In the course of the research regularities in long-term variability of average annual water runoff of rivers of the Siverskyi Donets Basin were identified, cyclic component was identified, duration and nature of water runoff cycles and within them low and wet phases were identified. The prediction of annual water runoff in the near future was done.

Joint autocorrelation and spectral analysis allowed to identify a mutually confirmed cycle lasting 19-24 years for the rivers of the Siverskyi Donets Basin. According to the criterion of series, it is established that the periods of low phase can be 9 ± 2 years. Knowing the length of the cycles, water-specific phases were identified. As a result, for the rivers of the Siverskyi Donets Basin it was found that the runoff in the wet phase exceeds the norm by an average of 18%, and the runoff in the low phase is lower by an average of 17% than normal. Therefore, the difference in river water phases is $\approx 35\%$.

Forecast estimates show that by 2020 ± 2 , the rivers of the basin will have a low phase, which began in 2008. A wet phase is expected from 2020 ± 2 to 2029 ± 2 , then in the period 2030 ± 2 - 2038 ± 2 years - low phase. In the period from 2039 ± 2 to 2048 ± 2 we should expect an increase of annual water runoff of the rivers of the Siverskyi Donets Basin.

Key words: *Seversky Donets river basin, water runoff, variability, cyclic fluctuations, low-water and multi-water phases of water content, stochastic analysis, forecast water estimates.*

Надійшла до редколегії 09.11.2021

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.4.3>

УДК 556.5

Кущенко Л.В.

Одеський державний екологічний університет, м. Одеса

ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФІЦИТІВ ВОДНОСТІ ТА ІНДЕКСІВ ПОСУХИ ДЛЯ ЗОНИ НЕДОСТАТНЬОЇ ВОДНОСТІ УКРАЇНИ

Представлені результати дослідження формування дефіцитів водності на річках в зоні недостатньої водності України. Для визначення дефіцитів використаний «пороговий» метод, який передбачає порівняння щоденних витрат води у меженний період з величинами мінімального стоку заданої ймовірності перевищення. Проаналізовано динаміку дефіцитів у часі та їх інтенсивність тривалість та об'єми. В дослідженні також представлені результати розрахунку різноманітних індексів посух та проаналізовано їх взаємозв'язок зі витратами води в період літньо-осінньої межени.

Ключові слова: *мінімальний стік річок, дефіцит водності, межень, індекси посух.*

Вступ. З кожним роком набувають все більшої актуальності дослідження щодо значного впливу зміни клімату (підвищення температури повітря, збільшення випаровування з водної поверхні, зменшення кількості опадів) на водні ресурси України, що призводить до їх дефіциту та може значно обмежити розвиток секторів економіки, які залежать від водних ресурсів.

За численними дослідження провідних українських та закордонних вчених [2, 4-5, 8, 10-11] очікується що найбільшого впливу кліматичних змін слід очікувати саме в зоні недостатньої водності, в межах якої величина випаровування за рік у сукупності з інфільтрацією в середньому за багаторічний період перевищує кількість атмосферних опадів, яка в Україні в основному відповідає степовій зоні.

Степова зона розташована у південній частині України та займає майже 40% її території. На півночі межує з лісостеповою зоною, на півдні простягається до узбережжя Чорного, Азовського морів та передгір'я Кримських гір.

На території цієї зони протікають річки, що належать до басейну нижньої течії Дністра, Дніпра, Південного Бугу та Сіверського Дінця.

Як відомо, водні ресурси будь-якої території визначають запаси поверхневих та підземних вод в її межах [9]. Найменші значення цього запасу спостерігаються під час межени, коли річки отримують живлення за рахунок підземних вод, а на Півдні України часто пересихають. Мінімальний стік спостерігається на річках досліджуваної території у літньо-осінній та зимовий періоди, й в окремі роки в цьому випадку може спостерігатися дефіцит водності. Поняття дефіцит водних ресурсів передбачає відсутність достатніх запасів водних ресурсів для забезпечення потреб населення на розглядуваній території. В період кліматичних змін, який характеризується суттєвим перерозподілом водних ресурсів, як

територіально, так й в межах гідрологічного року, визначення характеристик дефіцитів є вельми актуальною науковою та практичною задачею [3, 6]. Крім дефіциту водності для характеристики маловоддя на річках можна використовувати також індекси посух, які знайшли широке застосування в метеорології, агрометеорології та гідрології.

Актуальність теми дослідження. Посухи, й як результат дефіцит водності річок, є природною складовою клімату і можуть відбуватися в будь-яких кліматичних умовах по всьому світу, навіть у пустелях та тропічних лісах. Після публікації доповіді Міжурядової групи експертів із зміни клімату про екстремальні явища [13] питання про кількісну оцінку збитків від екстремальних кліматичних явищ, таких як посухи, набуло особливу значущість для здійснення політик, особливо стосовно порядку денного дня Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату. Крім цього, у зв'язку з масштабами збитків, що викликаються цим явищем, поліпшення моніторингу та боротьби з посухою буде мати першорядне значення для реалізації Сендайської рамкової програми щодо зниження ризику лиха на період 2015–2030 років та Цілей у сфері сталого розвитку.

