

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

# Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія

Періодичний науковий збірник  
№ 2 (68)

Київ

2023

**ГІДРОЛОГІЯ, ГІДРОХІМІЯ І ГІДРОЕКОЛОГІЯ:**

Період. наук. збірник / Гол. редактор В.К. Хільчевський. 2023. № 2(68). 78 с.

**HYDROLOGY, HYDROCHEMISTRY AND HYDROECOLOGY:**

Periodic scientific collection / The editor-in-chief Valentyn Khilchevskiy. 2023. № 2(68). 78 p.

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

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

*Рекомендовано до друку Вченою радою  
географічного факультету  
Київського національного університету  
(30 червня 2023 р., протокол № 13)*

**Адреса видавця та редколегії:**

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

Телефон редколегії: (044) 521-32-29.

**E-mail:** hydrozbirnyk-knu@ukr.net  
luko15\_06@ukr.net

**ISSN:2306-5680**

© Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2023

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

### ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

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

### ЗАСТУПНИК ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА

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

### РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

### МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

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

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

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

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

### ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР

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

# З М І С Т

## ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

<b>Манукало В.О., Хільчевський В.К., Гребінь В.В.</b> Українська наукова гідрологічна термінологія: історія формування, сучасний стан та пріоритети розвитку .....	6
---	---

## ГІДРОЛОГІЯ. ВОДНІ РЕСУРСИ

<b>Ободовський О.Г., Корнієнко В.О., Кузьмочко В.Ю.</b> Оцінка вертикальних руслових деформацій річок басейну Тетерева.....	15
<b>Христюк Б.Ф., Горбачова Л.О., Розлач В.О.</b> Дати появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду та можливості їх довгострокового прогнозування .....	22
<b>Лободзінський О.В., Данько К.Ю.</b> Визначення та оцінка зміни типів живлення річок басейну р. Горинь .....	32

## ГЕОГРАФІЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ГЛОБАЛЬНОГО ГІДРОЛОГІЧНОГО ЦИКЛУ

<b>Рибчинська В.О., Савенець М.В.</b> Використання супутникових даних забруднення атмосферного повітря для оцінки ефективності перебігу процесів горіння на території України .....	43
<b>Пясецька С.І.</b> Випадки масового розповсюдження складних ожеледо-паморозевих відкладів на території України протягом останнього тридцятиріччя 1991-2020 рр.....	55
<b>Рибченко Л. С., Савчук С. В.</b> Складові радіаційного режиму сонячної радіації при посухах за 1991-2020 рр. в Україні ...	63
<b>Порядок подання і оформлення статей до періодичного наукового збірника “Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія”.....</b>	75

# CONTENTS

## GENERAL METHODS ASPECTS OF INVESTIGATION

- Manukalo V.O., Khilchevskiy V.K., Grebin V.V.**  
Ukrainian scientific hydrological terminology: history of formation, current state and development priorities ..... 6

## HYDROLOGY. WATER RESOURCES

- Obodovskiy O.G., Korniienko V.O., Kuzmochko V.Yu.**  
Assessment of vertical channel deformations of the Teterev basin rivers ..... 15
- Khrystiuk B.F., Gorbachova L.O., Rozlach V.O.**  
Appearance dates of ice phenomena on the Dnipro Cascade reservoirs and the possibility of their long-term forecasting ..... 22
- Lobodzinskiy O., Danko K.**  
Determination and assessment of the Horyn River Basin rivers feeding types changes ..... 32

## GEOGRAPHICAL ASPECTS OF GLOBAL HYDROLOGICAL CYCLE RESEARCH

- Rybchynska V., Savenets M.**  
The use of remote sensing of atmospheric composition for burning efficiency estimation for Ukrainian territory ..... 43
- Pyasetska S.I.**  
Cases of mass distribution of complex of complex ice-frost deposits in the territory of Ukraine during the last thirty years 1991-2020..... 55
- Rybchenko L.S., Savchuk S.V.**  
Components of the radiation regime of solar radiation during droughts for 1991-2020 in Ukraine..... 63
- Presenting and official registration of the articles for the scientific periodical collection «Hydrology, hydrochemistry and hydroecology»..... 75**

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.2.1>

УДК 551.5; 556

**Манукало В.О.<sup>1</sup>, Хільчевський В.К.<sup>2</sup>, Гребінь В.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, Київ

