

probable expected average water discharges in the high-water and low-water phases of the cycle, depending on the average long-term values for the rivers of the studied basins of the Ukrainian Carpathians. Such generalizations can be used for prognostic estimates of possible values of water discharge in high-water and low-water phases for any river of the Ukrainian Carpathians. At the same time, it is necessary to take into account in which system of rivers it is located, to know the average long-term water discharge and the time frame and the chronology of the water phases.

Keywords: rivers of the Ukrainian Carpathians; average annual water flow; spatial synchrony; cyclicity; water cycle and phases.

Надійшла до редколегії 07.02.2023

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.1.3>

УДК 556.06

Христюк Б.Ф., Горбачова Л.О.

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

ДОВГОСТРОКОВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ДАТИ ПОЧАТКУ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ У ВЕРХІВ'Ї РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ ЗА ТЕЛЕКОННЕКЦІЙНИМИ ІНДЕКСАМИ

Дата початку весняного водопілля є важливою гідрологічною характеристикою. Її довгостроковому прогнозуванню приділяється недостатня увага, що обумовлюється складністю і невирішеністю проблеми у частині підвищення якості такого прогнозування. Найчастіше у довгостроковому прогнозуванні використовуються кількісні методи. Найбільш вживаними є статистичний, кореляційний, регресійний аналіз. Останнім часом у гідрологічному довгостроковому прогнозуванні все частіше використовуються телеконнекційні індекси та паттерни. Отже, у роботі розроблено методику довгострокового прогнозування дати початку весняного водопілля на р. Південний Буг біля с. Лелітка за телеконнекційними індексами. Опрацьовано 34 телеконнекційні індекси та паттерни, які визначаються Національним управлінням океанічних і атмосферних досліджень США (NOAA). Найкращий регресійний зв'язок з датами початку весняного водопілля (ДД) на гідрологічному посту р. Південний Буг – с. Лелітка отримано для індексів WPAC850 у січні (WPAC850_I) та ААО у грудні (ААО_{XII}). За ймовірністю неперевищення допустимої похибки методика відповідає категорії «задовільно», що дозволяє її використовувати для прогнозування. Отже, телеконнекційні індекси та паттерни досить успішно можна використовувати у довгостроковому прогнозуванні дати початку весняного водопілля на річках України.

Ключові слова: весняне водопілля, довгострокове прогнозування, телеконнекційні індекси, Південний Буг, прогностичні залежності

Вступ. Весняне водопілля є основною фазою водного режиму річок, а строки його настання є однією із важливіших гідрологічних характеристик, яка визначає початок багатоводного сезону. У світі небезпечні весняні водопілля завдають значних матеріальних збитків [1]. Отже, прогнозування характеристик весняного водопілля, у тому числі і його початку, має важливе значення для ефективного використання водних ресурсів, роботи гідротехнічних споруд, запобігання негативних наслідків підтоплення територій при проходженні катастрофічних водопіль тощо [2, 3].

Довгострокове прогнозування гідрологічних характеристик є складним завданням, яке потребує подальшого удосконалення та розвитку методів і підходів з метою підвищення справджуваності прогнозів. Зазвичай таке прогнозування базується на врахуванні закономірностей змін і тенденцій атмосферних процесів, які характеризуються значною мінливістю [2]. У довгостроковому прогнозуванні застосовують кількісні і якісні методи [2-11]. Разом з цим, як зазначається у роботах [12, 13] довгостроковому прогнозуванню строків проходження весняного водопілля на річках не приділяється належної уваги. Це стосується досліджень як в Україні, так і в світі. Так, у керівництві з гідрологічної практики Всесвітньої метеорологічної організації [3] взагалі відсутні поради щодо довгострокового прогнозування строків проходження весняного водопілля. В Україні розвитком підходів та методів щодо такого прогнозування переважно займається професор Шакірманова Ж.Р. [4, 12, 13].

У довгостроковому прогнозуванні строків проходження весняного водопілля основними підходами є статистичні методи та кореляційний аналіз. У роботі [2] зазначається, що довгостроковий прогноз дати настання весняного водопілля можливий тільки на основі довгострокового прогнозу метеорологічних елементів, а саме прогнозу

ISSN:2306-5680 **Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2023. № 1 (67)**

строків стійкого переходу температури повітря через 0°C. Разом з цим, якість довгострокового прогнозу температури повітря все ж таки залишається низькою.