Основною **метою** є дослідження дефіцитів водності та їх тривалості на річках зони недостатньої водності України та визначення метеорологічних та гідрологічних індексів посухи.

Методи та результати дослідження. Для визначення дефіцитів водності на річках зони недостатньої водності України, використано «пороговий» метод, який запропонував В. Євдзевичем [16]. Згідно цього методу, визначаються значення мінімального стоку заданої забезпеченості нижче яких стік вважається межею та характеризується дефіцитом водності. Дефіцитним періодом називається період протягом якого спостерігається зниження витрат води нижче «порогового».

Що стосується індексів посух, то у довіднику ВМО [14] відмічається, що як не існує універсального визначення поняття посухи, так не існує і єдиного індексу або показника, який міг би характеризувати всі типи посух, кліматичні режими та сектори, що піддаються впливу посухи, та застосовуватися до них. Жоден показник або індекс не може використовуватись для визначення належних заходів для всіх типів посух, з урахуванням кількості та різноманітності секторів, що піддаються впливу. Бажано використовувати різні порогові значення з різними комбінаціями вхідних даних. Застосування сучасних показників виявлення посух, які враховують як мінливість поля опадів, так і температурні аномалії, дає можливість встановити регіональні особливості розподілу посух та їх ступінь екстремальності [1].

Окремо розглянемо індекси гідрологічних посух. За оцінкою експертів ВМО, більшість з цих індексів віднесено до «жовтої категорії», отже є більш складними у використанні у порівнянні з метеорологічними. Для розрахунку гідрологічного індексу посухи Палмера PHDI необхідні ряди даних без пропусків; стандартизований індекс запасу водойми (SRSI), стандартизований індекс річкового стоку (SSFI) та стандартизований індекс рівня води (SWI) є модифікаціями SPI, серед яких слід окремо виділити SDI, який є індексом стоку у період посухи. Індекс SDI розроблений Налбантісом і Цакіріс [12] з використанням методології та розрахунків SPI в якості основи, як вже було сказано вище. В якості характеристик використовуються місячні значення річкового стоку та методи нормування, пов'язані з SPI, для отримання індексу посухи на основі даних про річковий стік. При тому, що результати обчислень схожі на результати SPI, перевагою є те, що тут можуть розглядатися окремо як вологі, так і сухі періоди, і навіть їх інтенсивність. Індекс SDI використовується для моніторингу та визначення явищ посухи на основі даних конкретного гідрометричного посту, але може не завжди бути репрезентативним для басейнів більшої площі.

Для розрахунку, оцінки та моніторингу посух використовується *калькулятор індексів посухи* (DrinC) [15]. Цей програмний пакет, розроблений для розрахунку таких індексів посухи, як індекс дослідження посухи (RDI), індекс посухи річкового стоку (SDI), стандартизований індекс опадів (SPI), а також сільськогосподарський стандартизований індекс опадів (aSPI) та ефективний досліджуваний індекс посухи (eRDI).

Визначення дефіцитів водності. В якості вихідної інформації використано багаторічні дані середньодобових та середньомісячних мінімальних витрат води у період зимової та літньо-осінньої межени на річках, що розташовані в різних районах басейнів річок

та суттєво відрізняються за площею водозбору, а саме р. Південний Буг – смт Олександрівка ($F=46200 \text{ км}^2$), р. Кінська – м. Пологи ($F=353 \text{ км}^2$), р. Обитічна – м. Приморськ ($F=1300 \text{ км}^2$).

В якості порогових значень взято мінімальні витрати 90 % та 97% забезпеченості, розраховані на базі трьохпараметричного гамма розподілу Крицького-Менкеля [7].

За період спостережень з 1953 по 2018 р. включно, проаналізовані добові витрати води в періоди зимової та літньо-осінньої межени. У тих випадках, коли значення стоку води виявлялися меншими за величини $Q_{90\%}$ або $Q_{97\%}$, вони рахувалися як дефіцитні (90%) або екстремально дефіцитні (97%). Період, впродовж якого спостерігались такі витрати, визначений як період дефіциту водності. В табл.1-3 для періоду літньо-осінньої межени представлені характеристики дефіцитів, зокрема, визначено: число таких подій по десятирічках, частота виникнення, середній об'єм, тривалість та інтенсивність.

Таблиця 1. Характеристика дефіцитів водності у період літньо-осінньої межени на р. Південний Буг – смт Олександрівка

Період	Число років з даними спостережень	Число подій дефіцитів	Частота виникнення подій, (випад./рік)	Середній об'єм, $\text{м}^3/\text{с}/\text{рік}$	Середня тривалість діб/рік	Середня інтенсивність подій, $\text{м}^3/\text{с}/\text{добу}$
1935-1944	10	4	0,4	556,1	5,7	97,6
1945-1954	10	11	1,1	1025,93	8,4	122,1
1955-1964	10	15	1,5	1457,2	13,9	104,8
1965-1974	10	2	0,2	158,35	1,4	113,1
1975-1984	10	0	0	0	0	0,0
1985-1994	10	1	0,1	109,2	0,9	121,3
1995-2004	10	1	0,1	40,3	0,3	134,3
2005-2018	14	36	2,6	4431,61	39,7	111,6

Таблиця 2. Характеристика дефіцитів водності у період літньо-осінньої межени на р. Кінська – м. Пологи

