпровське - смт Лоц. - Кам'янка	$Y = 0,76 \cdot X + 0,10$	0,78	$Y = 0,86 \cdot X + 1,29$	0,84
вдсх Дніпровське - м. Запоріжжя	$Y = 0,81 \cdot X + 8,57$	0,84	$Y = 0,86 \cdot X + 10,5$	0,83
вдсх Дніпровське - с. Микільс. на Дніпрі	$Y = 0,95 \cdot X - 0,36$	0,88	-	-
вдсх Каховське - с. Розумівка	$Y = 0,78 \cdot X + 14,41$	0,69	$Y = 0,62 \cdot X + 22,7$	0,62
вдсх Каховське - с. Плавні	$Y = 0,99 \cdot X - 0,21$	0,99	-	-
вдсх Каховське - с. Вищетарасівка	$Y = 0,96 \cdot X + 0,58$	0,97	$Y = 0,86 \cdot X + 7,11$	0,81
вдсх Каховське - с. Благовіщенка	-	-	$Y = 0,92 \cdot X + 9,50$	0,82
вдсх Каховське - м. Нікополь	$Y = 0,72 \cdot X + 7,66$	0,71	$Y = 0,86 \cdot X + 11,4$	0,78
вдсх Каховське - Грушівська дамба	$Y = 0,75 \cdot X + 10,35$	0,75	$Y = 0,90 \cdot X + 13,0$	0,81
вдсх Каховське - смт Велика Лепетиха	$Y = 0,75 \cdot X + 16,13$	0,69	$Y = 0,83 \cdot X + 17,8$	0,74
вдсх Каховське - м. Нова Каховка	$Y = 0,83 \cdot X + 19,57$	0,69	$Y = 0,65 \cdot X + 23,3$	0,62

Примітка: Y та X – чисельне вираження дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу через їх відхилення від норми

Згідно до блок-схеми АСП «Ice-Autumn» (рис. 2) була розроблена на мовах програмування C# та C++ у середовищі Visual Studio 2022 Community Edition у вигляді Windows форм та консольних додатків. Ці мови програмування є універсальними мовами програмування загального призначення, які розроблені для створення прикладного програмного забезпечення [25, 26]. Отже, характеристики цих мов, які набули широкого використання у світі дозволили створити програмне забезпечення, яке дозволяє фахівцю-прогнозісту випускати прогнози двох видів: дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу на водосховищах Дніпровського каскаду.

Розроблено посібник користувача АСП «Ice-Autumn», у якому висвітлено послідовність її використання. Прогнозування за допомогою системи «Ice-Autumn»

можливе у жовтні місяці кожного року за наявності значень телеконнекційних індексів та паттернів на сайті NOAA – Національного управління океанічних і атмосферних досліджень США по вересень поточного року, включно. Запуск системи відбувається після активації додатку *Ice-Autumn.exe*. На екрані монітора з'являється *Form1* (рис. 3), на якій необхідно вказати рік випуску прогнозу та натиснути кнопку «Ок». Також передбачена можливість припинити роботу додатку у разі необхідності, натиснувши кнопку «Вихід».

