

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2024.1.3>

УДК 556.16

**Афтенюк О.О., Горбачова Л.О.**

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

## ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ РОЗРАХУНКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСНОВНИХ ФАЗ ЛЬОДОВОГО РЕЖИМУ РІЧОК БАСЕЙНУ ПРИП'ЯТІ В МЕЖАХ УКРАЇНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІС

*Карти просторового розподілу гідрологічних показників відіграють важливе значення у освітній, науковій і практичній сферах. Карт, які присвячено просторовому розподілу характеристик льодового режиму річок вкрай мало. Останні ґрунтовні дослідження щодо побудови карт розрахункових характеристик дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу на річках України було виконано у 70-х роках ХХ століття. У цих картах басейн р. Прип'ять представлено даними спостережень за льодовим режимом річок тільки для декількох постів і, відповідно, такі карти є занадто загальними. Окрім цього, такі карти було побудовано у вигляді ізоліній на паперових носіях шляхом ручної інтерполяції. Разом з цим, розвиток комп'ютерної техніки та географічних інформаційних систем (ГІС) змінили підходи щодо картування гідрологічних характеристик. У сучасних дослідженнях гідрологічні карти будуються у ГІС у вигляді цифрових шарів з використанням різних методів просторової інтерполяції. Отже, метою даного дослідження є просторове представлення розрахункових характеристик настання основних фаз льодового режиму річок басейну Прип'яті в межах України із застосуванням програми ArcGIS. У роботі використано відомості 29 гідрологічних постів щодо статистичних показників льодового режиму річок басейну Прип'яті у межах України. Для побудови цифрових карт використано такі статистичні параметри як середнє багаторічне значення, середнє квадратичне відхилення і коефіцієнт асиметрії, які розраховано для основних фаз льодового режиму річок, а саме дат появи льодових явищ, встановлення і руйнування льодоставу, очищення від льоду. Карти побудовано у вигляді цифрових шарів шляхом сплайн-інтерполяції у вигляді ізоліній. Аналіз цифрових шарів просторового розподілу розрахункових характеристик льодового режиму річок басейну Прип'ять, а також точність їхньої побудови дозволяють рекомендувати такі карти для практичного застосування.*

**Ключові слова:** льодовий режим, середньоквадратичне відхилення, просторова інтерполяція, Spline, геоінформаційні системи, цифрові карти, Прип'ять.

**Вступ.** Гідрологічні карти мають важливе освітнє, наукове і практичне значення, оскільки надають інформацію, знання щодо поверхневих водних об'єктів на Земній кулі та певних територіях, дозволяють отримувати безпосередньо кількісні гідрологічні характеристики, слугують основою для різноманітних водогосподарських розрахунків тощо [1-3]. У світі історія створення гідрологічних карт порівняно недовга і складає приблизно 150 років [4]. В Україні перші гідрологічні карти з'явилися в 20-х роках ХХ століття і відображали норми річного стоку річок. Впродовж ХХ століття вітчизняні методичні надбання щодо побудови карт просторового розподілу гідрологічних характеристик розвивали такі вчені як Огієвський А.В., Мокляк В.І., Швець Г.І., Онуфрієнко Л.Г., Бефані Н.Ф., Гопченко Є.Д. [5, 6]. Перші гідрологічні карти будувалися ручним способом на паперових носіях [2-4, 7, 8]. Разом з цим, розвиток комп'ютерної техніки та географічних інформаційних систем (ГІС) змінили підходи щодо картування гідрологічних характеристик [9-13]. Сучасні ГІС дозволяють виконувати збір, збереження, обробку, доступ, аналіз, моделювання, відображення у просторовому вигляді на основі цифрових тематичних шарів гідрологічної інформації, а також її розповсюдження [14]. Сьогодні у світі широко використовуються як комерційні, так і вільні (безкоштовні) ГІС. Серед комерційних ГІС найбільш відомими є MapInfo і ArcGIS, а вільних – QGIS, GRASS, gvSIG, SAGA та ін. [15, 16].

В Україні першим піонерським дослідженням у гідрології з використанням ГІС ArcInfo та Surfer була робота Войцехович В.О., Лузан Л.І. [17], у якій побудовано просторовий розподіл шарів стоку весняної повені 1% забезпеченості на річках Українського Полісся. У

ISSN:2306-5680 **Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2024. № 1 (71)**

роботах Горбачової Л.О. [2, 7] викладені методичні засади щодо побудови карт просторового розподілу гідрологічних характеристик з використанням ГІС MapInf. У роботі Коноваленко О.С. та ін. [18] відображено просторовий розподіл шарів та максимальних модулів стоку води для річок басейну Стир з використанням сплайн апроксимації у ГІС ArcGIS. Деякі методичні питання щодо побудови карт просторового розподілу гідрологічних характеристик розглядаються у роботах Кошкіної О.В. і Глотки Д.В. [3], а також Сокольчука К.І. [19]. Окрім цього, у роботах Гребеня В.В., Корнієнко В., Лук'янець О.І., Ободовського О.Г., Почаєвець О, Овчарук В.А., Сніжко С.І., Хільчевського В.К., Шакірзанової Ж.Р. та ін. [5, 6, 20-23] також використовуються різні ГІС для побудови карт просторового розподілу гідрологічних і гідрохімічних показників. Отже, у сучасних гідрологічних дослідженнях ГІС є основним інструментом для побудови цифрових карт.

Узагальненням розрахункових характеристик льодового режиму річок України, а також побудовою карт їхнього просторового розподілу присвячені праці Дюкель Н.Г. [24, 25], які було опубліковано у 70-х роках ХХ століття. Карти було побудовано у вигляді ізолій на паперових носіях шляхом ручної інтерполяції для наступних характеристик льодового режиму: середніх дат, середньоквадратичних відхилень та коефіцієнтів асиметрії настання дат стійких льодових явищ та льодоставу на річках. Зрозуміло, що сьогодні такий спосіб побудови карт є застарілим. Окрім цього, тривалість рядів спостережень за льодовим режимом річок значно збільшилася. Зазначимо, що для басейну р. Прип'ять у роботах Дюкель Н.Г. використано дані спостережень за льодовим режимом річок тільки для декількох постів і, відповідно, такі карти є занадто загальними.

**Метою даного дослідження** є просторове представлення розрахункових характеристик настання основних фаз льодового режиму річок басейну Прип'яті в межах України із застосуванням ГІС ArcGIS.

**Матеріали та методи дослідження.** Басейн річки Прип'ять є транскордонним, оскільки розташований на території України та Республіки Білорусь. У межах України його площа складає 68 370 км<sup>2</sup> і розміщується у 7 областях: Волинській, Рівненській, Львівській, Тернопільській, Хмельницькій, Житомирській та Київській. Річка Прип'ять починає свою течію на заході Українського Полісся, а впадає у Київське водосховище (рис. 1).

