

Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Географічний факультет
Кафедра гідрології та гідроекології

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія

Періодичний науковий збірник
№ 1 (67)

Київ

2023

ГІДРОЛОГІЯ, ГІДРОХІМІЯ І ГІДРОЕКОЛОГІЯ:

Період. наук. збірник / Гол. редактор В.К. Хільчевський. 2023. № 1(67). 103 с.

HYDROLOGY, HYDROCHEMISTRY AND HYDROECOLOGY:

Periodic scientific collection / The editor-in-chief Valentyn Khilchevskiy. 2023. № 1(67). 103 p.

У збірнику вміщено статті, в яких викладено методичні розробки, а також результати теоретичних та прикладних гідрологічних, гіdroхімічних і гідроекологічних досліджень, що виконано в різних установах України.

- Науковий збірник “Гідрологія, гіdroхімія і гідроекологія” засновано у травні 2000 р.
- Зареєстровано Міністерством юстиції України 8 жовтня 2009 р. (наказ № 1806/5).
- Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації KB № 25258-15198ПР від 02.09.2022 р.
- Наказом Міністерства освіти і науки України № 157 від 09.02.2021 р. включено до переліку наукових фахових видань України за спеціальністю 103 «Науки про Землю», галузь знань 10 «Природничі науки» (категорія Б).
- **Засновник:** Київський національний університет імені Тараса Шевченка.
- Виходить чотири рази на рік.
- Науковий збірник реферується УРЖ «Джерело» (угода з ІПРІ НАН України – засновником УРЖ «Джерело», №245/17 від 6 листопада 2017 р.).

*Рекомендовано до друку Вченою радою
географічного факультету
Київського національного університету
(16 березня 2023 р., протокол № 9)*

Адреса видавця та редколегії:

МСП 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 64,
географічний факультет Київського національного університету
імені Тараса Шевченка,
кафедра гідрології та гідроекології,
Лук'янець Ользі Іванівні (з позначкою “Науковий збірник”).

Телефон редколегії: (044) 521-32-29.

E-mail: hydrozbirnyk-knu@ukr.net
luko15_06@ukr.net

ISSN:2306-5680

© Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2023

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

Хільчевський Валентин Кирилович, доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

ЗАСТУПНИК ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА

Гребінь Василь Васильович, доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Горбачова Людмила Олександрівна, доктор географічних наук, *Український гідрометеорологічний інститут*

Линник Петро Микитович, доктор хімічних наук, *Інститут гідробіології НАН України*

Ободовський Олександр Григорович, доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Самойленко Віктор Миколайович, доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Сніжко Сергій Іванович, доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Хохлов Валерій Миколайович, доктор географічних наук, *Одеський державний екологічний університет*

Шакірзанова Жаннетта Рашидовна, доктор географічних наук, *Одеський державний екологічний університет*

Шевченко Ольга Григорівна, доктор географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Абсалон Даміан (Absalon Damian), DrSc (науки про Землю), *Сілезький університет у Катовицях, м. Катовиці, Польща*

Босіно Альберто (Bosino Alberto), PhD (науки про Землю), *Міланський університет Бікокка, м. Мілан, Італія*

Меркер Міхаель (Maerker Michael), DrSc (науки про Землю), *Центр досліджень сільськогосподарського ландшафту Лейбніца (ZALF), м. Берлін, Федеративна Республіка Німеччина*

Хабел Міхал (Habel Michał), PhD (науки про Землю), *університет Казимира Великого, м. Бидгощ, Польща*

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР

Лук'янець Ольга Іванівна, кандидат географічних наук, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

З М І С Т

ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Хільчевський В.К.

Водні ресурси країн Європи: характеристика на основі бази даних FAO-Aquastat 6

ГІДРОЛОГІЯ. ВОДНІ РЕСУРСИ

Лук'янець О.І., Ободовський О.Г., Москаленко С.О.

Середній річний стік води річок Українських Карпат у багатоводні та маловодні фази водності 17

Христюк Б.Ф., Горбачова Л.О.

Довгострокове прогнозування дати початку весняного водопілля у верхів'ї річки Південний Буг за телеконнекційними індексами 26

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

Сучасні умови формування стійкості русел річок району басейну Дніпра (в межах України) 33

Холоденко В.С., Басюк Т.О., Будз О.П., Гопчак І.В., Холоденко А.О.

Оцінка однорідності рядів спостережень за кількістю атмосферних опадів та рівнями води на водних об'єктах зони впливу Хмельницької АЕС..... 42

ГІДРОХІМІЯ. ГІДРОЕКОЛОГІЯ

Осипенко В.П.

Особливості розподілу легкоокиснюваних розчинених органічних речовин у воді різних ділянок водойм Києва 52

ГЕОГРАФІЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ГЛОБАЛЬНОГО ГІДРОЛОГІЧНОГО ЦИКЛУ

**Паламарчук Л.В., Осадчий В.І., Скриник О.А., Кирєєва З.М., Сіденко В.П.,
Ошурок Д.О., Скриник О.Я.**

Використання програмного забезпечення HOMER для контролю якості та гомогенізації рядів щомісячних сум опадів..... 58

Пясецька С.І.

Просторово-часове розповсюдження випадків масового відкладення ожеледі категорії НЯ (небезпечна) та СГЯ (стихийна) на території України протягом 1991-2020 рр..... 78

Порядок подання і оформлення статей до періодичного наукового збірника "Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія" 100

CONTENTS

GENERAL METHODS ASPECTS OF INVESTIGATION

Khilchevskyi V.K.

Water resources of European countries: characteristics based on the FAO-Aquastat database	6
---	---

HYDROLOGY. WATER RESOURCES

Lukianets O.I., Obodovskyi O.H., Moskalenko S.O.

Average annual water flow of the rivers of the Ukrainian Carpathians in the high-water and low-water phases of the water level	17
--	----

Khrystiuk B.F., Gorbachova L.O.

Long-term forecasting of the start date of spring flood in the upper of the Southern Buh River by teleconnection indices	26
--	----

Obodovskyi O. G., Korniienko V. O., Perevozchikov I. M.

Modern conditions for the formation of the stability of riverbeds in the Dnipro basin area (within Ukraine).....	33
--	----

Kholodenko V.S., Basyuk T.O., Budz O.P., Hopchak I.V., Kholodenko A.O.

Assessment of the uniformity of series of observations on the quantity of atmospheric precipitation and water levels on water bodies in the area of influence of the Khmelnytska NPP.....	42
---	----

HYDROCHEMISTRY. HYDROEKOLOGY

Osypenko V.P.

Features of distribution of the easily-oxidizable dissolved organic substances in water of different areas of Kyiv water bodies	52
---	----

GEOGRAPHICAL ASPECTS OF GLOBAL HYDROLOGICAL CYCLE RESEARCH

**Palamarchuk L.V., Osadchyi V.I., Skrynyk O.A., Kyreieva Z.M., Sidenko V.P.,
Oshurok D.O., Skrynyk O.Y.**

Application of the HOMER software to quality control and homogenize time series of monthly precipitation sums.....	58
--	----

Pyasetska S.I.

Spatial-temporal distribution of cases of mass disposal of ice of the category DP (dangerous) and SHP (spontaneous) categories on the territory of Ukraine during 1991-2020	78
---	----

Presenting and official registration of the articles for the scientific periodical collection «Hydrology, hydrochemistry and hydroecology».....	100
---	-----

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.1.1>

УДК 556.5 + 355.4

Хільчевський В.К.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ВОДНІ РЕСУРСИ КРАЇН ЄВРОПИ: ХАРАКТЕРИСТИКА НА ОСНОВІ БАЗИ ДАНИХ FAO-AQUASTAT

Мета даного дослідження – оцінити кількісний стан водних ресурсів 50 країн Європи на основі бази даних FAO-Aquastat за середньорічними показниками, виконати їхнє ранжування, оцінити зовнішню залежність водних ресурсів країн, виявити країни з водним дефіцитом. За індикатором водного стресу Фалькенмарк ($\text{м}^3/\text{рік}/\text{людину}$) країни Європи розташуються наступним чином: а) стан водних ресурсів стабільний ($>2500 \text{ м}^3/\text{рік}$ на людину) – Ісландія, Норвегія, Росія, Хорватія, Фінляндія, Сербія, Латвія, Швеція, Грузія, Словенія, Ірландія, Румунія, Угорщина, Боснія і Герцеговина, Албанія, Естонія, Словаччина, Австрія, Литва, Португалія, Швейцарія, Греція, Білорусь, Люксембург, Казахстан, Нідерланди, Андорра, Україна, Азербайджан, Франція, Італія, Північна Македонія, Молдова, Болгарія, Вірменія, Туреччина; б) наявна водна вразливість ($1700\text{--}2500 \text{ м}^3/\text{рік}$ на людину) – Іспанія, Велика Британія, Німеччина; в) наявний водний стрес ($< 1700 \text{ м}^3/\text{рік}$ на людину) – Бельгія, Польща, Чехія, Данія; г) наявний водний дефіцит ($< 1000 \text{ м}^3/\text{рік}$ на людину) – Кіпр; д) наявний абсолютний водний дефіцит ($< 500 \text{ м}^3/\text{рік}$ на людину) – Мальта.

До країн Європи, формування водних ресурсів яких більше ніж на 50 % відбувається за їхніми межами, належать: Португалія, Латвія, Хорватія, Україна, Люксембург, Словаччина, Азербайджан, Румунія, Молдова, Нідерланди, Угорщина, Сербія. Діапазон K_z за переліком цих країн становить від 50,9 % (Португалія) до 94,8 % (Сербія). Посухи, які почастишали у зв'язку зі змінами клімату, посилюють сезонний водний дефіцит.

Ключові слова: водні ресурси, відновні водні ресурси, індекс експлуатації водних ресурсів плюс, Європа.

Вступ. Облік водних ресурсів та їхнього використання є одним з оптимальних інструментів для їхнього кількісного оцінювання, реалізації політики інформування про стан відновних водних ресурсів, ефективності використання та можливий водний дефіцит. Облік кількості води в Європі здійснюється Європейським агентством з довкілля (ЄАД) на основі концептуальної методології еколого-економічного обліку ООН. Це відбувається через засоби використання організованих баз даних, які оновлюються через повідомлення інформації, або змодельованими даними з держав-членів ЄС та європейських інститутів, Євростату, Об'єднаного дослідницького центру, Європейської бази даних з оцінювання клімату.

Гідрокліматичні оцінки для Європи [18] показують, що кількість опадів в літні місяці, особливо у південній Європі, знижується, а температура повітря - зростає. Так само довгострокові тенденції річкового стоку в сезонному масштабі показують зниження влітку та збільшення взимку. Стік річок протягом року також, за прогнозами, зменшиться у південній та південно-східній Європі та збільшиться у північній та північно-східній Європі. Площа снігового покриву у північній півкулі значно скоротилася за останні 90 років. При цьому більша частина цього скорочення відбулася, починаючи з 1980 р. Площа снігового покриву в північній півкулі зменшилася на 7% у середньому у березні та квітні та на 53% - у червні за період 1967-2012 рр. [7].

Всі ці зміни гідрокліматичних умов здійснюють вплив на відновні водні ресурси. У свою чергу, відновні ресурси прісної води на душу населення протягом 1962-2014 років, особливо в західній та південній Європі, знизилися приблизно на 24 %. Суттєвих змін у відновних водних ресурсах на душу населення для східних частин Європи за той самий період не відбулося. Це явище проявилось, швидше за все, через зміну клімату, з одного

боку, особливо для південної Європи, а також пов'язане зі зростанням чисельності населення в Європі. Аналогічна тенденція також спостерігається у глобальному масштабі.

Щоб зменшити наслідки зниження доступності води, особливо в літні місяці, по всій Європі застосовуються два основних види заходів: а) наповнення водосховищ для накопичення води на літні місяці; б) використання дедалі більше ресурсів підземних вод. Річкові та підземні води задовольняють 83% від загальної потреби Європи у воді. Крім того, використання опрісненої морської води та повторне використання зворотної води все частіше впроваджуються в країнах Середземномор'я. Перший вид заходів викликає суттєве відхилення від природного гідрологічного режиму річок (гідроморфологічні зміни та модифікації русла), другий - також здійснює довгостроковий вплив на якість та доступність води.

В цілому, водозабір у Європі суттєво скоротився - на 45 % порівняно з рівнем 1991 р. Наприклад, водозабір у 2014 р. скоротився приблизно на 7% порівняно з рівнем водозабору 2002 р. Це позитивні досягнення. Однак необхідне негайне введення заходів, особливо у південних та східних країнах Європи, щодо ефективного використання води [18].

Після водозабору вода використовується для різних цілей. Близько 78 % води, що забирається, пізніше повертається назад у навколишнє середовище, але 22% становить безповоротне водокористування. Проте, регіональні та сезонні відмінності у заборі та використанні води дуже мінливі. Наприклад, взимку лише 15 % загального водозабору є безповоротним, тоді як улітку цей показник збільшується до 29 %. Загалом сільськогосподарський сектор та домогосподарства збільшують використання води навесні та влітку [6].

Варто зазначити, що зі збільшенням кількості туристів малі середземноморські острови та деякі мегаполіси зіштовхуються із сезонним дефіцитом води - Канарські острови, Майорка, басейн р. Темза (Лондон) і т. д. Однак деякі країни вже досягли збалансованості між кількістю туристів і водокористуванням на душу населення (на основі господарської діяльності та сфери послуг). Мальта, Іспанія, Франція можуть бути прикладом у цій справі.

Аналіз виконаних раніше досліджень. Дослідження водних ресурсів країн Європейського Союзу відбувається під егідою Європейського агентства з довкілля (САД) і публікуються у вигляді річних звітів [10, 11]. Є також окремі публікації, які стосуються різних аспектів використання водних ресурсів на континенті [5, 15-18]. Варто зазначити, що в україномовній науковій літературі публікації стосовно водних ресурсів Європи, практично, відсутні. Так, деякі відомості щодо водних ресурсів Європи можна зустріти в публікаціях [1, 14], які стосуються глобальних водних ресурсів світу; в публікації [3], в якій розглядаються водні ресурси України; в публікації [2], яка стосується гідрографії Європи.

Мета даного дослідження – оцінити кількісний стан водних ресурсів 50 країн Європи за середньорічними показниками, виконати їхнє ранжування, оцінити зовнішню залежність водних ресурсів країн, виявити країни з водним дефіцитом.

Матеріали та методи дослідження. Основне джерело інформації - дані по водних ресурсах Глобальної інформаційної системи Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO - Aquastat) за 2017-2019 рр. [4], використано також інформацію з офіційного сайту Європейського агентства з довкілля [7-12], Eurostat [13].

Виклад основного матеріалу

1. Загальні відновні водні ресурси

Річковий стік Європи становить близько 2900 км³ на рік (7 % світових водних ресурсів) та 3900,4 м³/рік на людину. Проте водні ресурси розподілено між країнами нерівномірно (табл. 1).

У 2019 р. загальні відновні водні ресурси на одну людину коливалися від 117,2 м³/рік/людину на Мальті та 661 м³/рік/людину на Кіпрі до 74081 м³/рік/людину у Норвегії та понад 500000 м³/рік/людину в Ісландії (див. табл. 1). Тому середнє значення для континенту має умовний сенс.

Таблиця 1. Ранжування країн Європи за показником загальних відновних водних ресурсів (м³/рік на 1 людину) на основі даних FAO Aquastat, 2019 р.

№	Країна*	м³/рік/людину	№	Країна	м³/рік/людину
1	Ісландія	507463	24	Люксембург	5998
2	Норвегія	74081	25	Казахстан	5844
3	Росія	31426	26	Нідерланди	5342
4	Хорватія	25185	27	Андорра	4101
5	Фінляндія	19917	28	Україна	3984
6	Сербія	18451	29	Азербайджан	3529
7	Латвія	17918	30	Франція	3247
8	Швеція	17556	31	Італія	3223
9	Грузія	16189	32	Північна Македонія	3072
10	Словенія	15322	33	Молдова	3029
11	Ірландія	10920	34	Болгарія	3006
12	Румунія	10773	35	Вірменія	2652
13	Угорщина	10697	36	Туреччина	2621
14	Боснія і Герцеговина	10693	37	Іспанія	2405
15	Албанія	10307	38	Велика Британія	2221
16	Естонія	9779	39	Німеччина	1875
17	Словаччина	9196	40	Бельгія	1601
18	Австрія	8895	41	Польща	1585
19	Литва	8478	42	Чехія	1238
20	Португалія	7493	43	Данія	1046
21	Швейцарія	6312	44	Кіпр	661
22	Греція	6129	45	Мальта	117,2
23	Білорусь	6115			

Примітка. * - дані по 5 країнах (Ватикан, Ліхтенштейн, Монако, Сан-Марино, Чорногорія) у базі даних FAO Aquastat відсутні.

Якщо взяти за орієнтир порогові значення загальних відновних водних ресурсів за індикатором водного стресу Фалькенмарк (м³/рік/людину), то країни розташуються наступним чином:

а) *стан водних ресурсів стабільний* (> 2500 м³/рік на людину) – Ісландія, Норвегія, Росія, Хорватія, Фінляндія, Сербія, Латвія, Швеція, Грузія, Словенія, Ірландія, Румунія, Угорщина, Боснія і Герцеговина, Албанія, Естонія, Словаччина, Австрія, Литва, Португалія, Швейцарія, Греція, Білорусь, Люксембург, Казахстан, Нідерланди, Андорра, Україна, Азербайджан, Франція, Італія, Північна Македонія, Молдова, Болгарія, Вірменія, Туреччина;

б) *наявна водна вразливість* (1700-2500 м³/рік на людину) – Іспанія, Велика Британія, Німеччина;

в) *наявний водний стрес* (< 1700 м³/рік на людину) – Бельгія, Польща, Чехія, Данія;

г) *наявний водний дефіцит* (< 1000 м³/рік на людину) – Кіпр;

д) *наявний абсолютний водний дефіцит* (< 500 м³/рік на людину) – Мальта.

В табл. 2 наведено дані про середньорічні обсяги загальних відновних водних ресурсів в країнах Європи в абсолютних значеннях – км³/рік. Ця таблиця має допоміжне значення для розрахунків отриманих в табл. 1.

Таблиця 2. Ранжування країн Європи за обсягом загальних відновних водних ресурсів (км³/рік) на основі даних FAO Aquastat, 2019 р.

№	Країна	км³/рік	№	Країна	км³/рік
1	Росія	4525	24	Білорусь	57,9
2	Норвегія	393	25	Швейцарія	53,5
3	Румунія	212	26	Ірландія	52
4	Туреччина	211,6	27	Словаччина	50,1
5	Франція	211	28	Боснія і Герцеговина	37,5
6	Італія	191,3	29	Латвія	34,94

№	Країна	км ³ /рік	№	Країна	км ³ /рік
7	Україна	175,3	30	Азербайджан	34,7
8	Швеція	174	31	Словенія	31,9
9	Ісландія	170	32	Албанія	30,2
10	Сербія	162,2	33	Литва	24,5
11	Німеччина	154	34	Болгарія	21,3
12	Велика Британія	147	35	Бельгія	18,3
13	Іспанія	111,5	36	Чехія	13,2
14	Фінляндія	110	37	Естонія	12,8
15	Казахстан	108	38	Молдова	12,3
16	Хорватія	105,5	39	Вірменія	7,8
17	Угорщина	104	40	Північна Македонія	6,4
18	Нідерланди	91	41	Данія	6
19	Австрія	77,7	42	Люксембург	3,5
20	Португалія	77,4	43	Кіпр	0,78
21	Греція	68,4	44	Андорра	0,32
22	Грузія	63,3	45	Мальта	0,05
23	Польща	60,5			

Примітка. * - дані по 5 країнах (Ватикан, Ліхтенштейн, Монако, Сан-Марино, Чорногорія) у базі даних FAO Aquastat відсутні.

2. Внутрішні відновні водні ресурси

Внутрішні водні ресурси – це річковий стік та підземні води, що формуються лише на території країни (без транзитного стоку). У 2019 р. внутрішні відновні водні ресурси коливалися від 117,2 м³/рік/людину на Мальті та 399,9 м³/рік/людину в Молдові до 72008 м³/рік/людину у Норвегії та понад 500000 м³/рік/людину в Ісландії (табл. 3).

Таблиця 3. Ранжування країн Європи за показником внутрішніх відновних водних ресурсів (м³/рік на 1 людину) на основі даних FAO Aquastat, 2019 р.

№	Країна	м ³ /рік/людину	№	Країна	м ³ /рік/людину
1	Ісландія	507463	24	Болгарія	2964
2	Норвегія	72008	25	Туреччина	2811
3	Росія	29947	26	Північна Македонія	2592
4	Фінляндія	19374	27	Іспанія	2399
5	Швеція	17254	28	Словаччина	2313
6	Грузія	14859	29	Велика Британія	2191
7	Боснія і Герцеговина	10123	30	Вірменія	2341
8	Ірландія	10290	31	Румунія	2154
9	Естонія	9702	32	Люксембург	1714
10	Албанія	9181	33	Польща	1404
11	Хорватія	9000	34	Німеччина	1303
12	Словенія	8976	35	Україна	1264
13	Латвія	8687	36	Чехія	1238
14	Австрія	6297	37	Бельгія	1050
15	Литва	5349	38	Данія	1046
16	Греція	5197	39	Сербія	956,3
17	Швейцарія	4766	40	Азербайджан	825,7
18	Андорра	4101	41	Кіпр	661
19	Португалія	3679	42	Нідерланди	645,7
20	Білорусь	3591	43	Угорщина	617,2
21	Казахстан	3469	44	Молдова	399,9
22	Франція	3078	45	Мальта	117,2
23	Італія	3074			

При порогових значеннях внутрішніх відновних водних ресурсів за індикатором водного стресу Фалькенмарк ($\text{м}^3/\text{рік}/\text{людину}$) країни розташуються наступним чином:

а) *стан водних ресурсів стабільний* ($> 2500 \text{ м}^3/\text{рік}$ на людину) – Ісландія, Норвегія, Росія, Фінляндія, Швеція, Грузія, Боснія і Герцеговина, Ірландія, Естонія, Албанія, Хорватія, Словенія, Латвія, Австрія, Литва, Греція, Швейцарія, Андорра, Португалія, Білорусь, Казахстан, Франція, Італія, Болгарія, Туреччина, Північна Македонія;

б) *наявна водна вразливість* ($1700\text{-}2500 \text{ м}^3/\text{рік}$ на людину) – Іспанія, Словаччина, Велика Британія, Вірменія, Румунія, Люксембург;

в) *наявний водний стрес* ($< 1700 \text{ м}^3/\text{рік}$ на людину) – Польща, Німеччина, Україна, Чехія, Бельгія, Данія;

г) *наявний водний дефіцит* ($< 1000 \text{ м}^3/\text{рік}$ на людину) – Сербія, Азербайджан, Кіпр, Нідерланди, Угорщина;

д) *наявний абсолютний водний дефіцит* ($< 500 \text{ м}^3/\text{рік}$ на людину) – Молдова, Мальта.

В табл. 4 наведено дані про середньорічні обсяги внутрішніх відновних водних ресурсів в країнах Європи в абсолютних значеннях – $\text{км}^3/\text{рік}$. Ця таблиця має допоміжне значення для розрахунків отриманих в табл. 3.

Таблиця 4. Ранжування країн Європи за обсягом внутрішніх відновних водних ресурсів ($\text{км}^3/\text{рік}$) на основі даних FAO Aquastat, 2019 р.

№	Країна	$\text{км}^3/\text{рік}$	№	Країна	$\text{км}^3/\text{рік}$
1	Росія	4312	24	Білорусь	34
2	Норвегія	382	25	Албанія	26,9
3	Туреччина	227	26	Болгарія	21
4	Франція	200	27	Словенія	18,67
5	Італія	182,5	28	Латвія	16,94
6	Швеція	171	29	Литва	15,46
7	Ісландія	170	30	Чехія	13,15
8	Велика Британія	145	31	Естонія	12,71
9	Іспанія	111,2	32	Словаччина	12,6
10	Фінляндія	107	33	Бельгія	12
11	Німеччина	107	34	Нідерланди	11
12	Казахстан	64	35	Сербія	8,4
13	Грузія	58,13	36	Азербайджан	8,1
14	Греція	58	37	Вірменія	6,9
15	Україна	55,1	38	Угорщина	6
16	Австрія	55	39	Данія	6
17	Польща	53,6	40	Північна Македонія	5,4
18	Ірландія	49	41	Молдова	1,62
19	Румунія	42,38	42	Люксембург	1
20	Швейцарія	40,4	43	Кіпр	0,78
21	Португалія	38	44	Андорра	0,32
22	Хорватія	37,7	45	Мальта	0,05
23	Боснія і Герцеговина	35,5			

Примітка. * - дані по 5 країнах (Ватикан, Ліхтенштейн, Монако, Сан-Марино, Чорногорія) у базі даних FAO Aquastat відсутні.

3. Зовнішня залежність водних ресурсів по країнах

Багато річкових систем спільно використовуються двома чи більше країнами Європи. На ці загальні системи припадає 22 % водних ресурсів території Європейського Союзу. Така ситуація багато в чому зумовлена невеликою площею багатьох країн.

Наприклад, до басейну Дунаю причетні 19 країн. Басейн Рейну поділяють 7 країн. Більшість великих річок є транскордонними або є прикордонними водотоками (Дунай, Дніпро, Рейн, Рона, Маас, Одер, Драве, Тахо, Дору, Гвадіана, Еврос, Еско та ін.).

Деякі країни Європи, що мають досить високі показники загальних відновних водних ресурсів ($> 2500 \text{ м}^3/\text{рік}$ на людину), значною мірою залежать від зовнішніх водних ресурсів. Їхні показники можуть виявитися нижче від порога в $1000 \text{ м}^3/\text{рік}/\text{людину}$ (наявний

водний дефіцит), якщо їм доведеться покладатися лише на свої внутрішні ресурси. Наприклад, Азербайджан, Молдова, Нідерланди, Сербія, Угорщина (див. табл. 1 і табл. 3).

Залежність водних ресурсів країни від транзитних водних ресурсів, що надходять з територій сусідніх країн, визначається коефіцієнтом зовнішньої залежності водних ресурсів - K_3 , %.

$$K_3 = W_{TP} / W_{3AG} \quad (1)$$

де W_{TP} – об'єм водних ресурсів, що формується за межами країни; W_{3AG} – об'єм загальних водних ресурсів.

До країн Європи, формування водних ресурсів яких більше ніж на 50 % відбувається за їхніми межами, належать: Португалія, Латвія, Хорватія, Україна, Люксембург, Словаччина, Азербайджан, Румунія, Молдова, Нідерланди, Угорщина, Сербія (табл. 5). Діапазон K_3 за переліком цих країн становить від 50,9 % (Португалія) до 94,8 % (Сербія). Досить високий K_3 в Україні - 68,6 %.

Таблиця 5. Ранжування країн Європи за коефіцієнтом зовнішньої залежності відновних водних ресурсів (K_3 , %) на основі даних FAO Aquastat, 2019 р.

№	Країна	%	№	Країна	%
1	Ісландія	0	24	Греція	15,2
2	Данія	0	25	Північна Македонія	15,6
3	Кіпр	0	26	Швейцарія	24,49
4	Мальта	0	27	Австрія	29,2
5	Андорра	0	28	Німеччина	30,5
6	Іспанія	0,27	29	Бельгія	34,4
7	Чехія	0,4	30	Литва	36,9
8	Естонія	0,75	31	Казахстан	40,6
9	Велика Британія	1,4	32	Білорусь	41,3
10	Туреччина	1,52	33	Словенія	41,4
11	Швеція	1,7	34	Португалія	50,9
12	Фінляндія	2,7	35	Латвія	51,5
13	Норвегія	2,8	36	Хорватія	64,27
14	Болгарія	3,2	37	Україна	68,6
15	Італія	4,6	38	Люксембург	71,4
16	Росія	4,7	39	Словаччина	74,9
17	Франція	5,2	40	Азербайджан	76,6
18	Ірландія	5,8	41	Румунія	80
19	Грузія	8,2	42	Молдова	86,8
20	Боснія і Герцеговина	8,5	43	Нідерланди	87,9
21	Албанія	10,9	44	Угорщина	94,23
22	Польща	11,4	45	Сербія	94,8
23	Вірменія	11,7			

Примітка. * - дані по 5 країнах (Ватикан, Ліхтенштейн, Монако, Сан-Марино, Чорногорія) у базі даних FAO Aquastat відсутні.

4. Використання водних ресурсів. Водний дефіцит в Європі

Загальний забір води в країнах ЄС становить близько 353 км³/рік, що означає забір 10% загальних запасів прісної води. В Європі більшість води використовується з поверхневих водних об'єктів - 74 % загального водозабору припадає на річки та водосховища, а 24,5 % – на підземні води (табл. 6). Показники забору є найвищими у вегетаційний період.

Таблиця 6. Забір прісної води з різних водних об'єктів в ЄС, % (2019 р.)

№	Водні об'єкти	Забір води, %
1	Річки	61,9
2	Водосховища	12,1
3	Озера	1,5
4	Підземні води	24,5

Вода використовується у сільському господарстві (44 %), промисловості (40%) та на господарсько-побутові цілі (16 %) – табл. 7. Варто зазначити, що країни Південної Європи використовують більше води для сільського господарства - понад 2/3 від загального водозабору. Зрошення є найбільш значним видом використання води у сільськогосподарському секторі цих країн.

Таблиця 7. Використання прісної води для різних цілей в ЄС, % (2019 р.)

№	Вид водокористування	Використано води , %
1	Сільське господарство	44
2	Промисловість	40
3	Господарсько-побутове	16

Індекс експлуатації водних ресурсів плюс (WEI+) – удосконалений метод оцінювання дефіциту водних ресурсів, який використовується Європейським агентством з довкіллям (ЄАД). Він використовується і для оцінювання результатів діяльності з виконання завдань цілі сталого розвитку (ЦСР) 6 «Чиста вода і належна санітарія». Індекс експлуатації водних ресурсів плюс (WEI+) є мірою загального використання прісної води у % від відновних ресурсів прісної води (підземних і поверхневих вод) в даний час і в даному місці [8] – табл. 8.

WEI+ кількісно визначає, скільки води забирається (D) і скільки води після використання повертається до навколишнього середовища (S). Різниця між водозабором та поверненням води (D – S) розглядається як використання води та ілюструє навантаження на відновні ресурси прісної води (R) через потребу у воді.

$$WEI+ = (D - S) / R. \quad (2)$$

Характеристика кількісних значень WEI+:

- а) WEI+ > 20 % - наявність водного дефіциту;
- б) WEI+ ≥ 40 % - наявність гострого водного дефіциту, тобто процес використання ресурсів прісної води в країні явно несталий.

Таблиця 8. Найгірші умови сезонного дефіциту води для європейських країн у 2019 р., що вимірюються індексом експлуатації води плюс (WEI+) [8]

№	Країна	Лімітуючий квартал	WEI+	№	Країна	Лімітуючий квартал	WEI+
1	Кіпр	3	99	19	Албанія	3	2,9
2	Мальта	1	74,9	20	Болгарія	1	2,5
3	Греція	3	70,2	21	Угорщина	4	2,0
4	Туреччина	3	68,7	22	Фінляндія	3	2,0
5	Португалія	3	66	23	Литва	3	1,6
6	Італія	3	57	24	Люксембург	3	1,5
7	Іспанія	3	47,2	25	Словаччина	3	1,2
8	Румунія	3	23,5	26	Ірландія	2	1,0
9	Чехія	3	19,5	27	Швейцарія	3	1,0
10	Польща	2	14,5	28	Словенія	2	0,6
11	Бельгія	3	13,2	29	Боснія і Герцеговина	3	0,5
12	Данія	3	12,6	30	Швеція	3	0,4
13	Естонія	3	10,3	31	Латвія	3	0,3
14	Північна Македонія	3	9	32	Хорватія	3	0,2
15	Нідерланди	3	6,3	33	Австрія	4	0,2
16	Сербія	4	5,3	34	Норвегія	3	0,1
17	Франція	2	4,3	35	Ісландія	2	0,0
18	Німеччина	3	2,9				

В 2019 р. Кіпр, Мальта, Греція, Португалія, Італія та Іспанія зіткнулися з найбільш серйозними умовами дефіциту води в ЄС у сезонному масштабі (сезонний $WEI+ > 40 \%$) – див. табл. 8. Мальта відчуває постійний дефіцит води через свої природні гідрокліматичні умови. Румунія також стикається з проблемами нехватки води (сезонний $WEI+ > 20 \%$). Серед європейських країн, які не входять в ЄС, але за якими наявні дані в ЄАД, Туреччина стикається з найбільш серйозними проблемами.

Регіони водного дефіциту. Дефіцит води виникає, коли водокористування дуже велике в порівнянні з обсягом доступної відновної прісної води. Наприклад, в 2019 р. протягом як мінімум одного сезону водний дефіцит торкнувся 29 % території Європейського Союзу та 38 % його населення.

Незважаючи на те, що забір води в ЄС скоротився на 15% у період з 2000 по 2019 рік, загального скорочення площі території, якої стосується водний дефіцит, не відбулося. Фактично з 2010 р. спостерігається погіршення ситуації, що робить малоімовірним скорочення дефіциту води до 2030 р. Необхідні додаткові зусилля для забезпечення сталого водокористування.

Водний дефіцит характерний для країн Південної Європи. Це особливо актуально влітку через підвищення водозабору у сільському господарстві, комунальному водопостачанні та туризмі. Через дуже інтенсивне зрошення Середні Апенніни та басейни річок По (Італія), Гвадіана (Португалія та Іспанія) та Сегура (Іспанія) відчувають гостру нестачу води протягом усього року. Середземноморські острови, такі як Балеарські, Крит та Сицилія, відчувають постійний і серйозний дефіцит води протягом усього року, при цьому сільське господарство та туризм чинять дуже сильний тиск на водні ресурси.

Проте дефіцит води не обмежується Південною Європою. В інших частинах Європи урбанізація у поєднанні з великим забором води для енергетичного та промислового секторів та сектору комунального водопостачання також може призвести до нестачі води. Вищий тиск на водні ресурси, ніж у середньому по регіону, можна спостерігати на значній території міст Копенгагена, Лондона і Стокгольма, а також у басейнах річок Луара, Маас, Одер і Везер.

Зміни клімату - посухи посилюють водний дефіцит. Зміни клімату, як очікується, призведуть до подальшого збільшення кількості, інтенсивності та впливу посух, що значно утруднює скорочення дефіциту води.

Посуха - природне явище, що виникає, коли кількість опадів є значно нижчою від звичайних зафіксованих рівнів, що спричиняє серйозне порушення гідрологічної рівноваги, яке несприятливо відображається на продуктивності земельних ресурсів.

Початок посухи зазвичай пов'язаний зі встановленням малорухливого високого антициклону. Велика кількість сонячного тепла і поступове зниження вологості повітря створюють підвищену випаровуваність (*атмосферна посуха*), внаслідок чого запаси ґрунтової вологи без поповнення їх дощами виснажуються (*ґрунтова посуха*). Поступово, з посиленням ґрунтової посухи, пересихають стави, річки, озера, джерела - починається *гідрологічна посуха*.

Посухи трапляються і там, де нестача води може не сприйматися як критична проблема (наприклад, посуха у Скандинавії влітку 2018 р., у басейні Ельби влітку 2015 р. та на деяких річках басейну Чорного моря у 2007 р.).

Аномальна літня спека 2022 р. в Європі - погодна аномалія в червні-липні 2022 р., що характеризувалася температурами вищими за середні, хвилями спеки, а також кількістю опадів нижче середнього, тобто посухою. Торкнулася Південної, Західної та Центральної Європи.

У річках Європи через рекордну посуху побачили так звані "голодні камені", на яких у колишні віки робили позначки критично низького рівня води. "Плач, коли бачиш мене", - це можна прочитати на висохлому камені на р. Ельба (рис. 1). Це повідомлення є попередженням з минулого: раніше дуже низький рівень річок був ознакою неврожаю та голоду. "Голодні камені" також були виявлені на сухих ділянках русла р. Рейн.

У червні на більшій частині території Європи температура становила +40 - +43 °С, було побито сотні щоденних та місячних температурних рекордів. Найвища температура була зареєстрована 14 липня 2022 р. в м. Аліжо (Португалія) і становила +47 °С. Аномальна спека призвела до лісових пожеж та тисяч смертей по всій Європі в цілому.

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

Хвиля спеки в червні була викликана взаємодією між високим тиском, що створює атмосферну стабільність, і штормом Алекс, а також повітряною масою, що прийшла з Північної Африки, яка потрапила на Піренейський півострів. Кліматологи пов'язали екстремальну спеку з впливом змін клімату, а експерти прогнозують, що внаслідок зміни клімату хвилі тепла в Європі відбуватимуться з частотою, що наростатиме.

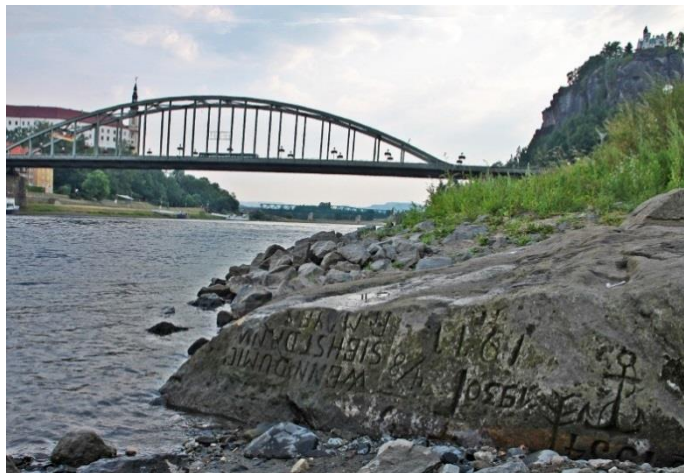


Рис. 1. В результаті обміління оголено «голодний камінь» на р. Ельба/Лаба біля м. Дечін (Чехія), 2022 р.

В доповіді Об'єднаного дослідницького центру Єврокомісії зазначається, що у 2022 р. дві третини території європейського континенту зіткнулися із найсильнішою посухою за останні 500 років [17]. Особливо важка ситуація склалася в таких країнах як Італія, Іспанія, Португалія, Франція, Німеччина, Нідерланди, Бельгія, Люксембург, Румунія, Угорщина, Сербія, Україна, Молдова, Ірландія та Велика Британія. Це загалом 47% території континенту. Варто зазначити, що аномальна спека в Європі спостерігалася в 2003 р., 2018 р., 2019 р., 2022 р.

Висновки

1) За індикатором водного стресу Фалькенмарк ($\text{м}^3/\text{рік}/\text{людину}$) країни Європи розташуються наступним чином:

а) стан водних ресурсів стабільний ($> 2500 \text{ м}^3/\text{рік}$ на людину) – Ісландія, Норвегія, Росія, Хорватія, Фінляндія, Сербія, Латвія, Швеція, Грузія, Словенія, Ірландія, Румунія, Угорщина, Боснія і Герцеговина, Албанія, Естонія, Словаччина, Австрія, Литва, Португалія, Швейцарія, Греція, Білорусь, Люксембург, Казахстан, Нідерланди, Андорра, Україна, Азербайджан, Франція, Італія, Північна Македонія, Молдова, Болгарія, Вірменія, Туреччина;

б) наявна водна вразливість ($1700\text{-}2500 \text{ м}^3/\text{рік}$ на людину) – Іспанія, Велика Британія, Німеччина;

в) наявний водний стрес ($< 1700 \text{ м}^3/\text{рік}$ на людину) – Бельгія, Польща, Чехія, Данія;

г) наявний водний дефіцит ($< 1000 \text{ м}^3/\text{рік}$ на людину) – Кіпр;

д) наявний абсолютний водний дефіцит ($< 500 \text{ м}^3/\text{рік}$ на людину) – Мальта.

2) До країн Європи, формування водних ресурсів яких більше ніж на 50 % відбувається за їхніми межами, належать: Португалія, Латвія, Хорватія, Україна, Люксембург, Словаччина, Азербайджан, Румунія, Молдова, Нідерланди, Угорщина, Сербія. Діапазон K_3 за переліком цих країн становить від 50,9 % (Португалія) до 94,8 % (Сербія).

3) Загальний забір води в країнах ЄС становить близько $353 \text{ км}^3/\text{рік}$, що означає забір 10% загальних запасів прісної води. У Європі більшість води використовується з поверхневих водних об'єктів - 74 % загального водозабору припадає на річки та водосховища, а 24,5 % – на підземні води. Показники забору є найвищими у вегетаційний період. Вода використовується у сільському господарстві (44 %), промисловості (40 %) та на господарсько-побутові цілі (16 %).

4) Водний дефіцит характерний для країн Південної Європи. Це особливо актуально влітку через підвищення водозбору у сільському господарстві, комунальному водопостачанні та туризмі. Через дуже інтенсивне зрошення Середні Апенніни та басейни річок По (Італія), Гвадіана (Португалія та Іспанія) та Сегура (Іспанія) відчувають гостру нестачу води протягом усього року. Середземноморські острови, такі як Балеарські, Крит та Сицилія відчувають постійний і серйозний дефіцит води протягом усього року, при цьому сільське господарство та туризм чинять дуже сильний тиск.

5) Посухи, які почастишали у зв'язку зі змінами клімату, посилюють сезонний водний дефіцит. Аномальна спека в Європі відзначалася в 2003 р., 2018 р., 2019 р., 2022 р.

Список літератури

1. *Хільчевський В.К.* Глобальні водні ресурси: виклики XXI століття. Вісник Київського нац. університету імені Тараса Шевченка. Географія. 2020. 1/2 (76/77). С. 6-16.
2. *Хільчевський В.К.* Особливості гідрографії Європи: річки, озера, водосховища. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2022. № 4(66). С. 6-16.
3. *Хільчевський В.К.* Характеристика водних ресурсів України на основі бази даних глобальної інформаційної системи FAO Aquastat. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2021. № 1(59). С. 6-16.
4. Aquastat FAO's. URL: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/indexhtml?lang=en>
5. *Casadei S., Peppoloni F., Pierleoni A.* A New Approach to Calculate the Water Exploitation Index (WEI+). Water. 2020. 12(11). 3227; <https://doi.org/10.3390/w12113227>
6. EIT Food. Water scarcity in Europe: is the food system a cause or casualty? URL: <https://www.eitfood.eu/blog/water-scarcity-in-europe-is-the-food-system-a-cause-or-casualty>
7. European Environment Agency. Climate impacts on water resources. URL: <https://www.eea.europa.eu/archived/archived-content-water-topic/water-resources/climate-impacts-on-water-resources>
8. European Environment Agency. Water exploitation index plus. URL: <https://www.eea.europa.eu/ims/use-of-freshwater-resources-in-europe-1>
9. European Environment Agency. European water resources. Overview. URL: <https://www.eea.europa.eu/archived/archived-content-water-topic/water-resources>
10. European Environment Agency. Water resources across Europe — confronting water stress: an updated assessment. 2021. Report No 12. Copenhagen. 126 p.
11. European Environment Agency. Water resources in Europe in the context of vulnerability. Copenhagen, 2012. 92 p. DOI:10.2800/65298
12. European Environment Agency. Water stress is a major and growing concern in Europe. URL: <https://www.eea.europa.eu/highlights/water-stress-is-a-major>
13. Eurostat. Water statistics. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Water_statistics#Water_abstraction
14. *Khilchevskiy V., Karamushka V.* Global Water Resources: Distribution and Demand. In: Leal Filho W., Azul A.M., Brandli L., Lange Salvia A., Wall T. (eds) Clean Water and Sanitation. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. Springer, 2022. P. 240-250.
15. *Poore J., Nemecek T.* Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. Science. 2018. Vol. 360. Is. 6392. P. 987-992.
16. *Tockner K., Zarfl C., Robinson C.* (Eds.). Rivers of Europe. 2nd Edition. Amsterdam; Elsevier. 2021. 942 p.
17. *Toreti A., Bavera D., Acosta Navarro J., Cammalleri C., de Jager A., Di Ciollo C., Hraст Essenfelder A., Maetens W., Magni D., Masante D., Mazzeschi M., Niemeyer S., Spinoni J.* Drought in Europe August 2022. Publications Office of the European Union. Luxembourg, 2022. doi:10.2760/264241, JRC130493.
18. *Zal N., Bariamis G., Zachos A., Baltas E., Mimikou M.* Use of Freshwater Resources in Europe 2002-2014. An assessment based on water quantity accounts. Ed. A. Kunitzer. ETC/ICM. Report 1/2017, Magdeburg: European Topic Centre on inland, coastal and marine waters. 75 p.

References

1. *Khilchevskiy V.K.* Hlobalni vodni resursy: vyklyky 21 stolittia [Global water resources: challenges of the 21st century]. Visnyk Kyivskoho nats. universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Neohrafiia. 2020. 1/2 (76/77). S. 6-16.
2. *Khilchevskiy V.K.* Osoblyvosti hidrohrafii Yevropy: richky, ozera, vodoskhovyshcha [Features of the hydrography of Europe: rivers, lakes, reservoirs]. Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2022. № 4(66). S. 6-16.
3. *Khilchevskiy V.K.* Kharakterystyka vodnykh resursiv Ukrainy na osnovi bazy danykh hlobalnoi informatsiinoi systemy FAO Aquastat [Characteristics of water resources of Ukraine based on the ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2023. № 1 (67)

database of the global information system FAO Aquastat]. *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia*. 2021. № 1(59). S. 6-16.

4. Aquastat FAO's. URL: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en>
5. Casadei S., Peppoloni F., Pierleoni A. A New Approach to Calculate the Water Exploitation Index (WEI+). *Water*. 2020. 12(11). 3227; <https://doi.org/10.3390/w12113227>
6. EIT Food. Water scarcity in Europe: is the food system a cause or casualty? URL: <https://www.eitfood.eu/blog/water-scarcity-in-europe-is-the-food-system-a-cause-or-casualty>
7. European Environment Agency. Climate impacts on water resources. URL: <https://www.eea.europa.eu/archived/archived-content-water-topic/water-resources/climate-impacts-on-water-resources>
8. European Environment Agency. Water exploitation index plus. URL: <https://www.eea.europa.eu/ims/use-of-freshwater-resources-in-europe-1>
9. European Environment Agency. European water resources. Overview. URL: <https://www.eea.europa.eu/archived/archived-content-water-topic/water-resources>
10. European Environment Agency. Water resources across Europe — confronting water stress: an updated assessment. 2021. Report No 12. Copenhagen. 126 p.
11. European Environment Agency. Water resources in Europe in the context of vulnerability. Copenhagen, 2012. 92 p. DOI:10.2800/65298
12. European Environment Agency. Water stress is a major and growing concern in Europe. URL: <https://www.eea.europa.eu/highlights/water-stress-is-a-major>
13. Eurostat. Water statistics. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Water_statistics#Water_abstraction
14. Khilchevskiy V., Karamushka V. Global Water Resources: Distribution and Demand. In: Leal Filho W., Azul A.M., Brandli L., Lange Salvia A., Wall T. (eds) *Clean Water and Sanitation. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*. Springer, 2022. P. 240-250.
15. Poore J., Nemecek T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*. 2018. Vol. 360. Is. 6392. P. 987-992.
16. Tockner K., Zarfl C., Robinson C. (Eds.). *Rivers of Europe*. 2nd Edition. Amsterdam; Elsevier. 2021. 942 p.
17. Toreti A., Bavera D., Acosta Navarro J., Cammalleri C., de Jager A., Di Ciollo C., Hrašt Essenfelder A., Maetens W., Magni D., Masante D., Mazzeschi M., Niemeyer S., Spinoni J. Drought in Europe August 2022. Publications Office of the European Union. Luxembourg, 2022. doi:10.2760/264241, JRC130493.
18. Zal N., Bariamis G., Zachos A., Baltas E., Mimikou M. Use of Freshwater Resources in Europe 2002-2014. An assessment based on water quantity accounts. Ed. A. Künitzer. ETC/ICM. Report 1/2017, Magdeburg: European Topic Centre on inland, coastal and marine waters. 75 p.