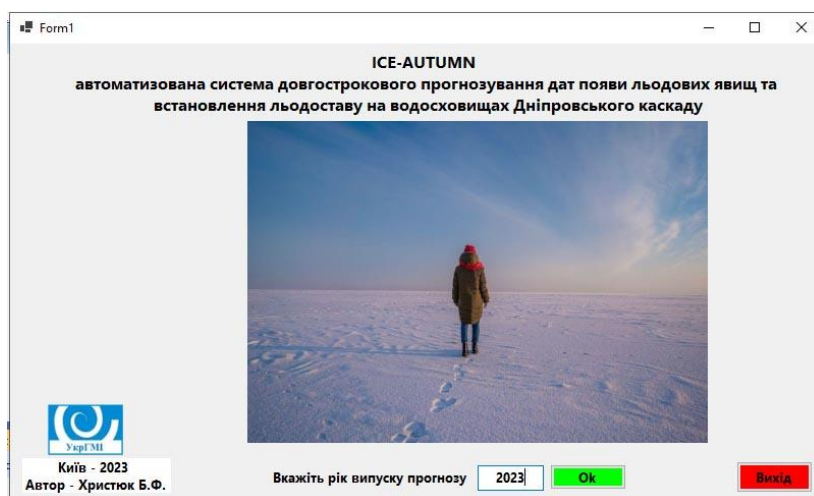


Рис. 3 Форма 1 системи «Ice-Autumn»

Рік випуску прогнозу має перебувати в межах 2000-3000 рр., у іншому випадку на екрані монітору з'явиться повідомлення «Помилкова дата» і після натискання на кнопку «Ок» відбудеться припинення роботи додатку. У випадку відсутності значень телеконнекційних індексів та паттернів за вказаний користувачем рік відбувається аварійний вихід з додатку. Після того, як буде вказано рік випуску, на екрані монітора з'являється *Form2* (рис. 4а). На цій формі необхідно вибрати вид прогнозування або припинити роботу додатку (кнопки «Поява льодових явищ», «Встановлення льодоставу» та «Вихід»), натискаючи на відповідну кнопку. Після вибору виду прогнозування на екрані монітора з'являється *Form3* (рис. 4б). У цій формі є можливість перейти до збору вихідних даних або припинити роботу додатку (кнопки «Збір вихідних даних» та «Вихід»), натискаючи на відповідну кнопку. Збір вихідних даних відбувається автоматично додатком *Raschet.exe* і полягає у копіюванні значень телеконнекційних індексів та паттернів з сайту NOAA – Національного управління океанічних і атмосферних досліджень США.

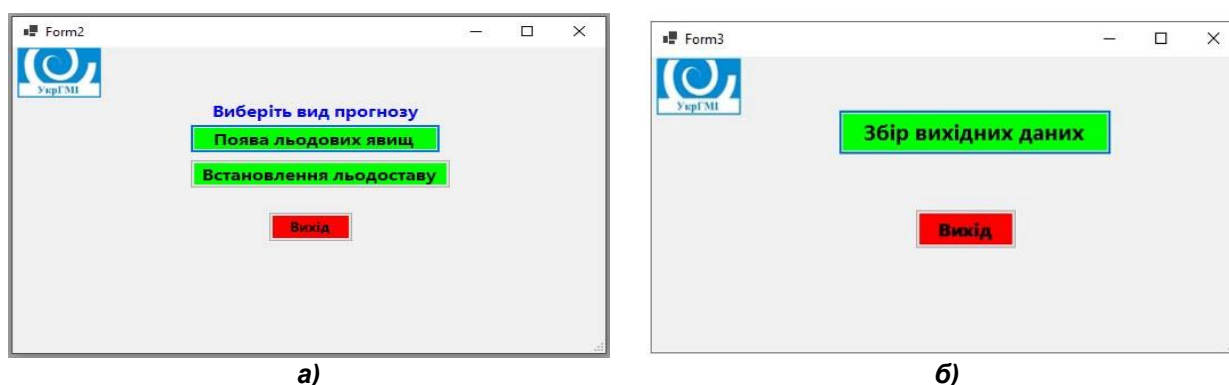


Рис. 4. Форма 2 (а) та форма 3 (б) системи «Ice-Autumn»

Після копіювання вихідної інформації на екрані монітора з'являється *Form 4* (рис. 5). У цій формі є можливість перейти до виконання розрахунків за допомогою додатку *Prog_royav.exe* або припинити його роботу (кнопки «Виконати розрахунки» та «Вихід»), натискаючи на відповідну кнопку.