<sup>2</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка

## УКРАЇНЬСЬКА НАУКОВА ГІДРОЛОГІЧНА ТЕРМІНОЛОГІЯ: ІСТОРІЯ ФОРМУВАННЯ, СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПРІОРИТЕТИ РОЗВИТКУ

*Метою цієї статті є ознайомлення широкого загалу науковців, освітян та практиків, які працюють у царині гідрології, використання та охорони поверхневих вод суходолу із становленням та розвитком української наукової термінології, а також напрацюваннями з цього напрямку досліджень за період незалежності України, які виконано в Українському гідрометеорологічному інституті ДСНС України та НАН України та на кафедрі гідрології та гідроекології географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.*

*Статтю підготовлено за результатами напрацювань авторів із розроблення гідрологічної нормативної, навчальної та науково-довідкової літератури, а також опрацювання відповідних українських і закордонних літературних джерел. Показано здобутки, проблемні питання, а також окреслено пріоритетні завдання щодо розвитку з цього напрямку досліджень.*

**Ключові слова:** гідрологія суходолу, наукова термінологія, становлення, розвиток, Україна.

**Вступ.** Слово «термін» у перекладі з латини означає «межа» і за визначенням фахівців-мовознавців являє собою слово або словосполучення, яке зіставляється з чітко окресленим поняттям з певної сфери суспільної діяльності (науки, мистецтва, політики тощо) і вступає в системні відношення з іншими подібними одиницями мови, утворюючи разом з ними особливу систему – термінологію [3, 9, 11].

Від того, наскільки добре науковці, викладачі навчальних закладів та практики володіють науковою термінологією, тобто правилами застосування слів і словосполучень, які означають поняття у певних галузях знань, залежить їхній професійний рівень. Стан розвитку національної наукової мови можна розглядати як показник, який у загальному вигляді віддзеркалює інтелектуальний, культурний та громадянський розвиток суспільства. Національна наукова термінологія формується і розвивається під впливом низки чинників, серед яких, в першу чергу, варто назвати загальний стан науки і техніки, рівень застосування літературної мови та національну свідомість суспільства.

Дослідження проблематики становлення та розвитку наукової термінології в Україні є важливим не тільки для мовознавців, а й для широкого загалу науковців, освітян та практиків, оскільки формування української наукової мови на теренах нашої держави відбувалося за несприятливих умов бездержавності, що тривалий час унеможливило становлення національної термінології.

Актуальність питання належного фахового застосування української наукової термінології та її подальшого розвитку зростає в умовах науково-технічного прогресу, перебудови національної свідомості суспільства, зміцнення статусу української мови. Вітчизняна наука активно інтегрується до світової наукової спільноти, а термінологія через мовну взаємодію розширює й поглиблює зв'язки українських вчених із зарубіжними колегами.

За період незалежності в Україні проведено значну роботу щодо розвитку наукової термінології за багатьма напрямками наук про Землю, зокрема, в галузі гідрології. Але, на думку авторів, забезпечення науковців, освітян та практиків нормативною та науково-довідковою літературою, яка б з одного боку, розширювала межі застосування української

мови, а з іншого, інтегрувала в національну термінологію міжнародні усталені терміни, відстає від вимог сьогодення. Актуальність цього питання зростає з огляду на те, що в 2022 р. Україна отримала статус країни-кандидата у члени Європейського Союзу.

Питання історії становлення та розвитку української наукової мови, а також проблеми, які ставали на заваді формуванню національної термінології розглянуто у низці досліджень [3, 9-11]. Результати цих досліджень використано авторами в статті. Що стосується робіт, у яких досліджується історія формування, сучасний стан та перспективи розвитку української наукової термінології в галузі гідрології, то можна назвати лише вкрай обмежену їхню кількість [4-6, 18].

*Метою цієї статті* є ознайомлення широкого загалу науковців, освітян та практиків, які працюють у царині гідрології, використання та охорони поверхневих вод суходолу із становленням та розвитком української наукової термінології, а також напрацюваннями з цього напрямку досліджень за період незалежності України, які виконано в Українському гідрометеорологічному інституті ДСНС України та НАН України та на кафедрі гідрології та гідроекології географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

*Матеріали та методи дослідження.* Статтю підготовлено на основі результатів напрацювань авторів із розроблення державних стандартів, навчальної, наукової та науково-довідкової літератури, а також опрацювання відповідних українських і закордонних літературних джерел, у яких розглядається питання формування наукової термінології в галузі гідрології.