Water resources of European countries: characteristics based on the FAO-Aquastat database

Khilchevskiy V.K.

The purpose of the study is to assess the quantitative state of water resources in 50 European countries based on the FAO-Aquastat database on average annual indicators, to rank them, to assess the external dependence of water resources of countries, to identify countries with water deficit. According to the Falkenmark water stress indicator (m³/year/person), European countries are ranked as follows: a) the state of water resources is stable (>2500 m³/year per person) - Iceland, Norway, Russia, Croatia, Finland, Serbia, Latvia, Sweden, Georgia, Slovenia, Ireland, Romania, Hungary, Bosnia and Herzegovina, Albania, Estonia, Slovakia, Austria, Lithuania, Portugal, Switzerland, Greece, Belarus, Luxembourg, Kazakhstan, Netherlands, Andorra, Ukraine, Azerbaijan, France, Italy, North Macedonia, Moldova, Bulgaria, Armenia, Turkey; b) existing water vulnerability (1700-2500 m³/year per person) - Spain, Great Britain, Germany; c) existing water stress (<1700 m³/year per person) – Belgium, Poland, Czech Republic, Denmark; d) existing water deficit (<1000 m³/year per person) – Cyprus; e) current absolute water deficit (< 500 m³/year per person) – Malta.

The countries of Europe, the formation of water resources of which is more than 50% outside their borders, include Portugal, Latvia, Croatia, Ukraine, Luxembourg, Slovakia, Azerbaijan, Romania, Moldova, the Netherlands, Hungary, Serbia. The range of KZ for the list of these countries is from 50.9% (Portugal) to 94.8% (Serbia).

The total water withdrawal in the EU is about 353 km³/year, which means that 10% of the total fresh water is withdrawn. In Europe, the majority of water is used from surface water bodies – 74% of total water withdrawals are from rivers and reservoirs, and 24.5% from groundwater. Water withdrawal rates are highest during the growing season. Water is used in agriculture (44%), industry (40%) and household purposes (16%).

Increased droughts due to climate change exacerbate seasonal water scarcity. Abnormal heat in Europe was observed in 2003, 2018, 2019, 2022.

Keywords: water resources, renewable water resources, water exploitation index plus., Europe.

Надійшла до редколегії 09.02.2023

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.1.2>
УДК 556.162+556.166

Лук'янець О.І., Ободовський О.Г., Москаленко С.О.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

СЕРЕДНІЙ РІЧНИЙ СТІК ВОДИ РІЧОК УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ У БАГАТОВОДНІ ТА МАЛОВОДНІ ФАЗИ ВОДНОСТІ

В статті проведено оцінювання середнього річного стоку води річок Українських Карпат у багатоводні та маловодні фази водності на основі стохастичного аналізу та виявлення характерних закономірностей у чергуванні таких періодів в межах річкових басейнів Тиси, Дністра, Пруту та Сірету. Дослідження проведено з використанням методичної бази, що ґрунтується на статистичних засобах узагальнення, систематизації даних, способах оцінки часових випадкових сукупностей, прийомах аналізу багаторічної мінливості часових рядів стокових характеристик та виявленні їх структури. Знання співвідношень річного стоку води у багатоводні та маловодні фази водності в тих чи інших річкових басейнах надає неоціненну підтримку при плануванні та раціональному використанні водних ресурсів, сприяє підвищенню ефективності експлуатації водогосподарських споруд. Інтерес у сучасний період до вивчення багаторічних циклічних коливань річкового стоку води та кількісних розрахунків його фаз водності особливо зріс у зв'язку з використанням їх в довгострокових прогнозах стоку.

Ключові слова: річки Українських Карпат, середній річний стік води; просторова синхронність; циклічність; цикл та фази водності.

Вступ. 3 південного сходу на північний захід Українські Карпати простягаються майже на 300 км за довжиною і 100-150 км за шириною. Гірський рельєф зумовлює значний вплив на клімат цього регіону, який тут є помірно-континентальний з надмірним і достатнім зволоженням, м'якою зимою з відлигами, нестійкою тривалою весною, нежарким літом і теплою осінню. У гірських районах Українських Карпат у середньому за рік випадає 1100-1800 мм атмосферних опадів, у передгір'ях – 800-1100 мм, у низовинах – 650-800 мм [4, 7, 8].

Головний Карпатський вододіл розділяє басейни річок різних напрямків. На північ і північний схід течуть річки Дністер і його основні притоки – Стрий, Свіча, Тисмениця, Бистриця, Лімниця та притоки Дунаю – річки Прут та Сірет із Черемошем. На південь і південний захід – також притока Дунаю, річка Тиса, в яку впадають з гірської частини її основні притоки – Тересва, Тересва, Ріка, Боржава, Латориця, Уж.

Розподіл середнього річного стоку води річок Українських Карпат переважно повторює розподіл опадів – із 150 мм шару стоку води у пониззях зростає до 350-600 мм у передгір'ях і досягає 800-950 мм з басейнів малих річок у горах. Тут сформувалася найбільш густа річкова мережа в Україні – 1,2-1,7 км/км² [4, 7, 12].

Мета дослідження - оцінювання середнього річного стоку води річок Українських Карпат у багатоводні та маловодні фази водності. Важливість та актуальність аналізу часової мінливості середнього річного стоку річок Українських Карпат (басейн Тиси, Дністра, Пруту та Сірету) обумовлюється тим, що річки цієї території є найбільш багатоводними в Україні у співвідношенні до водозбірної площі.

Передумови дослідження. Коливання гідрологічних характеристик у часі та їх основні риси, які можна описати за допомогою циклів та фаз водності, у значній мірі обумовлені ймовірнісною природою формування та змін стоку води. Тобто, причина стохастичної природи коливань річкового стоку полягає в тому, що цей процес залежить від багатьох факторів, сполучення на взаємообумовленість яких має випадковий характер. Для виконання поставленої мети представлено дослідження, її автори використали деякі попередні власні напрацювання [1, 3-6 9-14]., результати яких коротко представляємо як передумови актуального дослідження.

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

1) Для встановлення закономірностей у мінливості середнього річного стоку річок Українських Карпат досліджувалися тривалі часові ряди на основних річках : р. Тиса – с. Вилок (площа басейну $F=9140 \text{ км}^2$, період спостережень 1935-2015 рр.) і р. Тиса – м. Вашарошнамень (Угорщина) ($F=29057 \text{ км}^2$, 1883-2015 рр.); р. Дністер – м. Заліщики ($F=72100 \text{ км}^2$, 1882-2015 рр.); р. Прут – м. Чернівці ($F=27540 \text{ км}^2$, 1895-2015 рр.). На р. Тисі взято два гідрометричних створи для відновлення рядів річних витрат води гідрологічного поста Вилок за період з 1883 по 1934 рр.

2) Перевірку статистичної однорідності середніх річних витрат води у басейнах основних річок Українських Карпат та її кількісну оцінку виконано за узагальненими стандартними параметричними критеріями: Ст'юдента (статистика t) і Фішера (статистика F). Однорідність досліджуваних рядів за цими критеріями при рівні значимості $2\alpha=5\%$ не спростовуються. Лише для р. Прут – м. Чернівці гіпотеза спростовується за статистикою F . З непараметричних критеріїв застосовано критерій Уилкоксона (статистика U), в результаті – гіпотези про однорідність рядів для всіх досліджуваних басейнів не спростовуються.

3) В якості показника подібності внутрішньої структури досліджуваних рядів та для виявлення просторової синхронності мінливості водності на річках Українських Карпат визначено коефіцієнти кореляції $r Q(t)$ між часовими рядами середнього річного стоку води річок сусідніх басейнів. Такі зв'язки виявилися статистично значимими:

р. Тиса (Вилок) $\leftrightarrow$ р. Прут (Чернівці) – $r Q(t) = 0,57 \pm 0,06$;

р. Тиса (Вилок) $\leftrightarrow$ р. Дністер (Заліщики) – $r Q(t) = 0,70 \pm 0,04$;

р. Прут (Чернівці) $\leftrightarrow$ р. Дністер (Заліщики) – $r Q(t) = 0,71 \pm 0,05$.

4) Крім того, для виявлення синхронної мінливості стоку води та наявності в вихідних часових послідовностях випадкових коливань, які виражаються у вигляді хвиль, побудовані різницеві інтегральні криві середніх річних витрат води основних річок Українських Карпат, за якими помітна часова мінливість та синхронність в структурі стокових рядів.

5) Перевірку статистичної достовірності існування фаз підвищеної та пониженої водності, їх тривалості, і, відповідно, виявлення порушення умови стаціонарності виконано за допомогою критеріїв серій та найбільшої довжини серій.

Аналіз рядів за цими критеріями показав, що найбільшу довжину для всіх досліджуваних басейнів – р. Тиса (с. Вилок), р. Дністер (с. Заліщики), р. Прут (м. Чернівці), мають серії, що складаються з елементів понижених значень і теоретично доведено, що угруповання маловодних років можуть скласти для досліджуваних річок Українських Карпат 10 ± 2 років.

6) Для виявлення структури циклічних коливань, тобто для формалізації мінливості річного водного стоку річок Українських Карпат у вигляді циклів та їх багатоводних та маловодних фаз, для оцінювання їх кількісних показників застосовано автокореляційний аналіз. Встановлено, що у басейнах річок Тиси, Пруту та Дністра переважають цикли з тривалістю 3, 7 і 29 років. Перші з них пов'язані з дощовими паводками в Карпатах, які утворюють внутрішні флуктуації в основному циклі (або фазах водності). Циклічність у 29 років – це повторюваність в цьому циклі багатоводних та маловодних фаз. Отже, враховуючи основну повторюваність циклу (29 років), визначену тривалість маловодної фази (10 ± 2 років), визначено, що багатоводна фаза складає 17 ± 2 років.

7) Знаючи за емпіричними даними часові межі маловодій в досліджуваних басейнах – 1956-1964 рр., 1983-1992 рр., проведено аналіз найдовших рядів середнього річного стоку води річкових систем р. Тиса – с. Вилок, р. Дністер – м. Заліщики, р. Прут – м. Чернівці, виділено періоди багатоводних та маловодних фаз та розраховано середні за періоди фаз водності витрати води. Враховуючи те, що існує просторова синхронність стоку води у зазначених басейнах для достовірної оцінки коливань стоку для всіх басейнів періоди фаз приймалися однаковими в часових межах та хронології.

В таблиці 1 подано періоди багатоводних та маловодних фаз, середні за періоди фаз водності витрати води, що розраховані за емпіричними даними, та прогнозні оцінки водного стоку до 2050 р. з вказівкою стандартних відхилень у фазі водності.

Аналіз табл. 1 показав, що внутрішні циклічні коливання водності в басейнах основних річкових систем мають ідентичну структуру.

Таблиця 1. Середній річний стік води у фазі водності за даними спостережень та прогнозні оцінки стоку основних річок Українських Карпат на період до 2050 р.

Річкова система (річка – гідрологічний пост)	Період (роки)											
	1883-1898	1899-1911	1912-1927	1928-1939	1940-1955	1956-1964	1965-1981	1982-1992	1993-2009	2010-2021	2022-2037±38	2038-2048±49
	Фаза водності – ↑ - багатоводна, ↓ - маловодна											
	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
	Середні витрати води у фазі водності, Qсер, (м³/с)											
	Емпіричні дані										Прогнозні оцінки ± стандартні відхилення	
р. Тиса – Вилок	214	197	230	182	225	190	219	180	215	169	220±6	183±8
р. Прут – м. Чернівці			93	56	73	54	83	62	69	48	80±9	55±6
р. Дністер – м. Заліщики	248	212	283	206	233	169	262	195	250	168	256±17	190±17

Результати дослідження. Використовуючи встановлені часові межі (періоди років) багатоводних та маловодних фаз для основних річкових систем Українських Карпат (басейнів р. Тиса – с. Вилок, р. Прут – м. Чернівці та р. Дністер – м. Заліщики), визначено для річок, що знаходяться в межах кожної великої річкової системи і на яких ведуться спостереження за водним стоком, середні витрати води у фазі водності.

Як показали розрахунки, для всіх річок чітко виділяється циклічна мінливість, яка є подібною до досліджуваних основних річкових систем і яка добре прослідковується на рис. 1-3, де показано співвідношення середніх багаторічних витрат води річок окремо для басейнів Тиси, Пруту та Сирету, Дністра та їх значень в періоди багатоводних та маловодних фаз водності. Якісна характеристика зв'язків оцінюється як дуже висока.

Ймовірні відхилення (похибки) визначення середніх витрат води у багатоводні та маловодні фази водності узагальнено та подано у відсотках, для визначення їх в стокових характеристиках розраховуються за пропорцією від значень середніх витрат води у відповідну фазу водності.

Таблиця 2. Ймовірне відхилення розрахункових величин середнього стоку води багатоводних та маловодних фаз

Ймовірне відхилення величин стоку води, %	Річки басейну		
	Тиси	Пруту та Сирету	Дністра
багатоводна фаза	±3	±11	±7
маловодна фаза	±4	±7	±8

Запропоновані рівняння регресії щодо оцінки середніх річних витрат води в періоди багатоводних та маловодних фаз від середніх багаторічних їх значень (рис. 1-3) були перевірені за даними спостережень на гідрологічних постах за стоком води за попередні роки для річок басейнів Тиси (табл. 3), Пруту та Сирету (табл. 4) і Дністра (табл. 5) з визначенням показника ймовірності неперевищення ймовірних відхилень p у багатоводні та маловодні фази, який визначається за формулою: $p=n/N \cdot 100$, де n – кількість розрахункових оцінок, які не вийшли за межі ймовірних відхилень, N – загальна кількість проведених оцінок. Забезпеченість розрахункових оцінок водності у фазі водності за рівняннями регресії за порівнянням їх з емпіричними даними для річок басейну Тиси для маловодної фази водності склала 79 %, для багатоводної – 89.5 %, для річок басейну Пруту та Сирету для маловодної фази – 70 %, для багатоводної – 100 %, для річок Правобережжя Дністра для маловодної фази – 81.8 %, для багатоводної – 95.5 %. Отже, ймовірності неперевищення ймовірних відхилень розрахункових величин річного стоку води у фазі водності від фактичних в середньому для річок Українських Карпат для маловодних періодів склала 77 %, для багатоводних – 95 % (табл. 3-5).

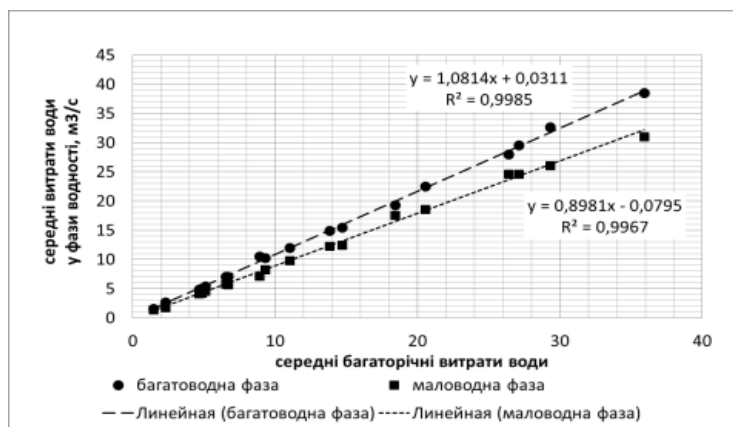


Рис. 1 Співвідношення середніх річних витрат води в періоди багатоводних та маловодних фаз від середніх багаторічних їх значень для річок у басейні Тиси

Таблиця 3. Перевірочні розрахунки водності багатоводних та маловодних періодів для річок басейну Тиси

Річка – гідрологічний пост	Середня витрата води (за емпіричними даними), м³/с			Прогнозні оцінки (за залежностями рис. 1)				Результати перевірки прогнозних оцінок *	
				Маловодна фаза		Багатоводна фаза			
	багато-річна	мало-водна фаза	багато-водна фаза	середня витрата води, м³/с	ймовірна похибка, м³/с	середня витрата води, м³/с	ймовірна похибка, м³/с	мало-водна фаза	багато-водна фаза
Тиса – Рахів	27,1	24,67	29,54	24,26	±0,97	29,34	±0,88	+	+
Біла Тиса – Луги	5,1	4,6	5,39	4,50	±0,18	5,55	±0,17	+	+
Чорна Тиса – Ясиня	4,83	4,2	5,08	4,26	±0,17	5,25	±0,16	+	+
Косівська – Кос.Поляна	4,63	4,18	4,85	4,08	±0,16	5,04	±0,15	+	+
Тересва Усть – Чорна	18,4	17,6	19,3	16,45	±0,66	19,93	±0,60	-	+
Ріка – Верхній Бистрий	13,8	12,3	14,9	12,31	±0,49	14,95	±0,45	+	+
Боржава Довге	11	9,8	12	9,80	±0,39	11,93	±0,36	+	+
Пилипець – Пилипець	1,45	1,39	1,55	1,22	±0,05	1,60	±0,05	-	+
Голятинка – Майдан	2,18	1,93	2,43	1,88	±0,08	2,39	±0,07	+	+
Латориця – Підполоззя	9,3	8,3	10,3	8,27	±0,33	10,09	±0,30	+	+
Латориця – Свалява	14,7	12,5	15,5	13,12	±0,52	15,93	±0,48	+	+
Латориця – Мукачеве	26,4	24,6	28	23,63	±0,95	28,58	±0,86	+	+
Віча – Неліпино	6,68	5,7	7,1	5,92	±0,24	7,25	±0,22	+	+
Латориця – Чоп	35,9	31	38,5	32,16	±1,29	38,85	±1,17	+	+
Стара – Зняцево	2,27	1,75	2,65	1,96	±0,08	2,49	±0,07	-	-
Уж – Жорнава	6,54	5,8	7,1	5,79	±0,23	7,10	±0,21	+	+
Уж – Зарічне	20,6	18,6	22,5	18,42	±0,74	22,31	±0,67	+	+
Уж – Ужгород	29,3	26,1	32,7	26,23	±1,05	31,72	±0,95	+	+
Тур'я – Сімер	8,88	7,2	10,56	7,90	±0,32	9,63	±0,29	-	-

Примітка: * + справдилися, - не справдилися

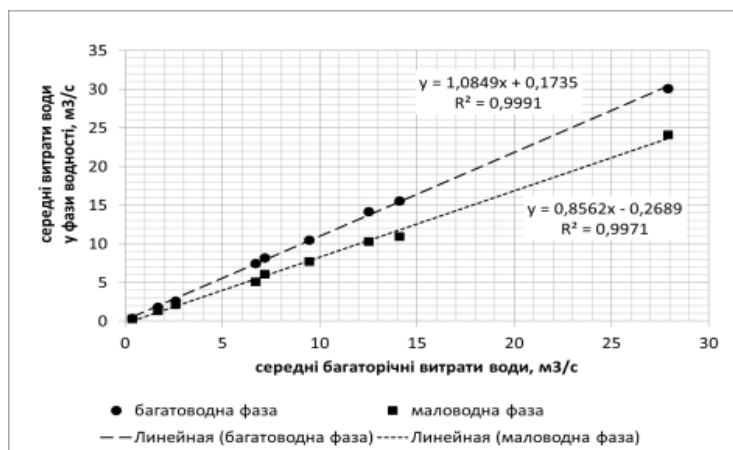


Рис. 2 Співвідношення середніх річних витрат води в періоди багатоводних та маловодних фаз від середніх багаторічних їх значень для річок у басейнах Пруту та Сірету

Таблиця 4 Перевірочні розрахунки водності багатоводних та маловодних періодів для річок басейну Пруту та Сірету

Річка – гідрологічний пост	Середня витрата води (за емпіричними даними), м³/с			Прогнозні оцінки (за залежностями рис. 2)				Результати перевірки прогнозних оцінок *	
				Маловодна фаза		Багатоводна фаза			
	багато-річна	мало-водна фаза	багато-водна фаза	середня витрата води, м³/с	ймовірна похибка, м³/с	середня витрата води, м³/с	ймовірна похибка, м³/с	мало-водна фаза	багато-водна фаза
Сірет – Сторожинець	6,7	5,1	7,5	5,47	±0,38	7,44	±0,82	+	+
Прут – Ворохта	1,99	1,54	2,45	1,43	±0,10	2,33	±0,26	+	+
Прут – Татарів	7,16	6,1	8,21	5,86	±0,41	7,94	±0,87	+	+
Прут – Яремче	12,5	10,3	14,2	10,43	±0,73	13,73	±1,51	+	+
Чорнява – Любківці	1,55	1,27	1,82	1,05	±0,07	1,85	±0,20	-	+
Черемош – Устеріки	27,9	24,1	30,1	23,62	±1,65	30,44	±3,35	+	+
Біл.Черемош – Яблуниця	9,45	7,75	10,5	7,82	±0,55	10,43	±1,15	+	+
Чор.Черемош–Верховина	14,1	11	15,6	11,80	±0,83	15,47	±1,70	+	+
Ільця – Ільці	1,67	1,37	1,8	1,16	±0,08	1,99	±0,22	-	+
Путила – Путила	2,58	2,13	2,65	1,94	±0,14	2,97	±0,33	-	+

Примітка: * + справдилися, - не справдилися

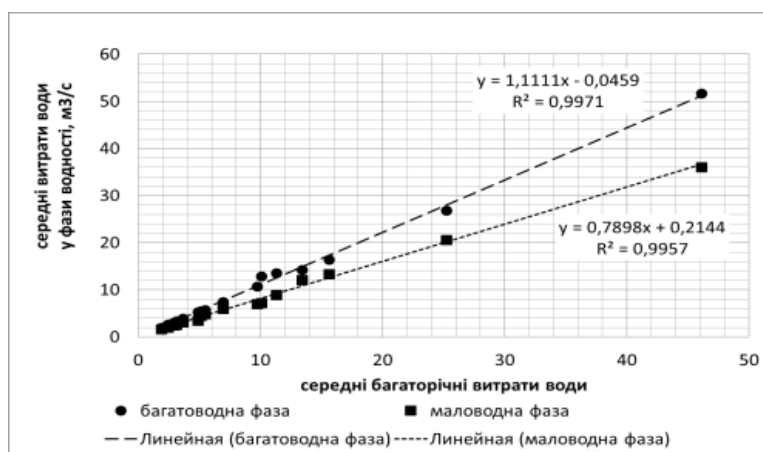


Рис. 3 Співвідношення середніх річних витрат води в періоди багатоводних та маловодних фаз від середніх багаторічних їх значень для річок правобережжя Дністра

Таблиця 5 Перевірочні розрахунки водності багатоводних та маловодних періодів для річок правобережжя Дністра

Річка – гідрологічний пост	Середня витрата води (за емпіричними даними), м³/с			Прогнозні оцінки (за залежностями рис. 3)				Результати перевірки прогнозних оцінок *	
	багато-річна	мало-водна фаза	багато-водна фаза	Маловодна фаза		Багатоводна фаза			
				середня витрата води, м³/с	ймовірна похибка, м³/с	середня витрата води, м³/с	ймовірна похибка, м³/с	мало-водна фаза	багато-водна фаза
Дністер – Стрілки	5,1	4,48	5,56	4,24	±0,34	5,62	±0,39	+	+
Дністер – Самбір	11,3	8,94	13,6	9,14	±0,73	12,51	±0,88	+	+
Дністер – Розділ	46,1	36,1	51,7	36,62	±2,93	51,18	±3,58	+	+
Стрий – Матків	2,84	2,4	3,05	2,46	±0,20	3,11	±0,22	+	+
Стрий – Завадівка	15,6	13,4	16,39	12,54	±1,00	17,29	±1,21	+	+
Славська – Славське	1,86	1,66	1,99	1,68	±0,13	2,02	±0,14	+	+
Орава – Святослав	3,65	3,12	3,96	3,10	±0,25	4,01	±0,28	+	+
Орава – Ясениця	20,9	20,63	21,24	16,75	±1,34	23,21	±1,63	-	+
Стрий – В. Синевидне	39,9	34,33	45,56	31,76	±2,54	44,34	±3,10	+	+
Опір – Сколе	13,4	12,1	14,3	10,80	±0,86	14,84	±1,04	-	+
Свіча – Мислівка	5,45	4,86	5,77	4,52	±0,36	6,01	±0,42	+	+
Свіча – Зарічне	25,2	20,6	26,8	20,12	±1,61	27,95	±1,96	+	+
Сукель – Тисів	3,11	2,57	3,26	2,67	±0,21	3,41	±0,24	+	+
Лужанка – Гошів	2,41	2,03	2,68	2,12	±0,17	2,63	±0,18	+	+

Річка – гідрологічний пост	Середня витрата води (за емпіричними даними), м³/с			Прогнозні оцінки (за залежностями рис. 3)				Результати перевірки прогнозних оцінок *	
				Маловодна фаза		Багатоводна фаза			
	багато-річна	мало-водна фаза	багато-водна фаза	середня витрата води, м³/с	ймовірна похибка, м³/с	середня витрата води, м³/с	ймовірна похибка, м³/с	мало-водна фаза	багато-водна фаза
Лімниця – Осмолода	6,91	5,96	7,46	5,67	±0,45	7,63	±0,53	+	+
Лімниця – Перевозець	23,01	20,75	25,43	18,45	±1,48	25,61	±1,79	-	+
Стрваж – Луки	9,7	7,01	10,7	7,88	±0,63	10,73	±0,75	+	+
Б.Надвірн. – Пасічна	10,9	9,87	12,1	8,89	±0,71	12,16	±0,85	+	+
Б.Надвірн. – Черніїв	10,71	9,6	11,81	8,67	±0,69	11,85	±0,83	+	+
Ворона – Тисьмениця	4,85	3,45	5,32	4,04	±0,32	5,34	±0,37	+	+
Б.-Солотв – Гута	3,13	2,53	3,41	2,69	±0,21	3,43	±0,24	+	+
Б.-Солотв – Ів.-Франківськ	10,1	7,25	12,93	8,18	±0,65	11,17	±0,78	-	-

Примітка: * + справдилися, - не справдилися

Висока забезпеченість перевірочних розрахункових оцінок водності багатоводних та маловодних періодів за рівняннями регресії у порівнянні їх з емпіричними для річок басейнів Тиси, Пруту та Сірету і правобережжя Дністра, а отже, значущість запропонованих рівнянь надало змогу узагальнити ймовірні середні витрати води у багатоводну та маловодну фази циклу для річок досліджуваних басейнів Українських Карпат від середніх багаторічних їх значень (табл. 6-8).

Таблиця 6. Узагальнені співвідношення середніх витрат води річок басейну Тиси в періоди багатоводних та маловодних фаз від середніх багаторічних їх значень

Витрати води, м³/с				Витрати води, м³/с			
середні за багаторічний період	середні у багатоводну фазу	середні у маловодну фазу	як різниця у фазах водності	середні за багаторічний період	середні у багатоводну фазу	середні у маловодну фазу	як різниця у фазах водності
0,5	0,57	0,37	0,20	22,0	23,82	19,68	4,14
1,0	1,11	0,82	0,29	24,0	25,98	21,47	4,51
2,0	2,19	1,72	0,48	26,0	28,15	23,27	4,88
3,0	3,28	2,61	0,66	28,0	30,31	25,07	5,24
4,0	4,36	3,51	0,84	30,0	32,47	26,86	5,61
5,0	5,44	4,41	1,03	32,0	34,64	28,66	5,98
6,0	6,52	5,31	1,21	34,0	36,80	30,46	6,34
7,0	7,60	6,21	1,39	36,0	38,96	32,25	6,71
8,0	8,68	7,11	1,58	38,0	41,12	34,05	7,08
9,0	9,76	8,00	1,76	40,0	43,29	35,84	7,44
10,0	10,85	8,90	1,94	42,0	45,45	37,64	7,81
12,0	13,01	10,70	2,31	44,0	47,61	39,44	8,18
14,0	15,17	12,49	2,68	46,0	49,78	41,23	8,54
16,0	17,33	14,29	3,04	48,0	51,94	43,03	8,91
18,0	19,50	16,09	3,41	50,0	54,10	44,83	9,28
20,0	21,66	17,88	3,78				

Таблиця 7. Узагальнені співвідношення середніх витрат води річок басейнів Пруту та Сірету в періоди багатоводних та маловодних фаз від середніх багаторічних їх значень

Витрати води, м³/с				Витрати води, м³/с			
середні за багаторічний період	середні у багатоводну фазу	середні у маловодну фазу	як різниця у фазах водності	середні за багаторічний період	середні у багатоводну фазу	середні у маловодну фазу	як різниця у фазах водності
0,5	0,72	0,16	0,56	22,0	21,87	18,57	5,47
1,0	1,26	0,59	0,67	24,0	24,04	20,28	5,93
2,0	2,34	1,44	0,90	26,0	26,21	21,99	6,39
3,0	3,43	2,30	1,13	28,0	28,38	23,70	6,85
4,0	4,51	3,16	1,36	30,0	30,55	25,42	7,30

Витрати води, м³/с				Витрати води, м³/с			
середні за багаторічний період	середні у багатоводну фазу	середні у маловодну фазу	як різниця у фазах водності	середні за багаторічний період	середні у багатоводну фазу	середні у маловодну фазу	як різниця у фазах водності
5,0	5,60	4,01	1,59	32,0	32,72	27,13	7,76
6,0	6,68	4,87	1,81	34,0	34,89	28,84	8,22
7,0	7,77	5,72	2,04	36,0	37,06	30,55	8,68
8,0	8,85	6,58	2,27	38,0	39,23	32,27	9,13
9,0	9,94	7,44	2,50	40,0	41,40	33,98	9,59
10,0	11,02	8,29	2,73	42,0	43,57	35,69	10,05
12,0	13,19	10,01	3,19	44,0	45,74	37,40	10,51
14,0	15,36	11,72	3,64	46,0	47,91	39,12	10,96
16,0	17,53	13,43	4,10	48,0	50,08	40,83	11,42
18,0	19,70	15,14	4,56	50,0	52,25	42,54	11,88
20,0	21,87	16,86	5,02				

Таблиця 8. Узагальнені співвідношення середніх витрат води річок правобережжя Дністра в періоди багатоводних та маловодних фаз від середніх багаторічних їх значень

Витрати води, м³/с				Витрати води, м³/с			
середні за багаторічний період	середні у багатоводну фазу	середні у маловодну фазу	як різниця у фазах водності	середні за багаторічний період	середні у багатоводну фазу	середні у маловодну фазу	як різниця у фазах водності
0,5	0,51	0,49	0,02	22,0	24,40	17,59	6,81
1,0	1,07	1,00	0,06	24,0	26,62	19,17	7,45
2,0	2,18	1,79	0,38	26,0	28,84	20,75	8,09
3,0	3,29	2,58	0,70	28,0	31,06	22,33	8,74
4,0	4,40	3,37	1,02	30,0	33,29	23,91	9,38
5,0	5,51	4,16	1,35	32,0	35,51	25,49	10,02
6,0	6,62	4,95	1,67	34,0	37,73	27,07	10,66
7,0	7,73	5,74	1,99	36,0	39,95	28,65	11,31
8,0	8,84	6,53	2,31	38,0	42,18	30,23	11,95
9,0	9,95	7,32	2,63	40,0	44,40	31,81	12,59
10,0	11,07	8,11	2,95	42,0	46,62	33,39	13,23
12,0	13,29	9,69	3,60	44,0	48,84	34,97	13,88
14,0	15,51	11,27	4,24	46,0	51,06	36,55	14,52
16,0	17,73	12,85	4,88	48,0	53,29	38,12	15,16
18,0	19,95	14,43	5,52	50,0	55,51	39,70	15,80
20,0	22,18	16,01	6,17				

Отримані результати (табл. 6-8) можна використати для прогнозних оцінок можливих значень середнього стоку, які можна очікувати в багатоводні та маловодні фази водності для будь-якої річки Українських Карпат, враховуючи в якій річковій системі вона знаходиться та знаючи середню багаторічну витрату води та часові межі та порядок фаз водності.

Висновки. У структурі часових послідовностей середнього річного стоку води річок Українських Карпат (річкових систем Тиси, Пруту та Сірету, правобережжя Дністра) чітко виділяється мінливість, яка є подібною для річок досліджуваних річкових систем і їм властиві спільні закономірності стохастичних зв'язків і циклічних коливань. Висока достовірність циклів із періодами 29 ± 2 років свідчить про стабільну повторюваність періодів високої та низької водності. Графіки співвідношень середніх річних витрат води в періоди багатоводних та маловодних фаз від середніх багаторічних їх значень для річок окремо річкових систем Тиси, Пруту та Сірету, правобережжя Дністра показали, що якісна характеристика таких зв'язків оцінюється як дуже висока. Перевірочні розрахункові оцінки стоку води у фази водності за рівняннями регресії у порівнянні їх з емпіричними даними для річок басейнів Тиси, Пруту та Сірета, правобережжя Дністра та їх висока забезпеченість (ймовірності неперевіщення ймовірних відхилень для маловодних періодів склала 77 %, для багатоводних – 95 %) надало змогу узагальнити ймовірно очікувані середні витрати води у багатоводну та маловодну фази циклу від середніх

багаторічних їх значень для річок досліджуваних басейнів Українських Карпат, які можна використати для прогнозних оцінок можливих значень стоку води в багатоводні та маловодні фази водності для будь-якої річки Українських Карпат.

Список літератури

1. Лук'янець О.І., Камінська Т.П. Закономірності та просторова синхронність багаторічних циклічних коливань водного стоку річок Українських Карпат. Науковий вісник Чернівецького університету: збірник наукових праць. Чернівці: Чернівецький нац. ун-т. Вип. 744–745: Географія. 2015. С. 18-24.
2. Лук'янець О.І., Сосєдко М.М. Багаторічні коливання водності в Карпатах // Матеріали міжнародної конференції "Стихійні явища в Карпатах". Рахів. 1999. С.195-199.
3. 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. Укр. геогр. журнал, 2021, N1, с. 06-14. <https://doi.org/10.15407/ugz2021.01.006>.
4. Лук'янець О.І., Ободовський О.Г., Гребінь В.В., Москаленко С.О., Почаєвець О.О., Корнієнко В.О. Прогнозні оцінки водного стоку річок України на основі стохастичних закономірностей його багаторічних коливань. Укр. геогр. журн., 4(116). 2021, С. 8-19. <https://doi.org/10.15407/ugz2021.04.008>.
5. Ободовський, О., Лук'янець, О., Москаленко, С. & Корнієнко, В. Узагальнення середнього річного стоку води річок відповідно до гідрографічного районування України. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, Серія «Геологія. Географія. Екологія», 2019. №51 С. 158-170. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-11>.
6. Очеретнюк А.І., Лук'янець О.І. Багаторічна мінливість статистичних параметрів розподілу середнього річного стоку води річок України з найдовшими рядами спостережень. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2020. № 3(58). С. 39-48. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.3.4>.
7. Ромащенко М.І., Савчук Д.П. Водні стихії. Карпатські повені. Статистика, причини, регулювання. К.: Аграрна наука, 2002. 150-200 с.
8. Сусідко М.М., Лук'янець О.І. Можливості оцінювання річкового стоку в Карпатах на найближчі роки з урахуванням його багаторічних коливань. Наукові праці УкрНДГМІ. 1998. Вип.246. С.46-55.
9. Grebin V., Didovets I, Korniienko V., Korohoda N., Kryvets O., Kuprikov I., Lukianets O., Obodovskyi O., Onyschuk V., Pochaievets O., Snizhko S., Shevchenko O. River runoff in Ukraine under climate change conditions. Monograph, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2020. 180 p.
10. Luk'yanets O., Sossedko M. Die Abflussbewertung auf nächste Jahre in den Karpaten unter Berücksichtigung der mehrjährigen Abflussschwankungen // Sammelband der XIX. Konferenz der Donauländer. Osijek (Kroatien). 1998. S.393-401.
11. Lukianets Olga and Obodovskyi Iurii Spatial, Temporal and Forecast Evaluation of Rivers' Streamflow of the Drainage Basin of the Upper Tisa under the Conditions of Climate Change. - Scientific Journal: ENVIRONMENTAL Research, Engineering and Management, No. 71(1). Kaunas, KTU. 2015. P. 36-46.
12. Lukianets Olga Stochastic regularities of long-term fluctuation of average annual runoff of rivers of Tisza river basin (within the Ukraine). Electronic Book with full papers from XXVII Conference of Danubian Countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management 26-28 September 2017, Golden Sands, Bulgaria. P. 280-290.
13. Moskalenko S. O., Malytska L. V. Spatial correlation function of the mean annual water runoff of the river of Ukraine. Conference Proceedings, Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects 2020, May 2020, Volume 2020, p.1– 5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo119>.
14. Obodovskyi Oleksandr, Lukianets Olga Patterns and Forecast of Long-term Cyclical Fluctuations of the Water Runoff of Ukrainian Carpathians Rivers. Scientific Journal of Environmental Research, Engineering and Management, Vol. 73, No.1. Kaunas University of Technology, 2017. P. 33-47.

References

1. Lukianets O.I., Kaminska T.P. Zakonomirnosti ta prostoroва synkhronnist bahatorichnykh tsyklichnykh kolyvan vodnoho stoku richok Ukrainy Karpats [Regularities and spatial synchronicity of multi-year cyclical fluctuations of the water flow of the Ukrainian Carpathians]. Naukovyi visnyk Chernivetskoho universytetu: zbirnyk naukovykh prats. Chernivtsi: Chernivetskyi nats. un-t. Vyp. 744–745: Heohrafiia. 2015. S. 18-24.
2. Lukianets O.I., Sosiedko M.M. Bahatorichni kolyvannia vodnosti v Karpatakh [Long-term fluctuations in water content in the Carpathians] // Materialy mizhnarodnoi konferentsii "Stykhiini yavyscha v Karpatakh". Rakhiv. 1999. S.195-199.
3. 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 patterns of changes in the

average annual flow of water in the rivers of Ukraine]. Ukr. heohr. zhurnal, 2021, N1, s. 06-14. <https://doi.org/10.15407/ugz2021.01.006>.

4. Lukianets O.I., Obodovskyi O.H., Hrebin V.V., Moskalenko S.O., Pochaievets O.O., Korniienko V.O. Prohnoznyi otsinky vodnoho stoku richok Ukrainy na osnovi stokhastychnykh zakonomirnostei yoho bahatorichnykh kolyvan [Forecast of the water flow of the rivers of Ukraine based on stochastic regularities of its long-term fluctuations]. Ukr. heohr. zhurn., 4(116). 2021, S. 8-19. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2021.04.008>.

5. Obodovskyi, O., Lukianets, O., Moskalenko, S. & Korniienko, V. Uzahalnennia serednoho richnoho stoku vody richok vidpovidno do hidrografichnoho raionuvannia Ukrainy [Generalization of the average annual water runoff of the rivers according to the hydrographic zoning of Ukraine]. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. N. Karazina, Seriya «Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia», 2019. №51 S. 158-170. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-11>.

6. Ocheretniuk A.I., Lukianets O.I. Bahatorichna minlyvist statystychnykh parametriv rozpodilu serednoho richnoho stoku vody richok Ukrainy z naidovshymy riadamy sposterezhen [Long-term variability of the statistical parameters of the distribution of the average annual water flow of the rivers of Ukraine with the longest series of observations]. Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia, 2020. № 3(58). C. 39-48. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.3.4>.

7. Romashchenko M.I., Savchuk D. P. Vodni stykhii. Karpatski poveni. Statystyka, prychyny, rehuliuвання [Water disasters. Carpathian floods. Statistics, reasons, regulation]. K.: Ahrarna nauka, 2002. 150-200 s.

8. Susidko M.M., Lukianets O.I. Mozhlyvosti otsiniuvannia richkovoho stoku v Karpatakh na naiblyzhchi roky z urakhuvanniam yoho bahatorichnykh kolyvan // Naukovi pratsi UkrNDHMI. 1998. Vyp.246. S.46-55

9. Grebin V., Didovets I., Korniienko V., Korohoda N., Kryvets O., Kuprikov I., Lukianets O., Obodovskyi O., Onyschuk V., Pochaievets O., Snizhko S., Shevchenko O. River runoff in Ukraine under climate change conditions. Monograph, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2020. 180 p.

10. Luk'yanets O., Sossedko M. Die Abflussbewertung auf nächste Jahre in den Karpaten unter Berücksichtigung der mehrjährigen Abflussschwankungen // Sammelband der XIX. Konferenz der Donauländer. – Osijek (Kroatien). 1998. S.393-401

11. Lukianets Olga and Obodovskyi Iurii Spatial, Temporal and Forecast Evaluation of Rivers' Streamflow of the Drainage Basin of the Upper Tisa under the Conditions of Climate Change. - Scientific Journal: ENVIRONMENTAL Research, Engineering and Management, No. 71(1). Kaunas, KTU. 2015. P. 36-46.

12. Lukianets Olga Stochastic regularities of long-term fluctuation of average annual runoff of rivers of Tisza river basin (within the Ukraine). Electronic Book with full papers from XXVII Conference of Danubian Countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management 26-28 September 2017, Golden Sands, Bulgaria. P. 280-290.

13. Moskalenko S. O., Malytska L. V. Spatial correlation function of the mean annual water runoff of the river of Ukraine. Conference Proceedings, Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects 2020, May 2020, Volume 2020, p.1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo119>.

14. Obodovskyi Oleksandr, Lukianets Olga Patterns and Forecast of Long-term Cyclical Fluctuations of the Water Runoff of Ukrainian Carpathians Rivers. Scientific Journal of Environmental Research, Engineering and Management, Vol. 73, No.1. Kaunas University of Technology, 2017. P. 33-47.

Average annual water flow of the rivers of the Ukrainian Carpathians in the high-water and low-water phases of the water level

Lukianets O.I., Obodovskyi O.H., Moskalenko S.O.

The assessment of the average annual runoff of the rivers of the Ukrainian Carpathians in the high-water and low-water phases of water was carried out on the basis of a stochastic analysis and the identification of characteristic patterns of alternation of such periods within the boundaries of the Tisza, Dniester, Prut and Siret river systems. The study was carried out using a methodological base based on statistical means of generalization, data systematization, methods for estimating temporal random sequences, methods for analyzing the long-term variability of time series of water runoff characteristics and identifying their structure. As a result of the study, the variability in the structure of the time series of the average annual water discharge of the rivers of the Ukrainian Carpathians is clearly revealed. Such variability is similar for rivers within the studied river systems and is characterized by common patterns of stochastic relationships and cyclic fluctuations. The high reliability of cycles with periods of 29 ± 2 years indicates a stable recurrence of periods of high and low water content. The graphs of the relationships between the average annual water discharges during the periods of high and low water content and their average long-term values for the rivers of the Tisza, Prut and Siret river systems on the right bank of the Dniester showed that the qualitative characteristics of such relationships are assessed as very high. The estimates of water discharge in the water phase for the rivers of the Tisza, Prut, Siret and the right bank of the Dniester basins were checked using regression equations in comparison with empirical data and their high reliability (the probability of not exceeding probable deviations in dry periods was 77%, in high-water periods - 95%), which made it possible to generalize the

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

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'І 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 (WPAC850₁) та ААО у грудні (ААО₁₂). За ймовірністю неперевиконання 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 Шакіризанова 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).

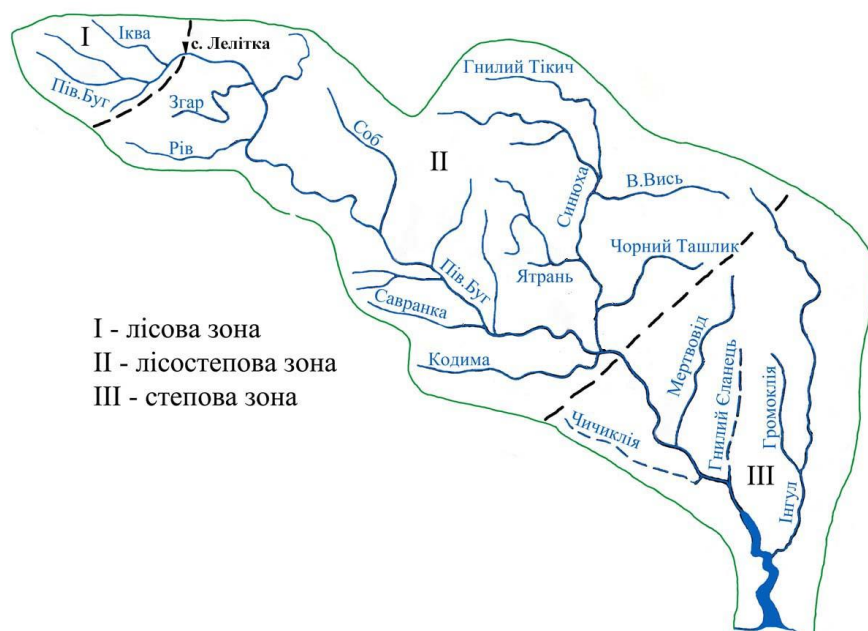


Рис. 1. Схема фізико-географічного районування басейну р. Південний Буг

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 дренують 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 січні, 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, телеконнекційних 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 телеконнекційні 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, телеконнекційних 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 ААО у грудні (ААО_{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 ААО 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:

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

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

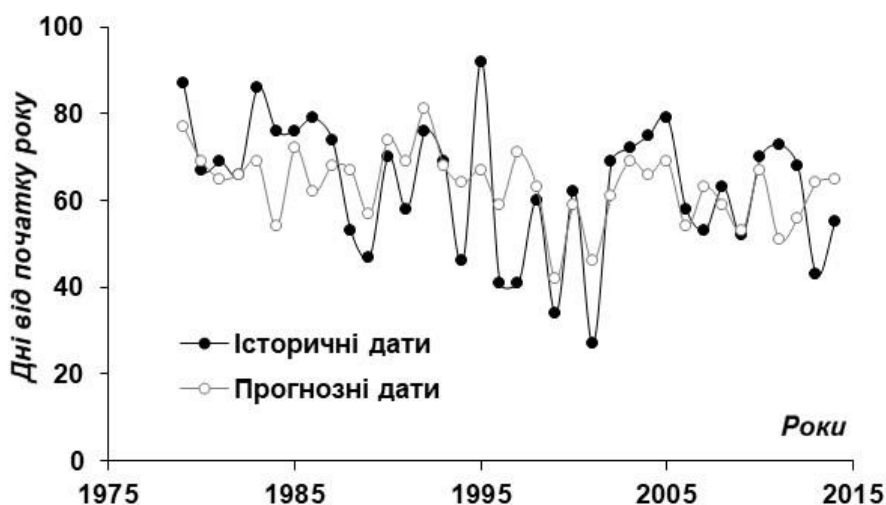


Рис. 2. Історичні і прогнозовані за рівнянням (1) дати початку весняного водопілля на гідрологічному посту р. Південний Буг – с. Лелітка за період 1979-2014 роки

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 прогнозної 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 неперевикнення 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_I) та індекс ААО у грудні (ААО_{ХІІ}). 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. 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., Mikláněk 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 Ангара-Енисейского каскада. *Географический вестник*. 2017. № 1(40). С. 66-72.
26. Сизова Л.Н., Куимова Л.Н., Шимараев М.Н. Влияние циркуляции атмосферы на ледовотермические процессы на Байкале в 1950-2010 годы. *География и природные ресурсы*. 2013. № 2. С. 74-82.
27. Шимараев 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: monohrafiia [Long-term forecasting of the characteristics of the maximum flow of spring flood of lowland rivers and estuaries of the territory of Ukraine: monograph]. Odesa: FOP Bondarenko M.O., 2015. 252 s.
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. Khrystiuk 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., Mikláneek 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 prohnoviv strokiv pochatku ta prokhodzhennia maksimumiv vesnianykh vodopil' na rivnynnykh 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 hidrometeorologichnyj 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 vesnjanykh vodopil' [Method of spatial prediction the dates of starting and passing the maximum water discharge of spring floods]. *Hidrologhiia, hidrokhimiia i hidroekologhiia*. 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]. *Yzvestiya 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 ledovotermicheskiye processy na Bajkale v 1950-2010 gody [Influence of atmospheric circulation on ice-thermal processes at Baikal in 1950-2010]. *Geografija 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., Vasylyeva O.S.* Stroky ta tryvalist' periodiv i sezoniv vodogospodars'kogo roku v basejni richky Pivdennyj Bug [Terms 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 prostorove 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 rezhymu 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. So, 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 засвідчив 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)**

Актуальність дослідження. Оцінка стійкості русел річок є одним із найважливіших компонентів в аналізі руслових процесів і має велике практичне значення. Разом з тим, вона заключає в собі і екологічний зміст, який пов'язаний передусім із аналізом і прогнозом інтенсивності руслових деформацій, які можуть суттєво впливати на умови життєдіяльності і господарювання у межах русло-заплавного комплексу річок.

