

Людмила Олександрівна Горбачова,

д. геогр. н., ст. наук. співроб., завідувачка відділу гідрологічних досліджень,
Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України,
просп. Науки, 37, м. Київ, 03028, Україна,
e-mail: gorbachova@uhmi.org.ua, <https://orcid.org/0000-0003-1033-9385>;

Борис Федорович Христюк,

к. геогр. н., завідувач лабораторії гідрологічних розрахунків,
Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України і НАН України,
e-mail: khryst@uhmi.org.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4290-3745>

ПРОГНОЗУВАННЯ ВОДНОСТІ РІЧКИ СТИР НА НАЙБЛИЖЧІ РОКИ

Водний стік річки Стир використовується для потреб промисловості, сільського господарства та населення. В басейні р. Стир створено Хрінницьке та Млинівське водосховища, Хрінницька ГЕС, а також водою річки обслуговується Рівненська АЕС. Отже, довгострокове прогнозування водності р. Стир має важливе значення.

Найчастіше для довгострокового гідрологічного прогнозування використовують кількісні методи. Однак, гідрологічні прогнози, які мають завчасність рік, два або десятиліття мають низьку справджуваність. Сьогодні у світі ця проблема не вирішено. Разом з цим, для покращення довгострокового гідрологічного прогнозування отримують розвиток підходи, які використовують якісні методи. Отже, у роботі для довгострокового прогнозування водності р. Стир використано метод співмірності, який за своєю сутністю є якісним методом. Метод співмірності дозволяє прогнозувати різні природні явища, зокрема землетруси, повені, посухи тощо. Він характеризується простотою обчислень та мінімальними потребами у вхідній інформації. Існує декілька способів прогнозування за методом співмірності. У роботі використано спосіб прогнозування за двовимірними графіками співмірності. Цей метод полягає у визначенні значень співмірності в масиві даних настання тих чи інших явищ та побудові двовимірного графіку співмірності, за яким і відбувається прогнозування.

Для прогнозування водності р. Стир на найближчі роки опрацьовано найтриваліший ряд спостережень на річці, а саме на гідрологічному посту р. Стир – м. Луцьк за період 1923-2017 рр. Результати дослідження за методикою співмірності показують, що водність річки Стир у 2020-2021 рр. має бути більшою за норму, у 2023-2024 рр. – меншою за норму.

Ключові слова: водність річки, метод співмірності, довгострокове прогнозування, багатоводний рік, маловодний рік.

Л. А. Горбачёва, Б. Ф. Христюк. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОДНОСТИ РЕКИ СТЫРЬ НА БЛИЖАЙШИЕ ГОДЫ.

Водный сток реки Стырь используется для нужд промышленности, сельского хозяйства и населения. В бассейне р. Стырь построены Хренницкое и Млыновское водохранилища, Хренницкая ГЭС, а также водой реки обслуживается Ровенская АЭС. Поэтому, долгосрочное прогнозирование водности р. Стырь имеет важное значение.

Чаще всего для долгосрочного гидрологического прогнозирования используют количественные методы. Однако, гидрологические прогнозы, которые имеют заблаговременность год, два или десятилетие имеют низкую оправдываемость. Сегодня в мире эта проблема все ещё не решена. Однако, для улучшения долгосрочного гидрологического прогнозирования получают развитие подходы, которые используют качественные методы. В работе для долгосрочного прогнозирования водности р. Стырь использован метод соизмеримости, который по своей сути является качественным методом. Метод соизмеримости позволяет прогнозировать различные природные явления, в частности землетрясения, наводнения, засухи и т.д. Он характеризуется простотой вычислений и минимальными потребностями в входной информации. Существует несколько способов прогнозирования по методу соизмеримости. В работе использован способ прогнозирования по двумерным графикам соизмеримости. Этот метод заключается в определении значений соизмеримости в массиве данных наступления тех или иных явлений и построении двумерного графика соизмеримости, по которому и происходит прогнозирования.

Для прогнозирования водности р. Стырь на ближайшие годы использован самый продолжительный ряд наблюдений на реке, а именно на гидрологическом посту р. Стырь - м. Луцьк за период 1923-2017 гг. Результаты исследования по методике соизмеримости показывают, что водность реки Стырь в 2020-2021 гг. должна быть больше нормы, в 2023-2024 гг. - меньше нормы.

Ключевые слова: водность реки, метод соизмеримости, долгосрочное прогнозирование, многоводный год, маловодный год.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій. Забезпечення населення і господарської сфери водою завжди являло собою важливу проблему. Однією з її складових є оцінювання можливих змін водних ресурсів з часом. Відповідні дослідження дуже поширені у світі [1-3]. Основою таких досліджень є довгострокове гідрологічне прогнозування.

