

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

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія

Періодичний науковий збірник
№ 1 (59)

Київ

2021

ГІДРОЛОГІЯ, ГІДРОХІМІЯ І ГІДРОЕКОЛОГІЯ:

Період. наук. збірник / Гол. редактор В.К. Хільчевський. 2021. № 1 (59). 117 с.

HYDROLOGY, HYDROCHEMISTRY AND HYDROECOLOGY:

Periodic scientific collection / The editor-in-chief Valentyn Khilchevskiy. 2021. № 1(59). 117 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).
- Свідectво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації KB № 23968-13808ПР від 11 травня 2019 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
(25 лютого 2021 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, 2021

I ISSN:2306-5680 Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2021. № 1 (59)

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*

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

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Волчек Олександр Олександрович, доктор географічних наук, *Брестський державний технічний університет (Республіка Білорусь)*

Хабел Міхал (Habel Michał) – PhD (Науки про Землю), доцент, *Інститут географії Університету 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.

Характеристика водних ресурсів України на основі бази даних глобальної інформаційної системи FAO Aquastat	6
---	---

ГІДРОЛОГІЯ. ВОДНІ РЕСУРСИ

Хільчевський В.К.

Сучасна характеристика поверхневих водних об'єктів України: водотоки та водойми.....	17
--	----

Лук'янець О.І., Гребінь В.В.

Часова динаміка водно-балансових складових в басейні р. Псел.....	28
---	----

Сокур К.С., Паламарчук Л.В.

Умови формування поверхневого стоку в межах урбанізованих територій при випаданні дуже сильних та небезпечних опадів.....	36
---	----

ГІДРОХІМІЯ. ГІДРОЕКОЛОГІЯ

Жежеря В.А., Жежеря Т.П., Линник П.М.

Вплив вищої водної рослинності на вміст біогенних елементів у лімничних системах урбанізованої території.....	50
---	----

Ухань О.О., Осадча Н.М.

Оцінка антропогенного навантаження біогенними елементами та органічними речовинами у басейні р. Тетерів.....	58
--	----

ГЕОГРАФІЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ГЛОБАЛЬНОГО ГІДРОЛОГІЧНОГО ЦИКЛУ

Дідух Я.П., Винокуров Д.С.

Просторово-часові зміни біокліматичних факторів у Європі	64
--	----

Заболоцька Т.М., Шпиг В.М., Ціла А.Ю.

Циркуляційні процеси та хмарний покрив упродовж періоду глобального потепління	76
--	----

Пясецька С.І.

Відкладення паморозі категорії НЯ (небезпечна) на території України протягом періоду стандартної кліматологічної норми 1961-1990 рр. та по її окремих десятиріччях	91
--	----

Анахов П. В.

Збудження хвилі-убивці власними коливаннями водного басейну.....	106
--	-----

Порядок подання і оформлення статей до періодичного наукового збірника "Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія"	115
---	-----

CONTENTS

GENERAL METHODS ASPECTS OF INVESTIGATION

Khilchevskiy V.K.

Characteristics of water resources of Ukraine based on the database of the global information system FAO Aquastat 6

HYDROLOGY. WATER RESOURCES

Khilchevskiy V.K.

Modern characteristics of water bodies in Ukraine: watercourses and reservoirs 17

Lukianets O.I., Grebin V.V.

Time dynamics of water balance components in the Psel river basin 28

Sokur K., Palamarchuk L.

Conditions for the formation of surface runoff, which is formed as a result of heavy and dangerous precipitation within urbanized areas..... 36

HYDROCHEMISTRY. HYDROEKOLOGY

Zhezherya V.A., Zhezherya T.P., Linnik P.M.

Influence of higher aquatic vegetation on the content of biogenic elements in limnic systems of an urbanized territory..... 50

Ukhan O.O., Osadcha N.N.

Assessment of anthropogenic impact on the Teteriv river by nutrients and organic substances... 58

GEOGRAPHIC ASPECTS OF RESEARCH ON THE GLOBAL HYDROLOGICAL CYCLE

Didukh Ya.P., Vynokurov D.S.

Spatial-temporal changes of bioclimate factors in Europe 64

Zabolotska T.M., Shpyg V.M., Tsila A.Yu.

Circulation indexes and the cloud cover during of the global warming period..... 76

Pyasetska S.I.

Deposition of DP soft rime (dangerous phenomena) on the territory of Ukraine during the period of the standard climatological norm of 1961-1990 and for its separate decades..... 91

Anakhov P. V.

Excitation of freak wave by natural oscillations of the water body..... 106

Presenting and official registration of the articles for the scientific periodical collection «Hydrology, hydrochemistry and hydroecology»..... 115

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.1>

УДК 504.06+556+004.9

Хільчевський В.К.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ БАЗИ ДАНИХ ГЛОБАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ FAO-AQUASTAT

В результаті оцінювання водних ресурсів за базою даних глобальної інформаційної системи ООН - FAO Aquastat (1988-2017 рр.) отримано наступні показники по Україні: внутрішній річковий стік - 50,1 км³; приплив із суміжних територій - 120,2 км³; сумарний річковий стік - 170,3 км³; доступні запаси підземних вод - 5 км³; внутрішні відновні водні ресурси - 55,1 км³; загальні відновні водні ресурси - 175,3 км³. За показником загальних відновних водних ресурсів на 1 людину (3964 м³/людину/рік) серед 50 країн Європи станом на 2017 р. Україна займала 27 місце. За показником внутрішніх відновних водних ресурсів на 1 людину (1246 м³/людину/рік) Україна займала 37 місце в Європі. За обсягом загальних відновних водних ресурсів (175,3 км³) Україна займала 6 місце в Європі. За обсягом внутрішніх відновних водних ресурсів (55,1 км³) Україна займала 14 місце. Україна має високий коефіцієнт зовнішньої залежності водних ресурсів ($K_z = 66,8\%$), який характеризує частку загальних відновних водних ресурсів, що формується зовні на суміжних територіях - 9 місце в Європі.

Практично, всі цифри по складниках водних ресурсів в Україні, які наводяться в FAO Aquastat, відрізняються від тих, що публікуються в українських джерелах. На означену методичну проблему необхідно звернути особливу увагу науковому та експертному середовищу, представникам уповноважених органів - Державного агентства водних ресурсів України, Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України.

Ключові слова: водні ресурси, база даних, FAO Aquastat, Україна.

Актуальність. «Водні ресурси - це будь-які природні води, що зустрічаються на Землі, незалежно від їхнього стану (наприклад, пара, рідина або тверде тіло), і які потенційно можуть бути використані людиною. З них найбільш доступними для використання ресурсами є води океанів, річок і озер, а також інші доступні водні ресурси включаючи ґрунтові води і глибокі підземні водоносні горизонти, льодовики і постійні снігові поля» [18].

З наведеного широкого визначення поняття «водні ресурси» з енциклопедії «Britannica» видно, що як водний ресурс може розглядатися будь-який вид природних вод, зосереджений у тому чи іншому водному об'єкті – струмку, ставку, природному водному джерелі, накопичувачі дощових вод або пристрої для збирання конденсованої атмосферної вологи. Таке трактування є доречним в наш час, коли водна криза була визнана на Всесвітньому економічному форумі в Давосі (2015 р.) одним з найбільших глобальних ризиків з точки зору потенційного впливу на людське суспільство [14]. У світі набуває поширення залучення альтернативних джерел водних ресурсів - відновлені стічні води, сіра вода, опріснена солоня вода і т.д. [9, 17].

В той же час, постійну увагу привертають традиційні водні ресурси, в першу чергу прісні води, як найцінніший ресурс. *Відновні ресурси* прісних вод – це річковий стік у моря та океани, який формується за рахунок атмосферних опадів у річковому басейні та живлення підземними водами. *Невідновні (статичні) водні ресурси* - глибокі горизонти підземних вод, ступінь поповнення яких незначний у людському масштабі часу. Загальний об'єм річкового стоку на Землі (відновних водних ресурсів) становить близько 42780 км³/рік, з яких частка Європи становить 2900 км³/рік (7 %) [19].

Згідно Водного кодексу України (1995), водні ресурси – це обсяги поверхневих, підземних і морських вод відповідної території [2]. На практиці ж, як в Україні, так і в багатьох країнах світу поняття «водні ресурси» трактується у вужчому розумінні - це прісні поверхневі та підземні води, які знаходяться у водних об'єктах і використовуються або можуть бути використані людиною.

Інформація про водні ресурси України фігурує в багатьох працях українських авторів. Вона також є в міжнародних базах даних. Наприклад, дані по Україні можна зустріти у розділі «Порівняння країн: загальний об'єм відновних водних ресурсів» у довіднику ЦРУ США по країнах світу, в якому Україні відведено 56 місце серед 174 країн світу [15-16]. Найбільш об'ємна і детальна інформація зосереджена в базі даних «Aquastat» Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН – FAO [12].

Короткий аналіз публікацій. В колективній монографії за редакцією В.А. Сташука, наводяться наступні середньорічні дані по водних ресурсах України: місцевий річковий стік становить 52,4 км³; приплив із суміжних територій (без Дунаю) - 34,7 км³; приплив із суміжних територій з врахуванням стоку Дунаю по Кілійському рукаву - 209,8 км³; підземні води, що гідравлічно не зв'язані з річковим стоком (доступні для використання) - 7,0 км³; сумарні водні ресурси - 94,1 км³ (без Дунаю) [6].

Стосовно міжнародних аспектів водоресурсних досліджень українських авторів відзначається наступне. Проблему глобальних водних ресурсів, водного дефіциту на планеті висвітлювали В. Власов, Д. Власов [1] та В.К. Хільчевський [9, 15], питання глобальної і регіональної водної безпеки, віртуальної води – А.П. Голіков та ін. [3, 4], питання управління водними ресурсами в Україні в євроінтегративному спрямуванні, застосування парадигми віртуальної води - М.А. Хвесик, Л.В. Левковська [7, 8].

Мета даної статті - вперше охарактеризувати водні ресурси України на основі бази даних міжнародної організації ООН (FAO), яка інтегрує інформацію стосовно водних ресурсів по всіх країнах світу (здійснити «погляд зовні»).

Матеріали та методи дослідження. В даній роботі використані статистично опрацьовані матеріали глобальної інформаційної системи FAO Aquastat за період 1988-2017 рр., на основі яких отримано результати по Україні (табл. 1).

Результати дослідження

1. Водні ресурси України: характеристика за даними FAO. Продовольча та сільськогосподарська організація ООН FAO володіє найбільш досконалою інформацією стосовно водних ресурсів по всіх країнах світу, оскільки частка сектору сільського господарства у світовому водокористуванні становить 69-70 %. При FAO функціонує глобальна інформаційна система по воді та сільському господарству, яка називається «Aquastat» [12]. Дані, які містяться в цій базі, отримуються від профільних урядових органів країн світу (звіти, публікації, офіційні сайти тощо), з інформаційних баз інших агентств ООН або міжнародних організацій (WHO - Всесвітньої організації охорони здоров'я; FPA - Фонду ООН у галузі народонаселення; ICOLD – міжнародної комісії по великих греблях) або шляхом моделювання. Україна набула повноправного членства у FAO в 2003 р., але ще й раніше регулярно подавала статистичні дані, як член ООН.

В розділі «Водні ресурси» глобальної інформаційної системи FAO наводиться близько 40 показників. База даних містить середні значення показників за проміжками років: 1988–1992 рр.; 1993-1997 рр.; 1998-2002 рр.; 2003-2007 рр.; 2008-2012 рр.; 2013-2017 рр. Нами було опрацьовано базу даних FAO Aquastat. і зроблено вибірки даних за 1992, 2002, 2012, 2017 рр. по водних ресурсах в Україні (табл. 1).

Таблиця 1. Середньорічні показники, які характеризують водні ресурси України на основі даних глобальної інформаційної системи FAO Aquastat, 1992-2017 рр. [12]

№	Показник	Розмірність	1992	2002	2012	2017
1	2	3	4	5	6	7
1	Атмосферні опади	мм/рік	565	565	565	565
2	Атмосферні опади (об'єм)	км ³ /рік	341	341	341	341
3	Внутрішній річковий стік	км ³ /рік	50,1	50,1	50,1	50,1
4	Внутрішні підземні води	км ³ /рік	22	22	22	22
5	Підземні води, гідравлічно зв'язані з поверхневими	км ³ /рік	17	17	17	17
6	Внутрішні підземні води, доступні для використання	км ³ /рік	5	5	5	5
7	Загальні внутрішні відновні водні ресурси	км ³ /рік	55,1	55,1	55,1	55,1

1	2	3	4	5	6	7
8	Загальні внутрішні відновні водні ресурси на 1 людину	м ³ /людину/рік	1072	1148	1215	1246
9	Надходження річкового стоку з території Росії і Білорусі	км ³ /рік	36,13	36,13	36,13	36,13
10	Надходження стоку р. Дунай	км ³ /рік	168,1	168,1	168,1	168,1
11	Врахований стік р. Дунай	км ³ /рік	84,05	84,05	84,05	84,05
12	Загальний зовнішній річковий стік	км ³ /рік	120,2	120,2	120,2	120,2
13	Стік з України в інші країни	км ³ /рік	28,9	28,9	28,9	28,9
14	Загальний обсяг відновних поверхневих вод	км ³ /рік	170,3	170,3	170,3	170,3
15	Загальні відновні водні ресурси	км ³ /рік	175,3	175,3	175,3	175,3
16	Коефіцієнт залежності	%	68,57	68,57	68,57	68,57
17	Загальні відновні водні ресурси на 1 людину	м ³ /людину/рік	3 409	3 654	3 866	3964
18	Об'єм водосховищ	км ³	-*		55,5	
19	Об'єм водосховищ на 1 людину	м ³ /людину			1224	

Примітка: * - не заповнена графа в табл. 1 означає, що в базі даних FAO Aquastat інформація відсутня.

З розділу «Водні ресурси» FAO Aquastat обрано наступні показники: атмосферні опади; внутрішній річковий стік; внутрішні підземні води; підземні води, що гідравлічно зв'язані з річковим стоком; внутрішні підземні води, доступні для використання (підземні води, що гідравлічно не зв'язані з річковим стоком); загальні внутрішні відновні водні ресурси; загальні внутрішні відновні водні ресурси на 1 людину; надходження річкового стоку в країну зовні (з території Росії, Білорусі); загальний стік транскордонною р. Дунай; врахований приплив транскордонною р. Дунай; врахований загальний приплив зовні; річковий стік з України в інші країни; загальний об'єм відновних поверхневих вод; загальні відновні водні ресурси; коефіцієнт залежності; загальні відновні водні ресурси на 1 людину; загальний об'єм водосховищ; об'єм водосховищ на 1 людину.

Опрацьована інформація була оптимізована до узагальненої форми, яка характеризує водні ресурси України (табл. 2).

Таблиця 2. Узагальнююча характеристика середньорічних показників відновних водних ресурсів України на основі даних глобальної інформаційної системи FAO Aquastat, 2017 р.

Вид водних ресурсів	Складники водних ресурсів	Об'єм, км ³	Примітки
Поверхневі води	Річковий стік внутрішній	50,1	
	Річковий стік зовнішній (приплив в Україну)	120,2	Із Росії і Білорусі – 36,1 км ³ Із Румунії - 84,1 км ³ , (50% від стоку Кілійським гирлом Дунаю)
	Сумарний річковий стік	170,3	
	Річковий стік за межі України	28,9	В Польщу, Словаччину, Угорщину, Румунію, Молдову
Підземні води	Прогнозні ресурси	22	Із них 17 км ³ – гідравлічно зв'язані з річковим стоком
	Доступні до використання	5,0	
Внутрішні водні ресурси	Поверхневі і підземні	55,1	На 1 людину: 1246 м ³ /людину/рік
Загальні водні ресурси	Поверхневі і підземні	175,3	На 1 людину: 3964 м ³ /1 людину/рік

За даними глобальної інформаційної системи FAO Aquastat в Україні спостерігається наступний розподіл водних ресурсів.

Поверхневі водні ресурси:

- внутрішні поверхневі водні ресурси або місцевий річковий стік, який формується на території України - 50,1 км³/рік;
- приплив із суміжних територій – 120,2 км³/рік (36,1 км³/рік – з Росії та Білорусі, 84,1 км³/рік – з Румунії);
- загальні поверхневі водні ресурси становлять: 50,1 + 120,2 = 170,3 км³/рік.

Сучасна кількісна характеристика поверхневих водних об'єктів та гідрографічне районування території України наведена в роботах [10, 11].

Підземні водні ресурси:

- внутрішні прогностичні підземні водні ресурси – 22,0 км³/рік, з них 17 км³/рік – гідравлічно зв'язані з річковим стоком (тобто, забезпечують підземне живлення річок та поверхневих водойм), через що їх добувати не можна;

- доступні для використання підземні водні ресурси - 5,0 км³/рік.

Відновні водні ресурси України (поверхневі води разом з підземними):

- внутрішні відновні водні ресурси: 50,1 + 5,0 = 55,1 км³/рік;
- загальні відновні водні ресурси: 170,3 + 5,0 = 175,3 км³/рік.

Водозабезпеченість на одну людину:

- внутрішні відновні водні ресурси - 1246 м³/рік/людину;
- загальні відновні водні ресурси в Україні - 3964 м³/рік/людину.

Динаміка водозабезпеченості на одну людину за певний проміжок років прямо пов'язана з динамікою кількості населення в Україні. З табл. 1 видно тенденцію до зростання показників загальних та внутрішніх відновних водних ресурсів протягом 1992-2017 рр., що відзначається і в інших публікаціях [5]. Так, показник внутрішніх водних ресурсів зростає з 1072 м³/людину/рік у 1992 р. до 1246 м³/людину/рік у 2017 р. (рис. 1). Показник загальних водних ресурсів зростає з 3409 м³/людину/рік у 1992 р. до 3964 м³/людину/рік у 2017 р. (населення, відповідно, зменшується - з 52,1 млн осіб до 42,4 млн осіб).

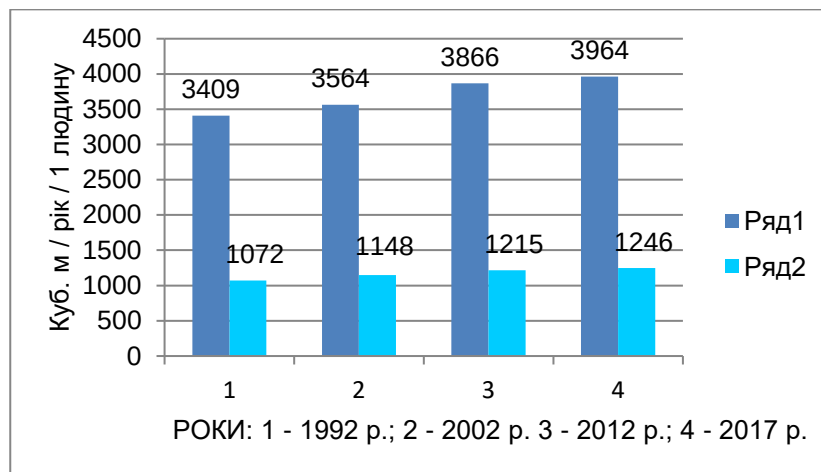


Рис. 1. Динаміка показників забезпечення загальними (1 ряд) та внутрішніми (2 ряд) водними ресурсами на людину в Україні, 1992-2017 рр., м³/рік/1 людину (джерело: виконано за даними FAO Aquastat [12])

В коментарі до розрахунків можна відзначити наступні аспекти.

1). При інтерпретації матеріалів FAO Aquastat відсутня необхідність робити численні застереження, які характерні для описів водних ресурсів в українських публікаціях. У вітчизняних авторів можна зустріти при викладі змісту спочатку показник водних ресурсів внутрішнього (місцевого) річкового стоку; потім - водні ресурси з урахуванням припливу з території Білорусі та Росії, але без Дунаю; потім - водні ресурси з урахуванням припливу Кілійським гирлом Дунаю але без підземних вод; потім – водні ресурси з додаванням підземних вод. В результаті, такий виклад призводить до нечіткості в інформації.

Всі ці проміжні показники є в базі даних FAO Aquastat, але країну презентує показник загальних відновних водних ресурсів.

2). У FAO Aquastat розраховуються два питомі показники по кожній країні - внутрішні та загальні відновні водні ресурси на 1 людину ($\text{м}^3/\text{людину}/\text{рік}$), які складаються сумарно з поверхневих і підземних вод. Причому, головним індикатором, який використовується при порівнянні стану справ з водними ресурсами між країнами, є загальні відновні водні ресурси на 1 людину.

3). Показовим є врахування в базі даних FAO Aquastat стоку прикордонної річки Дунай – об'єм середньорічного стоку Кілійського гирла поділено пополам між Україною та Румунією.

4). Практично, всі цифри по складниках водних ресурсів в Україні, які наводяться в FAO Aquastat, відрізняються в тій або іншій мірі від тих, що фігурують в українських джерелах [6].

5). В Україні часто оцінюють питомий показник внутрішніх відновних водних ресурсів на 1 людину неправомірно застосовуючи шкалу індикатора водного стресу Фалькенмарк ($< 1700 \text{ м}^3/\text{рік}/\text{людину}$ - водний стрес; $< 1000 \text{ м}^3/\text{рік}/\text{людину}$ - водний дефіцит; $< 500 \text{ м}^3/\text{рік}/\text{людину}$ - абсолютний водний дефіцит), який розроблено для показника загальних відновних водних ресурсів на 1 людину в країні [13]. Це є помилкою і спотворенням результату оцінювання. В роботі [9] нами більш детально охарактеризовано можливості його застосування.

2. Місце України в Європі за водними ресурсами. Опрацювання даних глобальної інформаційної системи по воді та сільському господарству FAO Aquastat дозволило виконати ранжування 50 країн Європи за показником забезпеченості загальними відновними водними ресурсами на 1 людину (табл. 3).

Таблиця 3. Ранжування країн Європи за показником забезпеченості загальними відновними водними ресурсами на людину з наведенням інших показників за глобальною інформаційною системою FAO Aquastat, 2017 р.

№	Країна	Загальні водні ресурси, $\text{м}^3/\text{рік}/\text{людину}$	Внутрішні водні ресурси, $\text{м}^3/\text{рік}/\text{людину}$	Загальні водні ресурси, $\text{км}^3/\text{рік}$	Внутрішні водні ресурси, $\text{км}^3/\text{рік}$	Коефіцієнт зовнішньої залежності, %
1	2	3	4	5	6	7
1	Ісландія	507463	507463	170	170	0
2	Норвегія	74081	72008	393	382	2,8
3	Росія	31426	29947	4525	4312	4,7
4	Хорватія	25185	9000	105,5	37,7	64,27
5	Фінляндія	19917	19374	110	107	2,7
6	Сербія	18451	956,3	162,2	8,4	94,8
7	Латвія	17918	8687	34,94	16,94	51,5
8	Швеція	17556	17254	174	171	1,7
9	Грузія	16189	14859	63,3	58,13	8,2
10	Словенія	15322	8976	31,9	18,67	41,4
11	Ірландія	10920	10290	52	49	5,8
12	Румунія	10773	2154	212	42,38	80
13	Угорщина	10697	617,2	104	6	94,23
14	Боснія і Герцеговина	10693	10123	37,5	35,5	8,5
15	Албанія	10307	9181	30,2	26,9	10,9
16	Естонія	9779	9702	12,8	12,71	0,75
17	Словаччина	9196	2313	50,1	12,6	74,9
18	Австрія	8895	6297	77,7	55	29,2
19	Литва	8478	5349	24,5	15,46	36,9
20	Португалія	7493	3679	77,4	38	50,9
21	Швейцарія	6312	4766	53,5	40,4	24,49
22	Греція	6129	5197	68,4	58	15,2
23	Білорусь	6115	3591	57,9	34	41,3

1	2	3	4	5	6	7
24	Люксембург	5998	1714	3,5	1	71,4
25	Нідерланди	5342	645,7	91	11	87,9
26	Андорра	4101	4101	0,32	0,32	0
27	Україна	3964	1264	175,3	55,1	68,6
28	Азербайджан	3529	825,7	34,7	8,1	76,6
29	Франція	3247	3078	211	200	5,2
30	Італія	3223	3074	191,3	182,5	4,6
31	Пн. Македонія	3072	2592	6,4	5,4	15,6
32	Молдова	3029	399,9	12,3	1,62	86,8
33	Болгарія	3006	2964	21,3	21	3,2
34	Вірменія	2652	2341	7,8	6,9	11,7
35	Туреччина	2621	2811	211,6	227	1,52
36	Іспанія	2405	2399	111,5	111,2	0,27
37	Велика Британія	2221	2191	147	145	1,4
38	Німеччина	1875	1303	154	107	30,5
39	Бельгія	1601	1050	18,3	12	34,4
40	Польща	1585	1404	60,5	53,6	11,4
41	Чехія	1238	1238	13,2	13,15	0,4
42	Данія	1046	1046	6	6	0
43	Кіпр	661	661	0,78	0,78	0
44	Мальта	117,2	117,2	0,05	0,05	0
45	Ватикан	*				
46	Ліхтенштейн					
47	Монако					
48	Сан-Марино					
49	Фарерські о-ви					
50	Чорногорія					

Примітка: * - не заповнена графа в табл. 3 означає, що в базі даних FAO Aquastat країна представлена, але інформація відсутня.

У розділі по континенту «Європа» у базі даних FAO Aquastat знаходиться 46 країн. Інформація по водних ресурсах таких країн як Ватикан, Ліхтенштейн, Монако, Сан-Марино, Фарерські острови, Чорногорія – відсутня (або, практично відсутня). Інформація по 4 країнах (Азербайджан, Грузія, Вірменія, Туреччина), наведена у табл. 3, які геополітично приналежні до Європи, у базі даних FAO Aquastat взяті у розділі по континенту «Азія». Так, Азербайджан, Грузія та Вірменія знаходяться в підрозділі «Азія. Кавказ», Туреччина – в підрозділі «Азія. Близький Схід».

За показником загальних відновних водних ресурсів на 1 людину (3964 м³/рік/людину) з 50 країн Європи станом в 2017 р. Україна займала 27 місце (табл. 4).

Таблиця 4. Місця, які займала України серед 50-и країн Європи за показниками відновних водних ресурсів, 2017 р.

№	Назва показника відновних водних ресурсів, розмірність	Значення показника	Місце України в Європі
1	Загальні відновні водні ресурси на 1 людину, м ³ /рік/людину	3964	27
2	Внутрішні відновні водні ресурси на 1 людину, м ³ /рік/людину	1246	37
3	Загальні відновні водні ресурси, км ³	175,3	6
4	Внутрішні відновні водні ресурси, км ³	55,1	14
5	Коефіцієнт зовнішньої залежності, %	68,6	9

Діапазон цього показника на європейському континенті становить, м³/людину/рік: від 507463 - Ісландія, 74081 - Норвегія, 31426 - Росія до 1238 - Чехія, 1046 - Данія, 661 - Кіпр, 117 - Мальта.

Менші показники загальних відновних водних ресурсів на 1 людину ніж в Україні відзначаються в таких країнах, як Азербайджан, Франція, Італія, Північна Македонія, Молдова, Болгарія, Вірменія, Туреччина, Іспанія, Велика Британія, Німеччина, Бельгія, Польща, Чехія, Данія та в низці невеликих країн. Як видно, серед країн з меншими показниками загальних відновних водних ресурсів на 1 людину ніж в Україні є ціла низка країн з розвинутою економікою (рис. 2). Тобто, невисокі показники із забезпеченістю водними ресурсами не обов'язково мають кореспондуватися з низьким рівнем розвитку економіки. Доречно навести приклад Ізраїлю, який має загальних відновних водних ресурсів 1,78 км³/рік. У 2017 р. на 1 людину там припадало 214 м³/рік - країна абсолютного водного дефіциту [9]. В той же час, Ізраїль має розвинену економіку і вирішує для себе водну проблему.

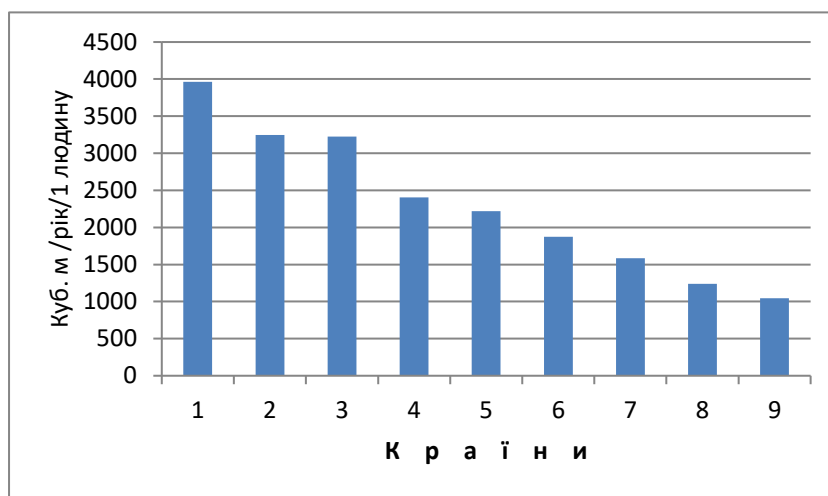


Рис. 2. Забезпеченість загальними відновними водними ресурсами деяких країн світу у 2017 р., м³/рік на 1 людину: 1 – Україна; 2 – Франція; 3 – Італія; 4 – Іспанія; 5 – Велика Британія; 6 – Німеччина; 7 – Польща; 8 – Чехія; 9 – Данія (джерело: виконано за даними FAO Aquastat [12])

За показником внутрішніх відновних водних ресурсів на 1 людину (1246 м³/рік/людину) Україна займала 37 місце в Європі (табл. 4). Діапазон цього показника на континенті становить, м³/рік/людину: від 507463 - Ісландія, 72008 - Норвегія, 29947 - Росія до 661 - Кіпр, 646 - Нідерланди, 617 - Угорщина, 400 - Молдова, 117 - Мальта.

Менші показники внутрішніх відновних водних ресурсів на 1 людину ніж в Україні відзначаються в таких країнах, як Сербія, Угорщина, Нідерланди, Азербайджан, Молдова, Бельгія, Данія, Кіпр, Мальта та ін.

За обсягом загальних відновних водних ресурсів (175,3 км³) Україна займає 6 місце в Європі (див. табл. 4). Діапазон цього показника на континенті становить, км³/рік: від 4525 - Росія, 393 - Норвегія, 227 - Туреччина, 211 – Франція до 0 - Ісландія, 3,5 - Люксембург, 0,78 - Кіпр, 0,32 - Андорра, 0,05 - Мальта.

За обсягом внутрішніх відновних водних ресурсів (55,1 км³) Україна займала 14 місце (див. табл. 4). Діапазон цього показника в Європі становить, км³/рік: від 4312 - Росія, 382 - Норвегія, 216 - Туреччина, 200 - Франція до 6 - Данія, 5,4 - Північна Македонія, 1,62 - Молдова, 0,78 - Кіпр, 0,32 - Андорра, 0,05 - Мальта.

На рис. 3 за даними FAO Aquastat наведено картосхему забезпечення відновними водними ресурсами країн Європи та світу з оціночними інтервалами (м³/людину/рік): 0-500 – абсолютний водний дефіцит; 500-1000 – водний дефіцит; 1000-1700 – водний стрес; 1700-2500 – водна вразливість; 2500-6000; 6000-15000; 15000-70000; понад 70000. Територія України на цій карті за забезпеченістю відновними водними ресурсами (річковий стік разом з доступними для використання підземними водами) знаходиться в інтервалі значень 2500-6000 м³/рік/людину, тобто - за межами водної вразливості.

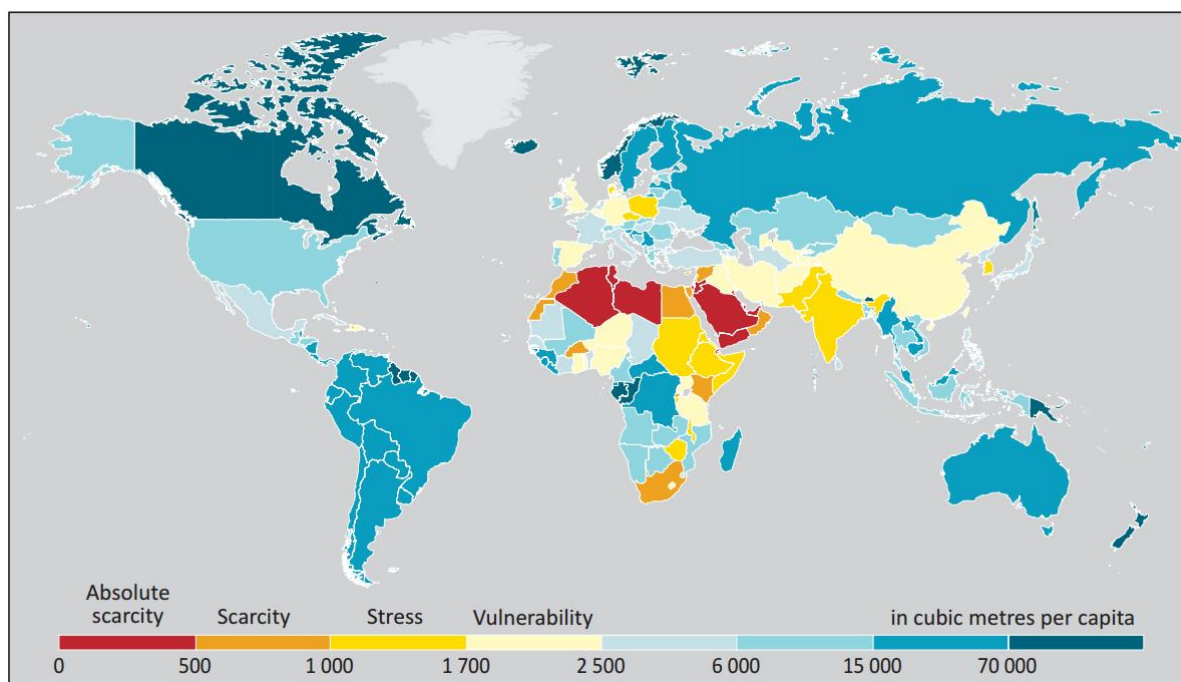


Рис. 3. Картосхема забезпеченості відновними водними ресурсами країн світу м³/рік/людину: 0-500 – абсолютний водний дефіцит; 500-1000 – водний дефіцит; 1000-1700 – водний стрес; 1700-2500 – водна вразливість (джерело: FAO Aquastat, 2013)

Коефіцієнт зовнішньої залежності водних ресурсів країни (K_3) – це частка загальних відновних водних ресурсів, що формується зовні за межами країни (в %). Він розраховується наступним чином:

$$K_3 = W_{\text{зов.}} / W_{\text{заг.}}$$

де K_3 - коефіцієнт зовнішньої залежності водних ресурсів країни,%; $W_{\text{зов.}}$ - об'єм водних ресурсів, що формується за межами території країни, км³; $W_{\text{заг.}}$ - об'єм загальних водних ресурсів країни, км³.

За коефіцієнтом зовнішньої залежності водних ресурсів Україна займає 9 місце в Європі ($K_3 = 66,8\%$, з них 46,8 % - залежність від річкового стоку з території Румунії, 20 % - від стоку з Росії і Білорусі).

Діапазон цього показника в Європі становить від 94,8 % - Сербія, 94,23 % - Угорщина, 87 % - Нідерланди, 86,1 % - Молдова до 0 % - Ісландія, Данія, Андорра, Кіпр, Мальта, 0,27 % - Іспанія, 0,4 % - Чехія.

Висновки.

1). Виконана оцінка водних ресурсів за базою даних глобальної інформаційної системи FAO Aquastat показала наступні результати по Україні: внутрішній річковий стік становить - 50,1 км³; приплив із суміжних територій – 120,2 км³; сумарний річковий стік - 170,3 км³; доступні запаси підземних вод – 5,0 км³; внутрішні відновні водні ресурси становлять 50,1 + 5,0 = 55,1 км³; загальні відновні водні ресурси – 170,3 + 5,0 = 175,3 км³.

2). За показником загальних відновних водних ресурсів на 1 людину (3964 м³/рік/людину) станом на 2017 р. Україна займала 27 місце серед 50 країн Європи

3). За показником внутрішніх відновних водних ресурсів на 1 людину (1246 м³/рік/людину) Україна займала 37 місце в Європі.

4). За обсягом загальних відновних водних ресурсів (175,3 км³) Україна займала 6 місце в Європі.

5). За обсягом внутрішніх відновних водних ресурсів (55,1 км³) Україна займала 14 місце.

6). Україна має високий коефіцієнт зовнішньої залежності водних ресурсів, який характеризує частку загальних відновних водних ресурсів, що формується за межами країни на суміжних територіях - 9 місце в Європі (Кз = 66,8%, з яких 46,8 % - залежність від річкового стоку з території Румунії, 20 % - від стоку з Росії і Білорусі). Ця обставина має спонукати Україну до якісного співробітництва в басейнах транскордонних річок.

7). Практично, всі цифри по складниках водних ресурсів в Україні, які наводяться в FAO Aquastat, в певній мірі відрізняються від тих, що публікуються в українських джерелах, при тому, що одним з каналів інформації для FAO є національні урядові джерела. На означену методичну проблему необхідно звернути особливу увагу науковому та експертному середовищу, представникам уповноважених органів (Державного агентства водних ресурсів України, Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України). Адже при курсі на євроінтеграцію не має бути різниці у внутрішній і зовнішній інформації.

Список літератури

1. Власов В., Власов Д. Глобальні водні ресурси та їх використання // Вісник НАН України. 2011. № 10. С. 18-28.
2. Водний кодекс України, 1995. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>.
3. Голиков А.П. "Виртуальная вода": значение в мировом производстве и международной торговле // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Міжнародні відносини. Економіка. Країнознавство. Туризм. 2018. Вип. 8. С. 10-16.
4. Голиков А.П., Казакова Н.А., Пересадько В.А. Водна безпека людства: глобальний та регіональний виміри // Вісник Харківського нац. університету ім. В.Н. Каразіна. Серія: Міжнародні відносини. Економіка. Країнознавство. Туризм. 2018. Вип. 7. С. 26-34.
5. Обухов Є.В. Показники забезпеченості населення України водними ресурсами на початку 2019 року // Гідроенергетика України. 2019. № 1-2. С. 31-35.
6. Сташук В.А., Мокін В.Б., Гребінь В.В., Чунарьов О.В. Наукові засади раціонального використання водних ресурсів України за басейновим принципом / За ред. В.А. Сташука. Херсон. Гринь, 2014. 250 с.
7. Хвесик М. Левковська Л. Управління водними ресурсами: євроінтегративний вектор // Економіка природокористування і сталий розвиток. 2019. № 5 (24). С. 6-13.
8. Хвесик М.А., Левковська Л.В., Сундук А.М. Особливості економічної оцінки віртуальної води та можливості її використання в Україні // Фінанси України. 2015. № 6. С. 83-96.
9. Хільчевський В.К. Глобальні водні ресурси: виклики ХХІ століття // Вісник Київського нац. університету ім. Тараса Шевченка. Серія: Географія. 2020. Вип. 1/2 (76/77). С. 6-16.
10. Хільчевський В.К. Сучасна характеристика поверхневих водних об'єктів України: водотоки та водойми // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2021. №. 1 (59). С. 17-27.
11. Хільчевський В.К., Гребінь В.В. Гідрографічне та водогосподарське районування України 2016 р. – реалізація положень ВРД ЄС // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2017. № 1 (44). С. 8-20.
12. FAO Aquastat. Global Information System on Water and Agriculture. URL: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en>.
13. Falkenmark M., Lundqvist J., Widstrand C. Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches // Natural Resources Forum. 1989. 13 (4). P. 258-267. DOI: 10.1111/j.1477-8947.1989.tb00348.x.
14. Global Risks 2015 / 10th Edition is published by the World Economic Forum. Davos. 66 p. URL: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_2015_Report15.pdf.
15. Khilchevskiy, V.K., Oliynyk, Ya.B., Zatserkovnyi, V.I. Global problems of water resources scarcity / Proceedings XIV International Scientific Conference: Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. European Association of Geoscientists & Engineers, 2020. P. 1-5. DOI: 10.3997/2214-4609.202056001
16. The World Factbook 2016 / CIA. URL: <https://web.archive.org/web/20160612142717/https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2201.html>
17. Unconventional Water Resources. URL: <https://inweh.unu.edu/projects/unconventional-water-resources/>.
18. Water resource / Britannica. URL: <https://www.britannica.com/science/water-resource>.
19. World water resources at the Beginning of the 21st Century / Ed. by I.A. Shiklomanov and J.C. Rodda. Cambridge: University Press, 2003. 452 p.

References

1. Vlasov V., Vlasov D. Hlobalni vodni resursy ta yikh vykorystannia [Global water resources and their use] // Visnyk NAN Ukrainy. 2011. № 10. S. 18-28.
2. Vodnyi kodeks Ukrainy. 1995. [Water Code of Ukraine, 1995] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>.
3. Golikov A.P. "Virtual'naya voda": znachenie v mirovom proizvodstve i mezhdunarodnoj torgovle ["Virtual Water": Implications for Global Production and International Trade] // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. N. Karazina. Serii: Mizhnarodni vidnosyny. Ekonomika. Krainoznavstvo. Turyzm. 2018. Vyp. 8. S. 10-16.
4. Holikov A.P., Kazakova N.A., Peresadko V.A. Vodna bezpeka liudstva: hlobalnyi ta rehionalnyi vymiry [Water Security of Humanity: Global and Regional Dimensions] // Visnyk Kharkivskoho nats. universytetu im. V.N. Karazina. Serii: Mizhnarodni vidnosyny. Ekonomika. Krainoznavstvo. Turyzm. 2018. Vyp. 7. S. 26-34.
5. Obukhov Ye.V. Pokaznyky zabezpechenosti naselennia Ukrainy vodnymi resursamy na pochatku 2019 roku [Indicators of the provision of the population of Ukraine with water resources at the beginning of 2019] // Hidroenerhetyka Ukrainy. 2019. № 1-2. S. 31-35.
6. Stashuk V.A., Mokin V.B., Hrebin V.V., Chunarov O.V. Naukovi zasady ratsionalnoho vykorystannia vodnykh resursiv Ukrainy za baseinovym pryntsyptom [Scientific basis for the rational use of water resources in Ukraine on the basis of the basin principle] / Za red. V.A. Stashuka. Kherson. Hrin, 2014. 250 s.
7. Khvesyk M., Levkovska L. Upravlinnia vodnymi resursamy: yevrointehratyvnyi vektor [Water Resources Management: European Integration Vector] // Ekonomika pryrodokorystuvannia i stalyyi rozvytok. 2019. № 5 (24). S. 6-13.
8. Khvesyk M.A., Levkovska L.V., Sunduk A.M. Osoblyvosti ekonomichnoi otsinky virtualnoi vody ta mozhlyvosti yii vykorystannia v Ukraini [Features of the economic assessment of virtual water and the possibility of its use in Ukraine] // Finansy Ukrainy. 2015. № 6. S. 83-96.
9. Khilchevskiy V.K. Hlobalni vodni resursy: vyklyky XXI stolittia [Global Water Resources: Challenges of the 21st Century] // Visnyk Kyivskoho nats. universytetu im. T. Shevchenka. Serii: Heohrafiia. 2020. Vyp. 1(76)/2(77). S. 5-13.
10. Khilchevskiy V.K. Suchasna kharakterystyka poverkhnevyykh vodnykh ob'ektiv Ukrainy: vodotoky ta vodoimy [Modern characteristics of surface water bodies of Ukraine: watercourses and reservoirs] // Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2021. № 1 (59). S. 17-27.
11. Khilchevskiy V.K., Hrebin V.V. Hidrografichne ta vodohospodarske raionuvannia Ukrainy 2016 r. – realizatsiia polozhen VRD YeS [Hydrographic and water management zoning of Ukraine 2016 - implementation of the EU WFD provisions] // Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2017. № 1 (44). S. 8-20.
12. FAO Aquastat. Global Information System on Water and Agriculture. URL: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en>.
13. Falkenmark M., Lundqvist J., Widstrand C. Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches // Natural Resources Forum. 1989. 13 (4). P. 258-267. DOI: 10.1111/j.1477-8947.1989.tb00348.x.
14. Global Risks 2015 / 10th Edition is published by the World Economic Forum. Davos. 66 p. URL: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_2015_Report15.pdf.
15. Khilchevskiy, V.K., Oliynyk, Ya.B., Zatserkovnyi, V.I. Global problems of water resources scarcity / Proceedings XIV International Scientific Conference: Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. European Association of Geoscientists & Engineers, 2020. P. 1-5. DOI: 10.3997/2214-4609.202056001
16. The World Factbook 2017 / CIA. URL: <https://web.archive.org/web/20160612142717/https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2201.html>
17. Unconventional Water Resources. URL: <https://inweh.unu.edu/projects/unconventional-water-resources/>.
18. Water resource / Britannica. URL: <https://www.britannica.com/science/water-resource>.
19. World water resources at the Beginning of the 21st Century / Ed. by I.A. Shiklomanov and J.C. Rodda. Cambridge: University Press, 2003. 452 p.

Характеристика водных ресурсов Украины на основе базы данных глобальной информационной системы FAO Aquastat

Хильчевский В.К.

Выполненная в статье оценка водных ресурсов на основе базы данных глобальной информационной системы FAO Aquastat (1988-2017 гг.) показала следующие результаты по Украине: внутренний речной сток - 50,1 км³; приток из сопредельных территорий - 120,2 км³; суммарный речной сток - 170,3 км³;

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2021. № 1 (59)

доступные запасы подземных вод - 5 км³; внутренние возобновляемые водные ресурсы - 55,1 км³; общие возобновляемые водные ресурсы - 175,3 км³.

По показателю общих возобновляемых водных ресурсов на 1 человека (3964 м³/человека/год) среди 50 стран Европы по состоянию на 2017 г. Украина занимала 27 место. По показателю внутренних возобновляемых водных ресурсов на 1 человека (1246 м³/человека/год) Украина занимала 37 место в Европе. По объему общих возобновляемых водных ресурсов (175,3 км³) Украина занимала 6 место в Европе. По объему внутренних возобновляемых водных ресурсов (55,1 км³) Украина занимала 14 место. Украина имеет высокий коэффициент внешней зависимости водных ресурсов ($K_z = 66,8\%$), характеризующий долю общих возобновляемых водных ресурсов, формирующихся за пределами страны на сопредельных территориях - 9 место в Европе.

Практически, все цифры по составляющих водных ресурсов в Украине, которые приводятся в FAO Aquastat, отличаются от тех, что публикуются в украинских источниках. На указанную методическую проблему необходимо обратить особое внимание в научной и экспертной среде, представителям уполномоченных органов - Государственного агентства водных ресурсов Украины, Министерства защиты окружающей среды и природных ресурсов Украины.

Ключевые слова: водные ресурсы, база данных, FAO Aquastat, Украина.

Characteristics of water resources of Ukraine based on the database of the global information system FAO Aquastat

Khilchevskyi V.K.

The Food and Agriculture Organization of the United Nations (UN FAO) has the most advanced information on water resources in all countries of the world, since the share of the agriculture sector in world water use is 70%. It operates the FAO Global Information System on Water and Agriculture (abbreviated as FAO Aquastat). The data contained in this database comes from the relevant government bodies of the countries of the world (reports, publications, official websites), from information bases of other UN agencies or international organizations (UN WHO - World Health Organization; UN FPA - United Nations Population Fund; ICOLD - International Commission on Large Dams) or obtained by modeling. The Water Resources section of the FAO global information system contains about 40 indicators. The database is filled with the average values of indicators for the segments of years: 1988-1992; 1993-1997; 1998-2002; 2003-2007; 2008-2012; 2013-2017.

The assessment of water resources carried out in the article based on the database of the global information system FAO Aquastat (1988-2017). showed the following results in Ukraine: internal river flow - 50.1 км³; inflow from adjacent territories - 120.2 км³; total river runoff - 170.3 км³; available groundwater reserves - 5 км³; internal renewable water resources - 55.1 км³; total renewable water resources - 175.3 км³.

In terms of total renewable water resources per person (3964 м³/person/year) among 50 European countries as of 2017, Ukraine ranked 27th. In terms of internal renewable water resources per person (1246 м³/person/year), Ukraine ranked 37th in Europe. In terms of total renewable water resources (175.3 км³), Ukraine ranked 6th in Europe. In terms of the volume of internal renewable water resources (55.1 км³), Ukraine ranked 14th. Ukraine has a high coefficient of external dependence of water resources ($K_z = 66.8\%$), which characterizes the share of total renewable water resources formed outside the country in adjacent territories - 9th place in Europe.

The data on the components of water resources in Ukraine, which are given in FAO Aquastat, differ from the data published in Ukrainian sources. It is necessary to pay special attention to this methodological problem in the scientific and expert environment, as well as among officials in our country - the State Agency for Water Resources of Ukraine, the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. Indeed, with the course towards European integration, there can be no difference in information for internal and external use.

Keywords: water resources, database, FAO Aquastat, Ukraine.

Надійшла до редколегії 11.11.2020

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.2>
УДК 626.81

Хільчевський В.К.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

СУЧАСНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПОВЕРХНЕВИХ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ УКРАЇНИ: ВОДОТОКИ ТА ВОДОЙМИ

За виконанням у статті оцінюванням, сучасні дані по кількості водних об'єктів на території України становлять: 63119 річок; близько 20 тис. озер; 1054 водосховища; 50793 стави. Оскільки гідрографічні дослідження в Україні виконувалися понад 50 років тому, необхідними є сучасні гідрографічні обстеження території країни зі створенням сучасного водного кадастру і встановленням реальних морфометричних параметрів водних об'єктів (річок, озер, водосховищ, ставів). Основними організаціями, у сферу діяльності яких входять ці питання, є Державне агентство водних ресурсів України та Український гідрометеорологічний центр Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Необхідно також унормувати низку понять, які застосовуються апріорі, але не мають визначення, чітких параметрів (наприклад, струмок, джерело, став-копанка та ін.). Це складніше здійснити через введення доповнень у Водний кодекс України або ДСТУ, але можна зробити шляхом розробки офіційно затверджених методик, в яких дані терміни застосовуються.

Ключові слова: водні об'єкти, водотоки, водойми, річки, озера, водосховища, стави.

Актуальність теми. Підписання в 2014 р. Угоди про асоціацію України з Європейським Союзом дало поштовх реформам у сфері водних відносин в Україні. Можна констатувати, що певним досягненням в державі є реформування сектору управління водними ресурсами за басейновим принципом, яке розпочалося в 2016 р. на основі імплементації положень базової Водної рамкової директиви Європейського Союзу (ВРД ЄС, 2000 р.) [27] та ще п'яти профільних водних директив у законодавчі акти України [4, 21]. Важливим документом у басейнових структурах Державного агентства водних ресурсів України стане план управління річковим басейном, основним завданням якого є досягнення доброї якості води у водних об'єктах.

В планах управління районами річкових басейнів передбачено моніторинг кількісних та якісних показників водних об'єктів: виділення масивів поверхневих і підземних вод; визначення їхнього хімічного та екологічного стану. Завдань багато, при тому, що запроваджуються положення, які були розроблені в ЄС ще на початку 2000-х рр. В самому Євросоюзі вже розпочали розробку нової широкої типології річок і озер для застосування при великомасштабних міждержавних екологічних оцінках [26].

На жаль, за межами положень ВРД ЄС, основне спрямування якої управлінсько-гідроекологічне, знаходиться низка питань, які мають стратегічне значення для управління водними ресурсами України, враховуючи внутрішні і глобальні виклики 21 століття [18]. А саме – роботи зі створення сучасного водного кадастру України, ретельне вивчення водного фонду. Поскілки це питання не ставиться європейськими партнерами, то воно знаходиться на периферії інтересів української сторони.

Аналіз виконаних раніше досліджень та напрацювань. Не дивлячись на Постанову Кабінету Міністрів України «Про затвердження порядку ведення Державного водного кадастру» (08.04.1996 р. № 413), прийняту на виконання положень Водного кодексу України (1995 р.) [4], ця справа по суті ще далека від свого завершення на державному рівні. Можна відзначити лише певні наробки окремих авторів - В.І. Вишневський, О.О. Косовець [2, 3], В.В. Гребінь, В.К. Хільчевський, В.А. Сташук та ін. [6], М.М. Паламарчук, Н.Б. Закорчевна [14], в яких робляться певні узагальнення по гідрографії водних об'єктів на території України.

Останні кадастрові дослідження водних об'єктів в Україні виконувалися понад 50 років тому, коли в колишньому СРСР складався другий водний кадастр (1960-1973 рр.). Це була
ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2021. № 1 (59)

державна програма. В результаті, було видано багатотомну фундаментальну працю «Ресурсы поверхностных вод СССР» (РПВ). Книги видавалися за томами і випусками відповідно до регіону країни і басейнів річок. Інформація по Україні розміщена в томі 6, випусках 1-4, а також частково в томі 5. Наприклад, «Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.6. Украина и Молдавия. - Вып.1. Западная Украина и Молдавия» (повна назва книги); далі скорочені назви: «РПВ СССР. Т.6. Украина и Молдавия. - Вып. 2. Среднее и Нижнее Поднепровье»; «РПВ СССР. Т.6., Украина и Молдавия. Вып. 3. - Бассейн Северского Донца и реки Приазовья»; «РПВ СССР. Т.6. Украина и Молдавия. - Вып.4. Крым»; «РПВ СССР. Т. 5. Белоруссия и Верхнее Поднепровье» (в цьому томі наведені характеристики по притоках Прип'яті). Крім загальної кількості водних об'єктів у басейнах річок, їхніх морфометричних даних наводилися основні гідрологічні характеристики.

Треба відзначити, що на період 1960-1970-х рр. припав пік в реалізації масштабних заходів з проведення водних меліорацій (створення зрошувальних систем на півдні України, осушувальних – на Поліссі), відповідно, й антропогенних змін у водному фонді. У 1990-х та на початку 2000-х рр. навпаки, відбувся занепад сфери водних меліорацій, що теж не могло не вплинути на стан водних об'єктів в басейнах річок. В цілому, за останній 60-річний період виникла й проблема стану малих річок [11].

В Україні діє класифікація річок за площею водозбору: великі (понад 50 тис. км²), середні (2,0-50 тис. км²); малі - до 2,0 тис. км² (ст. 79 ВКУ). Такий поділ існував ще у Водному кодексі колишнього СРСР, застосовується зараз і в Російській Федерації [12].

В той же час, при внесенні змін і доповнень у Водний кодекс України у 2016 р. у статтю. 79 було додано про те, що «Визначена у цій статті класифікація річок України не застосовується для визначення масивів поверхневих та підземних вод» [4]. Класифікація не застосовується тому, що для визначення масивів поверхневих та підземних вод необхідно використовувати методики, які створена на основі вимог ВРД ЄС, в яких у класифікації річок за площею водозбору наявні інші градації.

Згідно з Водною рамковою директивою Європейського Союзу, річки поділяються на: дуже великі - понад 10 тис. км²; великі (1,0 тис.–10 тис. км²); середні (100-1000 км²); малі (10-100 км²) [27].

Виникає закономірне питання – чому у 2016 р. у Водному кодексі України не було зроблено перехід повністю на класифікацію річок за площею водозбору за ВРД ЄС? Адже тоді б реально в країні діяла європейська класифікація річок за площею водозбору, яку б застосовували фахівці і яка б потрапила до шкільних підручників з географії. Таким чином, було допущено значний недолік у цій справі.

З цього приводу можна відзначити, що у нормативних документах сусідніх держав Білорусі і Молдови застосовано хоча й не європейська класифікація, але все ж таки зроблено відхід від колишньої радянської мегакласифікації річок [5, 13]. В цих країнах класифікація здійснена на основі довжини річок з урахуванням внутрішніх особливостей. Тому, наприклад, у Білорусі при градаціях «великі» (довжина понад 500 км), «середні» (200-500 км) та «малі» (5-200 км) - до розряду «великі», крім Дніпра, Прип'яті, Німану і Західної Двіни, потрапили Березина, Сож, Горинь, Західний Буг.

Відсутність реальних скоординованих дій зі створення водного кадастру в Україні призводить до того, що на питання про морфометрію водних об'єктів, або їхню кількість у певному регіоні чи річковому басейні немає однозначної відповіді. В публікаціях тиражуються різні цифри стосовно кількості тих чи інших видів водних об'єктів, часто неспівмірні з реальними. Трансформацію оцінок кількості річок в Україні висвітлено в роботі В.В. Гребеня та В.К. Хільчевського [8], водосховищ і ставів – в роботах цих авторів [6, 19, 22, 29].

Виконані також регіональні дослідження сучасних морфометричних характеристик водойм Шацького поозер'я В.К. Хільчевським та М.Р. Забокрицькою [24]. Застосовано типологію ВРД ЄС для річок і озер в басейні р. Західний Буг і виконано порівняння з результатами польських дослідників [23, 28], подібна робота виконана по басейну Росі [7].

Мета даної роботи – охарактеризувати стан методичних підходів до оцінювання водного фонду (водотоків та водойм) з урахуванням підходів ВРД ЄС, виконати оцінювання кількісного стану водних об'єктів України.

Матеріали та методи дослідження. Для узагальнення в публікації використано інформацію Державного агентства водних ресурсів України, матеріали власних досліджень та літературні джерела.

Виклад основного матеріалу. Водний об'єкт – це природний або створений штучно елемент довкілля, в якому зосереджуються води (море, лиман, річка, струмок, озеро, водосховище, ставок, канал, а також водонесний горизонт) [4]. Визначення цього терміну є також у ДСТУ 3517-97 та ДСТУ 3041-95 [9, 10]. В гідрології поверхневі водні об'єкти поділяються на водотоки та водойми. Водотік - водний об'єкт, який характеризується постійним або тимчасовим рухом води в руслі в напрямку загального ухилу (природний водотік - річка, штучний - канал). Водойма - постійне або тимчасове скупчення стоячої або зі зниженням стоком води в заглибленнях земної поверхні (природна водойма - озеро, штучна – водосховище, став) – табл. 1. У широкому сенсі до водойм належать моря і океани.

Таблиця 1. Кількісна характеристика природних та штучних поверхневих водних об'єктів на території України

№	Водні об'єкти	Кількість	Примітка
Водотоки			
1	Річки	63119	Великі (> 50 тис. км ²) - 8 річок: Дніпро, Дністер, Дунай, Десна, Прип'ять, Південний Буг, Сіверський Донець, Тиса Середні (2,0-50 тис. км ²) – 82 річки Малі (< 2,0 тис. км ²) - 63029 річок (99,87%)
2	Канали	6	Північно-Кримський – 403 км, Дніпро–Донбас – 262 км, Дніпро–Інгулець – 151 км, Сіверський Донець–Донбас – 133 км, Каховський – 130 км, Дніпро–Кривий Ріг – 42 км
Водойми			
3	Озера	20000	Дуже великі (> 100 км ²) – 1 озеро: Ялпуг Великі (10-100 км ²) – 21 озеро Середні (1-10 км ²) – бл. 70 Малі (0,5-1,0 км ²) та Дуже малі (< 0,5 км ²) – всі інші озера (99,54%)
4	Водосховища	1054	Дуже великі (10-50 км ³) – 2 водосховища на Дніпрі (Кременчуцьке і Каховське) - 0,2% Великі (1,0-10 км ³) – 5 водосховищ: з них 4 на Дніпрі (Київське, Канівське, Кам'янське, Дніпровське) та одне на Дністрі (Дністровське) – 0,5% Середні (0,1-1,0 км ³) – 11 водосховищ (1,0%) Невеликі (0,01-0,1 км ³) – 88 водосховищ (8,4%) Малі (< 0,01 км ³) – 948 водосховищ (89,9%)
5	Стави	50793	Дуже великі (> 500 тис. м ³) та Великі (200-500 тис. м ³) – 13% Середні (50-200 тис. м ³) – 29% Малі (10-50 тис. м ³) та Дуже малі (< 10 тис. м ³) - 58%

Всі води (водні об'єкти) на території України становлять її водний фонд. До водного фонду України належать: 1) поверхневі води: природні водойми (озера); водотоки (річки, струмки); штучні водойми (водосховища, стави) і канали; інші водні об'єкти; 2) підземні води та джерела; 3) внутрішні морські води та територіальне море [4]. Із наведеного переліку водних об'єктів у Водному кодексі України більшості з них дано термінологічні визначення. В той же час, не унормованими залишаються терміни «струмок» та «джерело» [16]. І хоча термін струмок наведено в ДСТУ 3517-97 («невеликий постійний або тимчасовий водотік,

утворений внаслідок стікання снігової чи дощової води або виходу на поверхню підземних вод»), але він зовсім не параметризований [9].

Водотоки

Річки. Загальна кількість річок в Україні становить 63 119 [14], серед яких 8 великих річок (> 50 тис. км²) становлять лише 0,001 %.

• Великими річками для України є: Дніпро (площа басейну - 509 тис. км², довжина - 2200 км); Дністер (72,1 тис. км², 1362 км); Дунай (817 тис. км², 2857 км); Десна (88,9 тис. км², 1130 км); Прип'ять (114,3 тис. км², 775 км); Південний Буг (63,7 тис. км², 806 км); Сіверський Донець (98,9 тис. км², 1053 км); Тиса (157 тис. км², 966 км).

Про р. Західний Буг. В низці публікацій можна зустріти інформацію, що в Україні є 9 великих річок – до списку додається ще й Західний Буг. При цьому, не враховуються гідрографічні зміни, які відбулися ще в 1960-і 20pp. і були визнані міжнародним співтовариством, крім колишнього СРСР (судячи з енциклопедичних видань радянського часу). У 1962 р. рішенням уряду Польщі змінився порядок деяких приток Вісли [30]. Так, Західний Буг став притокою р. Нарев. Остання перетворилася на притоку 1-го порядку р. Вісла. До цього було навпаки — вважали, що Західний Буг впадає у Віслу, а Нарев – у Західний Буг. Через це у Західного Бугу, що став притокою Нарева, зменшилася площа басейну – 39 580 км² (до цього було 73 470 км²), а у Нарева – збільшилася.

Важливе значення мало затвердження Верховною Радою України у 2016 р. гідрографічного районування території України з виділенням 9 районів річкових басейнів: Дніпра, Дністра, Дунаю, Південного Бугу, Дону, Вісли, річок Криму, річок Причорномор'я, річок Приазов'я [21]. Майже всі річки України належать до басейну Чорного і Азовського морів. Крім району басейну р. Вісла (р. Західний Буг та р. Сан), який належить до басейну Балтійського моря і займає всього 2,5 % території країни (рис. 1).