Рис. 5. Форма 4 системи «Ice-Autumn»

Розрахунки відбуваються згідно прогностичних залежностей, які наведено у табл. 1 та 2, а результат розрахунків записується до файлу «Prognoz.txt» (рис. 6).

```
Прогноз дат появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду у 2023 р.
      Київське водосховище
с.Страхолисся (норма - 27.XI)      - 22.XII
р.Дніпро-с.Дніпровське           - 19.XII
р.Прип'ять-м.Чорнобиль           - 24.XII
с.Толокунь                        - 26.XII
с.Лебедівка                       - 27.XII
м.Вишгород                        - 28.XII
      Канівське водосховище
м.Київ (норма - 13.XII)           - 14.XII
м.Українка                       - 15.XII
сміт Ржищів                      - 15.XII
м.Переяслав - Хмельницький       - 16.XII
м.Канів                           - 15.XII
      Кременчуцьке водосховище
м.Черкаси (норма - 15.XII)       - 08.XII
м.Канів                           - 13.XII
с.Сокирне                        - 10.XII
с.Топилівка                      - 06.XII
порт Адамівка                    - 05.XII
сміт Градизьк                    - 11.XII
м.Світловодськ                   - 11.XII
```

Рис. 6. Фрагмент файлу «Prognoz.txt»

Файл результатів подається й текстовому форматі і містить прогностні дати появи льодових явищ і встановлення льодоставу на 36 гідрологічних постах водосховищ Дніпровського каскаду, а також норми для рядів спостережень на постах-індикаторах. Остання інформація надає можливість користувачу виконати первинний аналіз отриманих прогнозів.

Створене програмне забезпечення АПС «Ice-Autumn» пройшло успішне тестування шляхом виконання прогнозів за даними 2020 та 2023 років і показало його цілком адекватну працездатність (приклад на рис. 6). Програмне забезпечення працює у середовищі Windows 10 (64 біт) і має розмір 200Мб. АСП «Ice-Autumn» інсталюється на диск D персонального комп'ютера.

Висновки. У сучасному світі забезпечення споживачів прогнозною гідрологічною продукцією відбувається за допомогою різноманітних автоматизованих комп'ютерних комплексів і систем, застосування яких набуло широкого використання, у тому числі, і в Україні. Отже, у роботі вперше для водосховищ Дніпровського каскаду створено автоматизовану систему «Ice-Autumn», яка дозволяє виконувати довгострокове прогнозування дат появи льодових явищ та встановлення льодоставу на 36 гідрологічних постах. Програмне забезпечення системи «Ice-Autumn» створено на мовах програмування C# та C++ у середовищі Visual Studio 2022 Community Edition у вигляді Windows форм та консольних додатків. Основою системи є методики довгострокового прогнозування дат

появи льодових явищ і встановлення льодоставу на 6 водосховищах Дніпровського каскаду, які розроблено за регресійними залежностями між датами появи льодових явищ і встановлення льодоставу на постах-індикаторах та телеконнекційними показниками, а також кореляційними залежностями між датами на постах-індикаторах і датами на постах, які розташовано в межах певного водосховища. Система «Ice-Autumn» пройшла успішне тестування, має інструкцію зі встановлення на персональний комп'ютер та посібник користувача.

Використаний у роботі підхід щодо автоматизації процесу довгострокового прогнозування дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу на 6 водосховищах Дніпровського каскаду шляхом створення програмного забезпечення можна застосувати і для інших показників льодового режиму. Це може бути наступним етапом дослідження.