Гідрологічне прогнозування використовує два основних підходи: статистичний та детерміністичний. Статистичний підхід розглядає процес формування водного стоку річки як випадковий. Детерміністичний - базується на аналізі чинників та умов формування водного стоку [1,

4]. Методи довгострокового прогнозування поділяють на кількісні та якісні [5]. Кількісні методи можна назвати традиційними методами, які зазвичай і застосовуються для прогнозування. Вони використовують статистичні методи, кореляційний і регресійний аналіз тощо [4, 6-8]. Гідрологічні прогнози, які мають завчасність рік, два або десятиліття мають низьку справджуваність. Саме для зменшення такого недоліку для довгострокового прогнозування почали використовувати якісні підходи [5, 9-11].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Загалом, довгострокове прогнозування екстремальних природних явищ

(катастрофічних паводків, посух, землетрусів та ін.) донині залишається невирішеною проблемою у світі. Разом з цим, у 1984 році китайський вчений Weng Wen-Bo запропонував методіку довгострокового прогнозування, яку називають інформаційною методікою. Обробці підлягають не масиви значень тієї, чи іншої величини, за якою ведуться спостереження, а масиви дат, у які ці значення спостерігалися [5]. Ця методіка відзначається простотою обчислень, графічною візуалізацією та застосуванням інтуїції дослідника. До недоліків цієї методіки можна віднести те, що за цією методікою не можна спрогнозувати кількісні показники, але її використання все ж таки надає інформацію про те, коли екстремальне природне явище може відбутися. Така інформація надасть змогу відповідним службам вчасно підготуватися та попередити негативні наслідки природного явища, наприклад, маловоддя на річках. Особливо це важливо при розумінні, що на сьогодні людство не має більш ефективних підходів у довгостроковому прогнозуванні. Зазначимо, що на основі методіки Weng Wen-Bo було успішно передбачено дати кількох великих землетрусів на території Китаю, Японії та США [10]. Методіка Weng Wen-Bo також була застосована для прогнозування багатоводних та посушливих років в басейні річки Songhua та паводків на північному сході Китаю, а також прогнозування літніх паводків на р. Дунай біля м. Братислави [5, 9, 11]. В Україні довгострокове гідрологічне прогнозування з завчасністю рік та більше залишається поза увагою вчених, окрім нашої роботи [12], яка присвячена довгостроковому прогнозуванню весняних паводків на р. Дніпро біля м. Києва. Разом з тим, у світі в останні роки увага вчених прикута до прогнозування саме водності річок та її можливої зміни у зв'язку з підвищенням температури повітря. Актуальними такі дослідження є і для України, оскільки в останні роки спостерігається тенденція до зниження водності річок, що пов'язують з підвищенням температури та зменшенням кількості опадів [13].

Річка Стир відноситься до рівнинних річок та має звивисте русло, незначні ухили водної поверхні, малу швидкість течії, невелику дренажну здатність ґрунтів, високі відмітки рівнів ґрунто-

вих вод, наявність карстових областей і боліт на водозборі. Такі умови сприяють затопленню територій у періоди повеней і паводків [14]. Водність річки визначається об'ємом весняної повені, яка є характерною фазою її гідрологічного режиму. Саме у весняну повинь найчастіше спостерігаються найбільші витрати води. Формується вона щорічно навесні в результаті сніготанення, при цьому значний вплив можуть мати рідкі атмосферні опади, які випадають в період повені [15]. Водний стік річки Стир використовується для потреб промисловості, сільського господарства та населення. Разом з тим, в басейні р. Стир створене Хрінницьке водосховище та Хрінницька ГЕС (1958 р.), Млинівське водосховище (1953 р.), а також водою річки обслуговується Рівненська АЕС (1971 р.) [16, 17].

Мета цієї публікації – використання інформаційної методіки Weng Wen-Bo для довгострокового прогнозування водності річки Стир біля м. Луцьк.

Методи дослідження. Обсяг річкового стоку залежить від великої кількості чинників, зокрема періодичних і випадкових. Періодичність значною мірою зумовлена астрономічними чинниками, випадковість – атмосферною циркуляцією. Важливу роль відіграють також особливості самого річкового басейну, зокрема підстильна поверхня. Знання чинників, зокрема їхніх коливань у часі, дає змогу прогнозувати річковий стік на майбутнє. Запропонована в 1984 році китайським вченим-геофізиком Weng Wen-Bo методіка може бути використана для прогнозування водності річок на найближчі роки [18].

Ще в 1766 р. німецький фізик та математик І.Д. Тіціус виявив те, що відстань планет Сонячної системи від Сонця (R_n) (рис. 1) підкоряється емпіричному правилу:

$$R_n = 4 + 3 \cdot 2^n, \quad (1)$$

де $n = -\infty$ для Меркурія і $n = 0, 1, 2, \dots$ для наступних планет.