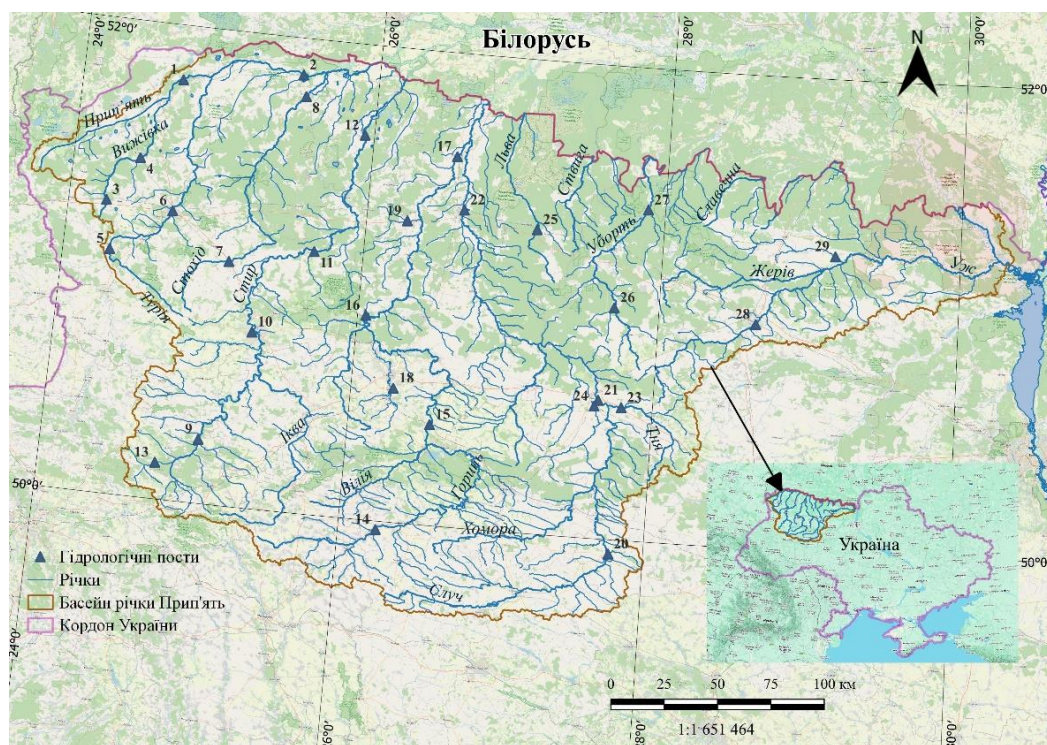


Рис. 1 Схема розташування басейну р. Прип'ять в межах України та 29 гідрологічних постів (нумерація відповідає табл. 1)

У межах України довжина річки Прип'ять складає 254 км. На правобережну частину басейну р. Прип'ять, більша частина якого розташовано в Україні припадає майже 2/3 всієї його площі [26].

Льодові явища і льодостав 14 правобережних приток р. Прип'ять характеризуються складним режимом, що обумовлюється нестійкістю температури повітря в осінньо-зимовий період. Як показано у роботі Щербак та ін. [27] затоки тепла, які відбуваються у зимовий період на територію України і, які, у тому числі, охоплюють і басейн р. Прип'ять, призводять до неодноразово переривання льодоставу на річках. У роботі Горбачової Л.О. та ін. [28] показано, що у басейні р. Прип'ять тенденції температури повітря обумовлюють тенденції льодового режиму річок, а саме з кінця 90-х років ХХ століття фаза потепління температури повітря в осінньо-зимовий період зумовлює появу льодових явищ і льодоставу в більш пізні строки, а навесні, фаза потепління температури повітря, яка розпочалася після 1988 р., визначає руйнування льодоставу і очищення від льоду на річках у більш ранні строки. Це обумовлює зменшення тривалості льодових явищ і льодоставу на річках. Загалом, на річках басейну Прип'яті у межах України поява льодових явищ відбувається у першій половині листопада, встановлення льодоставу – з грудня до початку січня, руйнування льодоставу – з лютого до середини березня, очищення від льоду – переважно у другій декаді березня [29].

Дослідження виконано за даними спостережень 29 гідрологічних постів, які розташовано на річках правобережної частини басейну Прип'яті (рис. 1, табл. 1). Для дослідження використано сучасні статистичні параметри ймовірнісних характеристик строків настання основних фаз льодового режиму річок басейну Прип'яті, які було визначено у роботі [30].

**Таблиця 1. Перелік гідрологічних постів у басейні р. Прип'ять в межах України**

№	Річка	Пост	Площа водозбору, км <sup>2</sup>	Період спостережень / його тривалість, роки
1	Прип'ять	с. Річиця	2210	1940-1941, 1946-2020 / 75
2	Прип'ять	с. Любязь	6100	1946-2020 / 74
3	Вижівка	с. Руда	141	1929-1933, 1945-2020 / 79
4	Вижівка	сміт Стара Виживка	722	1944-2020 / 77
5	Турія	с. Ягідне	502	1939-1941, 1945-2020 / 77
6	Турія	м. Ковель	1480	1923-1934, 1939-1941, 1945-2020/87
7	Стохід	с. Малинівка	692	1940-1941, 1945-2020 / 76
8	Стохід	сміт Любешів	2970	1923-1933, 1940-1941, 1945-2020 / 85
9	Стир	с. Щуровичі	2020	1939-1941, 1946-2020 / 76
10	Стир	м. Луцьк	7200	1923-1933, 1935-1941, 1944-2020 / 92
11	Стир	м. Колки	9050	1946-2020 / 74
12	Стир	с. Млинок	10900	1929-1941, 1946-1956, 1959-2020 / 83
13	Радоставка	с. Трійця	316	1945-2020 / 75
14	Горинь	сміт Ямпіль	1400	1936-1941, 1943-2020 / 82
15	Горинь	с. Оженін	5860	1939-1941, 1945-2020 / 77
16	Горинь	с. Деражне	9160	1939-1942, 1946-2020 / 77
17	Горинь	м. Дубровиця	12000	1935-2020 / 85
18	Устя	с. Корнін	485	1985-2020 / 35
19	Вирка	с. Сварині	231	1946-2020 / 74
20	Случ	с. Громада	2480	1926-1927, 1930-1941, 1945-2020 / 86
21	Случ	м. Новоград-Волинський	7460	1924-2020 / 96
22	Случ	м. Сарни	13300	1945-2020 / 75
23	Тня	с. Бронники	982	1936-1941, 1943, 1945-2020 / 81
24	Смілка	с. Сусли	632	1939-1941, 1944-2020 / 78
25	Льва	с. Осницьк	276	1946-2020 / 74
26	Уборть	с. Рудня-Іванівська	776	1927-1941, 1945-2020 / 89
27	Уборть	с. Перга	2880	1924-1941, 1946-2020 / 91
28	Уж	м. Коростень	1450	1930-1941, 1944-2020 / 87
29	Норин	с. Словенщина	804	1963-2020 / 57

Для побудови цифрових карт використано такі статистичні параметри як середнє багаторічне значення, середнє квадратичне відхилення і коефіцієнт асиметрії для наступних характеристик льодового режиму:

- дата появи льодових явищ;
- дата встановлення льодоставу;
- дата руйнування льодоставу;
- дата очищення від льоду.