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. 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.
2. Werner M., Schellekens J., Gijsbers P., Dijk M., Akker O., Heynert K. The Delft-FEWS flow forecasting system. Environmental Modelling & Software. 2013. Vol. 40. P. 65-77. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.07.010>
3. Голченко Є.Д., Шакірзанова Ж.Р., Андрієвська Г.М. Довгострокове просторове прогнозування максимального весняного стоку на основі автоматизованого комп'ютерного комплексу. Наук. праці УкрНДГМІ. 2006. Вип. 255. С. 228-240.
4. Loi N.K., Liem N.D., Tu L.H., Hong N.T., Truong C.D., Tram V.N.Q., Nhat T.T., Anh T.N., Jeong J. Automated procedure of real-time flood forecasting in Vu Gia – Thu Bon River basin, Vietnam by integrating SWAT and HEC-RAS models. Journal of Water and Climate Change. 2019. Vol. 10. Issue. 3. P. 535-545. DOI: <https://doi.org/10.2166/wcc.2018.015>
5. Zhang Y., Gu Z., Thé J.V.G., Yang S.X., Gharabaghi B. The Discharge Forecasting of Multiple Monitoring Station for Humber River by Hybrid LSTM Models. Water. 2022. Vol. 14. ID: 1794. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14111794>
6. Krajewski W.F., Ceynar D., Demir I., Goska R., Kruger A., Langel C., Mantilla R., Niemeier J., Quintero F., Seo B.-C., Small S.J., Weber L.J., Young N.C. Real-Time Flood Forecasting and Information System for the State of Iowa. Bulletin of the American Meteorological Society. 2017. Vol. 98. Issue. 3. P. 539-554. DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00243.1>
7. Mosavi A., Ozturk P., Chau K-w. Flood Prediction Using Machine Learning Models: Literature Review. Water. 2018. Vol. 10. Issue. 11. ID: 1536. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10111536>
8. Христюк Б.Ф. Аналітично-експертна система прогнозування рівнів води судохідного Дунаю «Істер». Наук. праці УкрНДГМІ. 2013. Вип. 264. С. 72-81.
9. Сусідко М.М. Математичне моделювання процесів формування стоку як основа прогностичних систем. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2000. Том 1. С. 32-40
10. Лук'янець О.І., Сусідко М.М. Комплексна басейнова система прогнозування паводків у Закарпатті: методична та технологічна база її складових. Наук. праці УкрНДГМІ. 2004. Вип. 253. С. 234-249.
11. Маслова Т.В., Сусідко М.М. Оцінювання зволоженості гірських водозборів при математичному моделюванні дощових паводків. Наук. праці УкрНДГМІ. 2007. Вип. 256. С. 233-238.
12. Дутко В.О., Соседко М.М. Із досвіду ідентифікації параметрів математичної моделі дощового стоку в залежності від орографії місцевості. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2011. № 3. С. 73-80.
13. Приймаченко Н.В. Обґрунтування системи розрахунку характеристик паводків на гірських річках басейну Дністра на основі математичного моделювання процесів формування дощового стоку: автореф. дис. ... к. геогр. н.: 11.00.07. Київ. 2010. 19 с.
14. Москаленко С.О. Прогнозування дощових паводків на річках правобережжя Прип'яті на основі моделювання процесів їх формування: автореф. дис. ... к. геогр. н.: 11.00.07. Київ. 2013. 20 с.
15. Khrystyuk B. Short-term forecasting of water inflow to Dniester reservoir using numerical weather forecast model data. Book of abstract of the XXVII Conference of the Danubian countries on

Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, 26-28 September 2017, Golden Sands, Bulgaria. P. 44.

16. *Khrystiuk B., Gorbachova L., Shpyg V.* Verification of the automated flood forecasting system on the Stryi River. *Acta Hydrologica Slovaca*. 2022. Vol. 23(2). P. 234-240. DOI: 10.31577/ahs-2022-0023.02.0026

17. *Шакірзанова Ж.Р.* Довгострокове прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок та естуаріїв території України. Одеса: ТОВ «Плутон», 2015. 252 с.

18. *Шакірзанова Ж.Р., Перевозчиков І.М., Шевченко О.П.* Застосування методу територіальних довгострокових прогнозів для визначення максимальних витрат води в умовах формування весняного водопілля 2022-2023 року в басейні р. Десна. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2023. № 31. С. 5-21. DOI: <https://doi.org/10.31481/uhmj.31.2023.01>

19. *Сусідко М.М., Щербак А.В., Зеленська М.В., Данильчук В.І.* Льодовий режим рівнинних річок і водосховищ України. Система короткотермінового прогнозування його характеристик. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2007. Т. 13. С. 62-84.