У світі у сучасних гідрологічних дослідженнях все більш популярним стає використання загальновідомого методологічного підходу гідрокліматичного прогнозування на основі телеконнекційних зв'язків, який дозволяє виконувати прогнозування з завчасністю від тижнів до місяців [14-16]. Уперше концепція використання телеконнекційних зв'язків була запропонована Ангстремом А. (Ångström A.) у 1935 році і описувала кореляції між віддаленими коливаннями атмосферної циркуляції (АС) і аномаліями [17]. У подальшому такий підхід широко використовувався і використовується для довгострокового прогнозування метеорологічних параметрів. У гідрологічних дослідженнях телеконнекційні індекси та паттерни використовуються для прогнозування і аналізу стоку річок [14, 18-20], атмосферних опадів [21, 22], дослідження снігозапасів річкових водозборів [23], прогнозування посух [14, 24] та льодових явищ [25-28] тощо.

Метою дослідження є розробка методики довгострокового прогнозу дати початку весняного водопілля на р. Південний Буг - с. Лелітка з використанням телеконнекційних індексів та паттернів.

Матеріали та методи дослідження. Басейн річки Південний Буг розташований у трьох фізико-географічних зонах, а саме лісовій, лісостеповій та степовій (рис. 1).

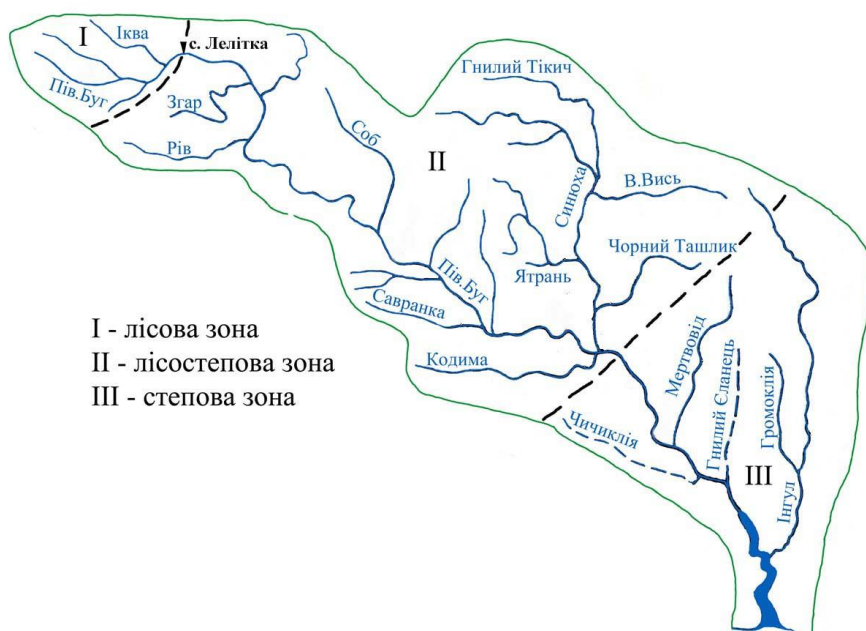


Рис. 1. Схема фізико-географічного районування басейну р. Південний Буг

Кожна природна зона має різний вплив на формування водного стоку р. Південний Буг. Основний стік річки формується у лісовій та лісостеповій зоні. Річки степової зони не вносять суттєвого вкладу до загального водного стоку річки. Більшість річок степової зони не дрениують водоносні горизонти і, як наслідок перемерзають узимку та пересихають улітку [29]. На усіх річках басейну максимальні витрати води формуються у період проходження весняного водопілля, яке є основною характерною фазою гідрологічного режиму [4, 30]. Разом з цим, у роботі [30] показано, що багатоводний сезон на річках лісової зони розпочинається у березні, а на річках лісостепової і степової зонах – у лютому. Це пояснюється тим, що період сніготанення на водозборах річок лісостепової зони настає раніше і відбувається більш інтенсивніше за рахунок більш високих температур повітря та зменшення лісового покриву у порівнянні з водозборами річок лісової зони [31]. Формування весняних водопіль із року в рік визначається мінливістю кліматичних чинників, що призводить до значної мінливості і дат їхнього початку. Так, за період спостережень на р. Південний Буг весняні водопілля найраніше розпочиналися наприкінці січня, а найпізніше – наприкінці березня [29, 32].

Для дослідження вибрано гідрологічний пост р. Південний Буг – с. Лелітка, оскільки цей пост характеризує водозбір площею 4000 км² з однорідними умовами формування

весняного водопілля у лісовій зоні. Використано відомості щодо дат початку весняного водопілля за період спостережень 1966-2015 рр., які опубліковано у довідкових матеріалах Центральної геофізичної обсерваторії ім. Бориса Срезневського. Окрім цього, використано відомості щодо атмосферних індексів, індексів температури морської поверхні, телеконекційних індексів та паттернів, які розраховуються Національною службою погоди (National Weather Service, NWS) Національного управління океанічних і атмосферних досліджень США (National Oceanic & Atmospheric Administration USA, NOAA). Атмосферні індекси та індекси температури морської поверхні визначаються переважно для тихоокеанського регіону і, частково, Атлантики, а телеконекційні індекси та паттерни – за станом атмосферної циркуляції над різними ділянками Земної кулі. Їхні середні місячні значення наведено на сайті: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/MD_index.php

Методика довгострокового прогнозування дат початку весняного водопілля на гідрологічному посту р. Південний Буг – с. Лелітка розроблялася шляхом пошуку найкращого кореляційного або регресійного зв'язку між датами та індексами/паттернами NWS NOAA. Загалом розглядалися 34 індекси та паттерни.