Вивчаючи це астрономічне правило, яке ще називають законом Тіціуса-Бодє, Weng Wen-Bo припустив, що подібний порядок у світі є універсальним і йому підкоряються різноманітні

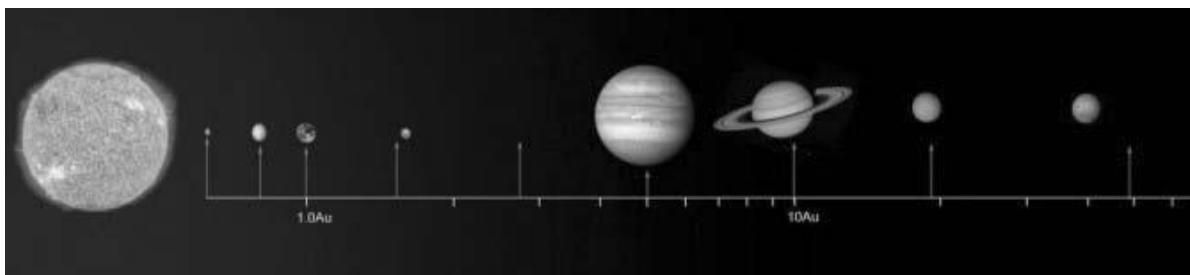


Рис. 1. Ілюстрація закону Тіціуса-Бодє

природні явища.

Рівняння (1) можна записати у вигляді:

$$\beta = \frac{\Delta R_{n+1}}{\Delta R_n} = \frac{R_{n+1}-R_n}{R_n-R_{n-1}} = \frac{3 \cdot 2^{n+1}-3 \cdot 2^n}{3 \cdot 2^n-3 \cdot 2^{n-1}} = 2, \quad (2)$$

де $n = -\infty, 0, 1, 2, \dots$;

β – значення співмірності для планет Сонячної системи.

Згідно гіпотези Weng Wen-Bo у датах настання тих чи інших природних явищ присутня періодичність, зумовлена космічними причинами. У своїх дослідженнях Weng Wen-Bo використовував термін співмірність (*commensurability*, англ.), який свого часу запропонував Тіціус. Якщо рівняння (2) описує закон розподілу матерії у просторі, то для часової осі значення співмірності (ΔX) визначається за наступним рівнянням:

$$\Delta X = \frac{X_{i+\Delta i} - X_{i-1}}{K}, \quad (3)$$

де K – ціле число (1, 2, ...);

X_i – елемент масиву дат.

Якщо $K=1$, тоді ΔX є періодом масиву дат.

Методика прогнозування Weng Wen-Bo, на

відміну від методик кількісних, основаних на статистичних методах, кореляційному та регресійному аналізі тощо, є інформаційною. Обробці підлягають не масиви значень тієї чи іншої величини, за якою ведуться спостереження, а масиви дат, в які ці значення спостерігалися. Така методика відзначається простотою обчислень, проте в ній має бути й інтуїція дослідника.

Існує декілька способів прогнозування за методом співмірності, наприклад:

- 1 – розрахунковим значенням співмірності;
- 2 – двовимірними і тривимірними графіками співмірності;
- 3 – часовими проміжками між паводками, що мали місце в минулому;
- 4 – кількістю рівнянь співмірності з трьома і більше компонентами.

У роботі нами було використано спосіб прогнозування за двовимірними графіками співмірності. Цей метод полягає у визначенні значень співмірності в масиві дат настання тих чи інших явищ та побудові двовимірного графіку співмірності, за яким і відбувається прогнозування.

Класифікація водності річки кожного року відбувається згідно градацій, які наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Класифікація водності річок [19]

Градація	Відхилення від середнього багаторічного значення, Δ (%)
Маловодні роки	$\Delta < -20$
Відносно маловодні роки	$-20 \leq \Delta < -10$
Середні за водністю роки	$-10 \leq \Delta \leq 10$
Відносно багатководні роки	$10 < \Delta \leq 20$
Багатководні роки	$\Delta > 20$

Результати дослідження. Для прогнозування водності р. Стир на найближчі роки на основі методики Weng Wen-Bo опрацьовано найтриваліший ряд спостережень на річці, а саме в м. Луцьк. Спостереження на гідрологічному посту р. Стир – м. Луцьк розпочато у 1923 році. За час, що минув після відкриття поста, відсутніми є середньорічні дані за 1934, 1938 та 1941-1943 роки. Це пов'язано з реорганізацією мережі спостережень та військовими подіями під час Другої Світової війни.

Середній багаторічний стік р. Стир у м. Луцьк, визначений за даними спостережень по 2017 рік включно, становить $30,9 \text{ м}^3/\text{с}$. Похибка розрахунку середнього багаторічного стоку становить 2,78 %. Коефіцієнт варіації $C_v = 0,26$, що указує на доволі значну мінливість середніх річних витрат води. Коефіцієнт асиметрії $C_s = 0,46$.

Протягом 1923-2017 рр. коливання середніх річних витрат води на гідрологічному посту р. Стир – м. Луцьк перебувало в межах від $16,0$ (2016 р.) до $53,3 \text{ м}^3/\text{с}$ (1948 р.) (рис. 2).