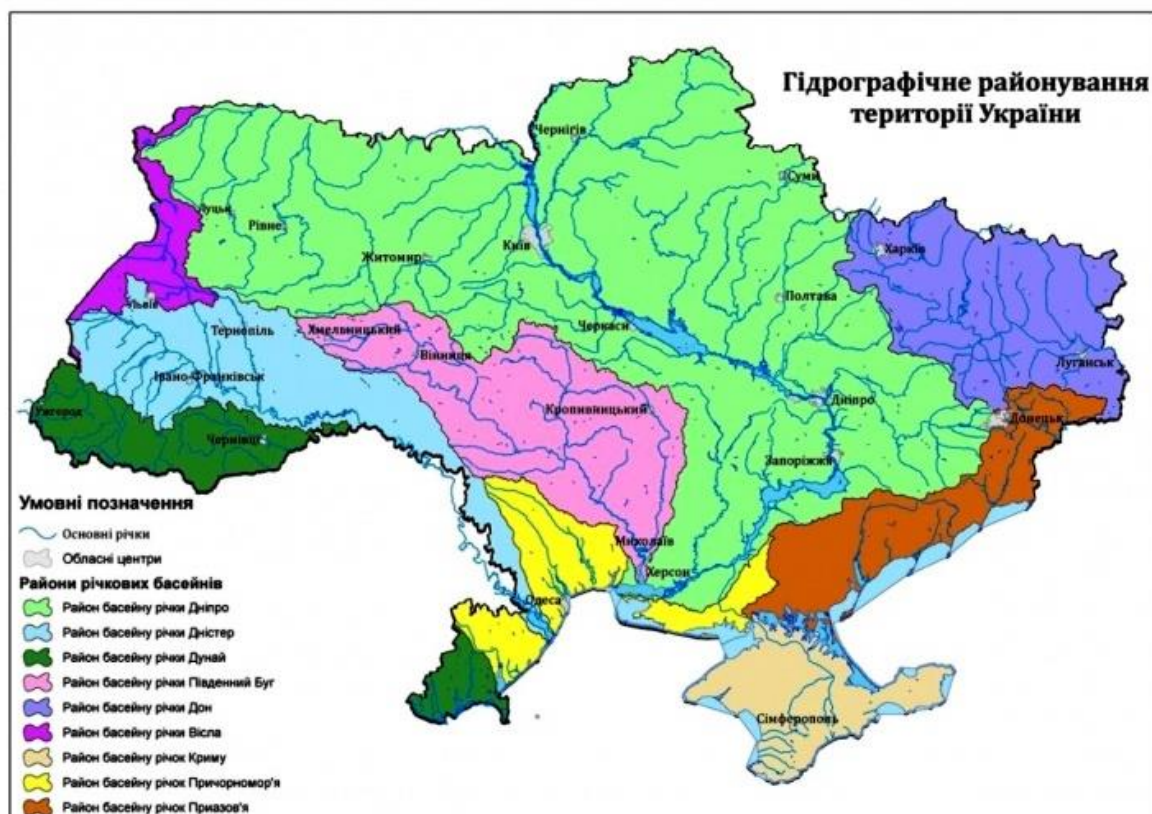


Рис.1. Гідрографічне районування території України за районами басейнів: 1 – р. Дніпро; 2 – р. Дністер; 3 – р. Дунай; 4 – р. Південний Буг; 5 – р. Дон; 6 – р. Вісла; 7 – річок Криму; 8 – річок Причорномор'я; 9 – річок Приазов'я

Гідрографічне районування 2016 р. не замінює класичне гідрологічне районування, яке виконане з урахуванням фізико-географічної зональності території України. Оскільки

основна функція гідрографічного районування – менеджмент водних ресурсів на основі планів управління басейнами річок.

В роботі [8] показано, що впродовж другої половини 20 ст., коли реально почали займатися практичними питаннями гідрографії басейнів річок на території колишнього СРСР, оцінка кількості річок в Україні, виконана за тією або іншою методикою, значно змінювалася: від 22197 річок (у 1953 р.) до 72779 річок (у 1960–1980 рр.), «стабілізувавшись» у 2001 р. – 63119 річок.

Цей різнобій у даних про кількість річок до цього часу дає можливість робити некомпетентні або спекулятивні заяви про втрату 10 тис. річок в Україні.

На нашу думку, кількість річок в Україні на сьогодні за розвинених методів ГІС та наявного широкого асортименту космічних знімків теж вимагає уточнення.

Як відзначалося вище, згідно Водної рамкової ЄС існує інша типологія річок за площею водозбору. Вона застосовується в Україні лише як допоміжна при виділенні масивів поверхневих вод для розробки планів управління річковими басейнами. Досвід її застосування для деяких пілотних досліджень в басейнах річок нашої країни висвітлено в публікаціях [7, 23, 28].

Необхідно відзначити позитивний досвід, який мав місце в Україні у 1980-і 21рр., коли була започаткована програма паспортизації малих річок (за гідрологічними, гідрохімічними та гідробіологічними параметрами). На жаль вона була виконана приблизно на 30 %.

У світі з середини 1990-х 21рр. почала поширюватися тенденція до ревіталізації малих річок, особливо на території міських агломерацій. Під ревіталізацією річок розуміють повне відновлення водотоків або ж певних їхніх ділянок на рівні періоду часу існування річки, що передував індустріальному освоєнню даного регіону, коли була непорушеною руслова мережа і не здійснювалися централізовані чи точкові скиди стічних вод. [15, 17].

В Україні можна зафіксувати початок активних дій в цьому напрямі з 2015 р., коли електронна петиція (звернення) киян до Київської міської ради, в якій було висловлено глибоке занепокоєння станом р. Либідь, набрала понад 10 тис. підписів, необхідних для її розгляду міською владою. Петиція мала назву: «Визнати долину русла річки Либідь зоною екологічного лиха та розпочати вживання невідкладних заходів із відновлення екосистеми річки Либідь та навколишньої території». За інформацією ЗМІ – станом на 2020 р. тривають проектні роботи для реалізації заходів з ревіталізації окремих ділянок Либіді.

Канали. Канал – це штучний водотік, призначений для скорочення водних маршрутів або для перенаправлення потоку води. За призначенням розрізняють канали: судноплавні, зрошувальні (іригаційні), осушувальні, водопровідні, комплексного призначення та ін.

В Україні судноплавних каналів немає, натомість наявні всі інші типи, серед яких 6 каналів вважається великими: Північно-Кримський (403 км); Дніпро – Донбас (262 км); Дніпро – Інгулець (151 км); Сіверський Донець – Донбас (133 км); Каховський (130 км); Дніпро-Кривий Ріг (42 км).

Водойми

Озера. На території України нараховується близько 20 тис. озер [14]. Вони мають різне походження: заплавні, карстові, приморські (озера-лимани). Розташування озерних районів з найбільшими озерами умовно можна локалізувати за регіонами:

- озера Волинського Полісся;
- Придунайські озера;
- озера-лимани Причорномор'я;
- солоні озера Криму.

Поширені озера також в заплавах Дніпра, Прип'яті, Десни та інших річок. Гірські озера зустрічаються в Українських Карпатах.

Застосовуючи класифікацію озер за площею водного дзеркала згідно вимог ВРД ЄС, встановлюємо, що серед озер в Україні є 0,005 %, які виділяються своєю площею: 1 озеро - дуже велике ($> 100 \text{ км}^2$) – Ялпуг (Придунайські озера); 21 – великі ($10\text{-}100 \text{ км}^2$), з яких 10 солоних у Криму; близько 70 озер – середні ($1\text{-}10 \text{ км}^2$). Всі інші озера є: малими ($0,5\text{-}1,0 \text{ км}^2$) та дуже малими ($< 0,5 \text{ км}^2$) за площею водного дзеркала.

Застосування класифікації озер за середньою глибиною згідно вимог ВРД ЄС (глибоке - $> 15 \text{ м}$; середньої глибини – $3\text{-}15 \text{ м}$; мілке - $< 3 \text{ м}$) засвідчує, що глибокі озера в Україні відсутні взагалі (одиночні випадки максимальної глибини до уваги не беруться).

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2021. № 1 (59)

Дослідження за цією методикою 28 озер Шацького поозер'я, для якого характерні найглибші водойми в Україні, виявили лише 4 озера (14%) категорії середньої глибини - Світязь, Пулемецьке, Пісочне, Люцимир. Всі інші 24 озера (86%) Шацької групи - мілкі [24].

Мілкими є гірські озера Українських Карпат (Бребенескул, Несамовите, Марічейка та ін.) [25]. Лише Синевир належить до категорії озер середньої глибини.

Дуже велике за площею озеро Ялпуг та великі за цією ознакою озера Кагул, Картал, Катлабуг, Китай, Кугурлуй в Придунайській озерній групі (25 водойм) належать до категорії мілких за глибиною.

Водосховища. В Україні водосховище – це штучна водойма з об'ємом понад 1,0 млн м³, споруджена для створення запасу води та регулювання стоку. Донедавна вважалося, що на території країни існує 1160 водосховищ [14]. Але дослідження, виконані в Україні в 2014 р. [6] і в 2020 р. дозволили уточнити цю кількість – 1054 водосховища. Вони мають повний об'єм 55,13 км³ та сумарну площу водного дзеркала 9362 км². В Україні загальний стік річок становить 170,3 км³/рік [18, 20]. Таким чином, водосховищами зарегульовано 32% загального річкового стоку країни.

Використовуючи методику [1], було виконано класифікацію 1054 водосховищ України за об'ємом води. До «дуже великих» - належать Кременчуцьке та Каховське водосховища на р. Дніпро; до «великих» – Київське, Канівське, Кам'янське (колишнє Дніпродзержинське), Дніпровське (на р. Дніпро), Дністровське (на р. Дністер). Тобто, 7 «дуже великих» і «великих» водосховищ становлять 0,7% від всіх водосховищ в країні. А інші 1047 водосховищ (99,3%) – це ті, що віднесені до категорій середніх, невеликих і малих (табл. 2). Причому, в цій категорії найбільшою є частка малих водосховищ (89.9%).

Таблиця 2. Наявність середніх, невеликих і малих водосховищ в районах річкових басейнів на території України (без дніпровського каскаду і Дністровського водосховища), 2020 р.

Район басейну річки	Площа району басейну річки км ²	Кількість водосховищ та їхні параметри			
		штук	площа, га	повний об'єм, млн м ³	корисний об'єм, млн м ³
Дніпро	296315	469	72831	2163.6	1756.5
Дністер	53961	61	11516	335.4	207.3
Дунай	30625	40	53824	1975	857.9
Південний Буг	63700	169	28257	822	483.3
Дон	55273	148	33226	1949.1	1616
Вісла	12892	11	3296	62.4	44.3
Річки Криму	27218	23	4218	398.4	368.1
Річки Причорномор'я	27179	36	5073	168.2	143.3
Річки Приазов'я	36866	90	21604	547.5	429.3
В Україні	604742*	1047	233846	8421.6	5906

Примітка: 604742 км² - загальна площа дев'яти районів річкових басейнів (включаючи прибережні води); 603628 км² - територія України.

Якщо розглядати значення повних об'ємів водосховищ, то виявляється, що в шести водосховищах Дніпровського каскаду (43,71 км³) та Дністровському водосховищі (3,0 км³) знаходиться 85% об'єму води всіх водосховищ країни. На середні, невеликі та малі водосховища припадає лише 15% (8,42 км³).

Найбільша кількість середніх, невеликих і малих водосховищ зосереджена у посушливих центральних та південно-східних індустриальних областях України (лісостепова та степова зони): Донецькій – 12% від загальної кількості водосховищ цієї категорій в країні; Дніпропетровській – 9 %. Найменшу кількість водосховищ мають на своїй території Івано-Франківська (0,3%) та Чернівецька (0,4%) області, які в достатній мірі забезпечені водними ресурсами.

Аналіз в розрізі районів річкових басейнів засвідчує, що майже половина водосховищ зосереджена в районі басейну р. Дніпро – 45 % від загальної кількості в країні. Найменше

водосховищ знаходиться в районі басейну р. Вісла – 1,0 %.

Усі водні об'єкти на території України становлять водний фонд держави. Але фізичні та юридичні особи, починаючи з 1999 р., можуть отримати в користування на умовах оренди деякі водні об'єкти. Так, для рибогосподарських потреб, культурно-оздоровчих, лікувальних, рекреаційних, спортивних і туристичних цілей, проведення науково-дослідних робіт можуть надаватися в оренду водосховища (крім водосховищ комплексного призначення), стави, озера і замкнені природні водойми [4]. У 2020 р. 28 % водосховищ перебувало в оренді, у 2014 р. частка орендованих водосховищ становила 39 %.

Стави. Став (ставок) – це штучна водойма з об'ємом не більше 1,0 млн м³. Стави належать до водних об'єктів місцевого значення. Невисокий статус цих водних об'єктів призвів до того, що їхній облік в Україні здійснювався незадовільно. Донедавна вважалося, що на території країни загальна кількість ставів становить 28,8 тисяч [14]. Дослідження, виконані в Україні у 2014 р., виявили на 72 % більшу кількість - 49444 стави з сумарною площею водного дзеркала 289109 га та об'ємом 3984,5 млн м³ води [6]. Це змусило повторити дослідження у 2019 р., щоб перевірити отримані результати [22, 29]. На жаль, при зборі інформації довелося враховувати реалії сьогодення – неможливість отримати свіжу інформацію по анексованій Автономній Республіці Крим, а також по тимчасово окупованих територіях Донецької та Луганської областей.

За даними досліджень 2019 р., в Україні нараховується 50793 стави з сумарною площею водного дзеркала 292899 га та об'ємом 3969,4 млн м³ води (табл. 3). Як видно, дані 2019 р. дещо вищі ніж у 2014 р., але досить близькі (різниця для різних характеристик становить 0,4-2,7 %).

Таблиця 3. Наявність ставів у районах річкових басейнів на території України, 2020 р.

Район басейну річки	Площа району басейну річки км ²	Кількість ставків та їхні параметри		
		штук	площа, га	об'єм, млн м ³
Дніпро	296315	24634	156227	1998.2
Дністер	53961	5899	24622	290.7
Дунай	30625	1965	10071	110.1
Південний Буг	63700	9954	55811	691.2
Дон	55273	2815	14976	312.4
Вісла	12892	1459	4453	49.9
Річки Криму	27218	1994	12816	217.7
Річки Причорномор'я	27179	656	5545	115.2
Річки Приазов'я	36866	1417	8378	199.1
В Україні	604742	50793	292899	3984.5

Примітка: 604742 км² - загальна площа дев'яти районів річкових басейнів (включаючи прибережні води); 603628 км² - територія України.

За об'ємом акумульованої води дуже великі (0,5-1,0 млн. м³) та великі (200-500 тис. м³) стави в Україні становлять 13 %; середні (50- 200 тис. м³) – 29 %; малі (10-50 тис. м³) та дуже малі (до 10 тис. м³) – 58 %.

Найбільше ставів зосереджено на території адміністративних областей, розташованих в межах центральної та західної України (лісостепова зона): Вінницькій – 10,5 % від загальної кількості ставів в країні, Дніпропетровській – 6,5 %, Київській – 6,3 % та Львівській – 6,3 % областях.

Найменше ставів від загальної кількості в країні знаходиться в межах Луганської – 0,7 %, Закарпатської – 1,3 %, Тернопільської – 1,7 % та Одеської 2,0 % областей.

Якщо розглядати в розрізі районів річкових басейнів, то видно, що майже половина ставів зосереджена в районі басейну р. Дніпро – 48,5 % від загальної кількості ставів в країні. Найменше ставів знаходиться в районі басейну річок Причорномор'я – 1,2 %.

У 2019 р. 28 % ставів перебувало в оренді, у 2014 р. частка орендованих ставків становила 36 %.

У 2013 р. Міністерство екології та природних ресурсів України затвердило "Порядок розроблення паспорта водного об'єкта". У цьому паспорті передбачено встановлення морфометричних, гідрохімічних і технічних параметрів водного об'єкта, гідрологічних характеристик річки, на якій розташована водойма. Також регламентується експлуатаційна діяльність на ставах для забезпечення надійності функціонування споруд. Замовником робіт з розробки паспорта водного об'єкта є його орендодавець.

Висновки

1). Виконане оцінювання даних про кількість водних об'єктів засвідчує наявність на території України: 63119 річок (з них 8 – великі); 6 каналів (довжиною понад 50 км); близько 20 тис. озер; 1054 водосховищ (у шести водосховищах дніпровського каскаду та Дністровському водосховищі знаходиться 85 % об'єму води всіх водосховищ); 50793 ставів.

2). Оскільки гідрографічні дослідження в Україні виконувалися понад 50 років тому, необхідними є сучасні гідрографічні обстеження території країни зі створенням сучасного водного кадастру і комп'ютерної бази даних про всі водні об'єкти.

3). Відповідно, актуальним завданням постає встановлення реальних морфометричних параметрів водних об'єктів (річок, озер, водосховищ, ставів).

4). Основними організаціями, у сферу діяльності яких входять ці питання, є Державне агентство водних ресурсів України та Український гідрометеорологічний центр Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

5). Необхідно також унормувати низку понять, які застосовуються апіорі, але не мають визначення, чітких параметрів (наприклад, струмок, джерело, став-копанка та ін.).

Список літератури

1. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шаралов В.А. Водохранилища. Москва, Мысль. 1987. 325 с.
2. Вишневський В.І. Річки і водойми України. Стан і використання Київ. Віпол, 2000. 367 с.
3. Вишневський В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України. Київ. Ніка-Центр. 2003. 324 с.
4. Водний кодекс України, 1995. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>
5. Водный кодекс Республики Беларусь, 2014. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=Hk1400149&p1=1>
6. Водний фонд України: Штучні водойми – водосховища і ставки: Довідник / В.В. Гребінь, В.К. Хільчевський, В.А. Сташук, О.В. Чунарьов, О.Є. Ярошевич / За ред. В.К. Хільчевського, В.В. Гребеня. Київ. Інтерпрес, 2014. 192 с.
7. Гребінь В.В., Хільчевський В.К., Бабій П.О., Забокрицька М.Р. Оцінка річкової мережі басейну Росії за типологією річок згідно Водної рамкової директиви Європейського Союзу // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2015. Т.2(37). С. 23-33.
8. Гребінь В.В., Хільчевський В.К. Ретроспективний аналіз досліджень річкової мережі України та застосування типології річок Водної рамкової директиви ЄС на сучасному етапі // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2016. Т.2(41). С. 32-47.
9. ДСТУ 3517-97. Гідрологія суші. Терміни та визначення. Видання офіційне. Київ. Держстандарт України. 107 с. 1997.
10. ДСТУ 3041-95. Система стандартів у галузі охорони навколишнього середовища та раціонального використання ресурсів. Гідросфера. Використання і охорона води. Терміни та визначення. Видання офіційне. Київ. Держстандарт України. 1995.
11. Малі річки України: довідник / За ред. А.В. Яценка. Київ. Урожай. 1991. 296 с.
12. Методика гидрографического районирования территории Российской Федерации. Утверждена приказом Министерства природных ресурсов РФ от 25.04.2007 N 112. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_68601/.
13. О водоохраных зонах и полосах рек и водоемов / Закон Республики Молдова № 449 от 27-04-1995. - URL: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=109438&lang=ru
14. Паламарчук М.М. Закорчевна Н.Б. Водний фонд України: Довідковий посібник. 2-е вид., доп. Київ. Ніка-Центр, 2006. 320 с.
15. Хильчевский, В.К. Гидроэкологическое состояние малых исторических рек Лыбедь и Почайна в бассейне Днепра и Волги в начале XXI века // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. № 4(55). С. 74-88.
16. Хильчевский В.К., Кравчинский Р.Л. Методические аспекты мониторинга родников в условиях Украинских Карпат // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2020. Т. 3(58). С. 6-19.

17. Хільчевський В.К. Гідроекологічні проблеми ревіталізації річок на території міських агломерацій – міжнародний та український досвід // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2017. Т.2(45). С. 6-13.
18. Хільчевський В.К. Глобальні водні ресурси: виклики XXI століття // Вісник Київського нац. університету ім. Т. Шевченка. Серія; Географія. 2020. Вип. 1(76)/2(77). С. 6-16.
19. Хільчевський В.К. Про функціонально-генетичну та гідрохімічну класифікації ставків // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2017. Т. 3 (46). С. 6-11.
20. 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.
21. Хільчевський В.К., Гребін В.В. Гідрографічне та водогосподарське районування України 2016 р. – реалізація положень ВРД ЄС // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2017. Т. 1 (44). С. 8–20.
22. Хільчевський В.К., Гребін В.В. Сучасна гідрографічна характеристика ставків в Україні – регіональні і басейнові аспекти // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2020. Т. 3 (58). С. 20-30.
23. Хільчевський В.К., Гребін В.В., Забокрицька М.Р. Оцінка гідрографічної мережі району річкового басейну Вісли (Західного Бугу та Сану) на території України згідно типології Водної рамкової директиви ЄС // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2016. № 1 (40). С. 29-41.
24. Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р. Основні аспекти морфометрії та гідрохімії Шацьких озер // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2020 № 3(58). С. 92-100.
25. Хільчевський В.К., Корчемлюк М.В., Кравчинський Р.Л., Савчук Б.Б. Умови формування хімічного складу води гірського озера Марічейка (масив Чорногора, Українські Карпати) // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2018. № 1(48). С. 6-15.
26. A new broad typology for rivers and lakes in Europe: Development and application for large-scale environmental assessments / Solheim A., Globevnik L., Austnes K. et al. // Science of The Total Environment. 2019. Vol. 697. P. 1-15.
27. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32000L0060&from=EN>
28. Khilchevskiy V.K., Grebin V.V., Zabokrytska M.R. Abiotic Typology of the Rivers and Lakes of the Ukrainian Section of the Vistula River Basin and its Comparison with Results of Polish Investigations // Hydrobiological Journal. 2019. Vol. 55. Is. 3. P. 95-102. DOI: 10.1615 / HydrobJ.v55.i3.110.
29. Khilchevskiy V., Grebin V., Zabokrytska M., Zhovniir V., Bolbot H., Plichko L. Hydrographic characteristic of ponds distribution in Ukraine - basin and regional features // Journal of Water and Land Development. 2020. No 46 (VII–IX). P. 140–145. DOI: 10.24425/jwld.2020.134206.
30. W sprawie zmiany i ustalenia nazw niektórych miejscowości i obiektów fizjograficznych: Zarządzenie Prezesa Rady Ministrów nr 119 z dnia 27 grudnia 1962 r. // Monitor Polski. 1963. Nr 3. Poz. 6. - URL: http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WMP_19630030006.

References

1. Avakyan A.B., Saltankin V.P., Sharapov V.A. Vodokhranilishha [Reservoirs]. Moskva, My'sl'. 1987. 325 s.
2. Vyshnevskiy V.I. Richky i vodoimy Ukrainy. Stan i vykorystannia [Rivers and reservoirs of Ukraine. Condition and use]. Kyiv. Vipol, 2000. 367 s.
3. Vyshnevskiy V.I. Richky i vodoimy Ukrainy. Stan i vykorystannia [Rivers and reservoirs of Ukraine. Condition and use]. Kyiv. Vipol, 2000. 376 s.
4. Vodnyi kodeks Ukrainy, 1995 [Water Code of Ukraine, 1995]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>
5. Vodnyj kodeks Respubliki Belarus, 2014 [Water Code of the Republic of Belarus, 2014]. URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=Hk14001_49&p1=1
6. Vodnyi fond Ukrainy: Shtuchni vodoimy – vodoskhovyshcha i stavky: Dovidnyk [Water Fund of Ukraine: Artificial reservoirs - reservoirs and ponds: Handbook] / V.V. Hrebin, V.K. Khilchevskiy, V.A. Stashuk, O.V. Chunarov, O.Ie. Yaroshevych / Za red. V.K. Khilchevskoho, V.V. Hrebenia. Kyiv. Interpres, 2014. 192 s.
7. Hrebin V.V., Khilchevskiy V.K., Babii P.O., Zabokrytska M.R. Otsinka richkovoї merezhi baseinu Rosi za typolohiiu richok zghidno Vodnoi ramkovoї dyrektyvy Yevropeiskoho Soiuzu [Assessment of the river network of the Ros river basin according to the typology of rivers according to the Water Framework Directive of the European Union] // Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2015. T.2(37). S. 23-33.
8. Hrebin V.V., Khilchevskiy V.K. Retrospektyvnyi analiz doslidzhen richkovoї merezhi Ukrainy ta zastosuvannia typolohii richok Vodnoi ramkovoї dyrektyvy YeS na suchasnomu etapi [Retrospective analysis of research on the river network of Ukraine and application of the typology of rivers of the EU

Water Framework Directive at the present stage] // *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia*. 2016. T.2(41). S. 32-47.

9. DSTU 3517-97. Land hydrology. Terms and definitions. The publication is official. Kiev. State Standard of Ukraine. 1997. 107 s.

10. DSTU 3041-95. System of standards in the field of environmental protection and resource management. Hydrosphere. Use and protection of water. Terms and definitions. The publication is official. Kiev. State Standard of Ukraine. 1995.

11. Mali richky Ukrainy: dovidnyk [Small rivers of Ukraine: Handbook] / Za red. A.V. Yatsyka. Kyiv. Urozhai. 1991. 296 s.

12. Metodika gidrograficheskogo rajonirovaniya territorii Rossijskoj Federaczii [Method of hydrographic zoning of the territory of the Russian Federation]. Utverzhdena prikazom Ministerstva prirodnykh resursov RF ot 25.04.2007 N 112. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_68601/.

13. O vodookhrannykh zonakh i polosakh rek i vodoemov [About water protection zones and strips of rivers and reservoirs] / Zakon Respubliki Moldova N 449 ot 27-04-1995. URL: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=109438&lang=ru

14. Palamarchuk M.M. Zakorchevna N.B. Vodnyi fond Ukrainy: Dovidkovyi posibnyk [Water Fund of Ukraine: Handbook]. 2-e vyd., dop. Kyiv. Nika-Tsentr, 2006. 320 s.

15. *Khil'chevskij V.K.* Gidroeologicheskoe sostoyanie malykh istoricheskikh rek Lybed' i Pochajna v basejne Dnepra i Volgi v nachale KhKhI veka [Hydroecological state of the small historical rivers Lybed and Pochaina in the Dnieper and Volga basins at the beginning of the 21st century] // *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia*. 2019. № 4(55). S. 74-88.

16. *Khil'chevskij V.K., Kravchinskij R.L.* Metodicheskie aspekty monitoringa rodnikov v usloviyakh Ukrainskikh Karpat [Methodological aspects of monitoring springs in the conditions of the Ukrainian Carpathians] // *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia*. 2020. T. 3(58). S. 6-19.

17. *Khilchevskiy V.K.* Hidroekologichni problemy revitalizatsii richok na terytorii miskykh ahlomeratsii – mizhnarodnyi ta ukrainskyi dosvid [Hydroecological problems of river revitalization on the territory of urban agglomerations - international and Ukrainian experience] // *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia*. 2017. T.2(45). S. 6-13.

18. *Khilchevskiy V.K.* Hlobalni vodni resursy: vyklyky 21 stolittia [Global water resources: challenges of the 21st century] // *Visnyk Kyivskoho nats. universytetu im. T. Shevchenka. Serii; Heohrafiia*. 2020. Vyp. 1(76)/2(77). S. 5-13.

19. *Khilchevskiy V.K.* Pro funktsionalno-henetychnu ta hidrokhimichnu klasyfikatsii stavkiv [On the functional-genetic and hydrochemical classification of ponds] // *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia*. 2017. T. 3 (46). S. 6-11.

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

21. *Khilchevskiy V.K., Hrebin V.V.* Hidrografichne ta vodohospodarske raionuvannia Ukrainy 2016 r. – realizatsiia polozhen VRD YeS [Hydrographic and water management zoning of Ukraine in 2016 - implementation of the provisions of the EU WFD] // *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia*. 2017. T. 1 (44). S. 8-20.

22. *Khilchevskiy V.K., Hrebin V.V.* Suchasna hidrografichna kharakterystyka stavkiv v Ukraini – rehionalni i baseinovi aspekty [Modern hydrographic characteristics of ponds in Ukraine - regional and basin aspects] // *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia*. 2020. T. 3 (58). S. 20-30.

23. *Khilchevskiy V.K., Hrebin V.V., Zabokrytska M.R.* Otsinka hidrografichnoi merezhi raionu richkovoho baseinu Visly (Zakhidnoho Buhu ta Sanu) na terytorii Ukrainy zghidno typolohii Vodnoi ramkovoi dyrektyvy YeS [Assessment of the hydrographic network of the Vistula river basin district (Western Bug and San) on the territory of Ukraine according to the typology of the EU Water Framework Directive] // *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia*. 2016. № 1 (40). S. 29-41.

24. *Khilchevskiy V.K., Zabokrytska M.R.* Osnovni aspekty morfometrii ta hidrokhimii Shatskykh ozer [The main aspects of morphometry and hydrochemistry of Shatsk lake] // *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia*. 2020 № 3(58). S. 92-100.

25. *Khilchevskiy V.K., Korchemliuk M.V., Kravchynskiy R.L., Savchuk B.B.* Umovy formuvannia khimichnoho skladu vody hirsokoho ozera Maricheika (masyv Chornohora, Ukrainski Karpaty) [Conditions for the formation of the chemical composition of the water of the mountain lake Maricheika (Chornohora massif, Ukrainian Carpathians)] // *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia*. 2018. № 1(48). S. 6-15..

26. A new broad typology for rivers and lakes in Europe: Development and application for large-scale environmental assessments / Solheim A., Globevnik L., Austnes K. et al. // *Science of The Total Environment*. 2019. Vol. 697. P. 1-15.

27. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32000L0060&from=EN>

28. Khilchevskiy V.K., Grebin V.V., Zabokrytska M.R. Abiotic Typology of the Rivers and Lakes of the Ukrainian Section of the Vistula River Basin and its Comparison with Results of Polish Investigations // Hydrobiological Journal. 2019. Vol. 55. Is. 3. P. 95-102. DOI: 10.1615 / HydrobJ.v55.i3.110.

29. Khilchevskiy V., Grebin V., Zabokrytska M., Zhovnir V., Bolbot H., Plichko L. Hydrographic characteristic of ponds distribution in Ukraine - basin and regional features // Journal of Water and Land Development. 2020. No 46 (VII-IX). P. 140-145. DOI: 10.24425/jwld.2020.134206.

30. W sprawie zmiany i ustalenia nazw niektórych miejscowości i obiektów fizjograficznych: Zarządzenie Prezesa Rady Ministrów nr 119 z dnia 27 grudnia 1962 r. // Monitor Polski. 1963. Nr 3. Poz. 6. - URL: <http://eli.gov.pl/eli/MP/1963>.

Современная характеристика водных объектов Украины: водотоки и водоемы Хильчевский В.К.

По выполненной в статье оценке, современные данные по количеству водных объектов на территории Украины составляют: 63119 рек; около 20 тыс. озер; 1054 водохранилища; 50793 ставки. Показано, что поскольку гидрографические исследования в Украине выполнялись более 50 лет назад, необходимы современные гидрографические обследования территории страны с созданием современного водного кадастра и установлением реальных морфометрических параметров водных объектов (рек, озер, водохранилищ, прудов). Основными организациями, в сферу деятельности которых входят эти вопросы, является Государственное агентство водных ресурсов Украины и Украинский гидрометеорологический центр Государственной службы Украины по чрезвычайным ситуациям. Необходимо также урегулировать ряд понятий, применяемых априори, но не имеющих определения, четких параметров (например, ручей, источник, пруд-копань и др.). Это сложно осуществлять через Водный кодекс Украины или ДСТУ, но проще можно сделать через официально утвержденные методики, в которых данные термины применяются.

Ключевые слова: водные объекты, водотоки, водоемы реки, озера, водохранилища, пруды.

Modern characteristics of water bodies in Ukraine: watercourses and reservoirs Khilchevskiy V.K.

According to the assessment made in the article, the current data on the number of water bodies on the territory of Ukraine are: 63119 rivers; about 20 thousand lakes; 1054 reservoirs; 50793 ponds. There are rivers in Ukraine: large (> 50 thousand km²) - 8 rivers: Dnieper, Dniester, Danube, Desna, Pripjat, Southern Bug, Seversky Donets, Tisa; medium (2.0-50 thousand km²) - 82 rivers; small (<2.0 thousand km²) - 63,029 rivers (99.87%). There are lakes in Ukraine: very large (> 100 km²) - 1 lake: Yalpus; large (10-100 km²) - 21 lakes; medium (1-10 km²) - about 70; small (0.5-1.0 km²) and very small (<0.5 km²) - all other lakes (99.54%). There are reservoirs in Ukraine: very large (10-50 km³) - 2 reservoirs: Kremenchug and Kakhovskoe - on the river.Dnipro (0.2%); large (1.0-10 km³) - 5 reservoirs; Kievskoe, Kanevskoe, Kamenskoe, Dneprovskoe (on the Dnieper river), Dnestrovsky - on the Dniester (0.5%); medium (0.1-1.0 km³) - 11 reservoirs (1.0%); small (0.01-0.1 km³) - 88 reservoirs (8.4%); small (<0.01 km³) - 948 reservoirs (89.9%). There are ponds in Ukraine: very large (> 500 thousand m³) and large (200-500 thousand m³) - 13%; medium (50-200 thousand m³) - 29%; small (10-50 thousand m³) and very small (<10 thousand m³) - 58%. Of great importance was the approval by the Verkhovna Rada of Ukraine in 2016 of the hydrographic zoning of the territory of Ukraine with the allocation of 9 regions of river basins: the Dnieper, Dniester, Danube, Southern Bug, Don, Vistula, Crimean rivers Black Sea rivers, Azov rivers. Almost all rivers of Ukraine belong to the basin of the Black and Azov seas. In addition to the area of the river basin Vistula (Western Bug and San rivers) which belongs to the Baltic Sea basin and occupies only 2.5% of the country's territory.

It is shown that since hydrographic studies in Ukraine were carried out more than 50 years ago, modern hydrographic surveys of the country's territory with the creation of a modern water cadastre and the establishment of real morphometric parameters of water bodies (rivers, lakes, reservoirs, ponds) are necessary. The main organizations dealing with these issues are the State Agency for Water Resources of Ukraine and the Ukrainian Hydrometeorological Center of the State Service of Ukraine for Emergency Situations. It is also necessary to regulate a number of concepts that are used a priori, but do not have a definition, clear parameters (for example, a stream, a source, a digging pond, etc.). This is difficult to implement through the Water Code of Ukraine or state standards, but it can be easier to do through the officially approved methods in which these terms are used.

Keywords: water bodies, watercourses, reservoirs, rivers, lakes, reservoirs, ponds.

Надійшла до редколегії 20.11.2020

Лук'янець О.І., Гребінь В.В.*Київський національний університет імені Тараса Шевченка***ЧАСОВА ДИНАМІКА ВОДНО-БАЛАНСОВИХ СКЛАДОВИХ В БАСЕЙНІ Р. ПСЕЛ**

Аналіз часової динаміки водно-балансових складових в басейні р. Псел показав, що хоча величини складових водного балансу в межах басейну р. Псел – м. Гадяч в сучасний період (1990-2019 рр.) зменшилися у порівнянні з періодом кліматичної норми (1961-1990 рр.) – кількість атмосферних опадів на 6,2%, стік води на 17,5%, сумарне випаровування на 1,8%, але, аналізуючи співвідношення між надходженням та витрачанням води в басейні за два досліджувані періоди, можна констатувати, що в період кліматичної норми відсоток стоку води від суми атмосферних опадів був більшим (коефіцієнт стоку води 16,2%), ніж в сучасний період (коефіцієнт стоку води 14,2%). Щодо сумарного випаровування у водно-балансових співвідношеннях, то його частка у водно-балансовому співвідношенні за сучасний період (1990-2019 рр.) збільшилася. Якщо в період кліматичної норми (1961-1990 рр.) коефіцієнт посушливості був 83,8%, то в сучасний період - 85,8%. Тобто відбувся «перерозподіл» об'ємів води атмосферних опадів в бік сумарного випаровування зі зменшенням об'ємів води, що йдуть на формування стоку води.

Ключові слова: річковий басейн, складові водного балансу, багаторічні зміни, коефіцієнт стоку, коефіцієнт посушливості, р. Псел.

Вступ. 3 метою виявлення змін, що відбулися у часовій динаміці водно-балансових складових в басейні р. Псел проведено порівняння метеорологічних та гідрологічних характеристик, а також структури водного балансу сучасного періоду (1991-2019 рр.) з періодом кліматичної норми (1961-1990 рр.). Це зроблено у відповідності з Технічним регламентом ВМО – кліматична норма певного елементу визначається як середнє значення протягом послідовних періодів у 30 років. На XXVII Всесвітньому метеорологічному конгресі, що проходив у 2015 р. було вирішено зберегти подібний підхід до питань моніторингу клімату та водних ресурсів.

Метод дослідження та вихідні дані. Метод водного балансу є основою при вивченні гідрологічних явищ та процесів, в основу якого покладено фундаментальний закон природознавства – закон збереження речовини. Математичною моделлю цього методу є рівняння водного балансу, в нашому випадку річкового басейну р. Псел. Рівняння водного балансу показує співвідношення надходження та витрачання води в межах річкового басейну з врахуванням зміни його запасів за обраний інтервал часу і дозволяє оцінити взаємозв'язок його окремих компонентів. Структурними елементами водного балансу для середнього багаторічного періоду є наступні:

$$\bar{P} = \bar{R} + \bar{E} \pm \varepsilon, \quad (1)$$

де $\bar{P}$, $\bar{R}$, $\bar{E}$ – середні багаторічні значення, відповідно, атмосферних опадів, стоку води, сумарного випаровування з поверхні річкового басейну, $\pm \varepsilon$ - остаточний член, який показує похибки у визначенні елементів водного балансу, які обумовлені переважно недосконалістю вимірювання та визначення середніх по басейну його складових.

Для оцінки часової динаміки водно-балансових складових басейну р. Псел були задіяні дані спостережень метеостанцій Суми, Лебедин, Гадяч та гідрологічних постів на р. Псел – м. Суми, м. Гадяч та с. Запсілля за період 1961-2019 рр.

Результати дослідження. Оцінка часової динаміки температури повітря та кількості атмосферних опадів.

Середня річна температура повітря по всіх пунктах спостереження за досліджуваний період 1961-2019 рр. має однакові тенденції змін. До кінця 80-х років минулого століття вона змінювалась в широких межах і за даними спостереження окремих років від 4,1°C до 9,0°C, але середня тенденція трималась на позначці 6,5-7,0°C. (рис. 1).

Далі помітно стійке підвищення середньої річної температури повітря, вже після 2005 р. вона ні разу не була на рівні 7°C, а 2019 р. середня річна температура повітря досягла свого найбільшого значення за досліджуваний період 1961-2019 рр. – за даними метеостанції Суми - 9,2°C, Лебедин - 9,7°C, Гадяч - 10°C.

Багаторічні зміни річної кількості опадів за досліджуваний період 1961-2019 рр. мають хвилюподібну тенденцію (рис. 2).

Найбільші їх значення за трендом спостерігалися у 70-х-80-х роках минулого століття і в середньому за цей період вони оцінюються у 600-650 мм. Треба відмітити, що на цей же період за даними в окремі роки приходиться найбільший розмах варіювання річної кількості опадів – від 380-420 мм до 890-930 мм. З 90-х років прослідковується тенденція на їх зменшення до 2005-2007 рр., потім певна стабілізація. Середня річна кількість опадів за період 1990-2019 рр. становить 540-590 мм.

Для виявлення сучасних змін середньої місячної та середньої за рік температури повітря та кількості опадів порівнювались їх значення за 2 періоди – кліматичної норми (1961-1990 рр.) та сучасним (1991-2019 рр.) за даними метеостанцій Суми, Лебедин та Гадяч.

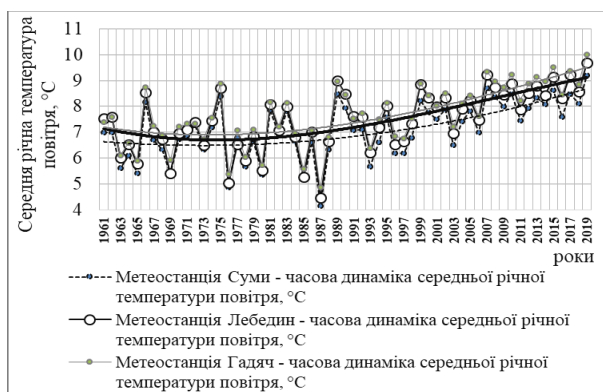


Рис. 1. Тенденції зміни середньої річної приземної температури повітря за період 1961-2019 рр.

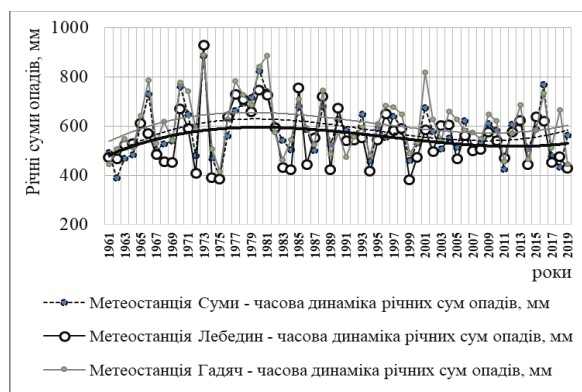


Рис. 2. Тенденції зміни річних кількостей опадів за період 1961-2019 рр.

Відповідно до розрахунків, наведених в табл.1, середня річна температура повітря, в загальному випадку, зросла в сучасний період у порівнянні з періодом кліматичної норми на 1,0-1,3 °С. У внутрішньорічному розрізі підвищення температури повітря відбулося в усі місяці року, але досить неоднозначно (табл. 1).

Значні зростання середньої місячної температури повітря відбулося у зимові місяці – у січні (найбільше в році і досягло 2,4-2,5°С) та лютому (1,8-1,9°С). Суттєвими вони є й у весняні місяці – у березні в сучасний період температура повітря стала вище на 1,5-1,7°С та у квітні на 0,9-1,2°С (табл. 1). В гідрологічному відношенні такі зростання температури повітря у періоди накопичення снігового покриву та його танення викликають або зовсім відсутність снігового покриву, опади випадають у вигляді дощів, або незначні його накопичення. Тобто змінюється форма випадіння опадів та структура живлення водних об'єктів, що впливає на внутрішньорічний розподіл стоку води і, в першу чергу, на формування найбільш багатоводної фази водного режиму досліджуваного річкового басейну – весняного водопілля. Також високі зростання середньої місячної температури повітря відбулося й в літні місяці (табл. 1): у червні – на 0,6-1,3°С, у липні – на 1,4-1,8°С, у серпні на 1,4-1,8°С, що сприяє, особливо при невеликій кількості опадів, посушливості та процесу випаровування, особливо з водних поверхонь річок, озер, водосховищ тощо. В осінні місяці температура повітря в сучасний період у порівнянні з кліматичною нормою зросла найменше – на 0,3-1,0°С (табл. 1).

Відповідно до розрахунків за даними метеостанцій Суми, Лебедин та Гадяч, наведених в табл.2, бачимо, що відбулися синхронні за величиною зміни у середньої місячної та річної кількості опадів за 2 періоди. В загальному випадку, у межах досліджуваної території спостерігається зменшення річної кількості атмосферних опадів в сучасний період (1990-2019 рр.) у порівнянні з періодом кліматичної норми (1961-1990 рр.) в середньому на 36-39 мм.

В зимові та весняні місяці року істотних змін у кількості атмосферних опадів немає – від зменшення на 11 мм (у грудні) до збільшення на 7 мм (у травні). Значні зміни відбулися влітку з найбільшими в річному розрізі зменшеннями кількості опадів у червні – на 6-14 мм

та серпні – на 18-24 мм. Якщо в період кліматичної норми (1961-1990 рр.) у серпні випадало у середньому близько 60 мм опадів, то в сучасний в середньому майже на 40% менше. За даними спостережень метеостанції Лебедин у останні роки у серпні випадає мізерна кількість опадів, так у 2018 р. їх кількість за місяць склала всього 2,4 мм, а у 2019 р. – 6,2 мм. Літній сезон, загалом, став бідним на опади, саме він обумовлює зменшення й річної їх кількості. В осінні місяці в сучасний період спостерігається взаємо компенсація – у вересні та жовтні кількість опадів збільшилася відповідно на 3-15 мм та 9-15 мм, а у листопаді їх стало менше на 8-11 мм.

Таблиця 1. Сучасні зміни приземної середньої місячної та середньої за рік температури повітря (°C) у порівнянні з періодом кліматичної норми

Місяці та рік	Температура повітря (°C)								
	Метеостанція Суми			Метеостанція Лебедин			Метеостанція Гадяч		
	періоди		Різниця	періоди		Різниця	періоди		Різниця
	1961-1990	1990-2019		1961-1990	1990-2019		1961-1990	1990-2019	
I	-7,6	-5,2	2,4 ↑	-7,2	-4,7	2,5 ↑	-7,0	-4,6	2,4 ↑
II	-6,4	-4,6	1,8 ↑	-6,0	-4,1	1,9 ↑	-5,7	-3,9	1,8 ↑
III	-1,1	+0,4	1,5 ↑	-0,8	+0,9	1,7 ↑	-0,4	+1,3	1,7 ↑
IV	+7,9	+8,8	0,9 ↑	+8,2	+9,3	1,1 ↑	+8,4	+9,6	1,2 ↑
V	+14,9	+15,1	0,2 ↑	+15,0	+15,7	0,7 ↑	+15,0	+15,9	0,9 ↑
VI	+18,0	+18,6	0,6 ↑	+18,2	+19,1	0,9 ↑	+18,0	+19,3	1,3 ↑
VII	+19,1	+20,5	1,4 ↑	+19,2	+20,9	1,7 ↑	+19,3	+21,1	1,8 ↑
VIII	+18,2	+19,6	1,4 ↑	+18,4	+19,9	1,5 ↑	+18,5	+20,3	1,8 ↑
IX	+13,0	+13,6	0,6 ↑	+13,1	+14,1	1 ↑	+13,4	+14,3	0,9 ↑
X	+6,7	+7,1	0,4 ↑	+6,8	+7,6	0,8 ↑	+7,2	+7,8	0,6 ↑
XI	+0,6	+0,9	0,3 ↑	+1,0	+1,6	0,6 ↑	+1,1	+1,7	0,6 ↑
XII	-4,1	-3,4	0,7 ↑	-3,6	-2,9	0,7 ↑	-3,5	-2,8	0,7 ↑
середня за рік	+6,6	+7,6	1 ↑	+6,9	+8,1	1,2 ↑	+7,0	+8,3	1,3 ↑

Примітка : ↑ - підвищення або ↓ - зниження температури повітря в сучасний період (1990-2019 рр.) у порівнянні з періодом кліматичної норми (1961-1990 рр.).

Таблиця 2. Сучасні зміни середніх місячних сум атмосферних опадів та суми за рік (мм) у порівнянні з періодом кліматичної норми

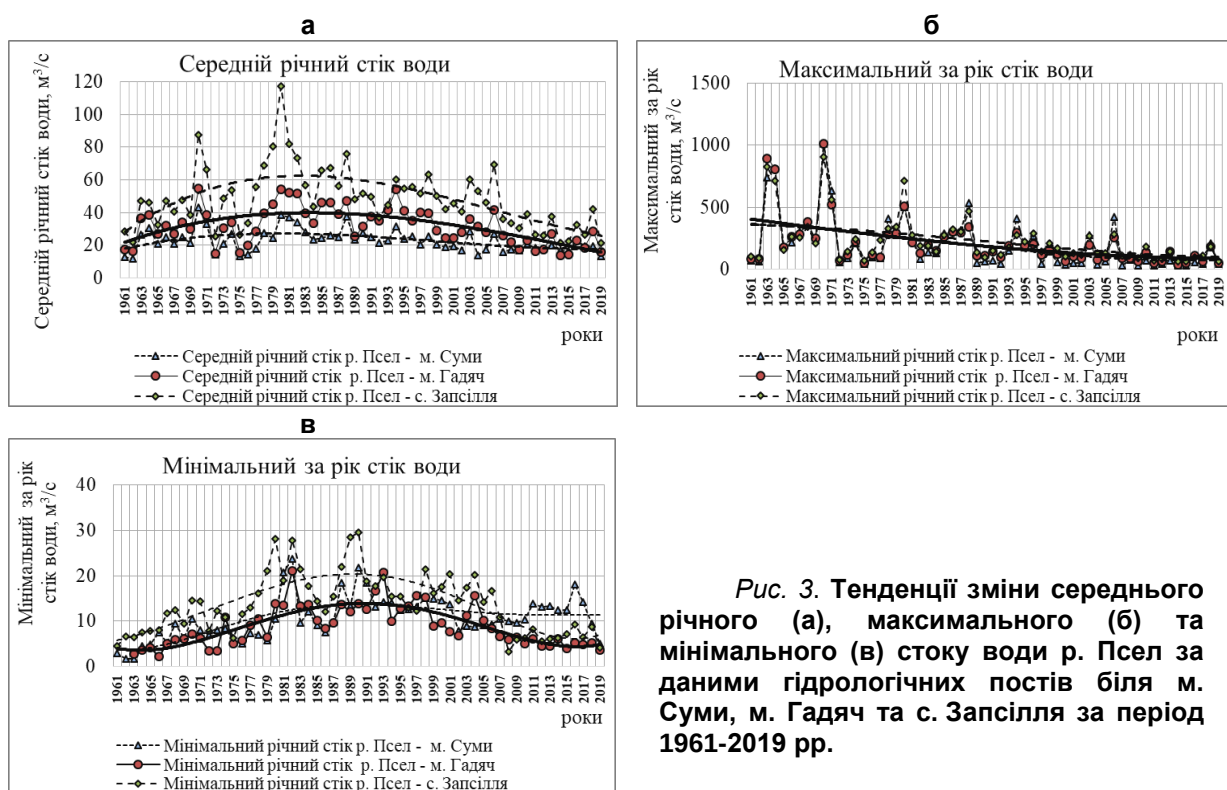
Місяці та рік	Сума атмосферних опадів, мм								
	Метеостанція Суми			Метеостанція Лебедин			Метеостанція Гадяч		
	періоди		Різниця	періоди		Різниця	періоди		Різниця
	1961-1990	1990-2019		1961-1990	1990-2019		1961-1990	1990-2019	
I	42	38	-4 ↓	39	39	0	48	46	-2 ↓
II	33	33	0 ↑	33	31	-2 ↓	40	38	-2 ↓
III	37	40	3 ↑	35	38	3 ↑	42	46	4 ↑
IV	38	36	-2 ↓	40	35	-5 ↓	40	35	-5 ↓
V	54	60	6 ↑	49	56	7 ↑	54	55	1 ↑
VI	68	58	-10 ↓	69	55	-14 ↓	73	67	-6 ↓
VII	77	73	-4 ↓	78	79	1 ↑	85	69	-16 ↓
VIII	61	43	-18 ↓	59	37	-22 ↓	61	37	-24 ↓
IX	45	49	4 ↑	44	47	3 ↑	41	56	15 ↑
X	37	49	12 ↑	36	45	9 ↑	36	51	15 ↑
XI	51	38	-13 ↓	46	35	-11 ↓	51	43	-8 ↓
XII	52	41	-11 ↓	47	38	-9 ↓	56	49	-7 ↓
Суми за рік	595	557	-38 ↓	573	534	-39 ↓	628	592	-36 ↓

Примітка : ↑ - збільшення або ↓ - зменшення кількості атмосферних опадів в сучасний період (1990-2019 рр.) у порівнянні з періодом кліматичної норми (1961-1990 рр.).

Оцінка часової динаміки середнього, максимального та мінімального стоку води р. Псел. В режимі коливальності стоку води річок можна виділити ряд характерних періодів (фаз водного режиму) в залежності від змін умов їх живлення. Для річок досліджуваної території виділяють наступні фази: весняне водопілля та літньо-осінню та зимову межень.

Середній річний стік води, який є своєрідним «гідрологічним еталоном», що характеризує водоносність річок, а його величини мають важливе практичне значення при різних видах водогосподарського проектування, раціонального використання й охорони водних ресурсів, водозабезпечення, оптимального регулювання річкового стоку тощо. До важливих режимних характеристик річкового стоку води також відносять його екстремальні значення - максимальний та мінімальний стік води, що формуються, відповідно, в періоди проходження весняного водопілля та в період межені.

Для з'ясування змін, що відбулися у середньому, максимальному та мінімальному стоках води річок досліджуваного басейну в сучасний період у порівнянні з періодом кліматичної норми та для достовірності висновків щодо виявлених змін були взяті дані спостережень за витратами води на р. Псел з трьох гідрологічних постів – р. Псел – м. Суми (площа басейну 7770 км²), р. Псел – м. Гадяч (1130 км²), р. Псел – с. Запсілля (21800 км²) (рис.3).



Тенденції багаторічної мінливості середнього річного стоку води р. Псел за всією її довжиною ідентичні та повторюють тенденції мінливості річної кількості опадів. Як й для опадів, так й для середнього річного стоку води, найбільші значення (за трендом на рис. 3, а) спостерігалися у 70-х-80-х роках минулого століття. З 90-х років на річці прослідковується чітка тенденція на зменшення середнього річного стоку води. Щодо максимального річного стоку води р. Псел, то за весь досліджуваний період з 1961 р. по 2019 рр. в його змінах виявилася лише спадна тенденція (рис. 3, б), можна відмітити значне зниження максимальної витрати води весняного водопілля на кожному з гідрологічних постів. Тенденції мінливості мінімального стоку води р. Псел нагадують тенденції зміни середнього річного стоку води з деяким зміщенням найбільших його значень на 80-х-90-х роки (рис. 3, в). Треба відмітити, що в останнє десятиліття мінімальний стік води за своїми показниками досягнув величин, що спостерігалися на початку 60-х років.

Для виявлення тенденцій до групування років з відносно великими та малими

значеннями стоку води, які обумовлені наявністю циклічного тренду, проведено графічний аналіз різницевої інтегральних кривих. На рис. 4 вони представлені для середнього річного (а), максимального (б) та мінімального (в) стоку води р. Псел за даними гідрологічних постів біля м. Суми м. Гадяч та с. Запсілля за період 1961-2019 рр. Позитивна наростаюча сума відхилень різницевої інтегральних кривих St – це фаза підвищеної водності, що означає зростання стоку води на певному проміжку часу. Негативна спадна – фаза пониженої водності, яка характеризує середнє зменшення стоку води (рис. 4). Аналіз представлених різницевої інтегральних кривих показує просторову синхронність у змінах досліджуваних стокових характеристик та узагальнює зазначені тенденції багаторічної мінливості середнього річного, максимального та мінімального стоку води р. Псел.

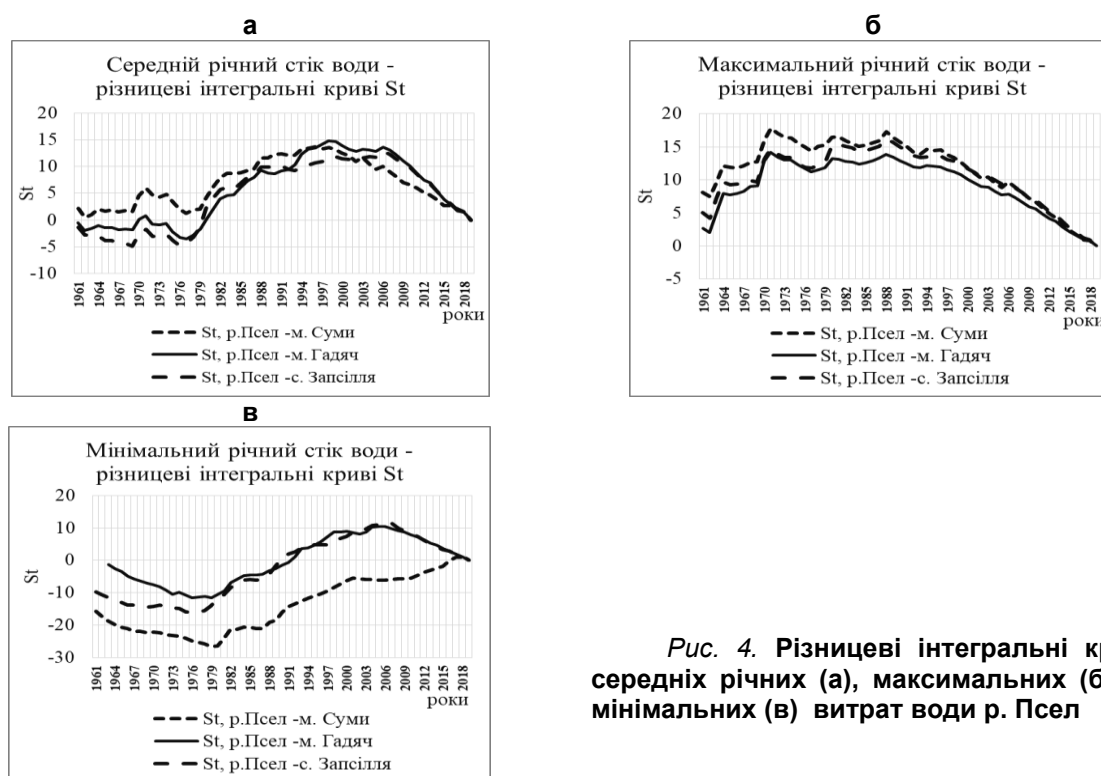


Рис. 4. Різницеві інтегральні криві середніх річних (а), максимальних (б) та мінімальних (в) витрат води р. Псел

Для виявлення сучасних змін у внутрішньорічному розподілі стоку води р. Псел порівнювались середні місячні його значення, як й для кліматичних характеристик, за 2 періоди – кліматичної норми (1961-1990 рр.) та сучасним (1991-2019 рр.), а також усереднені за 30-ті річні періоди середній річний, максимальний та мінімальний стік води за даними спостережень гідрологічних постів біля м. Суми м. Гадяч та с. Запсілля (табл. 3).

На рисунках 5 та 6 за даними спостережень гідрологічного поста р. Псел - м. Гадяч показана динаміка змін середніх місячних витрат води та середніх річних, максимальних та мінімальних, порівнюючи період кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний 1991-2019 рр.

Відповідно до розрахунків, в першу чергу, можна відмітити зменшення середнього місячного стоку р. Псел в квітні місяці, на який припадає проходження весняного водопілля і відповідно зниження на більше ніж вдвічі його максимальної витрати на кожному з гідрологічних постів. В переважній більшості середній місячний стік води р. Псел зменшився, лише червні, жовтні та листопаді спостерігаються його незначні підвищенні значення в сучасний період у порівнянні з періодом кліматичної норми. Мінімальні витрати води, порівнюючи два досліджуваних періоди, в верхів'ях р. Псел (за даними поста р. Псел - м. Суми) мають тенденцію на збільшення, в середній частині (р. Псел - м. Гадяч) – можна вважати, що він не змінився, а нижній частині (р. Псел - с. Запсілля) - зменшився (табл. 3, рис. 4, 5, 6)).

Таблиця 3. Сучасні зміни середнього місячного, середнього річного, максимального та мінімального стоку води р. Псел

Місяці та рік	Стік води річок, м³/с								
	р. Псел - м. Суми, площа басейну 7770 км²			р. Псел - м. Гадяч, площа басейну 11300 км²			р. Псел - с. Запсілля, площа басейну 21800 км²		
	періоди		Різниця	періоди		Різниця	періоди		Різниця
	1961- 1990	1990- 2019		1961- 1990	1990- 2019		1961- 1990	1990- 2019	
I	14,8	16,5	1,8 ↑	23,3	21,6	-1,7 ↓	37,1	33,3	-3,9 ↓
II	18,3	16,7	-1,6 ↓	27,7	24,7	-2,9 ↓	43,1	38,4	-4,7 ↓
III	43,9	27,6	-16,3 ↓	59,9	55,0	-4,9 ↓	87,2	76,9	-10,3 ↓
IV	93,9	43,3	-50,7 ↓	132,8	76,3	-56,5 ↓	189,1	129,9	-59,2 ↓
V	22,9	19,5	-3,4 ↓	34,4	31,7	-2,7 ↓	77,7	87,1	9,3 ↑
VI	14,9	17,3	2,5 ↑	17,5	19,6	2,1 ↑	34,7	31,3	-3,4 ↓
VII	14,1	16,9	2,8 ↑	18,3	15,9	-2,3 ↓	29,1	21,4	-7,7 ↓
VIII	14,8	16,3	1,5 ↑	16,2	14,6	-1,6 ↓	26,3	18,2	-8,1 ↓
IX	15,2	17,1	1,9 ↑	18,2	16,5	-1,7 ↓	25,1	18,8	-6,4 ↓
X	15,5	18,7	3,2 ↑	21,3	22,1	0,9 ↑	30,1	28,4	-1,7 ↓
XI	17,1	18,9	1,8 ↑	23,6	24,0	0,4 ↑	35,8	33,5	-2,3 ↓
XII	18,5	16,9	-1,6 ↓	25,6	20,9	-4,8 ↓	38,4	31,1	-7,3 ↓
Середній за рік	25,2	20,5	-4,7 ↓	34,9	28,6	-6,3 ↓	54,5	42,1	-12,4 ↓
Максимальний за рік	282,8	102,4	-180 ↓	285,1	119,3	-166 ↓	301,9	144,7	-157 ↓
Мінімальний за рік	9,1	12,2	3,0 ↑	8,6	9,1	0,5 ↑	14,6	12,4	-2,2 ↓

Примітка : ↑ - підвищення або ↓ - зниження стоку води в сучасний період (1990-2019 рр.) у порівнянні з періодом кліматичної норми (1961-1990 рр.).



Рис. 5. Зміни середніх місячних витрат води в сучасний період у порівнянні з періодом кліматичної норми, р. Псел - м. Гадяч

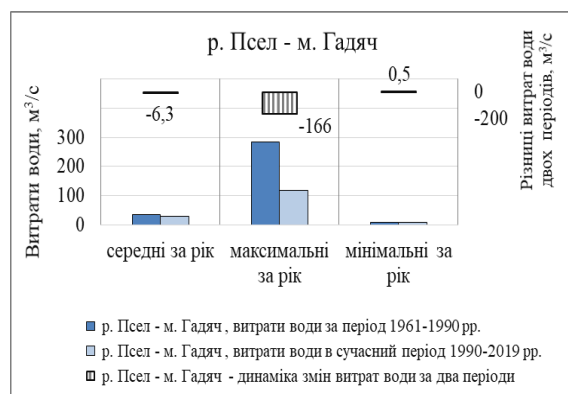


Рис. 6. Зміни середнього річного, максимального та мінімального стоку води в сучасний період у порівнянні з періодом кліматичної норми, р. Псел - м. Гадяч

Сучасні зміни складових водного балансу в басейні р. Псел. Для виявлення узагальненої ролі змін, що відбулися в басейні р. Псел з температурою повітря, кількістю атмосферних опадів, їх формою випадіння, структурою живлення водних об'єктів, зі стоком води в сучасний період порівняно річний водний баланс басейну р. Псел до м. Гадяч та визначено зміни у співвідношенні між надходженням (кількість опадів) та витратанням води (сумарне випаровування та стік води) за два періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. і сучасний 1990-2019 рр. (табл. 4). Складові річного водного балансу басейну р. Псел – м. Гадяч для зручності сприйняття представлено в різних одиницях розрахунку: в шарах – мм, в об'ємах – м³, у витратних показниках – м³/с.

Таблиця 4. Складові річного водного балансу басейну р. Псел – м. Гадяч за два періоди 1961-1990 рр. і 1990-2019 рр. та їх зміни в сучасний період у порівнянні з періодом кліматичної норми

Складові середнього річного водного балансу	Одиниці розрахунку		
	мм	м³	м³/с
1961-1990 рр.- період кліматичної норми			
сума атмосферних опадів P	599	6768700000	214,6
стік води R	97	1096100000	34,8
сумарне випаровування E	502	5672600000	179,8
1990-2019 рр. - сучасний період			
сума атмосферних опадів P	561	6339300000	201,1
стік води R	80	904000000	28,7
сумарне випаровування E	491	5435300000	172,4
↑ - збільшення або ↓ - зменшення величини складових водного балансу в сучасний період у порівнянні з періодом кліматичної норми, %			
сума атмосферних опадів P	6,4 % ↓		
стік води R	17,5% ↓		
сумарне випаровування E	1,8 % ↓		

Примітка : ↑ - збільшення або ↓ - зменшення величин складових водного балансу в сучасний період (1990-2019 рр.) у порівнянні з періодом кліматичної норми (1961-1990 рр.).

Якщо поділити обидві частини витрачання (тобто, величини сумарного випаровування та стоку води) на надходження води на територію басейну– суму атмосферних опадів, отримаємо наступне співвідношення: в частках від одиниці $1 = E/P + R/P$ або у відсотках $100\% = E/P\% + R/P\%$.