Оцінку якості розробленої методики виконано за залежними даними згідно нормативного документу [33].

Виклад основного матеріалу дослідження. За даними спостережень на гідрологічному посту р. Південний Буг – с. Лелітка середня дата початку весняного водопілля – 4 березня. Рання дата – 28 січня 2002 р., а пізня – 2 квітня 1996 року. Різниця між пізньою та ранньою датами початку весняного водопілля становить 65 діб. Допустима похибка прогнозу, яка розрахована за даними спостережень, складає ± 11 діб.

Серед 34 атмосферних індексів, індексів температури морської поверхні, телеконекційних індексів та паттернів NWS NOAA найкращий регресійний зв'язок з датами початку весняного водопілля (ДД) на гідрологічному посту р. Південний Буг – с. Лелітка мають значення індексів $WPAC850$ у січні ($WPAC850_I$) та AAO у грудні (AAO_{XII}). Коефіцієнт множинної регресії становить 0,54. Індекс $WPAC850$ визначається за показниками пасатних вітрів на баричній поверхні 850 мб у прямокутнику 135° сх.д. - 180° зх.д., 5° пн.ш. - 5° пд.ш., розташованому над західною частиною Тихого океану. Індекс AAO визначається за значеннями аномалій тиску повітря у південних широтах (південніше 20° пд.ш.). Отже, саме ці індекси і було обрано у якості предикторів для довгострокового прогнозування. При цьому, прогностичне рівняння має наступний вигляд:

$$DD = 63,68 - 8,65 \cdot WPAC850_I - 1,04 \cdot AAO_{XII} \quad (1)$$

Результати прогнозування за рівнянням (1), які наведено на рис. 2, показують, що отримана прогностична залежність цілком задовільно відтворює історичні дати початку весняного водопілля.

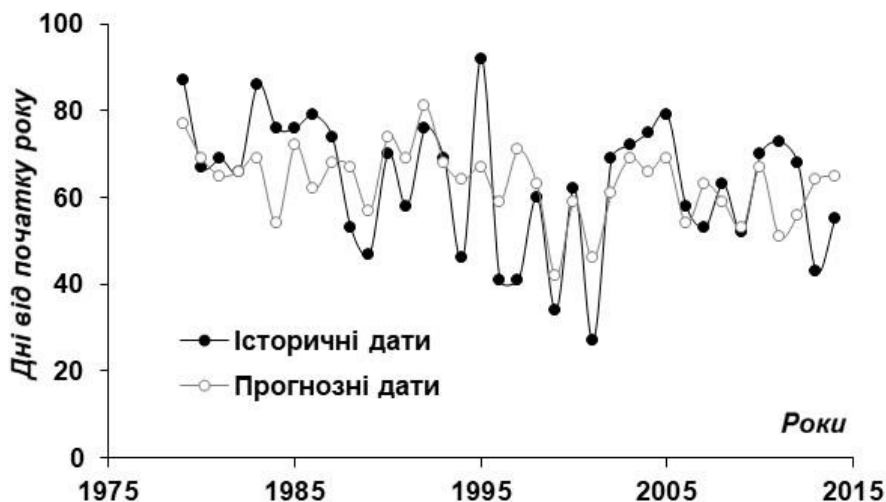


Рис. 2. Історичні і прогнозні за рівнянням (1) дати початку весняного водопілля на гідрологічному посту р. Південний Буг – с. Лелітка за період 1979-2014 роки

У 24 випадках з 36 похибка прогнозування не перевищує допустиму похибку (± 11 діб) (табл. 1).