В ArcGIS для побудови карт просторового розподілу розрахункових характеристик льодового режиму річок басейну Прип'яті у межах України використано цифрові шари бази даних розрахункової гідрологічної інформації (БД РГІ) відділу гідрологічних досліджень УкрГМІ, а саме гідрологічних постів (*Hydropost*), водозборів гідрологічних постів (*Divide*) [31]. Для ідентифікації річкової мережі басейну Прип'яті у межах України використовувався стандартний алгоритм у модулі *Arc Hydro Tools* та гідрологічно-скорегована для річкової мережі ЦМБ SRTM *HydroSheds* [32].

Важливим методичним аспектом при побудові цифрових карт просторового розподілу гідрологічних показників із застосуванням ГІС є вибір способу і методу інтерполяції. Сучасні ГІС надають користувачу широкий вибір методів інтерполяції, але найбільше застосування у гідрологічних дослідженнях все ж таки отримали наступні: триангуляція (TIN), метод зворотного зважування відстаней (IDW), Kriging та сплайн (Spline) [2, 5, 15, 19]. Отже, у роботі для побудови карт просторового розподілу розрахункових характеристик льодового режиму річок правобережної частини Прип'яті використано сплайн-інтерполяцію. Сплайн-інтерполяція дозволяє оцінювати значення за допомогою математичної функції, яка мінімізує загальну кривизну поверхні [33]. Цей метод дозволяє будувати ізолінії величин, які плавно змінюються.

Точність побудови цифрових карт льодового режиму річок басейну Прип'яті у межах України визначалася за розрахованими значеннями середньої квадратичної похибки (RMSE) згідно формули:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_p)^2}{n}}, \quad (1)$$

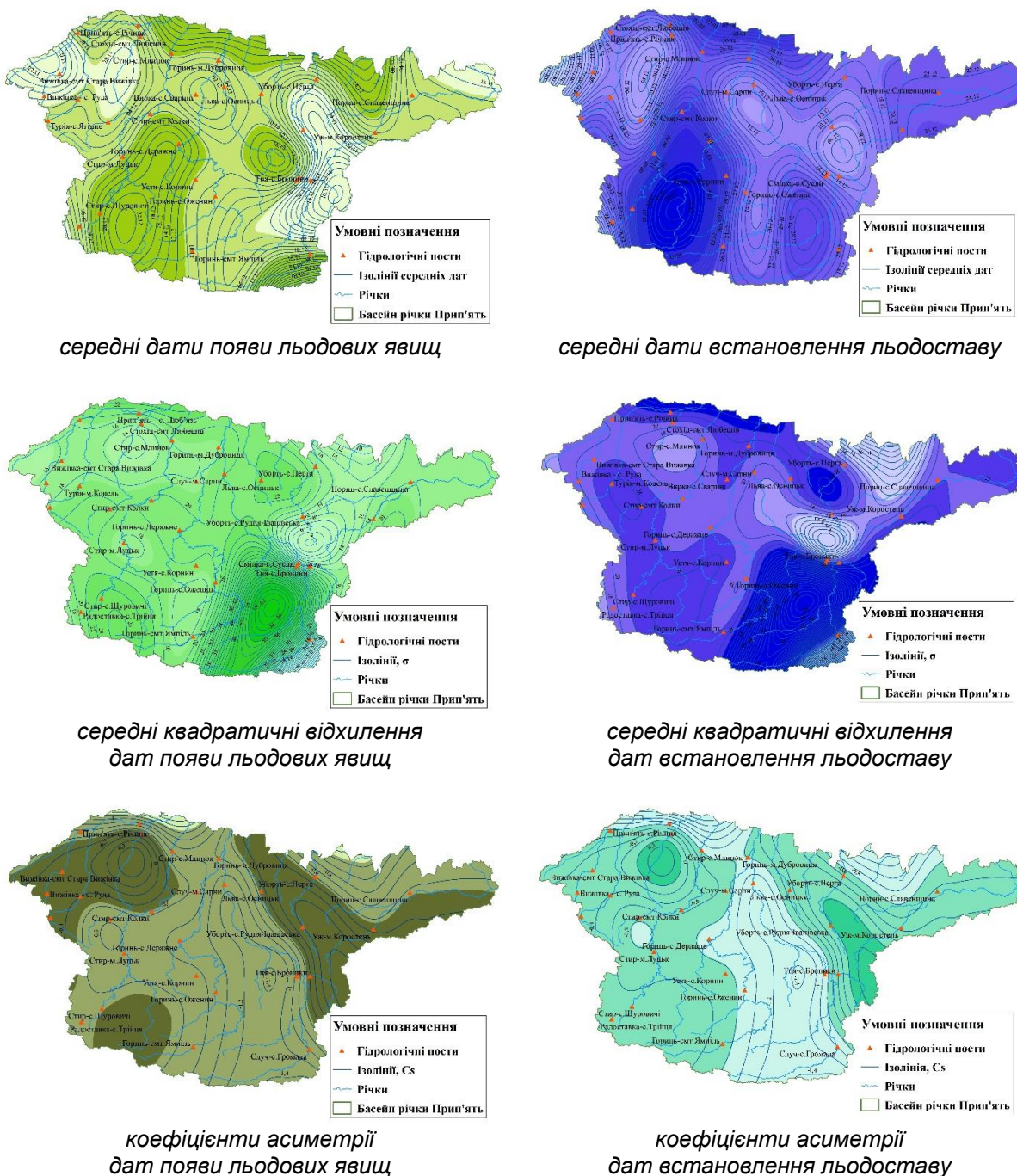
де  $y_i$  – фактичне значення (спостереження),  $y_p$  – значення, отримане шляхом інтерполяції,  $n$  – кількість точок (постів).