Період	Число років з даними спостережень	Число подій дефіцитів	Частота виникнення подій, (випад./рік)	Середній об'єм, $\text{м}^3/\text{с}/\text{рік}$	Середня тривалість діб/рік	Середня інтенсивність подій, $\text{м}^3/\text{с}/\text{добу}$
1953-1962	10	9	0,9	3,1	19,4	0,2
1963-1972	10	5	0,5	0,7	1,8	0,4
1973-1982	10	0	0	0	0	0,0
1983-1992	10	13	1,3	13,6	29,4	0,5
1993-2002	10	25	2,5	12,4	23,8	0,5
2003-2018	16	2	0,1	1,6	1,9	0,8

Таблиця 3. Характеристика дефіцитів водності у період літньо-осінньої межени на р. Обитічна – м. Приморськ

Період	Число років з даними спостережень	Число подій дефіцитів	Частота виникнення подій, (випад./рік)	Середній об'єм, $\text{м}^3/\text{с}/\text{рік}$	Середня тривалість діб/рік	Середня інтенсивність подій, $\text{м}^3/\text{с}/\text{добу}$
1950-1959	10	27	2,7	7,4	47,1	0,2
1960-1969	10	0	0	0	0	0,0
1970-1979	10	11	1,1	4,6	18,4	0,3
1980-1989	10	3	0,3	1,0	2,9	0,4
1990-1999	10	1	0,1	0,04	0,1	0,0
2000-2009	10	0	0	0	0	0,0
2010-2018	8	1	0,13	0,15	0,375	0,4

Аналогічні характеристики для періоду зимової межени представлені в табл.4-6. Графічне представлення хронологічного ходу об'ємів стоку та дефіцитів (90%) у період літньо-осінньої межени на річках досліджуваної території показано на рис. 1 та у період зимової межени на рис.2.

Таблиця 4. Характеристика дефіцитів водності у період зимової межени на р. Південний Буг – смт Олександрівка

Період	Число років з даними спостережень	Число подій дефіцитів	Частота виникнення подій, (випад./рік)	Середній об'єм, м³/с/рік	Середня тривалість діб/рік	Середня інтенсивність подій, м³/с/добу
1935-1944	10	0	0,0	0,0	0,0	0,0
1945-1954	10	11	1,1	2537,8	148,0	17,1
1955-1964	10	17	1,7	1963,0	99,0	19,8
1965-1974	10	2	0,2	112,1	5,0	22,4
1975-1984	10	0	0,0	0,0	0,0	0,0
1985-1994	10	0	0,0	0,0	0,0	0,0
1995-2004	10	0	0,0	0,0	0,0	0,0
2005-2018	14	19	1,4	933,5	42,0	22,2

Таблиця 5. Характеристика дефіцитів водності у період зимової межени на р. Кінська – м. Пологи

Період	Число років з даними спостережень	Число подій дефіцитів	Частота виникнення подій, (випад./рік)	Середній об'єм, м³/с/рік	Середня тривалість діб/рік	Середня інтенсивність подій, м³/с/добу
1953-1962	10	29	2,9	24,6	35,8	0,7
1963-1972	10	4	0,4	2,3	1,3	1,7
1973-1982	10	0	0	0	0	0,0
1983-1992	10	9	0,9	9,3	9,7	1,0
1993-2002	10	8	0,8	17,6	21,1	0,8
2003-2018	16	13	0,8	27,2	12,3	2,2

Таблиця 6. Характеристика дефіцитів водності у період зимової межени на р. Обитічна – м. Приморськ

Період	Число років з даними спостережень	Число подій дефіцитів	Частота виникнення подій, (випад./рік)	Середній об'єм, м³/с/рік	Середня тривалість діб/рік	Середня інтенсивність подій, м³/с/добу
1950-1959	10	25	2,5	42,9	42,4	1,0
1960-1969	10	0	0	0	0	0,0
1970-1979	10	2	0,2	1	0,4	2,5
1980-1989	10	2	0,2	2,2	1,1	2,0
1990-1999	10	1	0,1	0,5	0,2	2,4
2000-2009	10	4	0,4	7,4	3,5	2,1
2010-2018	8	5	0,63	18,4	8	2,3

Додатково також оцінено екстремальні дефіцити (97%) для р. Південний Буг – смт Олександрівка (табл.7-8), а їх хронологічний хід представлені у графічному вигляді на рис.3.

а)

б)

в)

Рис. 1. Хронологічний хід об'ємів стоку та дефіцитів 90% у період літньо-осінньої межени на річках зони недостатньої водності

а)

б)

в)

Рис. 2. Хронологічний хід об'ємів стоку та дефіцитів 90% у період зимової межені на річках зони недостатньої водності України

Таблиця 7. Характеристика дефіцитів водності у період літньо-осінньої межені на р. Південний Буг – смт Олександрівка (97%)