20. *Khrystiuk B., Gorbachova L.* Long-term forecasting of appearance dates of ice phenomena and freeze-up at the Dnipro Cascade reservoirs by teleconnection indicators. *Acta Hydrologica Slovaca*. 2023. № 24(1). С. 24-32. DOI: <https://doi.org/10.31577/ahs-2023-0024.01.0004>

21. Водний фонд України. Штучні водойми. Водосховища і ставки / за ред. В. К. Хільчевського, В. В. Гребеня. К.: Інтерпрес ЛТД, 2014. 164 с.

22. *Фролова Г., Чикаренко І.* Забезпечення водопостачання територій та громад як пріоритетний напрям взаємодії державної влади та місцевого самоврядування. *Публічне управління та місцеве самоврядування*. 2023. Вип. 2. С. 91-98.

23. Про реалізацію експериментального проекту "Будівництво Каховського гідровузла на р. Дніпро. Відбудова після руйнування Каховської ГЕС та забезпечення сталої роботи Дніпровської ГЕС у період відбудови". Постанова Кабінету міністрів України від 18.07.2023, № 730. <https://www.kmu.gov.ua/npasearch?&num=730&category=3>.

24. Настанова з оперативної гідрології. Прогнози режиму вод суші. Гідрологічне забезпечення і обслуговування / Керівний документ. Київ: Український гідрометеорологічний центр, 2012. 120 с.

25. *Albahari B., Drayton P., Merrill B.* C# Essentials. 2nd Edition. O'Reilly, 2002. 202 p.

26. *Белов Ю.А., Карнаух Т.О., Коваль Ю.В., Ставровський А.Б.* Вступ до програмування мовою C++. Організація обчислень: навчальний посібник. Київ: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2012. 175 с.

References

1. 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.

2. *Werner M., Schellekens J., Gijsbers P., Dijk M., Akker O., Heynert K.* The Delft-FEWS flow forecasting system. *Environmental Modelling & Software*. 2013. Vol. 40. P. 65-77. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.07.010>

3. *Gopchenko Je.D., Shakirzanova Zh.R., Andrijevs'ka G.M.* Dvlgostrokove prostoro ve prognovuvannja maksymal'nogo vesnjanogo stoku na osnovi avtomatyzovanogo komp'juternogo kompleksu. [Long-term spatial forecasting of the maximum spring runoff based on an automated computer complex]. *Nauk. praci UkrNDGMI*. 2006. Vyp. 255. S. 228-240.

4. *Loi N.K., Liem N.D., Tu L.H., Hong N.T., Truong C.D., Tram V.N.Q., Nhat T.T., Anh T.N., Jeong J.* Automated procedure of real-time flood forecasting in Vu Gia – Thu Bon River basin, Vietnam by integrating SWAT and HEC-RAS models. *Journal of Water and Climate Change*. 2019. Vol. 10. Issue. 3. P. 535-545. DOI: <https://doi.org/10.2166/wcc.2018.015>

5. *Zhang Y., Gu Z., Thé J.V.G., Yang S.X., Gharabaghi B.* The Discharge Forecasting of Multiple Monitoring Station for Humber River by Hybrid LSTM Models. *Water*. 2022. Vol. 14. ID: 1794. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14111794>

6. *Krajewski W.F., Ceynar D., Demir I., Goska R., Kruger A., Langel C., Mantilla R., Niemeier J., Quintero F., Seo B.-C., Small S.J., Weber L.J., Young N.C.* Real-Time Flood Forecasting and Information System for the State of Iowa. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2017. Vol. 98. Issue. 3. P. 539-554. DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00243.1>

7. *Mosavi A., Ozturk P., Chau K-w.* Flood Prediction Using Machine Learning Models: Literature Review. *Water*. 2018. Vol. 10. Issue. 11. ID: 1536. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10111536>

8. *Khrystiuk B.F.* Analitichno-ekspertna systema prognovuvannja rivniv vody sudohidnogo Dunaju «Ister». [The analytical and expert system for the forecasting of the water levels of the navigable part of Danube «Ister»]. *Nauk. praci UkrNDGMI*. 2013. Vyp. 264. S. 72-81.