Для оцінювання точності побудованих цифрових карт також розраховано середні відносні похибки за формулою:

$$|\Delta| = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - y_p|}{n} 100\%. \quad (2)$$

**Виклад основного матеріалу.** У роботі із застосуванням ArcGIS побудовано 12 карт просторового розподілу основних фаз настання льодового режиму річок басейну Прип'яті у вигляді цифрових шарів (рис. 2, 3). Цифрові шари побудовано шляхом сплайн-інтерполяції у вигляді ізоліній. Такий спосіб побудови карт є максимально наближеним до традиційного ручного способу інтерполяції, який довгий час використовувався у гідрології. Разом з цим, використання автоматичної сплайн-інтерполяції у ArcGIS для побудови цифрових карт дозволяє позбутися суб'єктивних чинників, що значно покращує точність таких карт. Сучасні ГІС і методи їх інтерполяції зазвичай дозволяють створювати цифрові карти з точністю близькою до вихідних даних [2, 3, 19]. Аналіз точності побудови цифрових шарів основних фаз настання льодового режиму річок басейну Прип'яті показує, що їхні середні відносні похибки перебувають у діапазоні 0,04-4,99 %, а середні квадратичні похибки змінюються від 0,03 до 1,82 (табл. 2), тобто у межах точності визначення вихідних даних. Найкращі показники точності отримано для коефіцієнтів асиметрії, а найгірші – для коефіцієнтів варіації середніх дат появи льодових явищ. Отримані результати показують цілком адекватне просторове відображення розрахункових характеристик основних фаз настання льодового режиму річок басейну Прип'яті у межах України. Загалом, слід зазначити, що похибки сплайн-інтерполяції

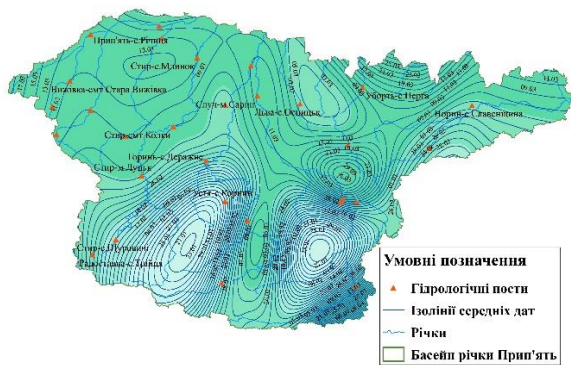
зростають з віддаленням від точок (гідрологічних постів) з вихідними значеннями розрахункових характеристик льодового режиму річок. Зрозуміло, що найбільші похибки сплайн-інтерполяції спостерігається поблизу вододілу басейну Прип'яті у межах України. Разом з цим, така ситуація буде характерною для усіх методів інтерполяції [14].



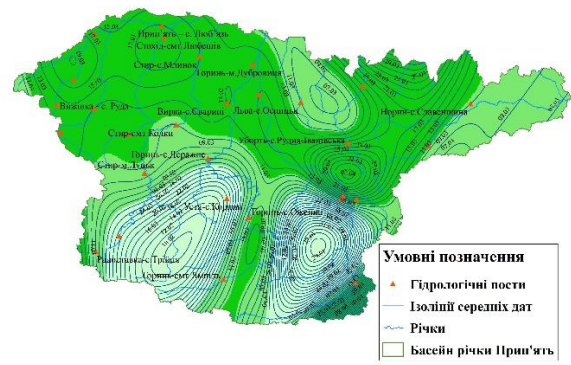
**Рис. 2** Цифрові карти просторового розподілу розрахункових характеристик поява льодових явищ (ліворуч) і встановлення льодоставу (праворуч) на річках басейну р. Прип'ять у межах України

На всіх побудованих цифрових картах ізолінії характеризуються достатньо плавними формами, які, у цілому, відображають зональний розподіл характеристик льодового режиму річок. Необхідно зазначити, що у роботі [28] показано, що ряди спостережень основних фаз льодового режиму річок басейну Прип'яті у межах України у переважній

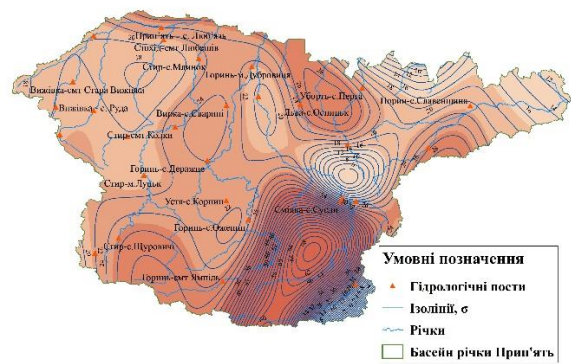
більшості є репрезентативними (мають фази підвищення і фази зниження довготривалих циклічних коливань) для визначення сталих з часом їхніх середніх значень (дат). Виключенням є тільки 2 ряди спостережень, які мають відносно малу тривалість. Це ряди спостережень на гідрологічних постах р. Устя - с. Корнін (35 років) та р. Норин - с. Словенщина (57 років) (табл. 1). Отже, можна очікувати, що побудовані цифрові карти статистичних характеристик льодового режиму річок басейну Прип'яті з часом суттєво не зміняться.



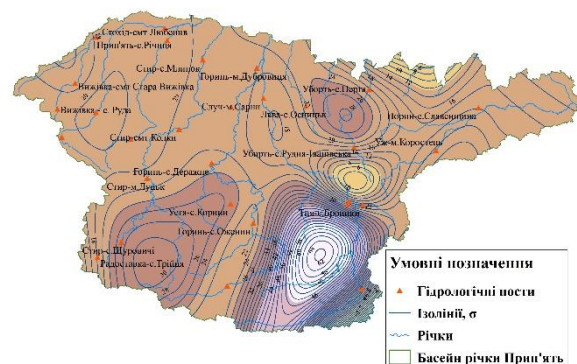
*середні дати руйнування льодоставу*



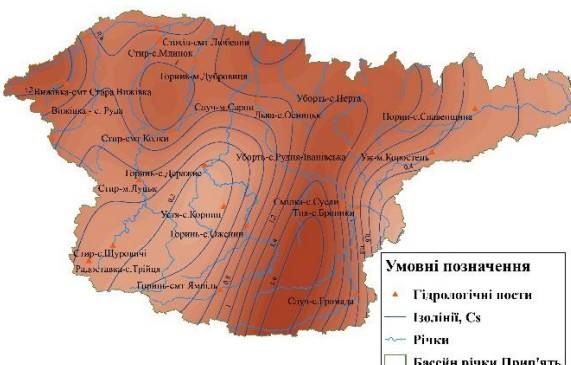
*середні дати очищення від льоду*



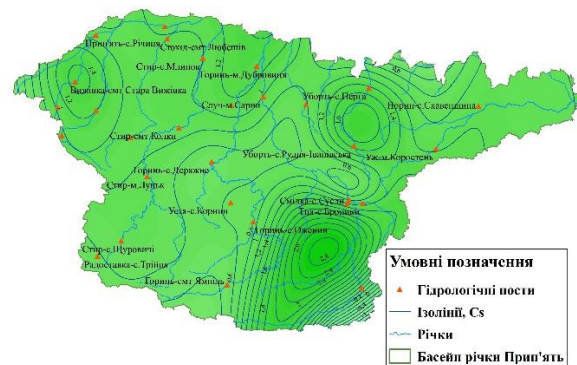
*середні квадратичні відхилення дат руйнування льодоставу*