Зазначимо, що питань формування української наукової гідрологічної термінології з позицій розвитку лексичної системи мови автори не торкалися; це відноситься до сфери досліджень фахівців-мовознавців.

**Виклад основного матеріалу.** Наукова термінологія формується під впливом низки лінгвістичних, суспільно-політичних, науково-технічних та культурних чинників, які визначають рівень проникнення її в усі сфери людської діяльності. Основу сучасної української наукової термінології закладено ще у XVIII ст., хоча багато термінів із сільського господарства, будівництва, філософських наук з'явилися значно раніше [11]. Українська термінологія упродовж двох століть є предметом досліджень вчених і фахівців, результати яких свідчать, що українська мова може успішно застосовуватись для творення наукового стилю [9].

В роботі Л.О. Симоненко [9] в розвитку української наукової термінології виділено чотири періоди. Автори даної статті взяли за основу цю періодизацію, але при розгляді формування та розвитку української наукової термінології в галузі гідрології виділили п'ять періодів (табл.).

*Таблиця. Періоди в розвитку української наукової термінології* (джерело: укладено авторами за [9])

Період	Роки	Примітка
Перший	друга половина XIX – початок XX ст.	діяльність журналу «Основа» та Наукового товариства імені Тараса Шевченка в Галичині
Другий	1920–1930-і роки	творення української фахової термінології; українська мова стала мовою адміністрування, законотворчості в колишній Українській СРР
Третій	1930-1950-і роки	у зв'язку з ліквідацією Інституту української наукової мови (1933 рік) українське термінотворення припинилося
Четвертий	1950–1980-і роки	створення Словникової комісії при АН Української РСР (1957 р.), розвиток термінологічних досліджень, особливо в 1960-1970-і роки
П'ятий	від 1991 р. - період незалежності України	якісно новий розвиток термінологічної справи в незалежній Україні на засадах української мови як державної

### **1. Період: друга половина XIX – початок XX століття**

У витоків формування української національної наукової термінології стоїть діяльність журналу «Основа» (1861 рік) та Наукового товариства імені Тараса Шевченка в Галичині, де перші словники з'явилися вже в другій половині XIX ст. [9].

В цей період сформувалось два різні концептуальні підходи щодо розвитку української термінології, які збереглися до теперішнього часу:

–термінотворення, що спирається на застосування народної мови з мінімальним запозиченням іншомовних термінів;

–достатньо широке запровадження в українську мову іншомовних термінів, які отримали міжнародне визнання.

Незважаючи на проведені пошукові дослідження авторам не вдалося знайти україномовні публікації в галузі гідрології, підготовлені в Західній Україні в той час.

В частині України, що входила до складу Російської імперії, наукові праці українською мовою почали з'являтися лише після 1905 р., коли маніфестом царя Миколи II було скасовано дію Емського указу царя Олександра II від 1876 р. про заборону української мови в офіційних сферах діяльності. Проте, до 1917 р. розвитку української наукової термінології в галузі гідрології не спостерігалось. Зокрема, публікації відомого вже на той час українського вченого-гідролога Є. Оппокова були написані виключно російською мовою.

## **2. Період: 1920 – 1930 роки**

Творення української термінології почалося після проголошення Української Народної Республіки. У цій царині плідно працювали: Українське наукове товариство в Києві (голова - М.С. Грушевський), Кам'янець-Подільський університет (ректор - І.І. Огієнко), Українська академія наук (президент - В.І. Вернадський).

Особливо активна розбудова української наукової термінології відбувалася впродовж 1921-1933 років, коли українська мова стала мовою всіх сфер суспільного й політичного життя в Україні. Російськомовні елементи замінювалися власними мовними елементами, а в крайніх випадках - безпосередніми запозиченнями із західноєвропейських мов, коли неможливо було висловити ту чи іншу думку засобами української мови [11].

В 1921 р. було утворено Інститут української наукової мови при Всеукраїнській академії наук, основним завданням якого було визначено: «...спрямовувати процес розвитку української наукової мови, виробляти спеціальну термінологію». Науковцями інституту було сформульовано основні засади творення української термінології, які використовуються і в теперішній час. До 1933 р. в інституті було підготовлено та видано близько сорока термінологічних словників із гуманітарних та природничих галузей знань. Спеціальної науково-довідкової літератури з гідрології не було видано, але низка фахових гідрологічних термінів увійшли в інші словники, зокрема, в словник з гідротехніки [9].