9. *Susidko M.M.* Matematychnе modeljuvannja procesiv formuvannja stoku jak osnova prognostychnyh system. [Mathematical modeling of flow formation processes as a basis for prognostic

systems]. Hidrolohiya, hidrokhimiya i hidroekolohiya. 2000. № 1. S. 32-40.

10. *Luk'janec' O.I., Susidko M.M.* Kompleksna basejnova systema prognozuvannja pavodkiv u Zakarpatti: metodychna ta tehnologichna baza i'i skladovyh. [Complex basin flood forecasting system in Transcarpathia: methodical and technological base of its components]. Nauk. praci UkrNDGMI. 2004. Vyp. 253. S. 234-249.

11. *Maslova T.V., Susidko M.M.* Ocinjuvannja zvolozhenosti girs'kyh vodozboriv pry matematychnomu modeljuvanni doshkovykh pavodkiv. [Estimation of the moisture content of mountain catchments during mathematical modeling of rain floods]. Nauk. praci UkrNDGMI. 2007. Vyp. 256. S. 233-238.

12. *Dutko V.O., Sosjedko M.M.* Iz dosvidu identyfikacii parametriv matematychnoi modeli doshhovogo stoku v zalezhnosti vid orografii miscevosti. [From the experience of identifying the parameters of the mathematical model of rain runoff depending on the orography of the area]. Hidrolohiya, hidrokhimiya i hidroekolohiya. 2011. № 3. S. 73-80.

13. *Pryjmachenko N.V.* Obg'runtuvannja systemy rozrahunku harakterystyk pavodkiv na girs'kyh richkah basejnu Dnistra na osnovi matematychnogo modeljuvannja procesiv formuvannja doshhovogo stoku: avtoref. dys. ... k. geogr. n.: 11.00.07. [Grounding of the system computation characteristics floods in the mountain river of Dnestr basin on the bases mathematical modeling of rain runoff formation processes: autoref. thesis ... PhD: 11.00.07]. Kyiv. 2010. 19 s.

14. *Moskalenko S.O.* Prognozuvannja doshkovykh pavodkiv na richkah pravoberezhzhja Prypjati na osnovi modeljuvannja procesiv i'h formuvannja: avtoref. dys. ... k. geogr. n.: 11.00.07. [Forecasting of rain floods on the rivers of the right bank of Pripyat based on modeling of their formation processes: autoref. thesis ... PhD: 11.00.07]. Kyiv. 2013. 20 s.

15. *Khrystiuk B.* Short-term forecasting of water inflow to Dniester reservoir using numerical weather forecast model data. Book of abstract of the XXVII Conference of the Danubian countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, 26-28 September 2017, Golden Sands, Bulgaria. P. 44.

16. *Khrystiuk B., Gorbachova L., Shpyg V.* Verification of the automated flood forecasting system on the Stryi River. Acta Hydrologica Slovaca. 2022. Vol. 23(2). P. 234-240. DOI: 10.31577/ahs-2022-0023.02.0026

17. *Shakirzanova Zh.R.* Dovgostrokove prognozuvannja harakterystyk maksimal'nogo stoku vesnjanogo vodopillja rivnyynykh richok ta estuarii'v terytorii' Ukraïny. [Long-term forecasting of the characteristics of the maximum flow of spring of lowland rivers and estuaries in the territory of Ukraine]. Odesa: TOV «Pluton», 2015. 252 s.