Таблиця 1. Перевірочні прогнози дат початку весняного водопілля на гідрологічному посту р. Південний Буг – с. Лелітка

№ з/п	Рік	WPAC850 _t	AAO _{XII}	Дата початку весняного водопілля		Похибка Δ , дні
				прогнозна	історична	
1	1980	-1,40	-0,95	18.03	28.03	10
2	1981	-0,60	-0,36	11.03	09.03	-2
3	1982	-0,30	1,12	07.03	11.03	4
4	1983	0,00	-1,93	08.03	08.03	0
5	1984	-0,70	0,48	10.03	27.03	17
6	1985	1,30	-1,48	24.02	18.03	22
7	1986	-1,10	1,24	14.03	18.03	4
8	1987	0,10	0,89	04.03	21.03	17
9	1988	-0,50	0,27	09.03	15.03	6
10	1989	-0,50	1,07	09.03	23.02	-14
11	1990	0,80	-0,45	27.02	17.02	-10
12	1991	-1,20	-0,31	16.03	12.03	-4
13	1992	-0,40	-2,07	10.03	28.02	-11
14	1993	-2,00	0,24	23.03	18.03	-5
15	1994	-0,60	1,03	10.03	11.03	1
16	1995	-0,10	0,93	6.03	16.02	-18
17	1996	-0,60	1,47	08.03	02.04	25
18	1997	0,50	-0,02	01.03	11.02	-18
19	1998	-0,70	-0,84	13.03	11.02	-30
20	1999	-0,10	1,44	05.03	02.03	-3
21	2000	2,30	1,78	12.02	04.02	-8
22	2001	0,70	-1,29	01.03	04.03	3
23	2002	1,90	1,47	16.02	28.01	-19
24	2003	0,10	1,31	03.03	11.03	8
25	2004	-0,40	-1,32	10.03	13.03	3
26	2005	-0,20	-0,97	08.03	17.03	9
27	2006	-0,40	-1,97	11.03	21.03	10
28	2007	1,00	0,64	24.02	28.02	4
29	2008	-0,10	1,93	04.03	23.02	-10
30	2009	0,40	1,19	01.03	05.03	4
31	2010	1,20	0,61	23.02	22.02	-1
32	2011	-0,40	0,21	09.03	12.03	3
33	2012	1,10	2,57	21.02	14.03	22
34	2013	1,00	-0,76	26.02	10.03	12
35	2014	-0,10	0,06	06.03	13.02	-21
36	2015	-0,30	1,32	07.03	25.02	-10

Оцінка якості методики прогнозування за критерієм співвідношення середньої квадратичної похибки перевірочних прогнозів (\bar{S}) до середнього квадратичного відхилення прогнозованої величини ($\bar{\sigma}$), тобто $\bar{S}/\bar{\sigma}$ склала 0,84. Таке високе значення обумовлено значною похибкою прогнозу у 1998 році (табл. 1). Однак, ймовірність неперевищення допустимої похибки для прогнозів дат початку весняного водопілля за індексом WPAC850 у січні та індексом ААО у грудні р. Південний Буг – с. Лелітка становить 67 %, що відповідає оцінці якості методики «задовільно» згідно [33]. Отже, розроблену методику можна використовувати для прогнозування. Прогноз може бути складений на початку лютого за умови опублікування індексів WPAC850_t та ААО_{XII} на сайті NOAA. Середня завчасність прогнозу складає 1 місяць.

Висновки. Довгострокове прогнозування дати початку весняного водопілля може бути здійснено за телеконекційними індексами. Методика розроблена для гідрологічного поста р. Південний Буг – с. Лелітка, який розташований у лісовій зоні і характеризує

однорідні умови формування весняного водопілля, показує цілком прийнятні результати. У прогнозованому рівнянні використано 2 індекси, а саме індекс WPAC850 у січні ($WPAC850_1$) та індекс ААО у грудні (AAO_{XII}). Методика відповідає категорії «задовільно» та є прийнятною для прогнозування, оскільки значення ймовірності неперевикнення допустимої похибки становить 67%.

Використання телеконнекційних індексів вносить певний вклад у вирішення проблеми довгострокового прогнозування дати початку весняного водопілля. Подібний підхід може бути використано для інших річок України.