При оцінці темпів розвитку руслових деформацій необхідно мати показник, який об'єктивно міг би характеризувати ступінь їх опору річковому потоку, тобто визначати стійкість русла. Завдяки оцінці стійкості русел з'являється можливість порівняння швидкості розвитку руслових деформацій різних річок або ділянок однієї річки. Отже, поняття стійкості русел полягає в їх порівнянні за кількісною оцінкою умов і швидкості прояву руслових деформацій [1]. Умови стійкості в простому математичному вигляді для прямолінійного русла можна виразити за К. В. Гришаниним [2] через незмінності витрати наносів вздовж потоку $G/x = 0$. Для потоку, рух в якому встановився, тоді на нуль перетворюється похідна від площі живого перетину (W) за довжиною русла $W/x = 0$. Разом із тим на ділянках звуження або розширення русла відбуваються його деформації і, тоді, $W/x \neq 0$ [1-2]. Будь-яка річка з часом змінює свої обриси, а тому її загальна стійкість завжди є відносною.

Тому ряд дослідників ставили перед собою завдання щодо встановлення критерію стійкості русла. При цьому дуже часто намагалися виявити головні фактори деформацій русел річок, визначити їх кількісну характеристику, яка і приймається як показник стійкості русла [3].

Мета дослідження - виконати просторово-часове оцінювання стійкості річкових русел району річкового басейну Дніпра в межах України з проведенням порівняльного аналізу різних показників стійкості.

Аналіз виконаних досліджень та методів. Питаннями оцінки стійкості русел річок займалися багато дослідників, і тому існує ціла низка підходів до встановлення її кількісних показників. Аналіз досягнень в цій царині дає підстави намітити кілька напрямків досліджень стійкості русел річок. Серед них можна виокремити наступні.

Морфологічні показники стійкості, які базуються на встановленні морфологічних параметрів русел річок з урахуванням їхніх похилів та крупності руслового алювію. До них можна віднести показники таких авторів як засновника поняття стійкості русла В. Лохтіна [4], а також М.Маккавеева [5], М.Ржаніцина [6], С.Шатаєвої [3] та інших.

Морфо-динамічні показники стійкості, обґрунтування котрих базується на взаємодії морфологічних параметрів русел річок з динамічними показниками їхніх потоків. Їх авторами є М.Веліканов [7], С.Алтунін [8], К.Гришанин [2], І.Карасьов [9], D. Rosgen [10, 11], Haron, N.A and etc. [12] та інші.

Динамічні показники стійкості, найменш розвинутий напрямок, встановлення стійкості в якому базується на розрахунках в основному динамічних показників потоку здебільшого для гірських річок. Їх репрезентують залежності, які запропоновані В.Талмазою і О.Крошкіним [13], В.Онищуком [14], W. Mohammed-Ali and etc. [15] та інші.

Дослідження руслових процесів у річках та умов, які формують їхню стійкість, тісно пов'язане з механізмом водної ерозії в їхніх басейнах. Тому для більш об'єктивної оцінки руслових процесів взагалі і стійкості русел річок зокрема необхідне врахування всіх водно-ерозійних процесів у річковому басейні. Дослідження руслових процесів на річках тісно пов'язане з механізмом водної ерозії в їх басейнах. Ерозійні процеси на поверхні водозборів і руслові процеси водотоків, підпорядковуються єдиній схемі функціонування ерозійно-аккумулятивної системи "схил - яр - балка - струмок - річка - гирло", тобто у ерозійно-русловій системі. Це свідчить про прямий і зворотній зв'язок в ерозійно-аккумулятивному комплексі: схилова ерозія у річковому басейні впливає на формування і розвиток русла, і навпаки, розвиток русла в тій чи іншій мірі може регулювати схилу ерозію [16]. Закономірності прояву водно-ерозійних процесів не можуть розглядатися окремо від інших екзогенних факторів. Безпосередньо руслові процеси проявляються на етапі появи постійного водотоку. В свою чергу, це явище реальне лише при певному складному комбінуванні різноманітних факторів (кліматичних, геолого-геоморфологічних, ґрунтово-ботанічних) і форма їх взаємодії різна в різних природних умовах. В якості

показника стійкості русел, який повинен враховувати прояв ерозії на водозборі, гідравлічні особливості потоку і морфометричні характеристики русла [1,3].

Серед існуючих показників стійкості русел за даними І.П.Шуляренко [17], для малих та середніх річок району річкового басейну Дніпра найбільш достовірним з точки зору його зв'язку з горизонтальними деформаціями є число Лохтіна (1).

$$L = \frac{d}{\Delta H_{KM}}, \quad (1)$$

де d – діаметр донних наносів, мм; ΔH_{KM} – кілометричне падіння відміток русла, м/км.

Цей вираз широко застосовується на практиці і отримав назву "число Лохтіна". Вираз (1) має один суттєвий недолік, зумовлений його лінійною розмірністю (d – величина розмірна, мм, а ΔH_{KM} – відносна величина). Тому на його абсолютні показники впливає порядок та розмір річки. Для малих річок L , як правило, менше, ніж для великих, хоча стійкість останніх фактично може бути меншою. Таким чином, за допомогою числа Лохтіна можна порівнювати стійкість річок лише близьких порядків [3].

Формула (1) за своєю структурою не враховує форми русла. Разом з тим, русла річок різних порядків мають неоднакову форму перерізу. Тому, при переході від малих до середніх та великих річок різке наростання ширини супроводжується не такими значними приростами глибини. Для перших різниця оцінюється в декілька разів, тоді як для других вона може становити і декілька порядків.

З метою більш об'єктивної оцінки стійкості русел був використаний показник розпластаності русла (або відносної ширини) B/h . Вираз B/h відображає середні співвідношення морфометрії русел річок, які протікають у різних фізико-географічних умовах [3,18].

Крім цього, для аналізу стану стійкості русла необхідно врахувати ерозійні умови в басейні, про що вказувалося раніше. Річкові наноси формуються із двох складових – руслової і басейнової, а величина останньої залежить від протиерозійної стійкості підстильних порід та ґрунтів на поверхні водозбору і для рівнинних річок вона, як правило, є більшою [3,19].

Зважаючи на строкатість і різноманітність ґрунтового покриття та факторів, які обумовлюють його протиерозійну здатність, виникають певні труднощі у визначенні такого ерозійного коефіцієнту. Найбільш прийнятним для визначення стійкості русел і відображення ерозійних процесів на водозборі можна вважати коефіцієнт ерозії [3,20]. При дослідженні взаємозв'язку стоку наносів та стоку води річок рівнинної території України була рекомендована залежність:

$$R = A \cdot Q^n, \quad (2)$$

де R – витрата наносів, кг/с; Q – витрата води, м³/с; A – коефіцієнт ерозії, який характеризує зональність річкових басейнів за ступенем еродованості ґрунтів, а показник n враховує вплив різновидності річкового алювію на витрату завислих наносів

Поеднання вказаних параметрів дозволило більш обґрунтовано підійти до оцінки умов взаємодії системи "водозбір-русло-потік".

Таким чином, модифікований показник для визначення стійкості русла (за О.Г. Ободовським) має такий вигляд [3]:

$$L_o = \frac{d}{\Delta H_M} \cdot \frac{B}{h} \cdot A, \quad (3)$$

де d – середньозважений діаметр донних наносів, мм, ΔH_M – кілометричне падіння водної поверхні, м; B – середня ширина русла, м, h – середня глибина потоку, м; A – коефіцієнт ерозії, який характеризує зональність річкових басейнів за ступенем еродованості ґрунтів.

Для гальки з гравієм він має осереднене значення $A = 0,03$, а для русел складених із суміші мулу, піску і суглинку – 0,04.

Вираз (3) містить у своїй структурі не лише параметр, який характеризує умови транспортування наносів, а й показник форми русла, що робить його більш чутливим до оцінки стійкості. А введення в цей комплекс ерозійного коефіцієнта відображає умови прояву ерозійних процесів на водозборі.

Для показника L_0 розроблена класифікаційна шкала за якісно відмінними між собою гідроморфологічними станами, яка наведена в табл. 1 [3].

Таблиця 1. Шкала стійкості річок для умов вільного та обмеженого руслоформування

Ступінь стійкості	Значення L_0 при:	
	Вільних умовах руслоформування	Переважаючих обмежених умов руслоформування
Стійкі	<1	>7
Відносно стійкі	1-4	4-7
Відносно нестійкі	4-7	1-4
Нестійкі	>7	<1

Ерозійний показник стійкості L_0 може також успішно використовуватись для оцінки стійкості рівнинних і гірських річок [1, 21-23].

Результати досліджень. Представлений вище ерозійний показник стійкості русел річок був застосований для оцінювання умов стійкості гідродинамічної системи «потік-русло» і для рівнинних річок України. Варто зазначити, що перша така оцінка була виконана ще в кінці 90-х років минулого століття і опублікована в роботі [3]. З того часу відбулись значні зміни у водності вказаних річок, які, зокрема, пов'язані із суттєвими кліматичними змінами [24-25]. Тому науковий і практичний інтереси представляє собою саме сучасна просторово-часова оцінка цього показника у порівнянні із попереднім періодом.

Об'єктом досліджень були обрані річки району річкового басейну Дніпра (в межах України) (рис.1), на яких виконувались спостереження за стоком води і наносів. Крім того було б цікаво прослідкувати відповідність отриманих результатів за даним показником з результатами оцінок стійкості русел річок за іншими показниками стійкості.



Рис.1. Розташування досліджуваних репрезентативних гідрологічних постів в районі басейну р. Дніпро в межах України

Для досягнення поставлених задач були задіяні дані за стоком води і стоком завислих наносів за інформацією 17 репрезентативних гідрологічних постів (рис.1, табл. 1). Вказані пости обрані з урахуванням таких чинників, як – а) протяжність і репрезентативність періоду спостережень за стоком води і наносів, б) їх функціонування в сучасний період; в) розташування в різних суббасейнах району річкового басейну Дніпра, г) вплив природних та антропогенних умов на формування стоку завислих наносів. Для вказаних постів були оцінені коефіцієнти ерозії A і встановлені рівняння зв'язків витрат води і завислих наносів $R=f(Q)$ [26].

Виконана оцінка зміни цих показників за інформацією вказаних гідрологічних постів за 2 періоди 1980-2000рр, 2000-2020 рр. засвідчила зменшення коефіцієнта ерозії A і незначне зростання показника ступеня n , що обумовлено, перш за все, зміною водності вказаних річок, яка мала тенденції до зниження в останні десятиліття [25]. Це підтверджується і загальним зменшенням стоку наносів на досліджуваних річках більш як на 15% за вказані періоди [26].

Наведені дослідження дали змогу встановити кількісні значення ерозійного показника стійкості Lo для русел досліджуваних річок в певних часових відрізках за вказані періоди, табл.2.

Таблиця 2. Порівняння ерозійних показників стійкості Lo_1 , Lo_2 , Lo_3 *

№	Річка	Пункт	Lo_1	Lo_2	Lo_3
1	Вижівка	с.Руда	0,54	0,03	0,03
2	Стир	с.ІЦуровичі	2,35	3,79	3,51
3	Іква	с.Вел. Млинівці	1	3,07	4,00
4	Горинь	смт Ямпіль	0,32**	0,38**	0,16**
5	Случ	с.Громада	0,65**	0,94**	0,92**
6	Случ	м.Сарни	0,79	2,5	4,82
7	Уборть	с.Перга	1,19	1,71	1,23
8	Норин	с.Славенщина	0,3	0,26	0,07
9	Тетерів	смт.Іванків	19,92	10,68	9,45
10	Десна	с.Розльоти	39,03	38,15	41,26
11	Десна	м.Чернігів	8,91	17,54	62,36
12	Сейм	с.Мутин	0,75	2	5,33
13	Рось	с.Фесюри	1,55**	1,51**	1,01**
14	Псел	м.Гадяч	5,07	6,73	10,84
15	Ворскла	с.Чернеччина	3,51	1,88	1,71
16	Оріль	смт Царичанка	3,1	3,67	9,18
17	Самара	с.Кочеріжки	0,65	1	0,52

Стан річкового русла за показником стійкості:

стійкий
відносно стійкий
відносно нестійкий
нестійкий

Примітки: * Lo_1 -1990-1995рр., Lo_2 -2000-2005 рр., Lo_3 - 2015-2020рр.

** - обмежені умови руслоформування

Наведені в табл.1 результати дозволили встановити певні закономірності просторово-часової зміни стійкості обраних до дослідження річок. У цілому прослідковується загальна тенденція до більш-менш стабільної ситуації стосовно стійкості русел річок за ерозійним показником. Можливо це обумовлено наявністю майже повного циклу водності за вказаний період [25] Разом з тим, для більшості з них характерним залишається стійкий стан русла. Варто також зазначити певне зменшення стійкості русел річок Десни, Сейму, Псла, Орелі, тобто лівобережних приток Дніпра, що може бути обумовлено загальним зменшенням стоку наносів та їх крупності на цих річках.

Іншим важливим питанням, стосовно оцінки стійкості річкових русел є порівняння різних показників стійкості, розрахованих за різними підходами.

Для встановлення об'єктивності в цьому питанні, нами були використані додаткові морфологічний (число Лохтіна L) та морфо-динамічний (показник відносної інваріантності К.В.Гришаніна M_x) показники стійкості.

.Форма представлення числа Лохтіна наведена у виразі (1). Оціночні значення числа Лохтіна щодо стійкості русел можна охарактеризувати наступним чином: Абсолютно нестійкі - $L < 1,0$; Нестійкі - $L=1,0-2,5$; Слабкостійкі - $L= 2,5-5$; Відносно стійкі - $L=5-10$; Стійкі - $L=10-50$; Абсолютно стійкі - $L > 50$ [1].

Натомість показник відносної інваріантності К.В.Гришаніна встановлюється за наступною залежністю

$$M_x = \frac{h_{pf} \cdot (q \cdot B_{pf})^{0.25}}{Q_{pf}^{0.5}} = const, \quad (4)$$

де Q_{pf} - руслоформувальна витрата води; B_{pf} , h_{pf} - ширина та глибина русла при проходженні руслоформувальної витрати води відповідно.

Для рівнинних річок динамічно стійкий стан русла характеризується нерівністю $0,75 < M_x, 0,5$. Якщо значення M_x перевищує 1,05, то ділянка річки характеризується недостатньою транспортувальною здатністю, і в його межах може відбуватися акумуляція наносів. За умов, коли $M_x < 0,75$ транспортувальна здатність значна і русло розмивається [2].

За залежностями (1) і (4) для сучасного періоду (2015-2020 рр.) були обраховані вищезазначені показники, які разом з $Lo3$ зведені в порівняльну табл. 3.

Таблиця 3 Порівняння основних показників загальної стійкості досліджуваних постів річок басейну Дніпра в межах України

№	Річка	Пункт	Lo3	L	Mx
1	Вижівка	с.Руда	0,03	0,95	0,98
2	Стир	с.Цуровичі	3,51	1,28	0,76
3	Іква	с.Вел. Млинівці	4,00	3,14	1,03
4	Горинь	с.мт Ямпіль	0,16**	0,11	0,94
5	Случ	с.Громада	0,92**	1,40	1,04
6	Случ	м.Сарни	4,82	1,90	0,95
7	Уборть	с.Перга	1,23	0,90	0,80
8	Норин	с.Славенщина	0,07	0,17	0,89
9	Тетерів	с.мт.Іванків	9,45	2,09	0,75
10	Десна	с.Розльоти	41,26	10,60	1,51
11	Десна	м.Чернігів	62,36	21,33	1,08
12	Сейм	с.Мутин	5,33	3,56	1,05
13	Рось	с.Фесюри	1,01**	0,48	1,03
14	Псел	м.Гадяч	10,84	4,83	1,53
15	Ворскла	с.Чернеччина	1,71	3,33	1,75
16	Оріль	с.мт Царичанка	9,18	3,89	1,25
17	Самара	с.Кочеріжки	0,52	0,75	1,46

Стан річкового русла за показником стійкості:

стійкий
відносно стійкий
відносно нестійкий
нестійкий

Примітка: ** - обмежені умови руслоформування

Для більш наглядної оцінки стану стійкості русел річок за ерозійним показником стійкості О.Г. Ободовського Lo , числом Лохтіна L та показником відносної інваріантності К.В.Гришаніна M_x було відображено їхні значення на картосхемі досліджуваного басейну (рис.2).

Результати розрахунків, які узагальнені в табл.2 засвідчують певну неузгодженість в оцінюванні стійкості русел за різними підходами. Але найкраще співпадіння отримано між ерозійним показником стійкості русел $Lo3$ і показником відносної інваріантності M_x . Так, за ерозійним показником стійкості стійкі та відносно стійкі русла характерні для 10 (59%) досліджуваних річок, а за показником відносної інваріантності таких річок - 9 (53%). Тут

варто зазначити, що певну збіжність між цими показниками обумовлює саме ерозійний показник A . Так, для ерозійного показника Lo він враховує зв'язок між стоком води і наносів, а для показника відносної інваріантності Mx він опосередковано представлений через руслоформувальну витрату води, яка характеризує максимальний стік наносів. Подібні результати збіжності вказаних показників були отримані нами і для Карпатських річок, [22-23].



Рис.2. Картосхема оцінки стійкості русел річок за даними репрезентативних гідрологічних постів у районі басейну р. Дніпра в межах України за ерозійним показником стійкості О.Г. Ободовського Lo , числом Лохтіна L та показником відносної інваріантності К.В.Гришаніна Mx

Що стосується числа Лохтіна, то його значення в більшості випадків не співпадають з вказаними вище показниками. Тут можна долучити дві його вади: розмірність, яка не дає можливість порівнювати річки різних порядків і

те, що для малих річок його значення будуть зазвичай меншими, ніж для середніх і великих. Тому їхні русла, як правило, є нестійкими.

Висновки. Отримані результати засвідчили, що за ерозійним показником стійкості, розробленим для річок України, стійкість русел річок змінилась доволі слабо за останні 30 років з незначною тенденцією до зростання.

Поряд з цим, порівняльний аналіз отриманих результатів ерозійного показника стійкості Lo з морфологічним (число Лохтіна L) та морфо-динамічним (показник відносної інваріантності К.В.Гришаніна Mx показниками, які характеризують стійкість русел річок, показали значну схожість між Lo та Mx . Це дає підстави рекомендувати обидва показники для подальших подібних оцінок на рівнинних річках України.

Список літератури

1. Ободовський О.Г. Руслові процеси підручник. К.:ВПЦ "Київський університет", 2017. 511 с.
2. Гришанин К.В. Устойчивость русел рек и каналов. Л.:Гидрометеиздат, 1974. 144с.
3. Ободовський О.Г. Гідролого-екологічна оцінка руслових процесів (на прикладі річок України). К.: Ніка-Центр, 2001. 274с.
4. Лохтин В.М. О механизме речного русла. Казань, 1985. 76с.
5. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 346с.

6. Ржаницын Н.А. Морфологические и гидрологические закономерности строения речной сети. Л. : Гидрометеиздат, 1960. 285 с.
7. Великанов М.А. Русловой процесс. М: Госфизматиздат, 1958. 369 с.
8. Алтуниин С.Т. Деформации русловых каналов. М. : Колос, 1972.
9. Карасев И.Ф. Русловые процессы при переброске стока. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 272с.
10. Rosgen D. Applied river morphology. Colorado : Wildland Hydrology. 1996
11. David L. Rosgen, P.H. A Stream channel stability assessment methodology. Wildland Hydrology Pagosa Springs. CO 81147. Proceedings of the Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference, March 25 to 29, 2001, Reno, Nevada. P. 18-27.
12. Haron, N.A.; Yusuf, B.; Sulaiman, M.S.; Razak, M.S.A.; Nurhidayu, S. Morphological Assessment of River Stability: Review of the Most Influential Parameters. Sustainability 2022, 14, 10025. <https://doi.org/10.3390/su14161002>.
13. Талмаза Н.Ф., Крошкин А.Н. Гидроморфологические характеристики горных рек. Фрунзе : Кыргызстан, 1968.-204с.
14. Онищук В.В. Методика и некоторые результаты исследований неразрывающих скоростей потока для русел, сложенных из неоднородных несвязных грунтов. Мелиорация и водное хозяйство. 1975. Вып. 35.-С.83-92.
15. W. Mohammed-Ali, C. Mendoza, R. R. Holmes Jr. Influence of hydropower outflow characteristics on riverbank stability: case of the lower Osage River (Missouri, USA) Hydrological Sciences Journal Volume 65, 2020. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1772974>.
16. Ободовский А.Г. Руслоформирующая деятельность рек равнинной части Украины и ее экологический аспект // Экологические проблемы эрозии почв и русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1992. С.134- 141.
17. Шуляренко І.П. Оцінка стійкості русел річок середнього та нижнього Придніпров'я. Меліорація і водне господарство. 1997. Вип.84. С. 131-137.
18. Ободовський О.Г., Шуляренко І.П. Сучасні підходи до визначення стійкості річкових русел. // Меліорація і водне господарство, вип..86. 1999.С.105-112.
19. Швебс Г.И. Формирование водной эрозии стока наносов и их оценка: на примере Украины и Молдавии. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 184 с.
20. Ободовский А.Г., Цайтц Е.С. Исследование взаимосвязи твердого и жидкого расходов рек равнинной части Украины. Физическая география и геоморфология. К.: Изд-во КГУ, 1985. С.124 128
21. Ободовський О.Г. Руслові процеси річки Лімниця / О.Г. Ободовський, В.В. Онищук, В.В. Гребін та ін. ; за ред. О.Г. Ободовського. К. : Ніка-Центр, 2010. 256 с.
22. Латориця: гідрологія, гідроморфологія, руслові процеси : монографія / О.Г. Ободовський, В.В. Онищук, З.В. Розлач та ін. // за ред. О.Г. Ободовського. К. : ВПЦ "Київський університет", 2012. 317с.
23. Ободовський Ю.О. Гідроморфоекологічна оцінка руслових процесів річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України): монографія / Ободовський Ю. О., Хільчевський В. К., Ободовський О. Г.; за ред. О. Г. Ободовського. К. : Прінт сервіс, 2018. 193 с.
24. River Runoff in Ukraine Under Climate Change Conditions. Paperback July 4, 2020 by Oleksandr Obodovskyi (Editor). LAP LAMBERT Academic Publishing. 180 p.
25. Лук'янець О.І, Ободовський О.Г., Гребін В.В., Почаєвець О.О., Корнієнко В.О. Просторові закономірності зміни середнього річного стоку води річок України. Український географічний журнал 2021 (1). С. 6-14. <https://doi.org/10.15407/ugz2021.01>.
26. O. G. Obodovskyi, I. M. Perevozchikov, V. V. Grebin, V. O. Korniienko Spatio-temporal dynamics of sediment runoff as an integrated indicator of changes in the stability of riverbeds (on the example of rivers of the Dnipro basin within Ukraine)/ XVI International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment». Nov 2022, Volume 2022, p.1 – 5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580224>.

References

1. Obodovskyi O.G. Ruslovi protsesy [Channel processes]: pidruchnyk. K.: VPTS "Kyyivs'kyi universytet", 2017. 511 s. 2.
2. Hryshanyin K.V. Ustoychivost' rusel rek y kanalov [Stability of riverbeds and canals]. L.:Hydrometeoyzdat, 1974. 144s.
3. Obodovskyi O.G. Hidroloho-ekolohichna otsinka ruslovykh protsesiv (na prykladi richok Ukrayiny) [Hydrological and ecological assessment of channel processes (on the example of rivers of Ukraine)]. K.: Nika-Tsent, 2001. 274s.
4. Lokhtyn V.M. O mekhanizme rechnoho rusla [On the mechanism of the river bed] . Kazan', 1985.-76s.
5. Makkaveev N.Y. Ruslo reky y yerozyya v ee bassejne [River bed and erosion in its basin]. M.: Yzd-vo AN SSSR, 1955. 346s.

6. *Rzhanytsyn N.A.* Morfolohycheskye y hydrolohycheskye zakonomernosti stroenyya rechnoy sety [Morphological and hydrological patterns of the structure of the river network]. L.: Hydrometeoyzdat, 1960.-285s.
7. *Velykanov M.A.* Ruslovoy protsess [The riverbed process]. M, Hosfyzmatyzdat, 1958. 369s.
8. *Altunyn S.T.* Deformatsyyi ruslovykh kanalov [Deformations of the channel channels]. M. : Kolos, 1972.
9. *Karasev Y.F.* Ruslovy protsessy pry perebroske stoka [Channel processes during the diversion of runoff]. L.: Hydrometeoyzdat, 1975. 272 s.
10. *Rosgen D.* Applied river morphology. Colorado: Wildland Hydrology. 1996
11. *David L. Rosgen, P.H.* A Stream channel stability assessment methodology. Wildland Hydrology Pagosa Springs. CO 81147. Proceedings of the Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference, March 25 to 29, 2001, Reno, Nevada. P. 18-27.
12. *Haron, N.A.; Yusuf, B.; Sulaiman, M.S.; Razak, M.S.A.; Nurhidayu, S.* Morphological Assessment of River Stability: Review of the Most Influential Parameters. Sustainability 2022, 14, 10025. <https://doi.org/10.3390/su14161002>.
13. *Talmaz N.F., Kroshekyn A.N.* Hydromorfolohycheskye kharakterystyky hornykh rek [Hydromorphological characteristics of mountain rivers]. Frunze: Kyrghyzstan, 1968. 204 s.
14. *Onyshchuk V.V.* Metodyka y nekotorye rezul'taty yssledovanyy nerazmyvayushchykh skorostey potoka dlya rusel, slozhennykh yz neodnorodnykh nesvyaznykh hruntov [Methodology and some results of studies of non-erosive flow velocities for channels composed of heterogeneous non-cohesive soils]. Melyoratsyya y vodnoe khozyaystvo. 1975. Vyp. 35.S.83-92.
15. *W. Mohammed-Ali, C. Mendoza, R. R. Holmes Jr.* Influence of hydropower outflow characteristics on riverbank stability: case of the lower Osage River (Missouri, USA) Hydrological Sciences Journal Volume 65, 2020 <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1772974>.
16. *Obodovskiy O.G.* Rusloformyuyushchaya deyatel'nost' rek ravnynnoy chasty Ukrainy i y ee zkolohycheskyy aspekt [Channel-forming activity of the rivers of the flat part of Ukraine and its ecological aspect] // Zkolohycheskye problemy zrozyi pochy y ruslovykh protsessov. M.: Yzd-vo MHU, 1992. S.134-141.
17. *Shulyarenko I.P.* Otsinka stiykosti rusel richok seredn'oho ta nizhn'oho Prydniprov'ya [Assessment of the stability of the riverbeds of the middle and lower Dnieper]. Melioratsiya i vodne hospodarstvo. 1997. Vyp.84. S. 131-137.
18. *Obodovskiy O.G., Shulyarenko I.P.* Suchasni pidkhody do vyznachennya stiykosti richkovykh rusel [Modern approaches to determining the stability of riverbeds]. Melioratsiya i vodne hospodarstvo, vyp.86. 1999. S.105-112.
19. *Shvebs H.Y.* Formyrovanye vodnoy erozii stoka nanosov y ykh otsenka: na primere Ukrainy y Moldavy [Formation of water erosion of sediment runoff and their assessment: on the example of Ukraine and Moldova]. L.:Hydrometeoyzdat. 1974. 184 s.
20. *Obodovskiy O.G., Tsayts E.S.* Yssledovanye vzaymosvyazy tverdogo y zhydkogo raskhodov rek ravnynnoy chasty Ukrainy [Investigation of the relationship between solid and liquid discharges of rivers in the flat part of Ukraine. i Physical geography and geomorphology. Fizycheskaya heohrafiya y heomorfolohyya. K.: Yzd-vo K·HU, 1985. S.124-128
21. *Obodovskiy O.G.* Ruslovi protsesy richky Limnytsya [Channel processes of the river Limnytsia]/ Obodovskiy O.G., Onyshchuk V.V., Hrebin V.V. ta in. ; za red. Obodovskogo O.G. K. : Nika-Tsentr, 2010 256 s.
22. *Latorytsya: hidrolohiya, hidromorfolohiya, ruslovi protsesy* [Latoritsa: hydrology, hydromorphology, channel processes]: monohrafiya / O.H. Obodovskiy, V.V. Onyshchuk, Z.V. Rozlach ta in. // za red. O.H. Obodovskoho. K.: VPTS "Kyivskyy universytet", 2012. 317s.
23. *Obodovskiy YU. O.* Hidromorfoekolohichna otsinka ruslovykh protsesiv richok verkhnoyi chastyny basynu Tysy (v mezhakh Ukrainy) [Hydromorphoecological assessment of channel processes of rivers of the upper part of the Tysa basin (within Ukraine)] : monohrafiya / Obodovskyy YU. O., Khil'chevskyy V. K., Obodovskyy O. H.; za red. O. H. Obodovskoho. K.: Print servis, 2018. 193 c.
24. *River Runoff in Ukraine Under Climate Change. Conditions. Paperback. July 4, 2020 by Oleksandr Obodovskiy (Editor). LAP LAMBERT Academic Publishing. 180 p.*
25. *Lukianets O.I., Obodovskiy O.G., Grebin V.V., Pochaievets O.O., Kornienko V.O.* Spatial regularities of change in average annual water flow of rivers of Ukraine [Spatial regularities of changes in the average annual water flow of Ukrainian rivers]. Ukr. geogr. z. 2021, N1:06-14 <https://doi.org/10.15407/ugz2021.01.006>
26. *O. G. Obodovskiy, I. M. Perevozchikov, V. V. Grebin, V. O. Kornienko* Spatio-temporal dynamics of sediment runoff as an integrated indicator of changes in the stability of riverbeds (on the example of rivers of the Dnipro basin within Ukraine)/XVI International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment». Nov 2022, Volume 2022, p.1-5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580224>

Modern conditions for the formation of the stability of riverbeds in the Dnipro basin area (within Ukraine)

Obodovskiy O. G., Korniienko V. O., Perevozchikov I. M.

Assessment of the stability of riverbeds is one of the most important components in the analysis of riverbed processes and is of great practical importance. At the same time, it includes an ecological content, which is primarily related to the analysis and forecast of the intensity of channel deformations, which can significantly affect the conditions of life and management within the river channel-flood complex. The concept of stability of riverbeds consists in their comparison based on the quantitative assessment of conditions and the rate of manifestation of channel deformations. The study of channel processes in rivers and the conditions that shape their stability is closely related to the mechanism of water erosion in their basins. Therefore, for a more objective assessment of channel processes in general and the stability of river channels in particular, it is necessary to take into account all water-erosion processes in the river basin.

Research and classification of various approaches to assessing the stability of riverbeds has been carried out. An additional substantiation of the erosion resistance indicator L_0 was confirmed and conducted. A retrospective analysis of its spatio-temporal changes in the erosion coefficient and erosion resistance index was carried out based on the data of 17 representative hydrological stations located on the rivers of the Dnieper basin (within Ukraine). The research results confirmed the low variability of the L_0 indicator during the last 30 years with the presence of a tendency to increase the stability of riverbeds according to this indicator. A comparative analysis with other indicators of stability shows the best coincidence of the erosion indicator of channel stability L_0 and the indicator of relative invariance M_x , which can be recommended for further use in the study of channel formation processes of the indicated rivers.

Keywords: stability of riverbeds, erosion stability indicator, erosion coefficient, relative invariance indicator, comparative analysis of stability indicators.

Надійшла до редколегії 31.01.2023

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.1.5>

УДК 556.531.631.62(477)

Холоденко В.С.¹, Басюк Т.О.¹, Будз О.П.¹, Голчак І.В.², Холоденко А.О.³

¹ Національний університет водного господарства та природокористування

² Державне агентство водних ресурсів України,

³ Київський університет права НАН України Рівненський інститут

ОЦІНКА ОДНОРІДНОСТІ РЯДІВ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА КІЛЬКІСТЮ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ ТА РІВНЯМИ ВОДИ НА ВОДНИХ ОБ'ЄКТАХ ЗОНИ ВПЛИВУ ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ АЕС

Енергетичною стратегією України до 2030 року передбачається добудова та введення в експлуатацію на Хмельницькій АЕС 3 і 4 енергоблоків. Важливим чинником правильної, безперебійної роботи ХАЕС є наявність відповідних водних ресурсів і рівнів води, які можуть відновлюватися за допомогою опадів, а також регулюванням стоку. У період дослідження з 2019 р. по 2023 р. підживлення ставка-охолоджувача ХАЕС перекачуванням води із р. Горинь не проводилося. Методика дослідження побудована в напрямку застосування гідролого-генетичного та статистичного методу. Визначено однорідність рядів спостережень за статистичними параметричними та непараметричними критеріями; побудовано інтегральні сумарні криві рівнів води; побудовано графіки поверхонь; розраховано коефіцієнт нерівномірності випадіння опадів. Обґрунтовується можливість та доцільність застосування статистичних критеріїв для оцінки значущості наявності трендів, які виявлені за даними спостережень рівнів води, опадів для річки Горинь біля с. Ямпіль та у ставку-охолоджувачі ХАЕС. Встановлено, що у більшості випадках на неоднорідність рядів спостереження можуть впливати антропогенні чинники, такі як зарегульованість водосховища, робота меліоративних систем, сільськогосподарські поля, заростання берегів ставка, замулення та заболочення, заплавні луки та інше. У випадках незначного річного розподілу опадів у річці Ямпіль та у ставку охолоджувачі ХАЕС, останній не несе значного впливу на розподіл рівнів води у них.

Ключові слова: статистичні критерії; однорідні ряди; річка, опади; водосховище.

Вступ, актуальність теми дослідження. Після катастрофи на ЧАЕС атомна енергетика в Україні зазнавала змін, і все більше, в бік закриття атомних електростанцій, але враховуючи реалії сьогодення: кліматичні зміни; економічні; військові дії на території України; вичерпання сировини; жорсткі обмеження з викидів парникових газів у атмосферу; енергетична діяльність у закордонних країнах, все це показує, що без атомної генерації важко забезпечити енергетичну безпеку країни. Адже в розвинених країнах на

атомних електростанціях виробляється 30 % електроенергії, а також енергетика в багатьох країнах базується на АЕС. Навіть країни, які свого часу відмовилися від атомної енергії, зокрема Італія і Німеччина, роблять переоцінку своїх поглядів на ситуацію в енергетиці. І також, з точки зору, впливу на навколишнє природне середовище, АЕС є найбільш безпечнішими, тільки захоронення відходів та термін експлуатації енергоблоків залишаються актуальними питаннями. Тому, все більше визнання у світі одержує той факт, що в умовах зростання цін на природне паливо (газ, вугілля, нафту) і нестабільності світових ринків природного газу та нафти забезпечити зростання промислового виробництва й задоволення споживчого попиту населення у відносно дешевій електроенергії на комунальні потреби здатна тільки атомна енергетика. На даний час в Україні більше як 95% теплових енергоблоків відпрацювали свій розрахунковий ресурс (100 тисяч годин), у тому числі більше як 70% перевищили граничний ресурс (170 тисяч годин), понад половина енергоблоків перебуває в експлуатації понад 200 тисяч годин. На чотирьох діючих АЕС України експлуатується 15 енергоблоків, які відпрацювали половину проектного терміну експлуатації [13]. Тому, у період до 2030 року об'єктивно необхідно створювати компенсуючі енергетичні потужності замість енергоблоків, що будуть виводитись з експлуатації, а також добудовуватися та вводитися в експлуатацію на Хмельницькій АЕС – 3-й та 4-й енергоблоки, згідно із «Енергетичною стратегією України до 2030 року».

Законодавча та нормативно-правова база забезпечення діяльності АЕС в Україні налічує більше 70 законодавчих, нормативно-правових актів та документів. Добудова енергоблоків №3, 4 Хмельницької АЕС передбачена «Енергетичною стратегією України на період до 2030 року», схваленою розпорядженням КМУ №145-р від 15.03.2006 р. Станом на 2022 рік 3-й та 4-й енергоблоки ХАЕС ще недобудовані, за словами президента ДП «НАЕК «Енергоатом» Петра Котіна загальний стан будівельної готовності блоків: №3 - 75%, №4 - 15% [14]. Головне призначення ставка-охолоджувача ХАЕС – це резервуар води для охолодження конденсаторів турбіни атомних реакторів Хмельницької АЕС, а побічне призначення — промислова риболовля. Тому, технічне водопостачання ХАЕС забезпечується за рахунок води, яка акумулюється у водоймі-охолоджувачі багаторічного регулювання об'ємом 120 млн.м³. Для поповнення водойми-охолоджувача передбачений забір води з р. Горинь та в ньому повністю акумулюється стік р. Гнилий Ріг. Отже, одним із важливих чинників правильної, безперебійної роботи ХАЕС є наявність відповідних водних ресурсів і рівнів води, які можуть відновлюватися за допомогою опадів, а також регулюванням стоку. Зосередимо далі свої дослідження саме на рівнях води та опадах.

Аналіз виконаних досліджень за означеною темою. Рівні води та опади – це гідрометеорологічні характеристики на зміну яких впливають як природні, так і антропогенні фактори, головним чином клімат. На сьогодні це є однією з найважливіших проблем у світі [1]. Із другої половини минулого століття почалося різке потепління клімату, яке призвело до зниження рівнів та витрат води на річках України. Але, антропогенне навантаження на басейни річок дещо вирівняло величину стоку та швидкості течії потоку, рівні води [2].

Для аналізу та оцінки змін будь-які гідрометеорологічні характеристики потребують впорядкованості даних, тобто їх однорідності та достовірності. Їх відсутність створює великі труднощі у дослідженнях. Значна частина літературних джерел [3,4,5] базується на окремих аспектах досліджень однорідності рядів, модельних оцінках. Які в результаті є мінливими і створюють неспівпадіння модельних оцінок з даними спостережень, ступінь довіри до змін характеристик рівнів води, опадів залишається невисоким. Похибки можуть бути настільки суттєвими, що іноді виявляється неможливим не тільки оцінити швидкість змін, які спостерігаються, але й навіть встановити сам факт їх наявності [3,5].

З огляду на викладене можна зробити висновок, що для однорідності рядів спостережень за змінами рівнів води та інших характеристик режиму річки, водосховища доцільно використовувати непараметричні статистичні критерії оцінки. Однак, коли ряди спостережень невеликі, тобто $n < 20$ – параметричні статистичні критерії.

Розглядом даного питання займалися багато авторів як в Україні (Войцехович В.О., Вишневський В.І., Гребень В.В., Сніжко С.І., Струтинська В.М., Горбачова Л.О., Василенко Є.В., Дутко В.О., Галік О.І., Холоденко В.С., Косяк Д.С. та інші) [6-9], так і за кордоном, ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2023. № 1 (67)

використовуючи різні методологічні підходи до оцінок гідрометеорологічних характеристик.

Мета дослідження. Проаналізувати актуальні питання розвитку ХАЕС в Україні в частині аналізу змін рівнів води і опадів на р. Горинь біля с. Ямпіль та у ставку-охолоджувачі ХАЕС із застосуванням статистичних критеріїв оцінки однорідності рядів спостережень.

Методи дослідження. Методика дослідження побудована в таких напрямках: застосовано гідролого-генетичний та статистичний метод. Визначено однорідність рядів спостережень за статистичними параметричними та непараметричними критеріями; регресія даних спостережень на час; наявність зв'язків між сусідніми членами ряду; побудова інтегральних сумарних кривих рівнів води; побудовано графіки поверхонь, які дають можливість наочно оцінити прогноз їх у майбутньому; розрахунок коефіцієнта нерівномірності випадіння опадів.

Постановка завдання. Для досягнення поставленої мети виконано наступні роботи:

- сформовано таблиці вихідних даних рядів спостереження за середньорічними рівнями води і опадами на річці Горинь – с. Ямпіль та в ставку-охолоджувачі ХАЕС;
- вибрано підхід щодо застосування статистичних критеріїв оцінки однорідності рядів спостереження за досліджуваними характеристиками;
- проведено розрахункову основу для оцінки однорідності рядів спостереження за досліджуваними характеристиками;
- побудовано графіки поверхонь;
- розраховано коефіцієнт нерівномірності випадіння опадів.

Виклад основного матеріалу.

1. Під час формування таблиць вихідних даних рядів спостереження виконано наступні дії: проаналізовано дані регіональних офісів водних ресурсів з гідрометеорологічної та водогосподарської обстановки у Хмельницькій області для р. Горинь – с. Ямпіль та для ставка-охолоджувача ХАЕС, зокрема, це рівні води та опади. Період дослідження взято з 14.03.2019 року по 17.01.2023 року. Цей період вибрано із врахування того факту, що в ньому рівень води змінювався під впливом метеорологічних факторів, і підживлення ставка-охолоджувача ХАЕС перекачуванням води із р. Горинь не проводилося.

Також для порівняння максимально використовували багаторічні дані вимірів стаціонарних пунктів спостережень за водним режимом (матеріали Центральної геофізичної обсерваторії Гідрометслужби України та матеріали Державного водного кадастру).

Для оцінки однорідності рядів спостереження за рівнями води та опадами сформовано таблиці вихідних даних рядів спостереження за двома характеристиками – тижневі рівні води та опади і середньомісячні рівні води та опади.

Однорідність рядів спостереження досліджено на р. Горинь біля с. Ямпіль та у ставку-охолоджувачі ХАЕС, а також за опадами у цих пунктах.

У зв'язку із значною зміною рівнів води та опадів ряд спостережень на об'єктах був поділений на дві сукупності. Період дослідження описано вище. В основному, цей період дослідження, зорієнтований на природний статус річки Горинь та ставка-охолоджувача ХАЕС, властивий їм за умов відсутності чи незначного впливу людської діяльності, тобто найбільш наближеним до природного екологічного стану і досліджувані гідрологічні характеристики найменше змінені господарською діяльністю людини, тому це позитивно вплине на однорідність вибірок [10].

2. Розрахункова основа оцінки однорідності рядів рівнів води і опадів за непараметричними статистичними критеріями для річки Горинь та ставка-охолоджувача ХАЕС включає статистичну обробку даних, яку можна здійснити у програмному пакеті EXAL або STATISTICA.

Алгоритм розрахунків дослідження включає методи математичного аналізу: математичні, статистичні методи обробки результатів спостереження. А саме, статистичні критерії (Стюдента та Фішера), непараметричні статистичні критерії Вілкінсона (W), Ван дер Вардена (X), модифікація критерію W , яка запропонована Сіджелом і Тьюкі (S -

критерій), серійний критерій (Q) та критерій Колмогорова – Смирнова (λ^2).

Непараметричні критерії можна об'єднувати у три групи. Критерії першої групи (Вілкінсона (W) та критерій Ван дер Вардена (X)) виявляють відмінності в центральній тенденції, але ігнорують відмінності у відхиленнях сукупностей, які порівнюють. Критерії другої групи (модифікація критерію W , яка запропонована Сіджелом і Тьюкі (S -критерій)) визначають відмінності у відхиленнях, але залишають без уваги відмінності в центральній тенденції. Критерії третьої групи (серійний критерій (Q) та критерій Колмогорова – Смирнова (λ^2)) виявляють відмінності в характері розподілу, але не вказують, у чому саме вони полягають.

Отже, зазначені критерії застосовують, якщо постає завдання про порівняння двох сукупностей за вибірками, які одержані на одному об'єкті, але в різний час. Нульова гіпотеза для критеріїв першої групи формулюється як $H_0: \mu\xi = \mu\eta$, де $\mu\xi$ та $\mu\eta$ – характеристики центрів розподілу випадкових величин ξ та η відповідно, реалізаціями яких є вибіркові значення X та Y . Альтернативною гіпотезою буде $H_1: \mu\xi \neq \mu\eta$. Нульова гіпотеза для критеріїв другої групи формулюється як $H_0: \sigma x^2 = \sigma y^2$, де σx^2 та σy^2 – дисперсії (стандартні відхилення) двох вибірок. Альтернативною гіпотезою буде $H_1: \sigma x^2 \neq \sigma y^2$. Нульова гіпотеза для критеріїв третьої групи формулюється як $H_0: F(X) = F(Y)$, де $F(X)$ та $F(Y)$ – накопичені відносні частоти відповідних вибірок X та Y . Альтернативною буде $H_0: F(X) \neq F(Y)$.

Для статистичного обґрунтування значущості можуть бути побудовані тренди застосування непараметричних статистичних критеріїв оцінки однорідності рядів.

3. Вважаємо, що найпростіший та достовірніший метод оцінки гідрометеорологічних характеристик – це статистичний. Статистичні методи дозволяють показати в своїх оцінках залежності від одного, двох іноді двох-трьох чинників. Розглянемо результати дослідження за параметричними статистичними критеріями – *Стюдента* та *Фішера*. Нині для оцінки статистичної значущості наявності тренду зазвичай розглядають ймовірність нульової гіпотези, тобто ймовірність того, що коефіцієнт лінійного тренду дорівнює нулю ($a = 0$). Для цього відношення $a / \sigma a$ порівнюють із табличним значенням розподілу Стюдента за заданого рівня значущості та числа ступенів вільності, яке дорівнює 2 (де σa – вибіркова мінливість коефіцієнта тренду; N – число років у часовому відрізку, що розглядають). Критичною умовою, за якою нульова гіпотеза відхиляється, найчастіше є умова $a / \sigma a \geq 2$, що відповідає рівню значущості $\sim 95\%$ [3,5].

Що стосується розподілу Фішера, то цей критерій є дещо слабшим у відношенні зв'язків між досліджуваними показниками. Відношення двох виправлених вибіркових дисперсій, які відповідають одній і тій же генеральній сукупності з нормальним законом розподілу є випадкова величина F .

Розподіл Стюдента та Фішера показав, що для рівнів води та опадів вибірки є однорідними (таблиця 1).

В цілому ж критерій Стюдента доцільно використовувати, коли кількість членів вибірки $n < 20$. Коли ж вибірка велика, (від 30 до 100 років) і $\bar{X}_i$ наближається до нормального розподілу, то середньоквадратичні відхилення наближаються до 0,9-1.