18. *Shakirzanova Zh.R., Perevozchikov I.M., Shevchenko O.P.* Zastosuvannja metodu terytorial'nykh dovogostrokovykh prognoziv dlja vyznachennja maksimal'nykh vytrat vody v umovakh formuvannja vesnjanogo vodopillja 2022-2023 roku v basejni r. Desna. [Application of the method of territorial long-term forecasts to determine the maximum water discharge rates under the conditions of spring flood 2022-2023 formation across the Desna basin]. Ukraïns'kyj gidrometeorologichnyj zhurnal. 2023. № 31. S. 5-21. DOI: <https://doi.org/10.31481/uhmj.31.2023.01>

19. *Susidko M.M., Shherbak A.V., Zelens'ka M.V., Danyl'chuk V.I.* L'odovyj rezhym rivnyynykh richok i vodoshovyshh Ukraïny. Systema korotkoterminovogo prognozuvannja jogo harakterystyk. [Ice regime of plain rivers and reservoirs of Ukraine. A system of short-term forecasting of its characteristics]. Hidrolohiya, hidrokhimiya i hidroekolohiya. 2007. № 13. S. 62-84.

20. *Khrystiuk B., Gorbachova L.* Long-term forecasting of appearance dates of ice phenomena and freeze-up at the Dnipro Cascade reservoirs by teleconnection indicators. Acta Hydrologica Slovaca. 2023. № 24(1). C. 24-32. DOI: <https://doi.org/10.31577/ahs-2023-0024.01.0004>

21. Vodnyj fond Ukraïny. Shtuchni vodojmy. Vodoshovyshha i stavky / za red. V.K. Hil'chevskogo, V.V. Grebenja. [Water Fund of Ukraine. Artificial reservoirs. Reservoirs and ponds / eds. by V.K. Khilchevskiy, V.V. Grebin]. K.: Interpres LTD, 2014. 164 s.

22. *Frolova, H., Chikarenko, I.* Zabezpechennia vodopostachanniam terytorii ta hromad yak priorytetnyi napriam vzaiemodii derzhavnoi vlady ta mistsevoho samovriaduvannia. [Water supply of territories and communities as a priority interaction between public administrations and local self-government]. Public Administration and Local Government. 2023. Vyp. 2. S. 91-98.

23. Pro realizaciju eksperymental'nogo proektu "Budivnytvo Kahovs'kogo gidrovuzla na r. Dnipro. Vidbudova pislja rujnuvannja Kahovs'koi' GES ta zabezpechennja staloi' roboty Dniprovskoi' GES u period vidbudovy". [About the implementation of the experimental project "Construction of the Kakhovskiy hydroelectric station on the Dnipro River. Reconstruction after the destruction of the Kakhovskaya HPP and ensuring the stable operation of the Dniprovskaya HPP during the reconstruction period"]. Postanova Kabinetu ministriv Ukraïny vid 18.07.2023, № 730. <https://www.kmu.gov.ua/npasearch?&num=730&category=3>.

24. Nastanova z operatyvnoi hidrolohii. Prohnozy rezhymu vod sushi. Hidrolohichne zabezpechennia i obsluhovuvannia [Manual on operational hydrology. Forecasts of land water regime.

Hydrological support and maintenance] / Kerivnyj dokument. Kyiv: Ukrains'kyj hidrometeorologichnyj tsentr, 2012. 120 s.

25. Albahari B., Drayton P., Merrill B. C# Essentials. 2nd Edition. O'Reilly, 2002. 202 p.

26. Bjelov Ju.A., Karnauh T.O., Koval' Ju.V., Stavrovs'kyj A.B. Vstup do programuvannja movoju S++. Organizacija obchyslen': navchal'nyj posibnyk. [Introduction to C++ programming. Organization of calculations: a study guide]. Kyi'v: Vydavnycho-poligrafichnyj centr "Kyiv's'kyj universytet", 2012. 175 s.

Automated "Ice-Autumn" system for long-term forecasting of appearance dates of ice phenomena and freeze-up at the Dnipro Cascade reservoirs

Khrystiuk B.F.