Перше з них E/P характеризує частку від одиниці (або відсоток) сумарного випаровування в загальній структурі водного балансу і є коефіцієнтом посушливості, тоді як друге R/P визначає частку від одиниці (або відсоток) той води, що йде на формування стоку води і є коефіцієнтом стоку. Часові зміни пропорцій в межах даних співвідношень досить добре описують *локальні прояви глобальних кліматичних змін* в межах окремого річкового басейну, в нашому випадку басейну р. Псел до м. Гадяч (табл. 5).

Таблиця 5. Співвідношення між надходженням та витрачанням води в басейні р. Псел – м. Гадяч за два періоди 1961-1990 рр. і 1990-2019 рр.

показники	сума атмосферних опадів P	стік води R	сумарне випаровування E
1961-1990 рр.- період кліматичної норми			
Складові водного балансу в мм	599	97	502
Відсоток від суми атмосферних опадів	100%	16,2% (коефіцієнт стоку)	83,8% (коефіцієнт посушливості)
1990-2019 рр. - сучасний період			
Складові водного балансу в мм	561	80	491
Відсоток від суми атмосферних опадів	100%	14,2% (коефіцієнт стоку)	85,8%(коефіцієнт посушливості)

Хоча величини складових водного балансу в межах басейну р. Псел – м. Гадяч в сучасний період зменшилися у порівнянні з періодом кліматичної норми – кількість атмосферних опадів на 6,2%, стік води на 17,5%, сумарне випаровування на 1,8% (табл. 4), але аналізуючи співвідношення між надходженням та витрачанням води в басейні за два досліджувані періоди 1961-1990 рр. і 1990-2019 рр. (табл. 5), можна констатувати, що в період кліматичної норми відсоток стоку води від суми атмосферних опадів R/P був

більшим (коефіцієнт стоку води = 16,2%), ніж в сучасний період (коефіцієнт стоку води = 14,2%).

Щодо сумарного випаровування у водно-балансових співвідношеннях, то його частка у водно-балансовому співвідношенні за сучасний період (1990-2019 рр.) збільшилася. Якщо в період кліматичної норми (1961-1990 рр.) коефіцієнт посушливості був 83,8%, то в сучасний період - 85,8%.

Висновки. Аналіз часової динаміки водно-балансових складових басейну р. Псел показав, що в сучасний період відбувся «перерозподіл» об'ємів води атмосферних опадів в бік сумарного випаровування зі зменшенням об'ємів води, що йдуть на формування стоку води. Для басейну р. Псел – м. Гадяч в сучасний період в середньому ≈ 11 мм (або ≈ 130000000 м³) випаровуються замість поповнення водних ресурсів. В попередній період 1961-1990 рр. було навпаки, ≈ 12 мм (або 136000000 м³) не випаровувалося, а стікало в водні об'єкти басейну.

Список літератури

1. Гидрологические и воднобалансовые расчеты // Под. ред. Н.Г. Галущенко. К.: Вища школа, 1987. С. 171-221.
2. Загальна гідрологія // За ред. В.К. Хільчевського, О.Г. Ободовського. К.: ВПЦ «Київський університет», 2008. 179-187 с.
3. *Догановский А.М. Орлов В.Г.* Сборник задач по определению основных характеристик водных объектов суши (практикум по гидрологии): Уч. пособ. - Санкт-Петербург :Изд-во РГГМУ, 2011. 134-184 с.
4. *Чорноморець Ю.О., Лук'янець О.І.* Вплив сучасних змін у співвідношенні сніго-дощового живлення річок на структуру водного балансу їх басейнів (на прикладі річкового басейну Ворскли) // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2019. № 4(55). С. 40-52. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2019.4.3>.
5. WMO, 2007: "The role of climatological normals in a changing climate", World Climate Data and Monitoring Programme -No. 61, WMO-TD No. 1377.
6. WMO Media Centre, 2015: New Two-Tier approach on "climate normal". UPL: <https://public.wmo.int/en/media/news/new-two-tier-approach-climate-normals>.

References

1. Hidrologicheskie i vodnobilansovye raschety [Hydrological and water balance calculations] // Pod. red. N. G. Galushhenko. K.: Vishha shkola, 1987. S. 171-221.
2. Zahal'na hidrolohiia.[General hydrology] // Za red. V.K. Khil'chevs'koho, O.H. Obodov'skoho. K.: VPTs «Kyivs'kyj universytet», 2008. 179-187 s.
3. *Doganovskij A.M. Orlov V.G.* Sbornik zadach po opredeleniju osnovnyh harakteristik vodnyh ob'ektov sushi (praktikum po gidrologii) [Collection of tasks for determining the main characteristics of land water bodies (workshop on hydrology)]: Uchebnoye posobiye. Sankt-Peterburg :Izd-vo RGGMU, 2011. 134-184 s.
4. *Chornomorets' Yu.O., Luk'ianets' O.I.* Vplyv suchasnykh zmin u spivvidnoshenni sniho-doschovoho zhyvlennia richok na strukturu vodnoho balansu ikh basejniv (na prykladi richkovoho basejnu Vorskly) [Influence of modern changes in the ratio of snow and rain supply of rivers on the structure of the water balance of their basins (on the example of the river basin Vorskla)] // Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia, 2019. № 4(55). С. 40-52. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2019.4.3>.
5. WMO, 2007: "The role of climatological normals in a changing climate", World Climate Data and Monitoring Programme -No. 61, WMO-TD No. 1377.
6. WMO Media Centre, 2015: New Two-Tier approach on "climate normal". UPL: <https://public.wmo.int/en/media/news/new-two-tier-approach-climate-normals>.

Временная динамика водно-балансовых составляющих в бассейне р. Псел

Лукьянец О.И., Гребень В.В

Анализ временной динамики водно-балансовых составляющих бассейна р. Псел показал, что хотя величины составляющих водного баланса в пределах бассейна р. Псел - г. Гадяч в современный период (1990-2019 гг.) уменьшились по сравнению с периодом климатической нормы (1961-1990 гг.)- количество атмосферных осадков на 6,2%, сток воды на 17,5%, суммарное испарение на 1,8%, но, анализируя соотношение между поступлением и расходом воды в бассейне за два исследуемые периоды, можно констатировать, что в период климатической нормы процент стока воды от суммы атмосферных осадков был большим (коэффициент стока воды 16,2%), чем в современный период (коэффициент стока воды 14,2%). В отношении суммарного испарения в водно-балансовых соотношениях, то его доля в водно-балансовой соотношении за современный период (1990-2019 гг.) увеличилась. Если в период климатической нормы (1961-1990 гг.) коэффициент засушливости был 83,8%, то в современный период - 85,8%. Т. е.

состоялось «перераспределение» объемов воды атмосферных осадков в сторону суммарного испарения с уменьшением объемов воды, идущих на формирование стока воды.

Ключевые слова: речной бассейн, составляющие водного баланса, многолетние изменения, коэффициент стока, коэффициент засушливости, р. Псел.

Time dynamics of water balance components in the Psel river basin

Lukianets O.I., Grebin V.V.

In the article, in order to identify the generalized role of changes that occurred in the Psel River basin with such climatic indicators as air temperature, amount of precipitation, their form of precipitation, the structure of water bodies feeding, as well as water flow in the modern period, the average water balance for a long-term period was calculated the Psel river basin near the town of Gadyach. In general, the water balance equation shows the ratio of water input and consumption within a river basin, taking into account changes in its reserves over a selected time interval and allows one to assess the relationship of its individual components. In the article identifies changes in the ratio between the inflow (amount of precipitation) and consumption of water (total evaporation and runoff) for two periods - the climatic norm of 1961-1990 and modern 1990-2019.

Analysis of the temporal dynamics of the water balance components of the Psel river basin showed that the values of the water balance components within the Psel river basin near the town of Gadyach in the modern period have decreased in comparison with the period of the climatic norm - the amount of precipitation by 6,2%, water flow by 17,5%, evapotranspiration by 1,8%. But, analyzing the relationship between the inflow and outflow of water in the basin for the two study periods 1961-1990 and 1990-2019, it can be stated that during the period of the climatic norm, the percentage of water flow from the total precipitation was greater (coefficient water flow 16.2%) than in the modern period (coefficient water flow 14.2%). With regard to total evaporation in water-balance ratios, its share in the water-balance ratio has increased over the modern period (1990-2019). If during the period of climatic normal (1961-1990) the aridity coefficient was 83.8%, then in the modern period, it is 85.8%. That is, the "redistribution" of the water volumes of atmospheric precipitation took place towards the total evaporation with a decrease in the volume of water used to form the water runoff. For the basin of the river Psel - the city of Gadyach in the modern period on the average ≈ 11 mm (or ≈ 130000000 m³) evaporate instead of replenishment of water resources. In the previous period of 1961-1990, on the contrary, ≈ 12 mm (or 136000000 m³) did not evaporate, but flowed into the water bodies of the basin.

Keywords: river basin, water balance components, long-term changes, runoff coefficient, aridity coefficient, Psel River.

Надійшла до редколегії 24.10.2020

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.4>

УДК 551.577.21; 551.577.53

Сокур К.С., Паламарчук Л.В.

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС та НАН України, Київ

УМОВИ ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО СТОКУ В МЕЖАХ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ ПРИ ВИПАДАННІ ДУЖЕ СИЛЬНИХ ТА НЕБЕЗПЕЧНИХ ОПАДІВ

У роботі досліджуються атмосферні опади, що за своїми показниками досягли критеріїв дуже сильних (≥ 50 мм за ≤ 12 год) та небезпечних (15-49 мм за ≤ 12 год). Проаналізовано 98 випадків дуже сильних опадів, що спостерігались протягом 2005-2018 рр., та 14 випадків небезпечних опадів, що спостерігались протягом 2017-2018рр. Основна увага приділяється умовам формування та об'ємам поверхневого стоку, що утворюється на різних типах підстильної поверхні.

Для отримання статистично об'єднаної класифікації проведено кластерний аналіз даних дуже сильних та небезпечних опадів.

Досліджувалась ступінь залежності інтенсивності дуже сильних опадів від вертикального розвитку хмарності, тривалості процесу та кількості опадів, що випала. Розглянуто механізми та фізичні особливості процесів хмаро- та опадоутворення, що формують такі залежності. Відмічається виключна роль конвективних хмар як в окремих фронтальних масивах так і у вигляді «затопленої конвекції» у масивах шарувато-дощових хмар у формуванні значних об'ємів дощової води на підстильній поверхні.

Оцінено часові змін інтенсивності опадів для окремих процесів, що спостерігались протягом 2017-2018 рр. та встановлено структуру таких змін: визначено максимальні інтенсивності опадів, час їх настання, наявність та кількість хвиль підсилення та їх часові параметри. На основі отриманих показників розраховано масу дощової води та інтенсивність опадів за об'ємом води для хвиль підсилення. Визначалися величини поверхневого стоку для процесу в цілому та для хвиль підсилення зокрема. В результаті отримано, що величини поверхневого стоку, сформованого а забудованій території, де переважає частка водонепроникних покриттів, на 100-300% перевищують поверхневий стік зі слабо забудованої території, на якій майже відсутні штучні покриття.

Ключові слова: небезпечні та дуже сильні опади, урбанізація, кластерний аналіз, r-Спірмена, t-Кендалла, поверхневий стік.

Вступ. В останні десятиріччя у природному середовищі домінують процеси змін клімату, а у соціальному – процеси урбанізації. Урбанізовані ландшафти, що виникають в містах та набувають нових властивостей у порівнянні з природними, справляють значний вплив на перебіг метеорологічних процесів і явищ мезомасштабного рівня. Основні напрямки цього впливу: зміна термічного режиму приземного шару атмосфери, особлива динаміка повітряних потоків у граничному шарі атмосфери, в т.ч. і вертикальних рухів, зміна хімічного складу атмосферного повітря за рахунок різноманітних антропогенних викидів. З точки зору процесів хмаро- та опадоутворення, в межах великих міст та міських агломерацій складаються сприятливі умови для збільшення опадів, особливо фронтальних злив, завдяки підвищеним концентраціям ядер конденсації, часто активних при відносно низьких значеннях вологості, а також внаслідок інтенсифікації висхідних рухів. Якщо врахувати результати досліджень, наприклад, Балабух (Balabukh, 2008), які показують, що в Україні за останні десятиріччя відмічається збільшення кількості випадків опадів, що досягли критеріїв небезпечних та стихійних, то у межах великих міст такі випадки будуть мати ще більш високу інтенсивність і формуватимуть значний поверхневий стік. У зв'язку з цим виникає необхідність досліджувати та враховувати зміни опадоутворення, об'єми поверхневого стоку та їх вплив на функціонування міських територій у планах розвитку та забудови міст.

Останні тенденції розвитку великого міста у економічно розвинених країнах висвітлюються у програмах розвитку, створенні так званих “розумних міст”, міст-інновацій. Формування таких програм і технологій потребує і врахування оцінок можливих природних небезпек та загроз, серед яких і несприятливі метеорологічні процеси та явища. Незважаючи на те, що в 2015 році в м. Київ запропоновано Концепцію Kyiv Smart City, було б помилково стверджувати, що якість життя мешканців міста за рахунок її реалізації помітно зросла. Серед низки інших проблем саме в останні роки в Києві та інших великих містах України, таких як, наприклад, Одеса, Львів особливо помітно збільшилась кількість випадків затоплень під час злив. Це спричинено в першу чергу, прискоренням темпу росту міста, його точковою забудовою, перевиконанням Генерального плану щодо збільшення частки багатоповерхових житлових будинків, та його катастрофічним недовиконанням стосовно міської інфраструктури, збільшення частки водонепроникних, асфальтних покриттів та доріг, що супроводжується скороченням частки Зеленої зони, недосконалістю дощової системи водовідведення. Найбільш небезпечні наслідки спричиняють саме інтенсивні опади, коли за короткий проміжок часу на земній поверхні формуються значні об'єми поверхневого стоку. У зв'язку з цим виникає потреба у вивченні тенденцій та змін основних параметрів дуже сильних та небезпечних опадів, визначенні ступеню зв'язку інтенсивності дуже сильних опадів з іншими параметрами процесу опадоутворення та впливу типу підстильної поверхні на величину поверхневого стоку.

Дослідження дуже сильних опадів є актуальною і важливою задачею також і у зв'язку з отриманими у ряді наукових досліджень даними про зростання впливу на процеси опадоутворення сучасного глобального потепління через загострення температурних контрастів та загальне збільшення повторюваності і кількості екстремумів метеорологічних величин. Так, Nikolina Ban (2018), Christoph Schär (2017) за результатами чисельного моделювання вказали на тенденцію до збільшення числа випадків дуже сильних опадів в найближчому майбутньому, спираючись на загальновідомий факт, що кількість випадків екстремальних опадів буде збільшуватись зі швидкістю близько 6-7% на градус збільшення середньої температури відповідно до закону Клаузіуса-Клапейрона.

В роботах Paralexiou (2019) зазначається, що завдяки аналізу розрахунків глобальних кліматичних моделей передбачається збільшення опадів на 2% / на 1 °C збільшення приземної температури повітря. Проте, такі зміни залежать багато в чому від регіональних особливостей клімату. Дослідження проведені Pendergrass (2014) також підтвердили той факт, що з потеплінням атмосфери, інтенсивності опадів збільшуються. Також авторами було встановлено закономірності зміни кількості опадів та розподілу частоти випадків опадів певної інтенсивності залежно від збільшення рівня CO₂ в атмосфері. Такі оцінки проводилися з використанням моделей CMIP5.

Mitchell (1995), Chen (2011) притримуються думки про необхідність додаткового та більш детального вивчення впливу на атмосферні процеси і інших антропогенних чинників,
ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2021. № 1 (59)

наприклад, аерозолів антропогенного походження, значні концентрації яких є у повітрі над великими містами. Ці складові повітря можуть суттєво впливати на зміну характеристик процесів опадоутворення через складну взаємодію комплексу аерозоль-хмара-клімат. Автори вважають, що аерозольні частки охолоджують земну поверхню, компенсуючи ефект потепління, спричинений парниковими газами, змінюють термічний режим, впливають на випаровування і вміст вологи в атмосфері.

Питання впливу дуже сильних та небезпечних опадів на величину поверхневого стоку у межах урбанізованих територій розкриті у роботах Itsukushima (2018), Wang (2020), Ruczko (2020), де також представлені методи регулювання поверхневого стоку, проводиться оцінка впливу дуже сильних опадів на стан асфальтного покриття, системи водовідведення та річкові басейни і гідроморфологію великих міст. Авторами досліджуються зміни характеристик стоку в залежності від можливого сценарію урбанізації.

Метою цієї роботи є дослідження динаміки окремого процесу опадів, що своїми параметрами перевищує критерії, встановлені для небезпечних та стихійних явищ; проведення статистично обґрунтованої класифікації таких випадків, встановлення зв'язку між окремими параметрами процесу опадоутворення та визначення впливу забудованості території великих міст на величину поверхневого стоку.

Матеріали та методи дослідження. У роботі використовувалися дані спостережень гідрометеорологічної мережі за період 2005-2018 рр. Джерелами початкових даних були таблиці ТМ-1, метеорологічні щомісячники, дані півніографа, дані супутникових спостережень (EUMETSAT DATA CENTRE). Зміни інтенсивності опадів в межах кожного окремого процесу досліджувались на основі побудованих півніограм.

Відмінності синоптичних умов, фізичних процесів утворення опадів і їх випадання потребують проведення статистично обґрунтованої класифікації випадків дуже сильних та небезпечних опадів з подальшою можливістю її використання для прогнозування кількості опадів, режиму їх випадання та величини поверхневого стоку.

Для проведення класифікації проводився кластерний аналіз отриманої вибірки на основі обраних параметрів. Реалізовувався аналіз у програмі STATISTICA. Кластерний аналіз (вперше термін введений Tryon, 1939) включає в себе набір різноманітних алгоритмів класифікації, тобто розподілу об'єктів на кластери, і є інструментом організації даних в наглядні структури. Об'єднання об'єктів у кластери (деревоподібна кластеризація) відбувається шляхом оцінки міри подібності або відстані між ними. Типовим результатом такої кластеризації є ієрархічне дерево. Існує декілька методів визначення міри відстані між об'єктами: евклідова відстань (Euclidian distances), квадрат евклідової відстані (squared Euclidian distances), відстань міських кварталів або Манхеттенівська відстань (city-block (Manhattan) distances), відстань Чебишева (Chebychev distance metric), відсоток невідповідності (percent disagreement), степенева відстань. Коли між собою об'єднуються декілька об'єктів, відстань між кластерами можна знайти за допомогою «правила найближчого сусіда» або методу одиничного зв'язку. В якості альтернативи можна використати сусідів в кластерах, які знаходяться далі за всі інші пари об'єктів один від одного. Це метод повного зв'язку [14].

В роботі, розрахунок відстані між кластерами проводився методом повного зв'язку, в якості міри близькості використовували евклідову відстань. Міра близькості, що визначається евклідовою відстанню, є геометричною відстанню в n -мірному просторі і розраховується наступним чином:

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}. \quad (1)$$

Після формування гіпотези відносно числа кластерів, для подальших досліджень використовується метод К-середніх. З розрахункової точки зору такий метод можна розглядати як дисперсний аналіз «навпаки». Програма починає з K випадково вибраних кластерів, а потім змінює приналежність об'єктів до них для того, щоб: мінімізувати мінливість в середині кластерів; мінімізувати мінливість між кластерами. Даний спосіб є аналогічним методу дисперсного аналізу «навпаки» в тому сенсі, що критерій значимості в дисперсному аналізі порівнює міжгрупову мінливість з внутрішньогруповою при перевірці гіпотези про те, чи середні відрізняються один від одного. В кластеризації методом К-

середніх програма переміщує об'єкти з одних кластерів в інші для отримання найбільш значимого результату. Після отримання результатів методом К-середніх, розраховуються середні значення для кожного кластеру по кожному вимірюванню для оцінки різниці значень величин між кластерами. Такі середні для більшості випадків, якщо не для всіх вимірювань, повинні сильно різнитися. Значення F-статистики, отримані для кожного вимірювання, є другим індикатором того, на скільки добре відповідне вимірювання дискримінує кластери [14].

Для визначення ступеню впливу параметрів процесу опадоутворення на інтенсивність опадів визначалися коефіцієнти кореляції. Для проведення кореляційного аналізу даних було задіяно модуль “Статистика”, а також “Непараметрична статистика” програми STATISTICA. В роботі використовувалась як статистика г-Пірсона, так і статистики г-Спірмена та т-Кендалла. Коефіцієнт кореляції Пірсона вимірює ступінь лінійного зв'язку між кількісними ознаками, його застосування є обґрунтованим у тому випадку, коли розподіл генеральної сукупності, яку представляє вибірка є нормальним. Статистика г-Спірмена може розглядатися як прямий аналог статистики г-Пірсона, вирахований по рангам, в основі статистики т-Кендалла лежить ймовірність. Непараметричні коефіцієнти кореляції використовуються тоді, коли змінні є кількісними, закон розподілу невідомий або не є нормальним. І, додаткова умова – коефіцієнти Спірмена та Кендалла застосовують, якщо вибірка має невеликий об'єм. Однією з необхідних умов отримання більш точного результату є взаємозалежність параметрів з яких складається вибірка.

Розрахунок поверхневого стоку в межах великих міст проводився за допомогою методу порядкових кривих, який був розроблений Службою охорони ґрунтів Департаменту сільського господарства США (SCS USDA).

В основу цього методу покладено таке припущення:

$$\frac{H_{\text{ст}}}{H_{\text{надл}}} = \frac{H_{\text{надл}}}{(H_{\text{надл}} + H_{\text{нас}})}, \quad (2)$$

де $H_{\text{ст}}$ - висота шару стоку, що потрапляє у водовідвідну мережу; $H_{\text{ст}} = W_{\text{ст}}/F$; $H_{\text{нас}}$ - висота шару насичення, що характеризує максимальні інфільтраційні можливості басейну стоку; $H_{\text{надл}} = H - H_o$ - висота надлишкового шару опадів, що визначається як висота шару опадів та шару початкового затримання H_o .

Згідно з великою кількістю проаналізованих експериментальних результатів та нормативного документа [15] для умов щільної міської забудови висоту насичення ($H_{\text{нас}}$) слід приймати 5,2 мм, а висоту шару початкового затримання - H_o - 1,04 мм.

Тоді середній коефіцієнт стоку визначається таким чином:

$$\psi_{\text{mid}} = \frac{H_{\text{ст}}}{H} = \frac{(1 - 0,2H_{\text{нас}}/H)^2}{1 + 0,8H_{\text{нас}}/H}. \quad (3)$$

Але коефіцієнт стоку, розрахований за такою методикою для кожного конкретного випадку, має менші значення ніж величина єдиного нормативного значення $\psi_{\text{mid}} = 0,95$ за вітчизняними методиками [4,15].

Обговорення результатів дослідження. Аналіз синоптичних матеріалів [5] показав, що у більшості випадків причиною формування дуже сильних та небезпечних опадів над територією України є стаціонування блокуючого антициклону на сході, північному сході від території України або просторове зближення двох основних фронтів – арктичного та полярного. Такого типу опади на мезомасштабному рівні пов'язані з хмарними системами теплих хвиль основних фронтів, частини фронту оклюзії близької до центру циклону, точки оклюзії циклону.

За період 2005-2018 рр. спостерігалось 98 випадків дуже сильних опадів (50 мм і більше за 12 год і менше), найбільша їх кількість відмічалась у 2010 р. (12 випадків), 2012, 2013 рр. (по 11 випадків), 2007, 2008 рр. (10 випадків); найменша – у 2005, 2015 рр., у 2017 р. не зафіксовано жодного випадку, що підпадав би під критерії дуже сильних опадів.

Крім дослідження випадків дуже сильних опадів, для детального вивчення часової структури інтенсивності опадів в роботі було проаналізовано 14 випадків небезпечних опадів (15-49 мм за 12 год і менше), зафіксованих на метеостанції Київ протягом 2017-2018 рр.

Кластерний аналіз випадків дуже сильних та небезпечних опадів. Очевидно, що найбільші об'єми поверхневого стоку можна очікувати при випаданні дуже сильних та небезпечних опадів. Уточненню прогнозів таких ситуацій може сприяти статистично обґрунтована їх класифікація. Існує декілька підходів до класифікації опадів, що відрізняються критеріями та призначенням.

В роботі авторів [5] наведено аналітичну типізацію процесів випадіння дуже сильних опадів теплого періоду на рівнинній території України. При збереженні класичних назв типів опадів в ній застосовувалися нові критерії поділу: значення середньої максимальної інтенсивності, наявність та кількість смуг підсилення опадів у часовому ході, характер початку випадання опадів. Такий підхід дозволив виділити три основні типи опадів: зливові, тип "мікс" облогові з включенням зливових та власне облогові опади. Використовуючи запропонований підхід і доповнивши його новими критеріями, у представленому дослідженні проведено кластерний аналіз випадків дуже сильних та небезпечних опадів. Крім того, виконання статистично підтвердженої класифікації опадів проводилося на розширеній базі даних.

Для кластерного аналізу використані дані про тривалість, кількість та інтенсивність опадів, висоту верхньої границі хмарності. Оскільки названі величини мають різні одиниці вимірювання, дані було стандартизовано. На основі отриманих результатів після проведення ієрархічної класифікації даних, зроблено припущення стосовно числа кластерів, а саме, що випадки дуже сильних опадів формують три кластера (рис.1). Далі була проведена перевірка припущення та значимості різниці між отриманими групами методом К-середніх.

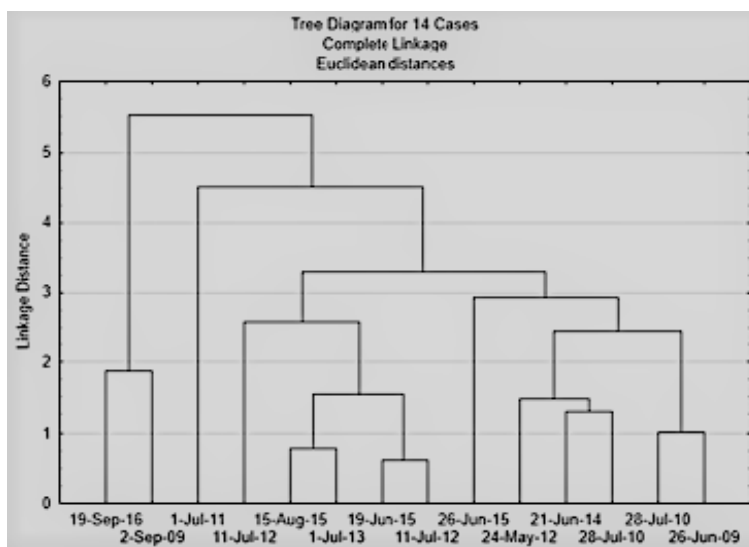


Рис. 1. Вертикальна дендрограма – наочне представлення результатів кластеризації: метод повного зв'язку, міра близькості евклідова відстань

Обчислення починаються з K випадково вибраних спостережень (у нашому випадку K=3), які стають центрами груп, після чого, об'єктний склад кластерів змінюється з метою мінімізації мінливості між ними. Кожне наступне спостереження (K+1) відноситься до тієї групи, міра подібності з центром тяжіння якої мінімальна. Після зміни складу кластера визначається новий центр тяжіння, найчастіше, як вектор середніх по кожному параметру. Алгоритм виконується до тих пір, поки склад кластерів не припинить змінюватись [14]. Після того, як отримано результати класифікації, можна розрахувати середнє значення показників по кожному кластеру, щоб оцінити на скільки вони різняться між собою.

Для рівня значущості $p < 0,05$ отримана суттєва різниця величин між окремими

кластерами. Опція також дозволяє відобразити евклідові відстані об'єктів від центрів (середніх значень) відповідних їм кластерів (рис.2).

Cluster Number	Евклідові відстані між кластерами (Spreadsheet16)			
	Distances below diagonal		Squared distances above diagonal	
	No. 1	No. 2	No. 3	
No. 1	0,000000	0,911687	2,383093	
No. 2	0,954823	0,000000	2,620134	
No. 3	1,543727	1,618683	0,000000	

Рис. 2. Евклідові відстані між кластерами (метод К-середніх)

У наведених на рис. 3 таблицях, показані основні параметри для випадків дуже сильних опадів, що увійшли до кожного кластеру.

I		Members of Cluster Number 1 (Spreadsheet16) and Distances from Respective Cluster Center Cluster contains 7 cases		
		Distance		
26-Jun-09		0,517682		
28-Jul-10		0,791521		
28-Jul-10		0,473984		
24-May-12		0,533408		
1-Jul-13		0,673708		
21-Jun-14		0,457696		
26-Jun-15		0,840155		
II		Members of Cluster Number 2 (Spreadsheet16) and Distances from Respective Cluster Center Cluster contains 5 cases		
		Distance		
1-Jul-11		1,355931		
11-Jul-12		0,258930		
11-Jul-12		0,637888		
19-Jun-15		0,495556		
15-Aug-15		0,834885		
III		Members of Cluster Number 3 (Spreadsheet16) and Distances from Respective Cluster Center Cluster contains 2 cases		
		Distance		
2-Sep-09		0,468056		
19-Sep-16		0,468056		

Рис. 3. Члени кластерів (I,II,III) та відстані від відповідного центру кластера

Для візуального представлення закономірностей зміни інтенсивності опадів, їх тривалості та кількості на рис. 4 наведена динаміка цих величин для типових випадків, які входять в кожен кластер.

Проведений кластерний аналіз дуже сильних опадів показав результати, які узгоджуються з аналітичною типізацією, виконаною на основі розподілу інтенсивності з часом [5]. Використовуючи термінологію з [14] та дані про зміни інтенсивності у межах виділених кластерів (рис. 4), можна виокремити перший кластер, який відповідає типу «мікс» облогових і зливових опадів при розвитку фронтальних шаруватих хмар з так званою «затопленою» конвекцією, другий кластер відповідає типу злизові опади, третій кластер об'єднує випадки дуже сильних фронтальних опадів, що за характером випадання можна віднести до облогових. Отримана класифікація показує, що високу ймовірність раптового утворення значних об'ємів поверхневого стоку можна очікувати у випадках віднесених до кластеру II, і у меншій мірі - до кластеру I. Враховуючи те, що синоптичний аналіз, супутникові дані показують закономірності динаміки атмосфери, траєкторії переміщення фронтів, характер хмарності, можна попередньо встановити тип розподілу інтенсивності опадів, відповідно наведеній класифікації, і використати ці дані для підвищення якості прогнозів.

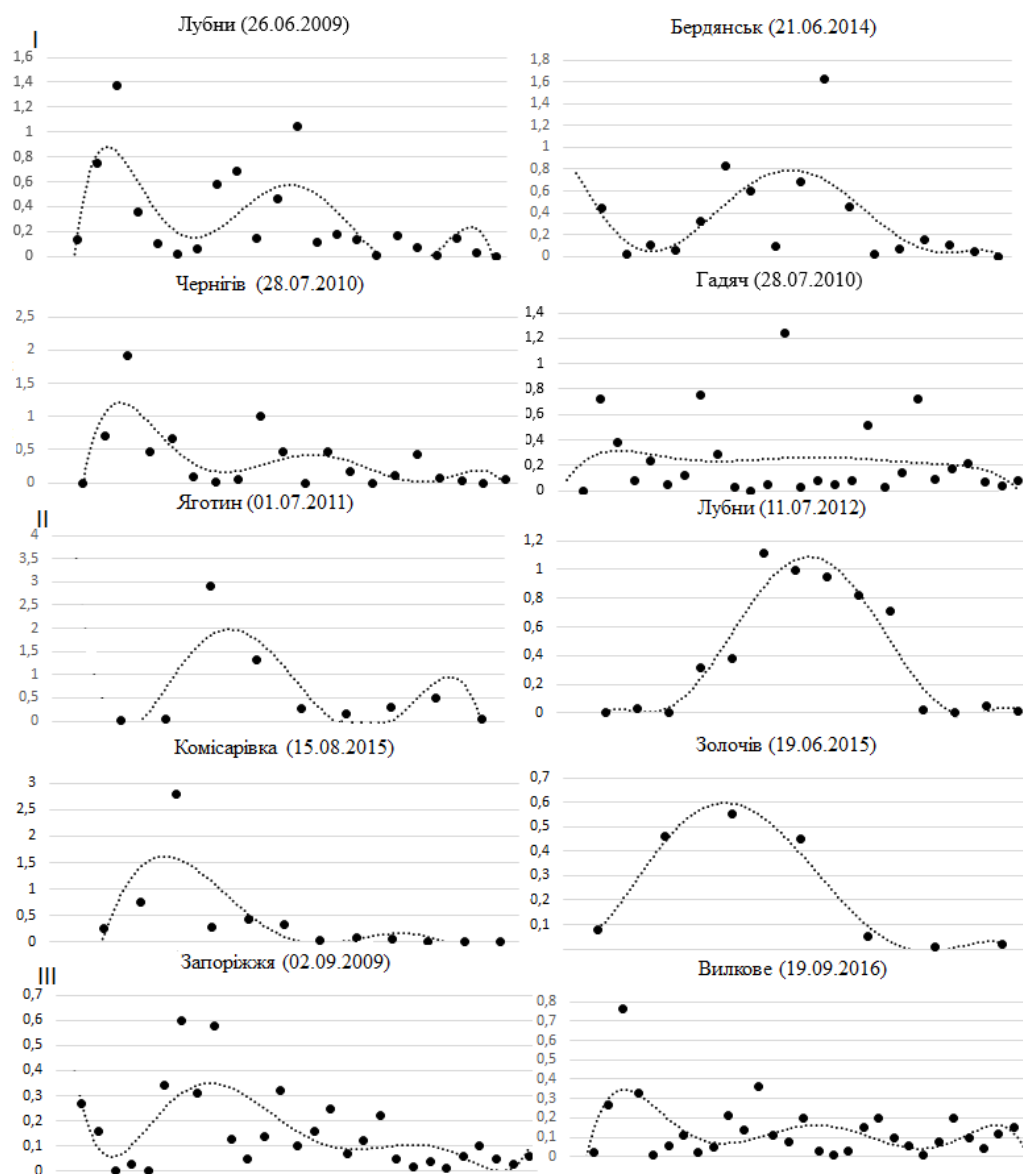


Рис. 4. Динаміка інтенсивності опадів для типових випадків, об'єднаних в I, II, III кластер

Залежність інтенсивності дуже сильних опадів від параметрів процесу опадоутворення. Для перевірки зв'язку між інтенсивністю опадів та висотою верхньої границі масиву хмарності, з якої випадають опади, проведено кореляційний аналіз даних (використовувалася програма STATISTICA). Розглядалися випадки дуже сильних опадів, кількістю ≥ 50 мм за ≤ 12 год, що спостерігались на рівнинній території України за період 2005-2018 рр. Дані про висоти верхньої границі хмарності отримано з центру даних EUMETSAT (EUMETSAT DATA CENTRE), дані інтенсивності взяті з побудованих плівіограм.

Для узгодження синхронності вимірювання значень інтенсивності та висоти верхньої границі хмарності побудовано діаграми розсіювання для співвідношень величин «інтенсивність-час» та «висота верхньої границі-час», а також підібрано відповідні лінії тренду (поліноміальна другого ступеня – найменше значення стандартного відхилення при підрахунках). Використовуючи рівняння регресії було розраховано необхідні значення інтенсивності та висоти верхньої границі хмарності для визначеного моменту часу.

Рівняння регресії:

$$1) y = -31,918 + 3,9998 \cdot x - 0,1238 \cdot x^2 (\text{інтенсивність-час});$$

$$2) y = -1,0157E5 + 12926,9793 \cdot x - 370,5263 \cdot x^2 (h - \text{верхньої границі-час})$$

Результати розрахунків показали від'ємний кореляційний зв'язок або зворотну залежність інтенсивності опадів та висоти верхньої межі хмар (r -Спірмена:-0,208655, t -Кендалла:-0,142729).

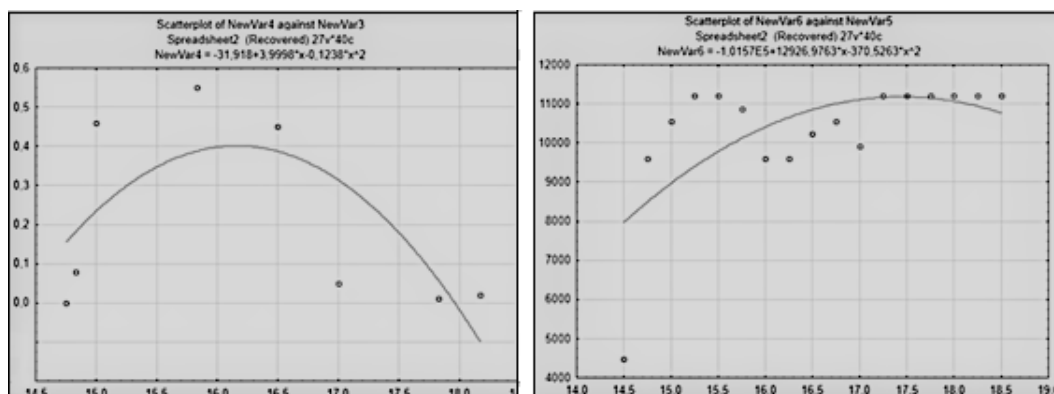


Рис. 5. Діаграми розподілу величин інтенсивність-час, висота верхньої границі-час, приклад наведено для станції Золочів (19.06.2015)

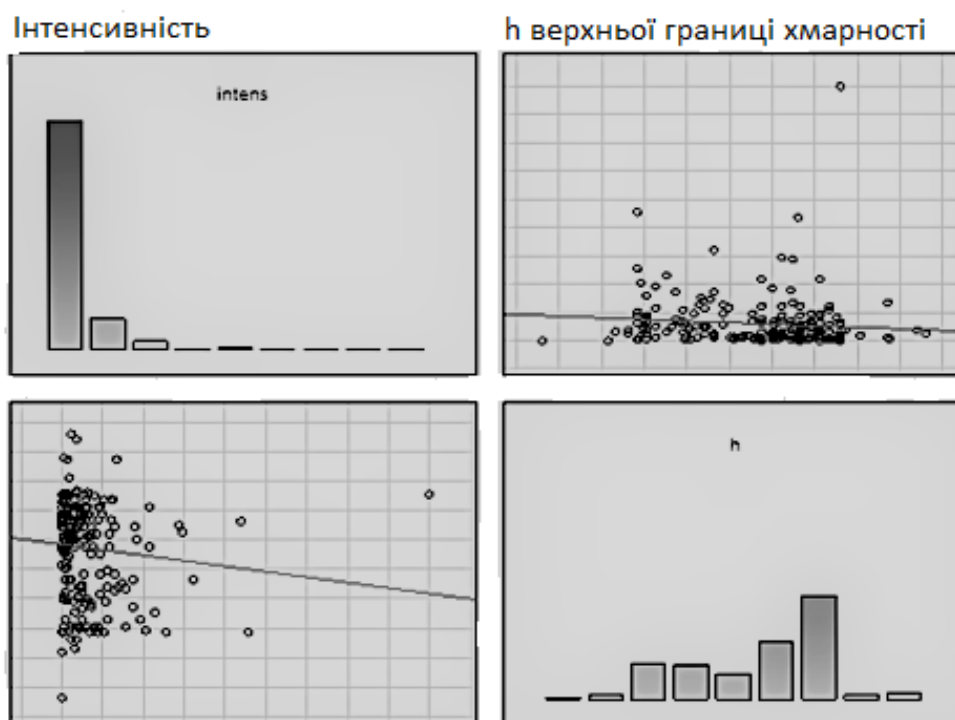


Рис. 6. Гістограми та діаграми розсіювання (кореляція Спірмена - інтенсивність - h верхньої границі хмарності)

Кореляційний зв'язок між максимальною інтенсивністю опадів та середньою висотою хмарності за окремий процес також від'ємний (r -Спірмена:-0,259626, t -Кендалла:-0,176798).

Зворотна залежність інтенсивності опадів від висоти верхньої межі хмар обумовлена насамперед тим, що в межах одного процесу опадоутворення великі значення висхідних рухів спостерігаються на початку процесу, коли конвективна хмара інтенсивно розвивається по вертикалі, відбувається зміна фазового стану та укрупнення хмарних елементів.

Випадання опадів зазвичай притаманне завершенню процесу хмароутворення і супроводжується утворенням комірок низхідних вертикальних рухів, відповідно зниженням висоти верхньої границі хмарності. Під час випадання інтенсивних опадів, їх частинки

внаслідок сил в'язкості захоплюють за собою повітря, обумовлюючи тим самим появу низхідних рухів в нестійко стратифікованому повітрі. Такий спрощений алгоритм суттєво ускладнюється у масивах фронтальної хмарності, де конвекція мультикоміркова, а хмари знаходяться на різних стадіях розвитку.

В межах одного процесу кореляційна залежність між інтенсивністю і висотою верхньої границі хмарності є зворотною, але при цьому зберігається загальна тенденція – більш потужні хмари, ймовірно будуть давати опади більшої інтенсивності. Особливо це стосується конвективних хмар та хмар з «затопленою конвекцією» у масивах шарувато-дощових.

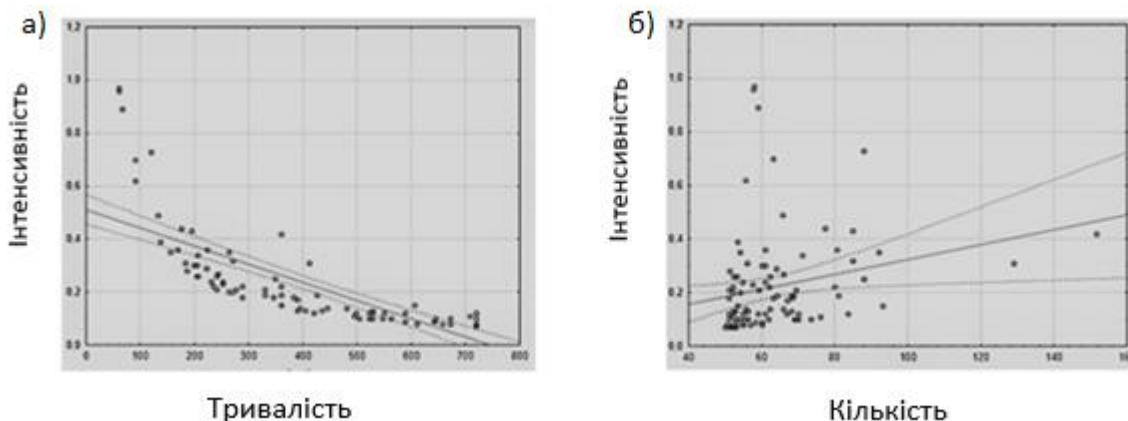


Рис. 7. Коефіцієнт кореляції інтенсивність-тривалість дощу (а); коефіцієнт кореляції інтенсивність-кількість опадів (б)

Кореляційний аналіз інтенсивності опадів та тривалості процесу їх випадіння показав, що залежність між вказаними величинами статистично значима, зворотна ($-0,770363$). На відміну від цього, величини інтенсивності і кількості опадів знаходяться в прямій залежності ($0,230922$).

Динаміка інтенсивності опадів та об'єми поверхневого стоку. Оцінка параметрів поверхневого стоку проводилася з урахуванням типу процесу, максимальних значень інтенсивності опадів та кількості і тривалості хвиль підсилення опадів. Отримані максимальні інтенсивності не перевищували $2,0$ мм/хв (табл.1), що відповідає значенням отриманим для аналогічних процесів на території України в інші кліматичні періоди, і свідчить про збереження середніх широтних значень інтенсивності метеорологічних процесів [1-3].

Виконано розрахунки величин маси води, що надходить на одиничну площу в межах хвиль підсилення опадів за методикою наведеною у [4] та визначені об'єми води, що утворюються на різних типах підстильних поверхонь за весь час випадання опадів.

У зв'язку з тим, що емпіричний розподіл інтенсивності опадів у часі представлений дискретними величинами, проведена його апроксимація поліноміальними рівняннями n -ступеню. Такий підхід дозволяє в подальшому встановити функцію розподілу і визначити значення інтенсивності в проміжках розподілу де величина відсутня. Найчастіше для апроксимації використовувався поліном 6-го ступеню, але у окремих випадках вищу достовірність мали поліноми 3-5 ступенів (табл.1). Найвищі значення коефіцієнтів детермінації ($R^2= 0,8-0,9$) отримані при апроксимації розподілу інтенсивності зливових опадів поліномами 6-го ступеню. Відносно низькі значення ($R^2=0,4-0,5$) отримані для випадків, що відносяться до І кластеру і відзначаються значним розкидом значень інтенсивності при переході від облогових до зливових опадів та повторенням таких змін.

На рис.8 а) показана динаміка інтенсивності для 27.06.2011 (ст Київ). У часовому ході виділяють три хвилі підсилення опадів, максимальна інтенсивність – $0,31$ мм/хв, що дозволяє віднести їх до І кластеру (тип “мікс”). Значення об'єму поверхневого стоку за умови, що територія м. Київ покрита водонепроникним покриттям, дорівнює $390 \cdot 10^5$ м³, що на 348 % більше ніж об'єм стоку, розрахований для цього ж випадку дощу, але за умови,

що територія м. Київ незабудована, дорожні покриття відсутні або майже відсутні ($87 \cdot 10^5 \text{ м}^3$). Під час основної хвилі підсилення випало $8,9 \text{ кг/м}^2$ води, величина поверхневого стоку з 1 га території у випадку суцільної забудови дорівнювала 47 м^3 , у випадку незабудованої або частково забудованої території – 18 м^3 , що на 62 % менше.

Таблиця 1. Основні параметри процесів випадіння дуже сильних та небезпечних опадів та величини поверхневого стоку для різних видів підстильної поверхні

Станція	Дата	Тип процесу	I _{max} мм/хв	R ²	Хвилі підсилення		W _{ст} , м ³ (водо-непроникна поверхня)	W _{ст} м ³ (природні поверхні)
					Тривалість, год+хв	Маса води кг/м ²		
Дуже сильні опади ≥50 мм за ≤ 12 год.								
Київ	27.06 2011	"мікс" облогових і зливових	0,31	0,5	03:50-04:10	2,8	390·10 ⁵	87·10 ⁵
					06:00-06:40	7		
					10:10-10:50	8,9		
Рівняння регресії:		y = -1E-07x ⁶ + 8E-06x ⁵ - 0,0002x ⁴ + 0,0013x ³ - 0,0027x ² + 0,0093x + 0,0103						
Запоріжжя	09.09 2018	"мікс" облогових і зливових	0,45	0,5	00:00-00:30	4,9	154·10 ⁵	35·10 ⁵
					02:50-03:30	13,3		
Рівняння регресії:		y = -6E-08x ⁶ + 7E-06x ⁵ - 0,0003x ⁴ + 0,0071x ³ - 0,0746x ² + 0,346x - 0,4713						
Одеса	07.08 2016	зливові	1,18	0,8	12:51-13:10	2,2	113·10 ⁵	25·10 ⁵
					14:00-14:50	37,0		
Рівняння регресії:		y = 4E-05x ⁶ - 0,0014x ⁵ + 0,0187x ⁴ - 0,1125x ³ + 0,3572x ² - 0,7102x + 0,8371						
Чернівці	03.08 2016	"мікс" облогових і зливових	0,60	0,5	20:50-21:30	16,8	887·10 ⁴	193·10 ⁴
					22:30-23:00	6,4		
					00:10-11:30	3,9		
Рівняння регресії:		y = -4E-08x ⁶ + 4E-06x ⁵ - 0,0002x ⁴ + 0,0039x ³ - 0,0542x ² + 0,3717x - 0,5918						
Запоріжжя	26.06 2015	зливові	1,84	0,7	11:00-11:30	39,3	199·10 ⁵	43·10 ⁵
					12:30-13:00	11,4		
Рівняння регресії:		y = 1E-04x ⁶ - 0,0045x ⁵ + 0,0764x ⁴ - 0,5953x ³ + 2,0304x ² - 2,1196x + 0,1334						
Небезпечні опади 15-49 мм за ≤ 12 годин								
Київ	30.06 2018	зливові	0,94	0,9	23:20-23:50	23,9	237·10 ⁵	57·10 ⁵
					02:20-02:40	1,0		
Рівняння регресії:		y = 3E-05x ⁶ - 0,0013x ⁵ + 0,0164x ⁴ - 0,0791x ³ + 0,0499x ² + 0,3362x + 0,4684						
Запоріжжя	10.09 2018	зливові	0,59	0,8	07:10-07:40	12,2	294·10 ⁴	90·10 ⁴
Рівняння регресії:		y = -0,015x ³ + 0,0907x ² + 0,0143x - 0,07						
Одеса	14.06 2017	"мікс" облогових і зливових	0,58	0,5	23:40-00:00	7,9	545·10 ⁴	135·10 ⁴
					00 20-00 50	13,2		
Рівняння регресії:		y = 4E-05x ⁶ - 0,0016x ⁵ + 0,0222x ⁴ - 0,1302x ³ + 0,2346x ² + 0,4486x - 1,1092						
Чернівці	27.07 2017	"мікс" облогових і зливових	0,66	0,4	04:40-05:10	8,2	432·10 ⁴	103·10 ⁴
					08 20-08 40	8,8		
					09:10-09:40	3,0		
Рівняння регресії:		y = 2E-05x ⁵ - 0,0011x ⁴ + 0,0234x ³ - 0,2128x ² + 0,7987x - 0,7556						
Київ	29.07.2017	облогові	0,10	0,8	-	-	554·10 ⁴	185·10 ⁴
Рівняння регресії:		y = 5E-05x ⁶ - 0,0018x ⁵ + 0,0249x ⁴ - 0,1671x ³ + 0,5635x ² - 0,8487x + 0,4303						

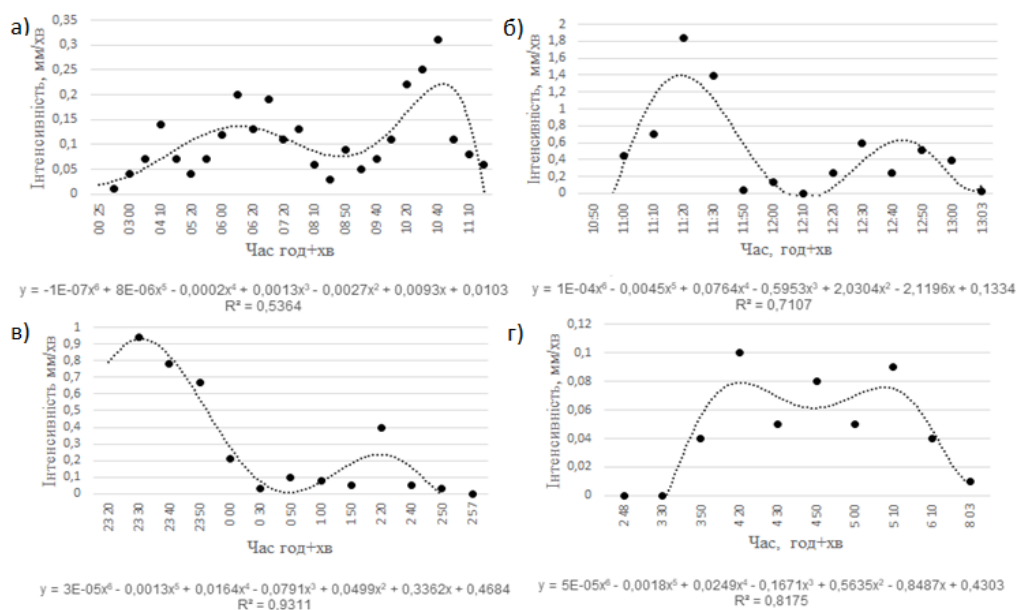


Рис. 8. Динаміка інтенсивності опадів: а) Київ, 27.06.2011; б) Запоріжжя, 26.06.2015; в) Київ, 30.06.2018; г) Київ, 29.07.2017

У часовому розподілі інтенсивності 26.06.2015, ст. Запоріжжя (рис. 8 б) прослідковується дві хвили підсилення опадів: основна, що спостерігалась на початку процесу інтенсивності змінювались в межах 0,45-1,84 мм/хв, та додаткова хвиля з незначним підсиленням опадів. Такий розподіл дозволяє віднести випадок до типу зливові опади. Об'єм поверхневого стоку за умови водонепроникного покриття на 363 % перевищує значення розраховане за умови, що територія незабудована, дорожні покриття відсутні.

Завдяки раптовості початку та специфічній структурі часової динаміки інтенсивності випадок 30.06.2018, ст. Київ (рис. 8 в) можна віднести до зливових опадів. Об'єм поверхневого стоку за умови, що територія м. Київ покрита водонепроникним покриттям, дорівнює $237 \cdot 10^5 \text{ м}^3$, що на 39% менше об'єму поверхневого стоку, що спостерігався у випадку 27.06.2011 (ст Київ), коли опади були дуже сильними. Об'єм поверхневого стоку за умови, що територія м. Київ незабудована, дорожні покриття відсутні або майже відсутні становив $57 \cdot 10^5 \text{ м}^3$, що є в 4 рази менше об'єму поверхневого стоку за умови, що територія м. Київ покрита водонепроникним покриттям.

Незначні інтенсивності (0,1-0,01 мм/хв) та наявність декількох хвиль підсилення приблизно однакової тривалості та амплітуди, дозволяють віднести випадок 29.07.2017, ст. Київ (рис. 8 г) до III кластеру (типу облогові опади). Об'єм поверхневого стоку (за умови значної забудованості території) становив $554 \cdot 10^4 \text{ м}^3$, що відрізняється на цілий порядок від значень, що спостерігались за тих же умов, але у випадку дуже сильних та небезпечних опадів. У випадку незабудованої території об'єм поверхневого стоку становив $185 \cdot 10^4 \text{ м}^3$, що в 3 рази менше об'єму поверхневого стоку, розрахованого за умови значної забудованості території.

Висновки. Проведено статистично обґрунтовану класифікацію випадків дуже сильних та небезпечних опадів за період 2005-2018 рр. при формуванні яких виникає висока ймовірність утворення значних об'ємів поверхневого стоку.

Кластерний аналіз усього масиву випадків базувався на показниках тривалості, кількості, динаміки інтенсивності опадів та висоти верхньої границі хмарності.

Використовувалися нові критерії поділу при збереженні класичних назв типів опадів.

Визначені три основні кластери (типи) опадоутворення: перший кластер відповідає поєднанню облогових і зливових опадів фронтальних хмарних систем, другий кластер – зливовим опадам, а третій кластер включає випадки фронтальних облогових опадів, інтенсивності яких можуть збільшуватися в межах міських територій.

Встановлено тісноту кореляційного зв'язку між інтенсивністю опадів та параметрами процесу їх формування через розрахунок коефіцієнтів кореляції Пірсона та

непараметричних коефіцієнтів кореляції r -Спірмена та t -Кендалла.

Отримано від'ємний кореляційний зв'язок або зворотну залежність між інтенсивністю опадів та висотою верхньої границі хмарності (r -Спірмена: -0,208655, t -Кендалла: -0,142729); зворотну, але статистично значиму залежність між інтенсивністю опадів та тривалістю процесу їх випадіння (-0,770363) та пряму залежність між інтенсивністю та кількістю опадів (0,230922).

Визначено об'єми поверхневого стоку, які формуються на забудованих та заасфальтованих поверхнях у великих містах при різних типах опадоутворюючих процесів. Показано, що найбільші ($199 \cdot 10^5$ - $237 \cdot 10^5$ м³) об'єми стоку утворюються при зливових опадах (кластер II). При цьому, основна частина води надходить до поверхні під час першої хвили підсилення опадів (20-30хв), для другого та третього типу процесів об'єми стоку дещо менші ($432 \cdot 10^4$ - $554 \cdot 10^4$ м³) і час його формування збільшується.

Поверхневий стік, що утворюється за умови значної забудови території та при переважанні частки водонепроникних покриттів для усіх типів опадів на 100-300% перевищує значення поверхневого стоку у порівнянні з умовами, коли територія міста забудована слабо, а дорожні покриття майже відсутні. Зважаючи на те, що під час випадіння опадів у містах, вода витрачається тільки на змочування поверхні, заповнення її нерівностей, але не на просочування у ґрунт, то зберігатиметься тенденція до збільшення величини поверхневого стоку при збільшенні ступеня забудованості території.

Список літератури

1. Балабух В.О. Мінливість дуже сильних дощів та сильних злив в Україні. Наук. пр. УкрНДГМІ. 2008. Вип. 257. С. 61-72.
2. Балабух В.О. Траєкторії циклонів, що зумовлюють небезпечну і стихійну кількість опадів в Україні у теплий період року. Наук. пр. УкрНДГМІ. 2004. Вип. 253. С. 37-49.
3. Заболоцька Т.М., Підгурська В.М., Шпиталь Т.М. Небезпечно сильні опади в Україні та можливі причини їх утворення. Наук. пр. УкрНДГМІ. 2006. Вип. 255. С. 25-40.
4. Жук В.М., Матлай І.І. Методи розрахунку об'єму дощового стоку. Вісник Нац. у-ту "Львівська політехніка". "Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація". 2010. Вип. 677. С.32-38.
5. Паламарук Л.В., Сокур К.С., Заболоцька Т.М. Динаміка інтенсивності опадів та мезоструктурні особливості їх полів у теплий період року на рівнинній частині території України. Гідрологія, гідрохімія і гідрогеологія. 2019. Вип. 4. С. 95-111.
6. Ban N., Schmidli J., Rajczak J. Analysis of Alpine precipitation extremes using generalized extreme value theory in convection-resolving climate simulations. Climate dynamics. 2020. № 55. P. 61-75.
7. Itsukushima R., Ogahara Y., Iwanaga Y., Sato T. Investigating the Influence of Various Stormwater Runoff Control Facilities on Runoff Control Efficiency in a Small Catchment Area. Sustainability. 2018. № 10 (2). 407.
8. Mitchell, J. F. B., Johns, T. C., Gregory, J. M. and Tett, S. F. B. Transient climate response to increasing sulphate aerosols and greenhouse gases. Nature. 1995. № 376. P. 501-504.
9. Papalexioiu S., Montanari A. Global and Regional Increase of Precipitation Extremes Under Global Warming. Geophys. Res. Lett. 2019. № 55(6). P. 4901-4914.
10. Pendergrass A., Hartmann D. Changes in the Distribution of Rain Frequency and Intensity in Response to Global Warming. Journal of Climate. 2014. № 27. P. 8372-8383.
11. Rucsko K., Jekatierynczyk E. Extreme Hydro-Meteorological Events Influence to Water Quality of Small Rivers in Urban Area: A Case Study in Northeast Poland. Scientific Reports. 2020. № 10. P. 1-14.
12. Rajczak J., Schär Ch. Projections of Future Precipitation Extremes Over Europe: A Multimodel Assessment of Climate Simulations: Projections of Precipitation Extremes. Journal of Geophysical Research Atmospheres. 2017. № 122(20). P. 10.773-10.800.
13. Salamanca F., Martilli A., Tewari M., Chen F. A study of the urban boundary layer using different urban parameterizations and high-resolution urban canopy parameters with WRF. J Appl Meteorol Climatol. 2011. № 50. P. 1107-1128.
14. StatSoft, Inc 1984-2020 [Electronic textbook on statistics: StatSoft, Inc 1984-2020]. URL: <http://statsoft.ru/home/textbook/default.htm>.
15. Urban Hydrology for Small Watersheds. TR-55. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Technical Release 55. 1986.
16. Wang W., Wang L., Miao Y., Cheng C. A survey on the influence of intense rainfall induced by climate warming on operation safety and service life of urban asphalt pavement. Journal of Infrastructure Preservation and Resilience. 2020. № 1(4). P. 1-14.
17. Xu Z., Zhao G. Impact of Urbanization on Rainfall-Runoff Processes: Case Study in the Liangshui

References

1. Balabukh V.O. Minlyvist' duzhe syl'nykh doschiv ta syl'nykh zlyv v Ukraini [Variability of very heavy rains and heavy rains in Ukraine]. Nauk. pr. UkrNDHMI. 2008. Vyp. 257. S. 61-72.
2. Balabukh V.O. Traiektorii tsykloniv, scho zumovliuiut' nebezpechnu i stykhijnu kil'kist' opadiv v Ukraini u teplyj period roku [Cyclone trajectories that cause dangerous and spontaneous precipitation in Ukraine during the warm season]. Nauk. pr. UkrNDHMI. 2004. Vyp. 253. S. 37-49.
3. Zabolots'ka T.M., Pidhurs'ka V.M., Shpytal' T.M. Nebezpechno syl'ni opady v Ukraini ta mozhlyvi prychny ikh utvorennia [Dangerously heavy precipitation in Ukraine and possible reasons for their formation]. Nauk. pr. UkrNDHMI. 2006. Vyp. 255. S. 25-40.
4. Zhuk V.M., Matlaj I.I. Metody rozrakhunku ob'iemu doschovoho stoku [Rainwater runoff calculation methods]. Visnyk Nats. u-tu "Lvivs'ka politekhnika". "Teploenerhetyka. Inzheneriia dovkillia. Avtomatyzatsiia". 2010. Vyp. 677. S.32-38.
5. Palamaruk L.V., Sokur K.S., Zabolots'ka T.M. Dynamika intensyvnosti opadiv ta mezostrukturni osoblyvosti ikh poliv u teplyj periodu roku na rivnynnij chastyini terytorii Ukrainy [Dynamics of precipitation intensity and mesostructural features of their fields in the warm period of the year on the plain part of the territory of Ukraine]. Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroheolohiia. 2019. Vyp. 4. S. 95-111.
6. Ban N., Schmidli J., Rajczak J. Analysis of Alpine precipitation extremes using generalized extreme value theory in convection-resolving climate simulations. Climate dynamics. 2020. № 55. P. 61-75.
7. Itsukushima R., Ogahara Y., Iwanaga Y., Sato T. Investigating the Influence of Various Stormwater Runoff Control Facilities on Runoff Control Efficiency in a Small Catchment Area. Sustainability. 2018. № 10 (2). 407.
8. Mitchell, J. F. B., Johns, T. C., Gregory, J. M. and Tett, S. F. B. Transient climate response to increasing sulphate aerosols and greenhouse gases. Nature. 1995. № 376. P. 501-504.
9. Papalexiou S., Montanari A. Global and Regional Increase of Precipitation Extremes Under Global Warming. Geophys. Res. Lett. 2019. № 55(6). P. 4901-4914.
10. Pendergrass A., Hartmann D. Changes in the Distribution of Rain Frequency and Intensity in Response to Global Warming. Journal of Climate. 2014. № 27. P. 8372-8383.
11. Ruczek K., Jekatierynczyk E. Extreme Hydro-Meteorological Events Influence to Water Quality of Small Rivers in Urban Area: A Case Study in Northeast Poland. Scientific Reports. 2020. № 10. P. 1-14.
12. Rajczak J., Schär Ch. Projections of Future Precipitation Extremes Over Europe: A Multimodel Assessment of Climate Simulations: Projections of Precipitation Extremes. Journal of Geophysical Research Atmospheres. 2017. № 122(20). P. 10.773-10.800.
13. Salamanca F, Martilli A, Tewari M, Chen F. A study of the urban boundary layer using different urban parameterizations and high-resolution urban canopy parameters with WRF. J Appl Meteorol Climatol. 2011. № 50. P. 1107-1128.
14. StatSoft, Inc 1984-2020 [Electronic textbook on statistics: StatSoft, Inc 1984-2020]. URL: <http://statsoft.ru/home/textbook/default.htm>.
15. Urban Hydrology for Small Watersheds. TR-55. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Technical Release 55. 1986.
16. Wang W., Wang L., Miao Y., Cheng C. A survey on the influence of intense rainfall induced by climate warming on operation safety and service life of urban asphalt pavement. Journal of Infrastructure Preservation and Resilience. 2020. № 1(4). P. 1-14.
17. Xu Z., Zhao G. Impact of Urbanization on Rainfall-Runoff Processes: Case Study in the Liangshui River Basin in Beijing, China. Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences. 2016. № 373. P. 7-12.