Більш цікавими є непараметричні статистичні критерії, так як їх використання не вимагає попереднього визначення оцінок невідомих параметрів розподілу і навіть наближеного закону розподілу ознаки, а також характеризують більше якісну складову рядів дослідження. Вони можуть бути застосовані під час аналізу однорідності рядів, які мають переважно асиметричний розподіл [6], такі як гідрометеорологічні характеристики.

Отже, прийняття нульової гіпотези H_0 означає, що дані вибірки не суперечать припущенню про відсутність відмінностей між ними. Відкидання гіпотези означає, що емпіричні дані несумісні з H_0 , а вірною є інша альтернативна гіпотеза H_1 . Зазвичай при перевірці однорідності рядів α приймають 0,05 (5%), більш рідко 0,01 (1%) та 0,10 (10%).

Результати оцінки однорідності рядів спостереження за багаторічною витратою, максимальними та мінімальними швидкостями течії води представлені у вигляді таблиці 1. Згідно таблиці 1, якщо дані вибірки однорідні, то приймається нульова гіпотеза (H_0), якщо вибірка неоднорідна, то вірною є інша альтернативна гіпотеза (H_1).

За Критерієм Вілксона (W) виявляються відмінності в центральних тенденціях

двох вибірок. У нашому випадку рівень значущості буде дорівнювати - $W > W(\alpha)$, де $W(\alpha)$ – критичне значення статистики Вілкоксона – 1,96; W – значення критерію для меншої вибірки. Рівень значущості відповідає $\alpha=0,05$.

У нашому випадку нульова гіпотеза (H_0) не відхиляється від альтернативи (H_1) за характеристикою рівнів води для р. Горинь – с. Ямпіль та опадів, тобто ряди є однорідними. Для ставка-охолоджувача ХАЕС за рівнями води (H_0) відхиляється, ряди неоднорідні. На це міг вплинути антропогенний фактор зарегульованості водосховища, адже його площа складає 20 км², а об'єм 120 млн.м³. Також в цьому районі добре розвинута робота меліоративних систем, багато сільськогосподарських полів, які сприяють заростанню берегів ставка, його замуленню та заболоченню, що сприяє уповільненню процесів стікання води, тобто це може впливати на зміну рівнів води. Отже, вище згадані причини, дають підстави вважати, що розглянуті вибірки суттєво відрізняються одна від одної.

За Критерієм Ван дер Вандера (X) оцінка однорідності рядів є більш потужною та чутливою в порівнянні з критерієм Стюдента, коли відомо, що розподіли явно відрізняються від нормального. У нашому випадку рівень значущості буде дорівнювати – $|X| > X(\alpha)$, де $X(\alpha)$ – критичне значення статистики X –критерію, яке визначається за таблицями і враховує значення обсягу об'єднаної вибірки N та різницю обсягів m та n ; $|X|$ – значення критерію для меншої вибірки. Рівень значущості відповідає $\alpha=0,05$.

У нашому випадку нульова гіпотеза (H_0) відхиляється за характеристиками рівнів води для річки Горинь біля с. Ямпіль та ставка-охолоджувача ХАЕС. Скоріш за все, на це могли вплинути зовнішні фактори зарегульованості водосховища та забудови берегів річки Горинь, а також інші антропогенні чинники, тому що ряди опадів залишаються однорідними за цим критерієм. Також в басейні річки Горинь біля с. Ямпіль спостерігаються заплавні луки, які частково розорані, окультурені та перебувають під випасами, що призводить до їх деградації, а також змиву при паводках у річкове русло значних домішок — органічних, бактеріальних і твердого стоку.

За Критерієм Сіджела-Тьюкі (S) – ця модифікація називається S -критерієм. За його допомогою порівнюють дві вибірки по відхиленням, залишаючи без уваги їх середні значення. У випадку, коли дисперсії (стандартні відхилення) двох вибірок будуть однаковими, то ці вибірки будуть однорідними [11]. Оцінюємо значення функції, оберненої до нормального розподілу при рівні значущості $\alpha=0,05$. Порівнюємо відхилення U та значення функції $\Psi(1-\alpha/2)=\Psi(0,975)$.

У нашому випадку нульова гіпотеза (H_0) не відхиляється від альтернативи (H_1) за всіма характеристиками рівнів води та опадів для річки Горинь та ставка-охолоджувача ХАЕС (табл. 1).

Таблиця 1. Оцінка однорідності рядів рівнів води та опадів за статистичними критеріями для р. Горинь біля с. Ямпіль та ставка-охолоджувача ХАЕС, за 2019-2023 рр.

Назва об'єкту та характеристики	Статистичні параметричні критерії		Статистичні непараметричні критерії				
	Стюдента T	Фішера F	Вілкоксона (W)	Ван дер Вандера (X)	Сіджела-Тьюкі (S)	Серій (Q)	Колмогорова-Смірнова (λ^2)
Горинь – с. Ямпіль, Н, см	H_0	H_0	H_0	H_1	H_0	H_0	H_1
Ставок-охолоджувач ХАЕС, Н, см	H_0	H_0	H_1	H_1	H_0	H_1	H_1
Опади, мм	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_1

За серійним критерієм (Q) дві вибірки, що порівнюються належать одній генеральній сукупності, то можна припустити, що в об'єднаній і впорядкованій за зростанням виборці, елементи кожної з двох вихідних вибірок повинні чергуватися. Оцінюємо значення функції,

оберненої до нормального розподілу при рівні значущості $\alpha=0,05$. Порівнюємо відхилення U та значення функції $\Psi(1-\alpha/2)=\Psi(0,975)=1,96$.

У нашому випадку, нульова гіпотеза (H_0) не відхиляється від альтернативи (H_1) за характеристикою рівнів води для р. Горинь біля с. Ямпіль, а також опадів. Для ставка-охолоджувача ХАЕС нульова гіпотеза (H_0) відхиляється і є підстави вважати, що розглянуті вибірки суттєво відрізняються одна від одної. Відбувається характерна зміна рівнів води, яка може бути пов'язана з вище розглянутими причинами (табл. 1).

За критерієм Колмогорова-Смірнова (λ^2), який базується на порівнянні вибірок (рядів) накопичених частот двох сукупностей. При великих обсягах вибірок ($m, n > 100$), визначену різницю D (максимальне значення $|F_j(x)-F_j(y)|$, де $F_j(x)$ і $F_j(y)$ відносні накопичені частоти) порівнюють з величиною λ_2 . Для заданого рівня значущості $\alpha=0,05$ порівнюють одержане $\lambda^2 > \lambda^2(\alpha)$, тобто перевіряють умову $\lambda^2 > 1,84$.

У нашому випадку нульова гіпотеза (H_0) відхиляється від альтернативи (H_1) за всіма характеристиками для всіх досліджуваних об'єктів (табл. 1). На це могла вплинути недостатня кількість спостережень, адже необхідною умовою при використанні критерію узгодженості Колмогорова є велике число спостережень (не менше ста).

3.1. Важливим чинником, який змінює та забезпечує відповідний рівень води в річці Горинь біля с. Ямпіль і в ставку-охолоджувачі ХАЕС є якісний та кількісний стан вод, що формуються у різні фази водного режиму протяжі року. Так в багаторічному розрізі часу водний режим досліджуваних об'єктів оцінюється льодоставом, період якого настає у кінці грудня і може тривати до льодоходу – кінець лютого-березня, літньо-осіння межень настає у кінці липня і може тривати до вересня, а зимова межень настає у грудні. Повінь настає у березні-квітні.

За досліджуваний період максимальний рівень води в р. Горинь біля с. Ямпіль склав 350 см у грудні-січні 2023 р., а найменший рівень води 273 см спостерігався у серпні-вересні 2019 р., амплітуда коливання склала 77 см, що у багаторічному розрізі часу майже дорівнює найменшому рівню води у 72 см, який спостерігався в 1957 році. Модальний рівень складає 278 см.

Для ставка-охолоджувача ХАЕС за досліджуваний період максимальний рівень води склав 202,85 см у квітні-травні 2022 р., а найменший рівень води 201,56 см спостерігався у вересні 2019 р., амплітуда коливання склала 1,29 см. Тобто рівні води майже не змінювалися, що вказує на те, що не відбувалося зарегулювання стоку водосховища. Також це підтверджується і дослідженнями [13] в зв'язку з тим, що для експлуатації одного енергоблока ХАЕС води було достатньо, довгий час водозабір з р. Горинь для поповнення водойми-охолоджувача не проводився, за винятком забору води під час випробування насосів. Така ж ситуація спостерігалась і у випадку експлуатації двох енергоблоків. А також, за підрахунками науково-дослідних інститутів для роботи чотирьох енергоблоків запасів води у водосховищі також буде достатньо, а невелике поповнення з р. Горинь буде здійснюватися лише у роки з достатньою водністю та урахуванням санітарних витрат по р. Горинь. Враховуючи ступінь заповнення водойми-охолоджувача, акумуляцію стоку р. Гнилий Ріг та відсутність за вказаної причини технічної можливості повернення усієї фільтраційної води дренажного каналу, мали місце фільтраційні втрати в старе русло р. Гнилий Ріг з подальшим надходженням в р. Вілія, а далі в р. Горинь [13].

3.2. Проведено аналіз часової структури рядів спостережень для всіх рівнів води та опадів, заявлений у дослідженні [12]. Побудовані інтегральні сумарні криві (рис. 1), які дозволяють побачити тенденцію зміни рівнів води та опадів на зростання або спад.

З рис. 1,а бачимо, що рівні води на обох об'єктах спостереження зберігають тенденцію до збільшення, відрізняючись один від одного часом добігання відповідних рівнів води. А на рис. 1,б інтегральна сумарна крива опадів зберігає прямолінійну тенденцію без змін до зростання або спаду. Це підтверджує той факт, що опади і рівні води не завжди відображають пряму тенденцію залежності один від одного, а є і інші антропогенні чинники впливу, які розглянуто вище.

4. Для рівнів води та опадів, були побудовані графіки поверхонь, які дають можливість наочно оцінити прогноз параметрів у майбутньому, якщо вони і надалі будуть мати таку тенденцію до зростання або спаду із впливом тих же самих факторів (рис. 2).

З рис. 2 видно, що на графіку поверхонь а) відбувається зростання рівнів води на водних об'єктах; а на графіку поверхонь б) збільшення опадів на р. Горинь біля с. Ямпіль, не призводить до прямого зростання рівнів води на посту. Тобто маємо підтвердження висновків, що висвітлені у п. 3.2.

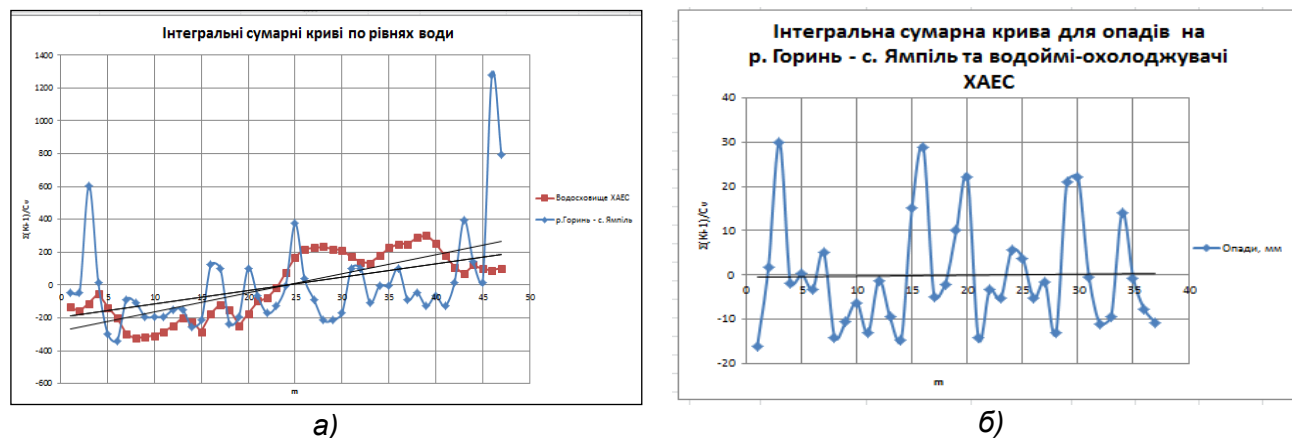


Рис. 1. Інтегральні сумарні криві: а) для рівнів води на р. Горинь – с. Ямпіль та для ставка-охолоджувача ХАЕС; б) для опадів

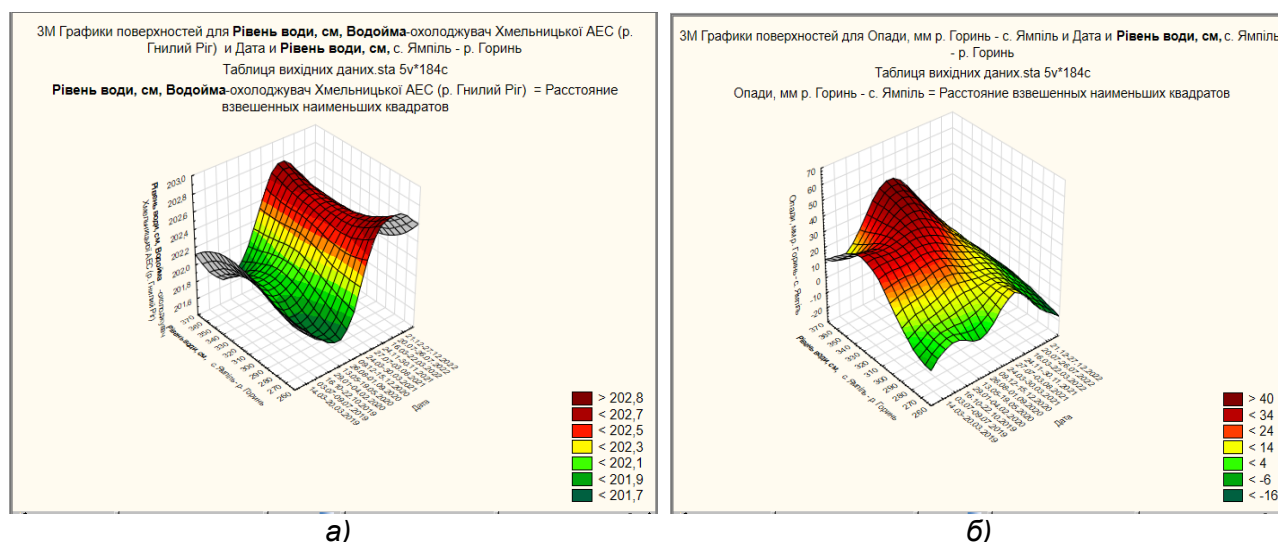


Рис. 2. Графіки поверхонь рівнів води та опадів за період дослідження з 2019 по 2023 роки: а) рівнів води на р. Горинь – с. Ямпіль та у ставку—охолоджувачі ХАЕС; б) опадів та рівнів води на р. Горинь – с. Ямпіль

5. Нерівномірність в річному розподілі опадів характеризується показником періодичності опадів, який визначається за залежністю:

$$W_H = \left[\frac{\sum \left| m_i - \frac{P}{12} \right|}{P} \right] \cdot 100\%, \quad (1)$$

де P – сума опадів за рік, мм; m_i – сума опадів за конкретний місяць року, мм. Згідно з проведеними дослідженнями коефіцієнт нерівномірності випадіння опадів на території змінюється у невеликих межах. Так, для р. Горинь біля с. Ямпіль та у ставку-охолоджувачі

ХАЕС W_n знаходиться у межах від 4,23% у 2021 р. до 7,03% у 2022 р., а в середньому для періоду з 2019 по 2022 рр. він становить 5,51%.

Чим більше нерівномірно випадають опади, тим збільшується значення W_n . Для прикладу, у західних берегів Європи він складає – 25%, а в Центральній Азії – 100%.

Висновки. Результати порівняння сукупностей наведено в табл. 1, із якої випливає, що нульова гіпотеза не відхиляється за більшістю статистичними критеріями для рівнів води та опадів, за винятком критерію Колмогорова-Смірнова, а також для окремих одиночних критеріїв параметрів. Неоднорідність двох сукупностей свідчить про те, що ряд спостережень, має статистичну значущість трендів (рівнів води, опадів). Так, як кожен критерій оцінки однорідності ряду вказує на різні ознаки між сукупностями і може бути вирішальним при виборі даних для спостереження.

Таким чином, із викладеного можна зробити висновок про можливість та доцільність застосування непараметричних та параметричних статистичних критеріїв однорідності рядів для оцінки статистичної значущості наявності даних, які виявлені за спостереженнями на конкретних водних об'єктах (р. Горинь біля с. Ямпіль, ставок-охолоджувач ХАЕС). Чим більша загальна вибірка обсягу спостережень, тим точніше оцінюється однорідність чи не однорідність рядів спостережень. В більшості випадках на неоднорідність рядів спостереження можуть впливати антропогенні чинники, такі як зарегульованість водосховища, робота меліоративних систем, багато сільськогосподарських полів, заростання берегів ставка, його замулення та заболочення, заплавні луки, які частково розорані, окультурені та перебувають під випасами, що призводить до їх деградації, а також змиву при паводках у річкове русло значних домішок — органічних, бактеріальних і твердого стоку. Коефіцієнт нерівномірності випадіння опадів на території змінюється у невеликих межах.

Список літератури

1. Израэль Ю.А., Семёнов С.М., Анисимов О.А. и др. Четвертый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата : вклад рабочей группы II // Метеорология и гидрология. 2007. №9. С. 5–13.
2. Водні ресурси : використання, охорона, відтворення, управління : підручник для студентів вищих навч. закладів / Яцик А. В., Грищенко Ю. М., Волкова Л. А., Пашенюк І. А.. Київ : Генеза, 2007. 360 с.
3. Тюрин Ю.Н. Непараметрические методы статистики. М. : Знание, 1978. 64 с.
4. Тарасова В.В. Екологічна статистика : підручник. К.: Центр учбової літератури, 2008. 392 с.
5. Галік О.І., Рокочинський А.М., Олексюк Т.В., Савчук Т.В., Маринич А.І. Застосування непараметричних статистичних критеріїв оцінки однорідності рядів спостережень за сучасними локальними змінами температури повітря та опадів // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. 2011. №1. с. 96–99.
6. Горбачова Л.О. Методичні підходи щодо оцінки однорідності і стаціонарності гідрологічних рядів спостережень // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2014. Т.1(32). С. 22–31.
7. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). Київ : Ніка-Центр, 2010. 316 с.
8. Холоденко В.С., Косяк Д.С. Часова структура річних сум, теплого та холодного періодів атмосферних опадів в межах Прип'ятсько-Волинської моренно-зандрової рівнини та Волинської денудаційної височини // Географія та туризм. 2015. Вип.32. С. 209–220.
9. Галік О.І., Будз О.П., Косяк Д.С., Холоденко В.С. Застосування гідролого-генетичних методів для характеристики змін атмосферних опадів в контексті оцінки ресурсів річкового стоку // Тези доповідей першого Всеукраїнського гідрометеорологічно-го з'їзду (з міжнародною участю), м. Одеса, 22-23 берез. 2017 р. Одеса, 2017. С. 114–115.
10. Методика визначення екологічно допустимих рівнів відбору води з річок з метою збереження сталого функціонування їх екосистем / А. В. Яцик та ін. ; під наук. кер. А. В. Яцика, Київ : Оріяни, 2002. 48 с.
11. Мостеллер Ф., Тьюки Дж. Анализ данных и регрессия. Москва : Финансы и статистика. 1982. Вып.1. 224 с.; Вып.2. 240 с.
12. Холоденко В.С., Холоденко А.О. Оцінка змін метеорологічних параметрів на метеостанції Рівне // Географія та туризм. 2022. Вип.69. С. 64–72.
13. Інформаційно-аналітичний огляд матеріалів «Хмельницька аес. техніко-економічне обґрунтування спорудження енергоблоків № 3, 4 URL : https://web.archive.org/web/20150526035014/http://energoatom.kiev.ua/files/file/information_rus.pdf

14. *Котін П.* Експерти вважають конструкції ХАЕС-3 придатними для будівництва. *Незалежне Інтернет-ЗМІ «Українська енергетика ua-energy.org»*. 2022. 10 січня. URL : <https://ua-energy.org/uk/posts/eksperty-vvazhaiut-konstruksii-khaes-3-prydatnym-dlia-budivnytstva-kotin>

References

1. *Izrael Yu.A., Semyonov S.M., Anisimov O.A. i dr.* Chetvertii otsenochinii doklad Mezhpriavitel'stennoi gruppi ekspertov po izmeneniyu klimata : vklad rabochei gruppi II [Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change : Contribution of Working Group II] // *Meteorologiya i gidrologiya*. 2007. №9. S. 5–13.
2. *Vodni resursy : vykorystannia, okhorona, vidtvorenna, upravlinnia : pidruchnyk dlia studentiv vyshchikh navch. zakladiv* [Water resources: use, protection, reproduction, management: a textbook for students of higher education. institutions] / *Yatsyk A.V., Hryshchenko Yu.M., Volkova L.A., Pasheniuk I.A.*. Kyiv : Heneza, 2007. 360 s.
3. *Tyurin Yu.N.* Neparametricheskie metody statistiki [Nonparametric methods of statistics]. M. : Znanie, 1978. 64 s.
4. *Tarasova V.V.* Ekologichna statystyka : pidruchnyk [Ecological statistics: a textbook]. Kyiv : Tsentr uchbovoi literatury, 2008. 392 s.
5. *Halik O.I., Rokochynskyi A.M., Oleksiuk T.V., Savchuk T.V., Marynych A.I.* Zastosuvannia neparametrychnykh statystychnykh kryteriiv otsinky odnorodnosti riadiv sposterezhen za suchasnymi lokalnymi zminamy temperatury povitria ta opadiv [Application of non-parametric statistical criteria for assessing the homogeneity of series of observations of modern local changes in air temperature and precipitation] // *Visnyk Dnipropetrovskoho derzhavnoho aharnooho universytetu*. 2011. №1. S. 96–99.
6. *Horbachova L.O.* Metodychni pidkhody shchodo otsinky odnorodnosti i statsionarnosti hidrolohiichnykh riadiv sposterezhen [Methodical approaches to assessing the homogeneity and stationarity of hydrological series of observations] // *Hidrologiia, hidrokhimiia i hidroekologiia*. 2014. T.1(32). S. 22–31.
7. *Hrebin V.V.* Suchasnyi vodnyi rezhym richok Ukrainy (landshaftno-hidrolohiichniy analiz) [Modern water regime of rivers of Ukraine (landscape and hydrological analysis)]. Kyiv : Nika-Tsentr, 2010. 316 s.
8. *Kholodenko V.S., Kosiak D.S.* Chasova struktura richnykh sum, teploho ta kholodnoho periodiv atmosferychnykh opadiv v mezhakh Prypiatsko-Volynskoi morenno-zandrovoi rivnyny ta Volynskoi denudatsiinoi vysochyny [Temporal structure of annual sums, warm and cold periods of atmospheric precipitation within the boundaries of the Pripyat-Volyn moraine and sand plain and the Volyn denudation upland] // *Heohrafiia ta turizm*. 2015. Vyp.32. S. 209–220.
9. *Halik O.I., Budz O.P., Kosiak D.S., Kholodenko V.S.* Zastosuvannia hidroloho-henetychnykh metodiv dlia kharakterystyky zmin atmosferychnykh opadiv v konteksti otsinky resursiv richkovoho stoku [The application of hydrological and genetic methods for the characterization of changes in atmospheric precipitation in the context of the assessment of river runoff resources] / *Tezy dopovidei pershoho Vseukrainskoho hidrometeorologichno-ho zizdu (z mizhnarodnoiu uchastiu)*, Odesa, 22-23 berez. 2017 r. Odesa, 2017. S. 114–115.
10. *Metodyka vyznachennia ekologichno dopustymykh rivniv vidboru vody z richok z metoiu zberezhenia staloho funktsionuvannia yikh ekosystem* [Methodology for determining ecologically acceptable levels of water withdrawal from rivers in order to preserve the sustainable functioning of their ecosystems] / *A. V. Yatsyk ta in. ; pid nauk. ker. A. V. Yatsyka*, Kyiv : Oriiany, 2002. 48 s.
11. *Mosteller F., Tyuki Dzh.* Analiz daniikh i regressiya [Data analysis and regression]. Moskva : Finansy i statistika. 1982. Vip.1 224 s.; Vip. 2. 240 s.
12. *Kholodenko V.S., Kholodenko A.O.* Otsinka zmin meteorologichnykh parametriv na meteostantsii Rivne [Assessment of changes in meteorological parameters at the Rivne weather station] // *Heohrafiia ta turizm*. 2022. Vyp.69. S. 64–72.
13. *Informatsiino-analitychnyi ohliad materialiv «Khmelnitska aes. tekhniko-ekonomichne obhrovtuvannia sporudzhennia enerhoblokiv № 3, 4* URL : https://web.archive.org/web/20150526035014/http://energoatom.kiev.ua/files/file/information_rus.pdf
14. *Kotin P.* Eksperty vvazhaiut konstruksii KhAES-3 prydatnymi dlia budivnytstva [Experts consider the structures of the KhAES-3 suitable for construction]. *Nezalezhne Internet-ZMI «Ukrainska enerhetyka ua-energy.org»*. 2022. 10 sichnia. URL : <https://ua-energy.org/uk/posts/eksperty-vvazhaiut-konstruksii-khaes-3-prydatnym-dlia-budivnytstva-kotin>

Assessment of the uniformity of series of observations on the quantity of atmospheric precipitation and water levels on water bodies in the area of influence of the Khmelnytska NPP

Kholodenko V.S., Basyuk T.O., Budz O.P., Hopchak I.V., Kholodenko A.O.

The energy strategy of Ukraine until 2030 envisages the completion and commissioning of power units 3 and 4 at the Khmelnytskyi NPP. An important factor in the correct, uninterrupted operation of the Khao NPP is the availability of appropriate water resources and water levels that can be restored with the help of precipitation, as well

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

as flow regulation. During the research period from 2019 to 2023, the cooling pond of Khao NPP was not recharged by pumping water from the Horyn River. The research methodology is based on the application of the hydrological-genetic and statistical method. The homogeneity of the series of observations according to statistical parametric and non-parametric criteria was determined; integrated total curves of water levels were constructed; graphs of surfaces are constructed; the precipitation unevenness coefficient was calculated. The possibility and expediency of applying statistical criteria to assess the significance of the presence of trends, which were revealed based on the data of observations of water levels and precipitation for the Horyn River near the village, is substantiated. Yampil and in the Khao NPP cooling pond. It was established that in most cases, the heterogeneity of the observation series can be influenced by anthropogenic factors, such as the regulation of the reservoir, the operation of reclamation systems, agricultural fields, overgrowth of the banks of the pond, siltation and waterlogging, floodplain meadows, and others. In cases of insignificant annual distribution of precipitation in the Yampil River and in the Khao NPP cooling pond, the latter does not have a significant impact on the distribution of water levels in them.

Keywords: statistical criteria; uniform numbers; river; precipitation; reservoir.

Надійшла до редколегії 15.02.2023

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.1.6>

УДК 556.531.4 (282.247.32)

Осипенко В.П.

Інститут гідробіології НАН України, м. Київ

ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ ЛЕГКООКИСНЮВАНИХ РОЗЧИНЕНИХ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН У ВОДІ РІЗНИХ ДІЛЯНОК ВОДОЙМ КИЄВА

Описані і обговорені результати вивчення загального вмісту і розподілу легкоокиснюваних розчинених органічних речовин у воді різних ділянок водойм Києва. Особлива увага приділена таким класам органічних сполук, як вуглеводи і білковоподібні речовини. У порівняльних таблицях представлені основні гідрохімічні характеристики води з різних досліджуваних ділянок, а саме: з чистоводдя і заростей вищих водяних рослин. Зокрема, визначені показники рН, вміст розчиненого у воді кисню, величини загального вмісту розчинених органічних речовин за параметрами хімічного споживання кисню (ХСК), концентрації вуглеводів і білковоподібних речовин. Також розраховані концентрації органічного вуглецю (C_{org}) і масові частки окремих досліджуваних органічних компонентів у загальному складі розчинених органічних речовин.

Ключові слова: розчинені органічні речовини; вуглеводи; білковоподібні речовини; водойми Києва.

Актуальність дослідження. Малі водойми міської зони є найбільш чутливими ланками в умовах сучасного техногенно перевантаженого міста. Головними чинниками, які формують якість води у природних водоймах, в тому числі у переважній більшості водних об'єктів міської зони м. Києва, є комплекс природних чинників: температура, активна реакція водного середовища (рН), вміст розчиненого у воді кисню, органічні та неорганічні речовини алохтонного і автохтонного походження, життєдіяльність різних гідробіонтів тощо. Значну і все більш негативну роль у формуванні якості води відіграє антропогенний чинник, особливо у водних екосистемах, розташованих поблизу промислових і комунальних об'єктів. З іншого боку, представники флори і фауни, які мешкають у цих водоймах, беруть активну участь у їхньому очищенні шляхом деструкції і мінералізації, накопичення та транзиту забруднювальних речовин із води у донні відклади тощо. Велике значення у процесах самоочищення водних об'єктів різного типу набувають вищі водяні рослини завдяки своїй фільтраційній активності і здатності акумулювати не тільки природні, але й забруднювальні речовини [1].

Розчинені органічні речовини (РОР) є невід'ємною складовою природних вод. Їхній вміст і склад постійно змінюється внаслідок впливу абіотичних і біотичних чинників, тому що всі біологічні процеси, які відбуваються у водоймі, перебігають з одночасним виділенням і поглинанням органічних сполук. Через високу потенційну доступність РОР природного і штучного походження для гідробіонтів їхня концентрація у воді може суттєво впливати на динамічну стійкість водойми як біоценозу [2, 3]. Тому вміст РОР у воді використовується не тільки як показник природних продукційно-деструкційних процесів у воді, але й критерій змін у ній внаслідок антропогенного тиску. Особливо це стосується таких легкоокиснюваних РОР, як вуглеводи і білки, які мають переважно автохтонне походження, і коливання їхніх концентрацій співпадає у часі з продукційними або деструкційними процесами у водоймах [4].

Мета дослідження. Метою нашої роботи було дослідження відмінностей загального вмісту легкоокиснюваних РОР і таких їхніх компонентів, як вуглеводи (В) і білковоподібні речовини (БПР), у воді різних ділянок (чистоводдя і зарості) водойм, розташованих у межах м. Києва у літню пору року.

Об'єкти і методика досліджень. Об'єктами досліджень були 6 водойм з уповільненим зовнішнім водообміном: заплавні озера Вирлиця і Райдужне, старичні озера Центральне і Вербне, озеро Йорданське та ставок Горіховатський-2 (нумерація від нижче до вище розташованого), що належать до водойм каскадного типу.

Відбір проб води здійснювали влітку 2011-2022 р.р. на ділянках відкритих акваторій – чистоводді, а також у прибережних заростях вищих водяних рослин.

У нефільтрованій воді визначали рН і концентрацію розчиненого у ній кисню. Для відокремлення зависі від фракції РОР використовували мембранні фільтри "Synpor" з діаметром пор 0,4 мкм, Чехія. Загальний вміст РОР за хімічним споживанням кисню (XCK_{Mn} і XCK_{Cr}) у відфільтрованій воді визначали методами перманганатної і біхроматної окиснюваностей відповідно [5].

Фракції вуглеводів і білковоподібних речовин (В і БПР) одержували методом іонообмінної хроматографії із застосуванням ДЕАЕ- і КМ-целюлоз [6]. БПР визначали методом Фоліна-Лоурі [7], В – за допомогою антрону [8]. Вміст $C_{орг.}$ і масові частки В і БПР у загальному складі РОР розраховували відповідно [9].

Озеро Вирлиця утворене на місці невеликого заплавної озера. Є типовою евтрофною водоймою природно-антропогенного походження з добре сформованим комплексом водної і прибережної рослинності. Під час будівництва Харківського масиву на початку 80-х років ХХ ст. площа озера була збільшена вдвічі (від 490 до 980 тис. м²), середня глибина – до 15–16 м. Збільшення об'єму води в озері покращило умови розбавлення забруднених вод, що стікають у нього, але при цьому істотно зменшився його водообмін. На сьогодні оз. Вирлиця щільно оточене на сході та південному сході промисловою зоною (сміттєспалювальний завод, Бортницька станція аерації, автотранспортні підприємства тощо) і новобудовами, а на півночі та заході – метро і дорогами.

Озеро Райдужне, розташоване в лівобережній частині Києва, теж є прикладом типової заплавної евтрофної водойми. Воно вважається старицею р. Десенки і має видовжену (вздовж русла Дніпра) морфометрію: довжина – 1400 м, середня ширина – 100 м, максимальна глибина – 7,3 м, загальна площа складає 16,2 га. До 12% площі водойми займають мілководдя глибиною до 2 м. Умовно озеро поділене на північну, центральну і південну частини. Головними прибутковими складовими його водного балансу є притік ґрунтових вод внаслідок гідрологічного зв'язку з Канівським водосховищем, поверхневий стік та атмосферні опади. Дно переважно піщане, місцями замулене. На відміну від багатьох інших водойм Києва, площа озера лише на 10% покрита заростями вищих водяних рослин. Біля озера розташовані невелика паркова зона, міський пляж із торговельними закладами, автозаправка. З усіх боків воно щільно оточене автомагістралями і житловими будинками.

Озеро Центральне – штучного походження, утворене на місці стариці Дніпра внаслідок наміву для житлової забудови території урочища Наталка. Довжина озера становить 230 м, ширина 160 м, приблизна площа – 26 тис. м². Берегова лінія оз. Центрального піщана з природною рослинністю. В даний час використовується як декоративне, поряд з ним розташовані декілька піщаних пляжів з компактними зонами відпочинку. Озеро досить холодне, з чистою і прозорою водою. Важливим гідрологічним чинником стабільного існування такої маленької водойми є численні джерела, які живлять її підземними водами і забезпечують досить велику глибину – місцями до 15 м.

Озеро Вербне розташоване у правобережній частині Києва на півдні житлового масиву Оболонь у ложі колишньої річкової долини. Воно утворене в результаті заповнення водою кар'єру гідронамиву при будівництві прилеглих будинків, але має гідравлічний зв'язок з Канівським водосховищем. Озеро непроточне і використовується для відпочинку. Його площа становить 16,4 га, довжина 1100 м, ширина 60–240 м, площа прибережної смуги 16,1 га. Водний режим озера в основному залежить від поверхневого стоку, який може збільшуватись під час повеней і дощів. Підняття рівня ґрунтових вод на території заплави під час весняного водопілля також впливає на водний режим озера. Як і інші водойми, воно також зазнає значного антропогенного тиску через близькість автошляху, несанкціонованих скидів з території житлового масиву і навколишніх закладів відпочинку, вторинного забруднення з боку донних відкладів тощо.

Оз. Йорданське – найнижче, яке входить до системи дренажних озер Опечень, з'єднаних між собою водопропускними трубами. Утворене у колишній заплаві річки Почайни (в межах заплави Дніпра) внаслідок робіт з наміву території житлового масиву Оболонь. Площа озера становить 15,3 га, площа прибережної смуги 8,2 га. Максимальна довжина 770 м, ширина від 80 до 260 м. Дно не вивчене, орієнтовно досягає 14–17 м.

Водний режим залежить від атмосферних опадів поверхневого стоку та підземного живлення. Значна частина води надходить із дощової каналізації, метою створення якої було збереження навколишніх будівель і доріг від затоплення під час паводків. Оскільки водойма є мало проточною, це підвищує її вразливість до несприятливого впливу антропогенних чинників.

Став Горіховатський-2 (нумерація від нижче до вище розташованого) – один з каскаду п'яти ставків у руслі р. Горіховатки, вода в який надходить і витікає через штучно створені дамби внаслідок різниці рівнів води. Він утворений в результаті зарегулювання стоку р. Горіховатки – однієї з приток р. Либеді. Знаходиться на території Голосіївського парку на відстані кількох сот метрів від пожвавленої автомагістралі і щільної житлової забудови. Площа водойми складає 0,9 га. Близько 30% прибережної смуги водного дзеркала займають зарості макрофітів. За гідрологічними ознаками належить до проточних мілководних (до 1,5–2,5 м) поліміктичних водойм з атмосферно-джерельним типом живлення. Водойма поступово міліє, тому що продукти життєдіяльності гідробіонтів осідають на дно, утворюючи болотні відклади [10, 11].

Результати досліджень та їхнє обговорення. Навіть короткий наведений опис досліджуваних водойм дає підставу зарахувати їх до об'єктів з високим антропогенним навантаженням і нестійкою біологічною рівновагою. Як наслідок, така ситуація призводить до підвищення рівня трофності, посиленого “цвітіння” води та різкого погіршення її якості.

В результаті проведених нами гідрохімічних досліджень вмісту легкоокиснюваних РОР у воді зазначених шести малих водойм міської зони Києва було виявлено низку спільних закономірностей їхнього розподілу на чистоводді і в заростях вищих водяних рослин. Оскільки гідрофізичні і гідрохімічні умови відрізняються на цих ділянках водойм, ми визначали такі показники, як рН і вміст розчиненого у воді кисню. Саме ці важливі абіотичні чинники суттєво змінюють як загальний вміст, так і компонентний склад РОР у воді, і впливають на подальше їхнє засвоєння гідробіонтами.

З табл. 1 видно, що величина рН води досліджуваних нами об'єктів була слабколужною і змінювалася в межах 7,8–9,2 (чистоводдя) та 7,3–8,8 (зарості), причому значення рН були вищими на ділянках без рослинності в усіх водоймах, що пов'язано зі зміщенням карбонатної рівноваги у воді внаслідок посилення фотосинтетичної діяльності біоти.

Таблиця 1. Показники рН, вміст розчиненого кисню, загальний вміст розчинених органічних речовин (ХСК_{Мп}) та вміст вуглеводів і білковоподібних речовин (В і БПР) у воді деяких водойм м. Києва влітку (2011-2022 рр.)

Водойма	рН		О ₂ , мг/дм ³		ХСК _{Мп} , мгО/дм ³		В, мг/дм ³		БПР, мг/дм ³	
	ч	з	ч	з	ч	з	ч	з	ч	з
оз.Вирлиця	9,2	8,8	9,8	3,9	14,1	15,7	4,71	4,53	0,80	0,60
оз.Райдужне	8,7	8,3	11,2	7,3	11,2	13,4	4,14	3,57	0,59	0,55
оз.Центральне	8,0	7,5	8,3	5,4	7,4	8,3	2,88	2,56	0,66	0,54
ст.Горіховатський 2	7,8	7,3	10,2	1,4	10,9	11,5	3,19	2,81	0,79	0,72
оз.Вербне	8,9	8,7	10,6	10,2	15,9	16,8	3,43	2,60	0,75	0,60
оз.Йорданське	8,0	7,5	8,3	5,5	10,0	12,5	3,02	2,52	0,65	0,46

Примітка: ч – чистоводдя; з – зарості.

Як було сказано, ще одним визначальним чинником, який регулює направленість та інтенсивність потоків РОР у водних об'єктах, є вміст розчиненого у воді кисню. Ні одна сучасна система моніторингу якості води не обходиться без його вимірювання. Концентрація розчиненого кисню впливає також на величину рН шляхом хімічного і біохімічного окиснення органічних і неорганічних сполук. Низький вміст кисню як у поверхневому, так і придонному шарах води, часто слугує природним критерієм незадовільного стану водойми [12].

Так, на відкритих, добре освітлених ділянках, як відомо, більш інтенсивно відбуваються процеси фотосинтезу за участю фітопланктону, тому на чистоводді спостерігали також більшу, ніж у заростях, концентрацію розчиненого у воді кисню. “Цвітіння” води влітку супроводжується також зростанням величини рН у поверхневому горизонті води. Високий вміст кисню на чистоводді буває додатково зумовлений також

активним вітровим перемішуванням водних мас.

Найвищий вміст кисню ($11,2 \text{ мг/дм}^3$) відмічали на чистоводді оз. Райдужного, найнижчий ($1,4 \text{ мг/дм}^3$) – у заростях макрофітів ст. Горіховатського 2, який вирізнявся також найнижчими показниками рН. У цьому ж об'єкті виявлено найбільшу різницю між величинами вмісту кисню на чистоводді і в заростях ($10,2$ та $1,4 \text{ мг/дм}^3$ відповідно). Така ситуація зазвичай складається влітку у водоймах з уповільненим водообміном, тому що у заростях вищих водяних рослин накопичується значна кількість автохтонної органічної речовини, на розкладання якої додатково витрачається розчинений у воді кисень.

У табл. 1 наведені також показники $\text{ХСК}_{\text{Мп}}$ – величини хімічного споживання кисню за перманганатною окиснюваністю води, яка більшою мірою характеризує загальний вміст легкоокиснюваних РОР. Показники $\text{ХСК}_{\text{Мп}}$ підтверджують, що загальний вміст РОР у воді всіх об'єктів був вищим саме на зарослих ділянках, що призвело до зниження розчиненого кисню і рН. Їхні значення коливалося в досить широкому діапазоні: від $7,4$ до $15,9 \text{ мг О/дм}^3$ на відкритих ділянках водойм і від $8,3$ до $16,8 \text{ мг О/дм}^3$ у заростях. Самою високою концентрацією РОР за названим показником вирізнялось оз. Вербне, причому на обох досліджуваних ділянках. Вода оз. Центрального за вмістом РОР виявилася найчистішою ($7,4$ і $8,3 \text{ мг О/дм}^3$ відповідно чистоводдя і зарості), що свідчить про хорошу природну самоочисну здатність водойми навіть у літній період.

Як уже було зазначено, показник $\text{ХСК}_{\text{Мп}}$ дозволяє опосередковано оцінити наявність у воді не тільки природних алохтонних важкоокиснюваних сполук, але й вміст автохтонних легкоокиснюваних органічних речовин, до яких належать В і БПР [13]. Аналізуючи відмінності розподілу В і БПР на різних ділянках водойм, слід відзначити досить високий вміст цих органічних сполук у воді. Так, максимальна концентрація В і БПР на чистоводді оз. Вирлиця сягала $4,71$ та $0,80 \text{ мг/дм}^3$ відповідно, мінімальна – у заростях макрофітів оз. Йорданського становила $2,56$ та $0,54 \text{ мг/дм}^3$ відповідно. Важливо відмітити, що, на противагу загальному розподілу РОР за значеннями $\text{ХСК}_{\text{Мп}}$, концентрації В і БПР були меншими у воді зарослих ділянок. Таку різницю можна пояснити тим, що на літній період припадає пік вегетації вищих водяних рослин у водоймах, а розчинені у воді вуглеводні та білкові сполуки є джерелом основного “будівельного” матеріалу для накопичуваної біомаси прибережних заростей. Ці, на перший погляд, протиріччя вказують на складність і багатофункціональність природних процесів, які відбуваються у водному середовищі. І органічні речовини в ньому є важливими ланками у життєдіяльності гідробіоценозів з відповідним обміном речовин і енергії [1].

У табл. 2 наведені загальний вміст РОР за ХСК_{Cr} та у перерахунку на $\text{C}_{\text{орг}}$, а також масові частки В і БПР у процентах від $\text{C}_{\text{орг}}$.

Таблиця 2. Загальний вміст розчинених органічних речовин за ХСК_{Cr} і $\text{C}_{\text{орг}}$ та масові частки вуглеводів і білковоподібних речовин (В і БПР) у воді деяких водойм м. Києва влітку (2011–2022 рр.)

Водойма	$\text{ХСК}_{\text{Cr}}, \text{мгО/дм}^3$		$\text{C}_{\text{орг}}, \text{мг/дм}^3$		В, % $\text{C}_{\text{орг}}$		БПР, % $\text{C}_{\text{орг}}$	
	ч	з	ч	з	ч	з	ч	з
оз.Вирлиця	38,1	48,8	14,3	18,3	16,4	12,3	2,8	1,6
оз.Райдужне	31,2	44,6	11,7	16,7	17,7	10,7	2,6	1,6
оз.Центральне	26,7	30,0	10,0	11,3	14,4	11,3	3,3	2,4
ст.Горіховатський 2	51,8	54,5	19,4	20,4	8,2	6,9	2,1	1,8
оз.Вербне	49,0	51,2	18,4	19,2	9,3	6,8	2,0	1,6
оз.Йорданське	28,8	32,0	10,8	12,0	14,0	10,5	3,0	1,9

Примітка: ч – чистоводдя; з – зарості

Для всіх досліджуваних водойм нами визначався ще один інтегральний показник сумарного вмісту РОР (ХСК_{Cr}) як необхідний для розрахунку цих часток. Він, на відміну від $\text{ХСК}_{\text{Мп}}$, характеризує загальну концентрацію як природних, так і важкоокиснюваних забруднювальних органічних речовин [13]. Динаміка показників ХСК_{Cr} для різних ділянок всіх водних об'єктів повністю відповідала такій $\text{ХСК}_{\text{Мп}}$ (див. табл. 1). На підставі одержаних результатів встановлено, що вміст $\text{C}_{\text{орг}}$ змінювався від $10,0$ до $19,4 \text{ мг/дм}^3$ на чистоводді та від $11,3$ до $20,4 \text{ мг/дм}^3$ у воді зарослих макрофітами ділянок. Максимальні значення $\text{C}_{\text{орг}}$ відповідали ст. Горіховатському 2, мінімальні – оз. Центральному.

Середня для всіх водних об'єктів масова частка В у загальному складі РОР становила 13,3% (чистоводдя) та 9,8% (зарості) з досить широким інтервалом коливань від 6,8% до 17,7%. БПР характеризувалися значно меншими середніми масовими частками на чистоводді і в заростях: 2,6% і 1,8% відповідно. Межі коливань цього показника по всіх водних об'єктах становили 1,6–3,3%. Такий розподіл масових часток досліджуваних нами легкоокиснюваних сполук В і БПР узгоджується з літературними даними стосовно водойм евтрофного типу [13, 14].

Висновки. Отже, серед досліджених нами водних об'єктів спостерігали незначну перевагу загального вмісту легкоокиснюваних розчинених органічних речовин у заростях вищих водяних рослин (в середньому 13,0 мг О/дм³) над такими на чистоводді (в середньому 11,6 мг О/дм³). Але оскільки всі міські водойми перебувають під значним антропогенним навантаженням, у досліджуваній воді прибережних заростей можлива наявність розчинених органічних речовин не лише природного походження, але й забруднювальних органічних сполук. Концентрації вуглеводів і білковоподібних речовин, навпаки, були меншими на зарослих ділянках водойм (в середньому 3,10 і 0,58 мг/дм³ відповідно). Цей факт разом з низьким вмістом розчиненого у воді кисню (в середньому 4,9 мг/дм³) може свідчити про високий ступінь засвоєння водяними рослинами цих необхідних для їхнього розвитку органічних компонентів і здатність водойми до самоочищення. Найчистішим, за загальним вмістом легкоокиснюваних розчинених органічних сполук (ХСК_{Мп}), вмістом С_{орг.} і концентрацією В, було оз. Центральне. Найбруднішим, за значеннями ХСК_{Ср} і відповідно С_{орг.}, виявився ст. Горіховатський 2.