Long-term forecasting of appearance dates of ice phenomena and freeze-up at the Dnipro Cascade reservoirs is important, first of all, of practical importance, since on its basis is planned the work of hydropower, shipping, fisheries, utilities, etc. In the modern world, providing consumers of the predictive hydrological products is done with the help of various automated computer complexes and systems that have a convenient user interface. This approach has become widely used in Ukraine too. Thus, the Ukrainian Hydrometeorological Center uses the automated forecasting and modeling complexes that allow short- and long-term forecasting of streamflow during floods on the rivers of Ukraine. Along with this, the automated system for forecasting the appearance timing of ice regime of rivers and reservoirs of Ukraine was created only for short-term forecasting.

The main objective of this research is to create an automated system for long-term forecasting of appearance dates of ice phenomena and freeze-up at the Dnipro Cascade reservoirs for its further use in the operational practice of the Ukrainian Hydrological Center.

The software of the automated system "Ice-Autumn" for long-term forecasting of appearance dates of ice phenomena and freeze-up at the Dnipro Cascade reservoirs is written in the C# and C++ programming languages in the Visual Studio 2022 Community Edition frame in the form of Windows forms and console applications. The basis of the system "Ice-Autumn" is predictive dependencies, which were determined by finding the best correlation or regression relationships between dates at indicator gauges and teleconnection indicators, as well as between dates at indicator posts and dates at other gauges of reservoirs. Forecasts can be carried out once a year, namely on October 20 for the appearance dates of ice phenomena and November 1 for the appearance dates of freeze-up. The automated system "Ice-Autumn" allows to carry out the long-term forecasting of appearance dates of ice phenomena and freeze-up at 36 water gauges at the Dnipro Cascade reservoirs. Testing of the "Ice-Autumn" system showed its efficiency and, accordingly, the possibility of its use in the operational work of the Ukrainian Hydrometeorological Center. Instructions for installing the "Ice-Autumn" system on a personal computer and a user manual were developed.

Keywords: ice phenomena, freeze-up, software, Dnipro reservoirs, long-term forecasting.

Надійшла до редколегії 07.11.2023

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.4.4>

УДК 502/504:556.53(477.83/.84)

Кузик І.Р., Таранова Н.Б.

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

ОЦІНКА ЗАРЕГУЛЬОВАНOSTІ СТОКУ РІЧКИ СЕРЕТ

Мета дослідження – оцінити зарегульованість стоку річки Серет та визначити обсяги замуленості водосховищ в її руслі. Річка Серет – ліва притока Дністра, довжиною 242 км та площею басейну 390 км². На річці Серет створено 8 водосховищ, загальною площею водного плеса 21 км² та повним об'ємом 57,5 млн. м³. Річка Серет є однією із найбільш зарегульованих річок Західного Поділля. За результатами проведених розрахунків встановлено, що коефіцієнт зарегульованості стоку річки Серет становить 0,17; ступінь зарегульованості стоку – 0,25. Виявлено, що впродовж року річкою транспортується близько 57 тис. т наносів. За розрахунковий період експлуатації (40 років) у водосховищах річки Серет накопичується 3 млн. м³ наносів. Замуленість Тернопільського водосховища становить 3,5%, Вертелівських – 5%, Заложцівського – 10% і Верхньовідавського – 58%, Більче-Золотецького – 65%, Скородинського – 75%. На основі одержаних результатів, можна зробити висновок, що річка Серет зазнає значного антропогенного навантаження, існують ризики деградації водотоку та зменшення енергетичного потенціалу водосховищ середньої і нижньої течії річки.

Ключові слова: річка Серет; водосховища; зарегульованість стоку; річкові наноси; замуленість.

Вступ. Сучасні тенденції глобальних і регіональних кліматичних змін безпосередньо впливають на водність річок. Особливо чутливими до зміни кліматичних параметрів є малі