*середні квадратичні відхилення дат очищення від льоду*



*коефіцієнти асиметрії дат руйнування льодоставу*



*коефіцієнти асиметрії дат очищення від льоду*

**Рис. 3** Цифрові карти просторового розподілу розрахункових характеристик руйнування льодоставу (ліворуч) і очищення від льоду (праворуч) на річках басейну р. Прип'ять у межах України

**Таблиця 2. Оцінювання точності побудови цифрових карт просторового розподілу основних фаз настання льодового режиму річок басейну Прип'яті**

№	Розрахункова характеристика	RMSE	$ \Delta $ , %
<i>Дати появи льодових явищ</i>			
1	середні дати	1,82	4,99
2	середні квадратичні відхилення	0,12	0,25
3	коефіцієнти асиметрії	0,03	0,04
<i>Дати встановлення льодоставу</i>			
1	середні дати	1,07	2,26
2	середні квадратичні відхилення	0,73	1,08
3	коефіцієнти асиметрії	0,46	1,14
<i>Дати руйнування льодоставу</i>			
1	середні дати	1,43	3,45
2	середні квадратичні відхилення	1,58	2,70
3	коефіцієнти асиметрії	0,07	0,14
<i>Дати очищення від льоду</i>			
1	середні дати	1,49	3,80
2	середні квадратичні відхилення	0,54	1,49
3	коефіцієнти асиметрії	0,06	0,13

Отже, у майбутньому зі збільшенням тривалості рядів спостережень необхідно все ж таки виконати оновлення розрахункових характеристик льодових явищ річок і здійснити порівняльний аналіз як їхніх значень, так і карт просторового розподілу. Сьогодні виконати такий аналіз за раніше опублікованими результатами досліджень немає можливості, оскільки у роботах Дюкель Н.Г. [24, 25] карти просторового розподілу побудовано для всієї території України, а для басейну р. Прип'ять використано тільки відомості по 7 гідрологічним постам, і тільки для дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу. Ці паперові карти мають завелику генералізацію і не є придатними для порівняння з отриманими у цій роботі цифровими шарами відповідних характеристик льодового режиму річок басейну Прип'яті.

Побудовані цифрові карти розрахункових характеристик льодового режиму річок басейну Прип'яті у межах України звісно не можна вважати «ідеальними», оскільки формування льодового режиму річок залежить не тільки від температурного режиму повітря, але також і від індивідуальних особливостей річок у пунктах спостережень, тобто від водності річок, швидкостей їхньої течії тощо [25]. Зрозуміло, що якщо навіть і виконати трудомісткий аналіз таких індивідуальних характеристик по кожному посту спостережень, то знайти достатню кількість гідрологічних постів зі всіма схожими умовами буде майже не можливо. Отже, при користуванні побудованими у цій роботі цифровими картами для отримання характеристик льодового режиму річок на яких відсутні спостереження треба розуміти, що отримані значення є досить приблизними характеристиками. Разом з цим, аналіз цифрових шарів просторового розподілу розрахункових характеристик льодового режиму річок басейну Прип'ять, а також точність їхньої побудови дозволяють рекомендувати такі карти для практичного застосування. Зазначимо також, що такі деталізовані цифрові карти льодового режиму річок створені вперше в Україні і тільки для правобережної частини басейну р. Прип'ять.

**Висновки.** У роботі за допомогою ArcGIS побудовано 12 цифрових карт просторового розподілу статистичних показників основних фаз льодового режиму, а саме середніх дат появи льодових явищ, встановлення і руйнування льодоставу, очищення від льоду річок басейну Прип'яті у межах України. В якості статистичних показників використано середні дати, середнє квадратичне відхилення та коефіцієнти асиметрії. Цифрові карти побудовано у вигляді ізоліній за допомогою автоматичної сплайн-інтерполяції, що дозволяє позбутися суб'єктивних чинників та покращити точність таких карт. Аналіз точності побудови цифрових шарів показує, що вони створені з точністю близькою до вихідних даних. На всіх побудованих цифрових картах ізолінії характеризуються достатньо плавними формами, які, у цілому, відображають зональний розподіл характеристик льодового режиму річок.

Використаний у роботі підхід може бути застосовано для побудови просторового розподілу цифрових карт розрахункових характеристик льодового режиму річок для інших басейнів, а також і інших характеристик, наприклад, тривалості льодових явищ і льодоставу.