Список літератури

1. Шилькрот Г.С. Биогеохимические процессы и потоки веществ и энергии в нарушенных водных экосистемах. Изв. РАН. Серия: География. 2008. № 3. С. 35–44.
2. Кузнецов С.И. Микрофлора озер и ее гидрохимическая деятельность. Л.: Наука, 1970. 440 с.
3. Осадчий В.І., Осадча Н.М., Мостова Н.М. Вплив урбанізованих територій на хімічний склад поверхневих вод басейну Дніпра. Наук. пр. УкрНДГМІ. 2002. Вип. 250. С. 242–261.
4. Васильчук Т.А., Ключенко П.Д. Компонентный состав растворенных органических веществ некоторых притоков р. Днепр и его взаимосвязь с развитием водорослей. Гидробиол. журн. 2003. Т. 39, № 5. С. 101–114.
5. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / О.М. Арсан, О.А. Давидов, Т.М. Дьяченко та ін. / за ред. В.Д. Романенка. К.: Логос, 2006. 408 с.
6. Сироткина И.С., Варшал Г.М., Лурье Ю.Ю., Степанова Н.П. Применение целлюлозных сорбентов и сефадексов в систематическом анализе органических веществ природных вод. Журн. аналит. химии. 1974. Т. 29. № 8. С. 1626–1632.
7. Дебейко Е.В., Рябов А.К., Набиванец Б.И. Прямое фотометрическое определение растворимых белков в природных водах. Гидробиол. журн. 1973. Т. 9. № 6. С. 109–113.
8. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / под ред. А.Д. Семенова. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 542 с.
9. Скопинцев Б.А. Взвешенное и растворенное органическое вещество в природных водах по экспериментальным данным и натурным наблюдениям. Микробиологические и химические процессы деструкции органического вещества в водоемах. Л.: Наука, 1979. С. 236–256.
10. Вишневський В.І. Річки і водойми України. Стан і використання. Київ: Віпол, 2000. 367с.
11. Хільчевський В.К., Бойко В.К. Гідролого-гідрохімічна характеристика озер і ставків Києва. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2005. Т. 2. С. 529–535.
12. Бреховских В.Ф. Гидрофизические факторы формирования кислородного режима водоемов. М.: Наука, 1988. 168 с.
13. Зобкова М.В., Ефремова Т.А., Лозовик П.А., Сабиліна А.В. Органическое вещество и его компоненты в поверхностных водах гумидной зоны. Усп. совр. естествознания. 2015. № 12. С. 115–120.
14. Рижинашвили А.Л. Показатели содержания органических веществ и компоненты карбонатной системы в природных водах в условиях интенсивного антропогенного воздействия. Вест. СПб ун-та. Сер. 4. 2008. Вып.4. С. 90–101.

References

1. Shil'krot G.S. Biogeoхимические процесс I potoki veshhestv I jenerгии v narushennyh vodnyh jecosistemah [Biogeochemical processes and fluxes of matter and energy in disturbed aquatic ecosystems]. Izv. RAN. Serija: Geografija. 2008. № 3. S. 35–44.

2. Kuznecov S.I. Mikroflora ozor i jejo gidrohimicheskaja dejatel'nost' [Microflora of lakes and its hydrochemical activity]. L:Nauka, 1970. 440s.
3. Osadchij V.I., Osadcha N.M., Mostova N.M. Vplyv urbanizovanyh teritorij na himichnyj sklad poverhnevnyh vod basejnu Dnipra [Influence of urbanized areas on the chemical composition of surface waters of the Dnipro basin]. Nauk. pr. UkrNDHMI. 2002. Vyp. 250. S. 242–261.
4. Vasil'chuk T.A., Klochenko P.D. Komponentnyj sostav rastvorjonnyh organicheskikh veshhestv nekotoryh pritokov r. Dnepr i jejo vzaimosvjaz' s razvitijem vodorosljej [Component composition of dissolved organic substances of some tributaries of the river. Dnepr and its relationship with the development of algae]. Hidrobiol. zhurn. 2003. T. 39, № 5. S. 101–114.
5. Metody hidroekologichnyh doslidzhen' poverhnevnyh vod [Methods of hydroecological research of surface waters] / O.M. Arsan, O.A. Davydov, T.M. D'jachenko ta in./za red. V.D. Romanenka. K: Logos, 2006. 408 s.
6. Sirotkina I.S., Varshal G.M., Lyr'e Ju.Ju., Stepanova N.P. Primenenije celluloznyh sorbentov i sefadeksov v sistematičeskom analize organicheskikh veshhestv prirodnyh vod [The use of cellulose sorbents and sephadexes in the systematic analysis of organic substances in natural waters]. Zhurn. analit. himii. 1974. T. 29. № 8. S. 1626–1632.
7. Debejko E.V., Rjabov A.K., Nabivanec B.I. Prjamoe fotometričeskoe opredelenie rastvorimyh belkov v prirodnyh vodah [Direct photometric determination of soluble proteins in natural waters]. Hidrobiol. Zhurn. 1973. T. 9. № 6. S. 109–113.
8. Rukovodstvo po himičeskomu analizu poverhnostnyh vod sushi [Guidelines for the chemical analysis of land surface waters] / pod. red. A.D. Semjonova. L.: Gidrometeoizdat, 1977. 542 s.
9. Skopincev B.A. Vzveshennoje i rastvorjonnoje organičeskoje veshhestvo v prirodnyh vodah po eksperimental'nym dannym i naturnym nabljudenijam [Suspended and dissolved organic matter in natural waters according to experimental data and field observations]. Mikrobiologičeskije i himičeskije proctssy destrukcii organičeskogo veshhestva v vodojomah/ L.: Nauka, 1979. S. 236-256.
10. Vyshnevs'kyj V.I. Richky i vodojmy Ukrainy. Stan i vykorystannja [Rivers and reservoirs of Ukraine. State and use]. Kyiv: Vipol, 2000. 367s.
11. Hil'čevs'kyj V.K., Bojko V.K. Hidroloho-hidrihimichna harakterystyka ozer i stavkiv Kyjeva [Hydrological and hydrochemical characteristics of lakes and ponds of Kyiv]. Hidrolohija, hidrohimija i hidroekolohija. 2005. T. 2. S. 529–535.
12. Brehovskih V.F. Gidrofizicheskije factory formirovanija kislorodnogo rezhima vodojomov [Hydrophysical factors of the formation of the oxygen regime of water bodies]. M.: Nauka, 1988. 168 s.
13. Zobkova M.V., Efremova T.A., Lozovik P.A., Sabilina A.V. Organičeskoe veshhestvo i ego komponenty v poverhnostnyh vodah gumidnoj zony [Organic matter and its components in the surface waters of the humid zone]. Usp. sovr. estestvoznanija. 2015. № 12. S. 115–120.
14. Rizhinashvili A.L. Pokazateli soderzhanija organicheskikh veshhestv i komponenty karbonatnoj sistemy v prirodnyh vodah v uslovijah intensivnogo antropogennogo vozdejstvijsja [Indicators of the content of organic substances and components of the carbonate system in natural waters under conditions of intense anthropogenic impact]. Vest. SPb un-ta. Ser. 4. 2008. Vyp. 4. S. 90–101.

Features of distribution of the easily-oxidizable dissolved organic substances in water of different areas of Kyiv water bodies

Osyenko V.P.

The results of study of the easily-oxidizable dissolved organic substances distribution in different Kyiv water bodies are described and discussed. Especially such classes of organic matters as carbohydrates and protein-like substances are investigated. In comparative tables the main hydrochemical characteristics on both the pure water part of lakes and the aquatic overgrowth part of lakes are presented. In particular the indexes of pH, dissolved oxygen concentration, the values of the total dissolved organic substances content according to parameters of chemical oxygen consumption (COC) by permanganat and bihromate oxidizability methods, carbohydrates and protein-like substances concentrations are difined. Also the concentrations of organic carbon (C_{org}) and mass parts of different organic compounds in the total dissolved organic substances content are calculated.

Among the water bodies studied by us, we observed a slight advantage of the total content of easily-oxidizable dissolved organic substances in overgrowth of higher aquatic plants (an average of 13,0 mg/dm³) over those in pure water (an average of 11,6 mg/dm³). But as all investigated urban water bodies are under significant anthropogenic load, not only natural organic substances but also pollutants could be in the water.

The carbohydrates and protein-like substances concentrations, on the contrary, was lower in overgrowth areas of water bodies (an average of 3,10 and 0,58 mg/dm³ respectively). This fact, together with the low content of oxygen dissolved in water (an average of 4,9 mg/dm³), may indicate on the high degree of assimilation by aquatic plants of these organic components necessary for their growth and, as a result, on the ability of the water bodies to self-clean.

Keywords: dissolved organic substances; carbohydrates; proteins; water bodies of Kyiv.

Надійшла до редколегії 10.02.2023

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.1.7>

УДК 551.583.1+551.577

**Паламарчук Л.В.¹, Осадчий В.І.¹, Скриник О.А.^{1,2}, Кирєєва З.М.^{1,3}, Сіденко В.П.¹,
Ошурак Д.О.¹, Скриник О.Я.¹**

¹ Український гідрометеорологічний інститут ДСНС та НАН України, Київ

² Національний університет біоресурсів та природокористування, Київ

³ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ HOMER ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ТА ГОМОГЕНІЗАЦІЇ РЯДІВ ЩОМІСЯЧНИХ СУМ ОПАДІВ

Створено цифровий масив даних місячних сум опадів для 177 метеорологічних станцій та 47 опадомірних постів на території України для періоду 1946-2020 рр. Контроль якості часових рядів та їх гомогенізацію проведено з використанням спеціалізованого програмного забезпечення HOMER. Контроль якості виявив 1316 аномальних значень (викидів), що становить 0,7% від кількості усіх задіяних вимірювань. 465 викидів були віднесені до грубих помилок і були виправлені після аналізу паперових першоджерел. Одночасне використання даних спостережень на метеорологічних станціях та опадомірних постах дозволило підвищити точність (якість) даних отриманих на постах за рахунок порівняння з відповідними вимірюваннями на метеорологічних станціях та здійснити узгодження поля опадів. Перевірка рядів місячних сум опадів на однорідність виявила 265 точок розривів, які представляють собою моменти часу, коли відбулися різкі зміни їх часової динаміки. Основними причинами порушення однорідності вважаються перенесення станцій (постів), заміна приладів вимірювання і т.п., тобто прояв впливу не кліматичних чинників. Отримані гомогенізовані (однорідні) часові ряди, згідно рекомендацій ВМО, можна використовувати для розрахунку стандартних та спеціальних кліматичних показників та встановлення трендів змін регіонального поля опадів.

Ключові слова: програмне забезпечення Homer, місячні суми опадів, якість даних, точки розриву, кліматична однорідність рядів, гомогенізація.

Актуальність теми. Параметри стану атмосфери зазнають постійних змін та коливань, що мають різну періодичність та направленість. Такі зміни характерні для метеорологічних процесів різних масштабів та властиві кліматичним показникам, визначеним для довготривалих періодів спостережень. Основними величинами для встановлення інтенсивності змін та трендів у стані атмосфери у цілому та для окремих регіонів, зазвичай, виступають отримані на метеорологічній мережі: приземна температура повітря, атмосферні опади, характеристики вітрового режиму, баричного поля та ін. Усі названі показники мають свою специфіку вимірювання, введення поправок, обробки результатів, часового та просторового розподілу, що впливає на точність отриманих даних. Очевидно, що і точність та достовірність розрахованих на їх основі стандартних та спеціальних кліматичних показників та індексів, буде залежати від якості первинних даних. Крім того, у період сучасних змін клімату, коли кліматичні показники для майбутніх періодів отримують переважно з використанням глобальних чи регіональних моделей, обов'язковою стає процедура верифікації модельних розрахунків [3,9,21,23]. Для достовірної верифікації результатів чисельних моделювань, також необхідні репрезентативні, якісні та однорідні дані, які описують сучасний клімат.

Історично контроль якості даних спостережень та перевірка відповідних часових рядів на однорідність проводився завжди, але методичні підходи до цього процесу змінювалися і залежали від рівня наукових знань, технічних можливостей для розрахунків та ін. [2,8,16.] Сучасні високі вимоги до якості даних метеорологічних спостережень сформульовані в [37] і зобов'язують дослідників перед початком використання результатів

метеорологічних спостережень та кліматичних показників отриманих на їх основі, проводити процедуру гомогенізації первинних даних. Під гомогенізацією розуміють усунення коливань чи різких зсувів ряду метеорологічних/кліматичних даних, що мають неприродний характер. Для проведення процедури гомогенізації на сьогодні використовують спеціальні комп'ютерні програми, що проводять кліматичний контроль, мінімізують некліматичні викиди величин, здійснюють детекцію можливих точок розривів та видалення зсувів. У багатьох наукових публікаціях [20,22,33,35] обговорюються і оцінюються існуючі програмні продукти, які можна використовувати для гомогенізації рядів різних метеорологічних величин.

Для кожної метеорологічної величини, отриманої при спостереженнях, процедура гомогенізації може мати свої особливості і це залежатиме від фізичної природи самої величини та закономірностей її часового і просторового розподілу. Для території України було проведено відповідну процедуру для рядів середніх, максимальних та мінімальних за місяць температур повітря за весь період проведення спостережень. Отримані дані обговорювалися в ряді публікацій у вітчизняних [14, 17], зарубіжних [29, 33, 34] фахових виданнях та на наукових конференціях.

У представлений роботі проводиться контроль якості та оцінювання однорідності (гомогенізація) рядів місячних сум опадів отриманих на гідрометеорологічній мережі України. Варто зазначити, що опади відзначаються значною просторово-часовою мінливістю, яка обумовлена дискретністю розподілу в атмосфері умов, що супроводжують процеси опадоутворення, відмінностями між різними типами фізичних процесів формування опадів, а також нерівномірністю випадання в межах окремого процесу та деякими проблемами їх вимірювання. В [1] вказується, що закон розподілу часових рядів опадів залежатиме від періоду їх осереднення (місяць, сезон, рік) та регіону утворення. Тому можна очікувати, що значення місячних сум опадів відзначатимуться значною варіативністю, а часові ряди сум атмосферних опадів, з більш високою ймовірністю, ніж відповідні ряди температури повітря, будуть кліматично неоднорідними. Оцінки якості метеорологічної інформації та перевірки часових рядів на однорідності потребуватимуть особливих методичних підходів навіть в рамках використання відомих методик та програмних продуктів.

Мета дослідження: проведення гомогенізації часових рядів місячних сум опадів за період 1946-2020 рр. отриманих на гідрометеорологічній мережі України з використанням програмного продукту *HOMER*; аналіз та оцінювання аномальних значень місячних сум опадів та визначення способів їх корекції; встановлення особливостей просторового розподілу місячних сум опадів до і після процедури гомогенізації.

Дані та методи дослідження. В дослідженні розглядалися щомісячні суми опадів на метеорологічних станціях та окремих постах метеорологічної мережі України за період 1946-2020 рр. Часові ряди місячних сум опадів формувалися на основі строкових спостережень за опадами, результати яких занесені у таблиці ТМ-1 архіву Центральної геофізичної обсерваторії ім. Б. Срезневського, дані за окремі роки бралися з Довідників [5,18]. У роботі задіяні результати спостережень за атмосферними опадами на 177 метеорологічних станціях та 47 опадомірних постів, що розташовані на території України. Дані, що отримані на опадомірних постах включалися до загального масиву спостережень тільки в тому випадку, коли пропуски у часових рядах не перевищували 15-20% від загальної кількості вимірювань за досліджуваний період. Крім того, в роботі була використана інформація про зміни у роботі метеорологічних станцій. Відомості до 2011 року взяті з [7], а за період 2011-2020 рр. – з Метеорологічних щомісячників архіву Центральної геофізичної обсерваторії.

Дані про опади, що проходили процедуру гомогенізації, отримані з використанням дощоміру з суцільним захистом Ніфера або опадоміру Третьякова. Відомо, що точність вимірювання такими приладами досить висока, середні похибки становлять 9-12% [2,16], максимальні розкиди похибок вимірювання більші, за даними [36] можуть знаходитися у діапазоні 3-40%. При цьому, з більшою точністю вимірюються рідкі опади середньої та значної інтенсивності. Тверді опади та рідкі опади малого радіусу, швидкості падіння яких незначні, мають нижчу точність вимірювання через вплив вітру. Зауважимо, що швидкість

вітру – один з факторів, що значно впливає на точність вимірювання опадів. Відмічені спроби врахування такого впливу, в [15] сформульовані методики введення спеціального вітрового коефіцієнту для уточнення результатів вимірювання, але через складність та неоднозначність його визначення, відсутності деяких величин необхідних для його розрахунків, таку поправку не використовують при вимірюваннях на гідрометеорологічній мережі. Тільки у випадку визначення водного балансу регіону та деяких інших гідрологічних розрахунків обчислюють і вводять значення вітрового коефіцієнту для отриманої суми опадів [8]. При стандартних спостереженнях на метеорологічній мережі, згідно керівних документів [10], вводиться поправки до виміряних сум опадів на змочування та на заметіль.

За результатами строкових спостережень за опадами визначаються їх суми для різних етапів осереднення (місяць, рік, холодний (теплий) період), а на основі осереднених даних, при потребі можна утворити часові ряди або для усього періоду спостережень, або окремих його частин. Для отримання достовірних статистичних характеристик кліматичного показника, такі ряди повинні відповідати певним вимогам. Як мінімум, вони повинні бути однорідними. Часові ряди кліматичних (метеорологічних) величин, в тому числі і опадів, розглядаються як статистичні вибірки, що мають певні специфічні властивості. У них формується щонайменше дві форми неоднорідностей. По-перше, величини, що входять до таких рядів та формують їх структуру, зазнають впливу кліматоутворюючих факторів (добові, річні та інші ритмічні зміни) та змін параметрів різномасштабних фізичних процесів, що відбуваються в атмосфері. Названі природні фактори обумовлюють так звану статистичну неоднорідність, або нестационарність рядів.

Іншою причиною неоднорідності кліматичних рядів є зміна умов та методик спостережень. Цей вид неоднорідності визначається заміною приладів вимірювання, зміною строків вимірювання та їх кількості, перенесенням метеорологічного майданчика (або приладу), зміною ступеню захищеності майданчика, помилками спостерігачів, неточностями при архівації даних спостережень та ін. Перераховані порушення відносяться скоріше до технічних, але впливають на точність значень метеорологічних величин, які вимірюються. Невірно визначені метеорологічні величини можуть призвести до порушення однорідності сформованих на їх основі рядів. Неоднорідність такого роду називають кліматичною і її прийнято усувати ще до початку статистичного аналізу даних. Отриманий після усунення неточностей ряд називатиметься кліматологічно однорідним, коливання значень в ньому будуть сформовані тільки міжрічною та сезонною мінливістю метеорологічних величин, що обумовлені природними змінами макропроцесів, які формують погоду та клімат у регіоні. Очевидно, що одночасне використання масивів метеорологічних даних для оцінки кліматичних змін та визначення параметрів клімату, які отримані за різних умов і методичних підходів до вимірювання є некоректним.

За досліджуваний період 1946-2020 рр. відбувалися зміни у проведенні вимірювань опадів, які могли вплинути на однорідність рядів щомісячних сум опадів. Ці зміни можна поділити на дві основні групи. Перша група пов'язана з плановою заміною приладів на усій мережі, а також зі зміною методик спостережень, що впроваджувалися на усіх метеостанціях. Такі зміни прийнято називати масовими. Заміна на гідрометеорологічній мережі України у 50-х роках дощоміру з захистом Ніфера на опадомір з захистом Третьякова, що мав інші аеродинамічні властивості, привела до порушення однорідності рядів даних на більшості станцій. Для усунення таких масових порушень однорідності рядів, були визначені та введені спеціальні поправочні коефіцієнти для щомісячних сум опадів, залежні від середньомісячної швидкості вітру та типу захищеності приладу. Перерахунок виміряних величин проводився переважно для твердих та змішаних опадів, тоді як у рядах спостережень за рідкими опадами порушень однорідності практично не було виявлено. У [18] наводяться значення коефіцієнтів для кожної станції та виправлені значення сум опадів.

У 1966 році відбувся перехід з двох строків спостережень за опадами на добу до чотирьох строків спостережень, що потенційно могло вплинути на точність визначення осереднених величин. Також з 1967 року розпочато введення поправок до виміряної величини кількості опадів на змочування +0,2 мм для усіх видів опадів, а з 1967 року для

твердих опадів – +0,1 мм. Перераховані вище зміни були однотипними для усіх станцій і, після введення поправочних коефіцієнтів, не призвели до видимого (значимого) порушення однорідності часових рядів [8,19].

До другої групи можна віднести зміни, які відбуваються на окремій станції, або групі станцій, але в різний час і можуть вплинути на точність та достовірність вимірювань. Переважно, це перенесення станцій на нове місце, що в Україні активно відбувалося у кінці 50-х та 60-х роках минулого сторіччя. Також зміна ландшафтних умов і ступеню відкритості метеорологічного майданчика, що часто відбувається на метеорологічних станціях, які розташовуються у містах. У першому варіанті можуть фіксуватися раптові зміни величин у часових рядах, а у другому – поступове наростання змін, які сукупно також призведуть до некліматичного впливу на значення метеорологічних величин.

Як вже було зазначено, проблема контролю якості даних спостережень та виявлення і подолання неоднорідності часових рядів метеорологічних величин (кліматичних показників) не нова. На практиці, якість вимірювання метеорологічних величин завжди контролювалася співробітниками гідрометеорологічної мережі, а перевірка на кліматичну однорідність часових рядів проводилася вченими-кліматологами при виконанні відповідних наукових проєктів. Для цього застосовували різноманітні напівемпіричні методики (окремі для кожного кліматичного показника), які деталізуються у ряді наукових праць [1,8,16]. Слід відміти, що незважаючи на високий рівень кліматологічних досліджень в Україні, наукові публікації, що показують методологію та результати проведення контролю якості та однорідності часових рядів метеорологічних величин (кліматичних показників) – гомогенізацію, отриманих на українській гідрометеорологічній мережі з'явилися тільки 10-15 років тому [14,29,30].

Сучасні інформаційні технології дозволяють на новому рівні вирішувати проблеми контролю якості та перевірки на однорідність кліматичних даних, забезпечуючи можливість використання необхідного математичного апарату, роботу з великими масивами даних, та отримувати результати необхідної точності. Для проведення процедури гомогенізації на сьогодні створено велику кількість комп'ютерних програм та пакетів. Проведений порівняльний аналіз спеціалізованого програмного забезпечення [17] дозволив зробити вибір і надати перевагу продукту створеному у рамках європейського проєкту COST HOME – HOMER (HOMogenization softwarE in R) [25,26]. HOMER являє собою сукупність гомогенізаційних алгоритмів, з відкритим кодом доступу та реалізується у програмному середовищі R для статистичних розрахунків та побудови графіків. Варто відмітити, що враховувалися також представлені у [35] високі значення тестового оцінювання гомогенізаційних алгоритмів HOMER у порівнянні з іншими програмами, для контролю якості та гомогенізації рядів щомісячних сум опадів. Приймалося до уваги і те, що HOMER успішно використовувався для гомогенізації рядів середньої місячної та екстремальних температур повітря, отриманих на даних спостережень метеорологічної мережі України [14,29,33]. Була також спроба використання цього програмного продукту і для гомогенізації середніх місячних сум опадів для короткого періоду спостережень [34].

Послідовність виконання процедури гомогенізації часових рядів кліматичних показників програмою HOMER в загальних рисах така:

- проводиться початковий аналіз первинних даних, здійснюється їх загальний статистичний аналіз та приводиться візуалізація отриманих результатів.
- на наступному етапі проводиться контроль якості даних (fast quality control/QC), коли виявляються значні аномалії (викиди) для кожної станції. Викиди знаходять порівнянням досліджуваного ряду з часовими рядами станцій оточення. Виявлені аномалії аналізуються (при можливості звіряються з першоджерелом) та при необхідності усуваються.
- відкориговані часові ряди проходять перевірку на однорідність. Для цього використовуються процедури попарного порівняння та об'єднаного порівняння. Результатом їх виконання є список виявлених точок розривів в часових рядах усього досліджуваного масиву даних. Власне, точки розриву – це момент часу, в який відбулося порушення однорідності ряду кліматичного показника. Методологічно, причиною такого порушення вважаються некліматичні фактори.

- Наступною процедурою є корекція часових рядів, коли з використанням методів дисперсійного аналізу проводиться розрахунок величини поправки, яка вводиться для вирівнювання ряду залежно від групи факторів у точці розриву. Після корекції часових рядів, проводиться розрахунок статистичних параметрів та візуалізація первинних і гомогенізованих рядів даних.

Безпосередня реалізація алгоритму гомогенізації часових рядів з використанням HOMER передбачає при по кроковому виборі процедур для аналізу і розрахунків враховувати фізичну природу кліматичного показника та форму його статистичного розподілу для отримання достовірної корекції даних. Так, наприклад, опція additive correction вибирається для таких фізичних параметрів як температура, атмосферний тиск) і multiplicative correction – для кумулятивних величин (атмосферні опади). Для випадків асиметричного розподілу часових рядів, що характерно для місячних сум опадів, виявлення похибок та їх корегування, а також оцінка однорідності рядів буде проводитися через аналіз *співвідношення значень* елементів ряду на окремій станції та її оточенні. Використання програмного продукту Homer оцінювання часових рядів опадів для окремих регіонів Західної Європи показано в [24,28,32].

Виклад основного матеріалу. Напочатку гомогенізаційного процесу проводиться загальна статистична оцінка даних, в результаті якої отримуємо серію показників розподілу вхідних рядів місячних сум опадів. Серед важливих результатів є візуалізовані щомісячні блоки для кожної станції, які показують наявність даних за досліджуваний період та розкид місячних сум опадів з кількістю точок вимірювань, що виходять за межі лінії 75 процентилі. Будуються гістограми місячного розподілу місячних сум для з осереднення за весь досліджуваний період. Визначається кореляційний зв'язок між рядами метеорологічних станцій. Як результат розрахунків будується корелограму попарно взятих станцій в залежності від географічної відстані. На основі проведених статистичних оцінок здійснюється також кластерний аналіз та наводиться відповідний поділ станцій на групи, відповідно до отриманих статистичних параметрів. Також наводяться і інший статистичний та інформаційний матеріал, наприклад, картосхема з точками знаходження станцій встановленими за їх географічними координатами.

На рис. 1 показані гістограми розподілу опадів для січня та серпня за весь період спостережень. Форма та структура розподілу в інші місяці подібна до наведених. Відомо, що, за формою розподілу метеорологічної величини можна встановити математичний закон, який його описує та перевірити вибір відповідними критеріями. У межах представленого дослідження спеціально це питання не вивчалось, але з інших наукових джерел відомо, що для сум атмосферних опадів закон розподілу може змінюватися залежно від періоду осереднення та структури часового ряду [1,4,6]. Встановлено, що річний хід опадів [12] та розподіл річних сум [13] описується нормальним законом. Для північних регіонів помірної кліматичної зони у [1,16] наводилися результати вивчення розподілу місячних сум для якого застосовувався гамма-розподіл. У [31] показано, що місячні суми опадів задовільно описуються логнормальним законом. Визначення закону розподілу досліджуваного кліматичного параметру важливе з точки зору правил використання гомогенізаційних механізмів та оцінювання можливої точності отриманих результатів. Враховуючи те, що місячні суми опадів мають асиметричний розподіл, до таких часових рядів будуть застосовуватися інші прийоми для здійснення достовірної гомогенізації, ніж у випадку гомогенізації рядів приземної температури повітря.

Серед інших статистичних оцінок досліджуваного масиву даних – кореляційні зв'язки значень сум опадів на попарно взятих станціях залежно від відстані між ними (рис. 2, а) та дендрограма кластерного аналізу (рис. 2 б)

Кількість станцій, що потрапляють у ту, чи іншу градацію значень коефіцієнту кореляції також може виступати індикатором успішності та достовірності процесу майбутнього гомогенізації. У [25,27] звертають увагу на небажаність попадання значної кількості пар станцій у зону дуже низьких значень, де $r \leq 0,2$.

На етапі fast QC відбувається контроль якості початкових даних орієнтований на виявлення несистематичних (некліматичних) помилок при вимірюванні та/чи архівації даних. В основі виявлення аномалій (викидів) лежить порівняння значень отриманих на

опорній станції та станціях (постах) оточення. Розробник пропонує декілька способів вибору станцій, що включаються до списку оточення. У представленому дослідженні, оточення вибиралося через визначення тісноти кореляційного зв'язку між рядами даних опорної станції та станції оточення. Величина коефіцієнту кореляції визначається дослідником і становить 0,9-0,8. Нижчі значення коефіцієнту кореляції можуть привести до збільшення списку оточення, куди потраплятимуть станції розташовані у регіонах з різними умовами формування опадоутворюючих процесів. Наприклад, опорна станція Житомир, а до її оточення внесена станція Турка (коефіцієнт кореляції 0,7).

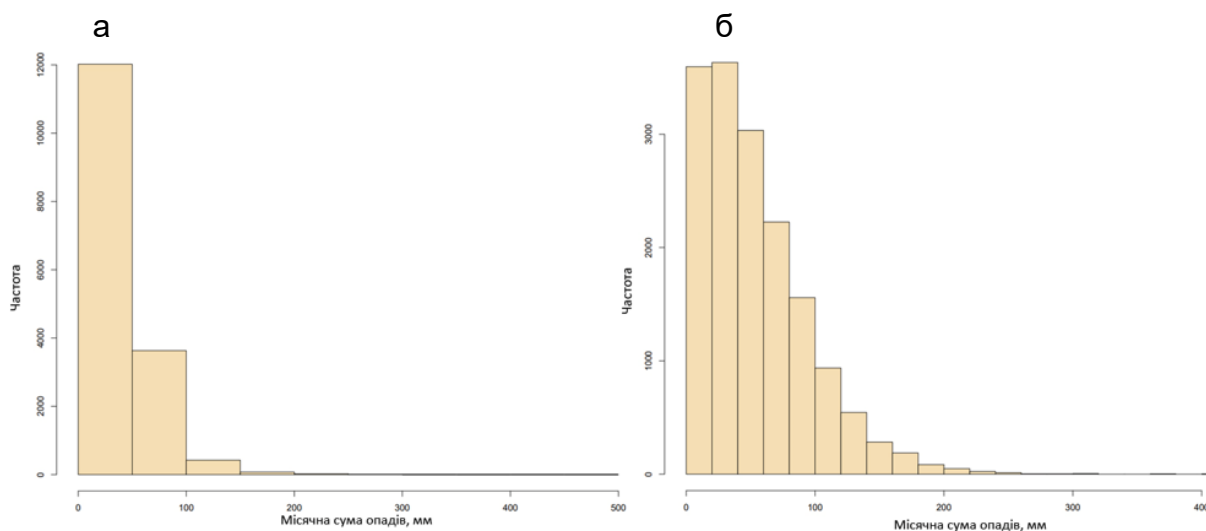


Рис. 1. Закономірності розподілу місячних сум опадів січня (а) та серпня (б) за період 1946-2020 рр.

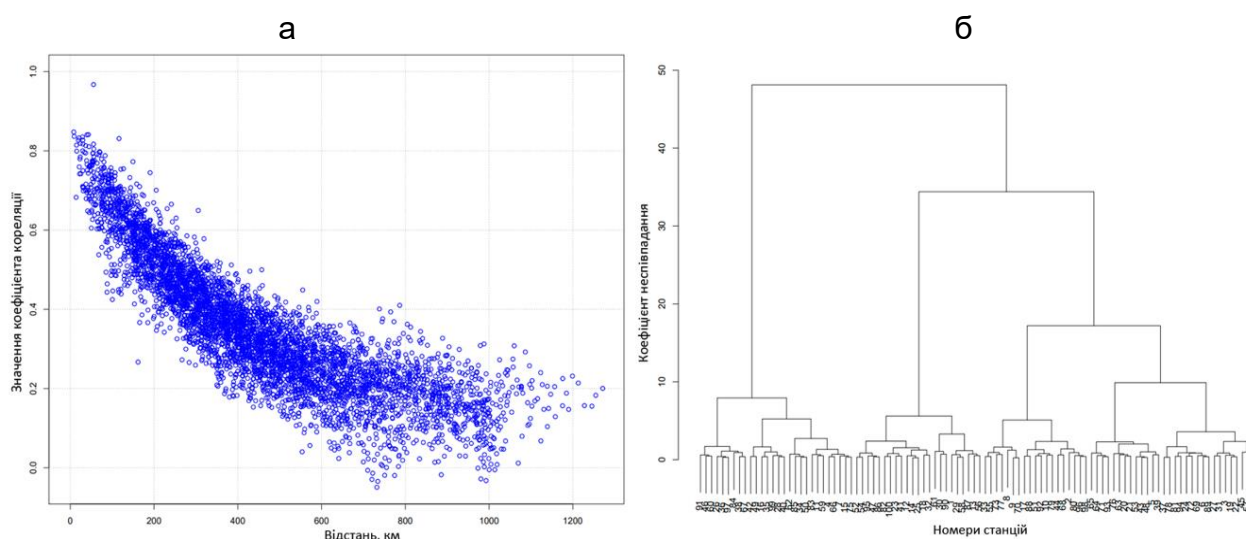


Рис. 2. Кореляційний зв'язок між попарно вибраними станціями залежно від відстані між ними (а) та дендрограма кластерного аналізу (класифікація станцій за статистичними оцінками місячних сум опадів) (б).

Основні результати порівняння і оцінювання відхилень (викидів) значень місячних сум опадів розміщуються у серії графічних файлів, що сформовані для усіх досліджуваних пунктів спостережень. Фрагмент одного із них представлений на рис. 3. Оцінювання величини викиду проводиться через розрахунок усередненого значення відношень ряду опорної станції (суцільна лінія на рис. 3) та її оточення, відмічено також величини, що отримані у цей же час на станціях оточення (чорні плюси).

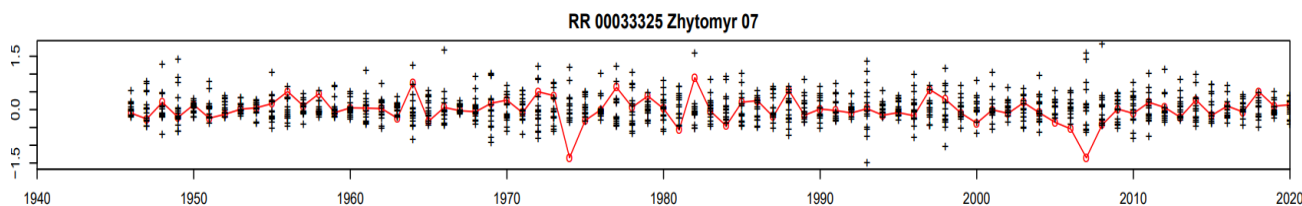


Рис. 3. Фрагмент графічного файлу HOMER для виявлення аномальних значень (викидів) місячних сум опадів для станції Житомир. RR – позначення для масиву даних атмосферних опадів (дані вимірювань), 00033325 – Міжнародний метеорологічний код станції

В наведеному фрагменті розрахунку (рис. 3) виділяється, відхилення величини суми опадів у липні 1974 році, коли при відносно малому розкиді значень на станціях оточення на основній отримано відхилення $\delta \leq -1,5$. Цей випадок можна віднести до технічних помилок. Тоді, як відхилення, що фіксується у 2007 році має менше абсолютне значення, а розкид значень сум опадів на станціях оточення більший, що дає підставу цей викид віднести до природної варіативності кількості опадів, як випадають у теплий період року. Викладене вище показує, що для отримання достовірного оцінювання, кожен випадок виявленої аномалії бажано розглядати та оцінювати окремо.

Причиною появи викидів (аномальних значень) можуть бути випадкові та грубі помилки при проведенні вимірювання атмосферних опадів, неякісне оцифрування результатів спостережень, відсутність з якихось причин даних спостережень. З меншою ймовірністю та нижчими значеннями похибок, як причина викидів може розглядатися заміна приладів для вимірювання, зміна ландшафтних умов на станції, зміна кількості строків спостережень, що впливатиме на величину добових та місячних сум опадів. Проведений у дослідженні контроль викидів показав, що можуть фіксуватися аномальні значення сум опадів на окремих станціях і з природних причин.

Аналіз та корекція викидів відбувалась з урахуванням конкретних показників та причин їх появи. У табл. 1 показано прийоми контролю та усунення аномалій виявлених програмою HOMER для окремих станцій. Так на станції Житомир (табл. 1, а) аномалія оцінювалась $\delta \leq -1,5$ і програма при першому розрахунку виправила величину на 22,2 мм. Значно більші значення сум опадів на станціях оточення спонукали звірити результат з початковими даними, таблицею ТМ-1 (120,9 мм). Виявлена груба помилка що сталася при оцифруванні даних спостережень, виправлена вручну при наступній ітерації. Викид на станції Умань (табл. 1, б) оцінювався $\delta \geq 15,0$ і був максимальним для усього масиву даних. В цьому випадку значення місячної суми було відсутнім (позначалося прийнятим кодом - 999,9) і після програмного аналізу була проведена корекція (60,3 мм), значення відповідає величинам сум опадів отриманих на станціях оточення і залишено без змін. В табл. 1, в наведено викид, виявлений на станції Одеса ($\delta \geq 1,5$) у липні 1988 р. Після перевірки початкових даних та повторному перерахунку, значення залишилося незмінним, деяка корекція сум опадів відбулася на станціях оточення. При літньому типі опадоутворення (переважанні конвекції у фронтальних та внутрішньо масових процесах) великі міста можуть розглядатися як орографічна перешкода по відношенню до вологонесучого потоку, за рахунок чого суми опадів за літні місяці у великих містах, або їх частинах можуть бути вищими, ніж на оточуючих територіях. Тобто більш високе значення суми опадів за липень в Одесі має фізичні причини.

Аналіз викидів та їх корекція показали, що при неможливості чіткого визначення правильного показника місячних сум опадів оптимальним при роботі з HOMER є позначення величини як відсутньої (-999,9) та отримання корекції за допомогою програми.

Результати оцінювання викидів в межах всього досліджуваного масиву показані на рис. 4, де наведено розподіл значень відхилення для усього масиву даних. Тут на осі x - часовий проміжок періоду дослідження, на осі y – значення відхилення від величини відношення δ .

Таблиця 1 (а, б, в). Значення місячних сум опадів на опорній станції та її оточенні

а) Станція Житомир (+ оточення), липень 1974 року, $\delta \leq -1,5$					
Назва пункту спостережень	Геогр. Широта ($^{\circ}$ ' '')	Геогр. Довгота ($^{\circ}$ ' '')	Висота (абсол.) (м)	Місячна сума опадів (мм)	Місячна сума після гомоген. (мм)
Житомир	50 ⁰ 16'38"	28 ⁰ 43'58"	214	21,0	121,0 (22,2, прогн.розрах.)
Коростень	50 ⁰ 57'18"	28 ⁰ 36'51"	185	137,0	137,0
Тетерів	50 ⁰ 41'34"	29 ⁰ 34'59"	132	157,0	154,0
Овруч	51 ⁰ 19'44"	28 ⁰ 47'01"	168	113,0	113,0
Новгород Волинський	56 ⁰ 36'00"	27 ⁰ 37'00"	216	112,0	112,0
Білопілля	49 ⁰ 50'25"	28 ⁰ 53'07"	257	128,0	128,0
Круподерівка	49 ⁰ 30'19"	29 ⁰ 20'22"	203	127,0	100,5
Олевськ	51 ⁰ 13'00"	27 ⁰ 38'00"	182	167,0	167,0
Шепетівка	50 ⁰ 09'43"	27 ⁰ 02'25"	277	162,0	162,0
Хмільник	49 ⁰ 34'00"	27 ⁰ 56'00"	284	154,0	163,2
Фастів	50 ⁰ 04'09"	29 ⁰ 55'36"	208	122,0	122,0
Здорівка	50 ⁰ 11'31"	30 ⁰ 14'57"	149	136,0	136,0
Біла Церква	49 ⁰ 49'13"	30 ⁰ 06'23"	179	105,0	105,0
Київ	50 ⁰ 23'32"	30 ⁰ 32'11"	166	210,0	210,0
Чорнобиль	51 ⁰ 15'59"	30 ⁰ 13'32"	123	182,0	182,0

б) Станція Умань (+ оточення), березень 1952 року, $\delta \geq 15,0$					
Назва пункту спостережень	Геогр. Широта ($^{\circ}$ ' '')	Геогр. Довгота ($^{\circ}$ ' '')	Висота (абс.) (м)	Місячна сума опадів (мм)	Місячна сума після гомоген. (мм)
Умань	48 ⁰ 46'10"	30 ⁰ 13'59"	214	-999,9	60,3
Звенигородка	49 ⁰ 05'00"	30 ⁰ 54'00"	214	62,5	60,8
Жашків	49 ⁰ 14'00"	30 ⁰ 06'00"	235	51,2	54,2
Ямпіль	48 ⁰ 46'05"	30 ⁰ 58'41"	116	51,0	49,4
Осички	48 ⁰ 07'52"	30 ⁰ 01'44"	98	50,0	50,0
Покотилове	48 ⁰ 28'21"	30 ⁰ 41'34"	118	60,0	58,2
Любашівка	47 ⁰ 51'03"	30 ⁰ 16'07"	181	62,4	62,4
Затишся	47 ⁰ 20'00"	29 ⁰ 53'00"	193	32,5	32,5
Первомайськ	48 ⁰ 03'09"	30 ⁰ 51'29"	105	100,9	100,9
Новомиргород	49 ⁰ 49'34"	31 ⁰ 38'56"	179	40,5	37,4
Лисянка	49 ⁰ 15'25"	30 ⁰ 49'24"	145	46,0	49,4
Сміла	49 ⁰ 11'04"	31 ⁰ 51'55"	126	59,0	33,5
Чигирин	49 ⁰ 03'34"	32 ⁰ 40'55"	123	51,0	51,0
Гайсин	48 ⁰ 48'00"	29 ⁰ 23'00"	210	41,3	41,3

в) Станція Одеса (+оточення) липень 1988 р. $\delta \geq 1,5$					
Назва пункту спостережень	Геогр. Широта ($^{\circ}$ ' '')	Геогр. Довгота ($^{\circ}$ ' '')	Висота (абс.) (м)	Місячна сума опадів (мм)	Місячна сума після гомоген. (мм)
Одеса	46 ⁰ 26'27"	30 ⁰ 46'13"	42	142,0	142,0
Куяльницький Лиман	46 ⁰ 39'52"	30 ⁰ 42'47"	1	104,0	90,4
Миколаїв	47 ⁰ 03'16"	31 ⁰ 54'34"	49	104,0	118,0
Роздільна	46 ⁰ 51'00"	30 ⁰ 04'15"	146	89,0	89,0
Сербка	47 ⁰ 04'47"	30 ⁰ 45'07"	72	91,0	91,0
Сарата	46 ⁰ 01'27"	29 ⁰ 40'13"	12	43,0	49,5
Херсон	46 ⁰ 44'18"	32 ⁰ 42'30"	47	87,0	87,0
Березівка	47 ⁰ 12'02"	30 ⁰ 55'02"	19	177,0	142,3
Олександрів-Степанівка	48 ⁰ 36'30"	33 ⁰ 09'07"	99	85,0	85,0
Бехтери	46 ⁰ 14'35"	32 ⁰ 16'59"	6	69,0	75,2
Очаків	46 ⁰ 37'26"	31 ⁰ 32'20"	35	103,5	103,5

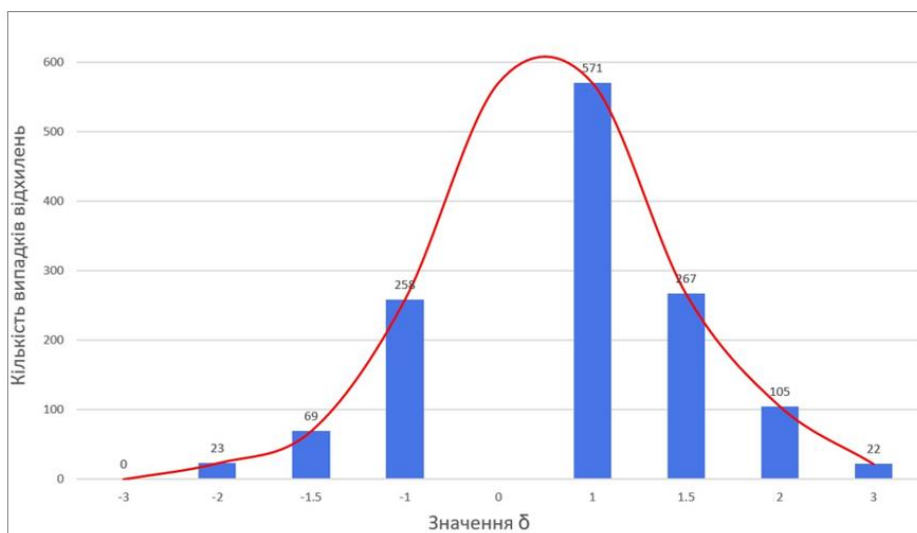


Рис. 4. Розподіл випадків відхилень місячних сум опадів за період 1946-2020 рр.

Для усього досліджуваного періоду виокремлювалися випадки коли значення δ для опорної станції знаходилося в межах $-1/1$; $-1,5/1,5$; $-2,0/2,0$; та $\leq -2,0$ і $\geq 2,0$. Виявлено всього 1316 відхилень, що становить 0,66% від кількості точок усього масиву даних. 62,3% від усього масиву викидів знаходяться у проміжку значень $-1/1$, що при встановленій мінливості місячних сум опадів у регіоні [4,6,11] можна розглядати як варіативність величини, що має природний характер і залежна від типу опадоутворювальних процесів. Це підтверджується і річним ходом кількості викидів (рис. 5). Так максимальні значення сукупних викидів (відхилень) відмічаються у серпні місяці, висока ймовірність викидів і у інші літні місяці. Саме у цей час найвищою є повторюваність випадання зливових опадів зі значною просторовою строкатістю їх інтенсивностей та сум [11]. Зауважимо, що при такому типі процесів існує висока ймовірність похибок при визначення сум опадів за рахунок зниження точності їх вимірювання, які не враховуються через поправки (шквалисті пориви вітру при випадінні опадів з C_b , розбризкування, різниці у швидкості випарування та ін.). 26,1% відхилень знаходяться у діапазоні значень $-1,5 / 1,5$; 9,9% – в межах $-2,0 / 2,0$ і тільки 1,6% випадків відхилень знаходяться у діапазоні $-3,0 / 3,0$.

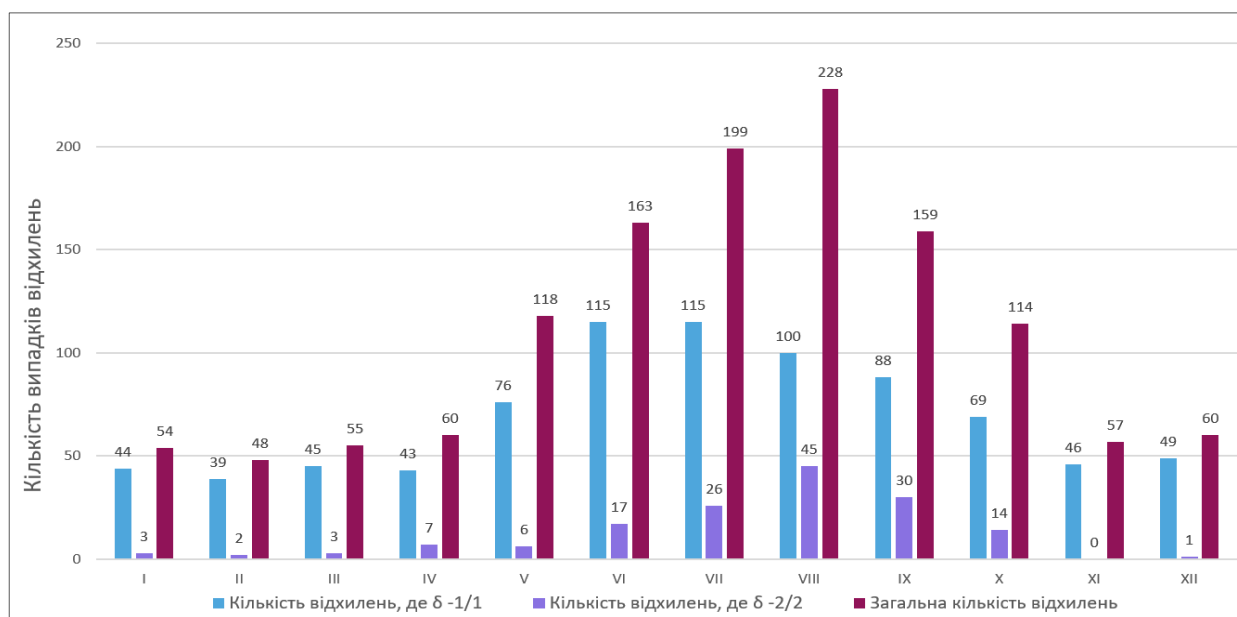


Рис. 5. Річний розподіл відхилень (викидів) місячних сум опадів за період 1946-2020 рр.