Одночасно розбудова української гідрологічної термінології в значній мірі відбувалася як наслідок практичної діяльності для задоволення потреб суспільства. Так, переважна більшість друкованої продукції гідрометеорологічної служби України готувалась українською мовою (рис.1). В цей час виходили наукові монографії та журнали українською мовою, навчальна література, які використовувались в науковій та практичній діяльності, а також при підготовці фахівців відповідного профілю. Серед них можна назвати такі книги, як: «Гідрометрія» (автори А.В. Огієвський та Є.В. Оппоков, 1930 р.) та «Гідрологія» (А.В. Огієвський, 1933 р.).

## **3. Період: 1930 – 1950 роки**

Після 1933 р. почалося політичне переслідування українських мовознавців і, як наслідок, Інститут української мови було ліквідовано. В Україні було впроваджено унікальний радянський винахід: формально національну українську мову не заборонили, але її розвиток визначали не реальні потреби суспільства, а політичні вимоги партійного керівництва держави. Українська наукова термінологія фактично втратила свою автентичність і перетворилась на копію російської. Зокрема, переважна частина матеріалів гідрометеорологічної служби України до 1991 р. друкувалася російською мовою. Кількість наукових та навчальних друкованих видань з гідрології українською мовою значно поступалось російськомовним виданням, які видавались за межами України. За цей час не вийшло жодного українського термінологічного словника з цієї наукової дисципліни.

Зазначимо, що процесу русифікації також сприяло надання російській мові статусу так званої «культурної місії», що передбачало доступ до джерел радянської та світової науки і культури виключно російською мовою [9].





*Рис. 1. Українська метеорологічна і гідрологічна служба. Гідрометричний щорічник, 1927 р.*

#### **4. Період: 1950 – 1980 роки**

Певне «відродження» термінологічних досліджень в різних галузях знань в Україні почалося в другій половині 1950–х років. Цьому сприяло створення в 1957 р. Президією Академії наук УРСР Словникової комісії АН УРСР, якою протягом 1959–1979 років було видано 75 термінологічних словників; з них 22 – тлумачні та тлумачно–перекладні, 14 – довідники, 32 – словники для перекладу [3].

У 1978 р. при Президії Академії наук УРСР створюють Комітет наукової термінології, котрий повинен був продовжити діяльність Словникової комісії, зокрема:

– розробити принципи та методологію створення галузевих терміносистем та впровадити їх у практику;

– обґрунтувати питання стандартизації та уніфікації наукової термінології; впроваджувати термінологічну лексику та термінологічну норму в практику.

Однак, це не стало на заваді подальшому зросійщенню вищої школи й науки в Україні. Із вжитку було вилучено велику кількість слів, що не мали спільних з російською мовою коренів або не були кальками чи прямими запозиченнями з неї. За ці роки не було видано жодного тлумачного словника з гідрології. Радянська система створення нормативних документів вилучила українську мову зі сфери наукової та технічної діяльності; навіть республіканські стандарти колишньої УРСР видавалися російською мовою [18]. Переважна більшість матеріалів гідрометеорологічної служби УРСР також друкувалася російською мовою [19].

#### **5. Період: після 1991 року**

Якісно новий період у розвитку української термінології починається з надбанням в 1991 р. Україною незалежності та конституційним закріпленням української мови як державної. Науковці та фахівці з різних сфер знань спільно з мовознавцями розпочали унормовувати науково-технічну термінологію. На регулярній основі стали масово видаватись словники різних типів – перекладні, енциклопедично-довідкові, тлумачно-перекладні, а також словники нових типів.

Важливим напрямом термінознавства стала стандартизація термінології, тобто вироблення термінів-еталонів, які відповідали б усім лінгвістичним і логічним вимогам до термінів. З цією метою в 1992 р. спільним наказом Міносвіти України та Держстандарту України було створено технічний комітет стандартизації науково-технічної термінології на базі Львівського національного університету «Львівська політехніка».

Активно розроблялись національні стандарти України на терміни і визначення основних понять, що застосовуються в окремих галузях знань. Так, технічним комітетом стандартизації «Гідрометеорологія», створеним на базі Державного комітету України по гідрометеорології, протягом 1990–2000 років було розроблено низку стандартів на терміни

та визначення з метеорології, гідрології, океанології, синоптичної метеорології, авіаційної метеорології, кліматології, сільськогосподарської метеорології. У 1997 р. вперше було розроблено та видано національний стандарт України - ДСТУ «Гідрологія суші. Терміни та визначення основних понять» [18]. Ці стандарти знайшли широке застосування як в гідрометеорологічній службі України, так і в наукових, проектних, виробничих організаціях та навчальних закладах країни, що займаються питаннями проведення гідрометеорологічних спостережень і робіт.