Список літератури

1. Blöschl G., Hall J., Parajka J. et al. Changing climate shifts timing of European floods. *Science*. 2017. Vol. 357. Issue 6351. P. 588-590. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>
2. Руководство по гидрологическим прогнозам. Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ. Л.: Гидрометеиздат, 1989. Вып. 1. 358 с.
3. 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.
4. Шакірзанова Ж.Р. Довгострокове прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок та естуаріїв території України: монографія. Одеса: ФОП Бондаренко М.О., 2015. 252 с.
5. Gelfan A., Motovilov Y.G. Long-term Hydrological Forecasting in Cold Regions: Retrospect, Current Status and Prospect. *Geography Compass*. 2009. Vol. 3(5). P. 1841-1864.
6. Khrystyuk B. The forecasting of the mean monthly water levels of the Danube River on the water gauge Reni. Proceeding XXVI conference of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management. Bridging the sciences – crossing borders: September 22-24, 2014, Deggendorf, Germany. In: Dorner W, Marquardt A., Schroder U. 2014. P. 153-160.
7. Kirsta Y.B., Lovtskaya O.V. Good-quality Long-term Forecast of Spring-summer Flood Runoff for Mountain Rivers. *Water Resources Management*. 2021. Vol. 35. P. 811-825.
8. Peng Z., Zhang L., Yin J., Wang H. Commensurability-Based Flood Forecasting in Northeastern China. *Polish Journal Environmental Studies*. 2017. Vol. 26(6). P. 2689-2702.
9. Khrystyuk B., Gorbachova L. Long-term forecasting of extraordinary spring floods by commensurability method on the Dnipro River near Kyiv city, Ukraine. *Environmental Research, Engineering and Management*. 2019. Vol. 75 (2). P. 74-81.
10. Khrystyuk B., Gorbachova L., Pekárová P., Miklánek P. 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*. 2020. Vol. 8(1). P. 70-76. DOI: <https://doi.org/10.26491/mhwm/114482>
11. Горбачова Л., Христюк Б. Прогнозування водності річки Стир на найближчі роки. Вісник Харківського національного університету імені ВН Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». 2021. № 54. С. 155-163. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-12>
12. Шакірзанова Ж.Р. Метод просторових прогнозів строків початку та проходження максимумів весняних водопіль на рівнинних річках України. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2011. № 8. С. 204-213.
13. Докус А.О., Шакірзанова Ж.Р., Швець Н.М. Методика просторового прогнозування строків початку та проходження максимальних витрат води весняних водопіль. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 4 (55). С. 8-22. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2019.4.1>
14. Chen C.-J., Lee T.-Y. An Investigation into the Relationship between Teleconnections and Taiwan's Streamflow. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. 2017. Vol. 21. P. 3463-3481.
15. van den Dool H. Empirical methods in short-term climate prediction. Oxford University Press, Oxford, 2007. 215 p.
16. Chen C.-J., Georgakakos A.P. Hydro-climatic forecasting using sea surface temperatures: methodology and application for the southeast US. *Climate Dynamic*. 2014. Vol. 42. P. 2955-2982.
17. Ångström A. Teleconnections of Climatic Changes in Present Time. *Geografiska Annaler*. 1935. Vol. 17. P. 242-258.
18. Dracup J.A., Kahya E. The relationships between U.S. streamflow and La Niña events. *Water Resources Research*. 1994. Vol. 30(7). P. 2133-2141. DOI: <https://doi.org/10.1029/94WR00751>
19. Peters D.L., Atkinson D., Monk W.A., Tenenbaum D.E., Baird D.J. A multi-scale hydroclimatic analysis of runoff generation in the Athabasca River, western Canada. *Hydrological Processes*. 2013. Vol. 27(13). P. 1915-1934.
20. Wang J., Wang X., Lei X.H., Wang H., Zhang X.H., You J.J., Tan Q.F., Liu X.L. Teleconnection analysis of monthly streamflow using ensemble empirical mode decomposition. *Journal of Hydrology*. 2020. Vol. 582. 124411. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124411>

21. He X., Guan H. Multiresolution analysis of precipitation teleconnections with large-scale climate signals: A case study in South Australia. *Water Resources Research*. 2013. Vol. 49(10). P. 6995-7008.
22. Mekanik F., Imteaz M.A., Talei A. Seasonal rainfall forecasting by adaptive network-based fuzzy inference system (ANFIS) using large scale climate signals. *Climate Dynamics*. 2015. Vol. 46(9-10). P. 3097-3111.
23. Sobolowski S., Frei A. Lagged relationships between North American snow mass and atmospheric teleconnection indices. *International Journal of Climatology*. 2007. Vol. 27(2). P. 221-231.
24. Chiew F.H.S., Piechota T.C., Dracup J.A., McMahon T.A. El Nino/Southern oscillation and Australian rainfall, streamflow and drought: links and potential for forecasting. *Journal of Hydrology*. 1998. Vol. 204(1-4). P. 138-149. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00121-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00121-2)
25. Сутырина Е.Н. Методики долгосрочного прогнозирования сроков полного очищения ото льда водохранилищ Ангаро-Енисейского каскада. *Географический вестник*. 2017. № 1(40). С. 66-72.
26. Сизова Л.Н., Куимова Л.Н., Шумараев М.Н. Влияние циркуляции атмосферы на ледовотермические процессы на Байкале в 1950-2010 годы. *География и природные ресурсы*. 2013. № 2. С. 74-82.
27. Шумараев М.Н. Циркуляционные факторы изменений ледово-термического режима Байкала. *География и природные ресурсы*. 2007. № 4. С. 54-60.
28. Khrystiuk B.F., Gorbachova L.O. Application of the NATL index for long-term forecasting of freeze-up appearance date at the Kyiv Reservoir. *Proceedings of the XVI International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment»*. Kyiv, Ukraine, November 15-18, 2022.
29. Khrystiuk B., Gorbachova L., Prykhodkina V. Faceted classification of the spring flood hydrographs of the Southern Buh River. *Geografický Časopis*. 2020. Vol. 72(1). P. 71-80.
30. Горбачова Л.О., Васильева О.С. Строки та тривалість періодів і сезонів водогосподарського року в басейні річки Південний Буг. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2013. Вип. 265. С. 39-45.
31. Горбачова Л.О., Приходькіна В.С., Христюк Б.Ф., Заболотня Т.О., Розлач В.О. Статистичний аналіз максимального стоку води річки Південний Буг за методом «Indicators of Hydrologic Alteration». *Український гідрометеорологічний журнал*. 2021. № 27. С. 42-54
32. Шакірманова Ж.Р. Аналіз та просторове узагальнення строків проходження весняних водопіль на рівнинних річках України. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2008. Вип. 6. С. 157-164.
33. Настанова з оперативної гідрології. Прогнози режиму вод суші. Гідрологічне забезпечення і обслуговування / Керівний документ. Київ: Український гідрометеорологічний центр, 2012. 120 с.