Після проведення оцінки якості величин місячних сум опадів у кожній точці спостережень за весь період дослідження та усуненні виявлених помилок, Homer переходить до аналізу часових рядів кожної станції та перевірки їх на однорідність. В основу підходу перевірки на однорідність покладено гіпотезу про те, що відношення значень часових рядів опадів на сусідніх станціях за тривалий період часу носить узгоджений характер у випадку однорідності обох рядів. Якщо починаючи з якогось моменту відбуваються зміни характеру взаємозв'язку, то це вказуватиме на порушення однорідності у одному з рядів. Після встановлення факту порушення однорідності ряду застосовуються статистичні методи для його вирівнювання [8,16,19,20]. Методи вирівнювання часових рядів опадів, що раніше застосовувалися у кліматології зводилися до підбору емпіричних коефіцієнтів через значення відношень показників двох рядів для різних часових проміжків та введення коефіцієнтів для вирівнювання проблемних ділянок.

У представленій роботі, як основна, розглядається версія про вплив на однорідність ряду некліматичних чинників таких як переміщення метеорологічної станції чи поста в інше місце, або зміна ландшафтних умов. За наявною інформацією [7] відмічалися переміщення станцій від десятків та сотень метрів до декількох (14-18 км) кілометрів і, найчастіше за досліджуваний період, це відбувалося в кінці 50-х та 60-х роках минулого сторіччя. Аналіз отриманого матеріалу показав, що неоднорідність у часових рядах сум опадів могли утворюватися і за інших причин, наприклад, у випадку порушення стандартного річного розподілу опадів, що притаманний для регіону. Тобто, питання про причини порушення однорідності рядів атмосферних опадів складне, неоднозначне і ще потребує додаткового дослідження.

В HOMER процедура перевірки рядів на однорідність виконується у два етапи: т. з. попарне порівняння (pairwise-detection), коли розглядаються відношення часових рядів основної станції (candidate station) та її оточення (referens station). На етапі попарного порівняння, програмним аналізом проводиться тільки ідентифікація можливих точок розриву, а прикінцеве рішення про їх існування приймається на етапі т.з. об'єднаного порівняння (joint detection). Тут дослідник, на основі власної оцінки попереднього аналізу часових рядів та порівнянні результатів з наявною метеорологічною інформацією в інтерактивному режимі визначається (приймається рішення) про наявність чи відсутність точок розриву, відмічаючи їх спеціальними значками, або анулює уже існуючі, якщо вважає порушення несуттєвими. Завершенням цього процесу є формування програмою файлу з точками розриву однорідності часових рядів сум опадів. Файл виводиться у кореневий каталог і представляє собою список станцій з вказаними роками, коли фіксувалося зміна величини середнього значення відношень двох рядів, що порівнюються.

На етапі попарного порівняння програма формує серію файлів detect_rarr в яких розміщені результати аналізу рядів на однорідність. На рис.6 наведено фрагмент візуалізації цих результатів для станції Донецьк, де суцільна синя лінія показує відхилення відношень для опорної станції, а знак «+» – значення відхилення для станцій оточення. Моменти різкої зміни величини відношень для опорної станції показані чорними вертикальними лініями. Такі вертикальні лінії і відмічають потенційні точки розриву. Пропонується у випадку, коли вертикальні лінії відмічаються в один і той же час при порівнянні рядів основної станції з 2-3 станціями оточення, приймати цей момент за точку порушення однорідності ряду (точку розриву) для основної станції. Послідовність розміщення розрахунків попарних порівнянь станцій у файлах залежить від величини середнього квадратичного відхилення, найбільш достовірні результат будуть на початку списку. Для уточнення визначення точок розриву візуалізуються результати попарного порівняння ще і у вигляді заключних графіків для опорної станції та усього вибраного оточення (рис. 8). Трикутником на графіку відмічено потенційні точки розриву (окремо для кожної пари станцій), розмір значка залежатиме від амплітуди зміщення (величини зсуву), а колір – від сезону року для якого проводилося порівняння (зима – синій, осінь – жовтий, весна – зелений, літо – червоний).

У досліджуваному масиві даних виявлено 265 точок розриву часових рядів сум опадів. Для опадомірних постів – 75, тобто в середньому 1,6 точки на кожен пост і 190 точок на метеорологічних станціях – 1,1 точки на кожену станцію. На окремих постах

виявляли по 5 точок розриву (Чонгарський міст, Круподеринці), на метеорологічних станціях максимальна кількість точок розриву (4) фіксувалася на гірських станціях Пожижевська та Ай-Петрі. Це були максимальні значення. В зв'язку з тим, що наявна достовірна інформація про перенесення та заміну приладів тільки для метеорологічних станцій [7,18], встановлено, що 25,7% з виявлених в їх часових рядах точок розриву, пов'язані з некліматичними факторами.

Розглянемо виявлення неоднорідності часового ряду та його корекції на прикладі станції Донецьк (34519). У заключному списку точок розриву для цієї станції їх значиться дві: у 1948 та 1965 роках. Зауважимо, що Homer виділяє точки розриву у рядах річних значень сум опадів, які відзначаються меншою варіативністю значень, ніж місячні суми опадів. Підтвердженням цьому, отримані у розрахунках дані: для рядів річних сум опадів відхилення значень відношень рядів знаходилися у діапазоні від -0,4 до 0,2, тоді як для місячних сум опадів подібний параметр мав майже на порядок вищі значення. Програмою передбачена можливість при повторній процедурі гомогенізації того ж набору даних встановити місяць відповідного року в якому відбулося порушення однорідності ряду.

З попередньої ідентифікації неоднорідностей часового ряду (рис. 6) видно, що чітко підтвердженою є точка розриву у 1965 році. В метеорологічній інформації вказується (рис. 7), виділено червоним прямокутником), що 25.04.1966 року станція Донецьк була перенесена на 1500 м на північний захід від попереднього місцезнаходження. А розробник програмного продукту [25,26] заявляє, що точка розриву формується переважно у попередній до події рік. На фрагменті візуалізованих розрахунків (рис. 6) показано вертикальні лінії, що відмічають порушення однорідності ряду сум опадів на станції при порівнянні з рядами на 4 найближчих станціях. Точка розриву зафіксована і у 1948 році при порівнянні з рядами даних в Даріївці і Дебальцево.

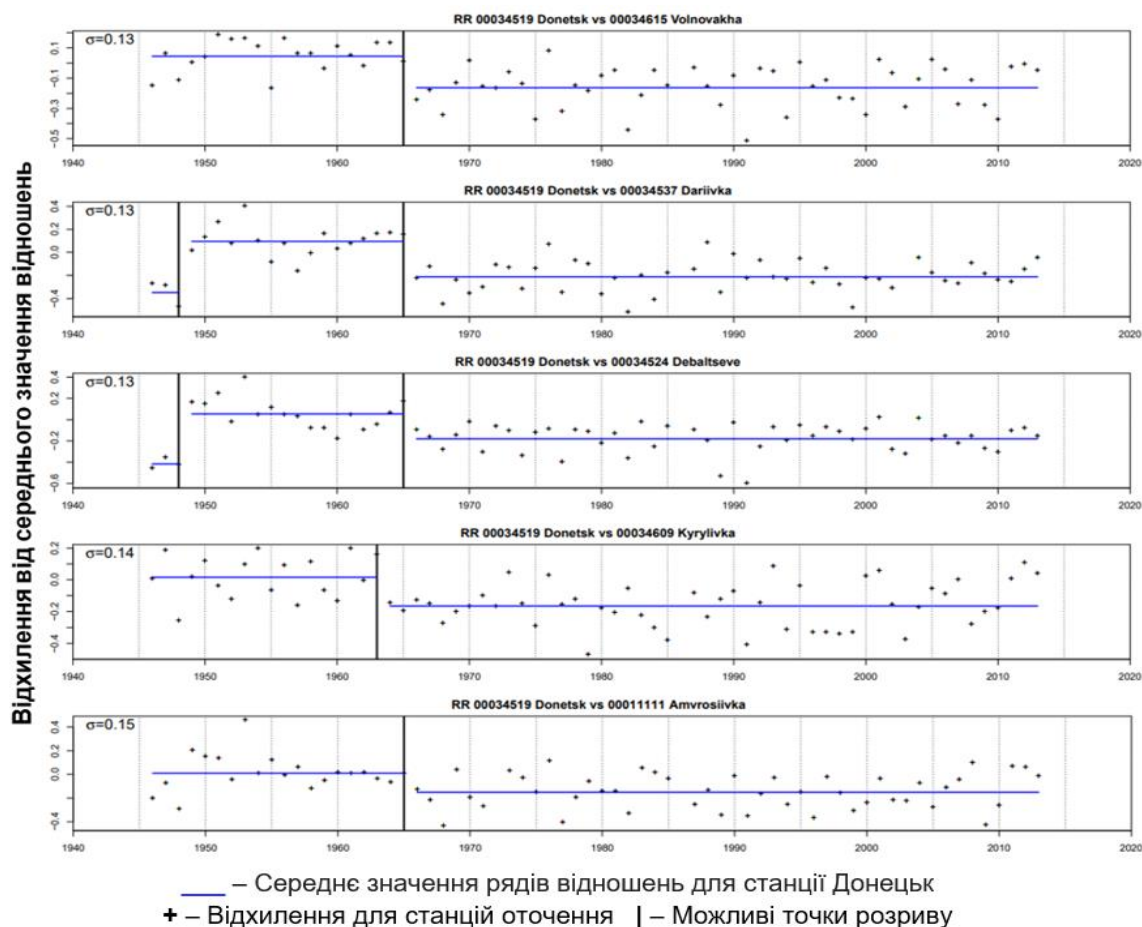


Рис. 6. Ідентифікація точок розриву програмою HOMER в рядах річних сум опадів для станції Донецьк

2203	Krasnoarmiysk	Donetska	34514	1925	-	16.09.1955	Relocation (17 km, Krasnoarmiysk -> Udachne)
						18.07.1961	Relocation (Udachne -> Krasnoarmiysk)
						07.1971	Relocation
2204	Donetsk_AMSG	Donetska	34519	1926	2014	09.04.1950	Relocation (270 m to the north)
						17.06.1963	Relocation (600 m to the south-west)
						25.04.1966	Relocation (1500 m to the north-west)
						11.1975	Relocation (1000 m to the west)
2205	Amvrosiivka	Donetska	11111	1930	-	09.1969	Relocation (1700 m to the south-south-east)
2206	Volnovakha	Donetska	34615	1925	-	05.1964	Relocation (60 m to the north)
2207	Mariupol (Mariupol_port)	Donetska	11144	1894	-	01.1951	Relocation (Zhdanov_AMSG -> Zhdanov_port)
						06.1963	Relocation (4000 m to the west)

Рис. 7. Фрагмент довідкової таблиці про перенесення метеорологічних станцій за досліджуваний період

На можливість порушення однорідності ряду у цей час вказують і виявлені точки розриву позначені на заключних графіках у річному вимірі (рис. 8, а) та у зимові місяці (рис. 8, б). Так для 1965 року є підтвердження 5-ти точок і для річних, і для сезонних (зимових) даних. Для точки розриву у 1948 році при попарному порівнянні рядів станції Донецьк з оточенням порушення однорідності виявлено в 5-ти випадках (рис. 8, а).

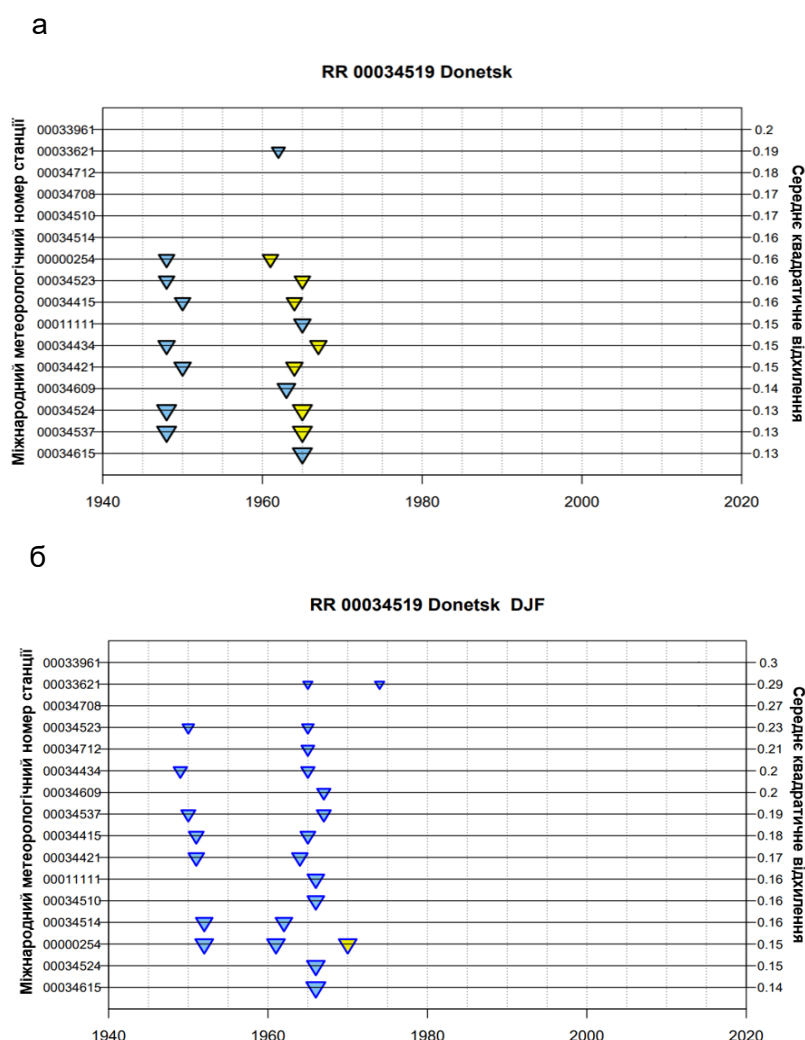


Рис. 8. а) Заключний графік попередньо відмічених точок розриву при порівнянні часових рядів сум опадів станції Донецьк та оточення, де ∇ – виявлена точка розриву в ряду основної станції; б) Попередньо відмічені точки розриву в рядах сум опадів станції Донецьк для зимових місяців (DJF)

Величину зміщення (зсуву) суцільної лінії (рис. 6) відносно середнього значення встановленого за усіма довідковими даними, можна розглядати як амплітуду зміщення. Величини амплітуд отриманих у розрахунках для усіх досліджуваних станцій та постів, в основному знаходилися, у діапазоні значень $\pm 0,1 \div \pm 0,5$. Знак амплітуди вказуватиме на напрям змін сум опадів у період після утворення точки розриву. Зазначимо, що величини амплітуд та їх знаки, що отримані у дослідженні не відзначалися сталістю у просторі і часі, тому визначити відносно стійкий тренд для опадів на території України за цими даними неможливо.

У випадку який розглядаємо для станції Донецьк, амплітуда зміщення середніх значень відношень у точці розриву 1965 року становить -0,3, тобто відбулося зменшення річних сум опадів, починаючи з 1965 року, у порівнянні з попереднім періодом. Неоднорідності, виявлені в рядах даних, в подальшому програма корегує використовуючи методи дисперсійного аналізу. Фактично була проведена корекція ряду через зменшення місячних і, відповідно, річних сум опадів за період 1949-1965 рр., який знаходиться між двома точками розриву. Величина зміни (зменшення) значень ряду на цьому відрізку становила в середньому 20,3% від початкового значення місячної суми опадів. Поправка незначно збільшується з ростом початкового значення місячної суми опадів. Величина поправки розраховується для кожної точки розриву окремо і залежить від ряду факторів, в тому числі від амплітуди зміщення лінії відносно осередненого значення відхилень для станції. Наявність точки розриву у 1948 році з амплітудою зміщення +0,4 після корекції призвела до зростання значень місячних сум опадів у 1947 та 1948 роках на 5,5% від початкових значень.

Корекція часових рядів місячних сум опадів (і відповідно річних сум) на окремих їх ділянках як показано на рис. 9 для станції Донецьк, призводить до змін величин коефіцієнтів лінійного та поліноміального трендів розподілу сум опадів у часі та відповідно змінює форми кривих, що відображають цей розподіл.

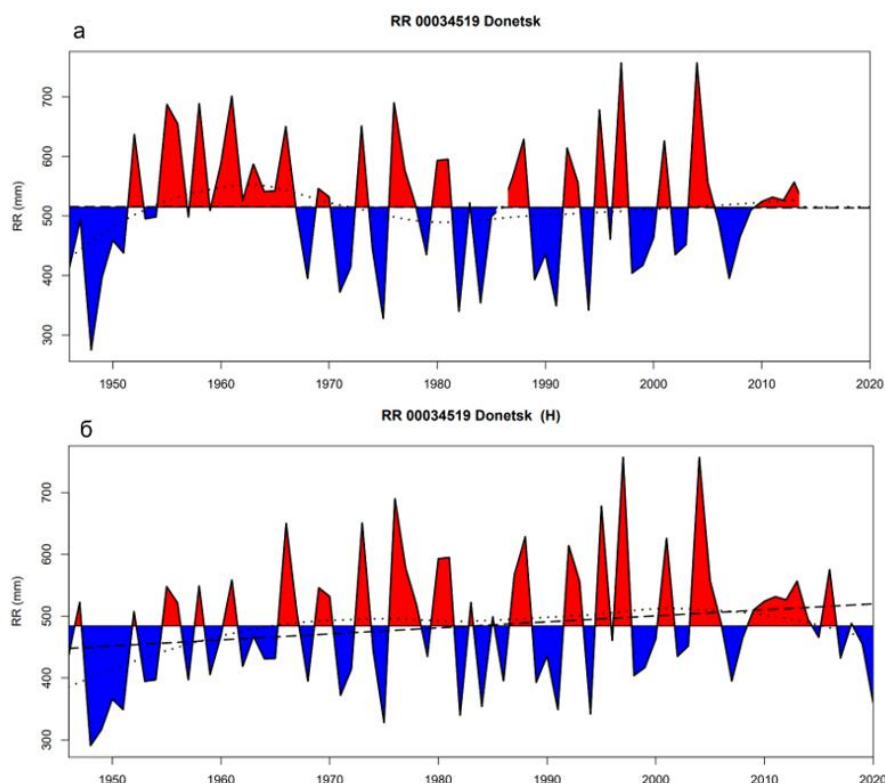


Рис. 9. Часовий розподіл річних сум опадів за досліджуваний період (1946- 2020) до перевірки якості вимірювань та гомогенізації (а) та гомогенізованих даних (б)

Пошук причин появи точок розриву у часових рядах досліджуваного масиву даних привів до виокремлення випадків, коли неоднорідність ряду фіксувалося при суттєвому

порушенні закономірності річного розподілу опадів, що притаманний для регіону. Середньостатистичний річний хід опадів у помірній кліматичній зоні, в якій знаходиться територія України, можна умовно описати нормальним розподілом з максимумом значень у червні-липні і мінімумом у лютому-березні, а також з тим чи іншим ступенем асиметрії кривої [6,12]. Порушення про які йдеться, проявляються, або у зміщенні річного максимуму на інші періоди, або в утворенні вторинного максимуму переважно у холодний період року, або поєднанні обох факторів. Також відмічаються значні абсолютні значення місячних сум опадів для основного та вторинного максимумів. Такі порушення фіксуються у рік попередній до появи точки розриву, або в рік коли вона відмічається. Тобто річний розподіл в цей розподіл у цей час буде більш асиметричним, або матиме вигляд «подвійної хвилі».

Для пояснення розглянемо формування точки розриву на станції Сміла у 2018 році (рис.10). Так починаючи з 2017 року – максимум у річному розподілі зміщується на грудень і становить 126 мм, а у 2018 році максимум стандартно у липні (141 мм), але у вересні формується вторинний максимум (108 мм). Виникненню точки розриву на станції Берегове у 2010 році передувало утворення вторинного максимуму у річному ході 2009 р. у жовтні (111 мм) при основному максимумі у червні (137,0 мм). У наступному році основний максимум зміщується на травень (146 мм), а у грудні виникає вторинний максимум (124 мм) (рис.11).

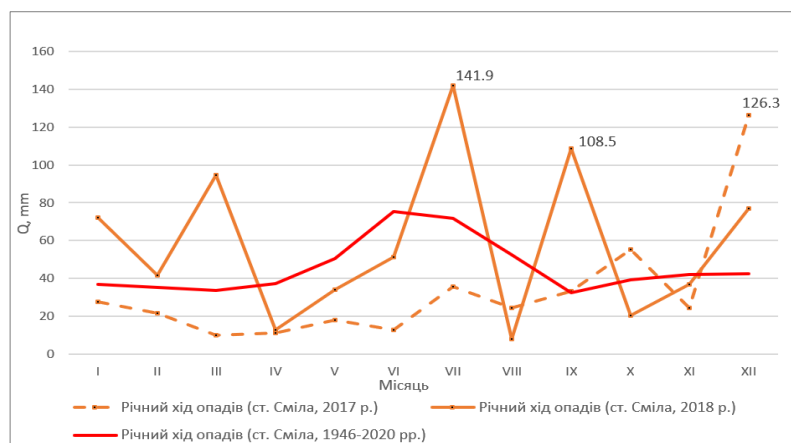


Рис 10. Річний хід опадів, осереднений (1946-2020 рр.) та за окремі роки (ст. Сміла, 2017, 2018 рр).

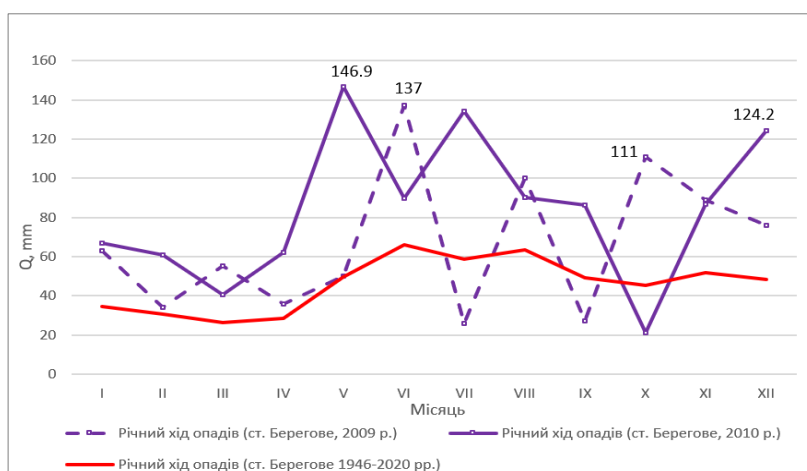


Рис 11. Річний хід опадів, осереднений (1946-2020 рр.) та за окремі роки (ст. Берегове, 2009,2010 рр).

Наведені вище особливості річного розподілу опадів та поява точок розриву (неоднорідності у часовому ряді) викликані природними причинами. Якщо врахувати, що

значення основного і вторинного максимумів можуть 1,5-2,0 рази перевищувати норму місячної суми опадів, то такі порушення однорідності рядів можуть бути пов'язані з особливостями прояву макромасштабних циркуляційних процесів у досліджуваному регіоні та їх впливу на опадоутворення. Описану вище неоднорідність можна сприймати як нестационарність часового ряду кліматичного показника (місячних сум опадів) і розглядати у статистичному аналізі при отриманні статистично однорідних рядів. Виникає проблема з приводу необхідності урахування (неврахування) такої точки розриву у випадку отримання кліматично однорідного ряду.

Можливі і інші чинників порушення однорідності часових рядів місячних сум опадів, але це питання потребує подальших досліджень.

Після оцінювання якості даних та перевірки на однорідність рядів сум опадів, Номер показує результати гомогенізації, розраховуючи рівняння лінійних трендів для початкових («сирих») та гомогенізованих рядів місячних сум опадів. Отримані розрахунки були використані для побудови картосхем розподілу величин коефіцієнтів лінійної регресії для усіх точок спостережень (рис. 12-13) на території України. Розподіл тенденцій змін місячних сум опадів для початкових даних відзначається суттєвою неоднорідністю: стійке зростання сум опадів за досліджуваний період отримано для західних та північно-західних регіонів при максимальних значеннях коефіцієнтів лінійних трендів -2-3. На іншій території утворюються окремі області зменшення (наприклад, ст. Вінниця), чи зростання – ст. Чернігів, ст. Комісарівка з дещо нижчими значеннями коефіцієнтів. Показаний (рис.12,13) розподіл змін поля опадів цілому співпадає з результатами отриманими в [13] для території України за більш короткий (частина досліджуваного) період спостережень. Очікувано, тенденції змін сум опадів за гомогенізованими даними, повторюють раніше отримані закономірності просторового розподілу, але з максимальними значеннями коефіцієнтів 1-2. Висловимо припущення, що суттєвий внесок у зменшення швидкості змін сум опадів вносить виправлення випадкових та грубих помилок у визначенні сум опадів, що проводяться на етапі контролю якості даних. Для визначення достовірних кліматичних показників та індексів, а також встановлення тенденцій змін клімату за тривалі періоди необхідно, як того вимагають керівні документи ВМО [37], використовувати гомогенізовані дані.

Слід звернути увагу на те, що отримані гомогенізовані ряди можна використовувати для розрахунку статистичних характеристик чи трендів тільки в межах періоду часу, для якого проведена гомогенізація. При потребі приєднання даних за інший часовий проміжок необхідно проводити повторну гомогенізацію для періоду більшої тривалості.

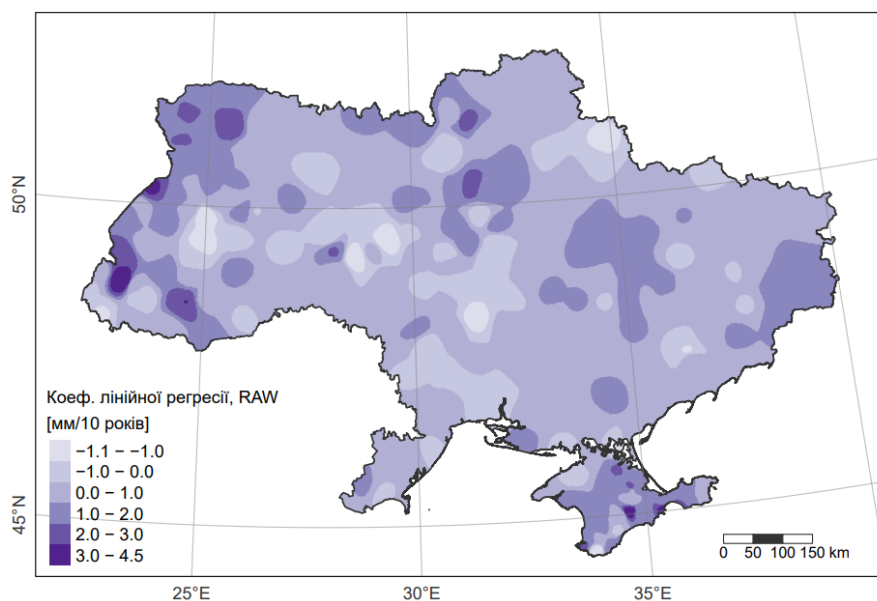


Рис. 12. Просторовий розподіл коефіцієнтів рівнянь лінійної регресії отриманих для початкових даних (негомогенізованих)

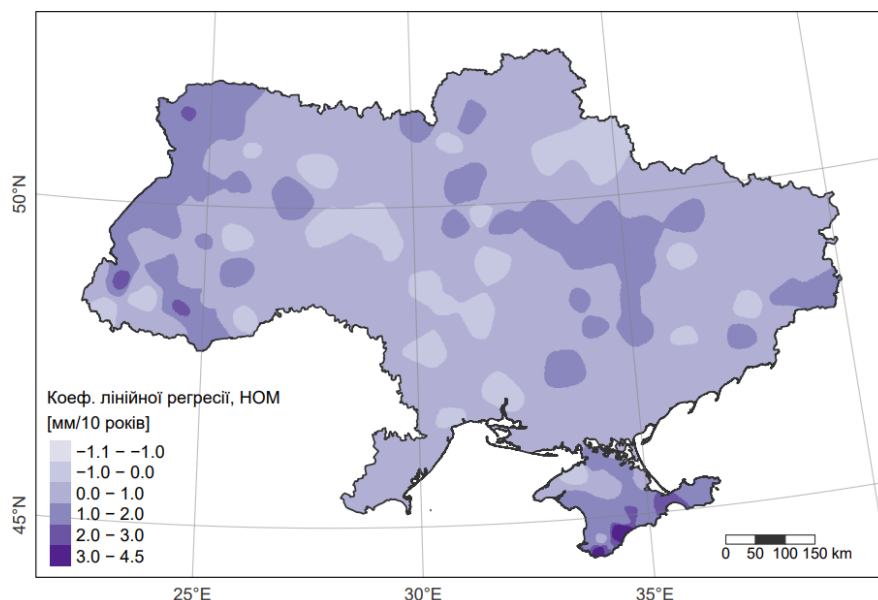


Рис. 13. Просторовий розподіл коефіцієнтів рівнянь лінійної регресії отриманих для часових рядів опадів після гомогенізації

Висновки. Для гомогенізації часових рядів місячних сум опадів на території України за період 1946-2020 рр. використовувався програмний продукт створений в рамках європейського проекту COST HOME – HOMER (HOMogenization softwarE in R). HOMER являє собою сукупність гомогенізаційних алгоритмів, з відкритим кодом доступу і може застосовуватися для контролю якості кліматичних показників та їх часових рядів у різних регіонах.

Згідно до вимог ВМО отримано ряди гомогенізованих місячних сум опадів, що можуть використовуватися для оцінки змін регіонального клімату.

Застосування сучасних методичних підходів для перевірки якості даних спостережень метеорологічної мережі України за атмосферними показало їх задовільну точність. Виявлено 1316 аномальних значень (викидів), що становить 0,66% загального масиву даних які оцінювалися. 37,6% (495 випадків) віднесені до грубих помилок, які мали різні причини. Усі аномальні значення, для яких $\delta \geq \pm 1,5$, виправлені, а інші розглядалися як природна варіативність метеорологічної величини.

Одночасне використання результатів спостережень отриманих на 177 метеорологічних станціях та 47 опадомірних постах надало можливість оцінити якість обох блоків даних та покращити результати спостережень на опадомірних постах за рахунок порівняння та подальшої їх корекції з урахуванням даних близько розташованих метеорологічних станцій.

З використанням програмного продукту Homer проведена перевірка часових рядів місячних сум опадів на однорідність. За досліджуваний період зафіксовано 265 точок розриву: 1,7 точки на кожен опадомірний пост та 1,1 точки на кожен метеорологічну станцію. Виявлені точки розриву вказують на проміжки часових рядів, дані яких не узгоджуються з даними оточуючих станцій. З використанням програмних інструментів проведена корекції (гомогенізація) часових рядів опадів.

Отримані гомогенізовані дані можуть і повинні використовуватися як кліматично однорідні ряди для проведення статистичних оцінок тенденцій та змін регіонального клімату.

Результати гомогенізації, що отримані з використанням сучасних інформаційних технологій, в певній мірі задовольняють потребу сучасних кліматологічних досліджень у якісній початковій метеорологічній інформації, що використовується для отримання стандартних та спеціальних регіональних кліматичних показників, а також для оцінок змін клімату.

Список літератури

1. Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В. Климатология. Л. Гидрометиздат. 1989. 589 с.
2. Евстигнеев В.П., Евстигнеев М.П., Кульбида Н.И., Наумова В.А., Швень Н.И. Использование современных информационных технологий при создании базы метеорологических данных Украины // Наукові праці УкрНДГМІ, 2013. Вип. 264. С. 81-90.
3. Замфірова М.С., Хохлов В.М. Режим температури повітря та опадів в Україні в 2021—2050 роках за даними ансамблю моделей CORDEX. Укр. гідрометеоролог. журн., 2020. № 25. С. 17—27. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25>.
4. Климат Украины/ под редакцией Г.Ф. Прихотько, А.В.Ткаченко/. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 413 с.
5. Климатический справочник СССР. Выпуск 10. По Украинской ССР. К.,1968. 456 с.
6. Клімат України/ За редакцією В.М. Ліпінського, В.М. Дячука, В.М. Бабіченко / К.- Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.
7. Кліматичний довідник. Історія та фізико-географічний опис метеорологічних станцій України. К., 2011. 462 с.
8. Кобышева Н.В., Навровлянський Г.Я. Климатологическая обработка метеорологической информации. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 295 с.
9. Краковська С.В., Паламарчук Л.В., Гнатюк Н.В., Шпиталь Т.М., Шедеменко І.П. Зміна поля опадів в Україні у ХХІ ст. за даними ансамблю регіональних кліматичних моделей // Геоінформатика, № 4 (64), 2017 С. 62-74.
10. Настанова гідрометеорологічним станціям і постам: КД 52.4.8.33-11. Державна гідрометеорологічна служба. Київ. 2011. Вип. 3 Ч. 1. Метеорологічні спостереження на станціях. 279 с.
11. Паламарчук Л.В., Сокур К.С., Заболоцька Т.М. Динаміка інтенсивності опадів та мезоструктурні особливості їх полів у теплий періоду року на рівнинній частині території України. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2019. № 4(55). С. 95-111. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2019.4.8>.
12. Паламарчук Л.В. Басіста Є.К. Орографічний вплив на формування просторових та часових відмінностей розподілу опадів в Українських Карпатах. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. № 2(53). С. 53-66.
13. Паламарчук Л.В., Шедеменко І.П. Статистична оцінка часових змін річних сум опадів рівнинної території України // Фізична географія та геоморфологія. 2020. Вип. 3-4 (101-102). С. 7-18.
14. Осадчий В.І., Скриник О.А., В.П. Сіденко В.П., Д.О. Бойчук Д.О., Ошурок Д.О., Скриник О.Я. Гомогенізована база довгих рядів середньої місячної температури повітря // Геоінформатика. № 1 (65), 2018 С. 54-68.
15. Осипов В.В., Бончковський А.С., Орещенко А.В., Ошурок Д.О., Осадча Н.М. Обчислення кількості опадів на українських метеостанціях із урахуванням впливу вітру. Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». 2021. № 1 (65). С. 54-68. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-15>
16. Рекомендации по анализу результатов пространственного контроля режимной метеорологической информации. С. Пб.: Гидрометеиздат. 1993 176 с.
17. Скриник О.А., Бойчук Д.О., Сіденко В.П. Виявлення та усунення кліматологічної неоднорідності у часових рядах кліматологічних показників. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. № 2(53). С. 88-100.
18. Справочник по климату СССР. Данные за отдельные годы. Выпуск 10. Украинская ССР. Часть 2-5. Атмосферные осадки. Л. Гидрометиздат., 1965-1969., 643 с.
19. Bukatov, A.E, Pavlenko, E.A. Ocenka vliyaniya narushenij odnorodnosti ryadov klimaticheskikh dannyykh na opredelenie kharakteristik izmenchivosti atmosferynykh osadkov v regione Azovskogo moray [Estimation of the impact of climatic data series inhomogeneity on the determination of the atmospheric precipitation variability characteristics in the Azov sea region]. Ecological safety of coastal and shelf zones and comprehensive use of shelf resources: collected scientific papers, 2011.v. 24, С.151-162.
20. Cao L.-J., Z.-W., Progress in research on homogenization of climate data. Adv Clim. Change Res, 2012, vol. 3 iss 2. pp. 59-67. DOI:10.3724/SP.J.1248.2012.00059. (25)
21. Cornes, R., van der Schrier, G., van den Besselaar, E.J.M., & Jones, P.D. (2018). An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Datasets. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 123(17), 9391—9409. <https://doi.org/10.1029/2017JD028200>.
22. Costa A.C., Soares A. Homogenization of Climate Data: Review and New Perspectives Using Geostatistics. Math Geosci, 2009, vol. 41 iss. 3 pp. 291-305. DOI: 10.1007/s11004-008-9203-3 (26)
23. Doblas-Reyes, F.J., Sörensson, A.A., Almazroui, M., Dosio, A., Gutowski, W.J., Haarsma, R., Hamdi, R., Hewitson, B., Kwon, W.-T., Lamptey, B.L., Maraun, D., Stephenson, T.S., Takayabu, I.,

Terray, L., Turner, A., & Zuo, Z. (2021). Linking Global to Regional Climate Change. In Climate Change. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 1363–1512). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.012>.

24. Engstöm E., Carlund T., Laapas M., Aalto J., Drebs A., Lundstad E., Motrøen Gjelle H., Vint K. NORDHOM – a Nordic collaboration to homogenize long-term climate data. In EGU General Assembly Conference Abstracts, Vienna, 12-17 April 2015

25. HOME. Homepage of the COST Action ES06601- Advance in Homogenization Methods for climate Series: An Integrated Approach (HOME), URL: <http://www.homogenization.org> (33); http://www.homogenization.org/HOMER_R/pdf (36)

26. Mestre O., Aguilar E. HOMER_R Fast documentation. Homer Training School, 2011. 36 p.

27. Mestre O., Domonkos P., Pikard F., Auer I., Robin S., Lebarbier E., et al. Homer: a homogenization software – methods and applications. Idojaras, Quart. J. Hungarion. Meteorol. Ser. 2013 V.117 iss.1 P. 47-67.

28. Noone S., Murphy C., Coll J., Matthews T., Mullan D., Wilby R. L., Wlasek S., Homogenization and analysis of expanded long-term monthly rainfall network for the Island of Ireland (1850-2010). Int. J. Climatol, 2016, vol. 36, iss. 8, pp 2837-2853.

29. Osadchyi V., Skrynyk O.A., Radchenko R., Skrynyk O.Y. Homogenization of Ukrainian air temperature data. Int. J. Climatol. 2018. V. 38 (1). P. 497-505.

30. Osadchyi V., Skrynyk O.A., Palamarchuk L., Skrynyk O.Y., Osypov V., Oshurok D., Sidenko V. Dataset of gridded time series of monthly air temperature (min, max, mean) and atmospheric precipitation for Ukraine covering the period of 1946-2020. Data in Brief, 44, 108553. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108553>

31. Patricia de Souza Medeiros Pina Ximenes, Antonio Samuel Alves da Silva, Fahim Ashkar, Tatijana Stosic Best-fit probability distribution models for monthly rainfall of Northeastern Brazil. Water Science & Technology Vol 84 No 6, 1541 C. DOI:10.2166/wst.2021.304

32. Prohom M., Barriendos M., Sanchez-Lorenzo A. Reconstruction and homogenization of the longest instrumental precipitation series in the Iberian Peninsula (Barcelona, 1786-2014). Int. J. Climatol, 2016, vol. 36, iss. 8, pp. 3072-3087.

33. Skrynyk O. Y., Aguilar E., Skrynyk O.A., Sidenko V., Boichuk D., Osadchyi V., Quality control and homogenization of monthly extreme air temperature of Ukraine. Int. J. Climatol, 2019, vol. 39, iss. 7. pp. 2071-2079. DOI: 10.1002/joc.5934.

34. Skrynyk O.A., Savchenko V., Radchenko R., Skrynyk O.Y. Homogenization of monthly air temperature and monthly precipitation sum data sets collected in Ukraine. Proceedings of Eighth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases and Third Conference on Spatial Interpolation Techniques in Climatology and Meteorology. Budapest: Hungary. 2014. WCDMP No.84. P. 128-133.

35. Venema V., Mestre O., Aguilar E., Auer I., Guijarro J.A., Domonkos P. Benchmarking monthly homogenization algorithms. Clim. Past, 2012, vol. 8. Pp. 89-115. DOI: 10.5194/cp-8-89-2012/ (49)

36. WMO Solid precipitation measurement intercomparison: final report. WMO/TD-No.872.1998. URL: http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo-td_872.pdf

37. WMO. Calculation of monthly and annual 30-years standard normals. World Meteorological Organization, World Climate Data and Monitoring Programme Series, 1989. WCDP 10, WMO-TD

References

1. Drozdov O.A., Vasil'ev V.A., Kobysheva N.V. Klimatologiya [Climatology]. 1989 L.: Gidrometeoizdat, 568 s.

2. Evstigneev V.P., Evstigneev M.P., Kul'bida N.I., Naumova V.A., Shven' N.I. Ispol'zovanie sovremennykh informatsionnykh tekhnologiy pri sozdanii bazy meteorologicheskikh dannykh Ukrainy [The use of modern information technologies in the creation of a meteorological database of Ukraine] Naukovi pratsi UkrNDHMI 2013. Vyp. 264. S. 81-90.

3. Zamfirova M.S., Khokhlov V.M., Rezhym temperatury povitria ta opadiv v Ukraini v 2021—2050 rokakh za danyymi ansamblu modelei CORDEX. [The regime of air temperature and precipitation in Ukraine in 2021-2050 according to the ensemble CORDEX of models] Ukr. hidrometeoroloh. zhurn. 2020. № 25. P. 17-27. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25>

4. Klimat Ukrainy [Climate of Ukraine] / pod redakciej G.F. Prihot'ko, A.V. Tkachenko/ L.: Gidrometeoizdat, 1967. 413 s.

5. Klimaticheskij spravocnik SSSR. [Climate reference book of the USSR] Vypusk 10. Po Ukrainskoj SSR. K., 1968. 456 s.

6. Klimat Ukrainy [Climate of Ukraine] / Za redaktsiieiu V.M. Lipinskoho, V.M. Diachuka, V.M. Babichenko / K.- Vyd-vo Raievskoho, 2003. 343 ss.

7. Klimatychnyi dovidnyk. Istoriia ta fizyko-heohrafichniy opys meteorologichnykh stantsii Ukrainy. [Climatic guide. History and physical-geographic description of meteorological stations of Ukraine]. K. 2011. 462 s.
8. Kobysheva N.V., Navrovljanskij G.Ja. Klimatologicheskaja obrabotka meteorologicheskoi informacii [Climatological processing of meteorological information]. L.: Gidrometeoizdat, 1978. 295 s.
9. Krakovska S.V., Palamarchuk L.V., Hnatiuk N.V., Shpytal T.M., Shedemenko I.P. Zmina polia opadiv v Ukraini u KhKhI st. za danymy ansamblu rehionalnykh klimatychnykh modelei [Changes in the precipitation field in Ukraine in the 21st century. according to the ensemble of regional climate models]. // Heoinformatyka № 4 (64), 2017 S. 62-74.
10. Nastanova hidrometeorologichnym stantsiiam i postam [Instructions to hydrometeorological stations and posts]: KD 52.4.8.33-11. Derzhavna hidrometeorologichna sluzhba. Kyiv. 2011. Vyp. 3 Ch. 1. Meteorologichni sposterezhennia na stantsiiakh. 279 s.
11. Palamarchuk L.V., Sokur K.S., Zabolotska T.M. Dynamika intensyvnosti opadiv ta mezostrukturni osoblyvosti yikh poliv u teplyi periodu roku na rivnynni chastyi terytorii Ukrainy [Dynamics of precipitation intensity and mesostructural features of their fields in the warm period of the year in the flat part of the territory of Ukraine]. Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroheolohiia. 2019. № 4(55). S. 95-111. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2019.4.8>.
12. Palamarchuk L.V., Basista E.K. Orohrafichniy vplyv na formuvannia prostorovykh ta chasovykh vidminnostei rozpodilu opadiv v Ukrainskykh Karpatakh [Orographic influence on the formation of spatial and temporal differences in the distribution of precipitation in the Ukrainian Carpathians]. Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroheolohiia. 2019. № 2(53). S. 53-66.
13. Palamarchuk L.V., Shedemenko I.P. Statystychna otsinka chasovykh zmin richnykh sum opadiv rivnynnoi terytorii Ukrainy [Statistical assessment of temporal changes in the annual amounts of precipitation in the plain territory of Ukraine]. // Fizychna heohrafiia ta heomorfolohiia. 2020. Vyp. 3-4 (101-102). S. 7-18.
14. Osadchyi V.I., Skrynyk O.A., V.P. Sidenko V.P., D.O. Boichuk D.O., Oshurok D.O., Skrynyk O.Y. Homogenizovana baza dovhykh riadiv serednoi misiachnoi temperatury povitria [Homogenized database of long series of average monthly air temperature]. // Heoinformatyka. № 1 (65), 2018 S. 54-68.
15. Osypov V.V., Bonchkovskiy A.S., Oreshchenko A.V., Oshurok D.O., Osadcha N.M. Obchyslennia kilkosti opadiv na ukrainskykh meteostantsiiakh iz urakhuvanniam vplyvu vitru [Calculation of the amount of precipitation at Ukrainian weather stations taking into account the influence of wind.]. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V.N. Karazina, seriia «Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia». 2021. № 1 (65). S. 54-68. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-15>
16. Rekomendatsii po analizu rezultatov prostranstvennogo kontrolya rezhimnoi meteorologicheskoi informatsii [Recommendations for the analysis of the results of spatial monitoring of regime meteorological information]. S. Pb.: Gidrometeoizdat. 1993. 176 s.
17. Skrynyk O.A., Boichuk D.O., Sidenko V.P. Vyiavlennia ta usunenlia klimatologichnoi neodnorodnosti u chasovykh riadakh klimatologichnykh pokaznykiv [Identification and elimination of climatological heterogeneity in time series of climatological indicators] Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroheolohiia. 2019. № 2(53). S. 88-100.
18. Spravochnik po klimatu SSSR. Dannie za otdelnie godi [Reference book on the climate of the USSR. Data for selected years]. Vipusk 10. Ukrainskaya SSR. Chast 2-5. Atmosferne osadki. L. Gidrometizdat., 1965-1969, 643 s.
19. Bukatov, A.E., Pavlenko, E.A. Ocenka vlianiia narushenij odnorodnosti ryadov klimaticheskikh dannyykh na opredelenie kharakteristik izmenchivosti atmosferykh osadkov v regione Azovskogo moray [Estimation of the impact of climatic data series inhomogeneity on the determination of the atmospheric precipitation variability characteristics in the Azov sea region]. Ecological safety of coastal and shelf zones and comprehensive use of shelf resources: collected scientific papers, 2011.v. 24, P.151-162.
20. Cao L.-J., Z.-W., Progress in research on homogenization of climate data. Adv Clim. Change Res, 2012, vol. 3 iss 2. pp. 59-67. DOI:10.3724/SP.J.1248.2012.00059. (25).
21. Cornes, R., van der Schrier, G., van den Besselaar, E.J.M., & Jones, P.D. (2018). An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Datasets. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 123(17), 9391—9409. <https://doi.org/10.1029/2017JD028200>.
22. Costa A.C., Soares A. Homogenization of Climate Data: Review and New Perspectives Using Geostatistics. Math Geosci, 2009, vol. 41 iss. 3 pp. 291-305. DOI: 10.1007/s11004-008-9203-3 (26)
23. Doblas-Reyes, F.J., Sörensson, A.A., Almazroui, M., Dosio, A., Gutowski, W.J., Haarsma, R., Hamdi, R., Hewitson, B., Kwon, W.-T., Lamptey, B.L., Maraun, D., Stephenson, T.S., Takayabu, I., Terray, L., Turner, A., & Zuo, Z. (2021). Linking Global to Regional Climate Change. In Climate Change. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 1363-1512). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.012>

24. Engstöm E., Carlund T., Laapas M., Aalto J., Drebs A., Lundstad E., Motrøen Gjelte H., Vint K. NORDHOM – a Nordic collaboration to homogenize long-term climate data. In EGU General Assembly Conference Abstracts, Vienna, 12-17 April 2015.