Період	Число років з даними спостережень	Число подій дефіцитів	Частота виникнення подій, (випад./рік)	Середній об'єм, м³/с/рік	Середня тривалість діб/рік	Середня інтенсивність подій, м³/с/добу
1935-1944	10	2	0,2	137,4	1,9	72,3
1945-1954	10	2	0,2	113	1,3	86,9
1955-1964	10	9	0,9	379,7	4,8	79,1
1965-1974	10	1	0,1	4,8	0,1	48,0
1975-1984	10	0	0	0	0	0,0
1985-1994	10	0	0	0	0	0,0
1995-2004	10	0	0	0	0	0,0
2005-2018	14	10	0,7	548,8	4,9	113,0

Таблиця 8. Характеристика дефіцитів водності у період зимової межені на р. Південний Буг – смт Олександрівка (97%)

Період	Число років з даними спостережень	Число подій дефіцитів	Частота виникнення подій, (випад./рік)	Середній об'єм, м³/с/рік	Середня тривалість діб/рік	Середня інтенсивність подій, м³/с/добу
1935-1944	10	0	0	0	0	0,0
1945-1954	10	5	0,5	954	75	12,7
1955-1964	10	7	0,7	289,2	19	15,2
1965-1974	10	0	0	0	0	0,0
1975-1984	10	0	0	0	0	0,0
1985-1994	10	0	0	0	0	0,0
1995-2004	10	0	0	0	0	0,0
2005-2018	14	1	0,1	29,9	2	15,0

Рис. 3. Хронологічний хід середньої тривалості та інтенсивності екстремальних дефіцитів водності (97%) у період зимової (а) та літньо-осінньої межені на р. Південний Буг – смт Олександрівка

Аналізуючи отримані діаграми, можна відмітити, що природно, найбільший дефіцит водності спостерігався у маловодні роки (нижче норми), а відповідно, відсутність дефіциту характерна для багатоводних періодів (вище норми). Так для р. Південний Буг- смт Олександрівка в період літньо-осінньої межені спостерігалось два періоди с суттєвими дефіцитами водності – це десятиріччя 1945-1954 рр. з середнім об'ємом дефіциту 1025,93 м³/с/рік та період 2005-2018 рр., коли об'єм дефіциту є найбільшим за роки спостережень –

4431,61 м³/с/рік (табл.1). Цікавим є факт, коли найбільша середня інтенсивність 134,3 м³/с/добу відмічена у десятиріччя, яке передувє періоду з найбільшим сумарним дефіцитом. Отже в даному випадку має місце багаторічне накопичення дефіциту, яке відбувається на фоні багаторічної маловодної фази водності (рис.1 а, значення середньорічних об'ємів, які розташовані нижче пунктирної червоної лінії (норми стоку)). Інша ситуація спостерігається на р.Кінська –с. Пологи (табл.2, рис.1б) та для р. Обитічна – м. Приморськ, де навпаки, починаючи с 1990-х років, навіть в маловодні роки (табл.3, рис.1.в) практично не спостерігається дефіцитів водності.

В період зимової межені, природно, дефіцити водності менші за об'ємом, але також можуть досягати великих значень. Так для р. Південний Буг- смт Олександрівка протягом двох десятиріч у минулому сторіччі (1945-1964рр.) спостерігались суттєві дефіцити водності, а їх середня інтенсивність досягла максимуму - 22,4 м³/с/добу – наприкінці наступного десятиріччя 1965-1974рр. Надали, до 2005 року дефіцити взагалі не відмічені, але за період 2005-2018рр. знов відмічено суттєва величина дефіциту водності на фоні переходу стоку в маловодну фазу (табл.4, рис.2а). На р. Кінська –с. Пологи (табл.5, рис.2б), також в останні роки спостерігається суттєвий дефіцит водності в період зимової межені з найбільшим об'ємом за останнє десятиріччя. На відміну від періоду літньо-осінньої межені, на р. Обитічна – м. Приморськ також має місце незначний дефіцит водності на фоні маловоддя (табл.6, рис.2.в).

Для р. Південний Буг- смт Олександрівка також додатково оцінені екстремальні дефіцити 97% забезпеченості (табл.7-8, рис.3).

Як видно з представлених таблиць і діаграм, в період літньо-осінньої межені за останній розрахунковий період (2005-2018рр.) відмічається найбільша інтенсивність екстремального дефіциту водності, в зимовий період також присутній дефіцит, але він не досягає суттєвих значень.

Таким чином, аналіз наявності дефіциту водності на річках зони недостатньої водності, показує що дійсно ця проблема існує і в останні роки стає все більш нагальною. Дефіцит водності на річках виникає внаслідок посилення посушливості клімату, отже представляє інтерес оцінити цей процес за допомогою індексів посух.

Визначення індексів посух. За допомогою калькулятора посух DrinC для річок досліджуваної території розраховано індекс посухи річкового стоку (SDI), стандартизований індекс опадів (SPI), сільськогосподарський стандартизований індекс опадів (aSPI), індекс дослідження посухи (RDI), ефективний досліджуваний індекс посухи (eRDI). Як відмічають розробники DrinC [15], RDI був розроблений для того, щоб оцінити серйозність посухи та підійти до дефіциту води більш точно, як свого роду баланс між входом і виходом у водній системі. Тяжкість посухи можна розділити на такі класи, як легка (-0,5 до -1,0) помірна (-1,0 до -1,5), важка (-1,5 до -2,0) і екстремальна (< -2,0).