Условия формирования поверхностного стока в пределах урбанизированных территорий при выпадении очень сильных и опасных осадков

Сокур К.С., Паламарчук Л.В.

В работе исследуются атмосферные осадки, которые по своим показателям достигли критериев очень сильных (≥ 50 мм в ≤ 12 ч) и опасных (15-49 мм в ≤ 12 ч). Проанализированы 98 случаев очень сильных осадков, которые наблюдались в 2005-2018 гг. и 14 случаев опасных осадков, которые наблюдались в 2017-2018 гг. Основное внимание уделяется условиям формирования и объемам поверхностного стока, который образуется на различных типах подстилающей поверхности.

Для получения статистически обоснованной классификации проведено кластерный анализ данных очень сильных и опасных осадков.

Исследовалась степень зависимости интенсивности очень сильных осадков от вертикального развития облачности, продолжительности процесса и количества осадков. Рассмотрены механизмы и физические особенности процессов облако- и осадкообразования, формирующие такие зависимости. Отмечается исключительная роль конвективных облаков как в отдельных фронтальных массивах, так и

в виде «затопленной конвекции» в массивах слоисто-дождевых облаков в формировании значительных объемов дождевой воды на подстилающей поверхности.

Оценены временные изменения интенсивности осадков для отдельных процессов, которые наблюдались в 2017-2018 гг. и установлена структура таких изменений: определены максимальные интенсивности осадков, время их наступления, наличие и количество волн усиления и их временные параметры.

На основе полученных показателей рассчитана масса дождевой воды и интенсивность осадков по объему воды для волн усиления. Определялись величины поверхностного стока для процесса в целом и для волн усиления в частности. В результате получено, что величины поверхностного стока, сформированного на застроенной территории, где преобладает доля водонепроницаемых покрытий, на 100-300% превышают поверхностный сток со слабо застроенной территории, на которой почти отсутствуют искусственные покрытия.

Ключевые слова: опасные и очень сильные осадки, урбанизированные территории, кластерный анализ, r-Спирмена, r-Кендалла, поверхностный сток.

Conditions for the formation of surface runoff, which is formed as a result of heavy and dangerous precipitation within urbanized areas

Sokur K., Palamarchuk L.

The research investigates atmospheric precipitation, which according to Ukrainian national regulation has reached the criteria of heavy (≥ 50 mm at ≤ 12 hours) and dangerous (15 - 49 mm at ≤ 12 hours).

A total of 98 cases of heavy precipitation (2005 - 2018), and 14 cases of dangerous precipitation (2017 - 2018) were analyzed. The research focuses on the formation conditions and volumes of surface runoff, that forms on various types of underlying surface.

To obtain a statistically valid classification, a cluster analysis of heavy and dangerous precipitation was carried out. The analysis allowed to distinguish three blocks or clusters, one of which corresponds to the type "mix" of heavy and slight precipitations during the development of frontal stratus clouds with so-called "submerged or flooded" convection, the second cluster corresponds to the type "heavy precipitations", the third cluster is similar to the first cluster, but is marked by a decrease in the intensity of processes.

The degree of connection between the intensity of heavy precipitation and the height of the clouds top was investigated. As a result, it was found that there is an inverse relation between the values.

The physical features of the processes of cloud and precipitation formation was considered. The exceptional role of convective clouds in individual frontal massifs and also in the form of "submerged or flooded convection" in the massifs of stratus clouds in the formation of significant volumes of rainwater on the underlying surface was noted.

The structure of the temporal changes in precipitation intensity was established: the maximum intensity values, the time of their occurrence, the availability and number of amplification waves and their temporal parameters. On the basis of the obtained indicators, the quantity of the surface runoff for determined processes and for amplification periods were calculated. As a result, it was found that the surface runoff, which formed in the built-up areas, exceeds the surface runoff from the moderately built-up area with almost no artificial pavement by 100 - 300 %.

Keywords: dangerous and heavy precipitation, urbanization, cluster analysis, r-Spearman, r-Kendall, surface runoff.

Надійшла до редколегії 28.10.2020

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.5>
УДК 556.114:546.56(282.247)

Жежеря В.А., Жежеря Т.П., Линник П.М.
Інститут гідробіології НАН України

ВПЛИВ ВИЩОЇ ВОДНОЇ РОСЛИННОСТІ НА ВМІСТ БІОГЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ЛІМНІЧНИХ СИСТЕМАХ УРБАНІЗОВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ

На прикладі озер Вербне і Тельбін досліджено зміни концентрації неорганічного нітрогену та його сполук, неорганічного фосфору, розчинного силіцію і лабільного феруму на ділянках, вкритих вищою водною рослинністю та чистоводді, а також з глибиною. Встановлено, що у заростях вищої водної рослинності під час вегетаційного періоду відбувається зниження концентрації неорганічного нітрогену, амонійного нітрогену, нітрат-йонів та в деяких випадках неорганічного фосфору в декілька разів порівняно з чистоводдям. Виявлено, що під час весняної гомотермії вміст неорганічних нітрогену і фосфору та розчинного силіцію досягав максимальних величин. Зниження їхнього вмісту у поверхневому шарі води спостерігалось з початком вегетаційного періоду і зумовлене асиміляцією рослинними організмами. Під час прямої температурної стратифікації виявлено зростання вмісту неорганічних нітрогену й фосфору, розчинного силіцію і лабільного феруму у придонному шарі води внаслідок їхнього надходження з донних відкладів за дефіциту розчинного кисню і формування анаеробних умов.

Ключові слова: біогенні елементи, нітроген, фосфор, силіцій, ферум, зарості вищої водної рослинності.

Постановка та актуальність проблеми. Серед багатьох хімічних елементів важливу роль у функціонуванні водних екосистем відіграють біогенні речовини. До них належать сполуки нітрогену, фосфору, силіцію та феруму. Концентрація неорганічних сполук нітрогену і фосфору визначає трофічний статус водного об'єкта. Надмірне надходження цих біогенних речовин до поверхневих вод за рахунок точкових (побутові, зливові, промислові стічні води) і дифузних (стік органічних і мінеральних добрив, вторинне забруднення з донних відкладів) джерел призводить до їхнього евтрофування, негативні наслідки якого – “цвітіння” води, дефіцит розчиненого кисню, замор риби тощо [1–8]. У природних умовах евтрофування займає великі проміжки часу, а у водних об'єктах, які зазнають антропогенного впливу, воно пришвидшується в декілька разів [3, 9, 10]. Тому проблема евтрофування поверхневих водних об'єктів урбанізованих територій набуває особливої гостроти.

Біогенні елементи вкрай необхідні для біохімічних процесів. Нітроген використовується для синтезу амінокислот, білків, нуклеїнових кислот [4, 11]. Фосфор входить до складу нуклеїнових кислот, нуклеотидів, фосфоліпідів протоплазми клітин, а також бере участь у регулюванні фотосинтезу, обмінних процесах нітрогену, вуглеводному і жировому обміні [8, 10]. Силіцій необхідний для синтезу білків, ДНК, хлорофілу і каротиноїдів, побудови кремнеземних панцирів діатомових водоростей і функціонування золотистих водоростей, радіоларій, хоанофлагелат, губок [6, 12]. Ферум використовується для реакції окиснювального фосфорилування, утворення хлорофілу, але в його структуру він не входить. Впливає на біодоступність фосфору і деяких металів для гідробіонтів [10, 13].

У водних об'єктах рослинними організмами асимілюються переважно неорганічні форми нітрогену і фосфору (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , HPO_4^{2-} і H_2PO_4^-), а силіцій споживається у вигляді мономерно-димерної форми силікатної кислоти [1–4, 10]. З цієї причини слід очікувати зниження вмісту біогенних елементів у поверхневому шарі води під час вегетації рослинних організмів, а саме у весняно-літню пору. Водночас, в цей же період їхня концентрація у придонному шарі води може зростати за рахунок дифузії з донних відкладів при формуванні анаеробних умов [3, 14]. Останні виникають через порушення вертикального перемішування водних мас під час температурної стратифікації. Взимку концентрація

біогенних речовин у поверхневому шарі води порівняно з іншими сезонами зростає. Це відбувається внаслідок конвективного перемішування води восени та істотного зниження асиміляції біогенних елементів біотою, а також завдяки деструкції решток відмерлих гідробіонтів.

Мета роботи полягала у встановленні ролі рослинних організмів у просторових змінах вмісту неорганічних форм нітрогену, фосфору, силіцію та феруму.

Матеріали і методи досліджень. Дослідженнями, що проводились протягом 2019–2020 рр., були охоплені озера Вербне і Тельбін (м. Київ). Проби води відбирали з поверхневого шару на прибережних (~2–3 м від берега), вкритих вищою водною рослинністю (ВВР), та відкритих (чистоводдя) ділянках зазначених озер. Відбір проб проводився в різних частинах озер таким чином, щоб охопити всю їхню акваторію. Вперше проби води було відібрано 17.09.2019 р., коли завершувалась вегетація ВВР. Наступний відбір було здійснено 04.03.2020 р. до початку вегетації ВВР і інтенсивного розвитку діатомових водоростей. Подальші відбори проб проводились 06.04.2020 р. під час інтенсивного розвитку діатомових водоростей, 13.05.2020 р. під час початку вегетації ВВР та 03.06.2020 р. і 22.06.2020 р. при ще більш сприятливих умовах для розвитку ВВР. Для з'ясування змін вертикального розподілу концентрації біогенних речовин на глибинних ділянках озер проби води відбирали від поверхні до дна через певні відстані.

Зазначені озера мають деякі спільні риси. Вони належать до заплавних озер Канівського водосховища та сполучаються з ним гідравлічним зв'язком, використовуються в рекреаційних цілях. Глибина озер Вербоного і Тельбін за результатами власних досліджень досягала відповідно 15 і 11 м. Зараз зазначені озера відрізняються тим, що в озері Тельбін застосовують штучну аерацію води, починаючи з перших місяців 2017 р.

Ступінь заростання оз. Вербоного ВВР досягає 5% [15]. Домінують ценози лепешняка великого *Glyceria maxima* (C.Hartm.) Holmb. та їжачої голівки прямої *Sparganium erectum* L. Серед повітряно-водних рослин зустрічаються очерет звичайний *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud, рогіз вузьколистий *Thypha angustifolia* L., гірчак земноводний *Polygonum amphibium* L. Занурена ВВР представлена рдесником пронизанолистим *Potamogeton perfoliatus* L. та куширом зануреним *Ceratophyllum demersum* L. Крім того, зустрічаються також елодея канадська *Elodea canadensis* Michx., уруть колосиста *Myriophyllum spicatum* L., рдесник кучерявий *Potamogeton crispus* L., рдесник гребінчастий *P. pectinatus* L., наяда морська *Najas marina* L. Серед вільноплаваючих рослин наявні сальвінія плаваюча *Salvinia natans* (L.) All. та спіродела багатокоренева *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid.

В оз. Тельбін ВВР характеризується незначним видовим та ценотичним різноманіттям. Домінують угруповання повітряно-водних рослин – рогіз вузьколистий *Thypha angustifolia* L., їжача голівка пряма *Sparganium erectum* L., очерет звичайний *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud, комиш озерний *Scirpus lacustris* L. Занурена рослинність в озері розвинута слабо [15]. Зазвичай, зустрічаються уруть колосиста *Myriophyllum spicatum* L. та рдесник пронизанолистий *Potamogeton perfoliatus* L., які утворюють як монодомінантні, так і змішані угруповання.

Для вилучення завислих речовин використовували мембранну фільтрацію. Свіжовідібрані проби води об'ємом 1,0–1,5 дм³ пропускали крізь мембранні фільтри «Fioroni» (КНР) з діаметром пор 0,45 мкм під тиском (~2 атм), який створювався за допомогою установки УК 40–2М. Якісний аналіз завислих речовин виконували за допомогою світлового мікроскопа зі збільшенням у 280 разів. Температуру води, величину рН та концентрацію розчиненого у воді кисню визначали безпосередньо на місці відбору проб за допомогою мультифункціонального приладу AZ-86031 (КНР).

Концентрацію у воді розчинених неорганічних форм нітрогену і фосфору, силіцію і феруму знаходили фотометрично. Концентрацію амонійної, нітритної та нітратної форм нітрогену визначали відповідно за методиками з використанням сегнетової солі та реактиву Несслера, реактиву Грісса та саліцилату натрію, а неорганічного фосфору – молібдату амонію у кислому середовищі (рН 0,80–0,95) за наявності аскорбінової кислоти, силіцію – у вигляді синьої (відновленої) форми силіціймолібденової гетерополікислоти із застосуванням метол-сульфітної суміші, феруму – за реакцією взаємодії Fe(II) з 1,10-фенантроліном [16]. Вміст розчинного силіцію і лабільного феруму визначали у фільтраті

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2021. № 1 (59)

природної води без будь-якої попередньої підготовки.

Результати досліджень та їхнє обговорення. У вересні 2019 р. температура води поверхневого шару оз. Вербного досягала 18,2–18,7°C та спостерігалась пряма температурна стратифікація. У березні 2020 р. під час весняної гомотермії вона не перевищувала 5,4 і 7,7°C відповідно в озерах Вербне і Тельбін. В оз. Вербному температура води поверхневого шару у квітні, травні та на початку червня знаходилась у межах відповідно 10,6–12,2, 15,6–17,5 та 15,6–16,4 °C. У другій половині червня вона значно зросла порівняно з попереднім відбором і становила 26,7–28,2°C. Встановлено, що пряма температурна стратифікація водної товщі почала формуватися у травні.

Концентрація розчиненого кисню у воді оз. Вербного зазнавала сезонних та просторових змін. Це було пов'язано як з його витратами на окиснення розчинених органічних речовин під час деструкції решток живих організмів, так і з його надходженням в результаті фотосинтетичної діяльності ВВР і фітопланктону.

У березні 2020 р. концентрація розчиненого кисню на відкритих ділянках оз. Вербного змінювалась у межах 11,0–11,6 мг/дм³, насичення води киснем становило 86,2–90,7%. При цьому його концентрація біля дна знаходилась у зазначеному вище інтервалі величин. Величини рН води знаходились у межах 8,08–8,26. На прибережних ділянках, які зайняті ВВР, показники вмісту та насичення води розчиненим киснем були дещо нижчими і становили відповідно 9,0–10,4 мг/дм³ та 70,3–81,0%, що, напевно, було пов'язано з його використанням на деструкцію решток ВВР. Показники рН води коливались у межах 7,92–8,13. В оз. Тельбін вміст розчиненого кисню знаходився в межах 9,4–10,3 мг/дм³, а насичення ним води становило 77,5–87,2% та не було відмічено істотних відмінностей між його концентрацією на різних ділянках акваторії та за глибиною. Це пов'язано з періодом гомотермії та роботою аераторів, які додатково насичували воду киснем і перемішували її. Величини рН води знаходились у межах 8,05–8,34.

У квітні ситуація в оз. Вербному змінилась, оскільки сформувались сприятливі умови для розвитку діатомових водоростей. Якісний аналіз завислих речовин підтвердив, що вони були представлені головним чином діатомовими водоростями. На відкритій і прибережній ділянках, які зайняті ВВР, спостерігалось перенасичення води розчиненим киснем. Його концентрація знаходилась у межах 13,5–15,8 мг/дм³, а насичення води ним становило 121,8–142,4%. Величини рН досягали 9,41–9,66, що вказує на зсув гідрокарбонатно-кальцієвої рівноваги за рахунок споживання вугільної кислоти водоростями.

У травні також спостерігались як перенасичення поверхневого шару води розчиненим киснем, так і порівняно високі показники рН. Концентрація розчиненого кисню у поверхневому шарі води оз. Вербного становила 10,3–12,9 мг/дм³, а величини рН коливались в межах 9,45–9,70. Насичення води розчиненим киснем досягало 107–134,7%. Водночас, на глибині 4 м концентрація розчиненого кисню не перевищувала 7,6 мг/дм³, а насичення ним води становило 74,8%. Величина рН досягала 9,02. Якісний аналіз завислих речовин показав, що крім діатомових водоростей почали розвиватися зелені водорості.

На початку червня, порівняно з весняним періодом, спостерігалось зниження абсолютного вмісту розчиненого кисню (7,2–9,5 мг/дм³), а насичення ним води коливалось в межах 72,3–97,2%. Це було пов'язано з хмарною погодою в день відбору. У зв'язку з цим зменшувалась фотосинтетична активність фітопланктону і ВВР. На глибині 4 м помітним було, подібно до травня, зниження концентрації розчиненого кисню до 6,8 мг/дм³ (насичення ним води досягало 68,2%). Величини рН води варіювали в інтервалі 8,60–9,48. Під час другого відбору проб води у кінці червня знову спостерігався високий вміст розчиненого кисню як на чистоводді (11,7–12,3 мг/дм³), так і на ділянках з ВВР (11,0–15,2 мг/дм³). Це було пов'язано з сонячною погодою в день відбору проб. Встановлено, що у заростях очерету звичайного *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud та рогузу вузьколистого *Thypha angustifolia* L концентрація розчиненого кисню становила 11,0–11,4 мг/дм³ та мало відрізнялась від його вмісту на відкритих ділянках озера. Водночас, у заростях кушира зануреного *Ceratophyllum demersum* L. його концентрація була дещо вищою і становила 12,5–15,2 мг/дм³. Це свідчить про активну фотосинтетичну діяльність зануреної ВВР, яка, порівняно з повітряно-водною ВВР, виділяє кисень безпосередньо у воду. Насичення води розчиненим киснем на відкритих та прибережних ділянках озера з ВВР змінювалось в межах відповідно 147–158 і 135–194%. На глибині 4 м вміст розчиненого

кисню, порівняно з попереднім відбором, знизився. Показники його вмісту та насичення ним води становили відповідно 3,4 мг/дм³ і 38,6%. Величини рН води на чистоводді і в заростях ВВР коливалися в межах 9,35–9,48 і 9,28–9,74, а на глибині 4 м не перевищували 8,52.

Концентрація неорганічного нітрогену, неорганічного фосфору, розчинного силіцію і лабільного феруму у поверхневому шарі води протягом досліджуваного періоду коливалась у широкому інтервалі – відповідно 0,034–1,573 мг N/дм³, 0,018–0,323 мг P/дм³, 0,04–4,4 мг/дм³ і 9–161 мкг/дм³. У сезонному аспекті максимальні величини вмісту неорганічного нітрогену, фосфору і розчинного силіцію були у березні, під час весняної гомотермії, і до початку вегетації ВВР та інтенсивного розвитку фітопланктону (рис. 1 і рис. 2). Натомість, їхні мінімальні величини спостерігались у травні. Зниження концентрації розчинного силіцію було пов'язано з його споживанням діатомовими водоростями навесні, починаючи з квітня (див. рис. 2). Для неорганічних нітрогену і фосфору також характерне значне зниження їхнього вмісту у весняно-літній період з мінімальними величинами у квітні і травні, що зумовлено їхньою асиміляцією рослинними організмами. Загалом від початку вегетаційного періоду концентрація неорганічних нітрогену, фосфору і розчиненого силіцію за усередненими показниками знизилась на відкритій ділянці озера відповідно з 1,122 до 0,096 мг N/дм³, 0,250 до 0,075 мг P/дм³ і 4,1 до 0,31 мг/дм³, а на прибережній ділянці відповідно з 1,168 до 0,073 мг N/дм³, 0,298 до 0,063 мг P/дм³ і 4,0 до 0,32 мг/дм³. Водночас, вміст лабільного феруму, навпаки, зростав від квітня до червня. У придонному шарі води концентрація досліджуваних біогенних елементів, навпаки, зростала влітку під час прямої температурної стратифікації. В цей час вміст неорганічного нітрогену, неорганічного фосфору, розчинного силіцію і лабільного феруму поблизу дна був у 7,9–14,3, 2,0–7,3, 1,9–3,1 і 1,5–2,5 рази вищий, ніж у поверхневому шарі води. Зумовлено це порушенням конвективного перемішування водних мас нижче термокліну та їхнім надходженням з донних відкладів за дефіциту розчиненого кисню. Загалом, вміст неорганічного нітрогену, неорганічного фосфору, розчинного силіцію і лабільного феруму в придонному шарі води протягом досліджуваного періоду знаходився в межах 0,133–4,813 мг N/дм³, 0,088–0,637 мг P/дм³, 0,3–3,9 мг/дм³ і 69–221 мкг/дм³.

За результатами визначення концентрації досліджуваних біогенних елементів на ділянках озера, вкритих ВВР, та на чистоводді встановлено, що ВВР найістотніше впливає на вміст неорганічного нітрогену. Його концентрація у заростях ВВР була в 1,1–2,0 рази нижчою, ніж на чистоводді. Однак, у квітні 2020 р. вміст неорганічного нітрогену за усередненими величинами на зазначених ділянках озера був майже однаковим (див. рис. 1). Це, можливо, зумовлено його інтенсивнішим споживанням фітопланктоном на відкритих ділянках озера.

Встановлено, що серед сполук неорганічного нітрогену ВВР істотно впливала на вміст амонійного нітрогену і нітрат-йонів. Їхня концентрація у заростях ВВР була відповідно в 1,1–3,1 і 1,3–2,5 рази нижчою, ніж на чистоводді (див. рис. 1). Вміст амонійного нітрогену майже не відрізнявся на зазначених ділянках озера 13.05.2020 р., а концентрація нітрат-йонів у заростях ВВР 04.03.2020 р. і 06.04.2020 р. була навіть вищою. Останнє було зумовлене, напевно, відсутністю істотного споживання нітрат-йонів ВВР, оскільки в цей час вона ще не почала активно розвиватися і функціонувати. Протягом досліджуваного періоду концентрація амонійного нітрогену, нітриту і нітрат-йонів у поверхневому шарі води коливалась в межах відповідно 0,028–1,070, 0,001–0,023 і 0,037–0,481 мг N/дм³. У придонному горизонті води їхній вміст становив відповідно 0,078–4,540, 0,009–0,018 і 0,045–0,264 мг N/дм³. Встановлено, що змін зазнає не лише концентрація сполук неорганічного нітрогену, а також їхня частка. Наприклад, у березні частка амонійного нітрогену на відкритій і прибережній ділянках становила відповідно 89,1 і 73,0%, а відносний вміст нітриту і нітрат-йонів досягав 1,0 і 1,8% та 9,9 і 25,2% загального вмісту неорганічного нітрогену (N_{неорг}). З квітня до початку червня це співвідношення змінилось і почали домінувати нітрат-йони. Частка амонійного нітрогену на відкритій і прибережній ділянках становила відповідно 29,8–42,0 і 27,4–46,6%, а відносний вміст нітриту і нітрат-йонів досягав 2,5–4,3 і 3,5–4,5% та 55,5–67,1 і 49,6–68,3% загального вмісту N_{неорг}. У кінці червня співвідношення неорганічних форм нітрогену змінилось в бік зростання частки амонійного нітрогену. Відносний вміст амонійного нітрогену, нітриту і нітрат-йонів на відкритій і прибережній ділянках озера становив відповідно 51,3 і 63,9%, 3,6 і 5,5 та 45,1 і 30,6%.

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2021. № 1 (59)

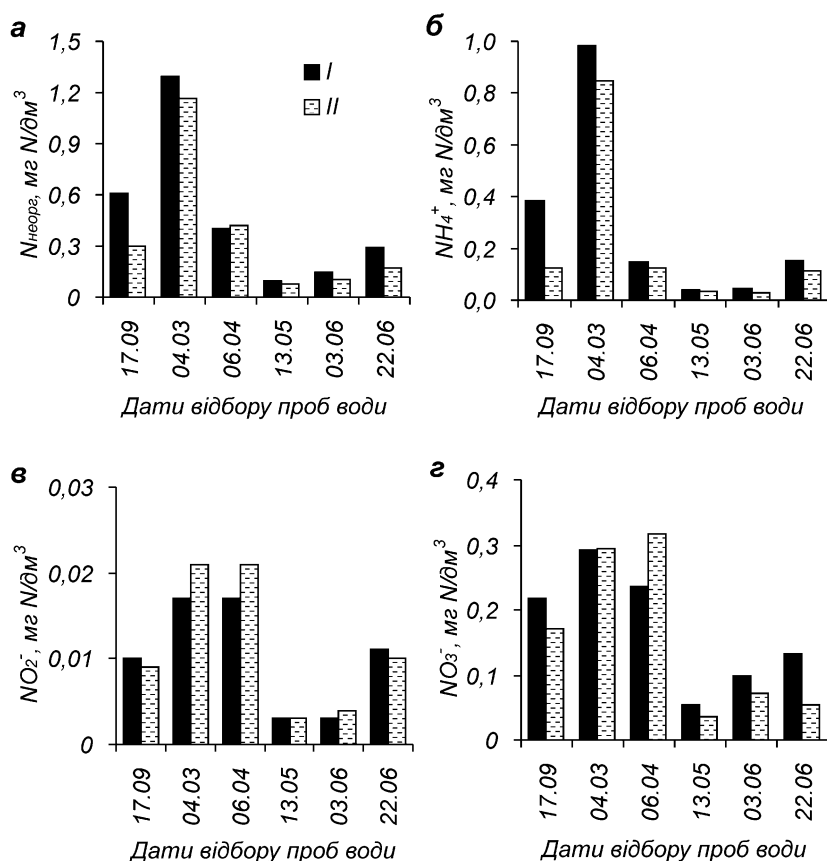


Рис. 1. Усереднені величини концентрації загального неорганічного нітрогену (а), амонійного нітрогену (б), нітрит- (в) і нітрат-іонів (г) у воді поверхневого шару оз. Вербного протягом досліджуваного періоду: I – чистоводдя, II – зарості вищої водної рослинності

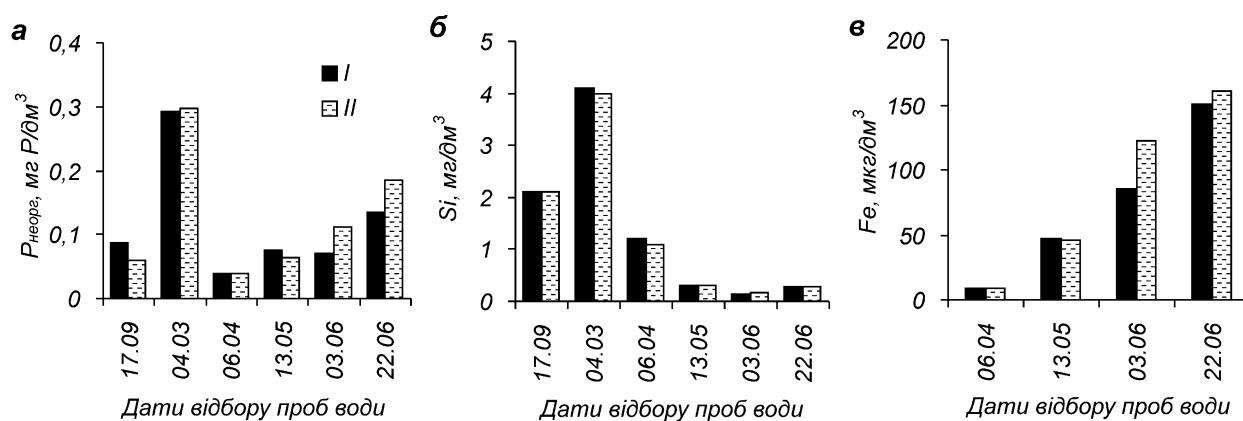


Рис. 2. Усереднені величини концентрації неорганічного фосфору (а), розчинного силіцію (б) і лабільного феруму (в) у воді поверхневого шару оз. Вербного протягом досліджуваного періоду: I – чистоводдя, II – зарості вищої водної рослинності

Таким чином, процес нітрифікації на прибережних ділянках озера, порівняно з чистоводдям, протікав інтенсивніше до початку червня, про що свідчать зазначені вище результати досліджень. У кінці червня знову почала домінувати амонійна форма нітрогену. Зміна співвідношення сполук нітрогену пов'язана з тим, що його неорганічні форми по-різному засвоюються рослинними організмами [10].

Концентрація неорганічного фосфору у заростях ВВР могла бути більшою або меншою, ніж на чистоводді. Наприклад, 17.09.2019 р. і 13.05.2020 р. його вміст на чистоводді становив у середньому 0,087 і 0,075 мг/дм³, тоді як у заростях ВВР він був

нижчим відповідно у 1,5 і 1,2 рази (див. рис. 2). У квітні 2020 р. концентрація неорганічного фосфору на зазначених ділянках озера була приблизно однаковою, а в решті випадків, навпаки, його вміст у заростях ВВР був вищим, ніж на чистоводді. Подібні результати було отримано на мілководних і глибоководних ділянках Київського, Кременчуцького і Каховського водосховищ. Встановлено, що під час вегетаційного періоду концентрація нітрит- і нітрат-йонів була завжди нижчою на мілководних ділянках. Водночас, концентрація неорганічного фосфору та в деяких випадках концентрація амонійного нітрогену була, навпаки, вищою на мілководді [17].

Вміст розчинного силіцію та лабільного феруму протягом досліджуваного періоду на прибережних ділянках озера і чистоводді майже не відрізнявся (див. рис. 2). У червні в заростях ВВР лабільний ферум був навіть вищим, ніж на чистоводді.

Привертає на себе увагу також зміна співвідношення N:P. У березні воно становило у середньому 4,2, у квітні – 11,3, у травні – 1,4, а в червні – 1,5–1,6. Його зростання свідчить про пришвидшене споживанням неорганічних сполук фосфору порівняно зі сполуками неорганічного нітрогену. Так, згідно літературних джерел, співвідношення N:P може впливати на розвиток того чи іншого відділу водоростей, а також визначає ступінь евтрофування водойми [3, 14, 18–20]. Відомо, що зазначене вище співвідношення у побутових стічних водах становить 3, а у водних об'єктах із значним антропогенним впливом знаходиться в межах від 15 до 25. Крім того, воно впливає на переважаючий розвиток у воді представників того чи іншого відділу водоростей. Встановлено, що при співвідношенні N:P <5 розвиваються головним чином синьозелені водорості, а при 15 – зелені водорості [20].

В оз. Тельбін концентрація неорганічних нітрогену, фосфору і розчинного силіцію на відкритій і прибережній ділянках з ВВР була майже однаковою. Це пов'язано з відсутністю вегетації ВВР, а також конвективним перемішуванням водних мас за рахунок штучної аерації. В середньому вміст неорганічних нітрогену й фосфору і розчинного силіцію на цих ділянках становив 0,751 і 0,769 мг N/дм³, 0,081 і 0,077 мг P/дм³ та 5,0 і 5,1 мг/дм³.

Концентрація амонійного нітрогену, нітрит- і нітрат-йонів на зазначених ділянках озера також була однаковою і становила в середньому 0,105 і 0,102, 0,017 і 0,016 та 0,629 і 0,651 мг N/дм³. Відносний вміст амонійного нітрогену, нітрит- і нітрат-йонів на відкритій ділянці озера становив 14,0%, 2,3 і 83,8%, а на прибережних ділянках з ВВР – відповідно 13,3%, 2,1 і 84,7%.

У воді оз. Тельбін, порівняно з оз. Вербним, основною формою знаходження нітрогену були нітрат-йони. На нашу думку, це пов'язано з додатковим насиченням води киснем за допомогою аераційних установок. Він, напевно, спонукав до інтенсивнішого перебігу процесу нітрифікації.

Отже, під час весняної гомотермії за відсутності вегетації ВВР вміст неорганічних нітрогену й фосфору та розчинного силіцію по акваторії майже не відрізняється. Водночас, під час розвитку біотичної складової починає спостерігатися зміна концентрації біогенних речовин, зокрема її зниження, а також зміна співвідношення форм неорганічного нітрогену. На ділянках водойм, вкритих ВВР, під час її вегетації відбувається локальне зниження вмісту загального неорганічного нітрогену, амонійного нітрогену, нітрат-йонів та в деяких випадках неорганічного фосфору.

Висновки. У межах урбанізованих територій водні об'єкти з уповільненим водообміном найбільш уразливі до антропогенного впливу. Зростання їхньої самоочисної здатності відбувається двічі на рік під час весняної і осінньої гомотермії, коли настає конвективне перемішування води і надходження розчинного кисню до придонного шару. За результатами досліджень було встановлено, що крім гідрологічних і гідрохімічних чинників важливу роль у тимчасовому вилученні біогенних речовин з води відіграють зарості ВВР. Встановлено, що під час її вегетації концентрація загального неорганічного нітрогену у поверхневому шарі води знижувалась в 1,1–2,0 рази, а неорганічного фосфору в деяких випадках – в 1,2–1,5 рази порівняно з їхнім вмістом на відкритих ділянках озера. Концентрація амонійного нітрогену і нітрат-йонів у заростях ВВР була також нижчою відповідно в 1,1–3,1 і 1,3–2,5 рази порівняно з чистоводдям. Вплив ВВР на вміст розчинного силіцію і лабільного феруму не помічався.

Список літератури

1. Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике / под ред. П.А. Лозовика, Н.А. Ефременко. СПб. Нестор-История. 2017. 272 с.
2. Никаноров А.М. Гидрохимия: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. СПб. Гидрометеиздат. 2001. 444 с.
3. Хендерсон-Селлерс Б., Маркленд Х.Р. Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования (перевод с англ. яз). Л. Гидрометеиздат. 1990. 280 с.
4. Camargo J.A., Alonso A. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment // Environment International. 2006. Vol. 32. P. 831–849.
5. Sobczyk T. The effects of abiotic conditions on release of biogenic substances from bottom sediments // International Journal of Oceanography and Hydrobiology. 2009. Vol. 38. N1. P. 45–53.
6. Воронков М.Г., Кузнецов И.Г. Кремний в живой природе. Новосибирск. Наука. 1984. 158 с.
7. Зенин А.А., Белоусова Н.В. Гидрохимический словарь. Л. Гидрометеиздат. 1988. 240 с.
8. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник: В 6 кн. [под ред. Э.К. Буренкова]. М. Недра. 1994. Кн. 2: Главные р-элементы. 303 с.
9. Гидроэкологический русско-украинско-английский словарь-справочник / под ред. акад. В.Д. Романенко. К. Демидур. 1999. 262 с.
10. Романенко В.Д. Основи гідроекології: Підручник. К. Обереги. 2001. 728 с.
11. Глазовская М.А., Добровольская Н.Г. Геохимические функции микроорганизмов. М. Изд-во МГУ. 1984. 152 с.
12. Linnik P.N., Dikaya T.P. Concentrations, coexisting forms, and features of silicon distribution and migration in surface waters of Ukraine // Water Resources. 2014. Vol. 41. N6. P. 696–708.
13. Литвинова Т.Н., Выскупова Н.К., Ненашева Л.В. Биогенные элементы. Комплексные соединения: Учебное пособие. Ростов-на-Дону. Феникс. 2009. 283 с.
14. Рябов А.К., Сиренко Л.А. Искусственная аэрация природных вод. К. Наукова думка. 1982. 204 с.
15. Иванова И.Ю., Харченко Г.В., Ключенко П.Д. Высшая водная растительность г. Киева // Гидробиол. журн. 2007. Т. 43. № 1. С. 38–58.
16. Набиванець Б.Й., Осадчий В.І., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б. Аналітична хімія поверхневих вод. К. Наукова думка. 2007. 456 с.
17. Денисова А.И., Левитская Н.В., Сидоренко В.М. Сравнительная характеристика гидрохимического режима мелководий и глубоководных зон днепровских водохранилищ // Гидробиол. журн. 1981. Т. 21. № 5. С. 57–64.
18. Степанова И.Э., Бикбулатова Е.М. Значимость соотношения форм биогенных элементов для оценки современного состояния Рыбинского водохранилища // Поволжский экологический журнал. 2015. №3. С. 330–337.
19. Суходольская И.Л., Мантурова О.В., Грюк И.Б. Фитопланктон малых рек Ровенской области (Украина) и связь его количественных показателей с содержанием биогенных элементов // Гидробиол. журн. 2015. Т. 51. № 3. С. 56–68.
20. Алекин О.А., Драбкова В.Г., Коплан-Дикс И.С. Проблема эвтрофирования континентальных вод // Антропогенное эвтрофирование природных вод: Материалы третьего Всесоюзного симпозиума, сентябрь 1983. Москва – Черногловка. 1985. С. 25–34.

References

1. Analiticheskiye, kineticheskiye i raschetnyye metody v gidrokhimicheskoy praktike [Analytical, kinetic and computational methods in hydrochemical practice] / pod red. P.A. Lozovika, N.A. Yefremenko. SPb. Nestor-Istoriya. 2017. 272 s.
2. Nikanorov A.M. Gidrokhiimiya: Uchebnik. – 2-ye izd., pererab. i dop. [Hydrochemistry: A Textbook.] SPb. Gidrometeoizdat. 2001. 444 s.
3. Khenderson-Sellers B., Marklend K.H.R. Umirayushchiye ozera. Prichiny i kontrol' antropogennogo evtrofirovaniya (perevod s angl. yaz). [Dying lakes. Causes and control of anthropogenic eutrophication]. L. Gidrometeoizdat. 1990. 280 s.
4. Camargo J.A., Alonso A. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment // Environment International. 2006. Vol. 32. P. 831–849.
5. Sobczyk T. The effects of abiotic conditions on release of biogenic substances from bottom sediments // International Journal of Oceanography and Hydrobiology. 2009. Vol. 38. N1. P. 45–53.
6. Voronkov M.G., Kuznetsov I.G. Kremniy v zhivoy prirode [Silicon in nature]. Novosibirsk. Nauka. 1984. 158 s.
7. Zenin A.A., Belousova N.V. Gidrokhimicheskii slovar' [Hydrochemical Dictionary]. L. Gidrometeoizdat. 1988. 240 s.

8. *Ivanov V.V.* Ekologicheskaya geokhimiya elementov: Spravochnik: V 6 kn. [Ecological Geochemistry of the Elements: A Handbook: In 6 Books]. [pod red. E.K. Burenkova]. M. Nedra. 1994. Kn. 2: Glavnyye p-elementy. 303 s.
9. *Gidroekologicheskii rusko-ukrainsko-angliyskiy slovar'-spravochnik* [Hydroecological Russian-Ukrainian-English Dictionary] / pod red. akad. V.D. Romanenko. K. Demiur. 1999. 262 s.
10. *Romanenko V.D.* Osnovy hidroekolohiyi: Pidruchnyk [Fundamentals of hydroecology: Textbook.]. K. Oberehy. 2001. 728 s.
11. *Glazovskaya M.A., Dobrovol'skaya N.G.* Geokhimicheskiye funktsii mikroorganizmov [Geochemical functions of microorganisms]. M. Izd-vo MGU. 1984. 152 s.
12. *Linnik P.N., Dikaya T.P.* Concentrations, coexisting forms, and features of silicon distribution and migration in surface waters of Ukraine // *Water Resources*. 2014. Vol. 41. N6. P. 696–708.
13. *Litvinova T.N., Vyskubova N.K., Nenasheva L.V.* Biogennyye elementy. Kompleksnyye soyedineniya: Uchebnoye posobiye [Biogenic elements. Complex Compounds: A Tutorial]. Rostov-na-Donu. Feniks. 2009. 283 s.
14. *Ryabov A.K., Sirenko L.A.* Iskustvennaya aeratsiya prirodnikh vod [Artificial aeration of natural waters]. K. Naukova dumka. 1982. 204 s.
15. *Ivanova I.YU., Kharchenko G.V., Klochenko P.D.* Vysshaya vodnaya rastitel'nost' g. Kiyeva [Higher aquatic vegetation in Kiev] // *Gidrobiol. zhurn.* 2007. T. 43. № 1. S. 38–58.
16. *Nabyvanets B.Y., Osadchyy V.I., Osadcha N.M., Nabyvanets YU.B.* Analitichna khimiya poverkhnelykh vod [Analytical chemistry of surface waters]. K. Naukova dumka. 2007. 456 s.
17. *Denisova A.I., Levitskaya N.V., Sidorenko V.M.* Sravnitel'naya kharakteristika gidrokhimicheskogo rezhima melkovodiy i glubokovodnykh zon dneprovskikh vodokhranilishch [Comparative characteristics of the hydrochemical regime of shallow waters and deep-water zones of the Dnieper reservoirs] // *Gidrobiol. zhurn.* 1981. T. 21. № 5. S. 57–64.
18. *Stepanova I.E., Bikbulatova Ye.M.* Znachimost' sootnosheniya form biogennykh elementov dlya otsenki sovremennogo sostoyaniya Rybinskogo vodokhranilishcha [Significance of the ratio of forms of biogenic elements for assessing the current state of the Rybinsk Reservoir] // *Povolzhskiy ekologicheskii zhurnal*. 2015. №3. S. 330–337.
19. *Sukhodol'skaya I.L., Manturova O.V., Gryuk I.B.* Fitoplankton malykh rek Rovenskoy oblasti (Ukraina) i svyaz' yego kolichestvennykh pokazateley s soderzhaniyem biogennykh elementov [Phytoplankton of small rivers of the Rivne region (Ukraine) and the relationship of its quantitative indicators with the content of biogenic elements] // *Gidrobiol. zhurn.* 2015. T. 51. № 3. S. 56–68.
20. *Alekin O.A., Drabkova V.G., Koplan-Diks I.S.* Problema evtrofirovaniya kontinental'nykh vod [The problem of eutrophication of continental waters] // *Antropogennoye evtrofirovaniye prirodnikh vod: Materialy tret'yego Vsesoyuznogo simpoziuma, sentyabr' 1983. Moskva – Chernogolovka*. 1985. S. 25–34.

Влияние высшей водной растительности на содержание биогенных элементов в лимнических системах урбанизированной территории

Жежеря В.А., Жежеря Т.П., Линник П.Н.

На примере озер Вербное и Тельбин исследованы изменения концентрации неорганического азота и его соединений, неорганического фосфора, растворенного кремния и лабильного железа на участках, покрытых высшей водной растительностью и открытых (чистоводье), а также с глубиной. Установлено, что в зарослях высшей водной растительности во время вегетационного периода наблюдалось снижение концентрации неорганического азота, аммонийного азота, нитрат-ионов и в некоторых случаях неорганического фосфора в несколько раз по сравнению с открытыми участками. Обнаружено, что во время весенней гомотермии содержание неорганических азота и фосфора, растворенного кремния достигало максимальных величин. Снижение их концентрации в поверхностном слое воды наблюдалось с началом вегетационного периода и обусловлено ассимиляцией растительными организмами. Во время прямой температурной стратификации обнаружено повышение содержания неорганических азота и фосфора, растворенного кремния и лабильного железа в придонном слое воды вследствие их поступления из донных отложений при дефиците растворенного кислорода и формировании анаэробных условий.

Ключевые слова: биогенные элементы, азот, фосфор, кремний, железо, заросли высшей водной растительности.

Influence of higher aquatic vegetation on the content of biogenic elements in limnic systems of an urbanized territory

Zhezherya V.A., Zhezherya T.P., Linnik P.M.

There were considered the results of studies of the content of inorganic nitrogen and its compounds, inorganic phosphorus, dissolved silicon and labile iron in the areas of the Verbne and Telbin Lakes, covered with higher aquatic vegetation and free vegetation, as well as with depth. It was found that the content of inorganic nitrogen, ammonium nitrogen, nitrate ions and in some cases inorganic phosphorus was decreased in the thickets of higher aquatic vegetation during the growing season several times compared to areas of the lake without thickets. It was found that higher aquatic vegetation during its growing season reduced the content of inorganic nitrogen in the surface layer of water by 1.1–2.0 times, and inorganic phosphorus in some cases by 1.2–1.5 times, compared with their content in

sections free vegetation. The concentration of ammonium nitrogen and nitrate ions in the thickets of higher aquatic vegetation was also 1.1–3.1 and 1.3–2.5 times lower, respectively. From the beginning of the growing season, the concentration of inorganic nitrogen, phosphorus and dissolved silicon in the area of the lake without vegetation was decreased on average from 1.122 to 0.096 mg N/dm³, from 0.250 to 0.075 mg P/dm³ and from 4.1 to 0.31 mg/dm³ and in the coastal area from 1.168 to 0.073 mg N/dm³, from 0.298 to 0.063 mg P/dm³ and from 4.0 to 0.32 mg/dm³ respectively. It was found that the share of nitrate ions in the surface layer of the water of Verbne Lake increased from 9.9% to 68.3% from March to June, and in Telbin Lake nitrate ions dominated, even in March. This was due to the increase in the intensity of the nitrification process. In the first case, this was due to the supply of oxygen during photosynthesis, and in the second case, due to artificial aeration. The effect of higher aquatic vegetation on the content of dissolved silicon and labile iron were not observed. The maximum values content of inorganic nitrogen and phosphorus and dissolved silicon were observed during spring homothermia. Their content in the surface layer of water gradually decreased due to the assimilation of plant organisms with the beginning of the growing season. Direct temperature stratification led to an increase in the content of inorganic nitrogen and phosphorus, dissolved silicon and labile iron in the bottom layer of water due to their inflow from bottom sediments, especially in the absence of dissolved oxygen.

Keywords: biogenic elements, nitrogen, phosphorus, silicon, iron, thickets of higher aquatic vegetation.

Надійшла до редколегії 21.10.2020

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.6>

УДК 5.502/504.502.3/.7

Ухань О.О., Осадча Н.М.

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

ОЦІНКА АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ БІОГЕННИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ТА ОРГАНІЧНИМИ РЕЧОВИНАМИ У БАСЕЙНІ Р. ТЕТЕРІВ

Збільшення органічних речовин та біогенних елементів (сполук нітрогену та фосфору) у поверхневих водах призводить до значного погіршення її якості. У даній роботі представлено основні шляхи надходження біогенних елементів та органічних речовин до р. Тетерів.

Показано, що серед точкових джерел найбільше забруднення біогенними елементами та органічними речовинами викликано саме міським населенням. Дифузне забруднення річки органічними сполуками відбувається за рахунок домогосподарств переважно сільського населення, не підключених до каналізаційних мереж. Проведені розрахунки свідчать, що для біогенних елементів основні емісійні потоки надходять за рахунок рілля.

Ключові слова: біогенні елементи; органічні речовини; точкові та дифузні джерела.

Вступ. Господарська діяльність людини, що ведеться у межах річкових водозборів, найчастіше призводить до погіршення загального стану водних об'єктів. Вагомий вплив на формування якості води чинить процес розкладання органічних речовин та біогенних елементів, надходження яких, в свою чергу, спричиняється продуктами життєдіяльності живих організмів [8].

Основна небезпека надходження у водні об'єкти надмірної кількості органічних речовин полягає у споживанні розчиненого у воді кисню на їх окиснення. В результаті, у забруднених водах виникають умови дефіциту кисню аж до виникнення гіпоксії, що призводить до значних порушень біологічних угруповань у тому числі загибелі окремих видів. Надходження біогенних елементів до поверхневих вод є рушійною силою евтрофікації, наслідком чого є збільшення первинної продукції та накопичення у водному об'єкті органічної речовини [1, 5]. Серед біогенних елементів домінуючу роль відіграють сполуки фосфору та нітрогену.

За характером надходження речовин виділяють точкові джерела, до яких відносяться стаціонарні водовипуски стічних вод водокористувачів та дифузні джерела, представлені стоками сільських населених пунктів та зливом із сільськогосподарських угідь і забудованих території. Точкові джерела є відносно сталими за витратами стічних вод та перелік та концентрації забруднюючих речовин у яких відповідають характеру виробництва. Характерною особливістю дифузного забруднення є те, що його рівень залежить не лише

від антропогенного навантаження, а визначається також кліматичними, гідрологічними умовами, властивостями підстильної поверхні та ґрунтів [2].

Дослідженню навантаження поверхневих вод за рахунок точкових та дифузних джерел, їх моделювання та особливості висвітлено в роботах [2, 9, 11]. В сучасній науці України вивченню цього напрямку не приділялося достатньої уваги як у розрізі басейнів, так і окремих суббасейнів річок. Основні дослідження було спрямовано на визначення якості поверхневих вод за різними методиками. Перші результати розрахунків навантаження біогенними елементами, органічними речовинами та небезпечними забруднюючими речовинами отримано науковцями УкрГМІ та співробітниками Державного агентства водних ресурсів України в рамках проекту Координатора проектів ОБСЄ в Україні [4] для р. Сіверський Донець та басейну р. Дністер. Також, для проекту Європейської спільної Водної ініціативи плюс для країн Східного партнерства з метою вдосконалення управління водними ресурсами з акцентом на транскордонне управління річковими басейнами колективом авторів виконано роботу [7] для басейну р. Дніпро. Саме в межах останньої роботи вперше було виконано розрахунки навантаження біогенними та органічними речовинами для р. Тетерів.

Тетерів є правою притокою р. Дніпро, що протікає в межах Українського Полісся. Довжина р. Тетерів становить 385 км, площа басейну 15300 км². Річка має снігове та дощове живлення з вираженим водопіллям. В літню межінь значна частина річок басейну включно з верхів'ями р. Тетерів пересихають, що в цілому несприятливо впливає на загальний стан поверхневих вод.

Поверхневі води р. Тетерів є джерелом водозабору води та водовідведення комунальних та промислових стічних вод. В межах басейну р. Тетерів розташована Житомирська міська агломерація з загальною кількістю населення 587,2 тис. мешканців з містами обласного значення Житомир та Бердичів. Побудовані в басейні р. Тетерів водосховища створюють необхідні запаси води для потреб населення та інших об'єктів господарювання. Основний водозбір для потреб м. Житомир здійснюється з «Відсічного» водосховища (<http://www.zmuv.gov.ua/index.html>). Економічне значення р. Тетерів досить велике - водні ресурси основної річки та її притоків використовуються для розвитку гідроенергетики, сільського господарства, водного туризму та рекреації. [3, 5].

Зважаючи на вищезазначені чинники, питання антропогенного навантаження органічними та біогенними речовинами поверхневих вод басейну р. Тетерів є важливим та актуальним з огляду на формування їх якості та визначає **мету** нашого дослідження.

Матеріали і методи дослідження. Для оцінки надходження біогенних елементів та органічних речовин від точкових джерел використовувалися дані звітності за формою 2-ТП Водгосп. Дані про ступінь підключення населення до комунальних очисних споруд запозичені із сайту The International Benchmarking Network (<https://www.ib-net.org/>). Паралельно, навантаження біогенними елементами та органічними речовинами визначали розрахунковим шляхом на підставі коефіцієнтів про емісію забруднюючих речовин від 1 людини, чисельності населення та ступеня утилізації окремих компонентів очисними спорудами [9].

Для аналізу дифузного надходження біогенних елементів була розроблена концептуальна модель, яка дозволяла врахувати основні шляхи їх надходження - від атмосферних опадів, з водним стоком від поверхонь з різним типом покриття (орні землі, ліси, луки і пасовища, населені пункти, виходи порід, водна поверхня), від населення сільських регіонів не облаштованих каналізацією. Вплив дифузних джерел оцінювався як сума від зазначених шляхів надходження біогенних елементів [6].

Результати та обговорення. Серед точкових джерел визначали окремо навантаження від комунальних та промислових підприємств. Згідно з даними звітності 2-ТП Водгосп, в межах суббасейну р. Тетерів розташовано 13 промислових підприємств та 22 комунальних підприємства, стічні води яких надходять до річок суббасейну р. Тетерів.

Забруднення поверхневих вод органічними речовинами та біогенними елементами від точкових джерел найбільшою мірою спричинене відведенням *комунальних* стічних вод населених пунктів, з якими до водної екосистеми надходять продукти життєдіяльності людини.

Всього в межах суббасейну р. Тетерів нараховується 937 населених пунктів. Тип

населених пунктів та еквівалент населення (ЕН) в межах суббасейну р. Тетерів представлено у табл. 1. Еквівалент навантаження встановлюється на підставі БСК₅ і дорівнює 60 мгО₂/добу.

Таблиця 1. Розподіл населення у басейні р. Тетерів між різними типами населених пунктів

Тип населеного пункту	Кількість у басейні	Еквівалент населення	% від загального населення у басейні
100 тис. – 1 млн. чол.	1	271303	29,0
10-100 тис. чол.	8	200501,4	21,4
2-10 тис. чол.	36	144226	15,4
< 2 тис. чол.	892	318937,4	34,1

Отримані дані свідчать, що в населених пунктах з ЕН менше 2 тис. осіб сконцентровано 34 % від загальної кількості населення, а в найбільшому населеному пункті - м. Житомир - проживає 29% загальної кількості населення на водозборі. Розподіл забруднення біогенними елементами та органічними речовинами за різними категоріями міст представлено на рис. 1.

Як видно з рисунку 1, міста з ЕН більше 100 тис. (м. Житомир) спричиняють найбільше навантаження на поверхневі води як органічними речовинами, так і біогенними елементами. Згідно проведених розрахунків, навантаження поверхневих вод органічними речовинами від населення, підключеного до каналізаційних систем становить 1122,7 т/рік за величиною БСК₅ та 1590,5 т/рік у вимірі ХСК. Для біогенних елементів величина надходження до поверхневих вод становила 355,1 т/рік для нітрогену та 122,7 т/рік для фосфору. За звітністю 2-ТП Водгосп, серед комунальних підприємств найбільше забруднення зазначеними речовинами спричинено стічними водами КП «Житомирводоканал», кількість яких становить до 80% від загальної.

Відповідно до розрахунків, наведених у [3] м. Житомир чинить дуже великий вплив на екосистему р. Тетерів, а концентрації фосфатних іонів нижче від міста збільшуються більше, ніж у 8 разів

Аналіз надходження органічних речовин з *промисловими* стічними водами, за даними 2-ТП Водгосп, показав, що до поверхневих вод р. Тетерів знаходить 26 т/рік органічних речовин за величиною БСК₅ та 110 т/рік за величиною ХСК. Серед промислових підприємств найбільше забруднення органічними речовинами спричинено Фабрикою банкотного паперу (м. Малин), зі стічними водами якої надходить до 77% від загальної їх кількості. Слід зауважити, що на даний час реєстр 2ТП-Водгосп містить інформацію лише про відведення мінеральних сполук нітрогену та фосфору. Згідно проаналізованих даних, загальне навантаження поверхневих вод біогенними елементами, що надходять з промисловими стоками, становить 166,5 т /рік сполук нітрогену та 18 т/рік сполук фосфору, серед яких 75% надходить, як і у випадку з органічними речовинами, зі стічними водами Малинської фабрики банкотного паперу.

Наведені дані, на нашу думку, свідчать про важливість вирішення проблеми органічного та біогенного забруднення р. Тетерів, переважно за рахунок зміни поглиблення ступеню очищення стічних вод [10].

За рахунок *населення не підключеного* до каналізаційних мереж. а це, передусім, сільське населення (населені пункти з ЕН < 2000) та частина міського, не облаштованого системами збору та відведення стічних вод усього надходить 3996 т/рік за виміром БСК₅ та 6793 т/рік за ХСК.

У сільських населених пунктах та невеликих містах стічні води відводяться у відстійники, облаштовані у землі, звідки забруднюючі речовини легко потрапляють у підземні води і транспортуються з ними у річкове русло. Отримані результати значно переважають загальну кількість забруднюючих речовин, що надходить від комунальних очисних споруд. Це виводить на перший план нагальну необхідність розвитку мереж збору та очищення стічних вод, впровадження альтернативних індивідуальних систем очищення стоків.

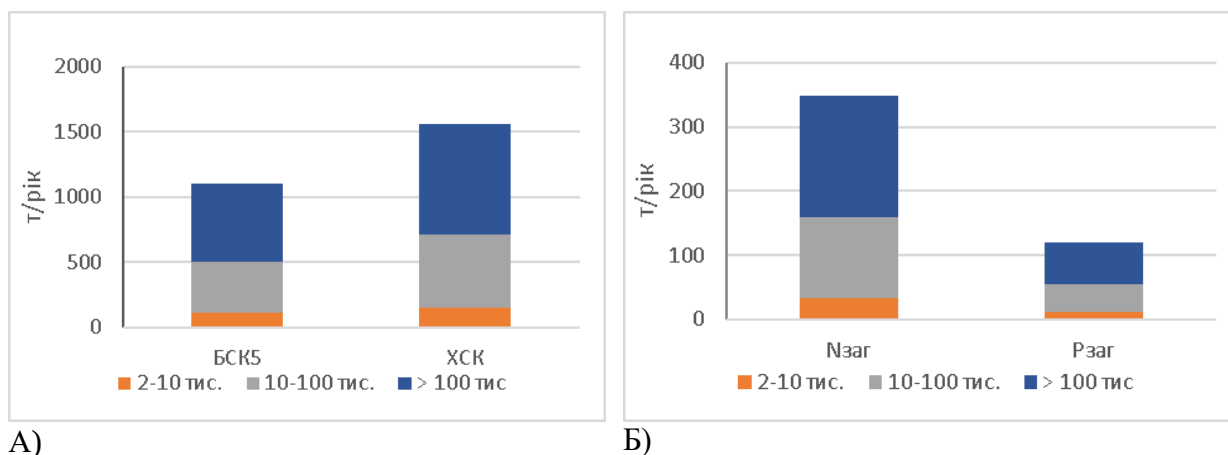


Рис.1. Навантаження органічними речовинами (А) та біогенними елементами (Б) від міських агломерацій різного типу

Що стосується загальних показників емісії біогенних елементів, то відповідно до проведених розрахунків всього за рік від сільського населення у басейн р. Тетерів надходить 388,9 т сполук нітрогену загального та 54,6 т фосфору загального.

Важливим чинником, що впливає на загальні показники дифузного надходження біогенних елементів до поверхневих вод є характер використання території. У басейні р. Тетерів відзначається істотна диспропорція між основними типами землекористування - більша частина басейну (до 70%) представлена сільськогосподарськими землями, до яких належать орні землі, луки, перелogi та пасовища). Це призводить до порушення ґрунтового покриву внаслідок оранки та значних надходжень до поверхневих вод органічних та поживних речовин через вимивання їх з водним стоком. Лісові насадження становлять 30% від загальної площі басейну р. Тетерів і сприяють зменшенню дифузного надходження біогенних елементів.

Узагальнені результати загальної емісії сполук нітрогену та фосфору за джерелами надходження представлено на рис. 2.

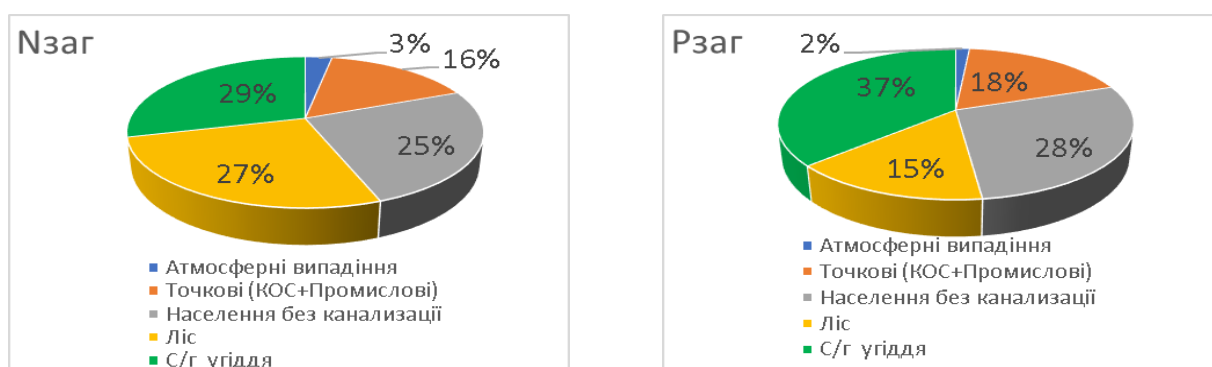


Рис. 2. Основні джерела емісії біогенних елементів до поверхневих вод р. Тетерів

Для поверхневих вод р. Тетерів емісія сполук нітрогену від земель сільськогосподарського призначення, лісових насаджень та від населення, не обладнаного каналізацією є величинами одного порядку - 25-29%. Вплив точкових джерел не перевищує 15%. Впливом решти джерел можна знехтувати. За джерелами надходження загальний стік Pzag розподіляється наступним чином: домінуюча частка надходить за рахунок ерозійного виносу із сільськогосподарських угідь – 37%, емісія від населення без каналізації - 28%.

Висновки. Найбільше навантаження органічними речовинами та біогенними елементами від міського населення спричинено містами з ЕН більше 100 тис.

Серед суб'єктів господарювання, згідно 2-ТП Водгосп, суттєве забруднення поверхневих вод р. Тетерів органічними речовинами та біогенними елементами спричиняють такі підприємства, як КП «Житомирводоканал» та Фабрика банкнотного паперу (м. Малин).

За дифузними джерелами надходження емісія нітрогену та фосфору в межах басейну р. Тетерів розподіляється наступним чином: сільськогосподарські угіддя відповідальні за формування 29% та 37% відповідно від загального емісійного потоку. На другому місці – надходження від населення невідключеного до каналізації – 25% для нітрогену і 28% для фосфору.

Список літератури

1. Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України /За ред. В.К. Хільчевського та В.А. Сташука. К.: Ніка-Центр, 2013. 256 с.
2. Михайлов С.А. Диффузное загрязнение водных экосистем. Методы оценки и математические модели. СО РАН, ГПНТБ ин-т водных и экологических проблем. Барнаул: День, 2000. 130 с.
3. Осадчий В.І., Осадча Н.М., Мостова Н.М. Вплив урбанізованих територій на формування хімічного складу поверхневих вод басейну Дніпра. Наукові праці УкрНДГМІ, вип. 250. К., 2002. С.242-261.
4. Осадча Н.М., Осійський Е.Й., Скоблєй М.П., Ухань О.О., Ярошевич О.Є. Аналіз основних антропогенних навантажень та їхніх впливів у районі річкового басейну Сіверського Дінця. 2018, 68 с.
5. Осадча Н.М., Осадчий В.І., Ухань О.О., Клебанов Д.О., Лузовіцька Ю.А., Білецька С.В. Антропогенне навантаження біогенними елементами на поверхневі води басейнів нижнього Дунаю, Дністра та Пруту. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. №3, 2019. С.77-78.
6. Осадча Н.М., Ухань О.О., Чехній В.М., Голубцов О.Г. Оцінка емісії біогенних елементів та органічних речовин у поверхневі води басейну р. Сіверський Донець від дифузних джерел. Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології. Монографія. К.: Ніка-центр, 2019. 329 с.
7. Технічний звіт EUWI+EASt-UA-14 «Розроблення плану управління басейну Дніпра в межах України: фаза 1, крок 2 - Аналіз антропогенного навантаження та його впливу, оцінка ризику, екологічні цілі для масивів поверхневих вод». Березень 2020. 132 с. <https://www.euwipluseast.eu/ru/component/k2/item/980-ukraine-dnipro-rbmp-report-risk-surface-water-ukr?fromsearch=1>
8. Behrendt H. and Opitz D. Retention of nutrients in river systems: Dependence on specific runoff and hydraulic load. Hydrobiologia 410, 2000. P.111–122.
9. Behrendt H., Huber P., Kornmilch M., Opitz D., Schmoll O., Scholz G. and Uebe R. Nutrient emissions into river basins of Germany. UBA-Texte 23/00, 2000. 266 p.
10. Directive 91/271/EEC concerning urban waste water treatment.
11. Pöthig, R., Behrendt, H., Opitz, D., Furrer, G. A universal method to assess the potential of phosphorus loss from soil to aquatic ecosystems. Environmental Science and Pollution Research 17(2), 2010 P.497-504.