References

1. Blöschl G., Hall J., Parajka J. et al. Changing climate shifts timing of European floods. *Science*. 2017. Vol. 357(6351). P. 588-590. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>
2. Rukovodstvo po gidrologicheskim prognozam. Vyp. 1. Dolgosrochnye prognozy jelementov vodnogo rezhima rek i vodohranilishh [Manual of Hydrological Forecasts. Long-term forecasts of elements of the water regime of rivers and reservoirs]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989. 358 s.
3. 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.
4. Shakirzanova Zh.R. Dovichostrokovye prohnozuvannia kharakterystyk maksymal'noho stoku vesnianoho vodopillia rivnyynykh richok ta estuariiv terytorii Ukrainy: monografii [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.*
5. Gelfan A., Motovilov Y.G. Long-term Hydrological Forecasting in Cold Regions: Retrospect, Current Status and Prospect. *Geography Compass*. 2009. Vol. 3(5). P. 1841-1864.
6. Khrystyuk B. The forecasting of the mean monthly water levels of the Danube River on the water gauge Reni. *Proceeding XXVI conference of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management. Bridging the sciences – crossing borders: September 22-24, 2014, Deggendorf, Germany*. In: Dorner W, Marquardt A., Schroder U. 2014. P. 153-160.
7. Kirsta Y.B., Lovtskaya O.V. Good-quality Long-term Forecast of Spring-summer Flood Runoff for Mountain Rivers. *Water Resources Management*. 2021. Vol. 35. P. 811-825.
8. Peng Z., Zhang L., Yin J., Wang H. Commensurability-Based Flood Forecasting in Northeastern China. *Polish Journal Environmental Studies*. 2017. Vol. 26(6). P. 2689-2702.
9. Khrystiuk B., Gorbachova L. Long-term forecasting of extraordinary spring floods by commensurability method on the Dnipro River near Kyiv city, Ukraine. *Environmental Research, Engineering and Management*. 2019. Vol. 75 (2). P. 74-81.