25. HOME. Homepage of the COST Action ES06601- Advance in Homogenization Methods of climate Series: An Integrated Approach (HOME), URL: <http://www.homogenization.org> (33); http://www.homogenization.org/HOMER_R/pdf (36).

26. Mestre O., Aguilar E. HOMER_R Fast documentation. Homer Training School, 2011. 36 p.

27. Mestre O., Domonkos P., Pikard F., Auer I., Robin S., Lebarbier E., a.o. Homer: a homogenization software – methods and applications. Idojaras, Quart. J. Hungarion. Meteorol. Ser. 2013 V.117 iss.1 P. 47-67.

28. Noone S., Murphy C., Coll J., Matthews T., Mullan D., Wilby R. L., Wlask S., Homogenization and analysis of expanded long-term monthly rainfall network for the Island of Ireland (1850-2010). Int. J. Climatol, 2016, vol. 36, iss. 8, pp 2837-2853.

29. Osadchyi V., Skrynyk O.A., Radchenko R., Skrynyk O.Y. Homogenization of Ukrainian air temperature data. Int. J. Climatol. 2018. V. 38 (1). P. 497-505.

30. Osadchyi V., Skrynyk O.A., Palamarchuk L., Skrynyk O.Y., Osypov V., Oshurok D., Sidenko V. Dataset of gridded time series of monthly air temperature (min, max, mean) and atmospheric precipitation for Ukraine covering the period of 1946-2020. Data in Brief, 44, 108553. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108553>

31. Patricia de Souza Medeiros Pina Ximenes, Antonio Samuel Alves da Silva, Fahim Ashkar, Tatijana Stosic Best-fit probability distribution models for monthly rainfall of Northeastern Brazil. Water Science & Technology Vol 84 No 6, 1541 C. DOI:10.2166/wst.2021.304

32. Prohom M., Barriendos M., Sanchez-Lorenzo A. Reconstruction and homogenization of the longest instrumental precipitation series in the Iberian Peninsula (Barcelona, 1786-2014). Int. J. Climatol, 2016, vol. 36, iss. 8, pp. 3072-3087.

33. Skrynyk O. Y., Aguilar E., Skrynyk O.A., Sidenko V., Boichuk D., Osadchyi V., Quality control and homogenization of monthly extreme air temperature of Ukraine. Int. J. Climatol, 2019, vol. 39, iss. 7. pp. 2071-2079. DOI: 10. 1002/joc.5934.

34. Skrynyk O.A., Savchenko V., Radchenko R., Skrynyk O.Y. Homogenization of monthly air temperature and monthly precipitation sum data sets collected in Ukraine. Proceedings of Eighth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases and Third Conference on Spatial Interpolation Techniques in Climatology and Meteorology. Budapest: Hungary. 2014. WCDMP No.84. P. 128-133.

35. Venema V., Mestre O., Aguilar E., Auer I., Guijarro J.A., Domonkos P. Benchmarking monthly homogenization algorithms. Clim. Past, 2012, vol. 8. Pp. 89-115. DOI: 10.5194/cp-8-89-2012/ (49)

36. WMO Solid precipitation measurement intercomparison: final report. WMO/TD-No.872.1998. URL: http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo-td_872.pdf

37. WMO. Calculation of monthly and annual 30-years standard normals. World Meteorological Organization, World Climate Data and Monitoring Programme Series, 1989. WCDP 10, WMO-TD.

Application of the HOMER software to quality control and homogenize time series of monthly precipitation sums

Palamarchuk L.V., Osadchyi V.I., Skrynyk O.A., Kyreieva Z.M., Sidenko V.P., Oshurok D.O., Skrynyk O.Y.

In our work, we present a digital dataset of monthly atmospheric precipitation sums collected at 177 meteorological stations and 47 precipitation posts in Ukraine during the period of 1946-2020. Quality control check and homogenization of the time series were performed by means of the HOMER software. The quality control procedure revealed 1316 anomaly values (outliers), which constitute 0.7% of the total amount of considered precipitation measurements. A significant part of the detected outliers (465) was identified as rough errors, which were corrected after analysis of original paper sources. Simultaneous use of the observation data from meteorological stations and precipitation posts allowed to improve accuracy/quality of the latter (by comparing them with corresponding measurements from the meteorological stations) and make precipitation fields more consistent. The homogenization procedure detected 265 breaks. Such breaks are usually considered as moments of time when abrupt shifts in time series evolution are happened. The main reasons for breaks are station/post relocations, replacement of measurement devices etc., namely any non-climatic factors. According to the WMO recommendations, the obtained homogenized time series can be applied to study regional climate including its variability and persistent change.

Keywords: software Homer, monthly atmospheric precipitation sums, time series, data quality, homogenization, breaks, HOMER341, Washington D.C., USA.

Надійшла до редакції 03.02.2023

Пясецька С.І.

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

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВЕ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ВИПАДКІВ МАСОВОГО ВІДКЛАДЕННЯ ОЖЕЛЕДІ КАТЕГОРІЇ НЯ (небезпечна) ТА СГЯ (стихійна) НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ПРОТЯГОМ 1991-2020 рр.

Робота присвячена дослідженню особливостей просторово-часового розповсюдження випадків масового відкладення ожеледі категорії НЯ (небезпечна) та СГЯ (стихійна) протягом останніх трьох десятиріч (1991-2020 рр.) Метою дослідження є встановлення особливостей просторово-часового розповсюдження випадків масового розповсюдження найбільш небезпечних відкладень ожеледі (НЯ та СГЯ) на території України протягом визначеного періоду часу. Основою для дослідження були матеріали спостереження за відкладеннями ожеледі на стандартному ожеледному станку на усіх метеорологічних станціях України. Виявлено, що випадки масового розповсюдження відкладень ожеледі як категорії НЯ так і СГЯ частіше трапляються у зимові місяці грудень-січень та листопад. Доведено збільшення кількості випадків масового відкладення ожеледі категорії НЯ у січні, березні та листопаді 2011-2020 рр. порівняно із 2001-2010 рр. Встановлено тривалість випадків масового відкладення ожеледі категорії НЯ та СГЯ, та помічено певне збільшення тривалості таких випадків протягом останніх двох десятиріч. Виявлено просторову диференціацію по території України таких випадків протягом окремих десятирічних періодів, які характеризують сучасний стан клімату України.

Ключові слова: *випадки масового відкладення ожеледі категорії НЯ (небезпечна) та СГЯ (стихійна), територія України, просторово-часова диференціація.*

Вступ. Випадки ожеледо-паморозевих відкладень (ожеледь, налипання мокрого снігу, складні відкладення, паморозь (зерниста, кристалічна)) є типовими для території України протягом зимового сезону, а також у періоді передзим'я та післязим'я. Загалом їх відносять до несприятливих погодних явищ, які певним чином впливають на господарську діяльність. При цьому серед них найбільш небезпечними є відкладення ожеледі, які мають значно більшу щільність, а натомість і вагу порівняно із іншими видами відкладень. Серед них особливо небезпечними (НЯ) є відкладення діаметром від 6 до 19 мм на дротах стандартного ожеледного станка, а також відкладення діаметр яких становить, або перевищує 20 мм (діаметри більших розмірів зустрічаються досить рідко і здебільшого утворюються у гірських місцевостях за сприятливих умов). Саме відкладення ожеледі категорії НЯ та особливо СГЯ здебільшого спричиняють найбільш важкі аварії і як наслідок - зупинка виробничого процесу, збитки у галузях, а іноді ще гірші втрати. Найбільш вразливими від них є електроенергетика (виробництво та передача енергії) та електротранспорт, зв'язок, комунальне господарство. Значне зледеніння може впливати на будівничу галузь руйнуючи конструкції, а також автомобільне сполучення унеможливаючи його. Зважаючи на особливості вищенаведеної небезпеки та триваючі зміни у кліматичній системі, які характеризуються виникненням більшої кількості небезпечних погодних явищ у всіх сезонах проведене дослідження є актуальним і стоїть на порядку денному сьогодення.

Стан огляду проблеми. Фундаментальні результати дослідження з виникнення та просторово-часового розповсюдження ожеледо-паморозевих відкладень на території України було зроблено у роботах О.М. Раєвського [21, 25, 26], який спираючись на результати робіт попередників з дослідження фізичних умов їх утворення склав схему типізації форм рельєфу та визначив яким з видів відкладень більш притаманне розповсюдження на території України. Роботу у цьому напрямку було продовжено у дослідженні [5]. Було з'ясовано, що запропонована схема з типізації розповсюдження окремих видів ожеледо-паморозевих утворень є універсальною та з успіхом застосовувалась для подібних досліджень для інших територій. Продовження досліджень передбачало вивчення синоптичних особливостей формування таких відкладень на території України та складання прогностичних схем для передбачення імовірності виникнення того чи іншого виду відкладень. Такі дослідження було проведено О.М. Кошенком [12-14] із створенням прогностичної схеми, яку використовували для прогнозу

виникнення окремих видів ожеледо-паморозевих відкладень в оперативній діяльності. У подальшому В.О. Волевахою та колективом дослідників [6, 7] було запропоновано дещо інший спосіб прогнозу відкладень ожеледі різної категорії інтенсивності на основі дискримінантних функцій та матеріалів зондування атмосфери у день із значними її відкладеннями. Починаючи з 70-х років XX сторіччя і по нині на основі вже накопичених раніше результатів кліматичних досліджень було створено низку монографій з клімату України, де було відображено характер розповсюдження окремих видів погодних явищ по окремих періодах року протягом певних часових інтервалів [10, 11, 19, 20, 28, 29]. Проте у цих дослідженнях не піднімалось питання їх порівняння у зв'язку зі змінами клімату та відповідно визначення відповідних тенденцій у їх розповсюдженні, а також не досліджувались випадки масового прояву окремих несприятливих погодних явищ. Натепер, зважаючи на триваючі зміни у кліматичній системі, які найбільш проявляються у холодний період року дослідження його явищ набувають певного сенсу та відображаються у низці робіт, які опубліковано останнім часом [1-3, 8, 15]. Враховуючи те, що певні напрямки досліджень з особливостей сучасного розповсюдження окремих видів ожеледо-паморозевих відкладень, особливо при їх масовому характері розповсюдження раніше не проводились, автор продовжила такі дослідження та отримала результати стосовно сучасного їх стану на території України [22-24].

Матеріали та методи. Для опрацювання та узагальнення використовувались матеріали спостережень за ожеледо-паморозевими відкладеннями на дратах стандартного ожеледного станка (інструментальні спостереження), які розміщено у відповідних таблицях 14 та 22 Метеорологічного щомісячника (Вип.10., Ч.II. Україна), що знаходиться у Державному галузевому архіві (ГДА) Центральної геофізичної обсерваторії (ЦГО) імені Бориса Срезневського, Використовувались усі наявні матеріали спостережень у місяці холодного періоду року та окремі місяці перехідних сезонів (квітень, жовтень) протягом років 30-и річного періоду з 1991 по 2020 рр. Згідно ряду «Інструкцій...» та «Настанов...» [4, 6, 16-18, 27] за основу для вибірки взято діаметри відкладень ожеледі які становили для відкладень категорії НЯ 6-19 мм та для категорії СГЯ ≥ 20 мм. За випадок масового відкладення таких відкладень приймалось, що вони повинні постерігатись не менше ніж на території двох областей протягом доби або більше (послідовно від доби до доби). Таким чином можна казати за певні періоди таких відкладень. Основним методом дослідження був емпірико-статистичний метод, крім того для візуалізації отриманих результатів було побудовано відповідні графіки, а для представлення просторово-часового розповсюдження випадків масового відкладення ожеледі категорії НЯ та СГЯ створено їх картосхеми для кожного окремого випадку.

Мета дослідження. Проведена робота я логічним продовженням раніше розпочатого дослідження стосовно масового розповсюдження відкладень ожеледі протягом останніх 30-и років та найбільш чітко представляє особливості цього процесу на території України на сучасному етапі зміни клімату. Тому метою дослідження є встановлення особливостей просторово-часового розповсюдження випадків масового розповсюдження найбільш небезпечних відкладень ожеледі (НЯ та СГЯ) на території України. Об'єктом дослідження були випадки масового розповсюдження відкладень ожеледі категорії НЯ та СГЯ на території України протягом окремих десятиріч періоду 1991-2020 рр. а предметом особливості їх просторово-часового розповсюдження.

Виклад основного матеріалу. Дослідження просторово-часового розповсюдження випадків масового відкладення ожеледі категорії НЯ та СГЯ було виконано по окремим десятиріччям періоду 1991-2020 рр. та розміщено у послідовному порядку у двох розділах – 1. «Розподіл випадків масового відкладення ожеледі категорії НЯ» та 2. «Розподіл випадків масового відкладення ожеледі категорії СГЯ». Для повноти викладу матеріалу він супроводжувався відповідними таблицями та рисунками.

1. Розподіл випадків масового відкладення ожеледі категорії НЯ 1991-2000 рр. Протягом цього періоду виявлено 41 випадок масового відкладення ожеледі категорії НЯ (табл.1, рис. 1 (а)). Здебільшого вони траплялись у зимові місяці – січні (19,5 %) та грудні (29,3 %), проте у листопаді також повторюваність випадків масового характеру відкладення ожеледі категорії НЯ дорівнювала грудню (29,3 %). Встановлено, що у цілому протягом цього десятиріччя такі випадки здебільшого спостерігались на території 2-х

областей, або 3-4 (31,6 – 36,4 %). Особливо це стосується передзим'я та зимових місяців, де повторюваність вищезгаданих градацій може бути значно більшою і становити навіть 42,9 – 50,0 % (відповідно листопад та лютий). Проте в окремих випадках масове відкладення ожеледі категорії НЯ може охоплювати від 5-6 до 9-10 областей. Такі випадки показано на рис. 2 (а), де на картосхемах відображено розташування усіх випадків масового відкладення ожеледі категорії НЯ протягом 1991-2000 рр. Найбільш розповсюджені з них спостерігались у січні 1996, лютому 1999, березні 1994 та 1998, листопаді 1991, 1998, 1999, 2000, грудні 1995 та 1997 рр. У найбільш знаних випадках відкладення ожеледі охоплювали північні, північно-східні (східні) та центральні області або центральні та південні (південно-західні, південно-східні) області. В окремих випадках при значному поширенні могли приєднуватись ще й окремі із західних областей (переважно Передкарпаття та Карпатський регіон).

Таблиця 1. Кількість випадків масового відкладення ожеледі категорії НЯ на території України протягом 1991-2000 рр.

Місяць	Роки										Усього	%
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000		
I	1	1	0	0	1	1	0	2	2	0	8	19,5
II	0	0	1	0	0	2	0	1	1	1	6	14,6
III	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	3	7,3
IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
XI	1	0	0	1	1	0	2	3	3	1	12	29,3
XII	1	0	1	0	1	1	3	1	3	1	12	29,3
Усього	3	1	2	2	3	4	5	8	9	4	41	100,0

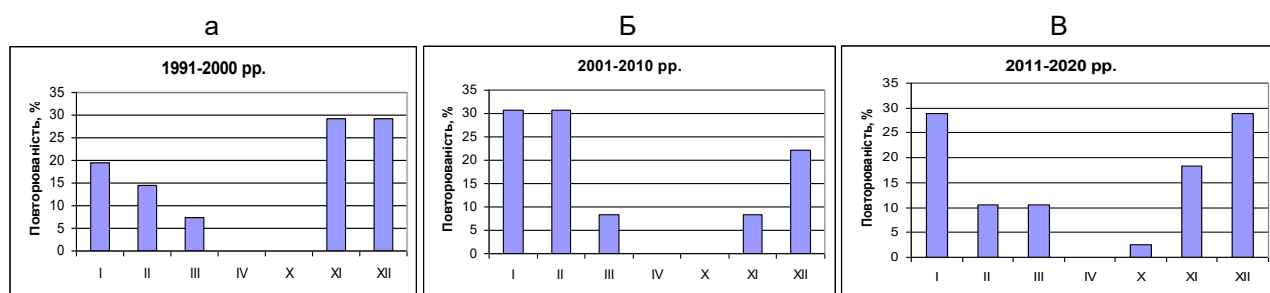
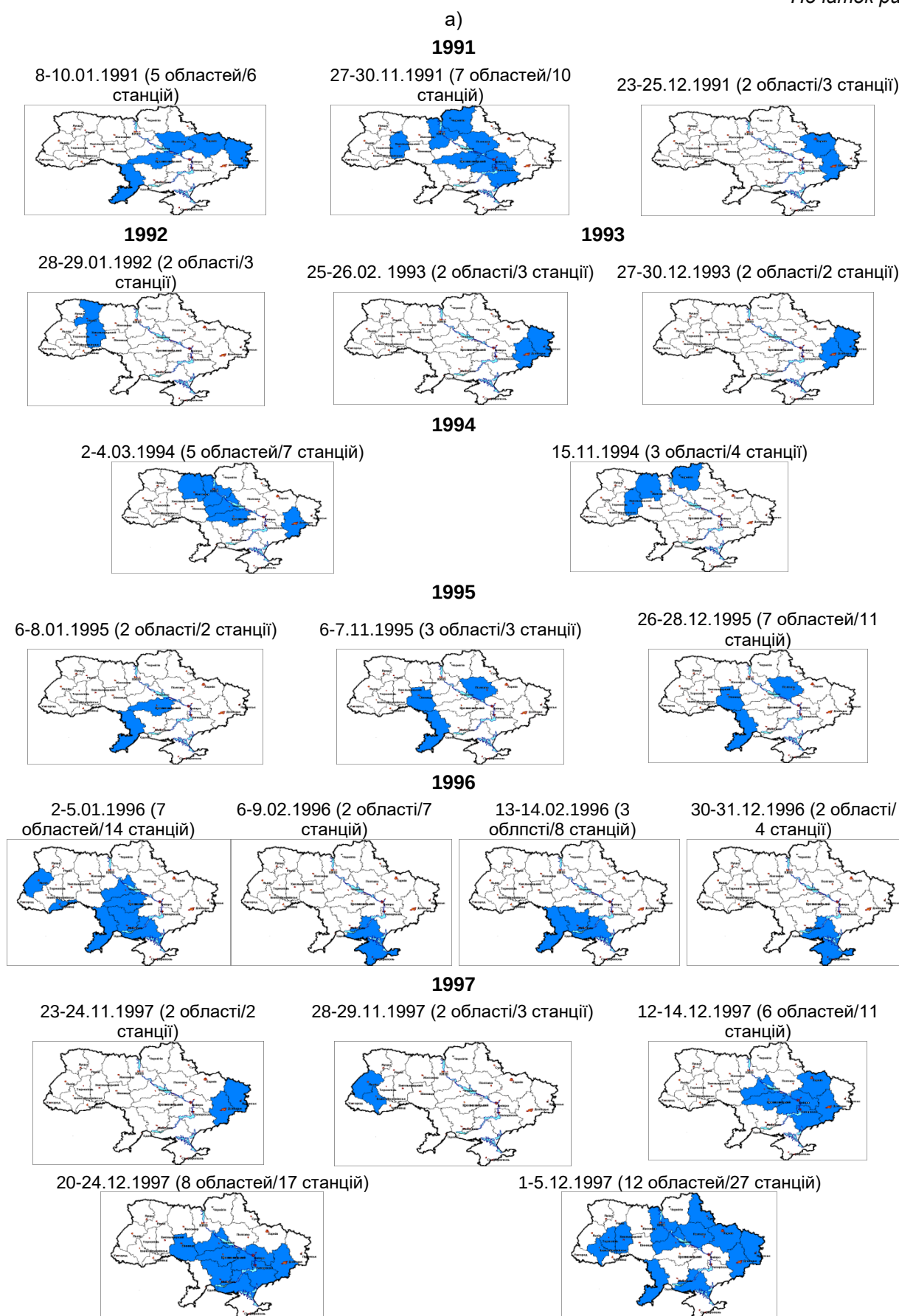


Рис. 1. Повторюваність (%) випадків масового відкладення ожеледі категорії НЯ по місяцях холодного періоду року протягом окремих десятиріч – а) 1991-2000 рр., б) 2001-2010 рр., в) 2011-2020 рр.

Окремо є сенс дослідити питання тривалості випадків масового відкладення ожеледі категорії НЯ протягом визначених періодів. Для цього було виділено 10 градацій тривалості від 1 до 10 днів. При цьому увага зверталась на дати, коли на станціях спостерігались такі відкладення з огляду на те, що фаза наростання відкладення визначається найкраще. Результати дослідження представлено на рис. 3 (а). Встановлено, що у 1991-2000 рр. тривалість таких випадків здебільшого становила 2-3 дні (відповідно 29,3 та 26,8 %). На решту градацій припало щонайбільше 14,6 %, а щонайменше 2,4 %. Тобто переважали здебільшого нетривалі періоди у впродовж яких розповсюджувались такі відкладення. Більш тривалі періоди мають значно меншу повторюваність.

Стосовно повторюваності окремих областей, на території яких у випадках масового поширення відкладень ожеледі категорії НЯ то можна сказати, що по окремих місяцях є окремі відмінності (рис. 4(а)). Так, у січні за повторюваністю де частіше зустрічаються такі відкладення виділяються Кіровоградська та Одеська області (14,8 %), а також Луганська область (11,1 %). Серед інших областей варто звернути увагу на низку областей на заході – Хмельницьку, центрі – Полтавську, а на північному сході та сході – Харківську та Донецьку (7,7 %). Повторюваність решти областей становила 3,7 %.

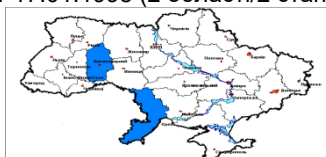


1998

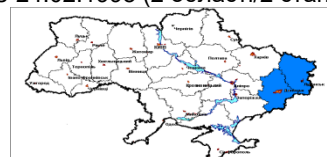
2-7.01.1998 (3 області/3 станції)



14-17.01.1998 (2 області/2 станції)



23-24.02.1998 (2 області/2 станції)



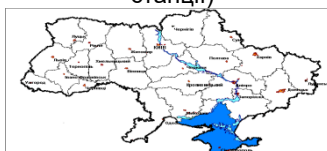
10-13.03.1998 (6 областей/14 станцій)



12-16.11.1998 (6 областей/15 станцій)



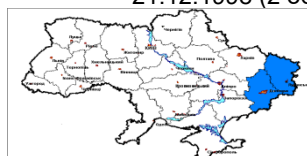
21-22.11.1998 (2 області/ 3 станції)



25.11.1998 (2 області/2 станції)

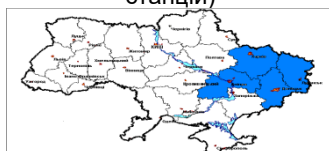


21.12.1998 (2 області/2 станції)

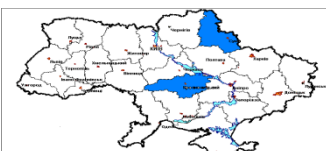


1999

12-13.01.1999 (4 області/8 станцій)



29-31.01.1999 (2 області/2 станції)



12-14.02.1999 (5 областей/5 станцій)



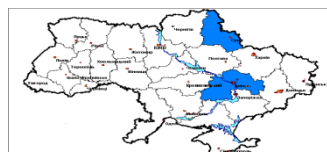
17-19.11.1999 (7 областей/12 станцій)



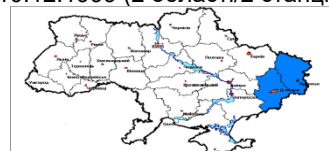
22-24.11.1999 (5 областей/14 станцій)



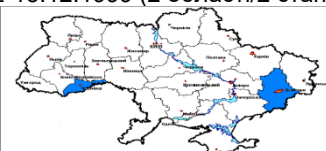
28.11.1999 (2 області/2 станції)



10.12.1999 (2 області/2 станції)



12-13.12.1999 (2 області/2 станції)



21.12.1999 (3 області/3 станції)

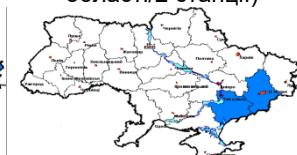


2000

7-9.02.2000 (3 області/4 станції)



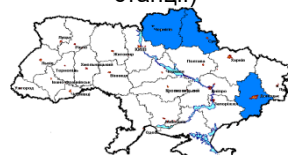
18-19.03.2000 (2 області/2 станції)



24-28.11.2000 (7 областей/15 станцій)



9-13.12.2000 (3 області/3 станції)



б)

2001

1.02.2001 (2 області/3 станції)



26-27.02.2001 (5 областей/6 станцій)



2002

24-25.01.2002 (2 області/2 станції)



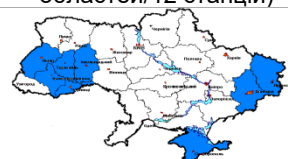
5-9.02.2002 (3 області/4 станції)



5-8.11.2002 (4 області/6 станцій)



1-7.12.2002 (8 областей/12 станцій)

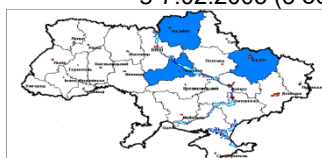


2003

5-8.01.2003 (6 областей/12 станцій)

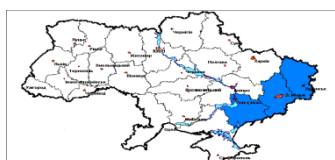


5-7.02.2003 (3 області/4 станції)



2004

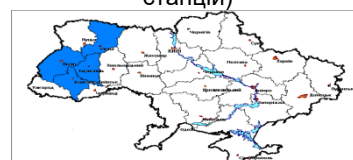
4-8.01.2004 (3 області/3 станції)



22-23.01.2004 (4 області/5 станцій)



22-23.02.2004 (4 області/5 станцій)



2005

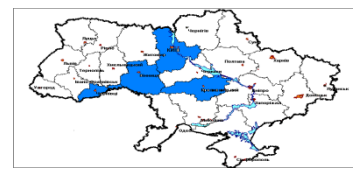
27-29.01.2005 (5 областей/5 станцій)



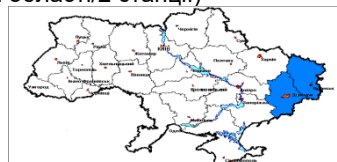
6-7.03.2005 (2 області/5 станцій)



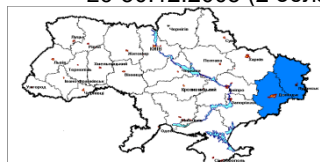
25.11.2005 (4 області/9 станцій)



5-7.11.2005 (2 області/2 станції)



26-30.12.2005 (2 області/2 станції)

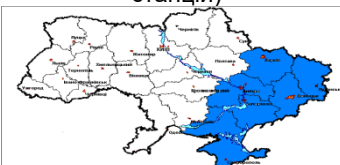


2006

19-24.02.2006 (2 області/4 станції)



6-8.03.2006 (6 областей 17 станцій)



6-8.12.2006 (2 області/2 станції)



2007

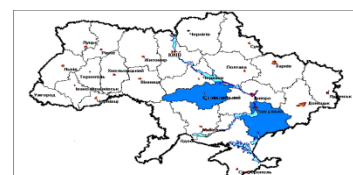
7-9.01.2007 (4 області/4 станції)



12-13.02.2007 (4 області/6 станцій)

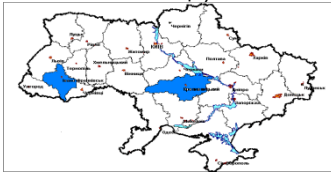


11.12.2007 (2 області/2 станції)



2008

20-21.01.2008 (2 області/2 станції)



21-22.02.2008 (2 області/2 станції)



16-23.12.2008 (7 областей/9 станцій)



2009

20-23.01.2009 (6 областей/8 станцій)



26-28.01.2009 (2 області/2 станції)



4-5.02.2009 (2 області 2 станції)



9-13.02.2009 (2 області/2 станції)



6-8.03.2009 (5 областей/8 станцій)



15-20.12.2009 (8 областей/11 станцій)

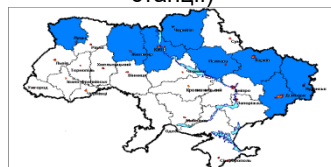


2010

1-3.01.2010 (3 області/10 станцій)



7-13.01.2010 (8 областей/22 станції)



8-14.02.2010 (15 областей/42 станції)



1-3.12.2010 (9 областей/19 станцій)



17.12.2010 (6 областей/7 станцій)



В)

2011

10-13.01.2011 (3 області/3 станції)



28-29.12.2011 (2 області/2 станції)



2012

16-18.11.2012 (3 області/4 станції)



28-29.12.2012 (2 області/4 станції)



2013

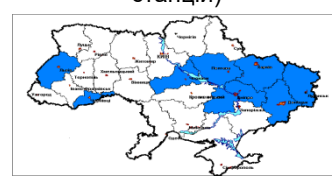
19-23.01.2013 (10 областей/23 станції)



25-28.01.2013 (4 області/8 станцій)



8-13.03.2013 (8 областей/13 станцій)



2013

22-23.03.2013 (5 областей/8 станцій)



23-25.12.2013 (4 області/5 станцій)



28-30.12.2013 (4 області/7 станцій)



2014

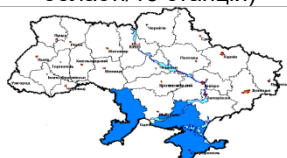
3-5.01.2014 (2 області/3 станції)



19-21.01.2014 (7 областей/20 станцій)



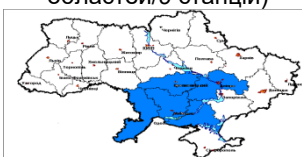
27-29.01.2014 (3 області/13 станцій)



14-16.02.2014 (2 області/3 станції)



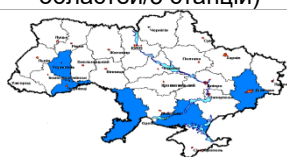
24.10.2014 (5 областей/9 станцій)



17-20.11.2014 (6 областей/11 станцій)



6-9.12.2014 (5 областей/5 станцій)



27-29.12.2014 (2 області/4 станції)



2015

28-31.12.2015 (2 області/2 станції)



7-8.01.2016 (8 областей/16 станцій)



17-18.01.2016 (2 області/3 станції)



2017

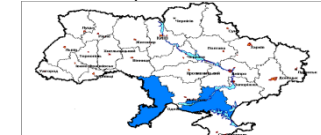
6-7.01.2017 (2 області/2 станції)



2-3.02.2017 (3 області/4 станції)



6-8.02.2017 (2 області/3 станції)



2.11.2017 (2 області/2 станції)



28-29.11.2017 (4 області/8 станцій)



2018

8-9.02.2018 (3 області/4 станції)



7-8.03.2018 (3 області/3 станції)



16-20.03.2018 (6 областей/10 станцій)



14-15.11.2018 (2 області/4 станції)



24-25.11.2018 (2 області/3 станції)



7-10.12.2018 (6 областей/6 станцій)



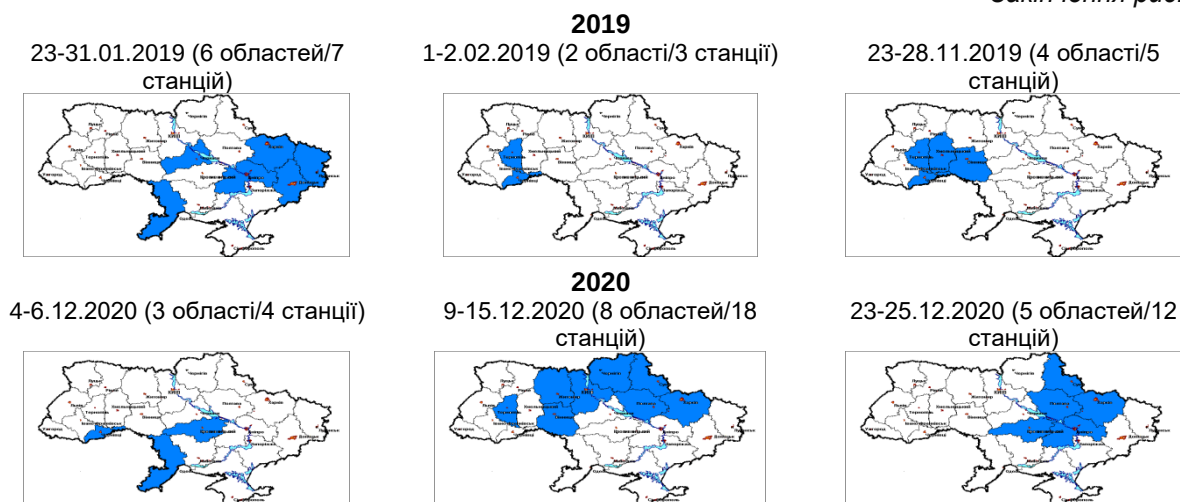


Рис. 2. Просторово-часове розповсюдження випадків масового відкладення ожеледі категорії НЯ по території України протягом десятиріч: а) 1991-2000 рр.; б) 2001-2010 рр.; в) 2011-2020 рр.

Крім того встановлено, що на території 9 областей у випадках масового відкладення ожеледі її випадків не спостерігалось (Тернопільська, Івано-Франківська, Закарпатська, Чернігівська, Волинська, Житомирська, Київська, Вінницька, Запорізька).

У лютому на відміну від січня у випадках масового відкладення ожеледі категорії НЯ була задіяна Луганська (23,5 %) та Донецька (17,6 %) області, а також Херсонська (11,8 %). Внесок інших областей становив 5,9 %. На території 14 областей не спостерігалось відкладень ожеледі категорії НЯ при її масовому розповсюдженні (Сумська, Волинська, Львівська, Івано-Франківська, Чернівецька, Житомирська, Київська, Полтавська, Харківська, Тернопільська, Черкаська, Вінницька, Дніпропетровська, Запорізька).

У березні 1991-2000 рр. при масовому відкладенні ожеледі категорії НЯ вона здебільшого спостерігалась на території центральних областей на Черкащині та Кіровоградщині (15,4 %), а також на сході у Донецькій області (15,4 %). Повторюваність решти областей становила 7,7 %. Встановлено 14 областей на території яких у випадках масового відкладення ожеледі категорії НЯ її не спостерігалось (Чернігівська, Волинська, Рівненська, Львівська, Закарпатська, Чернівецька, Хмельницька, Харківська, Тернопільська, Луганська, Вінницька, Івано-Франківська, Дніпропетровська, Херсонська, АР Крим).

У листопаді 1991-2000 рр. порівняно із попередніми місяцями холодного періоду істотно збільшилась кількість випадків масового відкладення ожеледі категорії НЯ. Найчастіше такі відкладення ожеледі при масовому їх розповсюдженні спостерігались у центральних областях країни - Дніпропетровській (10,2 %), Полтавській та Кіровоградській областях (по 8,2 % кожна), Дещо меншу повторюваність мають Київська, Харківська, Черкаська, Луганська, Одеська та Запорізька області (6,1 %). У інших областей повторюваність становить 2,0-4,1 %. На території областей - Волинська, Тернопільська, Закарпатська, Чернівецька, Миколаївська при масовому розповсюдженні відкладень ожеледі категорії НЯ не спостерігалось.

У грудні так само як і у листопаді спостерігалось достатньо багато випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі категорії НЯ. У таких випадках частіше відкладення ожеледі категорії НЯ спостерігались на території Донеччини (19,6 %), Харківщини (9,8 %), Луганщини (9,8 %) та Херсонщини (7,8 %). Також досить такі відкладення ожеледі категорії НЯ у випадках її масового розповсюдження спостерігались на Черкащині, Кіровоградщині, Дніпропетровщині та Запоріжжі (5,9 %). На решту областей припало 2,0-3,9 %. На території Волині, Рівненщини Житомирщини, Львівщини та Закарпаття відкладень ожеледі категорії НЯ масового розповсюдження не спостерігалось.

У 2001-2010 рр. виявлено 36 випадків масового відкладення ожеледі категорії НЯ на території України (табл.2). Найбільш помітними за кількістю таких випадків були січень, лютий та грудень, повторюваність яких становила відповідно 30,6 та 22,2 % (рис. 1 (б)). Характеризуючи динаміку прояву таких випадків по окремих місяцях треба зазначити, що порівняно із попереднім десятиріччям кількість їх кількість істотно збільшилась у січні та лютому, проте зменшилась у грудні. Можливо це пов'язано із імовірною кількістю циклонів, які проходили територією України у цей період. З'ясовано, що як і у попередньому десятиріччі у цілому переважно такі відкладення розповсюджуються на 2 або 3-4 областях протягом їх масового відкладення (відповідно 37,5 та 27,8 %). Проте у змові місяці вони можуть розповсюджуватись і на території більшої кількості областей від 5-6 (12,5-27,3 %) до 7-8 (9,1 % (іноді більше), а в окремих випадках на більшій території. У загальному розподілі градації 5-6 та 7-8 кількості областей при масовому розповсюдженні відкладень ожеледі категорії НЯ становлять відповідно 19,4 та 11,1 %. Загалом повторюваність розповсюдження таких відкладень на значно більшій території доволі низька (2,8 %). Рисунок 2 (б) відображає просторовий розподіл випадків масового відкладення ожеледі категорії НЯ на території України протягом десятиріччя 2001-2010 рр. Виявлено найбільш тривалі випадки масового відкладення ожеледі категорії НЯ, які трапились у січні 2003, 2005, 2009 та 2010 рр.; лютому 2001-2010 рр.; березні 2006 та 2009 рр., а також грудні 2002, 2008, 2009, 2010 рр. Найбільш визначним за охопленням території був випадок, який трапився 8-14.02.2010 р. У цілому випадки масового розповсюдження відкладень ожеледі категорії НЯ спостерігались у центральних, південних, південно-східних та східних областях. Проте в ряді випадків вони можуть поширюватись на північно-західні, північні та північно-східні області від Волині на Житомир та Київ і Чернігів, а далі на Сумщину, Харківщину та Донецький регіон. Іноді масові випадки відкладень ожеледі можуть спостерігатись на території центральних областей та областей західного регіону на Передкарпатті та окремих областей Карпатського регіону.

Таблиця 2. Кількість випадків масового відкладення ожеледі категорії НЯ на території України протягом 2001-2010рр.

Місяць	Роки										Усього	%
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010		
I	0	1	1	2	1	0	1	1	2	2	11	30,6
II	2	1	1	1	0	1	1	1	2	1	11	30,6
III	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	3	8,3
IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
XI	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	3	8,3
XII	0	1	0	0	1	1	1	1	1	2	8	22,2
Усього	2	4	2	3	5	3	3	3	6	5	36	100,0

За тривалістю випадків масового відкладення ожеледі категорії НЯ у десятиріччі 2001-2010 рр. виділяються градації 2 та 3 дні (відповідно 25,0 та 27,8 %), аналогічно до попереднього десятиріччя. На решту градацій припадає від 2,8 до 11,1 % (рис. 3 (б)). Треба зазначити, що на відміну від попереднього десятиріччя збільшилась градації більшої тривалості таких відкладень до 8 днів.

Результати дослідження повторюваності областей, на території яких спостерігались масові відкладення ожеледі категорії НЯ протягом 2001-2010 рр. показано на рис. 4 (б). Можна сказати, що у січні найбільш часто відкладення ожеледі категорії НЯ при їх масовому розповсюдженні спостерігаються на сході країни у Луганській та Донецькій областях (15,9 %), а також на Запоріжжі (11,4 %). Також за величиною повторюваності можна відмітити Чернігівську, Харківську, Кіровоградську та Херсонську області (6,8 %). Повторюваність інших областей менша і знаходиться у межах 2,3-4,5 %. На території 9 областей - Сумської, Рівненської, Львівської, Хмельницької, Тернопільської, Вінницької, Закарпатської, Чернівецької областей та АР Крим відкладень ожеледі категорії НЯ при масовому їх розповсюдженні не спостерігалось.

У лютому 2001-2010 рр. у випадках масового відкладення ожеледі категорії НЯ її відкладення частіше спостерігаються на території північного сходу та сходу – Харківщині (11,4 %) та Донецчині (13,6 %). Також можна виділити Київську область (6,8 %). Для решти областей повторюваність становила 2,3-4,5 %, причому повторюваність у 4,5 % серед них спостерігається найчастіше. На території Волині, Житомирщини, Хмельниччини та АР Крим випадків таких відкладень у разі їх масового розповсюдження не спостерігалось.

Протягом березня серед областей на території яких у випадках масового розповсюдження відкладень ожеледі категорії НЯ спостерігались її відкладення треба назвати області північного сходу та сходу – Харківщина (14,3 %), Луганщина (21,4 %) а Донецчина (21,4 %). Ще 6 областей (Сумська, Полтавська, Дніпропетровська, Запорізька, Херсонська та АР Крим) мали повторюваність 7,1 %. На решті областей випадків ожеледі категорії НЯ масового характеру не спостерігалось.

У листопаді кількість таких випадків була мала на відміну від інших з досліджуваних десятиріч. Частіше такі відкладення у випадках їх масового розповсюдження спостерігались на Київщині та Вінниччині (20,0 %). Іноді вони спостерігались на території Чернівецьчини, Чернігівщини, Луганщини, Донецчини, Кіровоградщини, Запоріжжя (10,0 %).

Протягом грудня 2001-2010 рр. випадки відкладень ожеледі категорії НЯ масового характеру здебільшого спостерігались на Донецчині (18,2 %), а також у АР Крим (9,1 %) та Одещині, Миколаївщині, Херсонщині (6,8 %). Тобто такі відкладення здебільшого охоплювали південь та схід країни. Повторюваність решти областей становила 2,3-4,5 %. На території Чернігівщини, Волині, Рівненщини та Черкащини таких відкладень у випадках масового їх відкладення не спостерігалось.

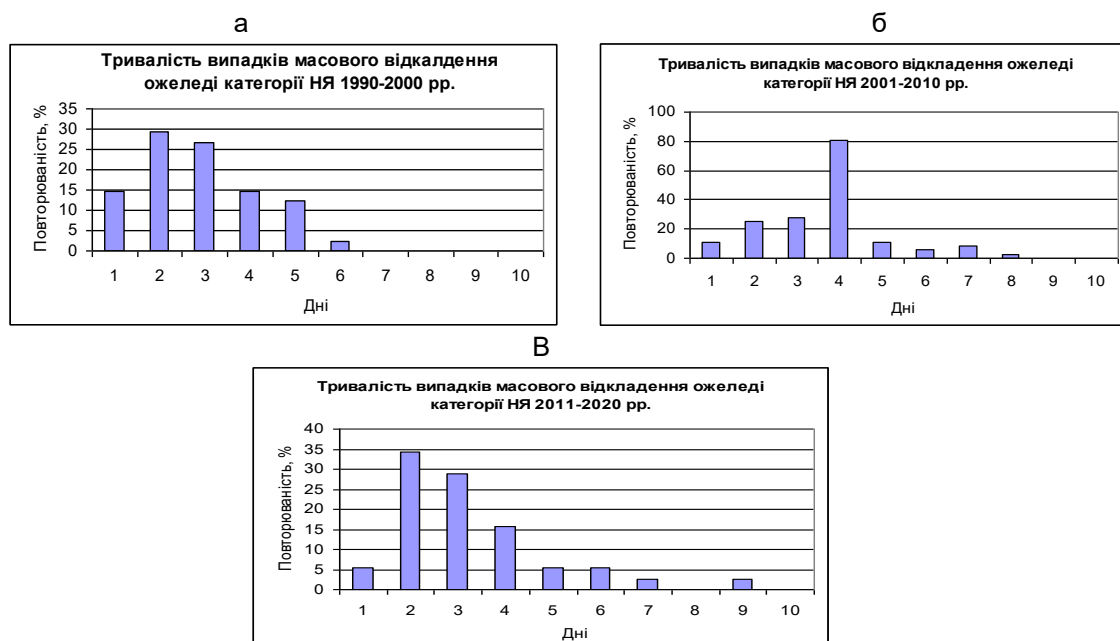


Рис. 3. Тривалість випадків масового відкладення ожеледі категорії НЯ на території України протягом окремих десятиріч: а) 1991-2000 рр.; б) 2001-2010 рр.; в) 2011-2020 рр.

2011-2020 рр. Протягом останнього десятиріччя було виявлено 38 випадків масового відкладення ожеледі категорії НЯ (табл. 3, рис. 1 (в)). На відміну від попереднього десятиріччя кількість таких випадків залишилась сталою у січні, збільшилась в листопаді та грудні, проте зменшилась у лютому. Незначні зміни відбулись і у березні. Загалом такі випадки розповсюджувались на території від 2 до 3-4 (відповідно 34,2 та 31,6 %), а також 5-6 областей (21,1 %). Проте зимою їх повторюваність могла бути більше, навіть до 42,9 – 50,0 %. Також треба зазначити, що саме у цьому десятиріччі виявлено більш розповсюджені випадки масового відкладення ожеледі категорії НЯ ніж у двох попередніх десятиріччях. На рисунку 2 (в) представлено картосхеми, які відображають просторове розповсюдження випадків масового характеру відкладень ожеледі категорії НЯ на території України протягом 2011-2020 рр.

Таблиця 3. Кількість випадків масового відкладення ожеледі категорії НЯ на території України протягом 2011-2020 рр.

Місяць	Роки										Усього	%
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		
I	1	0	2	3	0	2	2	0	1	0	11	28,9
II	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	4	10,5
III	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	4	10,5
IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
X	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2,6
XI	0	1	0	1	0	0	2	2	1	0	7	18,4
XII	1	1	2	2	1	0	0	1	0	3	11	28,9
Усього	2	2	6	8	1	2	5	6	3	3	38	100,0

Здебільшого такі відкладення при їх масовому розповсюдженні спостерігаються у центральних та південних областях. В окремих випадках до них можуть залучатись окремі області на півночі та сході та рідше на заході. Серед найбільших випадків можна назвати ті, які трапились у січні 2013 (особливо 19-23.01.2013), 2014, 2016, 2019 рр.; лютому 2013; березні 2018; жовтні 2014; листопаді 2014; грудні 2014, 2018, 2020 рр. (особливо 9-15.12.2010 р.).

Аналізуючи тривалість випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі категорії НЯ протягом 2011-2020 рр., можна сказати, що так само як і у попередні десятиріччя найбільшу повторюваність мають градації 2 (34,2 %) та 3 (28,9 %) дні, дещо менше 4 дні (15,8 %). Повторюваність інших градацій значно менша. (рис. 3 (в)), проте виявлено 1 випадок тривалістю 9 днів.