У цей період з'явилися тлумачні словники, у яких висвітлювались питання гідрології, пов'язані з екологією, зокрема «Гідролого-екологічний тлумачний словник» за редакцією А.В. Яцика (1995 р.) [1] та «Гідроекологічний словник», підготовлений М.А. Петровською (2010 р.) [8].

Розвитку термінофонду української мови за часів незалежності, значному його поповненню новими термінами також сприяла світова глобалізація економічних, науково-технічних, соціальних та культурних процесів. В 2000-х роках гідрологічні терміни з англійської мови почали все активніше використовуватися в Україні, чому сприяло впровадження документів Європейського водного законодавства, зокрема Директиви 2000/60/ЄС «Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики» та Директиви 2007/60/ЄС «Про оцінку і управління ризиками затоплення» а також довідкової літератури, підготовленої під егідою ЮНЕСКО та Всесвітньої метеорологічної організації [16].

Особливістю цього періоду є те, що нові гідрологічні терміни та визначення почали застосовувати в законодавчих та нормативно-правових актах, відомчих нормативних документах гідрометеорологічної служби, органах водного господарства та охорони довкілля, при тому, що вони ще не були унормовані в термінологічному стандарті, або в спеціалізованих словниках, у зв'язку із відсутністю останніх. Більше уваги почали приділяти формуванню термінології в царині проблематики водних ресурсів [17]. Російська масштабна військова агресія проти України, яка почалася 24 лютого 2024 р., привернула увагу наукової громадськості до нових термінів, наприклад таких, як «водний конфлікт» [12].

Проаналізувавши стан питання із функціонування української наукової мови в галузі гідрології, автори прийшли до висновку щодо необхідності проведення упорядкування української термінології в цій науковій сфері з позицій, які:

– враховують прогрес, досягнутий в науках про воду на національному та міжнародному рівнях;

– спираються на спадщину, отриману від українських вчених;

– враховують сучасні тенденції у розвитку української наукової мови.

Результатом цієї роботи стало видання «Гідрологічного словника» [14] та «Гідрохімічного словника» [13] (рис. 2), фактично перших в Україні тлумачних словників з цих наукових дисциплін, пов'язаних з вивченням, використанням, охороною та відтворенням водних ресурсів.

**«Гідрологічний словник»** [14] містить понад 1600 термінів і понять, які вживаються в літературі з гідрології, а також низку термінів із суміжних дисциплін – метеорології, географії, геології, екології тощо. У списку літератури Словника міститься 76 літературних і нормативних джерел, зокрема:

– законодавчі акти України (Водний кодекс України, Закон України «Про гідрометеорологічну діяльність» тощо);

– акти Уряду України, що врегульовують питання проведення моніторингу поверхневих вод та управління водними ресурсами;

– діючі державні стандарти України з визначення термінів і понять, які використовують у діяльності, пов'язаній з поверхневими водами суходолу;

– напрацювання провідних українських вчених;

– відповідні нормативні документи, які прийняті в центральних органах виконавчої влади, що формують або реалізують державну політику у сферах гідрометеорологічної діяльності, охорони навколишнього природного середовища, розвитку водного господарства, управління, використання та відтворення поверхневих водних ресурсів; закордонні напрацювання, які увійшли у водне законодавство ЄС, технічні документи та

науково-довідкова література, видана під егідою ЮНЕСКО, ВМО, Міжнародної асоціації гідрологічних наук.



Рис. 2. Обкладинки «Гідрологічного словника», 2022 р. та «Гідрохімічного словника», 2022 р. [13, 14]

«Гідрохімічний словник» [13] містить понад 900 термінів і понять, які вживаються в літературі з гідрохімії, гідрології та дисциплін, пов'язаних з оцінюванням якості води. У списку літератури Словника міститься 99 літературних і нормативних джерел.