10. *Khrystiuk B., Gorbachova L., Pekárová P., Miklánek P.* 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*. 2020. Vol. 8(1). P. 70-76. DOI: <https://doi.org/10.26491/mhwm/114482>
11. *Gorbachova L.O., Khrystiuk B.F.* Prognozuvannja vodnosti richky Styr na najblyzhchi roky [The forecasting of water runoff of the Styr River for the coming years]. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*. 2021. № 54. P. 155-163.
12. *Shakirzanova Zh.R.* Metod prostorovykh prohoziv strokiv pochatku ta prokhodzhennia maksimumiv vesnianykh vodopil' na rivnyynykh richkakh Ukrainy [The method of spatial forecasts of the dates of the beginning and passage of maxima of spring flood on the plain rivers of Ukraine]. *Ukrains'kyj hidrometeorolohichnyj zhurnal*. 2011. №8. S 204-213.
13. *Dokus A.A., Shakirzanova Zh.R., Shvets N.N.* Metodyka prostorovogo prognozuvannja strokiv pochatku ta prohodzhennja maksimal'nyh vytrat vody vesnjanyh vodopil' [Method of spatial prediction the dates of starting and passing the maximum water discharge of spring floods]. *Hidrolohiiia, hidrokhimiiia i hidroekolohiiia*. 2019. № 4 (55). S. 8-22.
14. *Chen C.-J., Lee T.-Y.* An Investigation into the Relationship between Teleconnections and Taiwan's Streamflow. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. 2017. Vol. 21. P. 3463-3481.
15. *van den Dool H.* Empirical methods in short-term climate prediction. Oxford University Press, Oxford, 2007. 215 p.
16. *Chen C.-J., Georgakakos A.P.* Hydro-climatic forecasting using sea surface temperatures: methodology and application for the southeast US. *Climate Dynamic*. 2014. Vol. 42. P. 2955-2982.
17. *Ångström A.* Teleconnections of Climatic Changes in Present Time. *Geografiska Annaler*. 1935. Vol.17. P. 242-258.
18. *Dracup J.A., Kahya E.* The relationships between U.S. streamflow and La Niña events. *Water Resources Research*. 1994. Vol. 30(7). P. 2133-2141. DOI: <https://doi.org/10.1029/94WR00751>
19. *Peters D.L., Atkinson D., Monk W.A., Tenenbaum D.E., Baird D.J.* A multi-scale hydroclimatic analysis of runoff generation in the Athabasca River, western Canada. *Hydrological Processes*. 2013. Vol. 27(13). P. 1915-1934.
20. *Wang J., Wang X., Lei X.H., Wang H., Zhang X.H., You J.J., Tan Q.F., Liu X.L.* Teleconnection analysis of monthly streamflow using ensemble empirical mode decomposition. *Journal of Hydrology*. 2020. Vol. 582. 124411. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124411>
21. *He X., Guan H.* Multiresolution analysis of precipitation teleconnections with large-scale climate signals: A case study in South Australia. *Water Resources Research*. 2013. Vol. 49(10). P. 6995-7008.
22. *Mekanik F., Imteaz M.A., Talei A.* Seasonal rainfall forecasting by adaptive network-based fuzzy inference system (ANFIS) using large scale climate signals. *Climate Dynamics*. 2015. Vol. 46(9-10). P. 3097-3111.
23. *Sobolowski S., Frei A.* Lagged relationships between North American snow mass and atmospheric teleconnection indices. *International Journal of Climatology*. 2007. Vol. 27(2). P. 221-231.
24. *Chiew F.H.S., Piechota T.C., Dracup J.A., McMahon T.A.* El Nino/Southern oscillation and Australian rainfall, streamflow and drought: links and potential for forecasting. *Journal of Hydrology*. 1998. Vol. 204(1-4). P. 138-149. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00121-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00121-2)
25. *Sutyryna E.N.* Prognozyrovanye srokov ochyshheniya oto l'da krupnykh vnutrennykh vodoemov na terrytoryi bassejna r. Angary s yspol'zovanyem telekonnekcyonnykh yndeksov [Predicting the Timing of the Final Disappearance of all Ice on Large Inland Water Bodies in the Angara River Watershed Using Teleconnection Indices]. *Yzvestyja Yrkutskogo gosudarstvennogo unyversyteta. Seryja «Nauky o Zemle»*. 2016. T. 15. S. 114-124.
26. *Syzova L.N., Kuymova L.N., Shymaraev M.N.* Vlyjanye cyrkuljacyy atmosfery na ledovotermicheskye processy na Bajkale v 1950-2010 gody [Influence of atmospheric circulation on ice-thermal processes at Baikal in 1950-2010]. *Geografyja y pryrodnye resursy*. 2013. № 2. S. 74-82.
27. *Shymaraev M.N.* Cirkuljacionnye faktory izmenenij ledovo-termicheskogo rezhima Bajkala [Circulation factors of changes in the ice-thermal regime of Lake Baikal]. *Geografija i prirodnye resursy*. 2007. № 4. S. 54-60.
28. *Khrystiuk B.F., Gorbachova L.O.* Application of the NATL index for long-term forecasting of freeze-up appearance date at the Kyiv Reservoir. *Proceedings of the XVI International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment»*. Kyiv, Ukraine, November 15-18, 2022.
29. *Khrystiuk B., Gorbachova L., Prykhodkina V.* Faceted classification of the spring flood hydrographs of the Southern Buh River. *Geografický Časopis*. 2020. Vol. 72(1). P. 71-80.
30. *Gorbachova L.O., Vasyľeva O.S.* Stroky ta tryvalist' periodiv i sezoniv vodogospodars'kogo roku v basejni richky Pivdennyj Bug [erms and duration of periods and seasons of water economic year in the Southern Bug River Basin]. *Nauk. praci UkrNDGMI*. 2013. Vyp. 265. S. 39-45.