References

1. Hidrohimichniy rezhim i yakist poverhnevih vod baseynu Dnistra na teritorii Ukraini [Hydrochemical regime and surface water quality of the Dnister basin on the territory of Ukraine]/ Za red. V.K. Khil'chevskogo ta V.A. Stashuka. K.: Nika-Tsentr, 2013. 256 s.
2. Mikhaylov S.A. Diffuznoye zahryazneniye vodnyh ekosistem. Metody otsenki i matematicheskiye modeli [Diffuse pollution of aquatic ecosystems. Assessment methods and mathematical models]. SO RAN, GPNTB In-t vodnyh i ekologicheskikh problem. Barnaul: Den', 2000. 130 s.
3. Osadchyy V.I., Osadcha N.M., Mostova N.M. Vplyv urbanizovanykh terytoriy na formuvannya himichnoho skladu poverhnevyykh vod baseynu Dnipra [Influence of urbanized territories on the formation of the chemical composition of surface waters of the Dnieper basin]. Naukovi pratsi UkrNDHMI, № 250. K., 2002. S.242-261.
4. Osadcha N.M., Osiyskyy E.Y., Skobley M.P., Ukhan O.O., Yaroshevych O.Y. Analiz osnovnykh antropohennykh navantazhen ta yikhnikh vplyviv u rayoni richkovoho baseynu Siverskoho Dintsya [Analysis of the main anthropogenic loads and their impacts of the Seversky Donets river basin]. 2018, 68 s.
5. Osadcha N.M., Osadchyy V.I., Ukhan O.O., Klebanov D.O., Luzovitska Y.A., Biletska S.V. Antropohenne navantazhennya bioghennymi elementami na poverkhnevi vody baseyniv nyzhn'oho Dunayu, Dnistra ta Prutu [Anthropogenic load of nutrients on the surface waters of the lower Danube, Dnister and Prut basins]. Hidrolohiya, hidrokhiimiya i hidroekolojiya. №3, 2019. S.77-78.
6. Osadcha N.M., Ukhan O.O., Chekhniy V.M., Holubtsov O.H. Otsinka emisiyi bioghennykh elementiv ta orhanichnykh rehovyn u poverkhnevi vody baseynu r. Siverskyy Donets vid dyfuznykh dzherel [Estimation of emission of nutrients and organic substances in surface waters of the Seversky Donets basin]

from diffuse sources] Problemy hidrolohiyi, hidrokhimiyi, hidroekolohiyi. Monohrafiya. K.: Nika-tsent, 2019. 329 s.

7. Tekhnichnyy zvit EUWI+EA-14 «Rozroblennya planu upravlinnya baseynu Dnipra v mezhakh Ukrainy: faza 1, krok 2 - Analiz antropohennoho navantazhennya ta yoho vplyvu, otsinka ryzyku, ekolohichni tsili dlya masyviv poverkhnevyykh vod» [Development of the Dnipro Basin Management Plan within Ukraine: Phase 1, Step 2 - Analysis of Anthropogenic Load and Its Impact, Risk Assessment, Environmental Objectives for Surface Water Bodies]. Berezen 2020. 132 s. <https://www.euwipluseast.eu/ru/component/k2/item/980-ukraine-dnipro-rbmp-report-risk-surface-water-ukr?fromsearch=1>

8. Behrendt H. and Opitz D. Retention of nutrients in river systems: Dependence on specific runoff and hydraulic load. Hydrobiologia 410, 2000. P.111–122

9. Behrendt H., Huber P., Kornmilch M., Opitz D., Schmoll O., Scholz G. and Uebe R. Nutrient emissions into river basins of Germany. UBA-Texte 23/00, 2000. 266 P.

10. Directive 91/271/EEC concerning urban waste water treatment.

11. Pöthig, R., Behrendt, H., Opitz, D., Furrer, G. A universal method to assess the potential of phosphorus loss from soil to aquatic ecosystems. Environmental Science and Pollution Research 17(2), 2010 P.497-504.

Оценка антропогенной нагрузки биогенными элементами и органическими веществами в бассейне р. Тетерев

Ухань О.А., Осадчая Н.Н.

Увеличение органических веществ и биогенных элементов (соединений азота и фосфора) в поверхностных водах приводит к значительному ухудшению ее качества. В данной работе представлены основные пути поступления биогенных элементов и органических веществ в р. Тетерев.

Показано, что среди точечных источников наибольшее загрязнение биогенными элементами и органическими веществами вызвано влиянием городского населения. Диффузное загрязнение реки органическими соединениями происходит за счет домохозяйств преимущественно сельского населения, неподключенных к канализационным сетям. Проведенные расчеты показывают, что для биогенных элементов основные эмиссионные потоки поступают за счет пашенных земель.

Ключевые слова: биогенные элементы; органические вещества; точечные и диффузные источники.

Assessment of anthropogenic impact on the Teteriv river by nutrients and organic substances

Ukhan O.O., Osadcha N.N.

Human economic activities carried out within river basins often lead to the deterioration of the general condition of water bodies.

The main danger of excessive amounts of organic substances is the consumption of oxygen dissolved in water for their oxidation. As a result, conditions of oxygen deficiency occur in polluted waters until hypoxia processes. It leads to significant disruptions of biological groups, including the death of certain species. The entry of nutrients into surface water is the driving force of eutrophication. As a result, it leads to increasing in primary production and accumulation of organic substances in the water object. Phosphorus and nitrogen compounds play a dominant role among nutrients.

According to the nature of the inflow of substances, point sources and diffuse sources are distinguished. The first one includes stationary water discharges. The second are represented by runoff from rural settlements and runoff from agricultural lands and built-up areas.

The main ways of supply of biogenic elements and organic substances to the Teteriv basin are presented in the article.

As point sources, the loads from communal services and industrial enterprises were determined separately. According to the reporting data of 2-TP Vodhosp, there are 13 industrial enterprises and 22 communal enterprises, the wastewater of which enters the Teteriv River.

To analyze the diffuse inflow of nutrients the main ways of their inflow were used- from precipitation, water runoff from different types of cover (arable land, forests, meadows and pastures, settlements, rock outcrops, water surface), from the rural population.

The Teteriv river is a right tributary of the Dnipro and the main source of water intake and drainage of municipal and industrial wastewater in Ukrainian Polissya. Zhytomyr city agglomeration with a total population of 587.2 thousand pers. with cities of regional significance Zhytomyr and Berdychiv are within the basin of the Teteriv. Reservoirs built in the basin create the necessary water reserves for the needs of the population and other facilities.

It has been shown that among the point sources the main pollution is caused by the urban population. Significant pollution of the Teteriv River with organic substances and nutrients is caused by KP Zhytomyrvodokanal and Banknote Paper Factory (Malyn city).

It is revealed that the main source of organic compounds is the households mostly of the rural population, which are not equipped with sewage. For nitrogen and phosphorus, the main source of emissions is an arable land.

Keywords: nutrients; organic substances; point and diffuse sources.

Надійшла до редколегії 20.01.2021

ГЕОГРАФІЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ГЛОБАЛЬНОГО ГІДРОЛОГІЧНОГО ЦИКЛУ

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.7>

УДК 044.7:551.58:57.04:913(4)

Дідух Я.П., Винокуров Д.С.

Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, м. Київ

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІ ЗМІНИ БІОКЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ У ЄВРОПІ

На основі даних Worldclim 2.0 та Climatic Research Unit проведени розрахунки біокліматичних гідротермічних показників, що визначають розвиток та поширення біоти і використовуються для методики синфітоіндикації: терморежиму (ФАР, період вегетації), кріорежиму (середні температури січня), континентальності (індекс Горчинського), омброрежиму (індекс Де Мартона). Створено відповідні карти, що відображають 30-річні часові проміжки (1901-1929, 1930-1959, 1960-1989 та 1990-2019 рр.) та регіональні зміни у межах Європи. Водночас фіксується досить суттєва їх зміна на рубежі XX-XXI ст. (1990-2019 рр.), що пов'язано із потеплінням клімату. Встановлено векторну різноспрямованість (характер, градієнт та величину) часових та регіональних змін, кореляційні зв'язки між ними та біокліматичними параметрами, що слугує підставою для віднесення України до чотирьох типів біоклімату (субгумідного субокеанічного – лісова та лісостепова зони; субаридного субконтинентального – степова зона; гірського – Карпати, та гірсько-субсередземноморського – Гірський Крим), кожен із яких характеризується якісними відмінами, тому при розробці відповідних прогнозів розвитку та змін біоти і екосистем необхідно враховувати ці особливості.

Ключові слова: біоклімат, карти, терморежим, континентальність, омброрежим, кріорежим.

Вступ. У процесі історичного розвитку та інтеграції кліматології з еколого-біотичними дисциплінами сформувалася біокліматологія, яка вивчає вплив клімату на живі організми [12, 13, 24, 28, 29, 31]. Разом з тим, існує і зворотний вплив, коли рослинний покрив є потужним фактором, що змінює клімат. При цьому давно відомо, що біота є чутливим мірилом кліматичних змін, що зумовлює її високу індикаційну роль. Це проявляється у формуванні низки наукових напрямків та окремих дисциплін (фенологія, дендроіндикація, ареалогія, агрокліматологія тощо). Однією із характерних ознак реакції біоти на кліматичні умови є території поширення видів, що відображається на будові їх ареалів. Спочатку це знайшло відбиток у словесній класифікації останніх (арктичні, альпійські, бореальні, неморальні, аридні і т.д.), пізніше – у класифікації за допомогою формул [18, 19, 22, 6], а потім було запроваджено числові (бальні) показники [21, 11, 34, 5, 1, 2, 10]. На відміну від словесно-знакових моделей, що являють собою шкали найменувань, останні є шкалами порядків та відношень, з якими можна виконувати низку математичних операцій порівняльного та прогнозного характеру. Власне, на цьому ґрунтується розроблена нами методика синфітоіндикації, яку ми використовуємо для оцінки кліматичних змін та їх впливу на рослинність [1].

Не вдаючись у суть цієї методики, що виходить за межі цієї публікації, її точність та результативність вимагає удосконалення, переведу кліматичних показників, які використовують кліматологи, у показники, які використовуються у біокліматології. Зокрема, для фітоіндикаційної оцінки клімату ми використовуємо чотири характеристики: терморежим (Тм) (ФАР, що визначає власне вегетаційні процеси та тривалість онтогенетичних стадій); кріорежим (Cr) - зимові температури, що визначають період спокою у позатропічних зонах та тривалість вегетації; континентальність клімату (Kn) та омброрежим (Om), що, як і попередні показники, визначають поширення видів та закономірності їх розподілу [1, 2].

На основі методики синфітоіндикації нами встановлені важливі закономірності щодо залежності між зміною клімату та рослинними угрупованнями та розробляються прогнози можливих змін біорізноманіття. Такі дослідження щодо оцінки зміни кліматичних показників у часовому аспекті для Європи і є предметом даної статті, що слугуватиме основою прогнозування можливих змін екосистем.

I ISSN:2306-5680 **Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2021. № 1 (59)**

Мета роботи полягала в оцінці часових та регіональних змін кліматичних параметрів, які визначають розвиток та поширення організмів та угруповань і є вихідними позиціями для розробки прогнозів та сценаріїв можливих змін біоти.

Методика. На основі баз глобальних кліматичних даних високої роздільної здатності Worldclim 2.0 [14] та Climatic Research Unit [16] було сформовано гіс-шари для основних кліматичних показників території Європи. За допомогою мови програмування R [27] та використання бібліотек raster [17], tidyverse [33], rgdal [7], ncdf4 [25] було проведено відповідні розрахунки показників

- терморежиму (ФАР),
- кріорежиму (середньосічневих температур),
- континентальності (індекс Горчинського: $K = (1.7 * A / \sin(lat \varphi)) - 20.4$, де A – різниця середніх температур липня та січня, $lat \varphi$ – значення широти),
- омброрежиму (індекс Де Мартонне: $I = P/(T+10)$, де P – річна сума опадів, T – середньорічна температура, $^{\circ}C$).

На їх основі із застосуванням програмного забезпечення QGIS 3.14.16 [26] створено растрові карти із відповідним масштабом ізоліній для території Європи, що відображають 30-річні часові проміжки (1901-1929 pp., 1930-1959 pp., 1960-1989 pp., 1990-2019 pp.). Для побудови графіків використано бібліотеку ggplot2 [32].

Враховуючи складний характер розподілу ізохор, для визначення змін кліматичних показників протягом останніх 120 років, нами обрано два напрямки північної широти (52° та 47°), які пересікають Україну у північній (лісовій) та південній (степовій) зоні з різним кліматом, а також два напрямки східної довготи (33° та 65°), що характеризують субаридний та аридний клімати.

Результати досліджень. Термічність клімату (T_m) ґрунтується на показниках середньорічних температур та ФАР, між якими нами була встановлена тісна прямолінійна кореляційна залежність.

$Y = 135,6x + 729,65$, де Y – середньорічна температура, $^{\circ}C$, x – ФАР, $МДж/м^2$.

Ці показники корелюють з тривалістю вегетаційного періоду.

$Y = 10,04x + 79,58$ ($R^2 = 0,98$), де x – середньорічна температура, Y – кількість днів вегетації при $T > 10^{\circ}C$;

$Y = 0,0495x + 17,14$ ($R^2 = 0,65$), де x – ФАР, $МДж/м^2$, Y – кількість днів вегетації при $T > 0^{\circ}C$.

Побудовані нами карти ізотерм середньорічних температур (рис. 1), що корелюють з тривалістю вегетації, близькі до широтної зональності, хоча орографічні особливості гір суттєво впливають на цей розподіл. Зміна показників за 30-літні періоди (1901-1929; 1930-1959; 1960-1989; 1990-2019) свідчить про певні часові відхилення показників. Для такої кількісної оцінки цих відхилень нами проаналізовані показники по 52° пн.ш., що визначає північні кордони України і характеризується вологим континентальним (холодним) з теплим літом кліматом – Dfb, та по 47° пн.ш., яка пересікає південну частину степової зони України і характеризується вологим континентальним (холодним) зі спекотним літом кліматом – Dfa [20, 8]. Поняття «вологий» та «континентальний» досить відносне і у першому випадку, на наш погляд, мова йде про субгумідний, вологий, обумовлений впливом західного циклона, а у другому – субаридний сухий, обумовлений впливом східного сибірського антициклона, клімати, що розмежовуються по «осі Воєйкова» [8].

Аналіз зміни показників середньорічних температур у межах Європи на широті 47° по відношенню до 1900-1929 р. свідчить, що за 1930-1959 р. вона майже не змінювалася (1%), з 1960 по 1989 р. зросла на 4,6%, а з 1990 по 2019 pp. це зростання було досить суттєвим (17%), що становить $0,9^{\circ}C$ (рис. 2). Відповідно середньорічні показники ФАР зростають від 1821 ± 417 , 1836 ± 412 , 1869 ± 414 до 2009 ± 411 $МДж/м^2$, тобто на 187,6, або 12%, а кількість днів вегетації при $T > 10^{\circ}C$ – від $160,4 \pm 31$ до $174,3 \pm 30$, тобто збільшилася на 14 днів.

На широті 52° хоча і спостерігається аналогічне підвищення середньорічної температури, однак воно дещо вище $1,3^{\circ}C$ і становить 26,8% (рис. 2). Це відповідає річному

підвищенню ФАР від 1635 ± 303 до 1814 ± 273 , тобто на $178,4 \text{ МДж/м}^2$ (11,7%), а збільшення тривалості активної вегетації з $146,7 \pm 22$ до 160 ± 20 , тобто на 13 діб.

У субконтинентальному кліматі по східній довготі 33° до 1989 р. таке підвищення становило 1%, а з 1990 по 2019 рр. різко зросло (рис. 2). Згідно з рис. 1 можна зробити висновок, чим вищі широти і більш континентальний клімат, тим різкіші зміни середньорічних температур, а відповідно ФАР і періоду активної вегетації.

На північному сході України ізотерма середньорічної температури за 120 років змістилася від 6°C до $7,5^\circ\text{C}$, що означає подовження періоду активної вегетації від 140 до 155 днів, а на півдні (степовий Крим) від 11 до 12°C , а період вегетації подовжився від 190 до 200 днів. При цьому зафіксовано підвищення середньорічних температур на високогір'ї Карпат від $+4$ до $+5^\circ\text{C}$, а від півночі Молдови до Поділля спостерігається зона з підвищеною середньорічною температурою (так зване «тепле Поділля»), де середньорічна температура піднімається від $8-9$ до $9-10^\circ\text{C}$, що сприяє збільшенню періоду активної вегетації рослин на два тижні.

Кріорежим (Cr) – один із найбільш значущих лімітувальних факторів, які визначають поширення видів, онтогенетичний цикл їх розвитку, особливості фенології, а відтак – територіальний розподіл та часові зміни природних екосистем. Показники кріорежиму корелюють з такими терморежиму, тому у методичному відношенні їх оцінка є одним із способів перевірки достовірності отриманих результатів.

$Y = 1,059 x - 11,132$ ($R^2 = 0,97$), де x – значення терморежиму (середньорічна, $^\circ\text{C}$), Y – значення кріорежиму (середні температури найхолоднішого місяця, $^\circ\text{C}$).

На основі даних Climatic Research Unit [16] нами було побудовано карти кріорежиму, які відображають зміни показників за 30-річні проміжки 120-річного періоду та проведена оцінка їх часових змін. Хоча показники кріорежиму корелюють з такими терморежиму, однак характер розташування ізохор є дещо іншим і у більшості випадків на рівнині має меридіональний характер, але залежить і від довготи (рис. 3).

$Y = -0,53 x_1 + 23,415$ ($R^2 = 0,83$); $Y = -0,205 x_2 + 2,06$ ($R^2 = 0,80$), де x_1 – координати пн.ш., x_2 – координати сх.д. Y – значення кріорежиму.

На відміну від показників терморежиму, де спостерігалось поступове збільшення температур, показники кріорежиму мали коливальний характер: з 1901 по 1929 рр. відбувалося їх зниження, з 1930– підвищення, а з 1990 р. це підвищення було досить суттєве. При цьому від гумідної зони Атлантики до аридної Уралу ці показники наростають (рис. 4).

На основі відповідних розрахунків була встановлена загальна залежність між Cr (x) та показниками ФАР (Y_{Far}), а також кількістю днів інтенсивної вегетації (Y_{veg})

$$Y_{Far} = 123,75 x + 2135,2. (R^2 = 0,97); Y_{veg} = 9,166x + 183,7 (R^2 = 0,97).$$

Показники ФАР у середньому підвищилися на $187,6 \pm 27 \text{ МДж/м}^2$, тобто цей показник дещо вищий за розрахунки терморежиму ($178,4 \pm 30 \text{ МДж/м}^2$), але ця різниця становить лише 5%, що є межах похибки. Відповідно період активної вегетації збільшується від 167 до 181, тобто на 14 днів.

Розрахунки показують, що на території України при підвищенні середньорічної температури на 1°C показники кріорежиму (середніх температур січня) на широті 47° у степовій аридній зоні підвищилися на $1,5^\circ\text{C}$, а на широті 52° у лісовій гумідній зоні на $1,8^\circ\text{C}$. Відповідно ФАР показників кріорежиму при підвищенні температур на $+1^\circ\text{C}$ зростає на $54-66 \text{ МДж/м}^2$ а кількість днів активної вегетації – на 4 -6 днів. При підвищенні середньорічних температур на $+1,5$, $+2$, $+2,5$ та $+3^\circ\text{C}$ ці показники відповідно зростають (рис. 5). При цьому величина зростання в північних широтах лісової зони вища, ніж у південних степової зони.

Показники термо- та кріорежиму лімітують поширення та розвиток видів. Перше сприяє розширюю в Україні на північ ареалу багатьох середземноморських видів, а друге – у зміні їх онтогенезу та фенологічних циклів, що прискорюють розвиток. Саме завдяки цьому в листяних лісах України клени мають більшу перевагу в розвитку, ніж граб, липа чи дуб, тому сьогодні спостерігається експансія кленів.

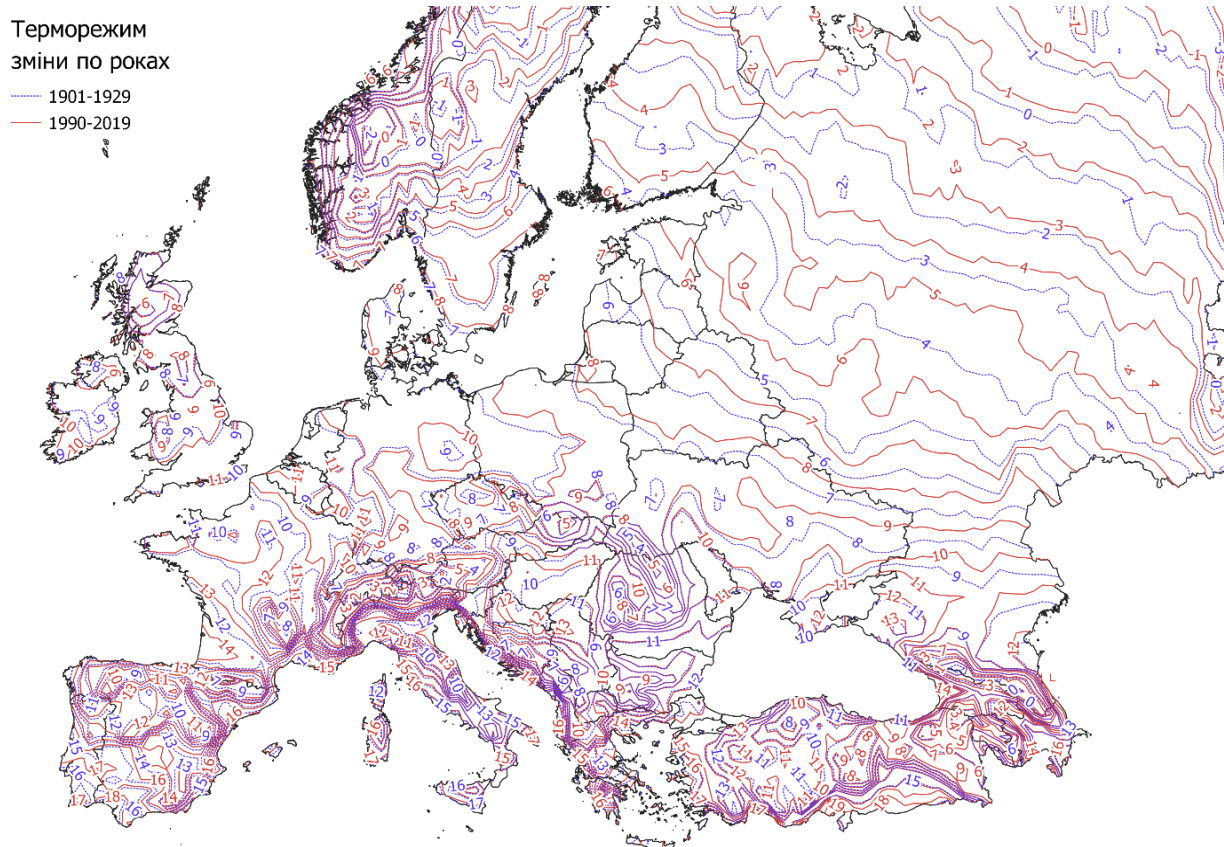


Рис. 1. Карта терморежиму Європи за 1900-1929 та 1990-2019 рр.

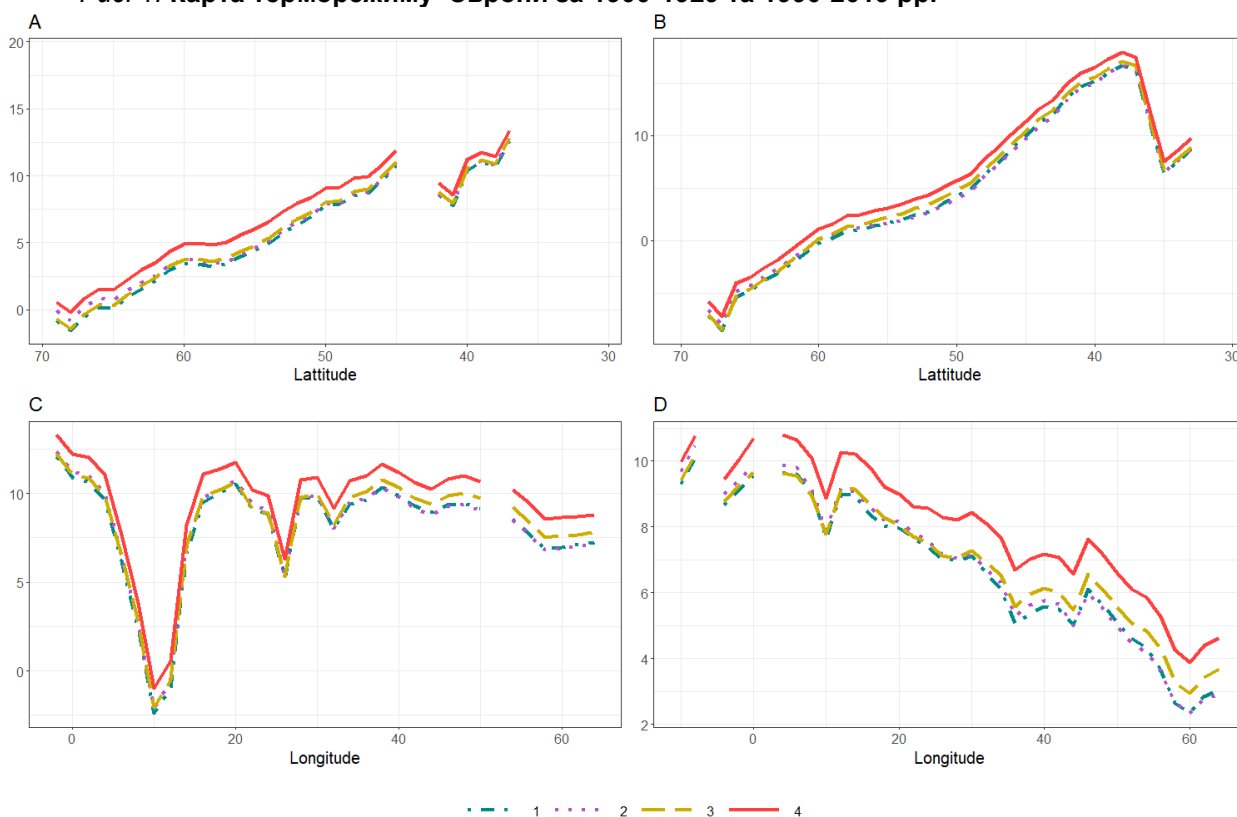


Рис. 2. Зміни показників терморежиму (по осі ординат) за 120-річний період по сх.д. 33° (А), сх.д. 65° (В), пн.ш. 47° (С), пн.ш. 52°(D). Позначення: 1-4 – часові проміжки: 1 – 1901-1929, 2 – 1930-1959, 3 – 1960-1989, 4 – 1990-2019 рр.

Кріорежим
зміни по роках
— 1901-1929
— 1990-2019

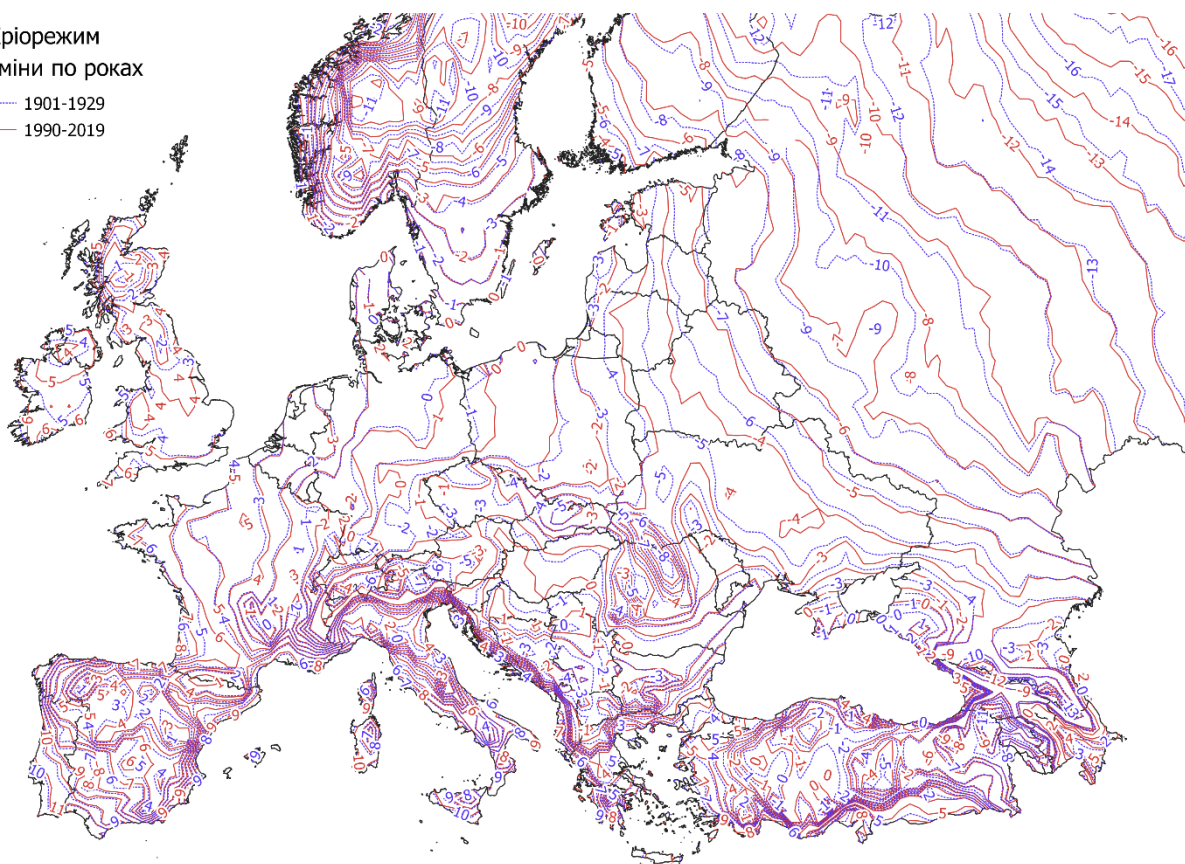


Рис. 3. Карта кріорежиму Європи за 1900-1929 та 1990-2019 рр.

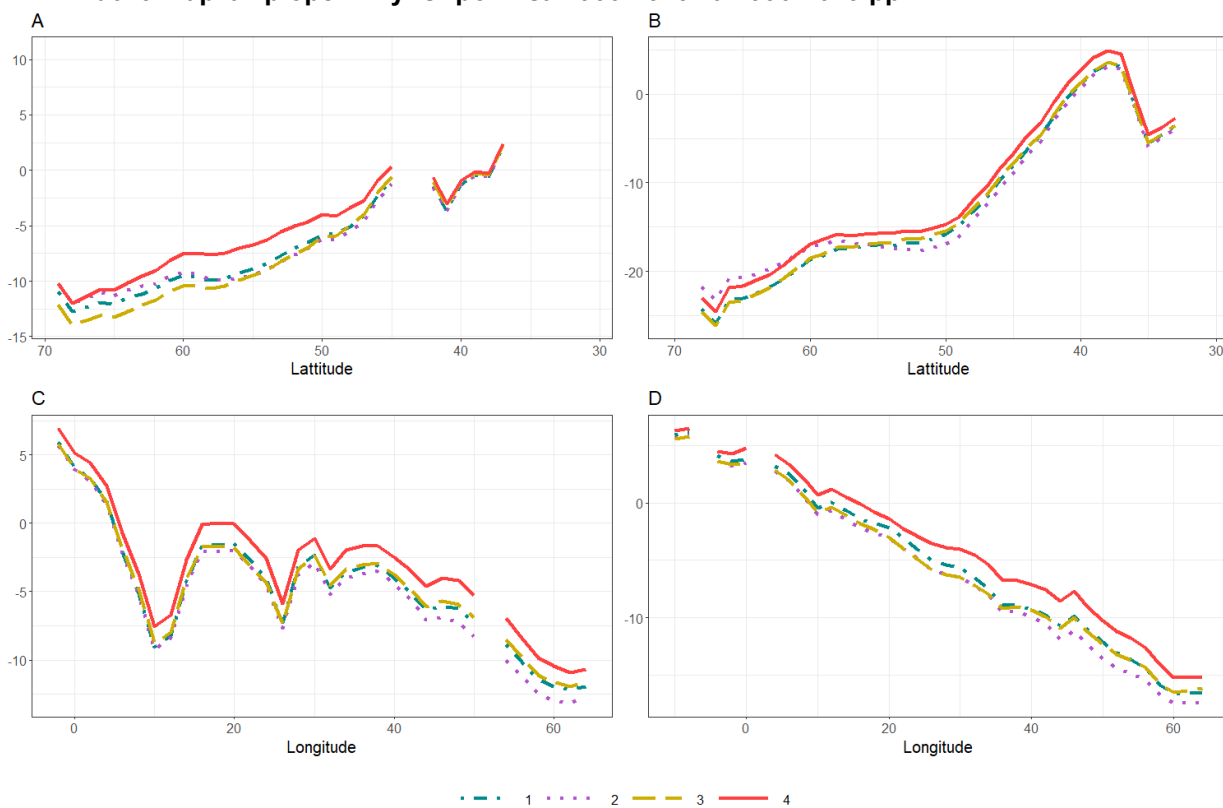


Рис. 4. Зміни показників кріорежиму (по осі ординат) за 120-річний період по сх.д. 33° (А), сх.д. 65° (В), пн.ш. 47° (С), пн.ш. 52°(D). Позначення: 1-4 – часові проміжки: 1 – 1901-1929, 2 – 1930-1959, 3 – 1960-1989, 4 – 1990-2019 рр.

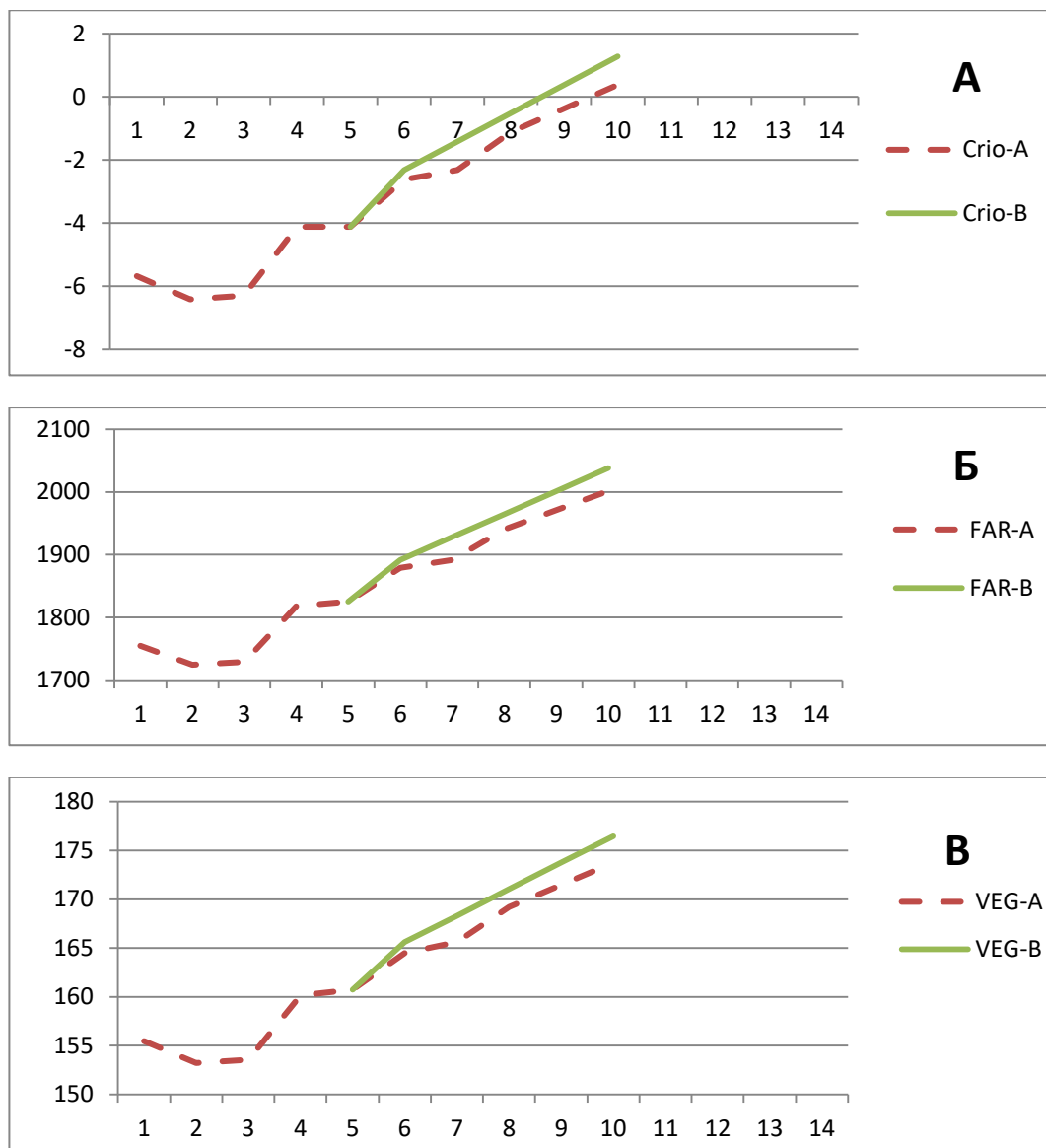


Рис. 5. Зміна біокліматичних показників з 1901 по 2019 р. та сценарії можливих їх змін при підвищенні середньорічних температур від +1 до +3°C. А. Температурні показники кріоклімату (Crio-A – аридний, Crio-B – гумідний клімат); Б- Показники ФАР (МДж/м²) (FAR-A – гумідний, FAR-B – аридний клімат); В - Показники активної вегетації (дні) (VEG-A – аридний, VEG-B –гумідний клімат). Цифрові значення по осі абсцис: 1 – 1901-1929 рр.; 2 – 1930-1959 рр.; 3 – 1960-1989 рр.; 4 – 1990-2019 рр.; 5 – сучасний стан; 6 – підвищення T на +1°C; 7 – +1,5°C; 8 – +2°C; 9 – +2,5°C; 10 – +3°C.

На відміну від згаданих показників, що визначають загальні зональні зміни рослинності, особливості континентальності та омброрежиму впливають на розподіл угруповань на ландшафтному рівні. При цьому їх зміна для одних типів біотопів сприяє розширенню позицій, а для інших – скороченню, в результаті чого відбувається зональне заміщення одних іншими (ліси-степи-пустелі). Натомість для азональних типів біотопів (водна рослинність, евтрофні болота, луки) ці фактори не є лімітуючими.

Якщо терморежим та кріорежим мають прямі одиниці виміру, то для оцінки континентальності та омброрежиму використовують десятки різних методів та коефіцієнтів. Ми не ставили завдання у цій статті оцінити їх ефективність чи робити порівняння, а відобразити територіальні та часові зміни на основі найчастіше вживаних для континентальності – індексу коефіцієнта Горчинського [15].

$K = 1,6A / \sin \varphi$, де A - різниця середньомісячних температур липня (T_6) та січня (T_1), φ - пн. ш., градуси.

Континентальність (K_n) – це така властивість клімату, яка визначається впливом великих площ суші та океану на атмосферні та кліматоутворювальні процеси. Пояснюється це тим, що при нагріванні води на 1°C потрібно 4190 Дж, які поглинаються від прямого сонячного опромінення, у той час, як суша має у 5-6 разів нижчу теплоємність і значна кількість тепла відбивається [30].

Як видно із побудованих карт, ізохори континентальності хоча і мають меридіональний напрямок, однак по відношенню до кріорежиму він змінюється з північного сходу на південний захід, тобто на 90° (рис. 6). Континентальність клімату (Y) у цілому залежить від довготи (x), але в різні часові періоди ця залежність дещо відрізнялася. Для показників 1900-1930 р. $Y = 0,915x + 6,8$ ($R^2 = 0,99$), для 1990-2019 р. $Y = 0,848x + 7,59$ ($R^2 = 0,99$). При цьому на широті 52° переломною зміною показників є меридіан 46° сх.д., а на 47° пн.ш. меридіан – 48° сх.д. (рис. 7). Поблизу морських басейнів Атлантики, Північного океану, Середземного і навіть Чорного та Каспійського морів обриси ізохор змінюють напрямок, що свідчить про значний вплив на континентальність морських басейнів.

Як видно з графіку (рис. 7-С) по широті 47° показники континентальності коливаються, з 1900 по 1930 рр. зростають, а пізніше знижуються. При цьому суттєве зниження спостерігаються на схід від 45° сх. д., а на широті 52° на схід від 30° сх. д. В умовах континентального клімату по довготі 65° у межах південніших широт 40 - 55° показники континентальності з 1930 по 1959 рр. зростали, а в північніших (55 - 70°) знижувалися. З 1960 по 1989 р. фіксувалися зворотні зміни, а з 1989 р. дотепер континентальність знижується по всіх широтах, хоча рівня 1930-1959 рр. на широті 60 - 70° вона не досягає (рис. 7).

Омброрежим є ключовою характеристикою клімату, які відображають гідротермічні умови, що залежить від температури, кількості опадів, вологості повітря, їх випаровуваності, накопичення у ґрунті [3] і визначають диференціацію рослинних угруповань та біотопів [1, 2]. Побудовані на основі розрахунку коефіцієнтів Де Мартонне [9] $I_{dm} = O/T + 10$, де O – середньорічна кількість опадів, мм; T – середньорічна температура, $^\circ\text{C}$. Ізохори омброрежиму мають складні обриси, і найвищий градієнт змін спостерігається в гірських регіонах, проте і тут спостерігаються певні закономірності (рис. 8). Виходячи з того, що річна кількість опадів за 120-літній період характеризується циклічністю і суттєвих трендів змін не має, то в цілому показники омброрежиму мають коливальний характер, хоча спостерігається його незначне зниження. З 1900 по 1960 р. ці показники підвищувалися лише на I_{dm} 2-3, до 90-х знижувалися на таку ж величину, а пізніше знову спостерігається незначне підвищення (рис.9). При цьому розраховано залежність цих змін від сх. довготи та пн. широти:

На широті 47° за 1900 р. $Y = -0,5157x + 39,76$ ($R^2 = 0,85$), за 2000 р. $Y = -0,48x + 38,18$ ($R^2 = 0,86$), на широті 52° відповідно $Y = -0,439x + 47,66$ та $Y = -0,472x + 47,3$ ($R^2 = 0,93$), де x - східна довгота, Y – коефіцієнт омброрежиму (I_{dm}).

На довготі 33° за 1900-1929 рр. залежність між омброрежимом та пн.ш. описуються рівнянням $Y = 1,288x - 30,76$ ($R^2 = 0,79$), а за 2000 р. - $Y = 1,3x - 32,75$ ($R^2 = 0,88$), де x – показники пн.ш., Y – коефіцієнт омброрежиму (I_{dm}). При цьому з 1900 по 1930 р. у межах пн.ш. 35 - 47° спостерігається підвищення омброрежиму на I_{dm} 2, у межах пн.ш. 47 - 54° – зниження на I_{dm} 6, а у межах пн.ш. 54 - 62° – підвищення I_{dm} на 2-6, 62 - 65° – зниження, 65 - 69° - підвищення по відношенню відповідних середніх значень цих широт. У 1990-2019 рр. у межах широт 35 - 40° зафіксовано його незначне підвищення (I_{dm} 1), 40 - 51° пн.ш. – зниження до I_{dm} 3, широті 51 - 56° – підвищення на I_{dm} 1, а з 56 до 69° пн.ш. зниження до I_{dm} 3 (рис. 10). В умовах континентального клімату на довготі 65° показники омброрежиму фактично не змінювалися, лише на півночі на узбережжі Льодовитого океану зафіксовано значне їх коливання.

В Україні цей коефіцієнт змінюється від I_{dm} 20 на півдні степу до 35-37 у північно-східній частині, а в Карпатах досягає I_{dm} 60-70. При цьому слід відмітити ту ж специфіку «теплого Поділля», де спостерігається різке зниження I_{dm} до 25, що відповідає показникам степової зони.

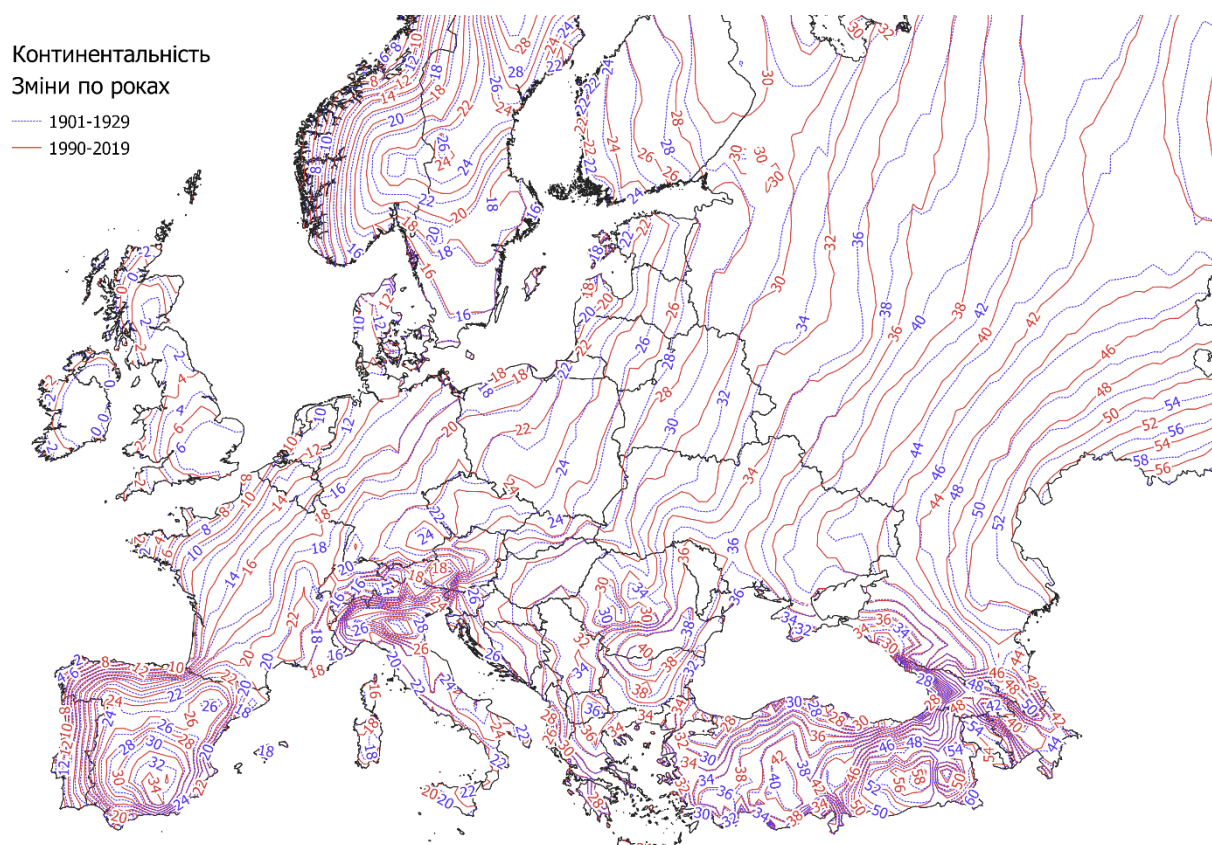


Рис. 6. Карта континентальності Європи за 1900-1929 та 1990-2019 рр.

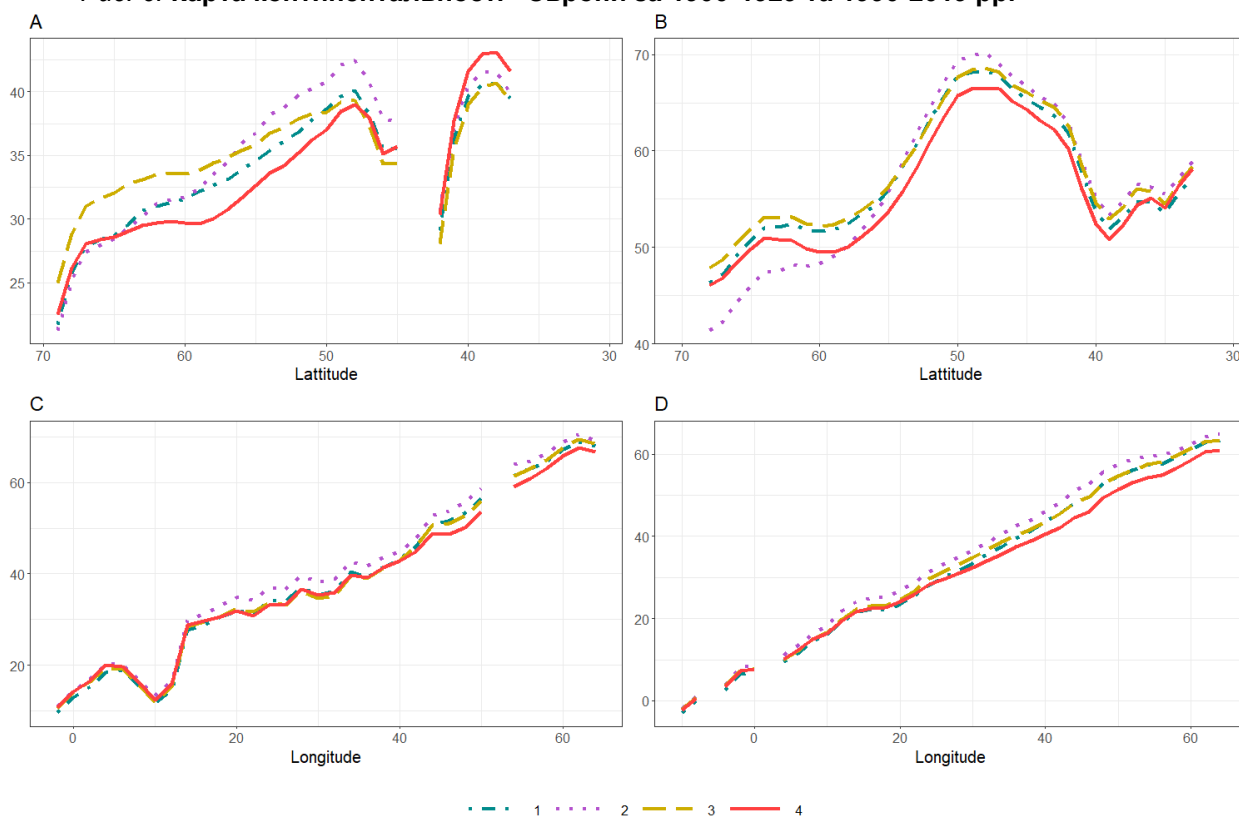


Рис. 7. Зміни показників континентальності клімату (по осі ординат) за 120-річний період по сх.д. 33° (А), сх.д. 65° (В), пн.ш. 47° (С), пн.ш. 52°(D). Позначення: 1-4 – часові проміжки: 1 – 1901-1929, 2 – 1930-1959, 3 – 1960-1989, 4 – 1990-2019 рр.

Омброрежим
зміни по роках
— 1990-2019
— 1901-1929

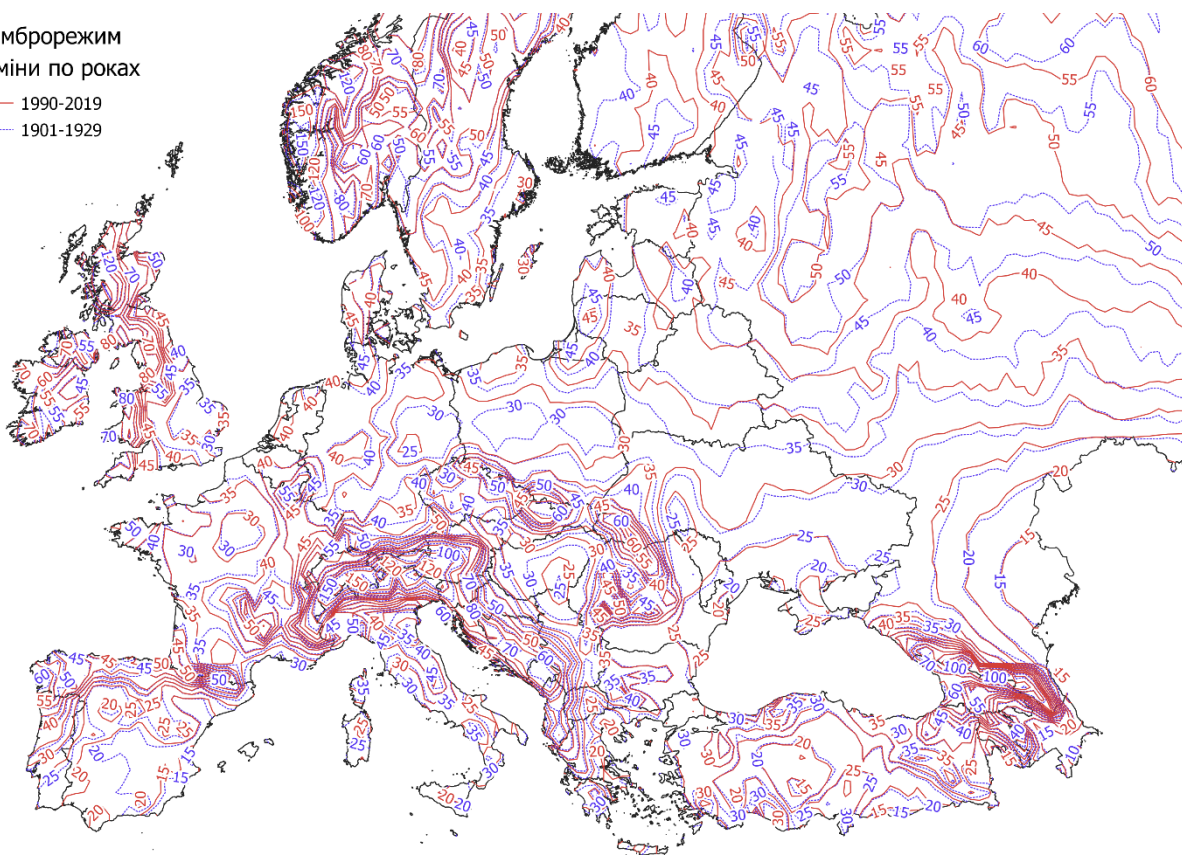


Рис. 8. Карта омброрежиму Європи за 1900-1929 та 1990-2019 рр.

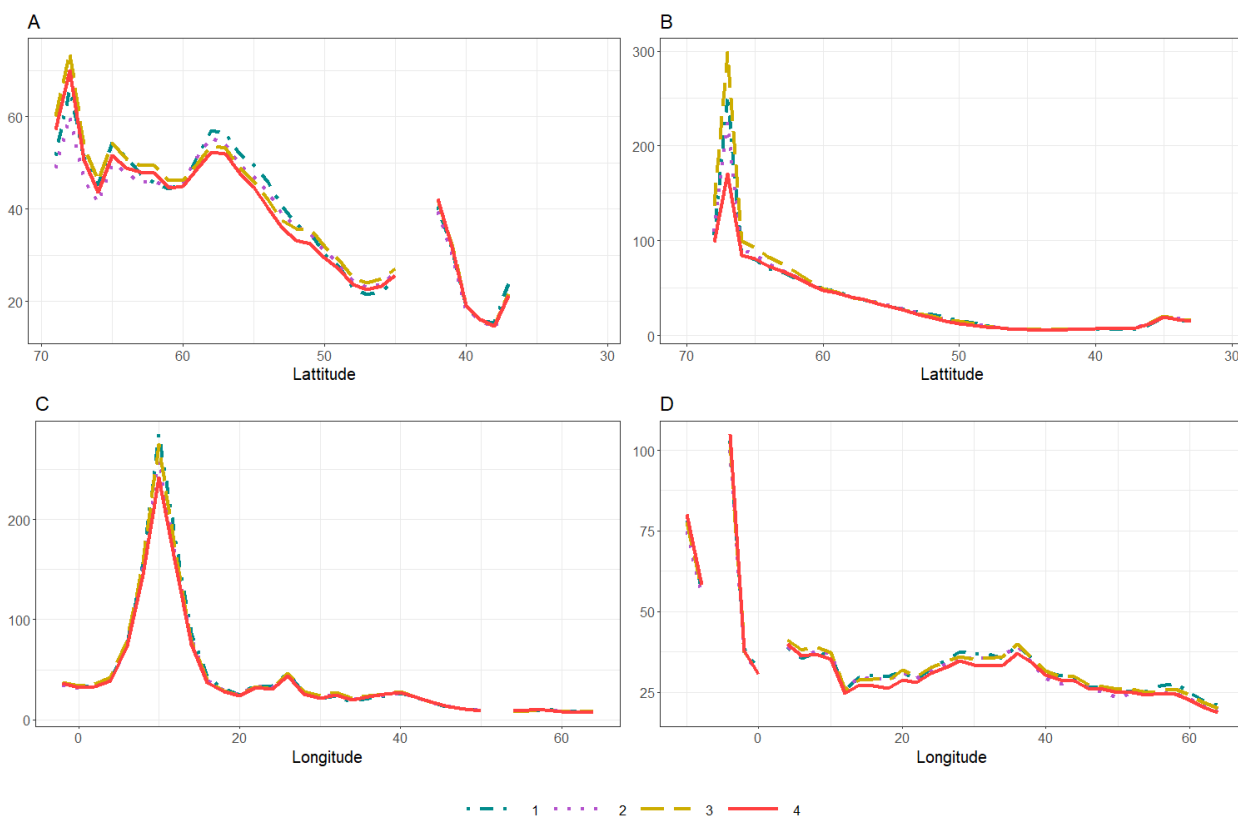


Рис. 9. Зміни показників омброрежиму (по осі ординат) за 120-річний період по сх.д. 33° (А), сх.д. 65° (В), пн.ш. 47° (С), пн.ш. 52°(D). Позначення: 1-4 – часові проміжки: 1 – 1901-1929, 2 – 1930-1959, 3 – 1960-1989, 4 – 1990-2019 рр.

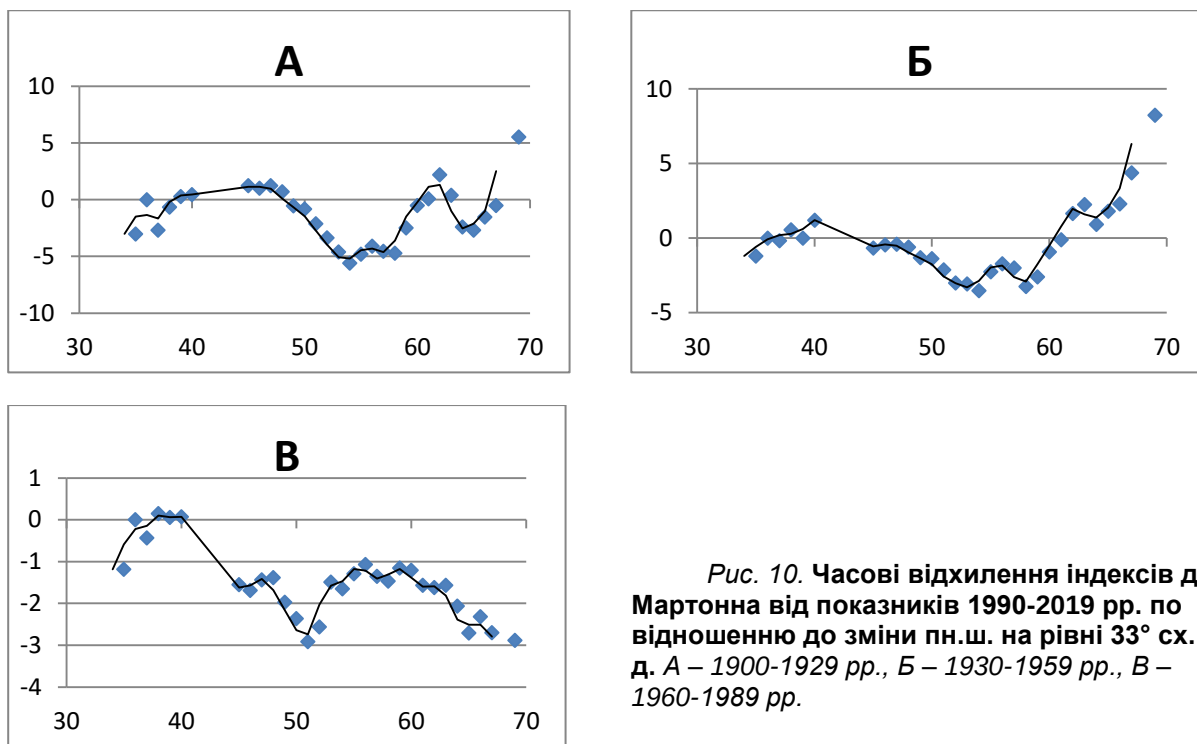


Рис. 10. Часові відхилення індексів де Мартонна від показників 1990-2019 рр. по відношенню до зміни пн.ш. на рівні 33° сх. д. А – 1900-1929 рр., Б – 1930-1959 рр., В – 1960-1989 рр.

Висновки. Побудовані карти ізохор та проведений аналіз показників чотирьох біокліматичних характеристик свідчить про їх векторну різноспрямованість (характер, градієнт та величину) часових та регіональних змін. Водночас фіксується досить суттєва їх зміна на рубежі XX-XXI ст. (1990-2019 рр.), що пов'язано із потеплінням клімату.

При цьому, за показниками та обрисами ізохор для України виділяється чотири типи біоклімату: на півночі у межах Лісової та Лісостепової зон – субгумідний субокеанічний, обумовлений впливом Атлантичного циклону; на півдні – у межах Степової зони – субаридний субконтинентальний, клімат якої зумовлений впливом Сибірського циклону, межі між якими визначаються «віссю Воейкова»; гірського (Карпати) та гірсько-субсередземноморського (Гірський Крим), показники яких визначаються висотними змінами. Така специфіка суттєво впливає на характер поширення видів рослин, їх розвиток, ґрунтоутвірні процеси, гідрорежим, що потребує розробки відповідних прогнозів розвитку та можливих змін екосистем з урахуванням цих регіональних особливостей.

Список літератури

1. Дідух Я.П. Основи біоіндикації: монографія. Київ: Наук. думка, 2012. 344 с.
2. Дідух Я.П., Плюта П.Г. Фітоіндикація екологічних факторів: монографія. Київ: Ін-т ботаніки НАН України, 1994. 280 с.
3. Константинов А.Р. Испарение в природе: монография. Ленинград: Гидрометеиздат, 1968. 532 с.
4. Раменский Л.Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. Москва: Сельхозгиз, 1938. 620 с.
5. Цыганов Д.Н. Фитоиндикация экологических факторов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. Москва: Наука, 1983. 198 с.
6. Юрцев Б.А. Флора Сунтар-Хаята. Проблемы истории высокогорных ландшафтов Северо-Востока Сибири. Ленинград: Изд-во «Наука», Ленпнгр. отд. 1968. С. 1-235.
7. Bivand R., Keitt T., Rowlingson B. rgdal: Bindings for the 'Geospatial' Data Abstraction Library. 2020 R package version 1.5-16. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=rgdal>
8. Coffin J. H., Coffin S. J., Voeikov A. I. The winds of the globe: or, The laws of atmospheric circulation over the surface of the earth. Smithsonian Institution, 1875.V.20.756 p.
9. de Martonne E. L'indice d'aridité. *Bull Ass Geogr Fr.* 1926, 9, P. 3-5.
10. Didukh Y. P. The ecological scales or the Species of Ukrainian Flora and Their Use in Synphytoindication. Kyiv: Phytosociocentre, 2011. 176 p.