Для оцінки гідрологічної посухи для SDI так само, як і в індексах метеорологічної посухи SPI та RDI розглядаються п'ять станів, які позначаються цілим числом від 0 (без посухи) до 4 (екстремальна посуха) і визначаються за критеріями (табл.9).

Таблиця 9. Визначення станів гідрологічної посухи за допомогою SDI [14]

Стан	Категорія	Значення
0	Без посухи	$SDI \geq 0.0$
1	Легка посуха	$-1.0 \leq SDI < 0.0$
2	Помірна посуха	$-1.5 \leq SDI < -1.0$
3	Сильна посуха	$-2.0 \leq SDI < -1.5$
4	Екстремальна посуха	$SDI < -2.0$

В якості вихідної інформації використано багаторічні дані середньомісячних витрат води по 6 гідрологічних постах (р. Кодима – с. Катеринка, р. Інгул – с. Новогорожене, р. Інгул – с. Седнівка, р. Кінська – м. Пологи, р. Кільчень – с. Олександрівка Перша, р. Кальчик – с. Кременівка) та середньомісячну температуру повітря та місячні опади по 6 метеорологічних станцій (Одеса, Херсон, Кропивницький, Запоріжжя, Дніпро та Маріуполь).

Стандартизований індекс опадів (SPI) розроблений, щоб слугувати «універсальним

інструментом моніторингу та аналізу посухи». Позитивні значення SPI вказують, що кількість опадів більше, ніж середня, а від'ємні значення – менше, ніж середня кількість опадів. Оскільки SPI нормований, більш вологий і сухий клімат можна представити однаково. Хоча SPI може відстежувати вологі періоди, він зазвичай використовується для оцінки тривалості та масштабу подій посухи. Інтерпретація отриманих значень представлена в табл. 10.

Таблиця 10. Класифікація умов посухи за індексом SPI [14]

Значення	Категорія
≥ 2.00	Екстремально вологий
1.50 до 1.99	Сильно вологий
1.00 до 1.49	Помірно вологий
0 до 0.99	Близько нормального (злегка вологий)
0 до - 0.99	Близько нормального (легка посуха)
- 1.00 до - 1.49	Помірна посуха
- 1.50 до - 1.99	Сильна посуха
$\leq - 2$	Екстремальна посуха

За допомогою DrinC для зони недостатньої водності України розраховано індекс посухи річкового стоку (SDI), стандартизований індекс опадів (SPI), індекс дослідження посухи (RDI), а також сільськогосподарський стандартизований індекс опадів (aSPI) та ефективний досліджуваний індекс посухи (eRDI).

Графічне представлення отриманих індексів посух показано на рис.4 для р. Кодима – с. Катеринка (а), р. Інгул – с. Новогорожене (б), р. Інгул – с. Седнівка (в), р. Кінська – м. Пологи (г), р. Кільчень – с. Олександрівка Перша (д) та р. Кальчик – с. Кременівка (е); на графіках також показані витрати води під час літньо-осінньої межени.

Аналізуючи отримані діаграми, можна відмітити, що дані індекси дають можливість дослідити кліматичні та гідрологічні тенденції, охарактеризувати посуху, оцінити тяжкість посухи та сприяють ранній оцінці наслідків посухи. Зокрема, індекс SDI добре корелює з витратами води, що відкриває можливості прогнозування стоку межени.

Аналіз представлених графіків показує, що в межах Півдня України не є однорідною ситуація щодо формування гідрологічних посух. Так, за даними метеостанції Одеса та гідрологічного поста р. Кодима - с. Катеринка у 2006-2007 роках спостерігалась сильна гідрологічна посуха, яка надалі змінилась легкою посухою у 2014-2015рр.

Зовсім інша ситуація стала для р. Інгул - с. Новогорожено (м/с Херсон). Тут протягом практично десятиріччя (1991-2000рр.) спостерігалась посуха, яка в 1993-1994 рр. відноситься до категорії сильної посухи. Після 2000 року посуха для цього району не відмічається. Якщо використовувати дані м/с Кропивницький та г/п р. Інгул - с. Седнівка, то картина зовсім інша – тут лише у 2014-2015рр. спостерігалась легка посуха. За даними м/с Запоріжжя та г/п р. Кінська - м. Пологи з 2011 р. почалась посуха, яка поки є легкою. Для р. Кільчень - с. Олександрівка Перша (м/с Дніпро) протягом 2012-2014рр. спостерігалась сильна посуха, схожа ситуація й для р. Кальчик – с. Кременівка, але посуха там досягла лише категорії «легка».

Проведений аналіз показує, що індекси посух не можуть повністю охарактеризувати ситуацію з водністю, зокрема, з її дефіцитом, але є додатковим інструментом аналізу ситуації в досліджуваних басейнах, а також прогнозу тенденцій водності при використанні модельних значень температури та опадів. Слід також відмітити, що індекс агрометеорологічної засухи разом зі широко відомим SPI, може також використовуватись в якості показника загальної зволоженості території, та має перспективи використання в прогнозних методиках. Що стосується SDI, то оскільки тут використовуються витрати води, то він безумовно добре корелює зі стоком, але його використання водночас обмежується необхідністю мати прогнозні витрати води.