31. Gorbachova L.O., Prykhodkina V.S., Khrystiuk B.F., Zabolotnia T.O., Rozlach V.O. Statystychnyj analiz maksimal'nogo stoku vody richky Pivdennyj Bug za metodom «Indicators of Hydrologic Alteration» [Statistical Analysis of Maximum Runoff of the Southern Buh River Using the Method Indicators of Hydrologic Alteration]. Ukraïns'kyj gidrometeorologichnyj zhurnal. 2021. № 27. S. 42-54 DOI: <https://doi.org/10.31481/uhmj.27.2021.05>

32. Shakirzanova Zh.R. Analiz ta prostoroze uzagal'nennja strokiv prohodzhennja vesnjanyh vodopil' na rivnyynyh richkah Ukraïny [Analysis and spatial generalization of the passage periods of spring floods on the plain rivers of Ukraine]. Visnyk Odes'kogo derzhavnogo ekologichnogo universytetu. 2008. Vyp. 6. S. 157-164.

33. Nastanova z operatyvnoi hidrolohii. Prohnozy rezhyму vod sushi. Hidrolohichne zabezpechennia i obsluhovuvannia [Manual on operational hydrology. Forecasts of land water regime. Hydrological support and maintenance] / Kerivnyj dokument. Kyiv: Ukraïns'kyj gidrometeorologichnyj tsentr, 2012. 120 s.

Long-term forecasting of the start date of spring flood in the upper of the Southern Buh River by teleconnection indices

Khrystiuk B.F., Gorbachova L.O.

The start date of spring flood is an important hydrological characteristic. Insufficient attention is paid to its long-term forecasting, which is due to the complexity and unsolved problem in terms of improving the quality of such forecasting. Most often, quantitative methods are used in long-term forecasting. The most used are statistical, correlation, and regression analysis. Recently, teleconnection indices and patterns are increasingly used in hydrological long-term forecasting. At the same time, the basis of the concept of forecasting by the teleconnection connections is the idea of the influence of distant fluctuations of atmospheric circulation on the hydrological event. So, the teleconnection indices and patterns are used for forecasting and analysis of river flow, atmospheric precipitation, research of snow water equivalent of river basins, forecasting of droughts and ice phenomena.

The objective of this of the study is to develop a methodology of the long-term forecast of the spring flood start date in the upper part of the Southern Buh River using teleconnection indices and patterns.

The method of long-term forecasting of the start date of spring flood was developed for the Southern Buh River - Lelitka village water gauge. The Southern Buh River - Lelitka village water gauge is located in the forest zone and characterizes homogeneous conditions of the formation of spring flood. Information on the start dates of spring flood for the observation period 1966-2015 and teleconnection indices and patterns were used. The start dates of spring flood at the Southern Buh River near Lelitka village are characterized by significant variability. The difference between late and early dates of spring flood is 65 days. 34 teleconnection indices and patterns were used, which the National Oceanic & Atmospheric Administration USA were determined. The best regression relationship with the start dates of spring flood at the South Buh River - Lelitka village water gauge was obtained for the indices WPAC850 in January and AAO in December. The technique corresponds to the "satisfactory" category for the probability of not exceeding the permissible error, which allows it to be used for forecasting. So, the teleconnection indices and patterns can be quite successfully used in the long-term forecasting of the start date of spring flood.

Keywords: spring flood, long-term forecasting, teleconnection indices, Southern Buh River, forecasting equations

Надійшла до редколегії 11.01.2023

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.1.4>

УДК 556.06+.537

Ободовський О. Г.¹, Корнієнко В. О.², Перевозчиков І. М.²

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

² Український гідрометеорологічний центр ДСНС України

СУЧАСНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ СТІЙКОСТІ РУСЕЛ РІЧОК РАЙОНУ РІЧКОВОГО БАСЕЙНУ ДНІПРА (В МЕЖАХ УКРАЇНИ)

Проведено дослідження та класифікування різних підходів в оцінюванні стійкості річкових русел. Підтверджено та виконано додаткове обґрунтування ерозійного показника стійкості Ло. Виконано ретроспективний аналіз його просторово-часових змін коефіцієнта ерозії та ерозійного показника стійкості за даними 17 репрезентативних гідрологічних постів, розташованих на річках району річкового басейну Дніпра (в межах України). Результати досліджень засвідчили слабку змінність показника Ло за останні 30 роки з наявністю тенденції до зростання стійкості русел за цим показником. Порівняльний аналіз із іншими показниками стійкості засвідчим найкраще співпадіння між ерозійним показником стійкості русел Ло і показником відносної інваріантності Мх, які можна рекомендувати для подальшого використання при дослідженні процесів руслоформування вказаних річок.

Ключові слова: стійкість русел річок, ерозійний показник стійкості, коефіцієнт ерозії, показником відносної інваріантності, порівняльний аналіз показників стійкості.

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2023. № 1 (67)