Аналіз побудованої інтегральної кривої відхилень середніх річних витрат води для поста р. Стир – м. Луцьк свідчить про те, що водному стоку р. Стир притаманні циклічні коливання. Так, з 1965 по 1982 рік та з 1998 по 2013 р. на р. Стир – м. Луцьк спостерігалися дві багатководні фази водності, а з 1983 по 1997 рр. – маловодна фаза. З 2014 р. знову розпочалася маловодна фаза, що триває донині (рис. 3).

Наявність циклічності у водному стоці р. Стир дає змогу застосувати методику Weng Wen-Bo. З цією метою спочатку виконано класифікацію середнього багаторічного стоку води р. Стир згідно табл. 1. Роки, в які середня річна витрата

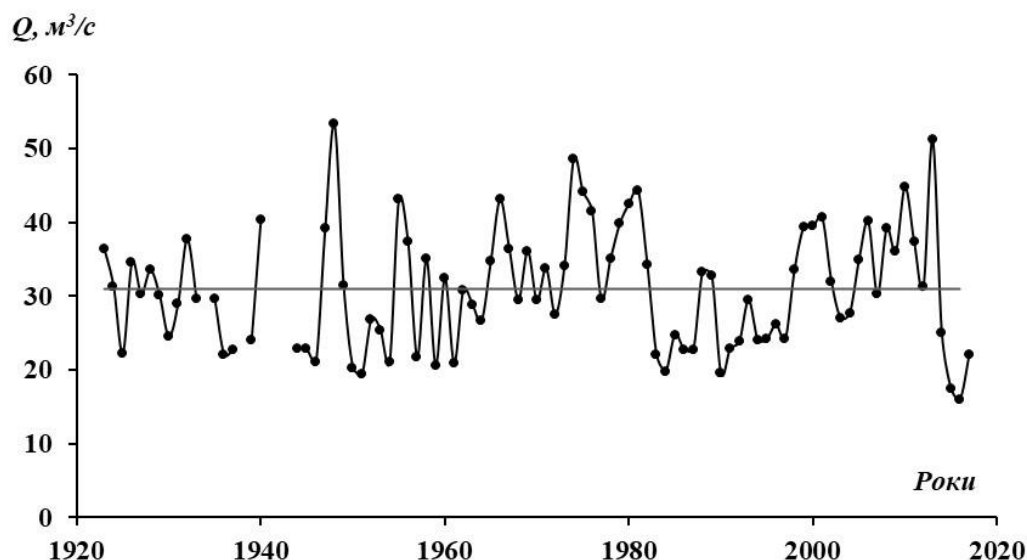


Рис. 2. Коливання середніх річних витрат води р. Стир – м. Луцьк, 1923-1933, 1935-1937, 1939-40, 1944-2017 рр.

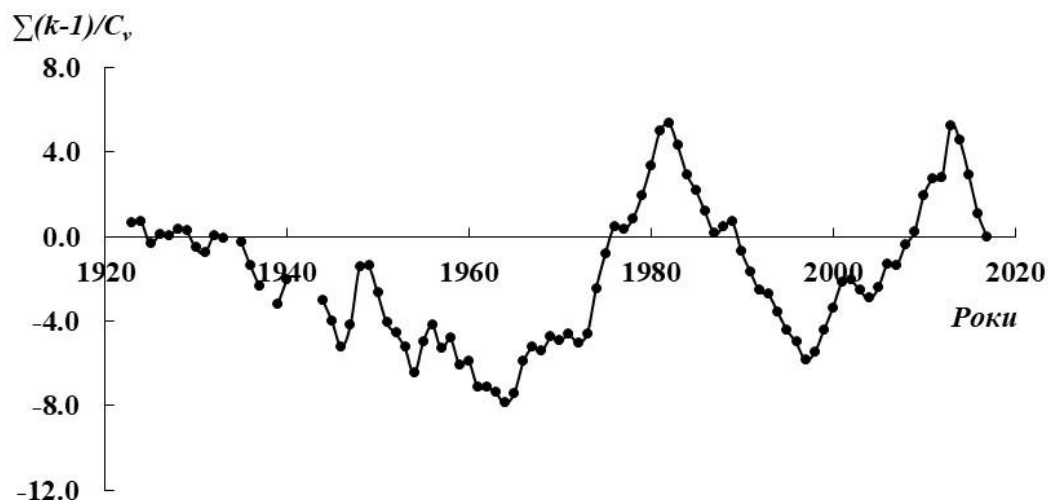


Рис. 3. Інтегральна крива відхилень середніх річних витрат води, р. Стир – м. Луцьк

води на посту р. Стир – м. Луцьк перевищувала середню багаторічну витрату води більш як на 10 %, було віднесено до відносно багатоводних. Так само, роки, водність яких була більш як на 10 % меншою за середню, вважалися відносно маловодними. Виявилося, що протягом періоду спостережень кількість відносно багатоводних років становить 33 роки, відносно маловодних – 35 років (табл. 2).