В подальших дослідженнях планується із застосуванням багатомірного статистичного аналізу дослідити кореляційні зв'язки між стоком межени, дефіцитами водності та індексами посух з метою розробки регіональної методики визначення мінімального стоку річок зони недостатньої водності України.

Рис. 4. Хронологічний хід індексів посух в зоні недостатньої водності України

Висновки. У період сучасних кліматичних змін більша частина території України знаходиться в зоні значного ризику через дефіцит водних ресурсів та посилення посухи, який за прогнозними кліматичними тенденціями буде посилюватися в найближчі 30-50 років.

Дослідивши хід об'ємів стоку та дефіцитів можна відмітити, що в останні роки рівень води у річках України не лише протягом літнього періоду але і у зимовий є нижчим за норму. Разом із частішою посухою та зменшенням опадів ситуація може лише погіршуватися.

Для передчасного попередження посухи для степової зони можна рекомендувати програмний пакет DrinC.

Представлені приклади показують можливість використання індексів посух для гідрологічних розрахунків і прогнозів, перш за все меженного стоку, але потребують подальшого вивчення та аналізу взаємозв'язків між різноманітними індексами посух та станом водних ресурсів окремих територій.

Список літератури

1. Ермоленко, Н. С. та Хохлов, В. М. Оцінка майбутнього розподілу посух в Україні у період 2011–2040 рр. Фізична географія та геоморфологія, 4(80). С. 133-138.
2. Зміни поверхневого річкового стоку в Україні до 2050 р. за проекцією регіональної кліматичної моделі РЕМО / С.В. Краковська, Н.В. Гнатюк // Геоінформатика. 2013. № 3. С. 76-81.
3. Кущенко Л.В. Оцінка дефіцитів водності та їх тривалості в басейні Південного Бугу // Матеріали VIII Міжнародної наукової конференції молодих вчених «Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» (26 – 27 листопада 2020 року). Харків. 2020. С. 80-82.
4. Лобода Н. С., Козлов М. О. Оцінка водних ресурсів річок України за середніми статистичними моделями траєкторій змін клімату RCP4.5 та RCP8.5 у період 2021-2050 роки. // Український гідрометеорологічний журнал, 2020. №25. с. 93-104. ISSN 2311-0902, 2616-7271
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 6-14. DOI.org/10.15407/ugz2021.01.006
6. Овчарук В.А., Кущенко Л.В. Просторово-часовий аналіз меженного стоку річок зони недостатньої водності України. Actual problems of natural sciences: modern scientific discussions: Collective monograph. Riga, Latvia: "Baltija Publishing", 2020. P. 223-240 doi.org/10.30525/978-9934-26-025-4-11
7. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик (СНГП 2.01.14-83). Ленинград : Гидрометеоиздат, 1984. 447 с.
8. Сніжко С.І., Ободовський О.Г., Шевченко О.Г., Дідовець Ю.С., Куприков І.В. Технологічна схема використання водно-балансової моделі Турка для регіональних симуляцій водного стоку на довгострокову перспективу / Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Київ. 2019. №3 (54). 80с.
9. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1964. 221с.
10. Didovets I., Lobanova A., Bronstert A., Snizhko S, Maule C.F., Krusanova V. Assessment of climate change impacts on water resources in three representative Ukrainian catchments using eco-hydrological modeling. Water (Switzerland).2017. №9(3), 204.
11. Lobanova A., Lierch S., Nunes J.P., Didovets I., Stagl I., Huang S., Koch H., Rivas Lopez M. del R., Maule C.F., Hattmann F., Krusanova V. Hydrological impacts of moderate and high-end climate change across European river basin. Journal of Hydrology: Regional Studies. 2018. Vol. 18. P.15-30.
12. Nalbantis I., Tsakiris G. Assessment of hydrological drought revisited. Water Resources Management. 2008. 23(5). Pp. 881–897
13. Special Report of Working Groups I and II of the IPCC. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation / Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge and New York, Cambridge University Press 2012.
14. Svoboda M. and Fuchs B.A. Handbook of Drought Indicators and Indices. Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2 / World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP). Geneva 2016. https://www.droughtmanagement.info/literature/GWP_Handbook_of_Drought_Indicators_and_Indices_2016.pdf
15. Tigkas D., Vangelis H., Tsakiris G. DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. Earth Science Informatics. 2015. Vol. 8(3). Pp. 697-709. DOI: 10.1007/s12145-014-0178-y
16. Yevjevich V. An objective approach to definition and investigations of continental hydrological droughts. Fort Collins, 1967. (Hydrol. Pap. Colorado State Univ.; N 23).