Повторюваність окремих областей на території яких у випадках масового розповсюдження відкладень ожеледі спостерігались її відкладення протягом місяців холодного року 2011-2020 рр. показано на рис. 4 (в). Встановлено, що у січні найбільш часто відкладення ожеледі категорії НЯ при масовому їх розповсюдженні частіше спостерігались на території Дніпропетровської (12,8 %), Одеської та Херсонської областей (по 10,6 %). Дещо меншу повторюваність мали Харківська, Черкаська, Кіровоградська а також Луганська та АР Крим. Тобто здебільшого такі відкладення при їх масовому розповсюдженні частіше спостерігались у центрі та півдні країни. На решту областей припадало 2,1-4,3 %. На території ряду областей відкладень ожеледі категорії НЯ масового розповсюдження не спостерігалось – Чернігівська, Сумська, Волинська, Житомирська, Івано-Франківська, Закарпатська.

У лютому частіше усього такі відкладення при масовому їх розповсюдженні спостерігаються на Тернопільщині, Вінниччині та Одещині (по 16,7 %), тобто у західній та південно-західній частині країни, а також у деяких інших областях – Чернівецькій, Київській, Полтавській, Кіровоградській, Донецькій, Херсонській (8,3 %). На решті областей таких відкладень масового характеру не спостерігалось.

У березні здебільшого такі відкладення спостерігаються на Черкащині (13,6 %), а також Полтавщині, Дніпропетровщині, Харківщині, Луганщині, Донеччині (9,1 %). Тобто у цілому частіше у випадках відкладення ожеледі категорії НЯ масового розповсюдження вони спостерігаються у центрі та на сході країни. На інші області припало по 4,5 %. На території Чернігівщини, Волині, Рівненщини, Житомирщини, Київщини, Хмельниччини, Тернопільщини, Івано-Франківщини та Закарпаття відкладень ожеледі категорії НЯ при її масовому розповсюдженні не спостерігалось.

У 2011-2020 рр. спостерігався 1 випадок масового розповсюдження відкладень ожеледі категорії НЯ у жовтні. Під час нього такі відкладення спостерігались на Кіровоградщині, Дніпропетровщині, Одещині, Миколаївщині та Херсонщині по 1 відкладенню у кожній з них.

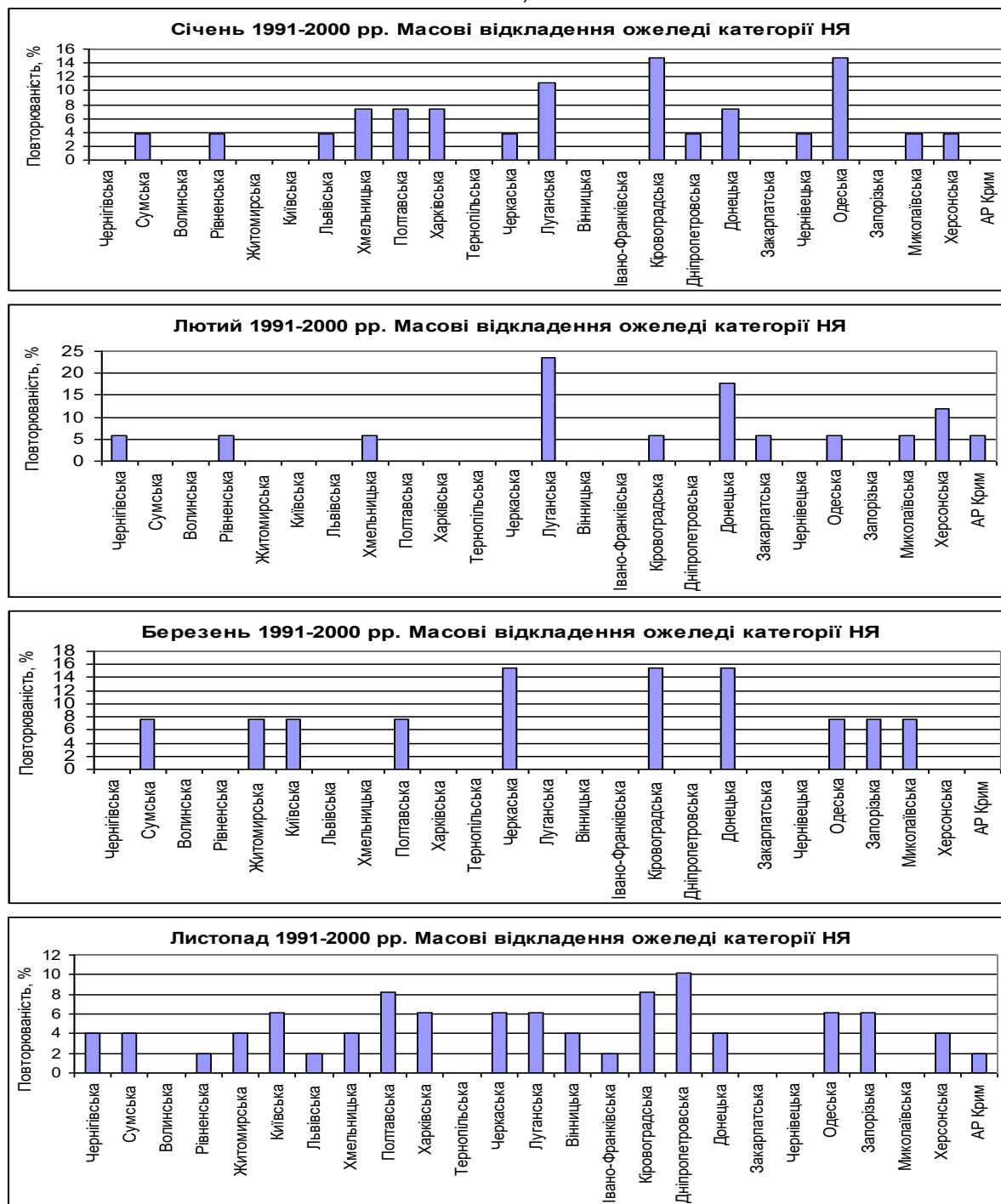
У листопаді такі відкладення при їх масовому розповсюдженні частіше спостерігались на території північно-західних, північних та окремих розташованих поруч з ними центральних областях – Житомирщині, Київщині, Тернопільщині, Вінниччині. (13,0 %). Також можна назвати ще декілька областей – Хмельниччина, Дніпропетровщина та Запоріжжя. Їх повторюваність була дещо нижча ніж у вищезгаданих (8,7 %), проте їх

внесок є помітним. Повторюваність інших областей в таких випадках становила 4,3 %. У ряді областей, таких як Чернігівська, Сумська, Рівненська, Житомирська, Львівська, Полтавська, Черкаська, Харківська, Луганська, Одеська Миколаївська, Херсонська, АР Крим випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі категорії НЯ не спостерігалось.

У грудні 2011-2020 рр. у випадках масового розповсюдження відкладень ожеледі категорії НЯ найбільш часто були задіяні Кіровоградська (11,6 %), Полтавська та Харківська області (по 9,3 %), а також Тернопільська, Чернівецька та Дніпропетровська області (7,0 %). Внесок решти областей становив 2,3 – 4,7 %. На території Волинської, Рівненської, Львівської, Черкаської, Луганської та Миколаївської областей таких відкладень при масовому їх прояві не спостерігалось.

Початок рис. 4

а)



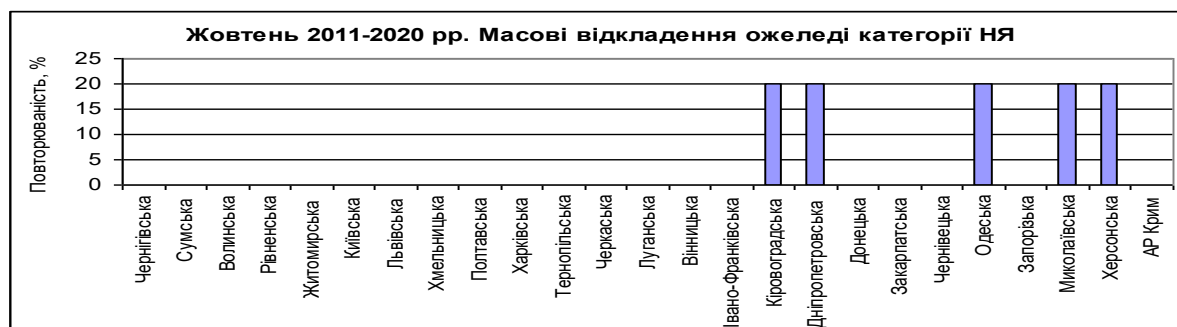


Б





В



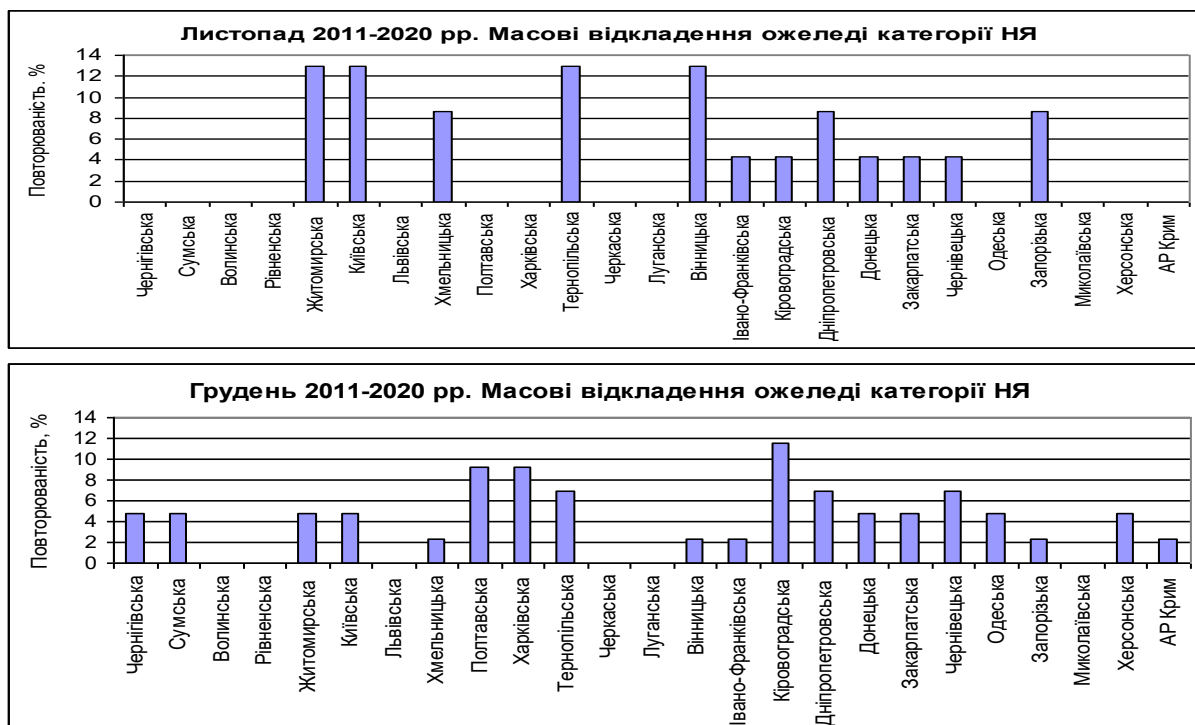


Рис. 4. Повторюваність (%) областей на території яких у випадках масового розповсюдження ожеледі категорії НЯ спостерігались такі відкладення. Протягом окремих десятиріч: а) 1991-2000 рр.; б) 2001-2010 рр.; в) 2011-2020 рр.

2. Розподіл випадків масового відкладення ожеледі категорії СГЯ. Випадки масового відкладення ожеледі категорії СГЯ (стихійна) спостерігаються на території України протягом місяців холодного періоду року у січні, лютому, листопаді та грудні. Спільним для кожного з трьох десятиріч досліджуваного періоду 1991-2020 рр. є те що випадки таких відкладень спостерігались у грудні (табл. 4-6), проте у кожному з десятиріччя спостерігається перевага окремих з досліджуваних місяців. Так, у періоді 1991-2000 рр. такі випадки переважали у листопаді (75,0 %), у 2001-2010 у лютому та грудні (50,0%), 2011-2020 рр. у січні (50,0 %). У цілому такі випадки охоплювали 2 або щонайбільше 3-4 області, однак траплялись визначні випадки, коли кількість областей могла бути значно більшою (рис. 5 (а-в)). Тривалість періодів масового відкладення ожеледі категорії СГЯ здебільшого тривала 3-4 дні. Найбільш визначним за територіальним поширенням випадком відкладень ожеледі категорії СГЯ був випадок у періоді 1991-2000 рр. - 25.11.-7.12.2000 р. тривалість якого становила більше 13 днів та поширювався на території 8 областей, які розташовувались з північного заходу від Житомирщини, Хмельниччини та Чернівецьчини на південний захід та південь (Одеська, Миколаївщина), а також окремі центральні області (Вінниччина, Кіровоградщина, Полтавщина). Інший поширений випадок стався 17-20.01.2014 р. , коли відкладення ожеледі категорії СГЯ спостерігались від Передкарпаття (Львівщина, Тернопільщина) та Закарпаття (Плай) на південний захід та південь (Одеська, Миколаївщина, Херсонщина, АР Крим) та на схід (Донецьчина).

Загалом можна виділити області та станції де частіше спостерігаються такі відкладення, зокрема при їх масовому розповсюдженні. Так, на заході та північному заході вони частіше спостерігаються на Плаю, Пожижевській, Раві-Руській, Кам'янці-Бузькій, Новій Ушиці, Олевську, Житомирі; у центрі – Вінниці, Помічній, Долинській, Полтаві, Кривому Розі, Чаплиному, Синельниковому, Нікополі, Пришибі, Запоріжжі; на півдні – Любашівці, Сербці, Роздільній, Миколаєві, Очакові, Бехтерах; на сході – Дар'ївці. Дебальцевому, Маріуполі. Тобто за частотою прояву таких відкладень можна виділити ряд регіонів – захід- північний захід – Карпатський регіон - Передкарпаття (та частково

Полісся); центр – Вінниччина, південь Кіровоградщини та південь-південний схід Дніпропетровщини, центр Запоріжжя; південний захід-південь – більша частина Одещини, південь Миколаївщини, південь-південний схід Херсонщини.

Таблиця 4. Кількість випадків масового відкладення ожеледі категорії СГЯ на території України протягом 1991-2000 рр.

Місяць	Роки										Усього	%
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000		
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
XI	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	75,0
XII	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	25,0
Усього	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	4	100,0

Таблиця 5 Кількість випадків масового відкладення ожеледі категорії СГЯ на території України протягом 2001-2010рр.

Місяць	Роки										Усього	%
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010		
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	50,0
III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
XI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
XII	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	50,0
Усього	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	100,0

Таблиця 6. Кількість випадків масового відкладення ожеледі категорії СГЯ на території України протягом 2011-2020 рр.

Місяць	Роки										Усього	%
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		
I	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	50,0
II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
XI	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	25,0
XII	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	25,0
Усього	0	0	1	2	0	0	1	0	0	0	4	100,0

Висновки. Зважаючи на вище викладене можна зробити ряд висновків, а саме

1. Випадки масового відкладення ожеледі категорії НЯ (небезпечна) частіше спостерігаються у зимові місяці, особливо у грудні та січні.

2. Встановлений певний перерозподіл кількості випадків масового відкладення ожеледі категорії НЯ по окремих з досліджуваних десятиріччях. Збільшення кількості таких випадків у січні 2001-2010 та 2011-2020 рр. порівняно із першим десятиріччям 1991-2000 рр. та певне збільшення кількості випадків у листопаді порівняно із 2001-2010 рр. В інших з досліджуваних місяців також відбувся певний перерозподіл їх кількості – в останнє десятиріччя зменшилась їх кількість у лютому особливо порівняно із 2001-2010 рр., а також у грудні порівняно із тим самим періодом.

3. Здебільшого тривалість випадків масового відкладення ожеледі категорії НЯ становить 2-3 дні, що характерно для усіх 3-х досліджуваних десятиріч. У найбільш тривалих та розповсюджених випадках тривалість може становити 4-5 та більше днів (8-9).

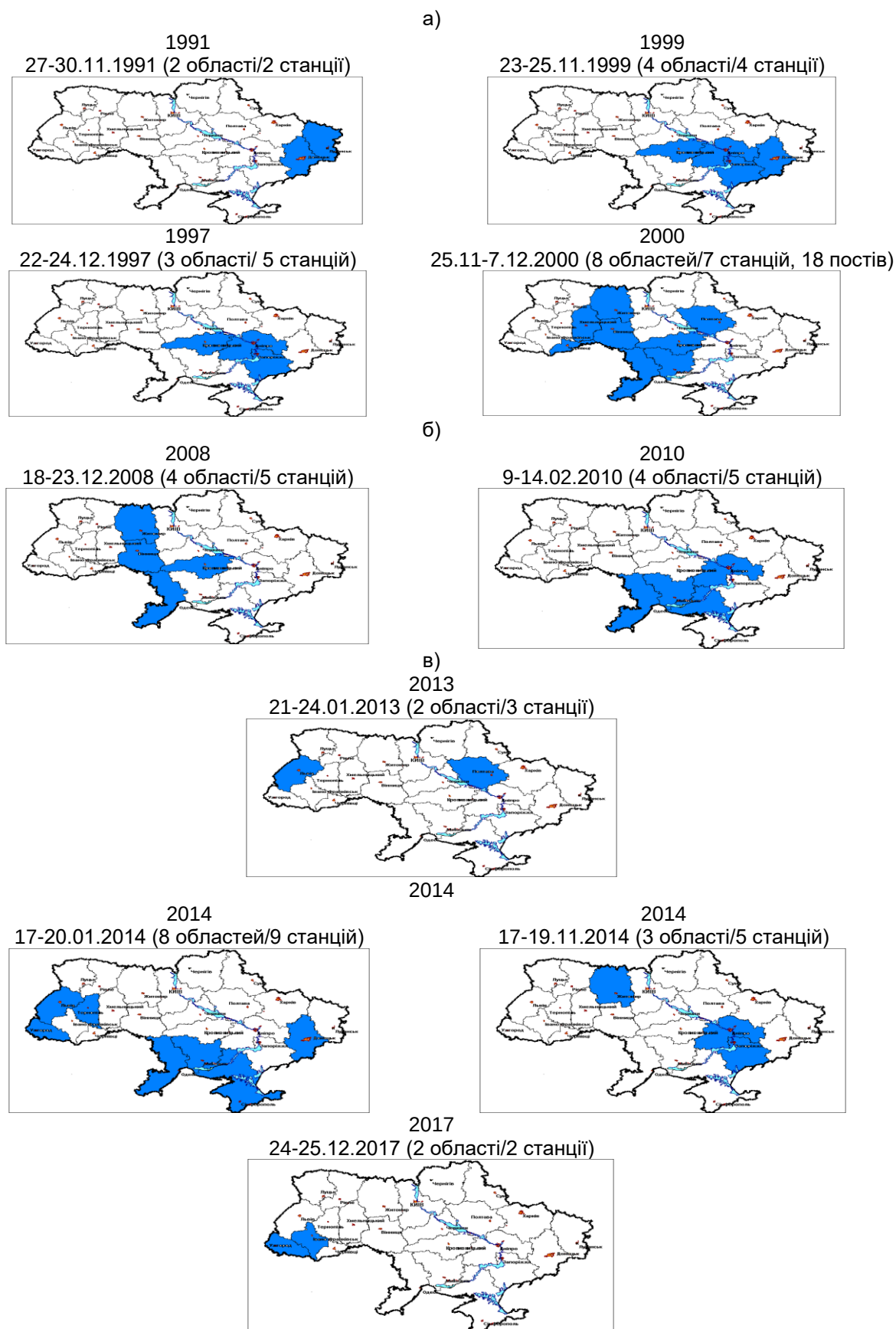


Рис. 5. Просторово-часове розповсюдження випадків масового відкладення ожеледі категорії СГЯ по території України протягом десятиріч: а) 1991-2000 рр.; б) 2001-2010 рр.; в) 2011-2020 рр.

4. Встановлено, що у 2001-2010 та 2011-2020 рр. було виявлено більш тривалі випадки масового розповсюдження відкладено ожеледі категорії НЯ порівняно із 1991-2000 рр.

5. Доведено, що при масовому відкладенні ожеледі категорії НЯ здебільшого такі відкладення спостерігаються у центральних, південних та східних областях. Серед них особливо треба виділити Кіровоградську, Дніпропетровську, Одеську, Херсонську, Донецьку та Луганську області.

6. Випадки масового відкладення ожеледі категорії СГЯ протягом досліджуваних десятиріч частіше зустрічаються у листопаді та грудні, проте окремі з них відмічались у січні та лютому.

7. За просторовим розповсюдженням у випадках масового характеру відкладення ожеледі категорії СГЯ вони спостерігаються на території від 2-х до 3-4 областей, проте трапляються більш масштабні.

8. Найбільш розповсюдженими виявились 2 випадки у 1991-2000 (25.11.-7.12.2000р.) та у 2011-2020 р. (17-20.01.2014 р.) які поширювалися на території 8 областей.

9. Здебільшого при масовому розповсюдженні відкладень ожеледі категорії СГЯ вони зустрічаються на території ряду регіонів – захід- північний захід – Карпатський регіон - Передкарпаття (та частково Полісся); центр – Вінниччина, південь Кіровоградщини та південь-південний схід Дніпропетровщини, центр Запоріжжя; південний захід-південь – більша частина Одещини, південь Миколаївщини, південь-південний схід Херсонщини.

Перспективи подальших досліджень. У подальшому для висвітлення сучасного стану та динаміки утворення і розповсюдження ожеледо-паморозевих відкладень вважається необхідним дослідити інші їх види на території України, зважаючи на триваючі зміни клімату та збільшення випадків небезпечних та стихійних явищ.

Список літератури

1. Аржанова Н.М., Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н. Специализированный массив данных гололедно-изморозевых явлений для мониторинга климата и климатических исследований. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 182. С. 101-110.
2. Аржанова Н.М., Коршунова Н.Н. Характеристики гололедно-изморозевых явлений на территории России в условиях современных изменений климата. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 184. С. 33-44.
3. Аржанова Н.М., Коршунова Н.Н. Мониторинг характеристик гололедно-изморозевых отложений на территории России в холодный сезон 2017-2018 годов. Труды ГГО. 2020. Вып. 597. С. 90-103.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование опасных метеорологических явлений и процессов. Государственный стандарт Республики Беларусь. СТБ. 1406-2003 (ГОСТ Р 22.1.07-99). – 15 с.
5. Волеваха Н.М. О влиянии орографии на гололедные отложения. Труды УкрНИГМИ, 1958 Вып. 13. С. 82-86.
6. Волеваха В.А., Волконская Н.К., Башкирова Л.Е. О возможности прогнозирования интенсивности отложения гололеда. Труды УкрНИГМИ, 1986. Вып. 219. С. 56-67.
7. Волеваха В.А., Прохоренко В.М. Рекомендации к прогнозу умеренного и сильного гололеда на Украине. Труды УкрНИГМИ. 1991. Вып. 239. 48-55.
8. Гледко Ю.А., Бережкова Е.С. Анализ метеорологической обстановки в условиях обледенения и гололеда. География. Геология. БГУ. 2020. Вып. 2. С. 14-25.
9. Инструкция по подготовке к работе в зимний период и организации снегоборьбы на железных дорогах, в других филиалах и структурных подразделениях ОАО «РЖД», а также его дочерних и зависимых обществах. Вагоны и вагонное хозяйство. Изд-во Российские железные дороги. М.: 2014. № 3 (39). С. 14-22.
10. Климат Украины [Монография] / Под ред. Г.Ф. Прихотько, А.В. Ткаченко, В.Н. Бабиченко. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 413 с.
11. Клімат України [Монографія] / За ред.. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – К.: Вид-во. Раєвського, 2003. – 343 с.
12. Кошенко А.М. Особо опасные отложения гололеда на Украине. Труды УкрНИГМИ, 1976. Вып. 134. С. 79-91.
13. Кошенко А.М. Рекомендации к прогнозу фронтальных гололедов на Украине. Труды УкрНИГМИ, 1972. Вып. 113. С. 3-8

14. Кошенко А.М. Некоторые характеристики внутримассовых гололедов на Украине. Труды УкрНИГМИ, 1972. Вып. 113. С. 9-18.
15. Минуллин Р.Г., Губарев Д.Ф. Обнаружение гололедных образований на линиях электропередачи локационным зондированием. Казань. 2010. – 209 с.
16. Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні і стихійні явища погоди. КД 52.4.3.01-03. Державна гідрометеорологічна служба. Київ. 2003. – 30 с.
17. Настанова з гідрометеорологічного прогнозування. Нормативний документ. Київ, 2019. – 35 с.
18. Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Вип. 3. Ч. 1. Метеорологічні спостереження на станціях. Керівний документ. Державна гідрометеорологічна служба. Київ, 2011. 279 с.
19. Опасные явления погоды на Украине [Монография] / Под ред. К.Т. Логвинова. Труды УкрНИГМИ. 1972. Вып. 110. 235 с.
20. Природа Украинской ССР. Климат [Монография] / Под ред. К.Т. Логвинова, М.И. Щербаня. - К.: Наукова думка, 1984. – 231 с.
21. Прохоренко М.М., Раевский А.Н. Особенности распределения гололедно-изморозевых отложений на территории Украины в аномальные зимы. Метеорология, климатология и гидрология, 1975. Вып. 11. С. 33-37.
22. Пясецька С.І. Характер масового розповсюдження відкладень ожеледі на території України в останнє двадцятиріччя протягом 2001-2010 та 2011-2020 рр. Матеріали міжнародної наукової конференції «Перспективи дослідження Землі: поточний стан та раціональне використання ресурсів». 28-29 грудня 2021 р. м. Люблін, Республіка Польща [Prospects for Earth exploration: current state and rational use of resources. Lublin, Republic of Poland. December 28-29. 2021]. С. 82-86. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-183-1-22>.
23. Пясецька С.І. Особливості розповсюдження масових випадків відкладень ожеледі, налипання мокрого снігу та складних відкладень категорії НЯ (небезпечної) та СГЯ (стихійної) на території України протягом останнього десятиріччя 2011-2020 рр. [Колективна монографія]. Нові імпульси розвитку природничих наук в Україні та країн ЄС. [New impulses for the development of natural sciences in Ukraine and EU countries. Wloclawek, 2021]. С. 135-163. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-141-1-6>
24. Пясецька С.І. Характеристика випадків масового розповсюдження відкладень ожеледі на території України у місяці холодного періоду року та окремі місяці перехідних сезонів по десятиріччях періоду 1991–2020 рр. [Колективна монографія]. Сучасний стан фундаментальних і прикладних природничих наукових досліджень. [The current state of fundamental and applied natural sciences research. Wloclawek, 2022]. С. 276-300. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-212-8-13>
25. Раевский А.Н. К вопросу о повторяемости гололеда. Метеорология и гидрология. 1953. № 1. С. 28-31.
26. Раевский А.Н. Влияние рельефа на распределение гололеда на территории Украины. Труды УкрНИГМИ, 1961. Вып. 29. С. 50-62.
27. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч. I. Л.; Гидрометеиздат. 1986. 702 с.
28. Стихийные метеорологические явления на Украине и Молдавии [Монография] / Под ред. В.Н. Бабиченко. - Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 223 с.
29. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005 рр.) [Монографія] / За ред. В.М.Ліпінського, В.І.Осадчого, В.М. Бабіченко. – К.: Вид-во Ніка-Центр, 2006. – 311 с.

References

1. Arzhanova N.M., Bulygina O.N., Korshunova N.N. Spetsializirovannyi massiv dannykh gololedno-izmorozevykh yavleniy dlya monitoringa klimata i klimaticheskikh issledovaniy [Specialized ice-hoar frost data array for climate monitoring and climate research]. Trudy VNIIGMI-MTSD. 2018. Vyp. 182. S. 101-110.
2. Arzhanova N.M., Korshunova N.N. Kharakteristiki gololedno-izmorozevykh yavleniy na territorii Rossii v usloviyakh sovremennykh izmeneniy klimata [Characteristics of ice-hoar frost phenomena on the territory of Russia under the conditions of modern climate change]. Trudy VNIIGMI-MTSD. 2019. Vyp. 184. S. 33-44.
3. Arzhanova N.M., Korshunova N.N. Monitoring kharakteristik gololedno-izmorozevykh otlozheniy na territorii Rossii v kholodnyy sezon 2017-2018 godov [Monitoring of the characteristics of ice-frost deposits on the territory of Russia in the cold season of 2017-2018]. Trudy GGO. 2020. Vyp. 597. S. 90-103.
4. Bezopasnost' v chrezvychaynykh situatsiyakh. Monitoring i prognozirovaniye opasnykh meteorologicheskikh yavleniy i protsessov [Safety in emergency situations. Monitoring and forecasting of

dangerous meteorological phenomena and processes. State standard of the Republic of Belarus. STB. 1406-2003]. Gosudarstvennyy standart Respubliki Belarus'. STB. 1406-2003 (GOST R 22.1.07-99).15 s.

5. Volevakh N.M. O vliyaniy orografii na gololednyye otlozheniya [On the effect of orography on ice deposits]. Trudy UkrNIGMI, 1958. Vyp. 13. S. 82-86.

6. Volevakh V.A., Volkonskaya N.K., Bashkirov L.Ye. O vozmozhnosti prognozirovaniya intensivnosti otlozheniya gololeda [On the possibility of predicting the intensity of ice deposition]. Trudy UkrNIGMI, 1986. Vyp. 219. S. 56-67.

7. Volevakh V.A., Prokhorenko V.M. Rekomendatsii k prognozu umerennogo i sil'nogo gololeda na Ukraine [Recommendations for the forecast of moderate and heavy ice in Ukraine]. Trudy UkrNIGMI. 1991. Vyp. 239. 48-55.

8. Gledko YU.A., Berezhkova Ye.S. Analiz meteorologicheskoy obstanovki v usloviyakh obledineniya i gololeda [Analysis of the meteorological situation in conditions of icing and ice]. Geografiya. Geologiya. BGU. 2020. Vyp. 2. S. 14-25.

9. Instruksiya po podgotovke k rabote v zimniy period i organizatsii snegobor'by na zheleznykh doroga, v drugikh filialakh i strukturnykh podrazdeleniyakh OAO «RZHD», a takzhe yego dochernikh i zavisimyykh obshchestvakh [Instructions for preparing for work in the winter period and organizing snow fighting on railways, in other branches and structural divisions of Russian Railways, as well as its subsidiaries and affiliates]. Vagony i vagonnoye khozyaystvo. Izd-vo Rossiyskiye zheleznyye dorogi. M.: 2014. № 3 (39). S. 14-22.

10. Klimat Ukrainy [Monografiya] / Pod red. G.F. Prihot'ko, A.V. Tkachenko, V.N. Babichenko. [Climate of Ukraine]. – L.: Gidrometeoizdat, 1967. – 413 s.

11. Klímat Ukraíni [Monografiya] / Za red. V.M. Lípíns'kogo, V.A. Dyachuka, V.M. Babíchenko [Climate of Ukraine]. – K.: Vid-vo. Raévs'kogo, 2003. – 343 s.

12. Koshenko A.M. Osobo opasnyye otlozheniya gololeda na Ukraine [Particularly dangerous ice deposits in Ukraine] Trudy UkrNIGMI, 1976. Vyp. 134. S. 79-91.

13. Koshenko A.M. Rekomendatsii k prognozu frontal'nykh gololedov na Ukraine [Recommendations for the forecast of frontal ice in Ukraine]. Trudy UkrNIGMI, 1972. Vyp. 113. S. 3-8.

14. Koshenko A.M. Nekotoryye kharakteristiki vnutrimassovykh gololedov na Ukraine [Some characteristics of intramass ice in Ukraine]. Trudy UkrNIGMI, 1972. Vyp. 113. S. 9-18.

15. Minullin R.G., Gubarev D.F. Obnaruzheniye gololednykh obrazovaniy na liniyakh elektroperedachi lokatsionnym zondirovaniyem [Detection of ice formations on power lines by location sounding]. Kazan'. 2010. – 209 s.

16. Nastanova po sluzhbi prognoziv ta poperedzhen' pro nebezpechni i stikhiyni yavishcha pogodi. KD 52.4.3.01-03 [Instruktion according to the service of forecasts and warning about the unsafe and natural phenomena of the weather. KD 52.4.3.01-03. State hydrometeorological service]. Derzhavna gidrometeorologichna sluzhba. Kiyv. 2003. – 30 s.

17. Nastanova z gidrometeorologichnogo prognozuvannya. Normativniy document [Instruktion from hydrometeorological forecasting. Normative document]. Kiyv, 2019. – 35 s.

18. Nastanova gidrometeorologichnim stantsiyam i postam. Vip. 3. CH. 1. Meteorologichni sposterezheniya na stantsiyakh. Kerivniy dokument. Derzhavna gidrometeorologichna sluzhba [Instruktion for hydrometeorological warnings at stations. Core document. State hydrometeorological service]. Kiyv, 2011. 279 s.

19. Opasnyye yavleniya pogody na Ukraine [Monografiya] / Pod red. K.T. Logvinova [Dangerous weather phenomena in Ukraine]. Trudy UkrNIGMI. 1972. Vyp. 110. 235 s.

20. Priroda Ukrainskoy SSR. Klimat [Monografiya] / Pod red. K.T. Logvinova, M.I. Shcherbanya [Nature of the Ukrainian SSR. Climate] - K.: Naukova dumka, 1984. – 231 s.

21. Prokhorenko M.M., Rayevskiy A.N. Osobennosti raspredeleniya gololedno-izmorozevykh otlozheniy na territorii Ukrainy v anomal'nyye zimy [Peculiarities of distribution of ice-hoar frost deposits on the territory of Ukraine in anomalous winters]. Meteorologiya, klimatologiya i gidrologiya, 1975. Vyp. 11. S. 33-37.

22. Pyasetska S.Í. Kharakter masovogo rozpovsyudzhennya vídkladen' ozheledí na teritorii Ukraíni v ostannê dvadtsyatirichchya protyagom 2001-2010 ta 2011-2020 rr. Materiáli mizhnarodnoi naukovoí konferentsii Perspektivi doslidzhennya Zemli: potochniy stan ta ratsional'ne vikoristannya resursiv. 28-29 grudnya 2021 r. m. Lyublín, Respublika Pol'shcha [Prospects for Earth exploration: current state and rational use of resources. Lublin, Republic of Poland. December 28-29. 2021]. S. 82-86. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-183-1-22>.

23. Pyasetska S.Í. Osoblivosti rozpovsyudzhennya masovikh vipadkiv vídkladen' ozheledí, nalipannya mokrogo snigu ta skladnikh vídkladen' kategorii NYA (nebezpechnoi) ta SGYA (stikhiynoi) na teritorii Ukraíni protyagom ostann'ogo desyatirichchya 2011-2020 rr. [Kolektivna monografiya]. Noví ímpul'si rozvitku prirodnichikh nauk v Ukraíni ta kraín ES. [New impulses for the development of natural

sciences in Ukraine and EU countries. Wloclawek, 2021]. S. 135-163. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-141-1-6>

24. Pyasetska S.I. Kharakterystyka vypadkiv masovoho rozpovsyudzhennya vidkladen' ozheledi na terytoriyi Ukrayiny u misyatsi kholodnoho periodu roku ta okremi misyatsi perekhidnykh sezoniv po desyatyrichchakh periodu 1991–2020 rr. [Kolektyvna monohrafiya]. Characteristics of cases of mass distribution of ice deposits on the territory of Ukraine in the months of the cold period of the year and some months of transition seasons by decades of the period 1991-2020 [Collective monograph]. The current state of basic and applied natural science research. Wloclawek, 2022. S. 276-300. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-212-8-13>

25. Raevskiy A.N. K voprosu o povtoryayemosti gololeda [To the question of the repeatability of ice.]. Meteorologiya i gidrologiya. 1953. № 1. S. 28-31.

26. Raevskiy A.N. Vliyaniye rel'yefa na raspredeleniye gololeda na territorii Ukrainy [Influence of the relief on the distribution of ice on the territory of Ukraine.]. Trudy UkrNIGMI, 1961. Vyp. 29. S. 50-62.

27. Rukovodstvo po kratkosrochnym prognozam pogody [Guide to short-range weather forecasts] CH. I. L.; Gidrometeoizdat. 1986. – 702 s.

28 Stikhiynnye meteorologicheskiye yavleniya na Ukraine i Moldavii [Monografiya] / Pod red. V.N. Babichenko [Natural meteorological phenomena in Ukraine and Moldova]. - L.: Gidrometeoizdat, 1991. – 223 s.

29. Stikhiynni meteorologichni yavishcha na teritorii Ukraïni za ostannê dvadtsyatirichchya (1986-2005 rr.) [Monografiya] / Za red. V.M.Lipins'kogo, V.Í.Osadchogo, V.M. Babichenko [Natural meteorological phenomena on the territory of Ukraine for the rest of the twenty years (1986-2005)]. – K.: Vid-vo Nika-Tsentru, 2006. – 311 s.

Spatial-temporal distribution of cases of mass disposal of ice of the category DP (dangerous) and SHP (spontaneous) categories on the territory of Ukraine during 1991-2020.

Pyasetska S.I.

The work is devoted to the research of features of spatio-temporal distribution of cases of mass deposition of ice in the category of DP (dangerous) and SHP (spontaneous) during the last three decades (1991-2020). NE and SGYA) on the territory of Ukraine for a certain period of time. The study was based on materials for monitoring ice deposits on a standard ice machine at all meteorological stations in Ukraine. It was found that cases of mass distribution of ice deposits in the category of NE and OHS are more common in the winter months of December-January and November. The increase in the number of cases of mass deposition of NY ice in January, March and November 2011-2020 compared to 2001-2010 has been proved. Spatial differentiation on the territory of Ukraine of such cases during separate ten-year periods, which characterize the current state of climate of Ukraine, is revealed. From the above we can draw conclusions, namely

Given the above, we can draw a number of conclusions, namely

Cases of mass deposition of ice category DP (dangerous) are more common in the winter months, especially in December and January.

There is a certain redistribution of the number of cases of mass deposition of ice in the category of NO for some of the studied decades. The increase in the number of such cases in January 2001-2010 and 2011-2020 compared to the first decade of 1991-2000 and a certain increase in the number of cases in November compared to 2001-2010. in the last decade, their number decreased in February, especially compared to 2001-2010, and in December compared to the same period.

For the most part, the duration of cases of mass deposition of ice category DP is 2-3 days, which is typical for all 3 studied decades. In the longest and most common cases, the duration can be 4-5 or more days (8-9).

It is established that in 2001-2010 and 2011-2020 longer cases of mass spread of postponed ice of the DP category were revealed in comparison with 1991-2000.

It is proved that in the case of mass deposition of ice of the DP category, such deposits are mostly observed in the central, southern and eastern regions. Among them are Kirovohrad, Dnipropetrovsk, Odessa, Kherson, Donetsk and Luhansk regions.

Cases of mass deposition of ice in the category of SHP during the studies for decades are more common in November and December, but some of them were observed in January and February.

According to the spatial distribution in cases of mass nature of ice deposits of the SHP category, they are observed in the territory from 2 to 3-4 oblasts, but there are larger ones.

The most common were 2 cases in 1991-2000 (25.11.-7.12.2000) and in 2011-2020 (17-20.01.2014) which spread to 8 oblasts.

Mostly with the mass distribution of ice deposits of the SHP category, they are found in a number of regions - west-northwest - Carpathian region - Precarpathia (and partly Polissya); center - Vinnytsia region, south of Kirovohrad region and south-southeast of Dnipropetrovsk region, center of Zaporizhia; southwest-south - most of Odessa region, south of Mykolayiv region, south-southeast of Kherson region

Keywords: cases of mass deposition of ice in the categories of DP (dangerous) and SHP (spontaneous), territory of Ukraine, spatio-temporal differentiation.

Надійшла до редколегії 26.11.2022

ПОРЯДОК ПОДАННЯ І ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ ДО ПЕРІОДИЧНОГО НАУКОВОГО ЗБІРНИКА “ГІДРОЛОГІЯ, ГІДРОХІМІЯ І ГІДРОЕКОЛОГІЯ”

Періодичність: науковий збірник “Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія”, заснований у 2000 р., виходить 4 рази на рік. Він готується до видання на базі кафедри гідрології та гідроекології географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Наукова тематика збірника:

- теоретичні та експериментальні гідрологічні, гідрохімічні та гідроекологічні дослідження водних об’єктів;
- вплив кліматичних змін на елементи гідрологічного режиму;
- оцінка антропогенного впливу на водні об’єкти;
- аналіз катастрофічних гідрологічних явищ та їхній вплив на водні об’єкти;
- управління, використання та охорона водних ресурсів;
- якість води в джерелах водопостачання;
- географічні аспекти досліджень глобального гідрологічного циклу.

Приймаються до публікації рецензії на наукові видання, інформація про діяльність відомих вчених в області гідрології, гідрохімії та гідроекології, які присвячені ювілейним датам, матеріали про фахові конференції, що відбулися в Україні і за кордоном, анотації монографій і навчально-методичних видань.

Структура статті - авторам необхідно орієнтуватися на наступну рубрикацію при написанні статті:

- УДК, прізвище та ініціали автора/ів, назва установи, назва статті;
- анотація українською (мовою оригіналу);
- ключові слова;
- вступ, актуальність теми дослідження;
- аналіз виконаних досліджень за означеною темою;
- мета дослідження;
- матеріали та методи дослідження;
- виклад основного матеріалу (в тексті можливе виділення підпунктів);
- висновки;
- список літератури: оригінальний та транслітерований (References) з англійським перекладом назв;
- анотація англійською.

Мова публікацій – українська, англійська або інші офіційні мови Європейського Союзу (ст. 22 Закону України «Про забезпечення функціонування української мови як державної» від 25 квітня 2019 р). У разі публікації англійською мовою або іншими офіційними мовами Європейського Союзу стаття має супроводжуватися анотацією і переліком ключових слів українською мовою. Текст повинен бути відредагованим і оформленим без помилок.

Етичні норми – матеріал, викладений у статті має бути оригінальним, раніше не опублікованим, поданим з дотриманням академічної доброчесності. Автори несуть повну відповідальність за зміст і достовірність викладених у статті матеріалів.

Для одноосібних статей, поданих студентами, обов’язковим є відгук наукового керівника.

Рецензування статей - всі статті проходять процедуру закритого рецензування двома рецензентами-спеціалістами за темою дослідження. Авторам повідомляються результати з метою реагування на зауваження рецензентів. Редколегія залишає за собою право відхилення статей, що не відповідають вимогам до наукових публікацій або у разі негативних рецензій.

Оформлення рукопису статті:

- обсяг статті - до 14 стор. (основний текст, таблиці, рисунки, список літератури, анотації); матеріал обсягом менше 4 стор. – наукові повідомлення;
- шрифт Arial, кегль 11, Word 6-8;
- поля - всі по 2.5 см; інтервал – 1, абзац – 1,00;

- виділення шрифтами «титольної» частини статті:
УДК - кегль 11;
через інтервал - прізвище, ініціали автора – кегль 11, напівжирний, *нахилений*;
назва установи - кегль 10, *нахилений*;
через інтервал - назва статті (кегль 11, напівжирний, прописними);
через інтервал - анотація українською (мовою оригіналу) - кегль 9, *нахилений*;
через інтервал - ключові слова - кегль 9, *нахилений*;
через інтервал – основний текст статті (кегль 11).

Одиниці вимірювання величин і характеристик у статтях треба наводити згідно системи СІ. Зокрема, концентрацію хімічних компонентів у воді – в мг/дм³ (а не в мг/л).

Список літератури - оригінальний і транслітерований (References) з англійським перекладом назв розташовується після основного тексту статті (висновків) через один інтервал.

Оригінальний список літератури. Посередині друкується підзаголовок «Список літератури» (кегль 10, напівжирний), а потім у стовпчик подається оригінальний перелік джерел (також кегль 10). Оформляється згідно з ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання». Посилання на джерела у тексті подаються у квадратних дужках із зазначенням порядкового номера.

Транслітерований список літератури - «References». Після оригінального «Списку літератури» наводиться транслітерований латиницею список літератури із заголовком «References». Прізвища авторів – у транслітерації згідно з Постановою КМУ від 27.01.2010 № 55 «Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею». Для джерел не англійською мовою після назви роботи в квадратних дужках додається її переклад англійською мовою, наприклад:

Khilchevskiy V.K. Hidroekologichni problemy revitalizatsii richok na terytorii miskykh ahlomeratsii – mizhnarodnyi ta ukraïnskyi dosvid [Hydroecological problems of rivers revitalization on the urban ares - international and Ukrainian experience]. Hidrolohiiia, hidrokhimiiia i hidroekologhiia. 2017. № 2(45). S. 6-13.

Анотація англійською мовою розташовується після «References» через один інтервал. Анотація подається за схемою:

- назва статті (кегль 9, напівжирний),
- прізвище та ініціали автора/ів (кегль 9, напівжирний, *нахилений*);
- розширений текст анотації англійською (2000 знаків без пробілів (кегль 9, *нахилений*);
- ключові слова - до 5-6 слів чи словосполучень, розділених крапкою з комою (кегль 9, *нахилений*).

Реферат статті – додається автором/ами для розміщення в українському реферативному журналі «Джерело». Рекомендований обсяг – 850 знаків

Приклад оформлення реферату статті:

УДК 556.012 556.522

Типізація річок та озер української частини басейну Вісли та її узгодженість з дослідженнями в Польщі / Хільчевський В.К., Гребінь В.В., Забокрицька М.Р. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2017. (№ і стор. - буде представлено в редакції).

Здійснена абіотична типізація річок, яка базується на вимогах ВРД ЄС і типологічній системі адаптованій в Польщі, дозволила виділити: для басейну Західного Бугу в межах України 5 абіотичних типів річок, в межах Польщі - 7; для басейну Сану в межах України - 4 типи річок, в межах Польщі - 10. Згідно ВРД ЄС у басейні р. Західний Буг до дуже великих річок належить, власне, Західний Буг, а до великих річок - Полтва, Рата, Луга і Ріта. У басейні р. Сан до дуже великих річок належить, власне, Сан, а до великих річок - Вишня і Завадівка (Любачівка). Для виконання типізації озер у басейні Західного Бугу на території України згідно вимог ВРД ЄС необхідно провести дослідження за комплексом показників (геологічних умов водозбору, співвідношення площі водозбору до об'єму озера, вертикальної стратифікації озерних вод).

Іл. 2. Табл. 3. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: Західний Буг, Сан, Водна рамкова директива Європейського Союзу, абіотичні типи, річка, озеро

Відомості про авторів - подаються при надсиланні статті в редколегію (окремим файлом): прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь та вчене звання, місце роботи, посада, службова адреса, контактний телефон, e-mail.

Надсилання рукопису статті на адресу редколегії здійснюється в *електронному вигляді* (з назвою файлу – прізвище автора латинськими літерами), а також у *роздрукованому вигляді* у 2-х примірниках (для рецензування), один – з підписами авторів; другий – копія першого без підпису.

Наукове видання

ГІДРОЛОГІЯ, ГІДРОХІМІЯ І ГІДРОЕКОЛОГІЯ

Періодичний науковий збірник

2023 рік

№ 1 (67)

Збережено авторський стиль та орфографію

Комп'ютерна верстка – Москаленко С.О.

Підписано до друку 28.03.2023
Формат 60х90/8. Папір офсетний.
Гарнітура Arial. Друк різнограф.
Ум. др. арк. 8,0. Обл.-вид. арк. 8,2.
Наклад 100 прим. Зам. № 52-014.



Видавництво географічної літератури “Обрії”
Свідоцтво Держкомінформ України
ДК № 23 від 30.03.2000 р.
Київ, вул. Старокиївська, 10
Тел.: (096) 882-30-30
e-mail: vgl_obrii@ukr.net

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