У наведеній вище таблиці зроблено один виняток. Багатоводним роком прийнято 1988-й, хоча його водність перевищувала середню лише на 7,8%. Жирним шрифтом виділено роки, які використано для побудови графіків співмірності. Послідовності багатоводних і маловодних років було проаналізовано і виявлено їхню періодичність. Двовимірний графік співмірності багатоводних років наведено на рис. 4.

Як видно, у відносно багатоводних роках

присутні 6-11 та 14-18 річні цикли. Найчастіше багатоводні роки настають з періодичністю 7-8 і 15-16-17 років. Отже, на основі даних, наведених на рис. 4, можна спрогнозувати відносно багатоводні роки, які мають бути найближчим часом. Останнім відносно багатоводним роком був 2013-й. Додаючи до цього року 7-8 років, можна вважати, що відносно багатоводними будуть 2020 і 2021 рр. Так само, додаючи до 2005 р. 15-16-17 років, можна очікувати повноводними 2020-2021-2022 рр. Найбільш вірогідно, що відносно багатоводними виявляться 2020 і 2021 рр.

Подібним чином досліджено послідовність маловодних років (рис. 5).

У відносно маловодних роках присутні цикли тривалістю 8-12 (найчастіше – 9-10) та 18-22 (найчастіше – 19-20) років. На основі даних рис. 5 можна спрогнозувати наступні маловодні роки. По горизонталі – 2003+19, 20 = 2022, 2023 роки;

Відносно багатоводні та маловодні роки на гідрологічному посту Стир – Луцьк
за період 1923-2017 рр.

Пор. №	Рік	Q, м ³ /с	Пор. №	Рік	Q, м ³ /с
відносно багатоводні роки			відносно маловодні роки		
1	1923	36,4	1	1925	22,2
2	1926	34,6	2	1930	24,5
3	1932	37,7	3	1936	22,0
4	1940	40,4	4	1937	22,7
5	1947	39,2	5	1944	22,8
6	1948	53,3	6	1945	22,8
7	1955	43,1	7	1946	21,1
8	1956	37,3	8	1950	20,3
9	1958	35,0	9	1951	19,4
10	1965	34,8	10	1952	26,8
11	1966	43,1	11	1953	25,4
12	1967	36,4	12	1954	21,0
13	1969	36,1	13	1957	21,7
14	1973	34,1	14	1959	20,6
15	1974	48,6	15	1961	20,9
16	1975	44,2	16	1964	26,7
17	1976	41,5	17	1972	27,5
18	1978	35,0	18	1983	22,0
19	1979	39,8	19	1984	19,8
20	1980	42,5	20	1985	24,7
21	1981	44,3	21	1986	22,7
22	1982	34,2	22	1987	22,7
23	1988	33,3	23	1990	19,5
24	1999	39,4	24	1991	22,8
25	2000	39,5	25	1992	23,8
26	2001	40,7	26	1994	24,0
27	2005	34,9	27	1995	24,2
28	2006	40,1	28	1996	26,1
29	2008	39,1	29	1997	24,2
30	2009	36,0	30	2003	27,0
31	2010	44,8	31	2004	27,6
32	2011	37,3	32	2014	25,0
33	2013	51,2	33	2015	17,4
			34	2016	16,0
			35	2017	22,1

1923	17	1940	16	1956	17	1973	15	1988	17	2005
9		8		9		8		11		8
1932	16	1948	17	1965	16	1981	18	1999	14	2013
8		8		7		7		6		
1940	16	1956	17	1973	15	1988	17	2005		

Рис. 4. Двовимірний графік співмірності відносно багатоводних років, р. Стир – м. Луцьк

1925	20	1945	19	1964	20	1984	19	2003
11		9		8		10		11
1936	18	1954	18	1972	22	1994	20	2014
9		10		12		9		
1945	19	1964	20	1984	19	2003		

Рис. 5. Двовимірний графік співмірності відносно маловодних років, р. Стир – м. Луцьк

по вертикалі – 2014+9, 10, 12 = 2023, 2024, 2026 роки. Отже, відносно маловодними роками можуть бути 2022-2023-2024 та 2026 роки. Оскільки 2022 р. входить як до багатоводних, так і до маловодних, вірогідно він буде середнім за водністю.

Обговорення. Найголовнішим питанням, яке постає після отримання результатів прогнозування, особливо для довгострокового, є їхня справджуваність, тобто чи відбудеться в реальності ситуація, яка була спрогнозована. Перевірити це можливо тільки після порівняння реальної ситуації з спрогнозованою. Зрозуміло, що водність річки визначають чинники її формування. Сьогодні аналіз метеорологічних умов зимового періоду 2019-2020 рр. свідчить, що 2020 рік аж ніяк не може бути багатоводним роком. Водність рівнинних річок, до яких належить р. Стир, визначається саме об'ємом весняної повені [20]. Однак, зазначимо, що у живленні річок басейну Прип'яті важливу роль також відіграють дощові опади [16]. Разом з тим, зрозуміло, що на основі тільки одного хибного прогнозу не можна стверджувати, що методика співмірності не може бути застосована для довгострокового прогнозування. Необхідно також пам'ятати, що будь яка методика має похибку прогнозування. При прогнозуванні на найближчі роки така похибка має одиницю виміру щонайменше рік. Отже, існує вірогідність, що багатоводним роком буде саме 2021 р. Оцінювання ефективності методики прогнозування визначається статистичною обробкою наявного масиву прогнозів [1]. Отже, чим більше прогнозів ми будемо мати в наявності, тим більш достовірно ми зможемо визначити ефективність методики прогнозування. Для гідрологічного прогнозування, яке оперує роками така задача ускладнюється значними проміжками часу. Ін-