References

1. Yermolenko N. S. ta Khokhlov V. M. Otsinka maibutnoho rozpodilu posukh v Ukraini u period 2011–2040 rr [Assessment of future droughts in Ukraine during 2011–2040]. Fizychna heohrafiia ta heomorfolohiia, 4(80). S. 133-138 [in Ukrainian].
2. Zminy poverkhnevoho richkovoho stoku v Ukraini do 2050 r. za proektsiieiu rehionalnoi klimatychnoi modeli REMO [Changes of surface river runoff in Ukraine till 2050 based on the projection of regional climate model Pemo] / S.V. Krakovska, N.V. Hnatiuk // Heoinformatyka. 2013. № 3. S. 76-81 [in Ukrainian].
3. Kushchenko L.V. Otsinka defitsytiv vodnosti ta yikh tryvalosti v baseini Pivdennoho Buhu [Assessment of water deficiencies and their duration in the Southern Bug basin] // Materialy VIII Mizhnarodnoi naukovaio konferentsii molodykh vchenykh «Ekolohiia, neoekolohiia, okhorona navkolyshnoho seredovyshcha ta zbalansovane pryrodokorystuvannia» (26 – 27 lystopada 2020 roku). Kharkiv. 2020. S. 80-82 [in Ukrainian].
4. Loboda N. S., Kozlov M. O. Otsinka vodnykh resursiv richok Ukrainy za serednimy statystychnymy modeliamy traektorii zmin klimatu RCP4.5 ta RCP8.5 u period 2021-2050 roky

[Assessment of water resources of the Ukrainian rivers according to the average statistical models of climate change trajectories RCP4.5 and RCP8.5 over the period of 2021 to 2050]. // *Ukrainskyi hidrometeorologichnyi zhurnal*, 2020. №25. S. 93-104. DOI: <https://doi.org/10.31481/uhmj.28.2021.05> [in Ukrainian].

5. *Lukianets O.I., Obodovskyi O.H., Hrebin V.V., Pochaievets O.O., Korniienko V.O.* Prostorovi zakonomirnosti zminy serednoho richnoho stoku vody richok Ukrainy [Spatial regularities of change in average annual water flow of rivers of Ukraine] // *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal*. 2021. №1. 6-14. DOI.org/10.15407/ugz2021.01.006 [in Ukrainian].

6. *Ovcharuk V.A., Kushchenko L.V.* Prostorovo-chasovyi analiz mezhennoho stoku richok zony nedostatnoi vodnosti Ukrainy [Spatial-temporal analysis of the low runoff of rivers the zone of insufficient water content of Ukraine]. Actual problems of natural sciences: modern scientific discussions: Collective monograph. Riga, Latvia : "Baltija Publishing", 2020. P. 223-240. doi.org/10.30525/978-9934-26-025-4-11 [in Ukrainian].

7. Posobie po opredeleniju raschetnykh gidrologicheskikh harakteristik [A guide to determine the calculated hydrological characteristics] (SNIIP 2.01.14-83). Leningrad : Gidrometeoizdat, 1984. 447 s. [in Russian].

8. *Snizhko S.I., Obodovskyi O.H., Shevchenko O.H., Didovets Yu.S., Kuprykov I.V.* Tekhnologichna skhema vykorystannia vodno-balansovoi modeli Turka dlia rehionalnykh symulatsii vodnoho stoku na dovhostrokovu perspektyvu [Technological scheme of using Turk's water balance model for regional simulations of water runoff in the long run] / *Hidrologiia, hidrokhimiia i hidroekologiia*. Kyiv. 2019. №3 (54). S. 80-82 [in Ukrainian].

9. *Chebotaiev A.Y.* Hydrologicheskii slovar [Hydrological vocabulary]. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1964. 221 s. [in Russian].

10. *Didovets I., Lobanova A., Bronstert A., Snizhko S., Maule C.F., Krusanova V.* Assessment of climate change impacts on water resources in three representative Ukrainian catchments using eco-hydrological modeling. *Water (Switzerland)*. 2017. №9(3), 204.

11. *Lobanova A., Lierch S., Nunes J.P., Didovets I., Stagl I., Huang S., Koch H., Rivas Lopez M. del R., Maule C.F., Hattmann F., Krusanova V.* Hydrological impacts of moderate and high-end climate change across European river basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2018. Vol. 18. P.15-30.

12. *Nalbantis I., Tsakiris G.* Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*. 2008. 23(5). Pp.881–897.

13. Special Report of Working Groups I and II of the IPCC. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation / Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge and New York, Cambridge University Press. 2012.

14. *Svoboda M. and Fuchs B.A.* Handbook of Drought Indicators and Indices. Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2 / World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP). Geneva 2016. https://www.droughtmanagement.info/literature/GWP_Handbook_of_Drought_Indicators_and_Indices_2016.pdf

15. *Tigkas D., Vangelis H., Tsakiris G.* DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. *Earth Science Informatics*. 2015. Vol. 8(3). P. 697-709. DOI: 10.1007/s12145-014-0178-y

16. *Yevjevich V.* An objective approach to definition and investigations of continental hydrological droughts. Fort Collins, 1967. (Hydrol. Pap. Colorado State Univ.; N 23).

Исследование дефицитов водности и индексов засухи для зоны недостаточной водности Украины

Кущенко Л.В.

Представлены результаты исследования формирования дефицитов водности на реках в зоне недостаточной водности Украины. Для определения дефицитов использован «пороговый» метод, предполагающий сравнение ежедневных расходов воды в межень с величинами минимального стока заданной вероятности превышения. Проанализирована динамика дефицитов во времени и их интенсивность, продолжительность и объемы. В исследовании также представлены результаты расчета различных индексов засух и проанализирована их взаимосвязь с расходами воды в период летне-осенней межени.

Ключевые слова: минимальный сток рек, дефицит водности, межень, индексы засух.

Study of water availability deficits and drought indices for the zone of insufficient water availability in Ukraine

Kushchenko L.V.