#### Список літератури

1. *Hammouri N., El-Naqa A.* Hydrological modeling of ungauged wadis in arid environments using GIS: a case study of Wadi Madoneh in Jordan. *Revista mexicana de ciencias geológicas*. 2007. Vol. 24. P. 185-196.
2. *Горбачова Л.О.* Методи інтерполяції норм річного стоку та їх просторове представлення у ГІС. *Метеорологія, кліматологія та гідрологія*. Одеса. 2008. Вип. 50. Ч. 2. С. 72-77.
3. *Кошкіна О.В., Глотка Д.В.* Просторовий розподіл гідрометеорологічних характеристик весняного водопілля в басейні р. Десна з використанням ГІС. *Наукові праці УкрНДГМІ*. 2013. № 264. С. 64-71.
4. *Wendland W.M., Scheidegger A.E., Herschy R.W. et al.* Hydrological mapping. In: *Herschy, R.W., Fairbridge, R.W. (eds). Encyclopedia of Hydrology and Water Resources*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers 1998. 832 p.
5. *Лук'янець О.І., Ободовський О.Г., Гребінь В.В., Почаєвець О.О., Корнієнко В.О.* Просторові закономірності зміни середнього річного стоку води річок України. *Український географічний журнал*. 2021. № 1. С. 6-14. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2021.01.006>
6. *Овчарук В.А.* Максимальний стік весняного водопілля річок України: розрахункові моделі та їх реалізація: дисертація д-р геогр. наук. Одеса, 2020. 568 с.
7. *Горбачова Л.О.* Просторове узагальнення норм річного стоку. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2010. № 18. С. 107-112.
8. *Langbein W.B.* Annual Runoff in the United States. US Geological Survey Circular 52. United States department of the interior. Washington, DC, 1949. 14 p.
9. *Solomon, S.I., Denouvillez, J.P., Chant, E.J. et al.* The use of a square grid system for computer estimation of precipitation, temperature, and runoff. *Water Resour. Res.* 1968. Vol. 4. P. 919-929. DOI: <https://doi.org/10.1029/WR004i005p00919>
10. *Foyster A.M.* Mapping runoff by the grid square technique. *Nord. Hydrol.* 1975. Vol. 6. P. 207–221.
11. *Bishop G.D., Church M.R.* Automated approaches for regional runoff mapping in the northeastern United States. *J. Hydrol.* 1992. Vol. 138. P. 361-383. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(92\)90126-G](https://doi.org/10.1016/0022-1694(92)90126-G)
12. *Maidment D.R.* ArcHydro GIS for water resources. California: ESRI Press, 2002. 203 p.
13. *Chowdhury Md. Sh.* Flash flood susceptibility mapping of north-east depression of Bangladesh using different GIS based bivariate statistical models. *Watershed Ecology and the Environment*. 2024. Vol. 6. P. 26-40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2023.12.002>
14. *Самойленко В.М.* Основи геоінформаційних систем. *Методологія*. К.: Ніка-Центр, 2003. 276 с.
15. *Онищенко С.М.* Геоінформатика і ГІС: конспект лекцій. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2016. 104 с.
16. *Часковський О., Андрейчук Ю., Ямелинець Т.* Застосування ГІС у природоохоронній справі на прикладі відкритої програми QGIS: навчальний посібник. Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, Вид-во Простір-М, 2021. 228 с.
17. *Войцехович В.О., Лузан Л.І.* Сучасні зміни максимального стоку річок українського Полісся. *Наук. пр. УкрНДГМІ*. 1999. Вип. 247. С. 175-185.
18. *Коноваленко О.С., Дутко В.О., Василенко Є.В.* Просторовий розподіл максимального стоку води весняного водопілля річок басейну Стир. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2012. Т. 1 (26). С. 69-75.
19. *Сокольчук К.І.* Застосування методів просторової інтерполяції до гідрологічних даних на прикладі правобережної частини басейну річки Прип'ять (Україна). *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2022. № 4(66). С. 59-67. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2022.4.7>
20. *Pochaievets O., Obodovskyi O., Lukianets O., Grebin V.* Algorithm research and evaluation of minimum water flow of mountain rivers using GIS. 20th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521123>
21. *Korniienko V., Obodovskyi O., Snizhko S.* The spatial analysis of the hydropower modules distribution for the Prip'yat basin within Ukraine using open GIS technologies. 20th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2021552114>
22. *Ромась І.М., Хільчевський В.К.* Особливості картографування гідролого-гідрохімічних характеристик водного стоку із застосуванням геоінформаційних систем. Україна: географічні

проблеми сталого розвитку. Зб. наук. пр. Київ: ВГЛ Обрії. 2004. С. 156-157.

23. *Шакірзанова Ж.Р.* Довгострокове прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок і естуаріїв території України. Одеса: ФОП Бондаренко М.О., 2015. 252 с.

24. *Дюкель Н.Г.* Вероятностное распределение дат начала устойчивых ледовых явлений на средних и малых реках Украины. Труды УкрНИГМИ. 1974. Вып. 129. С. 132-144.

25. *Дюкель Н.Г.* Вероятностное распределение дат начала устойчивого ледостава на средних и малых реках Украины. Труды УкрНИГМИ. 1975. Вып. 145. С. 74-90.

26. Мониторинг, использование и управление водными ресурсами бассейна р. Припять. Под общей ред. М.Ю. Калинина и А.Г. Ободовского. Мн.: Белсэкс, 2003. 269 с.

27. *Щербак А.В., Зеленська М.В., Гайдай Ю.М.* Льодовий режим річок України (льодоутворення та його характеристики). Наук. праці УкрНДГМІ. 2007. Вип. 256. С. 214-222.

28. *Gorbachova L., Afteniuk O., Khrystiuk B., Lobodzinskyi O.* Trends and fluctuations of river ice regimes in the Prypiat Basin, within Ukraine. *Meteorology Hydrology and Water Management. Research and Operational Applications.* 2023. Vol. 11(1). P. 62-75. DOI: <https://doi.org/10.26491/mhwm/166632>

29. *Афтенюк О.О.* Дати настання основних фаз льодового режиму річок в басейні Прип'яті (у межах України). Матеріали IV-го Всеукраїнського пленеру з питань природничих наук, 19 червня 2020 р. Одеса, 2020. С. 10-12.

30. *Горбачова Л.О., Афтенюк О.О.* Ймовірнісні характеристики і статистичні параметри строків настання основних фаз льодового режиму річок басейну Прип'яті у межах України. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2023. №. 3(69). С. 6-17. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.3.1>

31. *Горбачова Л.О.* Особливості створення тематичних блоків цифрових баз даних розрахункової гідрологічної інформації. Наук. праці УкрНДГМІ. 2006. Вип. 255. С. 282-289.

32. Using ArcGIS. Geostatistical Analyst. Redlands (CA): ESRI Press, 2001. 278 с. [http://downloads2.esri.com/support/documentation/ao\\_/Using\\_ArcGIS\\_Geostatistical\\_Analyst.pdf](http://downloads2.esri.com/support/documentation/ao_/Using_ArcGIS_Geostatistical_Analyst.pdf)

33. *Колганова О.О., Терещенко Л.Ю., Кравченко В.В., Корниенко С.П.* Математичний метод сплайн-обробки графічних даних. Проблеми інформатизації та управління. 2020. № 63. С. 42-48.

#### References

1. *Hammouri N., El-Naqa A.* Hydrological modeling of ungauged wadis in arid environments using GIS: a case study of Wadi Madoneh in Jordan. *Revista mexicana de ciencias geológicas.* 2007. Vol. 24. P. 185–196.

2. *Gorbachova L.O.* Metody interpolacii' norm richnogo stoku ta i'h prostorove predstavlenija u GIS [The methods of the interpolations of the normal annual runoff and their space presentation in GIS]. *Meteorologija, klimatologija ta gidrologija.* Odesa. 2008. Vyp. 50(2). S. 72-77.

3. *Koshkina O.V., Hlotka D.V.* Prostorovyj rozpodil gidrometeorologichnyh harakterystyk vesnjanogo vodopillja v basejni r. Desna z vykorystannjam GIS [Spatial distribution of the spring flood hydrometeorological characteristics in the Desna River basin using GIS]. *Nauk. praci UkrNDGMI.* 2013. № 264. S. 64-71.

4. *Wendland W.M., Scheidegger A.E., Herschy R.W. et al.* Hydrological mapping. In: Herschy, R.W., Fairbridge, R.W. (eds). *Encyclopedia of Hydrology and Water Resources.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 1998. 832 p.