шим дискусійним питанням при застосуванні методики співмірності є наявність періодичності у появі гідрологічних явищ. Відомо, що гідрологічним рядам спостережень притаманна циклічність коливань. Вона на відміну від періодичності має різну тривалість. Разом з тим, на сьогодні достовірно невідомо, які саме чинники обумовлюють циклічність гідрологічних явищ. До того ж, для дослідження як періодичності, так і циклічності ми маємо досить короткі ряди спостережень. Найтриваліші з них, наприклад в Україні, має близько 100 років спостережень. Можна припустити, що з подовженням рядів спостережень з'явиться можливість виявляти більш чіткі закономірності і отримувати більш достовірні результати.

Висновки. Прогнозування водності річки із завчасністю в кілька років може бути здійснено на основі методики співмірності. Результати дослідження за цією методикою показують, що водність річки Стир у 2020-2021 рр. має бути більшою за норму, у 2023-2024 рр. – меншою за норму. Такий підхід для довгострокового прогнозування водності річки на роки було застосовано вперше в Україні.

Оцінювання ефективності прогнозування за методикою співмірності потребує наявності масиву довгострокових прогнозів. Отже, майбутнім кроком дослідження має бути прогнозування водного стоку на різних річках, але при умові, що вони мають тривалі ряди спостережень.

Методика співмірності має ряд переваг, а саме дозволяє значно збільшити завчасність довгострокового гідрологічного прогнозування, полегшує процес розрахунків, оскільки вирізняється простотою обчислень та застосуванням мінімального набору вхідної інформації.

Література

1. WMO (World Meteorological Organization). *Guide to Hydrological Practices, Vol. II, Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices, sixth edition*, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland. 2009. – WMO-No. 168.
2. Zhu T. *Water Management and Transfers Optimization with Probabilistic Seasonal Forecasts [Text]* / T. Zhu, G. Marques, J. Medellin-Azuara and J. Lund // EGU General Assembly 2020, Online, 4-8 May 2020, EGU2020-20981.