11. *Ellenberg H., Weber H. E., Düll R., Wirth V., Werner W.* Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Ed.3. Scripta Geobot. 2001, 18, P. 1–262.
12. *Emberger L.* Project d'une classification biogéographique des climats. *An Biol.* 1954, 31, (5–6). P. 249–255.
13. *Emberger L.* Considérations complémentaires au sujet des recherches bioclimatologiques et phytogéographiques-écologiques. In: Travaux de botanique et d'écologie. 1971, Masson, Paris. P. 291–301.
14. *Fick S.E., Hijmans R.J.* World Clim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 2017, 37, P. 4302–4315.
15. *Gorczynski W.* Sur le calcul du degré de continentalisme et son application dans la climatologie. *Geografiska Annaler*, 1920, 2, P. 324–331.
16. *Harris I., Osborn T.J., Jones P., Lister D.* Version 4 of the CRU TS Monthly High-Resolution Gridded Multivariate Climate Dataset. *Scientific Data*, 2020, 7, 109.
17. *Hijmans R.J.* raster: Geographic Data Analysis and Modeling. R package version, 2020. 3.3–13.
18. *Jäger E.* Die pflanzengeographische Ozeanitätsgliederung der Holarktis und die Ozeanitätsbindung der Pflanzenareale. *Feddes Repert.* 1968, 79, P. 157–335.
19. *Jäger E. J.* Comments on the history and ecology of continental European plants. In: Valentine DH (ed): Taxonomy, phytogeography and evolution, London. 1972. 349–362.
20. *Köppen W.* Das Geographische System der Klimate. *Geogr. Zeitschrift*. 1936, 6, P. 593–611
21. *Landolt E.* Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. Veröff. Geobot. Inst. der Eidgen. Techn. Hochschule in Zürich, 1977. P. 208.
22. *Meusel H., Jäger E., Weinert E.* Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora. Bd.1 (Text und Karten). Jena: Fischer-Verlag, 1965. 583 + 250 S.
23. *Peel M. C., Finlayson B. L., McMahon T. A.* Hydrology and Earth System Sciences Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2007, 11, P.1633–1644
24. *Pesaresi S., Galdenzi D., Biondi E., Casavecchia S.* Bioclimate of Italy: application of the worldwide bioclimatic classification system. *Journal of Maps*, 2014, 10, 4, P. 538–553.
25. *Pierce D.* ncdf4: Interface to Unidata netCDF (Version 4 or Earlier) Format Data Files. 2019, R package version 1.17.
26. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. URL: <http://www.qgis.org>
27. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020. URL <https://www.R-project.org/>
28. *Rivas-Martinez S.* Worldwide Bioclimatic Classification System. Phytosociological Research Center. 2004. URL: www.globalbioclimatics.org
29. *Rivas Martínez S., Rivas Sáenz S., Penas Merino A.* Worldwide bioclimatic classification system. *Global geobotany*, 2011, 1, P. 1–634.
30. *Snow R.* Continental climate and continentality Encyclopedia of World Climatology: (eds.) Oliver J.E. Springer Netherlands, 2005, 303–305.
31. *Strat D.* The bioclimate and trend of growing season in the eastern danube delta area over 1951–2000 period. *Analele Universității din Oradea, seria Geografie*. 2014, 2, P. 108–116
32. *Wickham H.* ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York, 2016.
33. *Wickham H. et al.* Welcome to the tidyverse. *Journal of Open Source Software*, 2019, 4, 43, P.1686.
34. *Zarzycki K.* Ekologiczne liczby wskaźnikowe roślin naczyniowych. Kraków: PAN, 1984. P. 46.

References

1. *Didukh Ya.P.* Osnovy bioindykatsii: monografiia [Fundamentals of bioindication: monograph]. Kyiv: Nauk. dumka, 2012. 344 s.
2. *Didukh Ya.P., Pliuta P.H.* Fitoindykatsiia ekolohichnykh faktoriv: monografiia [Phytoindication of ecological factors: monograph]. Kyiv: In-t botaniky NAN Ukrainy, 1994. 280 s.
3. *Konstantinov A.R.* Isparenie v prirode: monografiya [Evaporation in nature: monograph]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1968. 532 s.
4. *Ramenski L. G.* Vvedenie v kompleksnoe pochvenno-geobotanicheskoe issledovanie zemel [Introduction to the integrated soil-geobotanical study of lands]. Moskva, Selkhozgiz, 1938. 620 s.
5. *Tsyganov D.N.* Fitoindikatsiya e`kologicheskikh faktorov v podzone khvojno-shirokolistvenny`kh lesov. Moskva: Nauka, 1983. 198 s.
6. *Yurtsev B. A.* Flora Suntar-Khaiata. Problemy istorii vysokogornykh landshaftov Severo-Vostoka Sibiri [Flora Suntar-Hayata. Problems of the history of alpine landscapes in the North-East of Siberia]. Izd.-vo "Nauka", Leningr. Otd. 1968. S. 1—235.
7. *Bivand R., Keitt T., Rowlingson B.* rgdal: Bindings for the 'Geospatial' Data Abstraction Library. 2020 R package version 1.5-16. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=rgdal>.

8. Coffin J. H., Coffin S. J., Voeikov A. I. The winds of the globe: or, The laws of atmospheric circulation over the surface of the earth. Smithsonian Institution, 1875. V.20. 756 p.
9. de Martonne E. L'indice d'aridité. *Bull Ass Geogr Fr.* 1926, 9, P. 3–5.
10. Didukh Y. P. The ecological scales or the Species of Ukrainian Flora and Their Use in Synphytoindication. Kyiv: Phytosociocentre, 2011. 176 p.
11. Ellenberg H., Weber H. E., Düll R., Wirth V., Werner W. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Ed.3. *Scripta Geobot.* 2001, 18, P. 1–262.
12. Emberger L. Project d'une classification biogéographique des climats. *An Biol.* 1954, 31, (5–6). P. 249–255.
13. Emberger L. Considérations complémentaires au sujet des recherches bioclimatologiques et phytogéographiques-écologiques. In: *Travaux de botanique et d'écologie.* 1971, Masson, Paris. P. 291–301.
14. Fick S.E., Hijmans R.J. World Clim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 2017, 37, P. 4302–4315.
15. Gorczynski W. Sur le calcul du degré de continentalisme et son application dans la climatologie. *Geografiska Annaler*, 1920, 2, P. 324–331.
16. Harris I., Osborn T.J., Jones P., Lister D. Version 4 of the CRU TS Monthly High-Resolution Gridded Multivariate Climate Dataset. *Scientific Data*, 2020, 7, 109.
17. Hijmans R.J. raster: Geographic Data Analysis and Modeling. R package version, 2020. 3.3-13.
18. Jäger E. Die pflanzengeographische Ozeanitätsgliederung der Holarktis und die Ozeanitätsbindung der Pflanzenareale. *Feddes Repert.* 1968, 79, P. 157–335.
19. Jäger E. J. Comments on the history and ecology of continental European plants. In: Valentine DH (ed): *Taxonomy, phytogeography and evolution*, London. 1972. 349–362.
20. Köppen W. Das Geographische System der Klimate. *Geogr. Zeitschrift.* 1936, 6, P. 593–611.
21. Landolt E. Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. Veröff. Geobot. Inst. der Eidgen. Techn. Hochschule in Zürich, 1977. P. 208.
22. Meusel H., Jäger E., Weinert E. Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora. Bd.1 (Text und Karten). Jena: Fischer-Verlag, 1965. 583 + 250 S.
23. Peel M. C., Finlayson B. L., McMahon T. A. Hydrology and Earth System Sciences Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2007, 11, P.1633–1644.
24. Pesaresi S., Galdenzi D., Biondi E., Casavecchia S. Bioclimate of Italy: application of the worldwide bioclimatic classification system. *Journal of Maps*, 2014, 10, 4, P. 538–553.
25. Pierce D. ncdf4: Interface to Unidata netCDF (Version 4 or Earlier) Format Data Files. 2019, R package version 1.17.
26. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. URL: <http://www.qgis.org>
27. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020. URL <https://www.R-project.org/>
28. Rivas-Martínez S. Worldwide Bioclimatic Classification System. Phytosociological Research Center. 2004. URL: www.globalbioclimatics.org
29. Rivas Martínez S., Rivas Sáenz S., Penas Merino A. Worldwide bioclimatic classification system. *Global geobotany*, 2011, 1, P. 1–634.
30. Snow R. Continental climate and continentality *Encyclopedia of World Climatology*: (eds.) Oliver J.E. Springer Netherlands, 2005, 303–305.
31. Strat D. The bioclimate and trend of growing season in the eastern danube delta area over 1951-2000 period. *Analele Universității din Oradea, seria Geografie.* 2014, 2, P. 108–116.
32. Wickham H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York, 2016.
33. Wickham H. et al. Welcome to the tidyverse. *Journal of Open Source Software*, 2019, 4, 43, P.1686.
34. Zarzycki K. Ekologiczne liczby wskaźnikowe roślin naczyniowych. Kraków: PAN, 1984. P. 46.

Пространственно-временные изменения биоклиматических факторов в Европе

Дидух Я.П., Винокуров Д.С.

На основе данных *Worldclim 2.0* и *Climatic Research Unit* проведены расчеты биоклиматических гидротермических показателей, определяющих развитие и распространение биоты, которые используются для методики синфитоиндикации: терморегима (ФАР, период вегетации), криорежима (средние температуры января), континентальности (индекс Горчинского), омброрежима (индекс де Мартона). Созданы соответствующие карты, отражающие 30-летние временные промежутки (1901-1929, 1930-1959, 1960-1989 и 1990-2019 гг) и региональные изменения в пределах Европы. Фиксируется довольно существенное их изменение на рубеже XX-XXI вв. (1990-2019 гг.), что связано с потеплением климата. Установлено векторную разнонаправленность (характер, градиент и величина) временных и региональных изменений, корреляционные связи между ними и биоклиматических параметров, что служит основанием для отнесения Украины к четырем типам биоклимата (субгумидного субокеанического – лесная и лесостепная зоны; субаридного субконтинентального – степная зона, горного – Карпаты и горно-субсредиземноморского – Горный Крым). Каждый из них характеризуется качественными различиями,

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2021. № 1 (59)

поэтому при разработке соответствующих прогнозов развития и изменений биоты и экосистем необходимо учитывать эти особенности.

Ключевые слова: биоклимат, карты, терморежим, континентальность, омбροрежим, криорежим.

Spatial-temporal changes of bioclimate factors in Europe

Didukh Ya.P., Vynokurov D.S.

Based on the data from Worldclim 2.0 and the Climatic Research Unit, calculations of bioclimatic hydrothermal indicators were carried out. It is pointed out that the following factors determine the development and distribution of biota, and are used for the synphytoindication method: thermoregime, cryoregime, continentality, ombroregime. Thermoregime is based on mean annual temperatures and FAR, which are highly correlated. They also are connected with the vegetative period. It was found that the higher the latitudes and the more continental climate, the sharper the changes in average annual temperatures, as well as accordingly the vegetation period is longer. Cryoregime is one of the most significant limiting factors that determine the distribution of species, their ontogenetic cycle, the peculiarities of their phenology etc. We used average January temperatures to calculate it. It has been suggested that the change in cryoclimate led to the expansion of maple. It has an advantage over hornbeam, linden and oak because its phenological features have changed. Continentality and ombroregime affect the distribution of communities at the landscape level. We used the Gorchinsky index to calculate the continentality and the de Martonne index to calculate the ombroregime. Their change for some types of habitats contributes to the expansion of their distribution, and for others – to their reduction. As a result, there is a zonal replacement of some types of habitats by others (forests-steppes-deserts). Instead, for azonal types of habitats (aquatic vegetation, eutrophic swamps, meadows), these factors are not limiting.

Corresponding maps have been created that reflect 30-year time intervals (1901-1929, 1930-1959, 1960-1989 and 1990-2019) and regional changes within Europe. A rather significant change is recorded at the turn of the XX-XXI centuries (1990-2019), which is associated with climate warming. Temporal and regional changes are multidirectional (in nature, gradient and magnitude). Correlations between them and bioclimatic parameters have been established. This serves as a basis for assigning Ukraine to four types of bioclimate (sub-humid suboceanic - forest and forest-steppe zones; subarid subcontinental - steppe zone, mountainous - Carpathians and mountain-sub-Mediterranean - Mountain Crimea). Each of them is characterized by qualitative differences. When developing appropriate forecasts for the development and changes of biota and ecosystems, it is necessary to take into account these features.

Keywords: bioclimate, maps, thermoregime, continentality, ombroregime, cryoregime.

Надійшла до редколегії 26.11.2020

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.8>

УДК 551.583

Заболоцька Т.М.¹, Шпиг В.М.¹, Ціла А.Ю.^{1,2}

¹Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, м. Київ

²Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ЦИРКУЛЯЦІЙНІ ПРОЦЕСИ ТА ХМАРНИЙ ПОКРИВ УПРОДОВЖ ПЕРІОДУ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ

Виконано дослідження взаємозв'язку між різними індексами циркуляції та кількісними змінами хмарного покриву упродовж періоду глобального потепління. Визначено осереднений за 73 роки (1946-2018) просторовий розподіл річних значень загальної та нижньої хмарності. Показано, що кількість хмар зменшується із заходу на схід та з півночі на південь. Для кліматичної оцінки змін хмарного покриву проаналізовано відхилення річних значень загальної та нижньої хмарності від історичної (1961-1990 рр.) та сучасної (1981-2010 рр.) норм. Показано, що більші зміни характерні нижній хмарності. Лінійні тренди вказують на зменшення річної кількості хмар нижнього ярусу майже на 90 % території, з них значуще на 70 %. Тренди щомісячних змін свідчать про зменшення нижньої хмарності упродовж всього року тільки на півночі, на решті території в окремі місяці фіксували збільшення, частіше у січні та вересні. Зміни кількості загальної хмарності були не виражені, майже порівну спостерігали незначуще як зменшення, так і збільшення. Показано, що на клімат Північної півкулі (і на Україну) впливають індекси циркуляції: NAO – Північно-Атлантичне коливання, AO – Арктична осциляція, EA – Східно-Атлантичне коливання, EA/WR – коливання Східна Атлантика-Західна Росія, SCAND – Скандинавське коливання, GBI – Гренландське коливання, EI-Niño – південне коливання. Надано характеристику кожному з них та взаємозв'язку між ними. Кількісну оцінку змін хмарного покриву упродовж 1961-2018 рр. визначено за змінами повторюваності різного стану неба (ясний, напів'ясний, похмурий) у послідовних десятиріччях та оцінено відносні зміни між ними. Паралельно проаналізовано вплив вище зазначених індексів циркуляцій у цей час. Отримано, що синхронність змін повторюваності різного стану неба за загальною та нижньою хмарністю узгоджується з відповідною мінливістю циркуляційних процесів.

Ключові слова: індекси циркуляції, стан неба за загальною та нижньою хмарністю, основні форми хмар, регіон, повторюваність.

I ISSN:2306-5680 Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2021. № 1 (59)

Вступ. Однією з причин сучасного глобального потепління (з 1976 р. і до теперішнього часу) вважають утворення парникового ефекту над підстильною поверхнею через збільшення концентрації газів внаслідок діяльності людини (викиди промисловості, транспорту тощо). Результати розрахунків за моделями атмосфери, океану та кріосфери проекту CMIPS підтверджують цю гіпотезу [7].

У багатьох дослідженнях висловлюють думку, що підвищення температури може зумовлювати і мінливий довготривалий вплив геофізичних чинників (підвищення сонячної активності, зміни швидкості обертання Землі навколо своєї осі та Сонця, інтенсифікація процесів у земній корі, наприклад, пришвидшений розмив органіки морського дна, що сприяє виділенню вуглекислого газу, та зміна механізмів циркуляційних процесів великого масштабу (більш часта поява квазіперіодичних теплих океанічних течій El-Niño – південне колювання; зміни в інтенсивності та траєкторії руху течій Гольфстрім, Лабрадорської та Ньюфаундленд; посилення зонального переносу через позитивну фазу індексу Північно-Атлантичного колювання тощо) [14, 16]. Варто зазначити, що швидке підвищення температури з початку 70-х років XX ст. супроводжувалося і похолоданням у північних районах Атлантики та Тихого океану, а також менш помітним потеплінням над океанами порівняно з континентами.

У [24] аналізували дані 485 кліматичних станцій за 1950-2005 рр. та додатково ще дані 6 станцій за 1906-2005 рр. у Північній Америці. Загальний висновок: а) кліматичні зміни відбувалися по різному в 6-ти вибраних регіонах за останнє півстоліття, б) регіони мають спільні риси змін, але немає жодного показника, який би був єдиним для всієї території. Подібні висновки щодо кліматичних змін у США отримали і в [28], коли аналізували мінливість температури в кожному із штатів з січня 1895 до грудня 2017 р. Аномалії температур збільшилися тільки у 38 із 48 штатів і були різними за останні 100 років.

У дослідженнях, проведених в Іспанії [29], визначали місячні тренди максимальної та мінімальної температури, використовуючи сітку $0,1^\circ \times 0,1^\circ$. Отримали, що середні значення цих температур зросли упродовж 1951-2010 рр. Максимум зріс пізньої зими/ранньої весни та літом, мінімум – літом, весною та восени. Проте **просторові зміни неоднозначні** і свідчать, що на процес потепління в Іспанії впливали як урбанізація, так і циркуляція.

Розробка сценаріїв майбутніх змін клімату складнішає через неможливість спрогнозувати подальший розвиток енергетики, промисловості, урахувати зміни сонячної активності на верхній межі атмосфери, виверження вулканів тощо. Щоб значуще встановити причини глобального потепління, необхідно досліджувати мінливість різних факторів як астрономічних, геофізичних, так і гідрометеорологічних. Особливо актуальні комплексні дослідження з урахуванням взаємодії різних процесів.

Мета та методика дослідження. *Метою даної роботи* є проаналізувати чи існує узгодженість між кількісними змінами хмарного покриття та мінливістю циркуляційних процесів у період глобального потепління. Хмари є одним із важливих елементів погоди. Впливаючи на обмін вологи у природі, радіаційний та тепловий режим Землі, хмарність відіграє роль кліматичного чинника, а її режим визначається взаємодією циркуляції атмосфери, радіаційного стану та підстильної поверхні. Головним фактором є циркуляція атмосфери, особливо в холодну пору року, в якій найбільше проявляється вплив потепління. **Методика дослідження** – це аналіз відносних змін повторюваності різного стану неба (ясний, напів'ясний, похмурий) за загальною та нижньою хмарністю між послідовними десятиріччями (1961-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010, 2011-2018 рр.) над територією України за даними спостережень на 30 метеорологічних станціях та характеристика змін впливу індексів циркуляції, що мають найбільший прояв у Північній півкулі упродовж 1961-2018 рр.

Результати дослідження. Україна має різні кліматичні умови: північний захід – район збільшеної вологості; посушливість характерна Причорномор'ю та півночі Криму; особливі кліматичні умови на південному березі Криму, в Карпатах та Кримських горах. Циркуляційні процеси на заході та сході різняться, тому що відбувається вплив як Середземного моря, Азорського антициклону, так і нерідко бувають вторгнення з півночі та сходу.

Просторовий розподіл річних значень загальної та нижньої хмарності в регіонах України, визначений за період 1946-2018 рр., приведений у табл. 1.

Більша кількість загальної та нижньої хмарності характерна західним регіонам, далі у східному напрямі, а також з півночі на південь кількість хмар поступово зменшується.

Для кліматичної оцінки метеорологічних показників використовують статистичні середні значення за вибраний період часу (норма). За рекомендацією ВМО такими нормами визначено два 30-річні періоди: історичний (1961-1990 рр.) та сучасний (1981-2010 рр.). Порівняння вказаних норм для річних значень загальної та нижньої хмарності за даними 30 станцій, практично рівномірно розміщених на території України, є такими: для **загальної хмарності** 10 станцій (33,3%) – однакові значення історичної та сучасної норми, 10 станцій (33,3%) – сучасна норма перевищує історичну в середньому на 0,17 бала; 10 станцій (33,4 %) – сучасна норма менше історичної на 0,19 бала; для **нижньої хмарності** 5 станцій (16,7 %) – однакові значення історичної та сучасної норми, 8 станцій (26,6 %) – сучасна норма перевищує історичну в середньому на 0,24 бала; 17 станцій (56,7 %) – сучасна норма менше історичної на 0,43 бала.

Таблиця 1. Розподіл річних значень загальної та нижньої хмарності (%) за період 1946-2018 рр. по різних регіонах України

Регіон	Загальна	Нижня
Північний захід	65-70	42-45
Захід	66-69	41-52
Північ	64-66	42-45
Схід	62-65	41-46
Центр	60-67	38-47
Південний захід	61-65	39-44
Південь	56-63	33-39
Південний схід	56-60	39-40

Зміни між історичною та сучасною нормою для загальної хмарності спостерігають на 2/3 станцій (20 станцій), на 1/3 (10 станцій) вони залишилися без змін. Збільшення чи зменшення значення норми майже однакові, відповідно 0,17 та 0,19 бала (1,7 та 1,9%).

Зміни між історичною та сучасною нормою для нижньої хмарності більш суттєві: незмінні значення фіксують на 5 станціях (вдвічі менше порівняно із загальною хмарністю). Кількість станцій, на яких сучасна норма була менше за історичну, вдвічі більша (відповідно 17 проти 8 станцій). Зменшення спостерігали на півночі, в центрі, південному заході в середньому на 4,3 %; збільшення – на північному заході та південному сході в середньому на 2,4 %.

Відображення обома нормами загального ряду показників хмарності (1946-2018 рр., 73 роки) було таким: для загальної хмарності історична та сучасна норма практично однаково відображають весь ряд спостережень. Відносно усього ряду в межах історичної норми 10 станцій фіксували зменшення в середньому на 1,1 %, 10 станцій – збільшення в середньому на 1,4 % і на 10 станціях зміни були відсутні. Щодо сучасної норми 10 станцій фіксували зменшення в середньому на 1,1 %, 9 станцій – збільшення в середньому на 1,3 % і 11 станцій – без змін.

Для нижньої хмарності в межах історичної норми 12 станцій фіксували зменшення в середньому на 2,3 %, 12 станцій – збільшення в середньому на 1,5 % і на 6 станціях зміни були відсутні. В межах сучасної норми вдвічі більше станцій відносно історичної норми (24 станції) фіксували зменшення в середньому на 2,9 %, збільшення на 3-х станціях в середньому на 1,7 % і на 3-х станціях – без змін. Таким чином, для нижньої хмарності історична норма є більш показовою для усього ряду спостережень.

Побудовані лінійні тренди відхилень показників річних значень нижньої хмарності від історичної та сучасної норм за період 1946-2018 рр. мають дещо різні значення вільних членів, проте однакові значення коефіцієнтів детермінації (табл. 2).

Наведені дані свідчать, що для кліматичної оцінки метеорологічних показників достатньо середньої величини, визначеної за 30 років у будь-який період часу. Дані таблиці показують, що майже на всій території України у другій половині XX та на початку XXI ст. (1946-2018 рр.) середня за рік кількість хмар нижнього ярусу зменшувалася: 20 станцій мають високий рівень достовірності ($R^2 > 0,15$), на 6 станціях теж зафіксовано зменшення,

проте незначуще, і тільки на 4 станціях має місце **незначуще** збільшення кількості хмар. Це – Ковель (північний захід), Херсон (південь), Маріуполь (південний схід) та Полтава (центр).

Зміни річних значень загальної хмарності не були виражені: майже порівну фіксували збільшення (47 %) та зменшення (53 %) загальної хмарності, причому ці зміни були **незначущими** у 80 % випадків. Відмінність між зміною загальної та нижньої хмарності свідчить про зростання повторюваності напів'ясного неба за рахунок хмар середнього та верхнього ярусів.

Таблиця 2. Рівняння та коефіцієнти детермінації R^2 відхилень річних показників нижньої хмарності від історичної (1961-1990 рр.) та сучасної (1981-2010 рр.) норм

Станція	1961-1990 рр.		1981-2010 рр.	
	рівняння	R^2	рівняння	R^2
Чернігів	$y = -0,0199x + 0,6785$	0,5377	$y = -0,0199x + 1,1565$	0,5377
Ковель	$y = 0,0079x + 0,2674$	0,0787	$y = 0,0079x - 0,3709$	0,0787
Луцьк	$y = -0,0054x + 0,5248$	0,0454	$y = -0,0054x + 0,5106$	0,0454
Рівне	$y = -0,0051x + 0,7464$	0,0259	$y = -0,0051x + 0,3322$	0,0259
Суми	$y = -0,0277x + 0,8789$	0,6624	$y = -0,0277x + 1,5403$	0,6624
Житомир	$y = -0,0232x + 0,7819$	0,6515	$y = -0,0232x + 1,2505$	0,6515
Київ	$y = -0,0141x + 0,4271$	0,3965	$y = -0,0141x + 0,7991$	0,3965
Львів	$y = -0,0071x + 0,4812$	0,113	$y = -0,0071x + 0,4009$	0,113
Хмельницький	$y = -0,0151x + 0,4943$	0,3971	$y = -0,0151x + 0,7974$	0,3972
Полтава	$y = 0,0025x - 0,0775$	0,0177	$y = 0,0025x - 0,0643$	0,0177
Харків	$y = -0,0005x + 0,1761$	0,0006	$y = -0,0005x - 0,0975$	0,0006
Тернопіль	$y = -0,0122x + 0,6776$	0,2356	$y = -0,0122x + 0,6712$	0,2356
Черкаси	$y = -0,0163x + 0,4672$	0,2718	$y = -0,0163x + 0,8308$	0,2718
Вінниця	$y = -0,0138x + 0,5147$	0,3744	$y = -0,0138x + 0,7897$	0,3744
Ів.-Франківськ	$y = -0,0021x + 0,229$	0,0102	$y = -0,0021x + 0,2081$	0,0102
Кропивницький	$y = -0,0087x + 0,3198$	0,2318	$y = -0,0087x + 0,4334$	0,2318
Дніпро	$y = -0,0078x + 0,4195$	0,1679	$y = -0,0078x + 0,4051$	0,1679
Кривий Ріг	$y = -0,0209x + 0,6348$	0,5796	$y = -0,0209x + 1,1276$	0,5796
Маріуполь	$y = 0,0065x - 0,2551$	0,0756	$y = 0,0065x - 0,5068$	0,0756
Ужгород	$y = -0,0105x + 0,2139$	0,2216	$y = -0,0105x + 0,6985$	0,2216
Чернівці	$y = -0,0251x + 1,0779$	0,4659	$y = -0,0251x + 1,5565$	0,4659
Одеса	$y = -0,0103x + 0,2964$	0,2289	$y = -0,0103x + 0,72$	0,2289
Запоріжжя	$y = -0,0167x + 0,4206$	0,3903	$y = -0,0167x + 0,9695$	0,3903
Миколаїв	$y = -0,018x + 0,5485$	0,5351	$y = -0,018x + 1,0323$	0,5351
Херсон	$y = 0,0054x - 0,1208$	0,067	$y = 0,0054x - 0,1941$	0,067
Любашівка	$y = -0,0147x + 0,3631$	0,3315	$y = -0,0147x + 0,9498$	0,3315
Семенівка	$y = -0,0127x + 0,5598$	0,2576	$y = -0,0127x + 0,5903$	0,2576
Луганськ	$y = -0,0208x + 0,3705$	0,4226	$y = -0,0208x + 1,1339$	0,4226
Донецьк	$y = -0,0151x + 0,6591$	0,3585	$y = -0,0151x + 0,7908$	0,3585
Сімферополь	$y = -0,0032x + 0,0778$	0,0455	$y = -0,0032x + 0,1606$	0,0455

Мінливість хмарності упродовж року (середні значення за місяць) також було визначено за лінійними трендами відхилень кожного із значень основного (загального) ряду від історичної норми, встановленої ВМО (нижня хмарність, табл. 3). Збільшення кількості хмар нижнього ярусу спостерігали у двох регіонах: північний захід (крім листопада) та південний схід (крім лютого, березня та грудня). Це збільшення було незначущим, крім червня на південному сході ($R^2=0,2062$). В інших регіонах переважало зменшення хмар: на півночі фіксували зменшення кожного місяця, значуще – у березні ($R^2=0,1841$), серпні

($R^2=0,2088$) та в цілому за рік ($R^2=0,3965$). На заході та в Закарпатті теж кожного місяця фіксували зменшення, крім січня: на заході зменшення – незначуще, а в Закарпатті значуще – у липні ($R^2=0,1941$), листопаді ($R^2=0,2253$) та в цілому за рік ($R^2=0,2216$). На сході, в центрі та на півдні теж переважали місяці зі зменшенням кількості хмар: на сході – незначуще, в центрі та на півдні – значуще у березні (відповідно $R^2=0,1691$ і $0,2259$) та за рік (відповідно $R^2=0,2318$ і $0,2289$).

Таблиця 3. Загальна характеристика щомісячних змін кількості нижньої хмарності упродовж 1946-2018 рр. та коефіцієнт детермінації R^2

Регіон	Загальна характеристика щомісячних змін	Коефіцієнт рівняння регресії / R^2 за рік	R^2 значущих щомісячних змін
Північний захід	Всі місяці збільшення, крім XI	0,079 / 0,0787	—
Захід	Всі місяці зменшення, крім I	-0,0071 / 0,113	—
Північ	Всі місяці зменшення	-0,0141 / 0,3965	III 0,1841, VIII 0,2088
Схід	Всі місяці зменшення, крім V, VI, IX	-0,0005 / 0,0006	—
Центр	Всі місяці зменшення, крім I, IX	-0,0087 / 0,2318	III 0,1691
Закарпаття	Всі місяці зменшення, крім I	-0,0105 / 0,2216	VII 0,1941, XI 0,2253
Південь	Всі місяці зменшення, крім VI, VII, IX	-0,0103 / 0,2289	III 0,2259
Південний схід	Всі місяці збільшення, крім II, III, XII	0,0065 / 0,0756	VI 0,2062

Загалом, для більшої частини території України (6 регіонів із 8) упродовж року кількість нижньої хмарності зменшувалася, але значуще за рік – у Закарпатті, на півночі, в центрі та на півдні.

Характеристика циркуляційних процесів та їх мінливість упродовж періоду глобального потепління у Північній півкулі. За класифікацією Вангенгейма [2] у всій товщі тропосфери та нижній стратосфері виділяють три форми циркуляції: **W** – західно-східний перенос, **C** – гребінь над західною Європою та західним Сибіром й улоговина над східною Європою і **E** – улоговина над західною Європою та західним Сибіром і гребінь над східною Європою. Це узагальнююча крупномасштабна характеристика, яка свідчить про існування зональної та меридіональної циркуляції або їх комбінацій. У [17] визначили, що упродовж XX ст. форми W та C зменшували свою повторюваність, а E – збільшувала, тобто циркуляційні процеси були мінливими та складними.

Для кількісної оцінки змін циркуляції атмосфери використовують індекси циркуляції, розраховані за даними приземного тиску [10] або геопотенціалу на поверхнях 1000, 700 чи 500 гПа для середніх місячних значень та середніх добових [11, 23]. Загалом, Атлантико-Європейський регіон (на північ від 30° пн.ш. та від Гренландії до р. Єнісей) характеризують такі індекси циркуляції: NAO – Північно-Атлантичне коливання, AO – Арктична осциляція, EA – Східно-Атлантичне коливання, EA/WR – коливання Східна Атлантика-Західна Росія, SCAND – Скандинавське коливання, GBI – Гренландське коливання, El-Niño – південне коливання [12, 15, 35].

Вважається, що найбільше на клімат Атлантико-Європейського регіону впливає NAO, тому що існує зв'язок між NAO та траєкторією переміщення циклонів по широті в центральній частині Північної Атлантики [1, 10]. У роботі [36] вказують, що у другій половині XX ст. мінливість NAO проявлялася в значеннях приповерхневих температур широким фронтом через всю Північну Атлантику, східну частину Північної Америки, Арктику, Євразію та Середземне море. Коефіцієнт кореляції між індексами NAO (грудень–березень) та глобальною температурою над західною та центральною Європою (в межах 70-40° N) досягав 1,0; над східною Європою та Азією (в межах 60-45° N) – від 0,8 до 1,0.

Важлива роль також відводиться AO, EA/WR, SCAND, El-Niño та особливо EA. Так, в [27] вказують, що NAO відображає широтні зміни траєкторії циклонів, а EA – зміни їх кількості та інтенсивності.

Про перевагу зональних потоків у другій половині XX та на початку XXI ст. свідчать і дані про повторюваність квазістаціонарних блокуючих антициклонів. У [19] наведено, що у секторі від 50°з.д. до 90°сх.д. упродовж 1952-2010 рр. фіксували помітний негативний тренд кількості квазістаціонарних антициклонів, яких більше було взимку та ранньої весни. Літом вони утворювалися біля Великої Британії, у центральній Європі та на Уралі. Райони більш високої активності антициклонів влітку співпадали з тими районами Північної півкулі, де спостерігали найбільш високу температуру та найменший її градієнт по широті. У всіх випадках до утворення блокуючого антициклону спостерігали формування гребнів.

У роботі [15] аналізували вплив різних індексів циркуляції упродовж 1951-2005 рр. та порівнювали два періоди: 1951-1970 й 1971-2005 рр. над центральною та східною Європою у холодний період року (від грудня до березня). У досліджуваний період найбільший вклад вносили NAO та SCAND. До 1970 р. перевищував вклад SCAND, а вплив NAO був незначущим, після 1970 р. – навпаки, але вплив цих індексів на мінливість температури **не був лінійним**.

Найбільш високі значення NAO були у 1989-1995 рр., що було причиною незвично теплих зим [13]. Це відбувалося внаслідок упорядкованого руху циклонів по північному заході та півночі Європи (уздовж узбережжя Арктики), що перешкоджало доступу холодного арктичного повітря у низькі широти, а також не було “підпитки” Сибірському антициклону. Коли індекс зменшується, зональний потік слабшає над Північною Атлантикою і циклони проходять по більш південним траєкторіям (південні і південно-західні циклони). Величина індексу характеризує інтенсивність зонального потоку. Багато дослідників позитивним трендом NAO пояснюють майже половину потепління з середини 70-х років над Європою, Сибіром, Азією на північ від 40° пн.ш. [9].

Загалом, у досліджуваний період зв'язки між різними індексами циркуляції були складними та мінливими. Так, на початку 1980-х років в Атлантиці відбувся різкий перехід температури поверхні океану (ТПО) до нового квазідесятирічного режиму, який діяв до середини 1990-х років. У цей час на початку 1982 р. відбулося різке похолодання температури поверхні Лабрадорської течії, яке поступово затухало упродовж декількох років у зимово-весняний період [3].

У [12] аналізували індекси NAO та EA для січня (в цей час взаємодія океану та атмосфери найбільш активна) упродовж 1950-2007 рр. й порівнювали два 12-річні періоди 1984-1995 і 1996-2007 рр. Упродовж другого 12-річного періоду (1996-2007 рр.) фіксували найбільш тривалі відмінності між індексами за весь досліджуваний період (58 років), а саме: індекс EA значно перевищував індекс NAO. Це призвело до “зрушення” на північ циклонів, що переміщувалися з Північної Атлантики на Європу та відповідно до підвищення температури над Скандинавією та північними районами ЄТР порівняно з періодом 1984-1995 рр. На індекс EA впливає південне коливання El-Niño, воно збуджує його позитивну фазу, також воно має найбільшу кореляцію з температурою повітря на півдні України. Винос тепла восени з океану в атмосферу на захід Північної Атлантики сприяє теплим зимам у Європі.

Арктичне коливання АО – це кореляція річних та більш тривалих змін тиску на рівні моря позатропічних широт Північної півкулі з геопотенціалом Арктики у січні-березні. АО зумовлена впливом вертикального розподілу планетарних хвиль на атмосферну циркуляцію у цей період. Після 1960-х років XX ст. АО мала позитивну фазу як і NAO, тобто був спільний вплив на посилення зональної циркуляції. Але з кінця 90-х років зменшується індекс АО, відбувається перехід від позитивної до негативної фази, а SCAND – навпаки (від негативної до позитивної). Ці зміни послаблювали зональний перенос [20].

У роботі [8] висловлена думка, що з кінця XX ст. – початку XXI ст. відмічається уповільнення глобального потепління. Хоча в період з 1980-х до початку 2000-х років були теплі зими за рахунок позитивної фази NAO, проте на фоні глобального потепління внаслідок довготривалих блокінгів відбувалися й різкі похолодання (зимовий період 2003, 2006, 2010 та 2011 років). У різних частинах Євразії відмічали аномально холодні зими, які були зумовлені характерною структурою атмосферної циркуляції, а саме, антициклональні аномалії над Баренцевим морем або південніше його, що призводило до блокування зонального переносу. За подальшим продовженням потепління кількість блокінгів буде збільшуватися [8]. В роботі [39] завдяки аналізу спектральної та лінійної регресії визначено,

що NAO відповідає за майже 30% мінливості епізодів з блокінгами в зимовий час у Північній Атлантиці.

Кінець XX ст. характеризується тим, що в цей час (1989-1995 рр.) індекс NAO досяг свого максимального значення [22], далі почав зменшуватися та бути дуже мінливим зимою. Так, у [30] виявлено суттєве зменшення літнього NAO з 1990-х років і в той же час різке зростання мінливості зимою, особливо в грудні, що має місце в трьох з п'яти (двох з п'яти) рекордно високого (рекордно низького) грудневого NAO впродовж 2004-2013 років у 115-річному вимірі рекордів. Ці зміни NAO пов'язані зі збільшенням тренду Гренландського блокуючого індексу (GBI), а саме: високий тиск над Гренландією літом та більш мінливий у грудні. Перехідні періоди (весна та осінь) залишаються відносно незмінними останні 30 років. Ці результати підтверджуються використанням різних (декількох) індексів NAO.

У роботі [31] аналізують період з січня 1851 до грудня 2015р. включно. Для всього періоду має місце значуще зменшення індексу GBI восени (жовтень і листопад) і незначущі місячні, сезонні та річні зростання індексу. З 1981 р. GBI значуще збільшується у всі сезони і за рік, з найбільшим зростанням влітку (у липні та серпні). Так, скупчення високих значень GBI було влітку, коли 7 з 11 максимальних значень за останні 165 років мали місце упродовж 2007- 2015 рр. 2010 р. став роком найвищого GBI за рік, весною, зимою і в грудні, а 2011 р. – рекордом низького GBI навесні (особливо у квітні).

З 2001р. грудень характеризується екстремально високими і низькими значеннями GBI, корелюючи з індексом NAO. Кореляції GBI та NAO найсильніші з грудня до березня, найслабкіші в липні. Більша мінливість GBI у грудневій місяці не протирічить більш позитивному середньому GBI і пов'язана, починаючи з 2000 р., з посиленням Північно-полярної струминної течії та з більш мінливими грудневими NAO та АО в останні 10-20 років. Загалом, формальне статистичне порівняння між коливаннями GBI та NAO вказує, що зміни GBI тісно пов'язані з розширенням Північно-Атлантичного блокування та циркуляційними змінами, включаючи EA і SCAND.

У [32] аналізували **добові гомогенізовані** значення GBI з 1851 до 2015р. Визначили, що позитивний GBI був у 1870-1900 та з кінця 1990 до теперішнього часу. Також аналізували чи є зв'язок між змінами GBI та змінами струминних течій. Дуже високі значення GBI були в середині жовтня у чотирьох із п'яти років упродовж 2002-2006. Це пояснювали льодяним покривом у цей час на заході Гренландії, а також впливом активності хвиль Россбі над тропічними районами Тихого океану. Однак автори вважають, що результати все-таки свідчать, що аномалії високих значень GBI локалізуються там, де є аномалії товщини морського льодяного покриву.

У роботі [33] вказано, що упродовж зим 1928-1948 та 1975-1995 при позитивній фазі АО аномалії тиску на рівні моря Азорського антициклону були стійкими й призводили до високого рівня аномалій конвергенції, які могли бути спричинені суттєвими аномаліями хвиль Россбі над Середземним морем та північно-східною Атлантикою. Протягом останніх десятиліть (з 1995 до 2015 рр.) має місце послаблений зв'язок АО і приземної температури.

Більшість досліджень циркуляційних процесів у Північній півкулі вказують на квазіперіодичне домінування зонального переносу (індекси NAO та АО) з середини 70-х років XX ст. З початку 80-х років і до середини 90-х вони набували максимального значення, а потім почали зменшуватися та характеризуватися надзвичайною мінливістю. У роботі [37] досліджували NAO у період 2006-2016 рр. й отримали:

1. Індекс NAO був позитивним та зростав упродовж 80-х – кінця 90-х років XX ст. й зменшувався далі, особливо після 2005 р.
2. Збільшувалася швидкість Північно-Атлантичної струминної течії взимку, що пов'язано зі збільшенням тиску на рівні моря в середніх широтах Атлантики та зменшенням на північному сході.
3. Тренди озону та метану засвідчили збільшення упродовж 2006-2016 рр.
4. Збільшення поглинання радіації у середніх широтах західної Атлантики, що співпадає із збільшенням надлишку хмар верхнього ярусу та зменшенням хмар нижнього.
5. Зниження приземної температури у субполярному поясі разом із збільшенням у західному субтропічному поясі та послаблення над Атлантикою загальної циркуляції.
6. Зменшення в Атлантичному секторі арктичного морського льоду та зростання інтенсивності танення Гренландського льодяного щита.

У дослідженнях, проведених у Китаї, також вважають, що зростання екстремальних температур у XXI ст. зумовлено послабленням індексу NAO та негативною фазою АО [34].

У XXI ст. (особливо після 2005 р.) на циркуляційні процеси Північної півкулі, можливо, суттєво впливає зміна розташування південного коливання El-Niño: центральна екваторіальна частина Тихого океану (коливання Модокі) замість західної (канонічне коливання) [18]. У роботі [42] на основі реаналізу метеоданих отримано, що перед розвитком теплих (холодних) явищ El-Niño Модокі (у жовтні–грудні) буває суттєве потепління (похолодання) стратосфери південної півкулі, яке не спостерігали при канонічних коливаннях. Загалом, ці обидва коливання мають глобальний вплив на погодні умови всієї планети. Так, у роботі [41] вказано, що найбільш теплим через вплив El-Niño у XX ст. був 1998 р., у XXI ст. – дуже теплі 2014, 2015 і 2016 роки. **Вклад цих років у тренд річних глобальних температур за довгий тривалий період становить: 1998 – 0,41 °C, 2014 – 0,64 °C, 2015 – 0,70 °C, 2016 – 0,77 °C.**

Всі зазначені вище циркуляційні процеси квазіперіодично та з різною інтенсивністю впливали на температурний режим у Північній півкулі у другій половині XX та на початку XXI ст. До початку глобального потепління переважала меридіональна циркуляція і найбільший вплив мав SCAND. З 1975-76 рр. майже 20 років спостерігали інтенсивний вплив NAO, тобто переважала зональна циркуляція з максимальними значеннями індексу у 1989-1995 рр. У цей час посилювала зональну циркуляцію і позитивна фаза АО. З кінця XX ст. та на початку XXI ст. посилюється вплив меридіональної циркуляції.

Про зв'язок хмарного покриву з циркуляційними умовами свідчать дані, які наведені у [25]. Автори аналізували спостереження за хмарним покривом на 89 станціях в арктичному Євразійському поясі упродовж 1936-2012 рр. й отримали, що найменший хмарний покрив був упродовж холодного періоду 1960-1980 рр. при великій концентрації льоду, а хмарний покрив нижнього ярусу був мінімальним у 1980-1990 рр. всюди і в усі сезони, тобто зональний перенос перешкоджав зміщенню циклонів у арктичні райони. Тільки з кінця XX ст. та особливо у XXI ст. кількість хмар почала збільшуватися й навіть утворюватися конвективні хмари.

Кількісні зміни хмарного покриву у період глобального потепління. Досліджень змін хмарного покриву під час глобального потепління виконано небагато. Особливості кліматичних змін загальної хмарності над всіма континентами та островами визначали вчені США [40]. Під час міжнародного проекту ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project) [38] вивчали мінливість глобальної осередненої хмарності. В Росії досліджували зміни загальної та нижньої хмарності окремо над європейською та азійською частинами [21]. В [4, 6] наведено узагальнюючі результати досліджень по оцінці змін хмарного покриву над територією України.

В усіх цих роботах використано різні як роки спостережень, так і показники хмарного покриву, тому тенденції змін, тим більше, над різними континентами важко зіставити. Єдиним результатом, що можна виділити, є більша мінливість нижньої хмарності порівняно із загальною.

Серед результатів досліджень кількісних змін хмарного покриву над територією України, варто виділити роботу [4], де показано мінливість різного стану неба, як найбільш інформативного показника хмарного покриву, між послідовними десятиріччями упродовж 1961-2010 рр., а також роботу [6] з оцінкою довгострокових змін за 1961-2017 рр.

У табл. 4 показано повторюваність різного стану неба у послідовні десятиріччя упродовж 1961-2018 рр. Повторюваність ясного стану за загальною хмарністю весь час зменшувалася, проте виділяється третє десятиріччя, в якому повторюваність залишилася незмінною (така, як в другому десятиріччі). Повторюваність ясного стану неба за нижньою хмарністю зростала упродовж перших трьох десятиріч, а далі зменшувалася. Особливістю цього розподілу є те, що в третьому десятиріччі (1981-1990 рр.) ясний стан спостерігали найчастіше (його відносна повторюваність щодо другого десятиріччя зросла більше ніж на 5 %). Надалі відносна повторюваність ясного стану неба зменшувалася (кожне десятиріччя більш ніж на 3 %) і в кінці досліджуваного періоду (з 2001 до 2018 р.) не змінювалася і повернулася практично до свого початкового значення (відповідно 48,5 % та 48,8 %). Відносні зміни повторюваності напів'ясного стану неба вказують, що найбільш сприятливі

умови для цього стану неба (3 – 7 балів) були до 2000 р. як для загальної, так і нижньої хмарності. У 2001-2018 рр. відносно збільшення повторюваності суттєво призупинилося.

Таблиця 4. Повторюваність (%) різного стану неба за загальною та нижньою хмарністю упродовж 1961-2018 рр. та відносні зміни повторюваності між послідовними десятиріччями*

Роки	Стан неба					
	ясний		напів ясний		похмурий	
	загальна хмарність					
1961-1970	27,6		15,9		56,5	
1971-1980	26,1	(-5,4)	16,5	(3,8)	57,4	(1,6)
1981-1990	26,1	(0,0)	20,2	(22,4)	53,7	(-6,4)
1991-2000	24,4	(-6,5)	22,6	(11,9)	53,0	(-1,3)
2001-2010	23,1	(-5,3)	23,4	(3,5)	53,5	(0,9)
2011 - 2018	23,3	(0(9)	25,1	(7,3)	51,6	(-3,6)
нижня хмарність						
1961-1970	48,8		14,7		36,5	
1971-1980	49,2	(0,8)	16,2	(10,2)	34,6	(-5,2)
1981-1990	51,7	(5,1)	18,3	(13,0)	30,0	(-13,3)
1991-2000	50,1	(-3,1)	20,6	(12,6)	29,3	(-2,3)
2001-2010	48,5	(-3,2)	21,7	(5,3)	29,8	(1,7)
2011 - 2018	48,5	(0,0)	21,9	(0,9)	29,6	(-0,7)

***Примітка:** значення відносних змін повторюваності між послідовними десятиріччями приведено у дужках

Перше десятиріччя 1961-1970 рр. (як початок аналізу) є межею між впливом SCAND, який домінував у цей період, але переходив у від'ємну фазу та NAO, який був позитивним і посилював свій вплив у наступному другому десятиріччі (1971-1980 рр.). Різниця між циркуляційними процесами у цих десятиріччях сприяла зменшенню відносної повторюваності ясного неба (на 5,4 %) й незначному зростанню похмурого (на 1,6 %) за загальною хмарністю й навпаки незначному зростанню ясного неба (на 0,8 %) та зменшенню похмурого (на 5,2 %) за нижньою хмарністю, при цьому відносна повторюваність напів'ясного неба за нижньою хмарністю майже втричі зросла порівняно із загальною (відповідно на 10,2 % та 3,8 %), рис. 1. Варто зазначити, що у цей період (1971-1980 рр.) 90 % метеостанцій фіксували зростання тиску на рівні моря [5], тому що циклонічна діяльність внаслідок впливу NAO змістилася у високі широти.

У третьому десятиріччі 1981-1990 рр. зростає відносна повторюваність ясного неба за нижньою хмарністю на 5,1 % та не змінюється за загальною (0 %) і найбільше за весь досліджуваний період зменшується відносна повторюваність похмурого неба: за загальною хмарністю на 6,4 %, за нижньою – на 13,3 %, при цьому найбільше зросла й відносна повторюваність напів'ясного неба (на 22,4 % за загальною та на 13 % – за нижньою). Варто зауважити, що саме на початку 80-х років XX ст. в Атлантиці відбувся різкий перехід ТПО до нового квазидесятирічного режиму, який був пов'язаний із зниженням температури поверхні Лабрадорської течії [3].

Далі у четвертому десятиріччі (1991-2000 рр.) суттєво зменшилася повторюваність ясного неба як за загальною (на 6,5 %), так і за нижньою хмарністю (на 3,1 %). Також зменшилася повторюваність і похмурого неба, але менш значимо (відповідно на 1,3 % та 2,3 %), тобто збільшилася кількість хмар середнього та верхнього ярусу. Це десятиріччя характеризується найбільш складною взаємодією різних циркуляційних процесів: NAO продовжує свій вплив і упродовж 1989-1995 рр. має екстремально високі значення та надзвичайну мінливість, далі його вплив зменшується, відповідно у ці строки АО змінює позитивну фазу на від'ємну, а SCAND – навпаки (тобто зональний перенос послаблюється), цьому сприяє і позитивна фаза GBI з 1990 р., а також більший вплив EA та El-Niño.

З 2001 по 2010 р. продовжується зменшення повторюваності ясного неба за загальною та нижньою хмарністю (відповідно на 5,3 та 3,2 %), але зростає повторюваність похмурого стану (відповідно на 0,9 та 1,7 %), тобто кількість хмар всіх ярусів збільшується.

У цей час продовжується взаємодія указаних вище індексів циркуляції, їх значна мінливість (яку пов'язують з негативним трендом полярної струминної течії), при цьому посилюється вплив GBI, EA та SCAND.

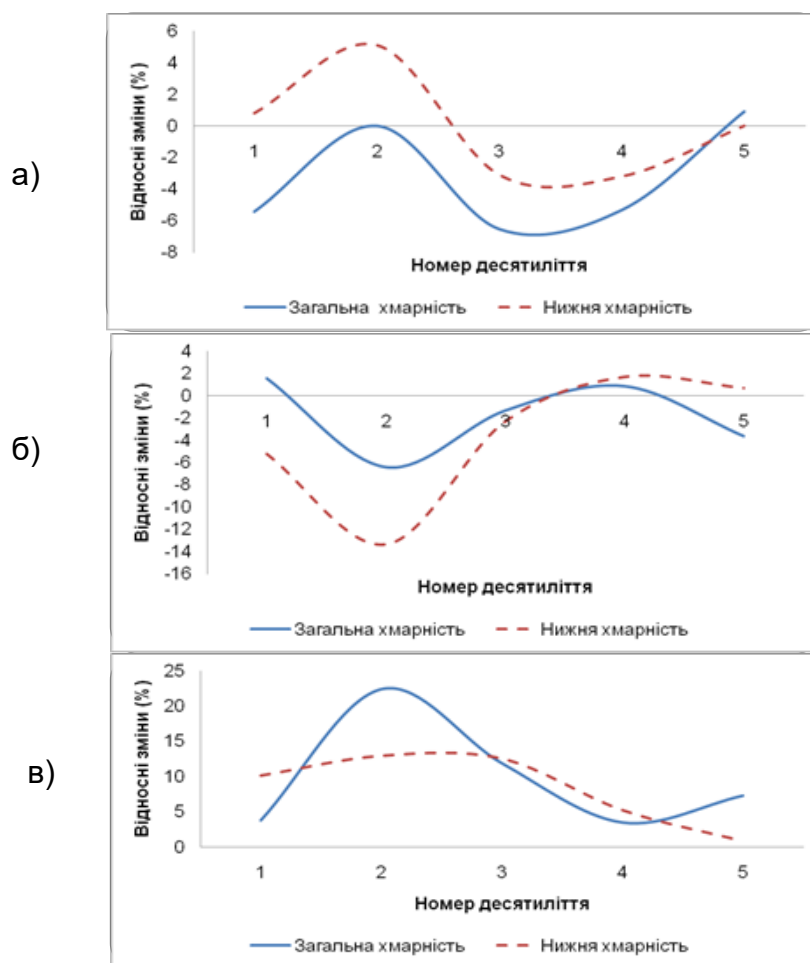


Рис.1. Відносні зміни (%) між послідовними десятиріччями повторюваності різного стану неба: а) ясного стану неба за загальною та нижньою хмарністю; б) похмурого стану неба за загальною та нижньою хмарністю; в) напів'ясного стану неба за загальною та нижньою хмарністю

Упродовж 2011-2018 рр. збільшується повторюваність ясного неба за загальною хмарністю (на 0,9 %), а за нижньою не змінюється. Похмурий стан неба зменшується: за загальною хмарністю – на 3,6 %, за нижньою – на 0,7 %. Для цього періоду характерним є вплив позитивної фази індексів GBI, SCAND, EA та особливо El-Niño.

Загалом, останнє десятиріччя називають періодом інтенсифікації глобального потепління. Щоб оцінити яким був хмарний покрив у цей період, проводили порівняння повторюваності різного стану неба за 2011-2018 рр. з відповідними даними сучасної норми (1981-2010 рр.) для кожного регіону та упродовж року.

Основні результати такі:

➤ Повторюваність ясного неба як за загальною, так і за нижньою хмарністю змінюється неоднозначно. Для цієї категорії стану неба характерно як повна відсутність хмар (0 балів), так і хмарність кількістю у 2 бали. Якщо врахувати, що для всієї території України (крім півдня) повторюваність 0 балів суттєво зменшилася (3-4 %), то в тих регіонах, де фіксують зменшення повторюваності 0-2 бали, вочевидь, частіше відмічали хмарність, хоча і незначну. Повторюваність похмурого неба як за загальною, так і за нижньою хмарністю (крім заходу) зменшувалася. У той же час повторюваність напів'ясного неба всюди збільшувалася, особливо за загальною хмарністю. Серед регіонів виділяється

захід, де суттєво зменшувалася повторюваність ясного неба за загальною та нижньою хмарністю й збільшувалася повторюваність похмурого неба за нижньою хмарністю.

- Зміни повторюваності основних форм хмар вказують, що зростання повторюваності практично вдвічі переважало її зменшення. Це відбувалося у всіх регіонах. Найбільше – на півночі, в центрі та сході. Тільки на півдні повторюваність основних форм хмар практично рівноцінно зростала й зменшувалася. Наведені дані узгоджуються з результатами роботи [6], де показано, що до 1990 р. переважало зменшення повторюваності хмар основних форм, упродовж 1991-2010 рр. зростання чи зменшення повторюваності форм хмар були рівнозначні, а з 2011 р. вже фіксували перевагу зростання. Можна припустити, що домінуючими процесами були **неінтенсивні** фронтальна діяльність та динамічна конвекція, які зумовлювали утворення різних форм хмар, але невеликої їх кількості [22].
- Наведені дані свідчать, що синхронність змін повторюваності різного стану неба за загальною та нижньою хмарністю узгоджується з відповідною мінливістю різних циркуляційних процесів.

Висновки. Вперше для території України виконано порівняння **історичної (1961-1990 рр.)** та **сучасної (1981-2010 рр.) норм** за річними значеннями загальної та нижньої хмарності упродовж 1946-2018 рр., також для останніх визначено просторовий розподіл за цей же період. Надано характеристику циркуляційних процесів та їх мінливості у період глобального потепління у Північній півкулі. Виконано статистичну оцінку змін кількості нижньої хмарності за досліджуваний період (1946-2018 рр.) та регіональних змін упродовж року. Визначено кількісні зміни хмарного покриття впродовж шести десятиліть періоду глобального потепління. Отримано узгодженість між кількісними змінами хмарного покриття та впливом на них дії різних індексів циркуляції.

Список літератури

1. Бардин М.Ю., Полонский А.Б. Североатлантическое колебание и синоптическая изменчивость в Европейско-Атлантическом регионе в зимний период // Изв. РАН, Физика атмосферы и океана. 2005. Т. 41. № 2. С.3-13.
2. Вангенгейм Г.Я. Опыт применения синоптических методов к изучению и характеристике климата. Москва: изд-во ГУГМС, 1935. 112 с.
3. Жадин Е.А., Жульева Ю.А., Володин Ю.М. Связи межгодовых вариаций стратосферных потеплений, циркуляции тропосферы и температуры поверхности океанов Северного полушария // Изв. РАН, Физика атмосферы и океана. 2008. Т. 44. № 5. С. 641-653.
4. Заболоцька Т.М., Шпиг В.М. Кількісні зміни хмарності як індикатор періоду глобального потепління // Наук. пр. УкрНДГМІ. 2015. Вип. 267. С. 23-27.
5. Заболоцька Т.М., Ціла А.Ю. Кліматичні зміни атмосферного тиску на території України // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. Т. 2. № 53. С. 66-74.
6. Заболоцька Т.М., Шпиг В.М., Ціла А.Ю. Зміни показників хмарного покриття над територією України впродовж періоду глобального потепління // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. Т. 4. № 55. С. 121-130.
7. Мелешко В.П., Катцов В.М., Мирвис В.М., Говоркова В.А., Павлова Т.В. Климат России в XXI веке. Часть 1. Новые свидетельства антропогенного изменения климата и современные возможности его расчета // Метеорология и гидрология. 2008. № 6. С. 5-19.
8. Мохов И.И., Семенов В.А. Погодно-климатические аномалии в российских регионах и их связь с глобальными изменениями климата // Метеорология и гидрология. 2016. № 2. С. 16-28.
9. Муравьев А.В., Куликова И.А., Круглова Е.Н. Определение экстремальных характеристик атмосферной циркуляции по данным реанализа и гидродинамического моделирования // Метеорология и гидрология. 2009. № 7. С. 33-47.
10. Нестеров Е.С. О фазах североатлантического колебания // Метеорология и гидрология. 2003. № 1. С. 64-74.
11. Нестеров Е.С. О влиянии температуры воды и потоков тепла на поверхности океана в Северной Атлантике на циркуляцию атмосферы // Метеорология и гидрология. 2009. № 1. С. 39-46.
12. Нестеров Е.С. О восточно-атлантическом колебании циркуляции атмосферы // Метеорология и гидрология. 2009. № 12. С. 33-40.
13. Попова В.В., Шмакин А.Б. Влияние североатлантического колебания на многолетний гидротермический режим Северной Евразии. I. Статистический анализ данных наблюдений // Метеорология и гидрология. 2003. № 5. С. 62-74.

14. *Попова В.В., Шмакин А.Б.* Циркуляционные механизмы крупномасштабных аномалий температуры в Северной Евразии в конце XX столетия // Метеорология и гидрология. 2006. № 12. С. 15-25.
15. *Попова В.В., Шмакин А.Б.* Региональная структура колебаний температуры приземного воздуха в Северной Евразии во второй половине XX – начале XXI веков // Изв. РАН, Физика атмосферы и океана. 2010. Т. 46. № 2. С. 161-175.
16. *Семенов Е.К., Соколичина Е.В., Соколичина Н.Н.* Атмосферная циркуляция в низких широтах в периоды теплых и холодных фаз явления Эль-Ниньо – Южное колебание // Метеорология и гидрология. 2006. № 8. С. 5-18.
17. *Сидоренков Н.С., Орлов И.А.* Атмосферные циркуляционные эпохи и изменения климата // Метеорология и гидрология. 2008. № 9. С. 22-29.
18. *Степанов В.Н.* О вероятной причине изменения характеристик Эль-Ниньо в 2000-е годы // Метеорология и гидрология. 2016. № 11. С. 22-40.
19. *Тищенко В.А., Хан В.М., Вильфанд Р.М., Рожет Е.* Исследование развития атмосферных процессов блокирования и квазистационарирования антициклонов в Атлантико-Европейском секторе // Метеорология и гидрология. 2013. № 7. С. 15-30.
20. *Харюткина Е.В., Логинов С.В., Мартынова Ю.В.* Изменчивость атмосферной циркуляции в условиях происходящих климатических изменений в Западной Сибири в конце XX в. и начале XXI в. // Метеорология и гидрология. 2016. № 6. С. 82-86.
21. *Хлебникова Е.И., Салль И.А.* Особенности климатических изменений облачного покрова над территорией России // Метеорология и гидрология. 2009. № 7. С. 5-13.
22. *Ціла А.Ю.* Кількісні зміни хмарного покриву над територією України впродовж інтенсифікації глобального потепління // Збірник наукових праць XVIII міжнародної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Київ: Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, 2020. С. 51-54.
23. *Barnston A.G., Livezey R.E.* Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns // Mon. Wea. Rev. 1987. Vol. 115. No. 6. P. 1083-1126.
24. *Booth E.L.J., Byrne J.M., Johnson D.L.* Climatic changes in western North America, 1950 – 2005 // International journal of climatology. 2012. Vol. 32. Issue 15. P. 2283-2300.
25. *Chernokulsky A., Esau I.* Cloud cover and cloud types in the Eurasian Arctic in 1936-2012 // International Journal of Climatology. 2019. Vol. 39. Issue 15. P. 5771-5790.
26. *Fernández-González S., del Río S., Castro A., Penas A., Fernández-Paga M., Calvo A.I., Fraile R.* Connection between NAO, weather types and precipitation in Leon, Spain (1948-2008) // International journal of climatology. 2012. Vol. 32. Issue 14. P. 2181-2196.
27. *Franzke C. and Feldstein S.B.* The continuum and dynamics of Northern Hemisphere teleconnection patterns // J. Atmos. Sci. 2005. Vol. 62. No. 9. P. 3250-3267.
28. *Gill-Alana L.A., Sauci L.* US temperatures: Time trends and persistence // International Journal of Climatology. 2019. Vol. 39. Issue 13. P. 5091-5103.
29. *Gonzalez-Hidalgo J.C., Peña-Angulo D., Brunetti M., Cortesi N.* MOTEDAS: a new monthly temperature database for mainland Spain in the trend in temperature (1951-2010) // International Journal of Climatology. 2015. Vol. 35. Issue 15. P. 4444-4463.
30. *Hanna E., Cropper T.E., Jones P.D., Scaife A.A., Allan R.* Recent seasonal asymmetric changes in the NAO (a marked summer decline and increased winter variability) and associated changes in the AO and Greenland Blocking index // International Journal of Climatology. 2015. Vol. 35. Issue 9. P. 2540-2554.
31. *Hanna E., Cropper T., Hall R., Cappelen J.* Greenland blocking index 1851-2015: a regional climate change signal // International Journal of Climatology. 2016. Vol. 36. Issue 15. P. 4847-4861.
32. *Hanna E., Hall R.J., Cropper T.E., Ballinger T.J., Wake L., Mote T., Cappelen J.* Greenland blocking index daily series 1851-2015: Analysis changes in extremes and links with North Atlantic and UK climate variability and change // International Journal of Climatology. 2018. Vol. 38. Issue 9. P. 3546-3564.
33. *Liu Y., He Sh., Li F., Wang H., Zhu Y.* Interdecadal change between the Arctic Oscillation and East Asian climate during 1900-2015 // International Journal of Climatology. 2017. Vol. 37. Issue 14. P. 4791-4802.
34. *Liu X., Xu Z., Peng D., Wu C.* Influences of the North Atlantic Oscillation on extreme temperature during the cold period in China // International Journal of Climatology. 2019. Vol. 39. Issue 1. P. 43-49.
35. *Mailier P.J., Stephenson D.B., Ferro C.A.T. and Hodges K.I.* Serial clustering of extratropical cyclones // Mon. Wea. Rev. 2006. Vol. 134. No. 8. P. 2224-2240.
36. *Marshall J., Kushnir Y., Battisti D., Chang P., Czaja A., Dickson R., Ybrell R., McCartney M., Saravanan R., Visbeck M.* North Atlantic climate variability: phenomena, impacts and mechanisms // International Journal of Climatology. 2001. Vol. 21. Issue 15. P. 1863-1898.
37. *Robson J., Cutton R.T., Archibald A., Cooper F., Christensen M., Gray L.J., Holliday N.P., Macintosh C., McMillan M., Moat B., Russo M. et al.* Recent multivariate changes in the North Atlantic

climate systems, with focus on 2005-2016 // *International Journal of Climatology*. 2018. Vol. 38. Issue 14. P. 5050-5076.