5. *Lukianets O.I., Obodovskyi O.G., Grebin V.V., Pochaievets O.O., Korniienko V.O.* Prostorovi zakonomirnosti zminy seredn'ogo richnogo stoku vody richok Ukrai'ny [Spatial regularities of change in average annual water flow of rivers of Ukraine]. *Ukrai'ns'kyj geografichnyj zhurnal.* 2021. № 1. S. 6-14. <https://doi.org/10.15407/ugz2021.01.006>

6. *Ovcharuk V.A.* Maksymal'nyj stik vesnjanogo vodopillja richok Ukrai'ny: rozrahunkovi modeli ta i'h realizacija: dysertacija d-r geogr. nauk [The maximum runoff of spring irrigation of the rivers of Ukraine: calculation models and their implementation: dissertation of Dr. geogr. of science]. Odesa, 2020. 568 s.

7. *Gorbachova L.O.* Prostorove uzagal'nenija norm richnogo stoku [The space generalization of the normal annual runoff]. *Hidrologija, hidrohimiya i hidroekologija.* 2010. № 18. S. 107-112.

8. *Langbein W.B.* Annual Runoff in the United States. US Geological Survey Circular 52. United States department of the interior. Washington, DC, 1949. 14 p.

9. *Solomon S.I., Denouvilliez J.P., Chant E.J. et al.* The use of a square grid system for computer estimation of precipitation, temperature, and runoff. *Water Resour. Res.* 1968. Vol. 4. P. 919-929. <https://doi.org/10.1029/WR004i005p00919>

10. *Foyster A.M.* Mapping runoff by the grid square technique. *Nord. Hydrol.* 1975. Vol. 6. S. 207–221.

11. *Bishop G.D., Church M.R.* Automated approaches for regional runoff mapping in the northeastern United States. *J. Hydrol.* 1992. Vol. 138. P. 361-383. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(92\)90126-G](https://doi.org/10.1016/0022-1694(92)90126-G)

12. *Maidment D.R.* ArcHydro GIS for water resources. California: ESRI Press, 2002. 203 p.

ISSN:2306-5680 **Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2024. № 1 (71)**

13. *Chowdhury Md. Sh.* Flash flood susceptibility mapping of north-east depression of Bangladesh using different GIS based bivariate statistical models. *Watershed Ecology and the Environment*. 2024. Vol. 6. P. 26-40. <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2023.12.002>
14. *Samoilenko V.M.* Osnovy geoinformacijnyh system. Metodologija [Basics of geographic information systems. Methodology]. K.: Nika-Centr, 2003. 276 s.
15. *Onishchenko S.M.* Geoinformatika i GIS: konspekt lekcij [Geoinformatics and GIS: lecture notes]. Odesa: Odes'kyj derzhavnyj ekologichnyj universytet, 2016. 104 s.
16. *Chaskovskiy O., Andreychuk Yu., Yamelinets T.* Zastosuvannja GIS u pryrodohoronnij spravi na prykladi vidkrytoi' programy QGIS: navchl'nyj posibnyk [The use of GIS in environmental protection using the example of the open source program QGIS: a tutorial]. L'viv: LNU im. Ivana Franka, Vyd-vo Prostir-M, 2021. 228 s.
17. *Voytsekhovych V.O., Luzan L.I.* Suchasni zminy maksimal'nogo stoku richok ukrai'ns'kogo Polissja [Modern changes in the maximum flow of the rivers of the Ukrainian Polissia]. *Nauk. praci UkrNDGMI*. 1999. Vyp. 247. C. 175-185.
18. *Konovalenko O.S., Dutko V.O., Vasylenko E.V.* Prostorovyj rozpodil maksimal'nogo stoku vody vesnjanogo vodopillja richok basejnu Styr [Spatial distribution of the maximum flow of the spring flood of the rivers of the Styr basin]. *Hidrolohiiia, hidrokhimiiia i hidroekolohiiia*. 2012. T. 1 (26). S. 69-75.
19. *Sokolchuk K.I.* Zastosuvannja metodiv prostorovoi' interpoljacii' do gidrologichnyh danyh na prykladi pravoberezhnoi' chastyny basejnu richky Pryp'jat' (Ukrai'na) [Application of different spatial interpolation methods to hydrological data on the example of the Pripjat river basin (within Ukraine)]. *Hidrolohiiia, hidrokhimiiia i hidroekolohiiia*. 2022. № 4(66). S. 59. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2022.4.7>
20. *Pochaievets O., Obodovskiy O., Lukianets O., Grebin V.* Algorithm research and evaluation of minimum water flow of mountain rivers using GIS. 20th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521123>
21. *Korniienko V., Obodovskiy O., Snizhko S.* The spatial analysis of the hydropower modules distribution for the Pripjat basin within Ukraine using open GIS technologies. 20th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2021552114>
22. *Romas I.M., Khilchevskiy V.K.* Osoblyvosti kartografuvannja gidrologo-gidrohimiichnyh harakterystyk vodnogo stoku iz zastosuvannjam geoinformacijnyh system. Ukrai'na: geografichni problemy stalogo rozvytku [Peculiarities of mapping hydrological and hydrochemical characteristics of water flow using geoinformation systems. Ukraine: geographical problems of sustainable development]. *Zb. nauk. pr. Kyi'v: VGL Obrii'*, 2004. S. 156-157.
23. *Shakirzanova Zh.R.* Dovhostrokovoe prohnozuvannia kharakterystyk maksimal'nogo stoku vesnianoho vodopillia rivnyynykh richok ta estuariiv terytorii Ukrainy: monohrafiia [Long-term forecasting of the characteristics of the maximum flow of spring flood of lowland rivers and estuaries of the territory of Ukraine: monograph]. Odesa: FOP Bondarenko M.O., 2015. 252 s.
24. *Djukan' N.G.* Veroyatnostnoe raspredelenie dat nachala ustojchivyh ledovyh javlenij na srednih i malyh rekah Ukrainy [Probabilistic distribution of the dates of the appearance of sustainable ice on medium and small rivers of Ukraine]. *Trudy UkrNIGMI*. 1974. Vyp. 129. S. 132-144.
25. *Djukan' N.G.* Veroyatnostnoe raspredelenie dat nachala ustojchivogo ledostava na srednih i malyh rekah Ukrainy [Probabilistic distribution of the dates of the appearance of sustainable freeze-up on medium and small rivers of Ukraine]. *Trudy UkrNIGMI*. 1975. Vyp. 145. S. 74-90.
26. *Monytoryng, yspol'zovanye y upravlenye vodnymiy resursamy bassejna r. Pryp'jat'* [Monitoring, use and management of water resources of the Pripjat River Basin] / red. Kalinin M.Yu., Obodovskiy A.G. Mn.: Belsans, 2003. 269 s.
27. *Shcherbak A.V., Zelenska M.V., Gaidai Y.M.* L'odovyj rezhym richok Ukrai'ny (l'odoutvorennja ta jogo harakterystyky) [The river ice regimes of Ukraine (ice formation and its characteristics)]. *Nauk. praci UkrNDGMI*. 2007. Vyp. 256. S. 214-222.
28. *Gorbachova L., Afteniuk O., Khrystiuk B., Lobodzynskiy O.* Trends and fluctuations of river ice regimes in the Prypiat Basin, within Ukraine. *Meteorology Hydrology and Water Management. Research and Operational Applications*. 2023. Vol. 11(1). P. 62-75. DOI: <https://doi.org/10.26491/mhwm/166632>
29. *Afteniuk O.O.* Daty nastannja osnovnyh faz l'odovogo rezhymu richok v basejni Pryp'jati (u mezah Ukrai'ny) [Dates of appearance of the main phases of the ice regime of rivers in the Pripjat basin (within Ukraine)]. *Materialy IV-go Vseukrai'ns'kogo pleneru z pytan' pryrodnychyh nauk*, 19 chervnja 2020 r. Odesa, 2020. S. 10-12.
30. *Gorbachova L.O., Afteniuk O.O.* Ймовірнісні характеристики і статистичні параметри строків настання основних фаз льодового режиму річок басейну Прип'яті у межах України. *Hidrolohiiia, hidrokhimiiia i hidroekolohiiia* [Probabilistic characteristics and statistical parameters of the appearance dates of the main phases of the river ice regimes of the Prypiat basin within Ukraine]. 2023. №. 3(69). S. 6-17. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.3.1>