3. Anghileri D. Value of long-term streamflow forecasts to reservoir operations for water supply in snow-dominated river catchments [Text] / D. Anghileri, N. Voisin, A. Castelletti, F. Pianosi, B. Nijssen, and D. P. Lettenmaier // *Water Resour. Res.* – 2016. – 52. – P. 4209-4225. <https://doi.org/10.1002/2015WR017864>
4. Pekárová P. Long-term Danube monthly discharge prognosis for the Bratislava station using stochastic models [Text] / P. Pekárová, P. Mikláneek, J. Pekár // *Meteorologický časopis.* – 2007. – Vol. 10. – P. 211-218.
5. Peng Z. Commensurability-Based Flood Forecasting in Northeastern China [Text] / Z. Peng, L. Zhang, J. Yin, H. Wang // *Pol. J. Environ. Stud.* – 2017. – Vol. 26(6). – P. 2689-2702. <https://doi.org/10.15244/pjoes/73859>
6. Shaw E.M. *Hydrology in practice. Fourth Edition* / E.M. Shaw, K.J. Beven, N.A. Chappell, R. Lamb // CRC Press, 2010. – 543 p.
7. Христюк Б. Краткосрочное прогнозирование уровней воды в Килийском рукаве Дуная [Текст] / Б. Христюк // *Энергетика.* – 2014. – № 60(1). – С. 69-75. <https://doi.org/10.6001/energetika.v60i1.2874>
8. Blöschl G. *Hydrologic synthesis: Across processes, places, and scales* [Text] / G. Blöschl // *Water Resources Research.* – 2006. – Vol. 42(3). – W03S02. <https://doi.org/10.1029/2005WR004319>
9. Hongyan L. Mechanism and Forecasting Methods for Severe Droughts and Floods in Songhua River Basin in China [Text] / L. Hongyan, W. Yuxin, L. Xiubin // *Chin. Geogra. Sci.* – 2011. – Vol. 21(5). – P. 531-542. <https://doi.org/10.1007/s11769-011-0492-y>
10. Su Y.J. Application of Commensurability in Earthquake Prediction [Text] / Y.J. Su, H. Hu // *International Journal of Geosciences.* – 2015. – Vol. 6. – P. 619-624. <http://dx.doi.org/10.4236/ijg.2015.66049>
11. Khrystiuk B. Application of the commensurability method for long-term forecasting of the highest summer floods on the Danube River at Bratislava [Text] / B. Khrystiuk, L. Gorbachova, P. Pekárová, P. Mikláneek // *Meteorology Hydrology and Water Management. Research and Operational Applications.* – 2020. – Vol. 8(1). – P. 70-76. <https://doi.org/10.26491/mhwm/114482>
12. Khrystiuk B. Long-term forecasting of extraordinary spring floods by commensurability method on the Dnipro River near Kyiv city, Ukraine [Text] / B. Khrystiuk, L. Gorbachova // *Environmental Research, Engineering and Management.* – 2019. – Vol. 75 (2). – P. 74-81. <https://doi.org/10.5755/j01.ere.m.75.2.22683>
13. Шевченко О.Л. Зміни ресурсів ґрунтових і міжпластових вод в умовах глобального потепління клімату [Текст] / О.Л. Шевченко, В.В. Гребінь, В.І. Осадчий, Д.В. Чарний, І.П. Шум // *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.* – 2019. – Т. 3(54). – С. 90-91.
14. Коноваленко О.С. Просторовий розподіл максимального стоку води весняного водопілля річок басейну Стир [Текст] / О.С. Коноваленко, В.О. Дутко, Є.В. Василенко // *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.* – 2012. – № 1(26). – С. 69-75.
15. Набиванець Ю.Б. Высокие половодья и паводки в бассейне реки Стырь [Текст] / Ю.Б. Набиванец, Л.А. Горбачёва, В.Н. Корнеев // *Наук. праці УкрНДГМІ.* – 2010. – Вип. 259. – С. 217-230.
16. Калинин М.Ю. Мониторинг, использование и управление водными ресурсами бассейна р. Припять [Текст] / М.Ю. Калинин, А.Г. Ободовський // Минск: БЕЛСЭНС, 2003. – 269 с.
17. Вишневецький В.І. Річки і водойми України. Стан і використання [Текст] / В.І. Вишневецький // К.: Віпол, 2000. – 376 с.
18. Weng W.B. *Basis of Prediction Theory* [Text] / W.B. Weng // *Petroleum Industry Press.*, 1984. – 45 p.
19. Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 22484-2008, *Standard for Hydrological Information and Hydrological Forecasting* [Text]. Standards Press of China: Beijing, 2009.
20. Шакирзанова Ж.Р. Прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля в басейні Дніпра з використанням автоматизованих програмних комплексів [Текст] / Ж.Р. Шакирзанова // *Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія.* – 2011. – Том 4 (25). – С. 48-55.

Надійшла до редакції 7 вересня 2020 р.

Прийнята 22 жовтня 2020 р.

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

UDC 556.16.06

Liudmyla Gorbachova,

DSc (Geography), Head of the Department of Hydrological Researches,
Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine
and the National Academy of Sciences of Ukraine, 37, Prospekt Nauky, Kyiv, 03028, Ukraine,
e-mail: gorbachova@uhmi.org.ua, <https://orcid.org/0000-0003-1033-9385>;

Borys Khrystiuk,

PhD (Geography), Head of the Laboratory of Hydrological Calculations,
Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine
and the National Academy of Sciences of Ukraine,
e-mail: khryst@uhmi.org.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4290-3745>

THE FORECASTING OF WATER RUNOFF OF THE STYR RIVER FOR THE COMING YEARS

Formulation of the problem. The water flow of the Styr River is using for the needs of industry, agriculture and the population. Thus, forecasting the water flow of this river for the future is an important scientific and practical task. The hydrological forecasts that have a lead time of one year, two years, or a decade are not as reliable as they need to be. Now in the world this problem is not solved. Along with quantitative forecasting methods, the qualitative methods have also been developed. The method of commensurability refers to such methods. It was developed by Chinese geophysicist Weng Wen-Bo in 1984. The commensurability method supports prediction of various natural phenomena, including floods and other dangerous events. The objective of this paper is to use the Weng Wen-Bo method for long-term water flow forecasting of the Styr River at Lutsk city.

Methods. The commensurability method uses the dates on which natural phenomena (earthquakes, floods, droughts, etc.) were observed. For this reason, it has been called the information method. It is characterized by simplicity of calculation, graphical visualization, the use of researcher intuition and minimum needs for input information. There are several ways of forecasting using the method of commensurability. This paper is used a method of forecasting by two-dimensional commensurability graphs. Such approach consists in the determining the commensurability values in the dates array of certain phenomena occurrence and creating a two-dimensional graph of commensurability, according to which forecasting occurs. The use of such a method allows determining the years that may be wet and dry in the near future.

Results. The data of observations at the hydrological station of the Styr River - Lutsk city for the period 1923-2017 are used in the paper. The results of the study on the commensurability method show that the water flow of the river Styr in 2020-2021 should be more than the norm and in 2023-2024 - less than the norm.

Scientific novelty and practical significance. In Ukraine the commensurability method was used for the first time for long-term forecasting of water flow for coming years. The estimating of the effectiveness of forecasting by the commensurability method requires an array of long-term forecasts. Therefore, the next step of the study should be to forecast of water flow on different rivers, but provided that they have the long series of observation.