38. Rossow W.B., Duenas E.N. The International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP) web site // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2004. No 85. P. 167-172.

39. Shabbar A., Huang J., Higuchi K. The relationship between the wintertime north Atlantic oscillation and blocking episodes in the north Atlantic // *International Journal of Climatology*. 2001. Vol. 21. Issue 3. P. 355-369.

40. Warren S.G., Eastman R.M., Hahn C.J. A survey of Changes in Cloud Cover and Cloud Types over Land from Surface Observations, 1971-96 // *Climate*. 2007. No 20. P. 717-738.

41. Zhang Ch., Shuanglin L., Feifei L., Huang Z. The global warming hiatus has faded away: An analysis of 2014-2016 global surface temperatures // *International Journal of Climatology*. 2019. Vol. 39. Issue 12. P. 4853-4868.

42. Zubiaurre I. and Calvo N. The El-Niño – Southern Oscillation (ENSO) Modoki signal in the stratosphere. *Geophys. Res.* 2012. Vol. 117. D04104; doi: 10.1029/2011.JDO16690.

References

1. Bardin M.Yu, Polonsky A.B. Severoatlanticheskoe kolebanie i sinopticheskaya izmenchivost v Evropejsko-Atlanticheskome regione v zimnij period [North Atlantic Oscillation and synoptic variability in the Euro-Atlantic region in winter] // *Izvestia RAN. Physics of the atmosphere and ocean*. 2005. Vol. 41. No 2. P.3-13.

2. Vangengeim G.Ya. Opyt primeneniya sinopticheskikh metodov k izucheniyu i kharakteristike klimata [Experience in applying synoptic methods to the study and characterization of climate]. Moscow: GUGMS publishing house, 1935. 112 p.

3. Zhadin E.A., Zyulyaeva Yu.A., Volodin Yu.M. Svyazi mezhgodovykh variaczij stratosferykh potepnenij, czirkulyaczii troposfery i temperatury poverkhnosti okeanov Severnogo polushariya [Relationships between interannual variations in stratospheric warming, tropospheric circulation, and ocean surface temperatures in the Northern Hemisphere] // *Izvestia RAN. Physics of the atmosphere and ocean*. 2008. Vol. 44. No 5. P. 641-653.

4. Zabolotska T.M., Shpyg V.M. Kilisni zminy lhmarnosti yak indykator period globalnogo potepplinnia [Quantitative changes of cloud cover as indicator of global warming period] // *Nauk. pratsi UkrNDGMI*. 2015. Issue 267. P. 23-27.

5. Zabolotska T.M., Tsila A.Yu. Klimatichni zminy atmosferного tysku na terytorii Ukrainy [Climate differences of atmospheric pressure on territory Ukraine] // *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia*. 2019. Vol. 2. No 53. P. 66-74.

6. Zabolotska T.M., Shpyg V.M., Tsila A.Yu. Zminy pokaznykiv khmarnogo pokryvu nad terytorieiu Ukrainy vprodovzh periodu globalnogo potepplinnia [The changes of cloud cover characteristics over territory of Ukraine during of the global warming] // *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia*. 2019. Vol. 4. No 55. P. 121-130.

7. Meleshko V.P., Kattsov V.M., Mirvis V.M., Govorkova V.A., Pavlova T.V. Klimat Rossii v XXI veke. Chast 1. Novye svidetelstva antropogennogo izmeneniya klimata i sovremennye vozmozhnosti ego rascheta [Climate of Russia in the 21st Century. Part 1. New Evidence of Anthropogenic Climate Change and the State of the Art of its Simulation] // *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2008. No 6. P. 5-19.

8. Mokhov I.I., Semenov V.A. Pogodno-klimaticheskie anomalii v rossijskikh regionakh i ikh sviaz s globalnymi izmeneniyami klimata [Weather and Climate Anomalies in Russian Regions Related to Global Climate Change] // *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2016. No 2. P. 16-28.

9. Murav'ev A.V., Kulikova I.A., Kruglova E.N. Opredelenie ekstremalnykh kharakteristik atmosfernoj czirkulyaczii po dannym reanaliza i gidrodinamicheskogo modelirovaniya [Distribution of extreme characteristics of atmospheric circulation from reanalysis data and hydrodynamic modeling] // *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2009. No 7. P. 33-47.

10. Nesterov E.S. O fazakh severoatlanticheskogo kolebaniya [The phases of the North Atlantic Oscillation] // *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2003. No 1. P. 64-74.

11. Nesterov E.S. O vliyanii temperatury vody i potokov tepla na poverkhnosti okeana v Severnoj Atlantike na czirkulyacziiu atmosfery [On the influence of water temperature and heat fluxes at the North Atlantic Sea surface on the atmospheric circulation] // *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2009. No 1. P. 39-46.

12. Nesterov E.S. O vostochno-atlanticheskome kolebanii czirkulyaczii atmosfery [East-Atlantic Oscillation of the Atmospheric Circulation] // *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2009. No 12. P. 33-40.

13. Popova V.V., Shmakina A.B. Vliyanie severoatlanticheskogo kolebaniya na mnogoletnij gidrotermicheskij rezhim Severnoj Evrazii. I. Statisticheskij analiz dannykh nablyudenij [Influence of the North Atlantic Oscillation on multiyear hydrological and thermal regime of Northern Eurasia. I. Statistical analysis of Observational Data] // *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2003. No 5. P. 62-74.

14. *Popova V.V., Shmakin A.B.* Czirkulyacziionnye mekhanizmy krupnomasshtabnykh anomalij temperatury v Severnoj Evrazii v koncze XX stoletiya [Circulation mechanisms of large-scale winter air temperature anomalies in Northern Eurasia at the end of the 20th Century] // *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2006. No 12. P. 16-25.
15. *Popova V.V., Shmakin A.B.* Regionalnaya struktura kolebanij temperatury prizemnogo vozdukh v Severnoj Evrazii vo vtoroj polovine XX – nachale XXI vekov [Regional structure of surface air temperature fluctuations in Northern Eurasia in the second half of the XX – early XXI centuries] *Izvestia RAN. Physics of the atmosphere and ocean*. 2010. Vol. 46. No 2. P. 161-175.
16. *Semenov E.K., Sokolikhina E.V., Sokolikhina N.N.* Atmosfernaya czirkulyacziya v nizkikh shirotakh v periody teplykh i kholodnykh faz yavleniya El-Nino – Yuzhnoe kolebanie [Atmospheric circulation at Low Latitudes in Periods of Warm and Cold Phases of the El-Nino – Southern Oscillation] // *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2006. No 8. P. 5-18.
17. *Sidorenkov N.S., Orlov I.A.* Atmosfernye czirkulyacziionnye epokhi i izmeneniya klimata [Atmospheric circulation epochs and climate changes] // *Meteorologiya i gidrologiya*. 2008. No 9. P. 22-29.
18. *Stepanov V.N.* O veroyatnoj prichine izmeneniya kharakteristik El-Nino v 2000-e gody [A Plausible Reason for Changes in El Nino Parameters in the 2000s] *Meteorologiya i gidrologiya*. 2016. No 11. P. 22-40.
19. *Tishchenko V.A., Khan V.M., Vil'fand R.M., Roget E.* Issledovanie razvitiya atmosfernykh proცessov blokirovaniya i kvazistacziionirovaniya anticziklonov v Atlantiko-Evropejskom sektore [Studying the development of atmospheric processes associated with blocking and quasistationary anticyclones in the Atlantic European sector] // *Meteorologiya i gidrologiya*. 2013. No 7. P. 15-30.
20. *Kharyutkina E.V., Loginov S.V., Martynova Yu.V.* Izmenchivost atmosfernoj czirkulyaczii v usloviyakh proiskhodyashhih klimaticheskikh izmenenij v Zapadnoj Sibiri v koncze XX v. i nachale XXI v. [Variability of atmospheric circulation under the climate change in West Siberia in the late 20th – early 21st centuries] // *Meteorologiya i gidrologiya*. 2016. № 6. C. 82-86.
21. *Khlebnikova E.I., Sall I.A.* Osobennosti klimaticheskikh izmenenij oblachnogo pokrova nad territoriej Rossii [Peculiarities of climatic changes in cloud cover over the Russian Federation] // *Meteorologiya i gidrologiya*. 2009. No 7. P. 5-13.
22. *Tsila A.Yu.* Kilisni zminy khmarного pokryvu nad terytorieiu Ukrainy vprodovzh intensyfikatsii globalnogo poteplinnia [Quantitative changes in cloud cover over the territory of Ukraine during the intensification of global warming] // *Conference Proceedings of the XVIII International Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists*. Kyiv: Taras Shevchenko National University of Kyiv, 2020. P 51-54.
23. *Barnston A.G., Livezey R.E.* Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns // *Mon. Wea. Rev.* 1987. Vol. 115. No. 6. P. 1083-1126.
24. *Booth E.L.J., Byrne J.M., Johnson D.L.* Climatic changes in western North America, 1950 – 2005 // *International journal of climatology*. 2012. Vol. 32. Issue 15. P. 2283-2300.
25. *Chernokulsky A., Esau I.* Cloud cover and cloud types in the Eurasian Arctic in 1936-2012 // *International Journal of Climatology*. 2019. Vol. 39. Issue 15. P. 5771-5790.
26. *Fernández-González S., del Río S., Castro A., Penas A., Fernández-Paga M., Calvo A.I., Fraile R.* Connection between NAO, weather types and precipitation in Leon, Spain (1948-2008) // *International journal of climatology*. 2012. Vol. 32. Issue 14. P. 2181-2196.
27. *Franzke C. and Feldstein S.B.* The continuum and dynamics of Northern Hemisphere teleconnection patterns // *J. Atmos. Sci.* 2005. Vol. 62. No. 9. P. 3250-3267.
28. *Gill-Alana L.A., Sauci L.* US temperatures: Time trends and persistence // *International Journal of Climatology*. 2019. Vol. 39. Issue 13. P. 5091-5103.
29. *Gonzalez-Hidalgo J.C., Peña-Angulo D., Brunetti M., Cortesi N.* MOTEDAS: a new monthly temperature database for mainland Spain in the trend in temperature (1951-2010) // *International Journal of Climatology*. 2015. Vol. 35. Issue 15. P. 4444-4463.
30. *Hanna E., Cropper T.E., Jones P.D., Scaife A.A., Allan R.* Recent seasonal asymmetric changes in the NAO (a marked summer decline and increased winter variability) and associated changes in the AO and Greenland Blocking index // *International Journal of Climatology*. 2015. Vol. 35. Issue 9. P. 2540-2554.
31. *Hanna E., Cropper T., Hall R., Cappelen J.* Greenland blocking index 1851-2015: a regional climate change signal // *International Journal of Climatology*. 2016. Vol. 36. Issue 15. P. 4847-4861.
32. *Hanna E., Hall R.J., Cropper T.E., Ballinger T.J., Wake L., Mote T., Cappelen J.* Greenland blocking index daily series 1851-2015: Analysis changes in extremes and links with North Atlantic and UK climate variability and change // *International Journal of Climatology*. 2018. Vol. 38. Issue 9. P. 3546-3564.
33. *Liu Y., He Sh., Li F., Wang H., Zhu Y.* Interdecadal change between the Arctic Oscillation and East Asian climate during 1900-2015 // *International Journal of Climatology*. 2017. Vol. 37. Issue 14. P. 4791-4802.

34. Liu X., Xu Z., Peng D., Wu C. Influences of the North Atlantic Oscillation on extreme temperature during the cold period in China // *International Journal of Climatology*. 2019. Vol. 39. Issue 1. P. 43-49.
35. Mailier P.J., Stephenson D.B., Ferro C.A.T. and Hodges K.I. Serial clustering of extratropical cyclones // *Mon. Wea. Rev.* 2006. Vol. 134. No. 8. P. 2224-2240.
36. Marshall J., Kushnir Y., Battisti D., Chang P., Czaja A., Dickson R., Ybrrrell R., McCartney M., Saravanan R., Visbeck M. North Atlantic climate variability: phenomena, impacts and mechanisms // *International Journal of Climatology*. 2001. Vol. 21. Issue 15. P. 1863-1898.
37. Robson J., Cutton R.T., Archibald A., Cooper F., Christensen M., Gray L.J., Holliday N.P., Macintosh C., McMillan M., Moat B., Russo M. et al. Recent multivariate changes in the North Atlantic climate systems, with focus on 2005-2016 // *International Journal of Climatology*. 2018. Vol. 38. Issue 14. P. 5050-5076.
38. Rossow W.B., Duenas E.N. The International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP) web site // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2004. No 85. P. 167-172.
39. Shabbar A., Huang J., Higuchi K. The relationship between the wintertime north Atlantic oscillation and blocking episodes in the north Atlantic // *International Journal of Climatology*. 2001. Vol. 21. Issue 3. P. 355-369.
40. Warren S.G., Eastman R.M., Hahn C.J. A survey of Changes in Cloud Cover and Cloud Types over Land from Surface Observations, 1971-96 // *Climate*. 2007. No 20. P. 717-738.
41. Zhang Ch., Shuanglin L., Feifei L., Huang Z. The global warming hiatus has faded away: An analysis of 2014-2016 global surface temperatures // *International Journal of Climatology*. 2019. Vol. 39. Issue 12. P. 4853-4868.
42. Zubiaurre I. and Calvo N. The El-Niño – Southern Oscillation (ENSO) Modoki signal in the stratosphere. *Geophys. Res.* 2012. Vol. 117. D04104; doi: 10.1029/2011.JDO16690.

Циркуляционные процессы и облачный покров в период глобального потепления
Заболоцкая Т.Н., Шпиг В.М., Цила А.Ю.

Выполнено исследование взаимосвязи между индексами циркуляции и количественными изменениями облачного покрова в период глобального потепления. Определено осредненное за 73 года (1946-2018) пространственное распределение годовых значений общей и нижней облачности. Показано, что количество облаков уменьшается с запада на восток и с севера на юг. Для климатической оценки изменений облачного покрова проанализированы отклонения годовых значений общей и нижней облачности от исторической (1961-1990 гг.) и современной (1981-2010 гг.) норм. Показано, что нижней облачности характерны большие изменения. Линейные тренды указывают на уменьшение годового количества облаков нижнего яруса почти на 90 % территории, из них значимо на 70 %. Тренды ежемесячных изменений указывают на уменьшение нижней облачности в течение всего года только на севере, на остальной территории в отдельные месяцы фиксировали увеличение, чаще всего в январе и сентябре. Изменения количества общей облачности были не выражены, почти поровну наблюдали незначимое как уменьшение, так и увеличение. Показано, что на климат северного полушария (и на Украину) влияют индексы циркуляции: NAO – Североатлантическое колебание, AO – Арктическое колебание, EA – Восточно-Атлантическое колебание, EA/WR – колебание Восточная Атлантика – Западная Россия, SCAND – Скандинавское колебание, GBI – Гренландское колебание, El-Niño – южное колебание. Дана характеристика каждому из них и совместной связи между ними. Количественная оценка изменений облачного покрова в 1961-2018 гг. проведена по изменениям повторяемости разного состояния неба (ясный, полужасный, пасмурный) в последовательных десятилетиях и оценены относительные изменения между ними. Параллельно проанализировано влияние выше указанных индексов циркуляции в это время. Получено, что синхронность изменений повторяемости различного состояния неба по общей и нижней облачности согласуется с соответствующей изменчивостью циркуляционных процессов.

Ключевые слова: индексы циркуляции, состояние неба по общей и нижней облачности, основные формы облаков, регион, повторяемость.

Circulation indexes and the cloud cover during of the global warming period
Zabolotska T.M., Shpyg V.M., Tsila A.Yu.

The investigations of connection between the different meteorological processes, for example, the circulation indexes with the quantity of the total and lower cloudiness during 1961-2018 over Ukraine were made. The spatial distributions of the total and lower cloudiness were received for 73 years (1946-2018) at first. The quantity of cloudiness is diminished from west to east and with north to south. The declinations of the annual data of total and lower cloudiness from the historical (1961-1990) and the present (1981-2010) norms were calculated. The great variations were characterized for the lower cloudiness. The linear trends showed that the diminish of the lower cloudiness was on 90 % of the all territory, this changes were important on 70 % of the territory. The trends of the monthly variations were showed on the diminish of the lower cloudiness in during all year only on north, on other territory was the increasing in the separate months, frequently in January and September. The variations of the total cloudiness were insignificant, the increase or decrease were nearly in equal parts. North Atlantic Oscillation (NAO), Arctic Oscillation (AO), East-Atlantic Oscillation (EA), Scandinavian Oscillation (SCAND), Greenlandic Oscillation (GBI) and South Oscillation (El-Niño) were used for the investigation of relationship between the circulation indexes and cloud cover. It was shown that different circulation indexes have influence on climate of Northern Hemisphere and on Ukraine too. The relation with

each other and their variations in period of global warming were showed. The quantity estimation of the total and lower cloudiness variations was made by the frequencies of clear, semi clear and overcast sky in the successive decades and by the relative variations of frequencies between decades (1961-1970 and 1971-1980; 1971-1980 and 1981-1990; 1981-1990 and 1991-2000; 1991-2000 and 2001-2010; 2001-2010 and 2011-2018). The parallel analyze of the variations of circulation was estimated in that time. The difference between the circulating processes during 1961-1970 and 1971-1980 contributed to a decrease in the relative frequency of the clear sky (on 5.4%) and a slight increase of the overcast sky (on 1.6%) by total cloud cover and a slight increase of the clear sky (on 0.8 %) and a decrease of the overcast sky (on 5.2%) by lower cloudiness. At the same time, the relative frequency of the semi-clear sky by lower cloudiness almost in three times increased in comparison to total cloudiness (on 10.2% and 3.8%, respectively). In the third decade of 1981-1990 the relative frequency of clear sky by lower cloudiness increased on 5.1% and did not change by total cloudiness (0%). During this decade the relative frequency of overcast sky decreased the most in the whole period under study: by total cloudiness on 6.4% and by lower cloudiness on 13.3%. At the same time, the relative frequency of semi-clear sky had largest increasing: on 22.4% for total cloudiness and 13% for lower cloudiness. Then, during 1991-2000, the frequency of clear sky decreased significantly both for total cloudiness (on 6.5%) and for lower cloudiness (on 3.1%). The frequency of overcast sky decreased also, but less significantly (on 1.3% and 2.3%, respectively), thereby the number of clouds of the middle and upper levels increased. From 2001 to 2010, the frequency of clear sky by total cloudiness and by lower cloudiness continued to decrease (on 5.3 and 3.2%, respectively), but the frequency of overcast sky increased (on 0.9 and 1.7%, respectively), thereby the number of clouds for all levels increased. During 2011-2018 the frequency of clear sky by total cloudiness increased (on 0.9%) and by lower cloudiness did not change. The frequency of overcast sky decreased on 3.6% (by total cloudiness) and on 0.7% (by lower cloudiness). The variations of the relative frequencies of the different state sky between the successive decades are agreed with the changes of the circulation indexes.

Keywords: circulation indexes, state of sky for total and lower cloudiness, main cloud forms, region, frequency.

Надійшла до редколегії 12.10.2020

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.9>

УДК 551.574.42

Пясецька С.І.

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України

ВІДКЛАДЕННЯ ПАМОРОЗІ КАТЕГОРІЇ НЯ (небезпечна) НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ПРОТЯГОМ СТАНДАРТНОЇ КЛІМАТОЛОГІЧНОЇ НОРМИ 1961-1990 рр. ТА ПО ЇЇ ОКРЕМИХ ДЕСЯТИРІЧЧЯХ

Для з'ясування особливостей просторово-часового розповсюдження відкладень паморозі категорії НЯ (небезпечна) протягом стандартної кліматологічної норми 1961-1990 рр. було проаналізовано матеріали спостережень за такими відкладеннями на стандартному ожеледному станку на усіх метеорологічних станціях України. Отримано просторово-часовий характер розповсюдження таких відкладень на території України по кожному з досліджуваних місяців холодного та окремих місяців перехідних сезонів року. Аналогічна робота була проведена для кожного окремого десятиріччя протягом загального тридцятирічного періоду дослідження. Виявлено роки та місяці коли таких видів ожеледо-паморозевих відкладень було найбільше, розраховано внесок кожного року та місяця у їх загальну кількість. Встановлено місця та регіони найбільшого прояву відкладень паморозі категорії НЯ на території України протягом стандартної кліматологічної норми 1961-1990 рр.

Ключові слова: відкладення паморозі категорії НЯ (небезпечна), стандартний ожеледний станок, розповсюдження відкладень паморозі категорії НЯ по території України.

Вступ. Відкладення паморозі (зернистої та/або кристалічної) відносяться до різновиду ожеледо-паморозевих явищ. Для території України відкладення паморозі як зернистої, так і кристалічної є поширеним явищем протягом місяців холодного періоду року, а також у місяці перехідних сезонів року, насамперед, у середині осені (жовтень) та весни (квітень). В окремі роки за сприятливих умов такі відкладення можуть зустрічатись у гірських місцевостях, навіть, у вересні та травні, проте – це трапляється рідко. Такі відкладення можуть сягати значних розмірів, особливо при їх тривалому утворенні та сприятливих умовах. Насамперед, це стосується відкладень зернистої паморозі або утворенні такого відкладення із поєднання зернистої та кристалічної видів паморозі. Загалом, відкладення паморозі можна віднести до несприятливих погодних явищ, які можуть перешкоджати виробничому процесу у ряді галузей економіки. У першу чергу, це стосується електроенергетики та ряду суміжних із нею виробництв, транспорту, який використовує електричну енергію для свого виробничого процесу, а також комунальне господарство, яке

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2021. № 1 (59)

також є погодозалежним. Здебільшого для паморозі властиві відкладення незначних розмірів, проте, в ряді випадків вони можуть сягати значних діаметрів та стати чинником для створення аварійних ситуацій. У випадку, якщо вони досягли діаметру 50 та більше міліметрів на дротах стандартного ожеледного станка, їх відносять до небезпечних метеорологічних явищ (НЯ).

Огляд стану дослідження питання. Початок систематичних досліджень видів та умов виникнення ожеледо-паморозевих відкладень розпочались у 30-х рр. XX сторіччя. Одним з таких досліджень є робота Б.П. Вайнберга «Снег, иней, град, лед и ледники»(1936) [1], де подано фізичні основи утворення ряду ожеледо-паморозевих відкладень. Ці дослідження для Європейської частини території колишнього СРСР, у тому числі дослідження та визначення характеристик фізичного стану ожеледо-паморозевих відкладень було продовжено Н. С. Муретовим (1945), В.В. Бургсдорфом (1947) та О.Г. Балабуєвим (1947). Останній на той час більш докладно та всебічно описав вплив рельєфу на розподіл окремих ожеледо-паморозевих відкладень. Докладні систематизовані дослідження ожеледо-паморозевих відкладень було започатковано у роботах Заморського А.Д. [4], який станом на 50-і рр. XX сторіччя найбільш докладно узагальнив та описав умови виникнення таких відкладень та навів приклади їх фізико-географічного розповсюдження по території колишнього СРСР. З накопиченням результатів спостережень на мережі метеостанцій такі дослідження було продовжено у роботах В.Е. Бучинського (1966) [2] та А.В. Рудневою (1961) [6]. Особлива увага при цьому приділялась не тільки самим ожеледо-паморозевим відкладенням, зокрема, і паморозі, а й їх територіальному розподілу, частоті повторюваності на окремих територіях. Для цього було використано результати досліджень О.М. Раєвського (1953, 1961, 1963), який виділив окремі типи рельєфу, що зумовили особливості просторового розповсюдження окремих видів наземного зледеніння. Було встановлено, що найбільш часто паморозь спостерігається на навітрених схилах височин Середнє-Руської, та Приволзької, височинах Прибалтики, а також на Донецькому та Тиманському кряжах та вододілах річок. Було встановлено значну мінливість таких відкладень по території навіть відносно однорідної за своїм складом. У 1971 р. накопичені матеріали та результати попередніх досліджень були викладені у монографії Е.П. Драневич [3]. У цій роботі було на ряду із визначеннями видів відкладень льоду, аналізом видів наземного зледеніння та матеріалами з районування північного заходу Європейської частини території СРСР відносно окремих видів ожеледо-паморозевих відкладень подано основи прогнозу відкладень ожеледі та паморозі в залежності від стану атмосфери та синоптичних умов, що складаються. Так, було встановлено, що для утворення зернистої паморозі необхідний осередок або гребінь тепла та вологи, а також передня межа фронтальної зони, яка спостерігається на карті АТ-850 Гпа (тилова частина улоговини холоду), де спостерігається підвищення температури повітря, що пов'язане з наближенням теплового фронту (наявність радіаційного охолодження у поверхні землі, інверсія або ізотермія, швидкість вітру у приземному шарі повітря 2-9 м/с, переважаюче баричне поле – гребені та улоговини, що переміщуються, теплі сектори циклонів). Для утворення кристалічної паморозі необхідні осередки та улоговини холоду на карті АТ-850 Гпа (радіаційне охолодження повітря або адвекція холоду при швидкостях вітру у землі 0-7 м/с). Крім того кристалічна паморозь може виникнути у малорухомих циклонічних областях, що заповнюються. При цьому найбільш сприятливими є низини та територія поблизу водойм.

На тепер для проведення стандартних спостережень на метеорологічних станціях, для узагальнення результатів спостережень, а також прогнозування окремих видів наземного зледеніння використовують ряд нормативних документів [5, 7-11], які регламентують проведення таких робіт. Для створення баз даних та опрацювання матеріалів спостережень за ожеледо-паморозевими відкладеннями, які проводяться на Державній мережі гідрометеорологічних спостережень використовують матеріали [9-11]. У цих «Настановах...» та «Роз'ясненнях...» подано критерії визначення стану безпеки ряду метеорологічних явищ, зокрема і ожеледо-паморозевих. Так, до небезпечних явищ (НЯ) відносять відкладення паморозі, які становили на дротах стандартного ожеледного станка 50 та більше міліметрів, причому з діаметра відкладення вилучено діаметр дроту (на стандартному ожеледному станку діаметр дроту становить 5 мм, за відсутності такого дроту в окремих випадках допускається діаметр 4 або 6 мм про що повідомляється у матеріалах

спостережень). Згідно до [11] такі відкладення паморозі відносять до МЯ I (до метеорологічних явищ I-III рівнів небезпеки відносять явища погоди, які по досягненню визначених критеріїв можуть становити загрозу для життя та здоров'я людини та впливати на функціонування господарського комплексу країни). Натепер для оформлення попереджень та оперативних інформацій щодо виникнення небезпечних та стихійних явищ погоди на території України використовують кольорове позначення загрози. Так, для відкладення паморозі категорії НЯ (МЯ I) використовують жовтий колір.

Мета, об'єкт та предмет дослідження. Зважаючи на істотні зміни, які останнім часом відбуваються у світовій кліматичній системі та зокрема на території України, а також їх прискорення у часі та набуття ними певних загроз для суспільства, актуальним є всебічне дослідження природних погодних явищ, які можуть представляти небезпеку для господарської діяльності, зокрема і ожеледо-паморозеві явища. Нажаль протягом останнього часу незважаючи на збільшення кількості небезпечних явищ, у тому числі і у холодний період року, дослідженню ожеледо-паморозевих явищ приділено дуже мало уваги. Окремі явища, такі як відкладення паморозі категорії НЯ, взагалі випали із поля зору дослідників. Для встановлення повної картини виникнення та розповсюдження ожеледо-паморозевих відкладень на території України, особливо небезпечних та стихійних, необхідно якомога детальніше дослідити їх протягом останніх 60 років для можливості визначити їх можливе розповсюдження та динаміку у майбутньому. Тому *метою* даного дослідження є вивчення розподілу відкладень паморозі категорії НЯ на території України протягом 1961-1990 рр., тобто кліматологічної стандартної норми. *Об'єктом* дослідження стало випадки відкладень паморозі категорії НЯ, а *предметом* - їх розповсюдження на території України протягом місяців та років цього 30-и річчя.

Характеристика використаного матеріалу. Для дослідження було використано матеріали спостережень за ожеледо-паморозевими явищами на стандартному ожеледному станку на усіх метеорологічних станціях (МС) України протягом 7 місяців – січня, лютого, березня, квітня, жовтня, листопада та грудня протягом 1961-1990 рр. Ці матеріали розміщені у відповідних таблицях Метеорологічних щомісячників (Вип. 10 (Україна), Ч.ІІ), які знаходяться у Державному галузевому архіві (ГДА) Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського (ЦГО) у м. Києві, яка підпорядковується ДСНС України

Виклад основного матеріалу дослідження. Виклад основних результатів проведеного дослідження подано у 2-х розділах – I. «Відкладення паморозі категорії НЯ на території України протягом стандартної кліматологічної норми 1961-1990 рр.» та II «Відкладення паморозі категорії НЯ по окремих десятиріччях періоду 1961-1990 рр. »

I. Відкладення паморозі категорії НЯ на території України протягом стандартної кліматологічної норми 1961-1990 рр. Відкладення паморозі категорії НЯ на території України протягом місяців холодного періоду року 1961-1990 рр. (стандартної кліматологічної норми) зустрічались доволі часто, особливо у січні, лютому та грудні. Відповідно їх повторюваність у ці місяці становила 30,0; 18,2 та 25,7 % від загальної кількості за 7 досліджуваних місяців (I-IV, X-XII) цього періоду. Повторюваність у решті місяців була значно менша. Так, у березні вона становила 7,3 % від загалу, у квітні 4,9 %, жовтні 2,0 %. З листопада кількість таких випадків і їх повторюваність зростала і становила 11,9 % (рис. 1 а). Загалом внесок областей у загальну кількість випадків відкладень паморозі категорії НЯ, враховуючи усі 7 досліджуваних місяців становив при наявності на їх території випадків таких відкладень щонайменше 0,3 % (1 випадок за 7 місяців протягом 30 років), проте враховуючи те, що можливість виникнення таких випадків могла бути більшою, відповідно і внесок збільшувався. Так, при кількості 2-х випадків внесок становив 0,7 %, 3-х -1,0 %, 4-х – 1,3 %, 5-и – 1,7 %, 6-и – 2,0 %. При значній кількості таких випадків внесок істотно зростав і становив для найбільшої кількості випадків на Закарпатті 63,7 % при загальній кількості 193 випадки та 23,1 % для АР Крим при загальній їх кількості у 70 випадків, що ілюструє табл.1 та графічно представляє (рис. 2 а).

Особливості розповсюдження таких відкладень паморозі протягом окремих місяців та років досліджуваного періоду мали свої характерні відмінності.

Так, у **січні** періоду стандартної кліматологічної норми 1961-1990 рр. випадки таких відкладень спостерігались майже кожного року за виключенням 1965 р., коли їх не було.

Загалом за цей період було встановлено 91 випадок таких відкладень, які спостерігались на 25 станціях України у 15 областях. Серед окремих років періоду 1961-1990 рр. за кількістю відкладень паморозі категорії НЯ виділяється 1964 р. на який припадає 25,3 % від загалу за цей місяць (рис. 3). Найбільше усього випадків таких відкладень спостерігалось на Закарпатті 40, що становило 44,0 % випадків та у АР Крим 25 – відповідно 27,5 %.

У інших регіонах кількість таких випадків була значно меншою і становила від 1 (1,1 %) до 4 (4,4 %). На території 10 областей, таких як Волинська, Житомирська, Львівська, Тернопільська, Чернівецька, Луганська, Донецька, Дніпропетровська, Запорізька та Херсонська, випадків відкладень паморозі категорії НЯ не спостерігалось взагалі. Відносно кількості метеорологічних станцій (МС), які спостерігали такі відкладення можна сказати, що їх кількість на території окремих областей коливалась від 1 до 3. Так на Рівненщині протягом цього періоду було 2 станції, які спостерігали такі відкладення (Рівне, Дубно). Також по 2 станції з ними було на Черкащині (Умань, Жашків), Київщині (Яготин, Миронівка), Харківщині (Богодухів, Красноград). На території таких областей як Кіровоградська та Полтавська такі відкладення спостерігались на 3 станціях у кожній з цих областей. Так, на Кіровоградщині відкладення паморозі категорії НЯ спостерігались у Кропивницькому, Помічній та Бобринці, а на Полтавщині у Лубнах, Полтаві та Гадячі. За кількістю випадків відкладення паморозі категорії НЯ особливим чином виділяються такі метеорологічні станції як Ай-Петрі (АР Крим) на яку припадає 27,5 % випадків за цей місяць протягом 1961-1990 рр., а також Плай (Закарпатська область) внесок якої становить 44,0 % випадків від загалу за цей місяць (табл. 1).

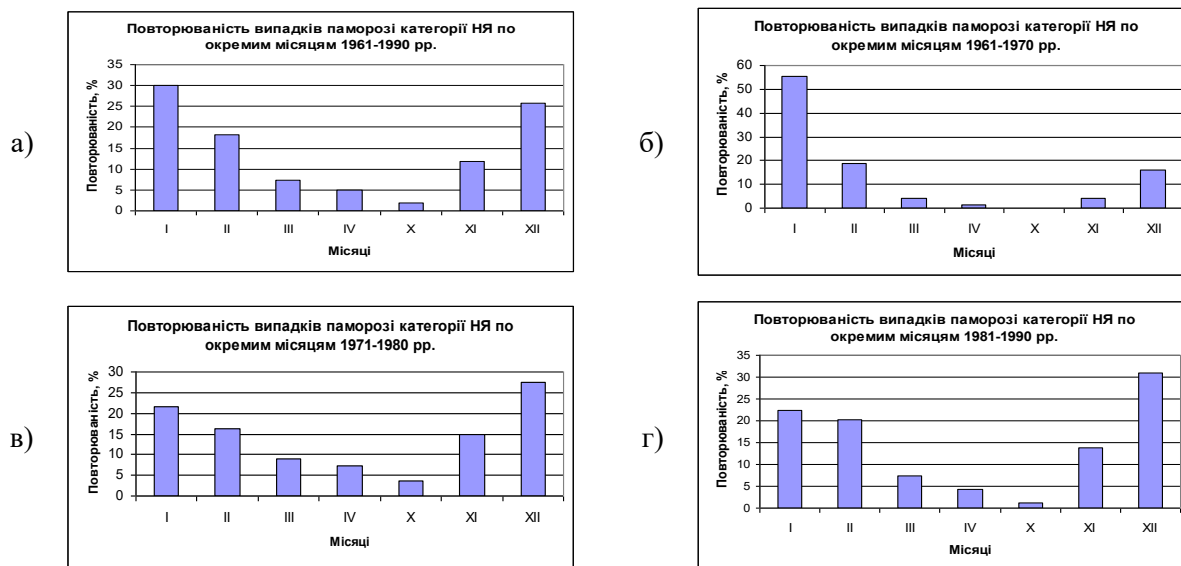


Рис. 1 Повторюваність випадків відкладень паморозі категорії НЯ в місяці за 1961-1990 рр.- (а) та окремі десятирічні періоди: 1961-1970 рр. (б); 1971-1980 рр. (в); 1981-1990 рр. (г).

У лютому випадки відкладень паморозі категорії НЯ на території України спостерігались майже кожного року за виключенням 5 років: 1962, 1964, 1978, 1983 та 1986 рр. Загалом протягом періоду їх було 55 і спостерігались вони на 6 метеостанціях. Територіально по областях такі випадки відкладень паморозі спостерігались у 6 областях - на Львівщині, Івано-Франківщині, Кіровоградщині, Запоріжжі, а також на Закарпатті та у АР Крим. На території цих областей здебільшого спостерігались по 1-2 випадки, що становило 1,8 - 3,6 %. Проте на Закарпатті та у АР Крим таких випадків було 35 та 15 випадків, що склало 63,6 та 27,3 % відповідно. На території решти 19 областей такі відкладення паморозі категорії НЯ не спостерігались. По окремих роках досліджуваного періоду кількість випадків паморозі категорії НЯ становили здебільшого 1 – 2 (3), але у 1973, 1977, 1979 та 1988 рр. кількість таких відкладень становила 4 випадки, що відповідно позначилось на їх повторюваності (рис. 3). Щодо окремих станцій, то можна сказати, що на території вищезгаданих областей такі відкладення спостерігались лише на 1 станції у кожній з них. Але кількість випадків на них була істотно різною. За кількістю таких випадків виділяється

Ай-Петрі (АР Крим), що становить 27,3 % від загалу за цей місяць протягом 1961-1990 рр. та Плай (Закарпатська область) – 63,6 % від загалу.

Протягом **березня** 1961-1990 рр. відкладень паморозі категорії НЯ було 22 випадки. Усі вони спостерігались у 2-х областях – Закарпатській та АР Крим на 2 станціях – Плай та Ай-Петрі відповідно (табл. 1). По окремих роках досліджуваного періоду вони спостерігались у 16 роках з 30 років стандартної кліматологічної норми – 1961, 1970-1973, 1975-1978, 1980-1984, 1986, 1987 р. У решті 14 роках такі відкладення паморозі категорії НЯ на території України не спостерігались. Здебільшого кількість випадків по окремих роках становила 1-2 випадки, але у 1973 (МС Ай-Петрі) та 1978 рр. (МС Плай) рр. їх кількість становила 3 випадки, що становило 13,6 % від загалу у кожному з цих років (рис. 3). Загалом за кількістю таких випадків переважає МС Плай – 12 випадків, що становить 54,5 % від загалу за березень протягом досліджуваного періоду, а на МС Ай-Петрі припало 10 випадків, або 45,5 % від загалу за березень 1961-1990 рр.

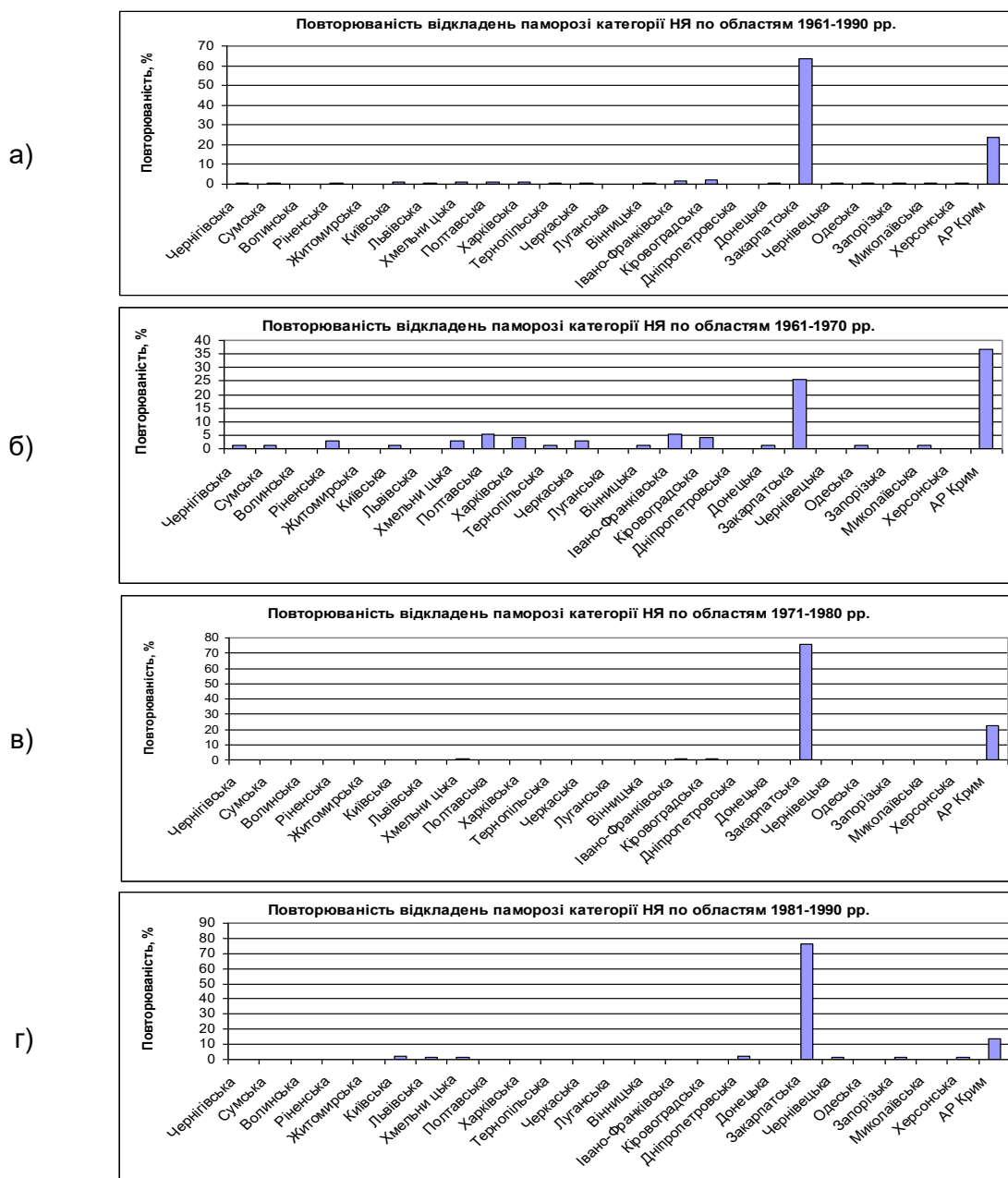


Рис. 2. Повторюваність випадків відкладень паморозі категорії НЯ по областях України за 1961-1990 рр. (а) та по окремих десятиріччях цього періоду: 1961-1970 рр. (б); 1971-1980 рр. (в); 1981-1990 рр. (г).

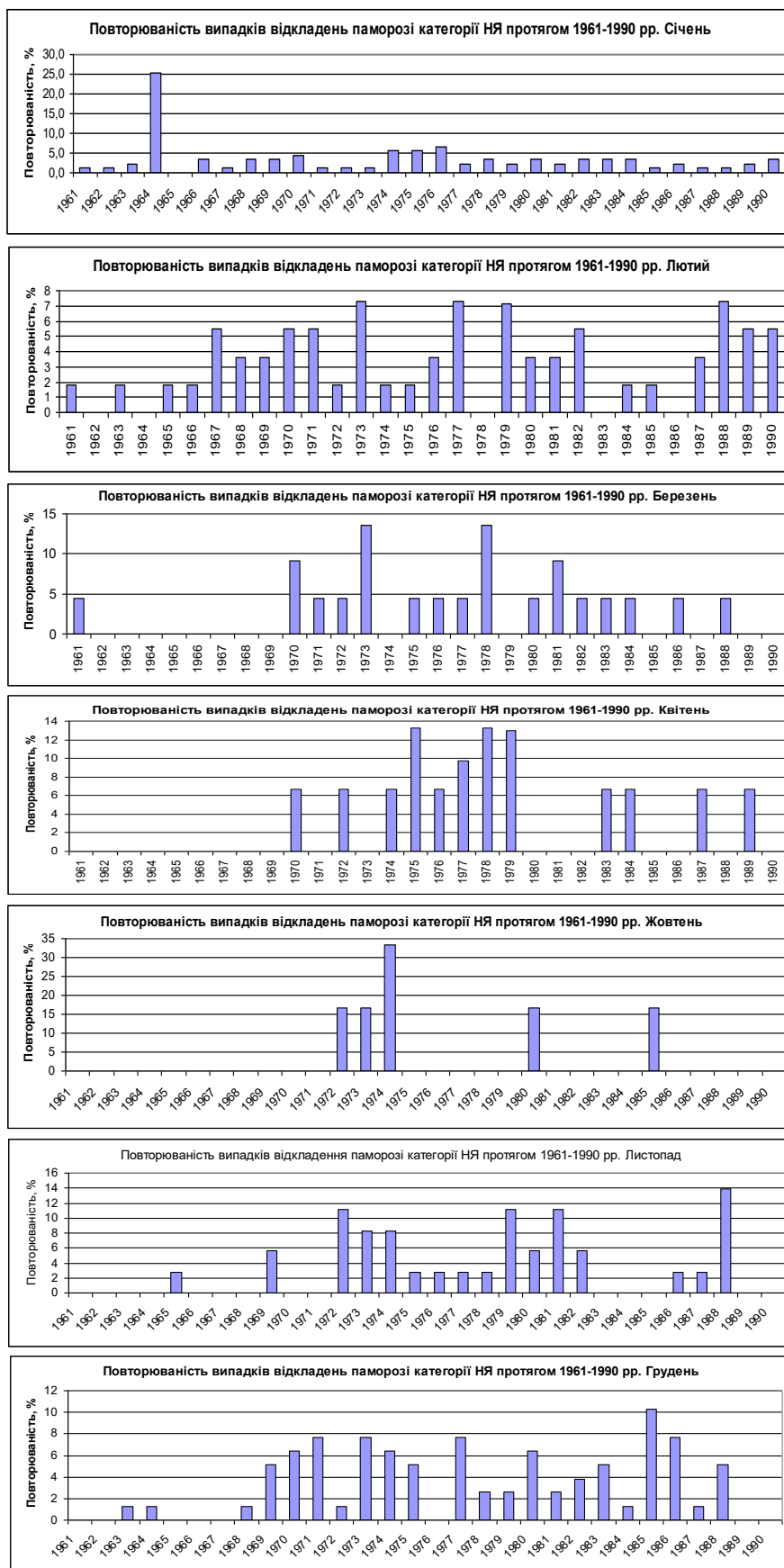


Рис. 3. Повторюваність випадків відкладення паморозі категорії НЯ у окремі місяці протягом років періоду 1961-1990 рр.

Таблиця 1. Повторюваність (%) випадків відкладення паморозі категорії НЯ по окремих областях у місяці холодного та перехідних сезонів року періоду року 1961-1990 рр.

Область	Місяці														Усього	Повторюваність, %
	I	%	II	%	III	%	IV	%	X	%	XI	%	XII	%		
Чернігівська	1	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,3
Сумська	1	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,3
Волинська	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Рівненська	2	2,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0,7
Житомирська	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Київська	2	2,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,3	3	1,0
Львівська	-	-	1	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,3	1	0,3
Хмельницька	3	3,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1,3
Полтавська	4	4,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1,3
Харківська	2	2,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,3	3	1,0
Тернопільська	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,3	1	0,3
Черкаська	2	2,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0,7
Луганська	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Вінницька	1	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,3
Івано-Франківська	3	3,3	2	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1,7
Кіровоградська	3	3,3	1	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2,6	6	2,0
Дніпропетровська	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Донецька	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,3	1	0,3
Закарпатська	40	44	35	63,6	12	54,5	13	86,7	6	100	31	86,1	56	71,8	193	63,7
Чернівецька	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2,8	-	-	1	0,3
Одеська	1	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,3
Запорізька	-	-	1	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,3
Миколаївська	1	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,3
Херсонська	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,3	1	0,3
АР Крим	25	27,5	15	27,3	10	45,5	2	13,3	-	-	4	11,1	14	17,9	70	23,1
Усього	91	30,0	55	18,2	22	7,3	15	4,9	6	2	36	11,9	78	25,7	303	100

У **квітні** так само як і у березні, відкладення паморозі категорії НЯ спостерігались лише на території 2-х областей, а саме у АР Крим та на Закарпатті відповідно на МС Ай-Петрі та МС Плай (табл.1). Загалом таких випадків на території України було 15. Найбільш часто відкладення паморозі категорії НЯ спостерігались на МС Плай (13 випадків), що становило 86,7 % від загалу протягом квітня за період 1961-1990 рр., а на Ай-Петрі 2 випадки, або 13,3 %. По окремих роках досліджуваного періоду вони спостерігались у 12 роках з 30 - 1970, 1972, 1974-1979, 1983, 1984, 1987, 1989 рр. У решті 18 роках такі відкладення не спостерігались. У роках, коли відкладення паморозі категорії НЯ спостерігались було по 1 випадку на одній з вищезгаданих станцій, що становило 6,7 % від загалу, але у 1975, 1978 та 1979 рр. таких випадків було по 2 у кожному з них, що становило 13,3 % (рис. 3). У 1975 та 1978 рр. по 2 випадки відкладень паморозі категорії НЯ спостерігалось виключно на МС Плай, а у квітні 1979 р. випадки таких відкладень спостерігались як на МС Плай так і на МС Ай-Петрі по 1 на кожній з цих станцій.

У **жовтні** 1961-1990 рр. розподіл відкладень паморозі категорії НЯ виявився таким, що ці відкладення спостерігались лише на території Закарпатської області на МС Плай загальною кількістю 6 випадків за 30 років (табл.1). Вони спостерігались лише у окремі роки, а саме у 5 роках досліджуваного періоду: 1972-1974, 1980 та 1985 рр. (рис. 3) Їх повторюваність була незначною, здебільшого по 1 (16,7 %) випадку у вищезгадані роки, проте встановлено, що у 1974 р. таких випадків було 2, що відповідно становить 33,3 % від загалу за цей місяць протягом 1961-1990 рр.

У **листопаді** протягом цього періоду зареєстровано 36 випадків відкладень паморозі

категорії НЯ, які спостерігались у 3-х областях – на Закарпатті, Чернівецькій області та у АР Крим (табл.1), за даними 4 станцій – Плай та Нижні Ворота на Закарпатті, Чернівці у Чернівецькій області та Ай-Петрі у АР Крим.

Відкладення паморозі категорії НЯ спостерігались протягом цього часу не кожного року, а лише у 16 роках з загальних 30. Такі відкладення, враховуючи окремі роки, спостерігались у 1965, 1969, 1972-1982, 1986-1988 рр. у решті 14 років таких відкладень паморозі категорії НЯ не спостерігалось (рис. 3). Здебільшого протягом окремих років цього періоду кількість подібних випадків була 1-2 (3), що становило 2,8-8,3 % від загалу, але у 1972 та 1979 рр. таких випадків на Україні було 4, що становило 11,1 % у вищезгадані роки, а у 1988 р. навіть 5, тобто 13,9 % від загалу. Внесок кожної з областей які спостерігали на своїй території такі відкладення відповідно становив для Закарпатської області - 86,1 %, Чернівецької – 2,8 %, а для АР Крим – 11,1 %. Розглядаючи територіальну диференціацію відкладень паморозі категорії НЯ на окремих територіях можна сказати, що найбільше випадків таких відкладень спостерігалось на МС Плай – 30 випадків, що становило 83,3 % від загалу, На МС Ай-Петрі спостерігалось 4 таких випадків - 11,1 %, та по 1 випадку на МС Нижні Ворота та Чернівці, що відповідно становило по 2,8 % для кожної станції від загалу.

Протягом **грудня** спостерігалось 78 випадків відкладень паморозі категорії НЯ на території України (табл.1). Таку кількість випадків можна співставити з їх кількістю протягом січня цього періоду. Вони спостерігались у 22 роках досліджуваного періоду з загальних 30, а саме у 1963, 1964, 1968-1975, 1977-1988 рр. (рис. 3). У решті 8 років такі відкладення на території України не спостерігались. Територіально вони спостерігались на 10 станціях у 9 областях – Закарпатській (Плай), Тернопільській (Чортків), Хмельницькій (Ямпіль), Київській (Бориспіль), Донецькій (Волноваха), Кіровоградській (Кропивницькій, Долинська), Харківській (Коломак), Херсонській (Нижні Сірогози) та АР Крим (Ай-Петрі). Здебільшого по роках цього періоду ці випадки були не численні та становили 1-3 випадки, проте у окремі роки їх виявилось більше. Так, у 1969, 1975, 1983, 1988 рр. таких випадків було по 4 у кожному з цих років, що становило 5,1 % від загалу. У 1970, 1974, 1980 рр. випадків відкладень паморозі категорії НЯ було 5 у кожному з цих років (6,4 %), у 1971, 1973, 1977, 1986 рр. спостерігалось по 6 випадків (7,7 %). Найбільше таких випадків спостерігалось у 1985 р. – їх було 8 (10,3 %). Територіально по областях їх кількість та повторюваність від загалу була різною. Так, на територіях таких областей, як Київська, Хмельницька, Харківська, Тернопільська, Донецька та Херсонська спостерігалось по 1 випадку таких відкладень, що становило 1,3 % від загалу за цей місяць. У Кіровоградській області було зафіксовано 2 таких випадки, або 2,6 %; у АР Крим – 14 випадків, відповідно 17,9 %. Проте найбільше таких випадків спостерігалось на Закарпатті на МС Плай, що становило 56 випадків, або 71,8 %. По окремих станціях найбільше таких відкладень спостерігалось на МС Ай-Петрі та МС Плай, відповідно 14 та 56 випадків, або 17,9 та 71,8 % (табл.1).

II. Відкладення паморозі категорії НЯ по окремих десятиріччях періоду 1961-1990 рр. Науковий та практичний інтерес представляє дослідження загального періоду стандартної кліматичної норми 1961-1990 рр. по її окремим десятиріччям 1961-1970 рр., 1971-1980 рр., 1981-1990 рр. для виявлення особливостей виникнення та частоти повторюваності таких відкладень на території України протягом окремих часових інтервалів цього 30-и річчя.

Період 1961-1970 рр. По окремих місяцях цього періоду найбільша кількість таких випадків відкладень спостерігалась у січні - 55,4 %, лютому - 18,9 % та грудні - 16,2 %. У інші місяці – березень, квітень та листопад вони були поодинокі, що становило 1,4 – 4,4 % від загалу. У жовтні цього періоду таких випадків відкладень паморозі категорії НЯ на території України не спостерігалось (рис. 1 б). Загалом за цей період спостерігалось 74 випадки відкладень паморозі категорії НЯ, що становило 24,4 % від їх кількості за увесь період стандартної кліматологічної норми 1961-1990 рр. Протягом цього десятиріччя разом за усі досліджувані місяці такі відкладення спостерігались на території 17 областей. По окремих областях протягом цього періоду внесок кожної з них був дуже неоднорідним у їх загальну кількість за вищезгадане десятиріччя. Здебільшого він коливався від 1,4 до 2,7 % при кількості 1- 2 випадки. В таких областях, як Полтавська та Івано-Франківська він становив 5,4 % при кількості 4 випадки, а для Закарпаття та АР Крим він відповідно становив 25,7 % та 36,5 % при кількості випадків відповідно 19 та 27 випадків (рис. 2 б).

Рисунок 4 а ілюструє повторюваність випадків відкладень паморозі категорії НЯ по окремих територіальних одиницях України протягом 1961-1990 рр.

Січень. Загалом у цьому місяці протягом першого десятиріччя кліматологічної стандартної норми спостерігався 41 випадок відкладень категорії НЯ, які спостерігались майже кожного року за виключенням 1965 р. За кількістю випадків таких відкладень виділяється 1964 р. на який припало 56,1 % від загалу випадків відкладень паморозі категорії НЯ за 1961-1970 рр. Вони реєструвались на 25 метеорологічних станціях (МС) на території 15 областей України. Так вони спостерігались у Чернігівській, Сумській, Рівненській, Київській, Хмельницькій, Полтавській, Харківській, Черкаській, Вінницькій, Закарпатській, Івано-Франківській. Кіровоградській, Одеській, Миколаївській та АР Крим. Найбільша кількість станцій, які спостерігали такі відкладення знаходилась на території Полтавської (Лубни, Полтава, Гадяч) та Кіровоградської (Кропивницький, Помічна, Бобринець) областей по 3 на кожній з них відповідно. По 2 станції з такими відкладеннями були розташовані на території 5 областей - Рівненської (Рівне, Дубно), Хмельницької (Шепетівка, Ямпіль), Черкаської (Умань, Жашків), Харківської (Богодухів, Красноград), Івано-Франківської (Долина, Пожежевська). Внесок областей за кількістю випадків із такими відкладеннями дуже різнився і за територією. Здебільшого він коливався від 2,4 % (1 випадок) до 7,3 % (3 випадки), іноді 9,8 % (4 випадки) у Полтавській та Закарпатській областях, але найбільше у АР Крим – 31,7 % (13 випадків). За кількістю випадків відкладень паморозі категорії НЯ виділяються станції Ай-Петрі (АР Крим) - 13 випадків та Плай (Закарпаття) – 4 випадки. Серед років періоду особливим чином виділяється 1964 р., коли на території України спостерігалось 23 випадки відкладень паморозі категорії НЯ, що становило 56,1 % від загалу у цей місяць за десятиріччя (рис. 4 а).

Лютий. Протягом цього десятиріччя спостерігалось 14 випадків таких відкладень, що становило 18,9 % від загальної кількості за десятиріччя. Вони не спостерігались на території України лише у 1962 та 1964 рр. Випадки відкладень паморозі категорії НЯ спостерігались у 3-х областях – Івано-Франківській (Пожежевська), Закарпатській (Плай) та АР Крим (Ай-Петрі). Найбільша їх кількість спостерігалась у АР Крим на МС Ай-Петрі та на Закарпатті МС Плай. Саме на ці області та станції припадає найбільша повторюваність відповідно 57,1 та 35,7 % від загальної кількості таких випадків за цей місяць. Враховуючи окремі роки найбільша кількість випадків відкладень паморозі категорії НЯ спостерігалась у 1967 та 1970 рр. і становила по 3 випадки у кожному з них або по 21,4 %. (рис. 4 а).

Березень. У цей час випадки відкладень паморозі категорії НЯ спостерігались лише у АР Крим на МС Ай-Петрі у 1961 та 1970 рр., загальною кількістю 3 випадки, що становить 4,1 % від загалу за період першого десятиріччя кліматологічної стандартної норми 1961-1990 рр. По роках десятиріччя найбільша їх кількість спостерігалась у 1970 р. що становило 2 випадки, або 66,7 % від загальної кількості за цей період (рис. 4 а).

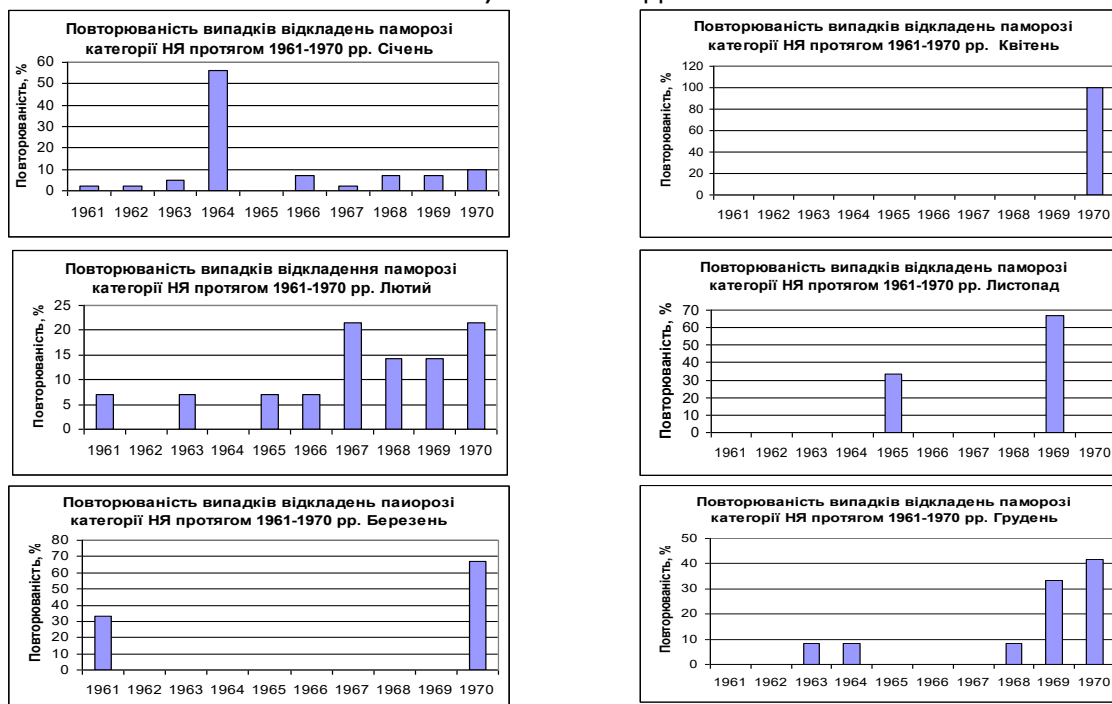
Квітень. У квітні протягом цього десятиріччя спостерігався лише 1 випадок за десятиріччя. Він відмічався на МС Плай (Закарпаття) у 1970 р. Таким чином, у 100,0 % такі відкладення спостерігались на Закарпатті.

Жовтень. Протягом досліджуваного десятиріччя відкладень паморозі категорії НЯ на території України не спостерігалось.

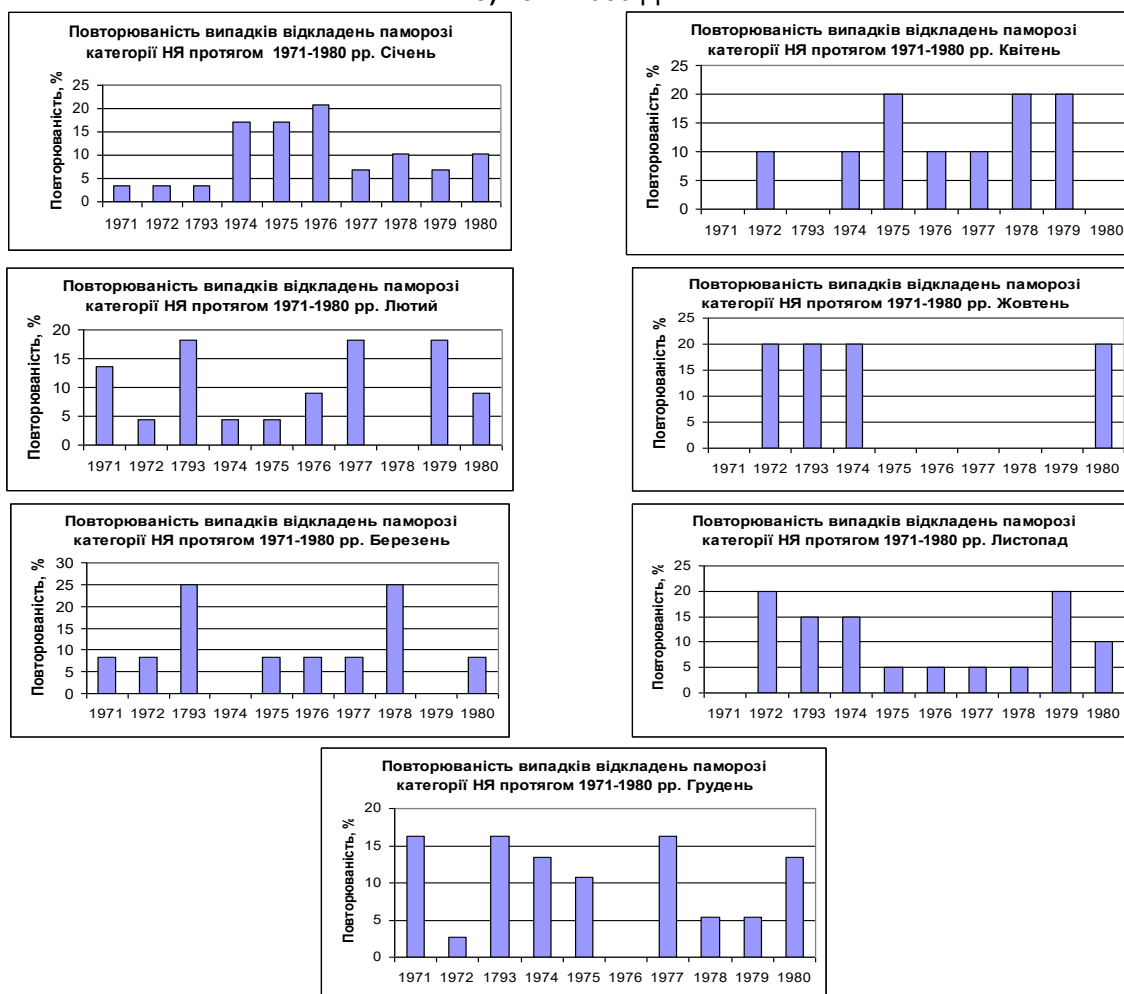
Листопад. Протягом цього періоду спостерігалось 3 випадки таких відкладень що становило 4,1 % від загалу за досліджуване десятиріччя та спостерігались 1965 та 1969 рр. у 2-х областях - Закарпатській на МС Плай та АР Крим (Ай-Петрі). На МС Плай спостерігалось 2 випадки з 3-х у 1969 р., що становило 66,7 % від загалу у цьому місяці протягом десятиріччя 1961-1970 рр. (рис. 4 а).