31. Gorbachova L.O. Osoblyvosti stvorennja tematychnyh blokiv cyfrovyh baz danyh rozrahunkovoi' gidrologichnoi' informacii' [Features of the creation of thematic blocks of digital databases of calculation hydrological information]. Trudy UkrNIGMI. 2006. Vyp. 255. S. 282-289.

32. Using ArcGIS. Geostatistical Analyst. Redlands (CA): ESRI Press, 2001. 278 c. [http://downloads2.esri.com/support/documentation/ao\\_/Using\\_ArcGIS\\_Geostatistical\\_Analyst.pdf](http://downloads2.esri.com/support/documentation/ao_/Using_ArcGIS_Geostatistical_Analyst.pdf)

33. Kolganova O.O., Tereshchenko L.Yu., Kravchenko V.V., Kornienko S.P. Matematychnyj metod splajn-obrobky grafichnyh danyh [Mathematical method of spline processing of graphical data]. Problemy informatyzacii' ta upravlinnja. 2020. №63. S. 42-48.

### **Spatial distribution of the calculation characteristics of the main phases of the ice regime in the Prypiat river basin within Ukraine with the using GIS**

**Afteniuk O.O., Gorbachova L.O.**

*Maps of the spatial distribution of hydrological indicators are of great importance in the educational, scientific and practical spheres. There are very few maps dedicated to the spatial distribution of the characteristics of the ice regime of the rivers. The last thorough research on the creation of maps of the calculation characteristics of the appearance dates of ice phenomena and the freeze-up on the rivers of Ukraine was carried out in the 70s of the 20th century. In these maps, the Prypiat river basin is represented by observation data on the ice regime of rivers for only a few water gauges and, accordingly, such maps are the very general. In addition, such maps were created in the form of isolines on paper media by the manual interpolation. Along with this, the development of computer technology and geographic information systems (GIS) have changed the approaches to mapping hydrological characteristics. In modern research the hydrological maps are creating in the GIS in the form of digital layers using various methods of spatial interpolation. Therefore, the main objective of this research is the present the spatial distribution of the calculation characteristics of the main phases of the ice regime of the rivers of the Prypiat basin within Ukraine using the ArcGIS program. The research used information from 29 water gauges, based on the data of which the statistical indicators of the ice regime of the rivers of the Prypiat basin within Ukraine were calculated. For the creating of digital maps, such statistical parameters as the multi-year average value, the mean square deviation and the asymmetry coefficient were used, which were calculated for the main phases of the ice regime of the rivers, namely the appearance date of ice, date of freeze-up, break-up date (i.e., melt onset), date of ice disappearance in the Prypiat River basin within Ukraine. Maps were created in the form of digital layers by spline interpolation in the form of isolines, which allows you to get rid of subjective factors and improve the accuracy of such maps. On all created digital maps, the isolines are characterized by fairly smooth shapes, which, in general, reflect the zonal distribution of the characteristics of the ice regime of rivers. The analysis of the created of digital layers of the spatial distribution of the calculated characteristics of the ice regime of the rivers of the Prypiat basin, as well as the accuracy of their created, allow us to recommend such maps for practical use. The approach used in the research can be applied to create the spatial distribution of digital maps of the calculated characteristics of the ice regime of rivers for other basins, as well as other characteristics, for example, the duration of ice phenomena and freeze-up.*

**Keywords:** ice regime, mean square deviation, spatial interpolation, Spline, geographic information systems, digital maps, Prypiat.

**Надійшла до редколегії 04.03.2024**

**DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2024.1.4>**

УДК 556.162

**Большот Г.В.<sup>1</sup>, Капуста Т.Я.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України

<sup>2</sup> Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

### **АНАЛІЗ ВНУТРІШНЬОРІЧНОГО РОЗПОДІЛУ СТОКУ ВОДИ ЛІВОБЕРЕЖНИХ ПРИТОК ДНІСТРА В МЕЖАХ ТЕРНОПІЛЬСЬКОЇ ОБЛАСТІ**

*Встановлено тенденції багаторічних коливань середнього річного стоку води річок лівобережжя Дністра. Проаналізовано внутрішньорічний розподіл стоку лівобережних приток Дністра у різні фази водності. Виявлено відмінності у внутрішньорічному розподілі стоку маловодних та багатоводних фаз. Встановлено, що сучасний внутрішньорічний розподіл стоку приток Дністра в межах Тернопільської області зазнає суттєвих змін.*

**Ключові слова:** стік води, фази водності, середній річний стік, внутрішньорічний розподіл стоку, Дністер.

**Вступ.** Басейн Дністра характеризується неоднорідністю та різноманіттям умов формування стоку води. Тому питанню вивченості басейну цієї річки та басейнам її приток завжди приділялась увага науковців [3; 12; 14]. Незважаючи на досить велику кількість публікацій, особливо з аналізом даних гідрологічного режиму річок Тернопілля, до цього

ISSN:2306-5680 **Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2024. № 1 (71)**