The results of the long-term forecasting will enable the relevant services the negative consequences of a hydrological phenomenon, such as low water flow or floods on rivers will prevent.

Keywords: water flow, commensurability method, long-term forecasting, wet year, dry year.

References

1. WMO (World Meteorological Organization) (2009). *Guide to Hydrological Practices, Vol. II, Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices, sixth edition*, WMO-No. 168, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
2. Zhu T., Marques G., Medellin-Azuara J. and Lund J. (2020). *Water Management and Transfers Optimization with Probabilistic Seasonal Forecasts*. EGU General Assembly 2020, Online, 4-8 May 2020, EGU2020-20981.
3. Anghileri, D., Voisin N., Castelletti A., Pianosi F., Nijssen B., and Lettenmaier D.P. (2016). *Value of long-term streamflow forecasts to reservoir operations for water supply in snow-dominated river catchments*. *Water Resour. Res.*, 52, 4209-4225 <https://doi.org/10.1002/2015WR017864>
4. Pekárová P., Miklánek P., Pekár J. (2007). *Long-term Danube monthly discharge prognosis for the Bratislava station using stochastic models*, *Meteorologický časopis*, 10, 211-218.
5. Peng Z., Zhang L., Yin J., Wang H. (2017). *Commensurability-Based Flood Forecasting in Northeastern China*. *Pol. J. Environ. Stud.*, 26(6), 2689-2702 <https://doi.org/10.15244/pjoes/73859>
6. Shaw Elizabeth M., Beven Keith J., Chappell Nick A., Lamb Rob (2010). *Hydrology in practice. Fourth Edition*. CRC Press, 543.

7. Borys Khrystyuk (2014). *The short-term forecast of the water levels in the Kiliya channel of the Danube River*. *Energetika*, 60(1), 69-75 <https://doi.org/10.6001/energetika.v60i1.2874> [in Russian]
8. Günter Blöschl (2006). *Hydrologic synthesis: Across processes, places, and scales*. *Water Resources Research*, 42(3), W03S02 <https://doi.org/10.1029/2005WR004319>
9. Hongyan L., Yuxin W., Xiubin L. (2011). *Mechanism and Forecasting Methods for Severe Droughts and Floods in Songhua River Basin in China*. *Chin. Geogra. Sci.*, 21(5), 531-542 <https://doi.org/10.1007/s11769-011-0492-y>
10. Su Y.J. and Hu H. (2015). *Application of Commensurability in Earthquake Prediction*. *International Journal of Geosciences*, 6, 619-624 <http://dx.doi.org/10.4236/ijg.2015.66049>
11. Borys Khrystiuk, Liudmyla Gorbachova, Pavla Pekárová, Pavol Miklánek (2020). *Application of the commensurability method for long-term forecasting of the highest summer floods on the Danube River at Bratislava*. *Meteorology Hydrology and Water Management. Research and Operational Applications*, 8(1), 70-76 <https://doi.org/10.26491/mhwm/114482>
12. Borys Khrystiuk, Liudmyla Gorbachova (2019). *Long-term forecasting of extraordinary spring floods by commensurability method on the Dnipro River near Kyiv city, Ukraine*. *Environmental Research, Engineering and Management*, 75(2), 74-81 <https://doi.org/10.5755/j01.ere.m.75.2.22683>
13. Shevchenko O.L., Grebin V.V., Osadchyy V.I., Charnyy D.Z., Shym I.P. (2019). *Resources changes of groundwater and interstratum water in the conditions of global climate warming*. *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia*, 3(54), 90-91. [in Ukrainian]
14. Konovalenko O., Dutko V., Vasylenko E. (2012). *Spatial distribution of maximal spring runoff of the Styr Basin Rivers*. *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia*, 1(26), 69-75. [in Ukrainian]
15. Nabyvanets Ya.B., Gorbachova L.O., Korneev V.N. (2010). *High spring and rain floods in the Styr River basin*. *Proceedings of Ukrainian Hydrometeorological Institute*, 259, 217-230. [in Russian]
16. Kalinin M.Ya., Obodovskyy O.G. (eds.) (2003). *Monitoring, use and management of water resources of the Pripjat basin*. Mynsk, 269. [in Russian]
17. Vyshnevskyy V.I. (2000). *Rivers and reservoirs of Ukraine. Condition and use*. Kyiv, Vipol, 376. [in Ukrainian]
18. Weng W.B. (1984). *Basis of Prediction Theory*. Petroleum Industry Press, 45.
19. Standardization Administration of the People's Republic of China (2009). *GB/T 22484-2008, Standard for Hydrological Information and Hydrological Forecasting*; Standards Press of China: Beijing, China.
20. Shakirzanova J. (2011) *Forecasting of the maximum water flow of the spring flood in basin Dnieper with use of the automated program complexes*. *Hydrology, hydrochemistry, hydroecology*, 4(25), 48-55. [in Ukrainian]