Грудень. Загальна кількість випадків відкладення паморозі категорії НЯ цього місяця протягом 1961-1970 рр. склала 12 випадків, що становило 16,2 % від загалу таких випадків за це десятиріччя. Вони спостерігались у 1963, 1964, 1968-1970 рр. на 5 станціях у 5 областях України – Тернопільській (Чортків), Харківській (Коломак), Донецькій (Волноваха), Закарпатській (Плай) та АР Крим (Ай-Петрі). Враховуючи окремі роки найбільша повторюваність випадків відкладень паморозі категорії НЯ спостерігалась у 1969 та 1970 рр. відповідно 3 (33,3 %) та 4 (41,7 %) на МС Плай. Загалом на Закарпатську область та МС Плай припало 58,3 % таких випадків від загалу у цьому місяці протягом першого десятиріччя стандартної кліматологічної норми (рис. 4 а).

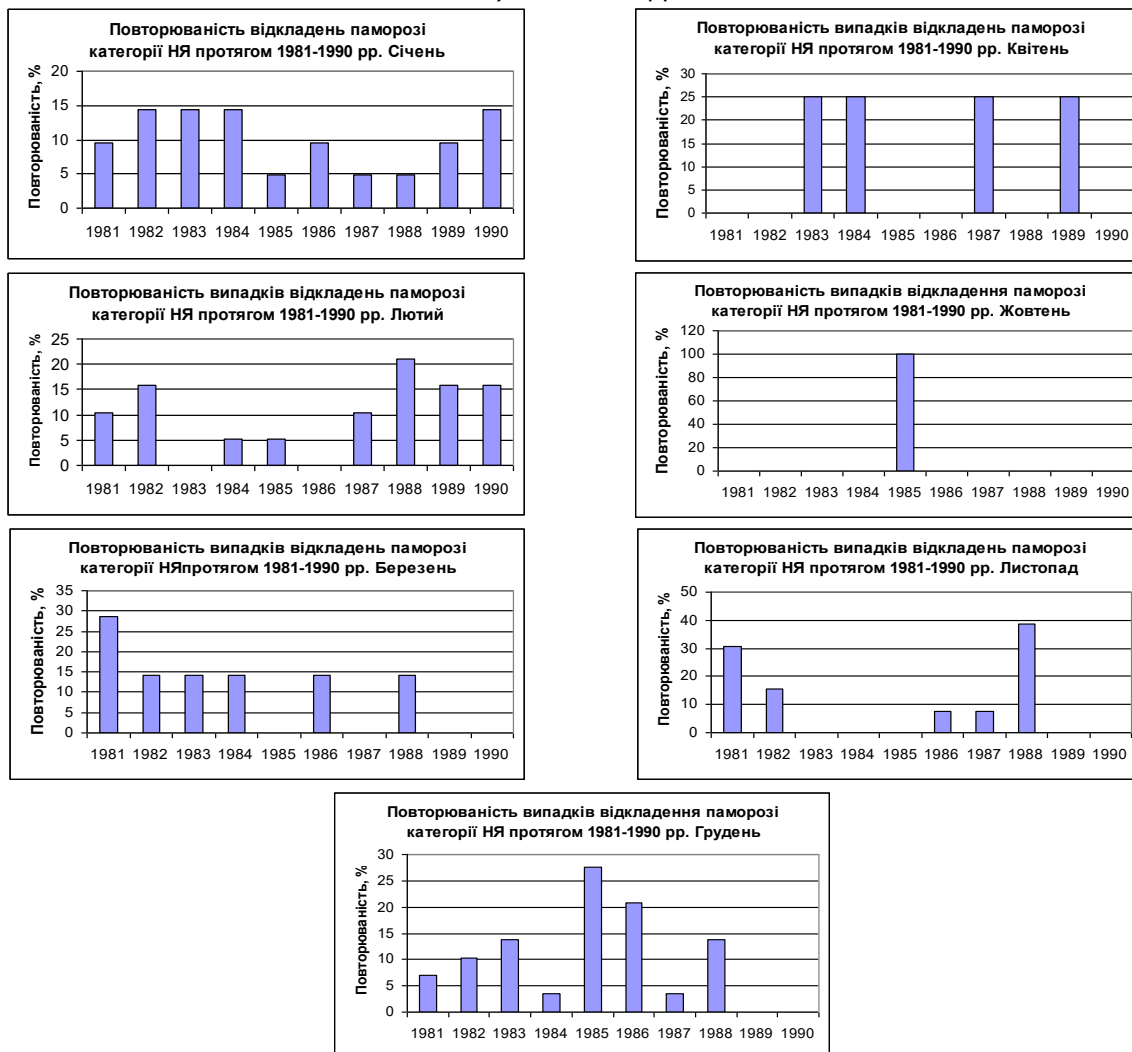
а) 1961-1970 рр.



б) 1971-1980 рр.



в) 1981-1990 рр.



Примітка. У жовтні 1961-1970 рр. випадків відкладень паморозі категорії НЯ не спостерігалось.

Рис. 4 Повторюваність випадків відкладень паморозі категорії НЯ на території України по роках окремих десятиріч періоду 1961-1990 рр. (а) - 1961-1970 рр., б) – 1971-1980 рр., в) – 1981-1990 рр.)

Період 1971-1980 рр. Протягом цього десятиріччя було встановлено 135 випадків відкладення паморозі категорії НЯ на території України. Вони спостерігались на території 5 областей – Хмельницької, Івано-Франківської, Кіровоградської, Закарпатської та АР Крим. Загальна кількість таких випадків протягом другого десятиріччя стандартної кліматологічної норми майже у двічі більша ніж у попередньому десятиріччі 1961-1970 рр. Це становило 44,6 % від загальної кількості таких випадків за увесь 30-и річний період. За кількістю випадків переважали січень (21,5 %), лютий (16,3 %) та грудень (27,4 %). Більше ніж на 10,0 % збільшився внесок листопада порівняно із першим десятиріччям (14,8 %) (рис. 1 в)

По окремих областях за цей період найбільший внесок мала Закарпатська область - 102 випадки або 75,6 % від загалу за це десятиріччя, а також АР Крим – 30 випадків, або 22,2 %. У 3-х інших областях спостерігалось по 1 випадку відкладень паморозі категорії НЯ що склало 0,7 % від загальної кількості таких випадків у десятиріччі (рис. 2 в). Розподіл кількості випадків відкладень паморозі категорії НЯ по окремих областях цього періоду представлено на рисунку. 4 б.

Січень. За цей місяць протягом 1970-1980 рр. спостерігалось 29 випадків таких відкладень, або 21,5 % від загалу за друге десятиріччя. Такі відкладення спостерігались кожного року на території 3-х областей на 3-х станціях – на Хмельниччині (Ямпіль),

Закарпатті (Плай) та у АР Крим (Ай-Петрі). По окремих роках цього десятиріччя найбільша кількість відкладень паморозі категорії НЯ спостерігалось у 1974, 1975 та 1976 рр. У 1974, 1975 рр. їх кількість складала 5 випадків у кожному з них, а у 1976 р – 6 випадків, що відповідно становило відповідно по 17,2/17,2 % та 20,7 5 від загалу за десятиріччя 1971-1980 рр. По областях найбільша кількість таких випадків спостерігалась на Закарпатті на МС Плай – 22 випадки або 75,9 % та у АР Крим (Ай-Петрі) – 6 випадків або 20,7 %. У Ямполі (Хмельницька область) спостерігався лише 1 випадок таких відкладень (рис. 4 б).

Лютий. Протягом лютого 1971-1980 рр. спостерігалось 22 випадки відкладень паморозі категорії НЯ на території України майже у кожному році періоду за виключенням 1978 р. на території 4 областей на 4 станціях – Івано-Франківщині (Пожежевська), Закарпатті (Плай), Кіровоградщині (Долинська) та у АР Крим (Ай-Петрі). Найбільша кількість таких відкладень спостерігалась на Закарпатті (МС Плай) – 16 випадків, що становило 72,7 % від загалу за цей місяць протягом другого десятиріччя кліматологічної стандартної норми. По окремих роках найбільша кількість відкладень спостерігалась у 1973, 1977, 1979 рр. по 4 випадки у кожному з цих років, або по 18,2 % від загалу за цей період часу у лютому.

Березень. У цьому місяці протягом 1971-1980 рр. відкладення паморозі категорії НЯ спостерігались у більшості років періоду за виключенням 1974, 1979 рр. у 2-х областях – на Закарпатті (МС Плай) та у АР Крим (Ай-Петрі) загальною кількістю 12 випадків, або 8,9 % від їх кількості за десятиріччя. По окремих роках за кількістю випадків таких відкладень виділяються 1973 та 1978 р. на які припало по 3 випадки, тоді як у інші роки такі випадки були поодинокі (по 1 випадку).

Квітень. У квітні так само як і у березні випадки відкладень паморозі категорії НЯ спостерігались лише на Закарпатті (Плай) та у АР Крим (Ай-Петрі). Вони спостерігались у 7 роках з 10 і не спостерігались лише у 1971, 1973 та 1980 рр. Їх загальна кількість складала 10 випадків, що становило 7,4 % від загалу за десятиріччя 1971-1980 рр. Здебільшого по окремих роках вони були поодинокі, проте у 1975, 1978 та 1979 рр. їх було по 2 випадки у кожному з цих років (рис. 4 б). Територіально їх найбільше було у Закарпатті на МС Плай – 8 випадків, або 80,0 % від загалу за цей місяць протягом досліджуваного десятиріччя.

Жовтень. У цьому місяці такі відкладення спостерігались лише на Закарпатті на МС Плай у 1972-1974 та 1980 рр. загальною кількістю 5 випадків. Здебільшого вони були поодинокі, і тільки у 1974 р. їх на станції було 2.

Листопад. У листопаді випадки відкладень паморозі категорії НЯ спостерігались лише у 2-х регіонах – на Закарпатті (МС Плай, Нижні Ворота) та у АР Крим (Ай-Петрі) загальною кількістю 20 випадків, або 14,8 % від загалу. Вони спостерігались майже у кожному з років цього десятиріччя за виключенням 1971 р. Здебільшого вони спостерігались на МС Плай – 16 випадків, 1 випадок на МС Нижні Ворота та 3 на Ай-Петрі. На Закарпатську область припадає 85,0 % випадків відкладень паморозі категорії НЯ від загалу за цей місяць десятиріччя 1971-1980 рр.

Грудень. Так само, як і більшості до досліджуваних місяців відкладення паморозі категорії НЯ спостерігались переважно у 2-х регіонах – на Закарпатті (Плай) та у АР Крим (Ай-Петрі). Таких випадків за це десятиріччя було зареєстровано 37 випадків, що становило 27,4 % від загалу їх кількості за цей період. Вони мали місце кожного року за виключенням 1976 р. По окремих роках цього періоду найбільша кількість таких випадків спостерігалась у 1973, 1974, 1977 та 1980 рр. що становило 6,4-7,7 % від загалу за грудень цього десятиріччя (рис. 4 б). Переважна кількість випадків належить МС Плай та Закарпатській області - 28 випадків, або 75,7 %, а 9 випадків, або 24,3 % належить АР Крим (Ай-Петрі).

Період 1981-1990 рр. За увесь період 1981-1990 рр. на території України було встановлено 94 випадки відкладень паморозі категорії НЯ, що становило 31,0 % від загальної кількості за увесь 30-и річний досліджуваний період з урахуванням усіх місяців, коли такі відкладення спостерігались, що дещо менше ніж у попереднє десятиріччя. Ці відкладення спостерігались на території 9 областей на 10 станціях – Закарпатської (Плай), Львівської (Яворів), Запорізької (Пришиб), Чернівецької (Чернівці), Хмельницькій (Ямпіль), Київської (Бориспіль), Кіровоградській (Кіровоград, Долинська), Херсонській (Нижні Сірогози), АР Крим (Ай-Петрі). По окремих місяцях досліджуваного періоду розподіл кількості випадків був наступним на січень припало 21 випадок (22,3 % від загалу), лютому (20,2 %), 13 (13,8 %) та грудні 29 (30,9 %) (рис. 1 г). У березні, квітні та жовтні такі випадки

були поодинокі, тому і внесок у загальну і кількість незначний від 1,1 % у жовтні до 7,4 % у березні. Зважаючи на розподіл кількості випадків відкладення паморозі категорії НЯ по областях, можна сказати, що за увесь цей десятирічний період найбільший внесок у загальну кількість таких випадків належить Закарпаттю та МС Плай – 76,6 %, а також АР Крим (Ай-Петрі) – 13,8 % (рис. 2 г).

Січень. У січні цього періоду спостерігався 21 випадок відкладень паморозі категорії НЯ на території України. Вони спостерігались у 3-х областях на 3-х станціях – АР Крим (Ай-Петрі), Закарпатті (Плай), Київщині (Миронівка). Найбільша кількість випадків таких відкладень спостерігалась на МС Плай (Закарпаття), що становило 14 випадків, або 66,7 % від загалу. Ще 6 випадків спостерігалось на Ай-Петрі, або 28,6 %. За кількістю випадків у окремі роки цього періоду виділяються 1982 - 1984 та 1990 рр., коли у кожному з них спостерігалось по 3 випадки таких відкладень, що відповідно становило 14,3 % для кожного з них від загалу (рис. 4 в).

Лютий. У цьому місяці досліджуваного десятиріччя спостерігалось 19 випадків таких відкладень, які відмічались у 4 областях – АР Крим (Ай-Петрі, Закарпатті (Плай), львівській (Яворів) та Запорізькій (Пришиб). Найбільша кількість таких випадків спостерігалась на Закарпатті (МС Плай) – 14 випадків, внесок якої становив 73,7 %, а внесок АР Крим становив 15,8 %, у решті областей, де спостерігались такі відкладення внесок складав 5,3 %. По окремих роках цього періоду найбільша кількість таких випадків відкладень становила 3-4 випадки. По 3 випадки спостерігалось у 1982, 1989, 1990 рр., що склало 15,8 % для кожного з них, та 4 у 1988 р., або 21,1 % (рис. 4 в).

Березень. Протягом цього періоду у березні такі відкладення спостерігались у 2-х областях – Закарпатській (Плай) та АР Крим (Ай-Петрі), загальною кількістю 7 випадків. З них 6 припало саме на МС Плай, що становило 85,7 %. Загалом такі відкладення по окремих роках періоду були поодинокі і не зустрічались у кожному з них, а лише протягом 1981-1984 та 1986 і 1988 рр.

Квітень. У цей період спостерігалось 4 випадки відкладень паморозі категорії НЯ. Вони усі спостерігались на території Закарпатської області на МС Плай, що становило 4,3 % від загалу за період 1981-1990 рр. Такі відкладення реєструвались на Закарпатті у 1983, 1984, 1987 та 1989 рр.

Жовтень. У жовтні спостерігався лише 1 випадок таких відкладень, який було зареєстровано на МС Плай на Закарпатті у 1985 р. У решті років досліджуваного періоду таких випадків відкладень на території України не спостерігалось.

Листопад. У листопаді протягом цього періоду випадки відкладень паморозі категорії НЯ спостерігались на території 2-х областей та на 2-х станціях - у Закарпатській області (Плай) та на Чернівецькій (Чернівці). Загальна кількість таких випадків становила 13 випадків, або 13,8 % від загалу за досліджуване десятиріччя. Основна маса таких відкладень припала на МС Плай – 12 випадків або 92,3 %. По окремих роках їх найбільша кількість становила 4 та 5 випадків у 1982 та 1988 рр., що відповідно склало 30,8 та 38,5 % враховуючи внесок цих років у загальну кількість випадків (рис. 4 в).

Грудень. Протягом грудня 1981-1990 рр. спостерігалось 29 випадків відкладень паморозі категорії НЯ на території України. Вони спостерігались у 6 областях на 7 станціях – Київській (Бориспіль), Хмельницькій (Ямпіль), Закарпатті (Плай), Кіровоградщині (Кропивницький, Долинська), Херсонщині (Нижні Сірогози), АР Крим (Ай-Петрі). Переважна кількість таких відкладень спостерігалась на МС Плай на Закарпатті загальною кількістю 21 випадок, або 72,4 % від загалу за цей місяць протягом 1981-1990 рр. На АР Крим припало 3 випадки, що склало 10,3 %. На території решти областей такі відкладення були поодинокі – 1-2 випадки, що становило 3,4 - 6,9 %. По окремих роках за кількістю випадків відкладень паморозі категорії НЯ виділяється 1985 р., коли їх було встановлено 8 випадків. У цей час вони спостерігались на Закарпатті (Плай), Кіровоградщині (Кропивницький, Долинська) та Херсонщині (Нижні Сірогози).

Висновки. Отже, можна сказати, що у періоді стандартної кліматологічної норми 1961-1990 рр. найбільша кількість випадків відкладень паморозі категорії НЯ спостерігалась у січні, лютому та грудні досліджуваного періоду.

- Здебільшого переважна кількість випадків відкладення паморозі категорії НЯ спостерігалась на території Закарпатської області на МС Плай та у АР Крим на МС Ай-Петрі.

- Найбільш розповсюдженими відкладення паморозі категорії НЯ були у січні 1964 р., коли вони спостерігались майже по усій території України.

- Переважно кількість випадків таких відкладень на станціях виявилась поодинокую, але в окремі роки та місяці на ряді станцій спостерігалось значно більша кількість таких випадків. Найбільше при цьому виділяються січень на грудень, а серед станцій Плай та Ай-Петрі.

- Найбільша кількість випадків відкладень паморозі категорії НЯ спостерігалось у зимові місяці, особливо у січні та грудні. Протягом 1971-1980 та 1981-1990 рр. помічено істотне збільшення таких випадків у листопаді, особливо у 1971-1980 рр. У першому десятиріччі періоду стандартної кліматологічної норми такого не спостерігалось, кількість випадків у березні дорівнювала їх кількості у листопаді.

- Помічена тенденція до збільшення кількості випадків відкладень паморозі категорії НЯ у грудні протягом 1971-1980 та 1981-1990 рр., на відміну від 1961-1970 рр., коли їх найбільша кількість спостерігалась у січні.

- Встановлено, що найбільше випадків відкладень паморозі категорії НЯ спостерігалось протягом 1971-1980 рр.

- Протягом 1961-1970 рр. у січні випадки відкладень паморозі категорії НЯ були досить поширені на території України і спостерігались на території 15 областей. Найбільше таких відкладень спостерігалось у січні 1964 р. Згодом їх ареал скоротився до кількох областей, з яких найчастіше вони спостерігались на Закарпатті на АР Крим. Досить поширеними такі відкладення були у грудні 1961-1970 рр. та 1981-1990 рр., коли вони спостерігались на території 5-6 областей.

Список літератури

1. Вайнберг Б.П. Снег, иней, град, лед и дедники. ОНТИ. М.-Л.: 231 с.
2. Бучинский В.Е. Атлас обледенения проводов. Л.: Гидрометеиздат. 1966. 116 с.
3. Драневич Е.П. Гололед и изморозь. Условия образования, прогноз и гололедное районирование северо-запада Европейской территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 228 с.
4. Заморский А.Д. Атмосферный лед. Иней, гололед, снег и град. М.-Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1955. 377 с.
5. 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. 2014. №3. М.: Изд-во Российские железные дороги. С. 14-22.
6. Руднева А.В. Гололед и обледенение проводов на территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1961. 170 с.
7. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч. I. Л.: Гидрометеиздат. 1986. 701 с.
8. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч. II. Вып.1. Европейская часть СССР и Закавказье. Л.: Гидрометеиздат. 1987. 298 с.
9. Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні і стихійні явища погоди. Державна гідрометеорологічна служба. Київ, 2003. 30 с.
10. Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Вип. 3. Ч.I. Метеорологічні спостереження на станціях. К.: Державна гідрометеорологічна служба. 2011. 279 с.
11. Роз'яснення «Настанови з метеорологічного прогнозування» від 01.01.2019 р. на заміну КД 52.4.3.01-03 (Державна гідрометеорологічна служба, Київ, 2003). Полтава. Полтавський обласний центр з гідрометеорології. Державна гідрометеорологічна служба. 2018.

References

1. Vaynberg B.P. Sneg, iney, grad, led i ledniki [Snow, frost, hail, ice and glaciers]. ONTI. M.-L.:231 s.
2. Buchinskiy V.Ye. Atlas obledineniya provodov [Atlas of wire icing]. L.: Gidrometeoizdat. 1966. 116 s.
3. Dranevich Ye.P. Gololed i izmoroz'. Usloviya obrazovaniya, prognoz i gololednoye rayonirovaniye severo-zapada Yevropeyskoy territorii SSSR [Ice and frost. Formation conditions, forecast and icy zoning of the north-west of the European territory of the USSR]. L.: Hydrometeoizdat, 1971. 228 s.
4. Zamorskiy A.D. Atmosfernyy led. Iney, gololed, sneg i grad [Atmospheric ice, rime, ice snow and hail]. M.-L.: Izd-vo Akademii nauk SSSR, 1955. 377 s.

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

6. Rudneva A.V. Gololed i obledeneniye provodov na territorii SSSR [Ice and icing of wires on the territory of the USSR]. L.: Gidrometeoizdat, 1961. 170 s.

7. Rukovodstvo po kratkosrochnym prognozom pogody. CH. I. [Manual for short-term weather forecasts. Part I.] L.: Gidrometeoizdat. 1986. 701 s.

8. Rukovodstvo po kratkosrochnym prognozom pogody. Part. II. Issue 1. Yevropeyskaya chast' SSSR i Zakavkaz'ye. [Manual for short-term weather forecasts. Part II. Issue 1. European part of the USSR and Transcaucasia]. L.: Gidrometeoizdat. 1987. 298 s.

9. Nastanova po sluzhbi prognoziv ta poperedzhen' pro nebezpechni i stikhyni yavishcha pogodi [Instruction for the service of forecasts and warnings about dangerous and natural weather phenomena]. Derzhavna gidrometeorologichna sluzhba. Kyiv, 2003. 30 s.

10. Nastanova gidrometeorologichnim stantsiyam i postam. Vip. 3. CH.I. Meteorologichni sposterezhennya na stantsiyakh [Instruction for hydrometeorological stations and posts. Issue 3. Part I. Meteorological observations at stations]. K.: Derzhavna gidrometeorologichna sluzhba. 2011. 279 s.

11. Roz'yasnennya «Nastanovi z meteorologichnogo prognozuvannya» vid 01.01.2019 r. na zamynu KD 52.4.3.01-03 (Derzhavna gidrometeorologichna sluzhba, Kyiv, 2003) [Clarification of the "Instruction for meteorological forecasting" dated 01.01.2019 to replace CD 52.4.3.01-03 (State Hydrometeorological Service, Kyiv, 2003)]. Poltava. Poltavskiy oblasniy tsentr z gidrometeorologii. Derzhavna gidrometeorologichna sluzhba. 2018.

Пясецкая С.И.

Отложения изморози категории ОЯ (опасная) на территории Украины на протяжении периода стандартной климатологической нормы 1961-1990 гг. и по ее отдельным десятилетиям.

Для выяснения особенностей пространственно-временного распространения отложений изморози категории ОЯ (опасная) на протяжении стандартной климатологической нормы 1961-1990 гг. было проанализировано материалы наблюдений за такими отложениями на стандартном гололедном станке на всех метеорологических станциях Украины. Получено пространственно-временной характер распространения таких отложений на территории Украины по каждому из исследуемых месяцев холодного и отдельных месяцев переходных сезонов года. Аналогичная работа была проведена для каждого отдельного десятилетия в течение общего тридцатилетнего периода исследования. Выявлено годы и месяцы когда таких видов гололедно-изморозевых отложений было больше всего, рассчитан вклад каждого года и месяца в их общее количество. Установлено места и регионы наибольшего проявления отложений изморози категории ОЯ на территории Украины в течение стандартной климатологической нормы 1961-1990 гг.

Ключевые слова: отложения изморози категории ОЯ (опасная), стандартный гололедный станок, распространение отложений изморози категории ОЯ на территории Украины.

Pyasetska S.I.

Deposition of DP soft rime (dangerous phenomena) on the territory of Ukraine during the period of the standard climatological norm of 1961-1990 and for its separate decades

To clarify the features of the spatio-temporal distribution of soft rime deposits of the category DP (dangerous phenomena) over the course of the standard climatological norm of 1961-1990 materials of observations of such sediments were analyzed on a standard ice machine at all meteorological stations in Ukraine. The spatial-temporal character of the distribution of such sediments in the territory of Ukraine for each of the studied months of the cold and individual months of the transitional seasons of the year was obtained. Similar work was carried out for each separate decade during the total thirty-year study period. The years and months when such types of ice-rime deposits were the most were revealed, the contribution of each year and month to their total number was calculated. The places and regions of the greatest manifestation of DP category soft rime deposits on the territory of Ukraine during the standard climatological norm of 1961-1990 were established.

A number of conclusions were obtained regarding the state of spatio-temporal distribution and the number of deposits of soft rime DP category during 1961-1990 on the territory of Ukraine, namely:

- From 1961-1990, the largest number of cases of soft rime deposits of the DP category was observed in January, February and December of the study period.

- In most cases, the vast majority of cases of frost deposition of the DP category were observed in the Transcarpathian region on the Play and in the Autonomous Republic of Crimea on the Ai-Petri.

- Mostly the number of cases of such deposits at stations was isolated, but in some years and months at a number of stations there was a much larger number of such cases. January-December stands out the most, and among the Play and Ai-Petri stations.

- The largest number of cases of soft rime deposits of the DP category was observed in the winter months, especially in January and December. During 1971-1980 and 1981-1990, a significant increase in such cases was

observed in November, especially in 1971-1980. In the first decade of the standard climatological norm, this was not observed, the number of cases in March was equal to their number in November.

- There is a tendency to increase the number of cases of DP soft rime deposits in December during 1971-1980 and 1981-1990, in contrast to 1961-1970, when the largest number was observed in January.

- It is established that most cases of soft rime deposits of the DP category were observed during 1971-1980.

- During 1961-1970, in January, cases of soft rime deposits of the DP category were quite common in Ukraine and were observed in 15 regions. The greatest spread of such deposits was observed in January 1964. Subsequently, the area of their distribution was reduced to several areas, of which they were most often observed in Transcarpathia in the Autonomous Republic of Crimea. Such deposits were quite common in December 1961-1970 and 1981-1990, when they were observed in 5-6 regions.

Keywords: soft rime deposits of DP category (dangerous phenomena), standard ice machine, distribution of DP category frost deposits on the territory of Ukraine.

Надійшла до редколегії 24.10.2020

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.10>

УДК 551.466:530.181

Анахов П. В.

Національна енергетична компанія "Укренерго"

ЗБУДЖЕННЯ ХВИЛІ-УБИВЦІ ВЛАСНИМИ КОЛИВАННЯМИ ВОДНОГО БАСЕЙНУ

В лінійній теорії формування екстремальних хвиль їх існування інтерпретується, як локальна суперпозиція поверхневих монохроматичних хвиль. Природні акваторії є резонаторами, що мають цілком певний набір власних коливань – стоячих хвиль стійкої просторової структури і фіксованого періоду. В спектрах хвиль ряду водойм Світового океану спостерігаються хвилі подвійної висоти, що пояснюється припливно-сейшовим резонансом. В шторм енергія власних коливань зростає в десять разів від фонові, під час цунамі вона може зростати до трьох порядків. Наведено приклади дії власних коливань на узбережжі і повідомляється про підвищену ймовірність появи на узбережжі хвиль-убивць. Додатково відмічено, що вільні коливання водної маси є звичайним станом для будь-якої водойми в кожен момент її існування. Наведено відповідні показники забезпеченості власними коливаннями водних басейнів. Представлено події екстремальних хвиль при аваріях на ДніпроГЕС (м. Запоріжжя) 18 серпня 1941 року і Куренівській дамбі (м. Київ) 13 березня 1961 року.

Подія збудження хвилі-убивці може інтерпретуватися, як підсилення власних коливань водного басейну, представлених стоячими хвилями стійкої просторової структури, фіксованого періоду і високого рівня забезпеченості. Це не суперечить лінійній теорії резонансного формування аномально високих хвиль.

Метою статті є дослідження можливих джерел збудження хвиль-убивць, результати пропонується втілити в розробку заходів протидії руйнівному процесу. Однак, хвилі здійснюють як руйнівну, так і творчу роботу. Представлено задачу, яка передбачає розробку заходів щодо стимулювання екстремальних хвиль. Це дозволить підвищити виробіток електроенергії.

Належність хвиль прориву до хвиль-убивць може викликати сумніви. Проте, формально вони відповідають класичній умові подвійного перевищення висоти значної хвилі. Більшість водних басейнів є цілісними природно-антропогенними об'єктами. Мінливість як природного, так і антропогенного середовища змушують переоцінювати сталі систематизування і визначення. Пропонується віднести екстремальні хвилі прориву гідродинамічних аварій до хвиль-убивць.

Ключові слова: забезпеченість водойми хвилями; період сейш; просторова структура сейш; резонансне збудження хвилі.

Вступ. Аномально високі хвилі, що з'являються на короткий час як би нізвідки і так само швидко зникають, довгий час були темою морського фольклору. Зараз вони надійно реєструються мареографами у різних частинах Світового океану [1]. Більш того, географія хвиль-убивць розширилася, і нині включає озера та ріки [2].

У класичному розумінні хвилю-убивцю є хвиля, що в 2 рази перевищує висоту так званої значної хвилі H_s , яка, в свою чергу, визначається як середнє значення однієї третини великих хвиль [1]:

$$H_f = 2H_s \cdot \quad (1)$$

Відповідно до [1] хвиля-убивця висотою H_s має ймовірність $P(2H_s)=336 \times 10^{-6}$, що відповідає одній хвилі з приблизно 3 тисяч хвиль. Якщо врахувати, що характерний період вітрових хвиль становить близько 10 с, то виходить, що в середньому одна хвиля-убивця

І ISSN:2306-5680 **Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2021. № 1 (59)**

повинна виникати кожні 8-9 годин. Імовірність хвилі $P(3H_s)$ складає 15×10^{-9} , або одна хвиля з 67 млн. індивідуальних хвиль. Така хвиля може з'явитися один раз за 20 років.

Хвилі-убивці висотою до 7,57 м спостерігались південніше Скадовська, в Каркінській затоці Чорного моря [3].

Повідомляється про інші високі хвилі Азово-Чорноморського басейну: сейші висотою до 1,5 м [4], нагін – до 3-5 м [5, 6], 20 випадків цунамі – до 1 м в XX столітті, до 3-5 м – по описовій інформації [6].

Історичні свідчення дозволяють з певною упевненістю говорити про те, що цунамі в районах Севастополя (103 р.), Євпаторії (1341 р.), Фороса (1427 р.) носили катастрофічний характер з висотами хвиль до 2-3 м. Значні коливання рівня моря біля берега за цих подій приводили до затоплення великих територій і завдали відчутних збитків [6]. Нагони в Азовському морі 25-30 квітня 1964 р., 2-8 січня 1969 р., 7-10 березня 1970 р. супроводжувалися значними збитками [5]. Під час Балаклавської бурі 14 листопада 1854 року загинув англо-французький військовий флот (разом 34 судна). До виключних руйнувань призвів шторм 9-11 листопада 1981 року який проходив вздовж Балканського узбережжя Чорного моря до району Одеси; виділяються зони з середніми висотами хвиль, що перевищили 4,5 м, найбільші ж висоти, що перевищили середні, можливі один раз за 10 років [7].

Говорячи про екстремальні хвилі, слід пам'ятати про події локального характеру, якими є хвилі в ріках і озерах. У російських внутрішніх водоймах за період з 1597 по 2012 роки виділено 11 достовірних або майже достовірних подій цунамі і цунаміподібних явищ. Фактично, за останні два століття цунамі у внутрішніх водоймах Росії виникали в середньому один раз за 20 років [8].

Причому, локальний характер явища не є причиною прогнозувати незначні збитки. 1 січня 1993 року сталась аварія ставка – сховища відходів об'ємом 370 тисяч кубометрів (при площі 150 тис. м²), що належить північноамериканському заводу з переробки яловичини. В результаті були пошкоджені залізничні колії, під укіс пішли п'ять локомотивів, збитки склали понад 5 млн. доларів США. Для наочності – середня глибина водної поверхні розмірами 400×400 м становила 2,5 м [9]. Збитки від аварії 5 травня 2003 року ставка Рамф (Дорчестер, США) об'ємом 90 тисяч кубометрів (це в чотири рази менше, ніж в попередньому прикладі) склали понад 144 тис. доларів США [10].

Дієвим заходом зниження можливих збитків від екстремальних хвиль, зокрема, хвиль-убивць, є підвищення точності гідрологічних прогнозів для своєчасного реагування на них. Отже, метою статті визначене дослідження можливих джерел збудження хвиль-убивць.

Матеріали і методи досліджень. На думку ак. І. Курчатова, в гідрологічному житті всякого водного басейну можна знайти елементи того ж періоду, і вочевидь ці елементи завжди можуть слугувати збуджувальною силою для басейну [11].

В лінійній теорії формування аномальних хвиль існування рідкісних екстремальних подій інтерпретується, як локальна суперпозиція поверхневих монохроматичних хвиль з відповідними фазами і напрямками [1].

Поверхневі хвилі у своїй більшості носять випадковий характер: по-перше, вони несистематичні, по-друге, не володіють стабільними періодами. Це значно ускладнює можливість прогнозування часу і місця збудження згаданої більшості поверхневих хвиль, і, також, прогнозування часу і місця збудження ними хвилі-убивці.

Виключення складають місячні і сонячні припливи, які систематично, з постійними періодами $T_{Moon}=12$ год. 25,2 хв. і $T_{Sun}=24$ год., коливають водну поверхню. Відомі випадки збудження і підсилення припливами власних коливань водойм (див., наприклад, [12, 13]). Причому, вираш припливно-сейшового резонансу становить дві амплітуди.

Власні коливання є другим випадком детермінованих коливань, період яких визначають її морфометричні характеристики: $T_{sw}(L,D) \approx const$, де $L \approx const$, $D \approx const$ – довжина і глибина водойми, відповідно. Описані події збудження і підсилення власних коливань сильними атмосферними збуреннями [14], цунамі [14, 15], штормовими хвилями [15, 16]. Виграш резонансної взаємодії становить до 1 000 амплітуд [14].

У всіх випадках умовою збудження стоячих хвиль є їх близькість до періоду збуджувальної хвилі T_{inc} . Коефіцієнт підсилення розраховується за формулою [17]:

$$H^2(T) = \frac{1}{\left(1 - \frac{T_{sw}}{T_{inc}}\right)^2 + Q^{-2} \left(\frac{T_{sw}}{T_{inc}}\right)^2}, \quad (2)$$

де Q – добротність басейну, яка визначає втрати енергії в коливальній системі і ширину смуги резонансу.

Вихідні передумови. Треба визнати, що стихійні лиха у багатьох випадках є невідворотними. Отже, практичним завданням стає оптимізація їх негативних наслідків. Зменшення гідрологічної небезпеки, для своєчасного реагування, передбачає підвищення точності гідрологічних прогнозів.

Знання про можливе підсилення власних коливань водного басейну і адекватна оцінка зовнішньої збуджувальної сили дозволяють в разі виникнення віддаленої загрози визначити необхідність оголошення тривоги і, тим самим, зменшити шкоду від небезпечного явища [16].

Природні акваторії є резонаторами, які мають цілком певний набір власних коливань, – стоячих хвиль стійкої просторової структури (рис. 1) і фіксованого періоду [15].

Аналіз коливань рівня Чорного моря, супутніх цунамійним землетрусам 1927, 1939 і 1966 років, показав, що спектри їх потужності для 12 розглянутих пунктів узбережжя характеризуються наявністю від одного до чотирьох максимумів. Зіставлення спектрів показує, що для всіх землетрусів вони мають однакову форму в одних і тих же пунктах узбережжя. Можна очікувати, що така структура спектрів обумовлена існуванням під час цунамі низькочастотних коливань рівня, пов'язаних з атмосферними процесами, сейшми або топографічними ефектами [18].

Як видно з побудованих карт бухти Броутон о. Сімушир (Росія), всі знайдені моди сейшових коливань мають пучності, які сходяться в районі селища Кратерне. Це вказує на те, що причальні споруди і саме селище розташовуються в місці, найбільш небезпечному з точки зору можливого впливу сейшових коливань [15].

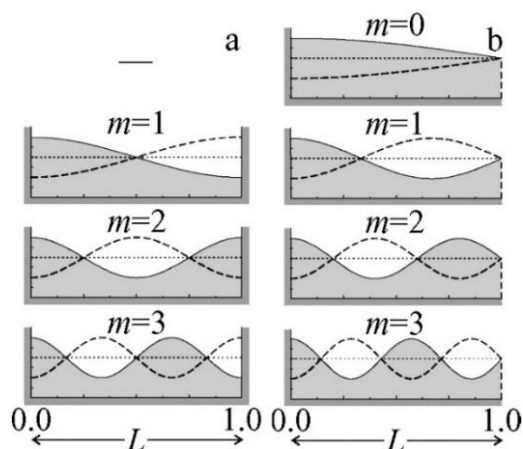


Рис. 1. Профілі перших чотирьох мод поздовжніх сейш в замкнутих (а) і напівзамкнутих (б) прямокутних басейнах з горизонтальним дном [17]

Повідомляється про підвищену ймовірність появи прибережної хвилі-убивці. За період з 2006 до 2010 року в Світовому океані виявлено 78 достовірних подій появи хвиль-убивць. Найбільша їх кількість зареєстрована саме біля берега – 50% (39 подій) [8].

Періоди власних коливань розраховуються за формулами [17]:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{cs} = \frac{2L}{m_{cs} \sqrt{gD}}, \quad m_{cs} = 1, 2, 3, \dots; \\ T_{os} = \frac{4L}{(2m_{os} + 1) \sqrt{gD}}, \quad m_{os} = 0, 1, 2, \dots \end{array} \right\}, \quad (3)$$

де T_{cs} , T_{os} – тривалості періодів замкнутого і напівзамкнутого басейнів, відповідно; m – мода коливань.

В спектрі хвиль Кандалакської затоки Білого моря (Росія) яскраво виражені коливання рівня з періодом 6 годин 12 хвилин. Ак. В. Шулейкін визначив, що це явище викликане резонансом власних коливань води в затоці з першою гармонікою місячного припливу [12].

В ряді водойм Світового океану спостерігається приплив подвійної висоти – на південному узбережжі Англії в протоці Солент і порту м. Саутгемптон, а також біля острова Портленд, який розташований на відстані 90 км у західному напрямку від Саутгемптона; в порту Ден-Хелдер (Нідерланди); в затоці Баззардс (США). Умовою виникнення припливу подвійної висоти є додавання до основного тону місячного припливу коливання більш високої частоти – сейшової хвилі [13].

Тривалі спостереження довгих хвиль на шельфі Каліфорнії показали, що при проходженні сильних атмосферних збурень значення спектру океанських хвиль можуть зрости в 10 разів, а при проходженні цунамі – в 100-1 000 разів [14].

В порту м. Холмськ (західне узбережжя о. Сахалін, Росія) спостерігаються максимуми енергії хвилювання з періодами близько 8, 3 і 1,5 хв., які пов'язані з власними коливаннями бухти. Енергія власних коливань з періодом близько 3 хв. майже на порядок вища за енергію фонових коливань, а під час шторму ця відмінність стає ще більшою [16].

Під час цунамі 23 лютого 1980 року висоти хвиль в Южно-Курильській бухті (о. Кунашир, Росія), період яких близько 17 хв. співпадав з періодом основного спектрального максимуму, зросли майже в 5 разів [14].

Натурні експерименти, проведені в Камчатській затоці і на шельфі о. Шикотан (Росія), показали наступне. При наближенні до берега з океану довгих хвиль на спектрі з'являються індивідуальні особливості, що характеризують частотні властивості акваторії. Найбільша частка енергії довгохвильового шуму в діапазоні хвиль цунамі в Камчатському затоці (Росія) припадає на частоту 0,026 цикл/хв., яка добре узгоджується з резонансним періодом 30 хв., що відповідає власній моді Камчатської затоки [19].

При вивченні хвильових процесів в бухті Броутона в спектрах записів штилю, коливань шторму і цунамігенного землетрусу були визначені максимуми на періодах коливань 5; 3; 2,5 хв., які належать відповідно одно-, дво-, і три-вузловій сейшам, відповідно. Посилення коливань в шторм склало не менше порядку [15].

Зазначається, що вільні коливання водної маси є звичайним станом для будь-якої водойми в кожний момент її існування, і, якщо вони не завжди помітні, то це лише наслідок малих в переважній більшості випадків амплітуд коливання [20].

Забезпеченість водойми хвилями за визначений період часу t розраховується за формулою [21]:

$$k_r = \frac{t_{wc}}{t} \times 100\%, \quad (4)$$

де t_{wc} – сумарна тривалість сеансів коливань за визначений період часу.

У багатьох водоймах сейші діють протягом 30-50% тривалості безльодоставного періоду; в озері Байкал сейші діють майже безперервно, найбільшу повторюваність мають одновузлові коливання – 84%; в оз. Балхаш сейші діють в середньому близько 60% часу, в окремі місяці сумарний час їх дії досягає 80% [22].

Постановка завдання. Метою статті є дослідження можливих джерел збудження хвилі-вбивці. Такі знання потрібні для розробки відповідних заходів протидії. Проте, іншим додатком може стати полярна задача – розробка генератора хвилі-вбивці. Збудження і розгойдування хвиль, потенціал яких визначає вироблена ними енергія, є результатом дії зовнішніх по відношенню до водойми сил і створених для цього умов. Хвилі, в свою чергу, здійснюють як руйнівну, так і творчу роботу. Генерування екстремальних хвиль, або їх стимулювання, за рахунок створення умов для збудження і розгойдування, дозволить підвищити виробіток електроенергії хвильовими електростанціями [23].

Виклад основного матеріалу дослідження. Природні акваторії є резонаторами, які мають цілком певний набір власних коливань – стоячих хвиль стійкої просторової структури і фіксованого періоду. Наведено приклади спостережених подій збудження і підсилення власних коливань припливом. Наведено показники забезпеченості власними коливаннями водних басейнів. Збудження і підсилення власних коливань, які відрізняє високий рівень

забезпеченості, штормовими хвилями та хвилями цунамі не суперечать теорії резонансного формування аномально високих хвиль.

Доступної інформації щодо хвиль-убивць природного походження в річках і водоймах України автор не має. Проте наявні дані про високі хвилі, походження яких, згідно Національного класифікатора ДК 019:2010 "Класифікатор надзвичайних ситуацій" (від 11.10.2010, №457), визначається як НС техногенного, соціального і воєнного походження.

18 серпня 1941 року, внаслідок підірвання підпірної греблі ДніпроГЕС, хвилею прориву була змита і загинула частина захисників острова Хортиця та підрозділів Червоної армії, які розташовувалися південніше від греблі [24]. Реконструкція події показала, що приблизно через 20 с після підірвання, коли хвиля досягла берегів Хортиці, її висота становила 1,5 м, знижуючись з часом і вниз за течією [25]. Для довідки – максимальна висота вітрових хвиль 5% забезпеченості в Каховському водосховищі, заповненому в 1955-1958 роках, становить 2 м [26].

В результаті прориву 13 березня 1961 року Куренівської греблі у верхів'ї Бабиного Яру (м. Київ), яка підпирала сховище з водно-глинистою сумішшю загальним об'ємом понад 4 млн. м³, за офіційними даними загинуло 145 людей, висота селевої хвилі становила не менше 3 м [27].

Належність хвиль прориву до хвиль-убивць, які за звичкою відносять до надприродних подій, може викликати сумніви. Згадані події напевно відповідають умові (1). Також не викликає сумнівів необхідність розробки адекватних заходів протидії. Більшість водних басейнів є цілісними природно-антропогенними об'єктами. Мінливість як природного, так і антропогенного (штучного) середовищ змушують переоцінювати сталі систематизування і визначення. Виходячи з того, що "паводки – це "Божа справа", проте втрати від її дії значною мірою визначають дії людини" [28], пропонується віднести екстремальні хвилі прориву гідродинамічних аварій до хвиль-убивць.

Висновки. Хвилі здійснюють як руйнівну, так і творчу роботу. Метою статті є дослідження можливих джерел збудження хвиль-убивць, а результати пропонується втілити в розробку заходів протидії руйнівному процесу. Представлено також протилежну задачу, яка передбачає розробку заходів щодо стимулювання екстремальних хвиль. Це дозволить підвищити виробіток електроенергії.

Подія збудження хвилі-убивці може інтерпретуватися, як підсилення власних коливань водного басейну, представлених стоячими хвилями стійкої просторової структури, фіксованого періоду і високого рівня забезпеченості. Наведено приклади спостережених подій збудження і підсилення хвиль припливом, штормовими хвилями та хвилями цунамі.

Належність хвиль прориву до хвиль-убивць, які за звичкою відносять до надприродних подій, може викликати сумніви. Проте, хвилі прориву напевно відповідають умові перевищення висоти значної хвилі, яка визначається як середнє значення однієї третини великих хвиль. Також не викликає сумнівів необхідність розробки адекватних заходів протидії. Більшість водних басейнів є цілісними природно-антропогенними об'єктами. Мінливість як природного, так і антропогенного (штучного) середовищ змушують переоцінювати сталі систематизування і визначення. Пропонується віднести екстремальні хвилі прориву гідродинамічних аварій до хвиль-убивць.

Список літератури

1. Куркин А. А., Пелиновский Е. Н. Волны-убийцы: факты, теория и моделирование; изд. 2-е. М.-Берлин: Директ-Медиа, 2016. 178 с.
2. Didenkulova I. I., Pelinovsky E. N. Phenomena similar to tsunamis in Russian internal basins. Russian Journal of Earth Sciences. 2006. 8(ES6002). 9 p. <http://dx.doi.org/10.2205/2006ES000211>.
3. Доценко С. Ф., Иванов В. А., Побережный Ю. А. Связь образования волн-убийц и метеорологических условий в северо-западной части Черного моря. Доповіді НАН України. 2010. №12. С. 105-109.
4. Матишов Г. Г., Инжебейкин Ю. И. Численные исследования сейшевых колебаний уровня Азовского моря. Океанология. 2009. 49(4). 485-493.
5. Дьяков Н. Н., Фомин В. В. Синоптические условия возникновения аномальных колебаний уровня Азовского моря. Наукові праці УкрНДГМІ. 2002. 250. 10 с.

6. Доценко С. Ф., Иванов В. А. Природные катастрофы Азово-Черноморского региона. Севастополь: Морской гидрофизический институт, 2010. 174 с.
7. Кабатченко И. М. Моделирование ветрового волнения. Численные расчеты для исследования климата и проектирования гидротехнических сооружений: автореф. дис... д-ра геогр. наук. М.: Государственное Учреждение "Государственный океанографический институт" Росгидромета, 2006. 41 с.
8. Диденкулова И. И. Динамика длинных волн в прибрежной зоне моря с приложением к морским катастрофам: автореф. дис... д-ра физ.-мат. наук. Н. Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, 2013. 39 с.
9. Washington State Notable Dam Failures and Incidents. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://fortress.wa.gov/ecy/wrdocs/WaterRights/wrwebpdf/damfailure-ws.pdf>.
10. Association of State Dam Safety Officials. Annual Report. July 2006 – June 2007. Lexington, KY, 2007. 98 p.
11. Курчатова И. В. Сейши в Черном и Азовском морях. И. В. Курчатова. Избранные труды. Т. 1. М.: Наука, 1982. С. 382-391.
12. Шулейкин В. В. Физика моря. Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Наука, 1968. 1083 с.
13. Bowers D. G., Macdonald R. G., McKee D., et al. On the formation of tide-produced seiches and double high waters in coastal seas. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2013. Vol. 134. Pp. 108-116. doi: 10.1016/j.ecss.2013.09.014.
14. Рабинович А. Б. Длинные гравитационные волны в океане: захват, резонанс, излучение. С.-Пб: Гидрометеиздат, 1993. 325 с.
15. Лоскутов А. В. Динамика волн цунами в северо-западной части Тихого океана на основе инструментальных измерений и численного моделирования: дис. канд... физ.-мат. наук. Южно-Сахалинск: Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения РАН, 2016. 115 с.
16. Ковалев Д. П. Натурные эксперименты и мониторинг инфрагравитационных волн для диагностики опасных морских явлений в прибрежной зоне на примере акваторий Сахалино-Курильского региона: дис... д-ра физ.-мат. наук. Южно-Сахалинск: Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения РАН, 2015. 304 с.
17. Rabinovich A. B. Seiches and Harbor Oscillations. Handbook of Coastal and Ocean Engineering (ed. by Y. C. Kim). Singapore: World Scientific Publ., 2009. P. 193-236.
18. Доценко С. Ф., Ингерова А. В. Спектры черноморских цунами. Морской гидрофизический журнал. 2007. №5. С. 21-30.
19. Литвин Е. Н., Показеев К. В., Тупоршин В. Н. Использование натурального эксперимента для целей цунамирайонирования. Вычислительные технологии. 1997. Т. 2, №2. С. 88-93.
20. Лабзовский Н. А. Непериодические колебания уровня моря. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 238 с.
21. Безруков Ю. Ф. Океанология. Ч. II. Динамические явления и процессы в океане. Симферополь: Таврический национальный университет им. В. И. Вернадского, 2006. 123 с.
22. Судольский А. С. Динамические явления в водоемах. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 263 с.
23. Анахов П. В. Комплексне використання стоячих хвиль водойм. Гідроенергетика України. 2018. №1-2. С. 49-51.
24. Матеріали до багатотомного "Зводу пам'яток історії та культури України": Запорізька область. Кн.1. "Запоріжжя" / НАН України. Інститут історії України; Центр досліджень історико-культурної спадщини України. К., 2016. 350 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.history.org.ua/?libid=11022>.
25. Взрыв Днепрогэса в 1941 году и вранье местных историков. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://zerkalo.net.ua/news/2487.html>.
26. Підтримка інтеграції України до Транс-Європейської транспортної мережі ТЕМ-Т. РК5 "Огляд галузі річкового транспорту". Заключний звіт 5.3. Програма Європейського Союзу для України, 2010. 79 с.
27. Куренівська трагедія 13 березня 1961 р. у Києві: причини, обставини, наслідки. Документи і матеріали / В. А. Смолій (відп. ред.). К.: Інститут історії України НАН України, 2012. 548 с.
28. White G. F. Human Adjustment to Floods: A Geographical Approach to the Flood Problem in the United States: dis... PhD. Chicago: University of Chicago, 1945. 225 p.

References

1. Kurkin A. A., Pelinovsky E. N. Volny-ubijcy: fakty, teoriya i modelirovanie [Killer waves: facts, theory and modeling]; ed. 2nd. Moscow-Berlin: Direct Media, 2016.
2. Didenkulova I. I., Pelinovsky E. N. Phenomena similar to tsunamis in Russian internal basins. Russian Journal of Earth Sciences 2006. 8(ES6002). 9 p. <http://dx.doi.org/10.2205/2006ES000211>.

3. Dotsenko S. F., Ivanov V. A., Poberezhny Yu. A. Svjaz' obrazovaniya voln-ubijc i meteorologicheskikh uslovij v severo-zapadnoj chasti Chernogo morja [Connection of the formation of killer waves and meteorological conditions in the northwestern Black Sea]. Dopovidi NAN Ukrainy [Reports of the NAS of Ukraine]. 2010. 12. P. 105-109.
4. Matishov G. G., Inzhebeikin Y. I. Chislennye issledovaniya sejshevnykh kolebanij urovnja Azovskogo morja [Numerical Study of Azov Sea Level Seiche Oscillations]. Okeanologija [Oceanology]. 2009. 49, 4. P. 485-493.
5. Dyakov N. N., Fomin V.V. Sinopticheskie uslovija vozniknovenija anomal'nykh kolebanij urovnja Azovskogo morja [Synoptic conditions for the occurrence of abnormal fluctuations in the level of the Sea of Azov]. Naukovi praci UkrNDGMI [Scientific works of UkrSRHMI]. 2002. 250.
6. Dotsenko S. F., Ivanov B. A. Prirodnye katastrofy Azovo-Chernomorskogo regiona [Natural disasters of the Azov-Black Sea region]. Sevastopol: Marine Hydrophysical Institute, 2010.
7. Kabatchenko I. M. Modelirovanie vetrovogo volnenija. Chislennye raschety dlja issledovaniya klimata i proektirovanija gidrotehnicheskikh sooruzhenij [Modeling wind waves. Numerical calculations for climate research and design of hydraulic structures]. Abstract of Dr. Sc. in Geography. Moscow: State Institution "State Oceanographic Institute" of RosHydroMet, 2006.
8. Didenkulova I. I. Dinamika dlinnykh voln v pribrezhnoj zone morja s prilozheniem k morskim katastrofam [Dynamics of long waves in the coastal zone of the sea with an application to marine disasters]: Abstract of Dr. Sc. in Phys.-Math. N. Novgorod: Nizhny Novgorod State Technical University, 2013.
9. Washington State Notable Dam Failures and Incidents. Available at: <https://fortress.wa.gov/ecy/wrdocs/WaterRights/wrwebpdf/damfailure-ws.pdf> (Accessed: 28 November 2020).
10. Association of State Dam Safety Officials. Annual Report. July 2006 – June 2007. Lexington, KY, 2007.
11. Kurchatov I. V. Sejshi v Chernom i Azovskom morjah [Seishes in the Black and Azov Seas]. In: I. V. Kurchatov. Izbrannye trudy. T. 1 [I.V. Kurchatov. Selected Works. Vol. 1]. Moscow: Nauka, 1982. P. 382-391.
12. Shuleikin V. V. Fizika morja [Physics of the sea]. Ed. 4th, rev. and add. Moscow: Nauka, 1968.
13. Bowers D. G., Macdonald R. G., McKee D., et al. On the formation of tide-produced seiches and double high waters in coastal seas. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2013. 134. P. 108-116. doi: 10.1016/j.ecss.2013.09.014.
14. Rabinovich A. B. Dlinnye gravitacionnye volny v okeane: zahvat, rezonans, izluchenie [Long gravitational waves in the ocean: capture, resonance, radiation]. Saint Petersburg: Gidrometeoizdat, 1993.
15. Loskutov A. V. Dinamika voln cunami v severo-zapadnoj chasti Tihogo okeana na osnove instrumental'nykh izmerenij i chislennogo modelirovanija [Dynamics of tsunami waves in the northwestern part of the Pacific Ocean based on instrumental measurements and numerical modeling]. Thesis of PhD in Phys.-Math. Juzhno-Sahalinsk: Institute of marine geology and geophysics, 2016.
16. Kovalev D. P. Naturnye jeksperimenty i monitoring infragravitacionnykh voln dlja diagnostiki opasnykh morskikh javlenij v pribrezhnoj zone na primere akvatorij Sahalino-Kuril'skogo regiona [Field experiments and monitoring of infra-gravity waves for the diagnosis of dangerous marine phenomena in the coastal zone by the example of the Sakhalin-Kuril region]. Thesis of Dr. Sc. in Phys.-Math. Juzhno-Sahalinsk: Institute of marine geology and geophysics, 2015.
17. Rabinovich A. B. Seiches and Harbor Oscillations. In: Y. C. Kim (ed.) Handbook of Coastal and Ocean Engineering. Singapour: World Scientific Publ., 2009. P. 193-236.
18. Docenko S. F., Ingerov A. V. Spektry chernomorskih cunami [Spectra of the Black Sea Tsunami]. Morskij gidrofizicheskij zhurnal [Marine Hydrophysical Journal]. 2007. 5. P. 21-30.
19. Litvin E. N., Pokazeev K. V., Tuporshin V. N. Ispolzovanie naturnogo jeksperimenta dlja celej cunamirajonirovanija [The use of full-scale experiment for the purpose of tsunami-zoning]. Vychislitel'nye tehnologii [Computational technologies]. 1997. 2(2). P. 88-93.
20. Labzovsky N. A. Neperiodicheskie kolebanija urovnja morja [Non-periodic fluctuations in sea level]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1971.
21. Bezrukov Yu. F. Okeanologija. Ch. II. Dinamicheskie javlenija i processy v okeane [Oceanology. Part II. Dynamic phenomena and processes in the ocean]. Simferopol: Taurida National University V.I. Vernadsky, 2006.
22. Sudolsky A. S. Dinamicheskie javlenija v vodoemah [Dynamic phenomena in reservoirs]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1991.
23. Anakhov P. V. Kompljeksne vykorystannja stojachykh hvyl' vodojm [Complex use of standing waves of reservoirs]. Gidroenergetika Ukrainy [Hydropower of Ukraine]. 2018. 1-2. P. 49-51.
24. Matjerijaly do bagatotomnogo "Zvodu pamjatom istoriji ta kul'tury Ukrainy": Zaporiz'ka oblast'. – Kn.1. "Zaporizhzhja" [Materials to the multivolume "Memory of the History and Culture of Ukraine": Zaporizhzhya Region. – Book 1. "Zaporizhzhia"] / NAS of Ukraine. Institute of History of Ukraine; Center

for historical and cultural recession of Ukraine. Kyiv. Available at: <http://www.history.org.ua/?libid=11022>. (Accessed: 28 November 2020)

25. Vzyryv Dneprogjesa v 1941 godu i vran'jo mestnyh istorikov [The explosion of the Dnieper in 1941 and the lies of local historians]. Available at: <http://zerkalo.net.ua/news/2487.html> (Accessed: 28 November 2020).

26. Pidtrymka intjegraciji Ukrajinjy do Trans-Evropjejs'koji transportnoji mjerjezhi TЄM-T. RK5 "Ogljad galuzi richkovogo transportu". Zakljuchnyj zvit 5.3 [Support for Ukraine's integration into the TEN-T Trans-European Transport Network. LCD5 "River Transport Industry Overview". Final Report 5.3]. European Union Program for Ukraine. 2010.

27. Kurjenivs'ka tragjedija 13 bereznja 1961 r. u Kijjevi: prychny, obstavyny, naslidky. Dokumenty i matjerialy [The Kureniv tragedy on March 13, 1961 in Kyiv: causes, circumstances, consequences. Documents and Materials] / V. A. Smoly (ed.). Kyiv: Institute of History of Ukraine, National Academy of Sciences of Ukraine. 2012.

28. White G. F. Human Adjustment to Floods: A Geographical Approach to the Flood Problem in the United States: Thesis... PhD. Chicago: University of Chicago, 1945.

Возбуждение волны-убийцы собственными колебаниями водного бассейна

Анахов П. В.

В линейной теории формирования экстремальных волн их существование интерпретируется, как локальная суперпозиция поверхностных монохроматических волн. Природные акватории являются резонаторами, имеющих вполне определенный набор собственных колебаний – стоячих волн устойчивой пространственной структуры и фиксированного периода. В спектрах волн ряда водоемов Мирового океана наблюдаются волны удвоенной высоты, что объясняется приливно-сейшевым резонансом. В шторм энергия собственных колебаний возрастает в десять раз от фоновой, во время цунами она может возрасти до трех порядков. Приведены примеры действия собственных колебаний на побережье и сообщается о повышенной вероятности появления на побережье волн-убийц. Дополнительно отмечено, что свободные колебания водной массы является обычным состоянием для любого водоема в каждый момент его существования. Приведены соответствующие показатели обеспеченности водных бассейнов собственными колебаниями. Представлены события экстремальных волн при авариях на ДнепроГЭС (г. Запорожье) 18 августа 1941 г. и Куреневской дамбе (г. Киев) 13 марта 1961 г.

Событие возбуждения волны-убийцы может интерпретироваться, как усиление собственных колебаний водного бассейна, представленных стоячими волнами устойчивой пространственной структуры, фиксированного периода и высокого уровня обеспеченности. Это не противоречит линейной теории резонансного формирования аномально высоких волн.

Целью статьи является исследование возможных источников возбуждения волн-убийц, результаты предлагаются воплотить в разработку мер противодействия разрушительному процессу. Однако, волны осуществляют как разрушительную, так и созидательную работу. Представлена задача, которая предусматривает разработку мероприятий по стимулированию экстремальных волн. Это позволит повысить выработку электроэнергии.

Принадлежность волн прорыва к волнам-убийцам может вызвать сомнения. Однако, формально они соответствуют классическому условию двойного превышения высоты значительной волны. Большинство водных бассейнов являются целостными природно-антропогенными объектами. Изменчивость как природной, так и антропогенной сред заставляют переоценивать систематизацию и определения. Предлагается отнести экстремальные волны прорыва гидродинамических аварий к волнам-убийцам.

Ключевые слова: обеспеченность водоема волнами; период сейш; пространственная структура сейш; резонансное возбуждение волны.

Excitation of freak wave by natural oscillations of the water body

Anakhov P. V.

In linear theory the formation of extreme waves their existence is interpreted as a local superposition of surface monochromatic waves. Natural water areas are resonators that have their own set of natural oscillations - standing waves of stable spatial structure and fixed period. In the spectra of waves of many water bodies of World Ocean observed double high waves, this is explained by the tidal-seiche resonance. During a storm, the energy of natural oscillations increases ten times the background energy, during a tsunami it can increase up to three orders of magnitude. Examples of the effects of natural oscillations on the coast are given, and it is reported about the increased probability of the occurrence on the coast freak waves. Additionally, it is noted that natural oscillations in water mass are a normal state for any body of water at any time of its existence. The corresponding indices of the water fluctuations of the water basins are given. The events of extreme waves during the accidents at DniproHES (Zaporizhia) on August 18, 1941, and the Kurenivsky dam (Kyiv) on March 13, 1961, are presented.

The excitement of the freak wave can be interpreted as enhancing the natural oscillations of the water basin, represented by standing waves of stable spatial structure, fixed period and high probability of waves in the water body. This does not contradict the linear theory of the resonant formation of abnormally high waves.

The purpose of the article is to investigate possible sources of the excitement of freak waves, the results are proposed to be implemented in the development of countermeasures to the destructive process. However, the waves

carry out both destructive and creative work. A task is presented, which involves the development of measures to stimulate extreme waves. This will increase electricity generation.

Affiliation of dam-break waves to freak waves can be doubtful. However, they formally correspond to the classical condition of double exceeding the significant wave height. Most water basins are integral anthropogenic sites. The variability of both natural and anthropogenic environments forces the overriding of systematization and definition. It is proposed to attribute extreme waves of dam-break waves to freak waves.

Keywords: the probability of waves in water body; period of seiches; the spatial structure of seiches; resonant excitation of wave.

Надійшла до редколегії 14.01.2021

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;
- анотації (трьома мовами – українською, російською, 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 (кегель 11, напівжирний, прописними);
через інтервал - анотація українською (мовою оригіналу) - кегль 9, *нахилений*;
через інтервал - ключові слова - кегль 9, *нахилений*;
через інтервал – основний текст статті (кегель 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» (кегель 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:

Khilchevskyi 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, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2017. № 2(45). S. 6-13.

Анотації російською та англійською мовами розташовуються після «References» через один інтервал. Анотація подається за схемою:

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

I ISSN:2306-5680 **Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2021. № 1 (59)**

Наукове видання

ГІДРОЛОГІЯ, ГІДРОХІМІЯ І ГІДРОЕКОЛОГІЯ

Періодичний науковий збірник

2021 рік

№ 1 (59)

Збережено авторський стиль та орфографію

Комп'ютерна верстка – Москаленко С.О.

Підписано до друку 03.03.2021
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. 2021. № 1 (59)