The study of the formation of water deficits on rivers in the zone of the insufficient water content of Ukraine is presented in the article. To determine the deficits, the "threshold" method was used, which involves comparing the daily water discharges in the low water period with the values of the minimum runoff of a given probability of exceeding. Long-term data of average daily and average monthly minimum water discharges during the winter and summer

autumn period on rivers located in different areas of river basins and significantly differing in the catchment area, namely the Southern Bug River - Oleksandrivka ($A = 46200 \text{ km}^2$), Kinska River - Pologi ($A = 353 \text{ km}^2$), Obitichna River - Primorsk ($A = 1300 \text{ km}^2$) for the observation period from 1953 to 2018 inclusive was used. In cases where runoff values were less than Q90% or Q97%, they were considered deficient (90%) or extremely deficient (97%). The dynamics of deficits in time are analyzed, and the number of such events by decades, frequency, average volume, duration, and intensity are determined. The chronological course of runoff volumes and deficits (90%) is graphically presented. Analyzing the obtained diagrams, it can be noted that naturally, the largest water deficit was observed in low-water years (below normal), and accordingly, the lack of deficit is characteristic of multi-water periods (above normal). Additionally, extreme deficits were also estimated (97%) for the Southern Bug River - Oleksandrivka township.

The study also presents the results of the calculation of various drought indices. For the rivers of the study area, using the DrinC drought calculator were calculated - the river runoff drought index (SDI), standardized precipitation index (SPI), agricultural standardized precipitation index (aSPI), drought research index (RDI), effective drought research index (eRDI), and its relationship with water discharges during the summer-autumn period was analyzed. Long-term data of average monthly water discharges at 6 hydrological gauge (Kodyma river - Katerynka river, Ingul river - Novogorozhene river, Ingul river - Sednivka village, Kinska river - Polohy town, Kilchen river - Oleksandrivka Persha village, Kalchuk river - Kremenivka village) were used as initial information and as also average monthly air temperature and monthly precipitation at 6 meteorological stations (Odessa, Kherson, Kropyvnytskyi, Zaporizhia, Dnipro, and Mariupol). Analyzing the obtained results, it can be noted that drought indices provide an opportunity to study climatic and hydrological trends, characterize drought, assess the severity of drought, and promote early assessment of the effects of drought. In particular, the SDI index correlates well with water discharges, which opens up opportunities for forecasting runoff in the dry period.

Key words: minimal river runoff, water deficit, low flow, drought indices.

Надійшла до редколегії 17.11.2021

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.4.4>

УДК 556.025

Сарнавський С.П., Гребін В.В.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

РЕТРОСПЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ РІЧКОВОЇ МЕРЕЖІ ЛІВОБЕРЕЖЖЯ СЕРЕДЬНОГО ДНІПРА (ВІД ПЕРШИХ ЗГАДОК ДО ДЕТАЛЬНИХ ОПИСІВ – IV СТ. ДО Н.Е - КІНЕЦЬ XVIII СТ.)

У статті подано історію досліджень лівих приток Середнього Дніпра. Розроблено періодизацію досліджень за хронологічними періодами від IV ст. до н.е. до кінця XVIII ст. Виокремлено періоди та ключові етапи досліджень річок впродовж відповідного періоду.

Висвітлено питання опису відповідних річок в період античності та середньовіччя, зокрема елементи географічного положення їх річкових систем, водного режиму, умов живлення, господарського використання, елементи річкових долин та органічний світ їхніх басейнів. Опрацьовано літописні дані та оригінальні праці вчених та політичних осіб цих часових періодів.

Детально висвітлюються питання географічного положення річкової мережі, кількості та назв річок досліджуваного суббасейну Середнього Дніпра за картами XVI-XVIII століть. Опрацьовано картографічні твори картографів Франції, Нідерландів, Італії, Московії. Особливу увагу звернено на картографічні праці французького картографа Гійома Левассера де Боплана, який розпочав новий етап у картографуванні головних лівих приток Середнього Дніпра та їхніх приток меншого порядку. На його картах вперше позначено 137 річок Лівобережжя Середнього Дніпра. Саме ним висунута теорія про формування русел лівих приток Середнього Дніпра.

Виокремлено інформацію за описовими даними Лівобережної України кінця XVIII ст. про морфометричні параметри, водний режим та господарське використання річок Лівобережжя Середнього Дніпра. Вперше подано повний каталог річок за описовими даними в межах річкових басейнів із зазначенням їхньої довжини.

Ключові слова: історія досліджень; Середній Дніпро; ліві притоки; річкова мережа; опис басейнів.

Вступ. Лівими притоками I порядку суббасейну Середнього Дніпра є 9 річок – Трубіж, Супій, Золотоношка, Ірклій, Коврай, Сула, Псел, Кагамлик та Ворскла. Якщо врахувати притоки II-V порядку довжиною від 10 км, то кількість річок в регіоні складе – 216, а якщо врахувати і найменші водотоки довжиною менше 10 км, то їх кількість зросте до 569. Загальна площа всіх лівих приток суббасейну Середнього Дніпра складає 66198 км². Сумарна середня багаторічна витрата води 9 зазначених вище річок регіону складає 120