У «Гідрохімічному словнику» враховано зміни, що відбулися в останні роки в нормативній базі сфери оцінювання якості води. Особливо варто відзначити розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.01.2016 р. «Про визнання такими, що втратили чинність, та такими, що не застосовуються на території України, актів санітарного законодавства», яким скасовано застосування на території України нормативних документів колишнього СРСР та Української РСР, що зокрема стосуються якості вод. Натомість, у «Гідрохімічному словнику» наведено терміни, що з'явилися у Водній рамковій директиві Європейського Союзу (2000 р.), пов'язані з моніторингом якості вод [15]

В процесі роботи над словниками [13, 14] автори намагались вирішити два завдання:

– сприяти інтегруванню іншомовних термінів та їх визначень, які увійшли до міжнародної нормативної, наукової та довідкової літератури, в українське фахове середовище;

– сприяти збереженню спадщини культури застосування української наукової мови.

По-можливості, автори намагались уникати «сліпого» калькування іншомовних термінів. Разом з тим, автори не поділяють точку зору, що з української наукової термінології слід максимально вилучити все, що прийшло із міжнародного наукового середовища. Дуже проблематично, примусити науковців та фахівців високої кваліфікації відмовитися вживати терміни, якими вони звикли оперувати упродовж багатьох років, особливо в умовах інтенсивної співпраці з міжнародною фаховою спільнотою. Наскільки це вдалося, автори сподіваються почути від науковців і фахівців, які працюють в царині водної проблематики, бажано також і філологів, після їх ознайомлення зі змістом словників.

**Робота над новим ДСТУ «Гідрологія суходолу. Терміни та визначення основних понять».** Наступним кроком з упорядкування української наукової термінології є розроблення нової редакції національного стандарту України ДСТУ «Гідрологія суходолу. Терміни та визначення основних понять», який повинен замінити діючий ДСТУ 3517–97 [2]. Над цим зараз працює колектив, до складу якого увійшли, крім авторів статті, науковці та фахівці з Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України, Українського гідрометеорологічного центру ДСНС України, Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського ДСНС України, Одеського державного

екологічного університету, а також апарату управління ДСНС України - центрального органу виконавчої влади, який реалізує державну політику у сфері гідрометеорологічної діяльності.

Завданнями цієї розробки є:

– унормування та затвердження в сферах знань і діяльності, пов'язаних з вивченням, використанням та охороною поверхневих вод, однозначно зрозумілих, несуперечливих термінів у довідковій, технічній та науковій літературі;

– забезпечення однаковості описування об'єктів у процесі гармонізування національних стандартів з міжнародними стандартами.

Очікуваний термін набуття чинності нового стандарту – перше півріччя 2024 року.

На думку авторів подальший розвиток термінологічної справи є одним з актуальних напрямів досліджень не лише з гідрології, а й в цілому у сфері наук про Землю, оскільки різного роду словники та довідники через фахову термінологію дозволяють створювати сукупність знань суспільства на кожному історичному етапі його розвитку. Подальший розвиток науково-технічної термінології, вирішення проблем «спадщини», «запозичень», «транслітерації», «культури застосування наукової мови» вимагає об'єднання зусиль вчених, що працюють у певних наукових дисциплінах та мовознавців [11].

Впорядкуванню наукової гідрологічної термінології сприятиме створення електронних словників, що дозволить на базі застосування сучасних інформаційних технологій розробити фактично не обмежені за об'ємом та доступні широкому загалу користувачів автоматизовані банки термінів та понять, а також систематизувати масиви фактологічних даних для подальшого видання енциклопедичних видань. В рамках вирішення цього завдання доцільно приділити увагу створенню фахових українсько-англійських словників, беручи до уваги надання в 2022 р. Україні статусу кандидата на вступ до ЄС.

**Висновки.** Історія формування української наукової гідрологічної термінології за останній більш ніж 150-и річний період в значній мірі віддзеркалює складний історичний процес становлення України як незалежної держави. Незважаючи на труднощі розвитку на певних історичних етапах, термінологічна діяльність на теренах сучасної України розвивалась, виступаючи потужним чинником утвердження власного стилю української наукової мови, який може задовольнити попит широкого кола вчених та фахівців-практиків, які працюють в царині вивчення, використання та охорони поверхневих вод.

Також доцільно приділити увагу створенню фахових українсько-англійських словників, беручи до уваги надання в 2022 р. Україні статусу кандидата на вступ до ЄС.

В Україні сформувались колективи науковців та освітян, які мають значні напрацювання з розроблення української гідрологічної термінології. Важливо не залишати поза увагою цей напрям досліджень і в подальшому. Особливо це стосується впровадження термінів в практичну діяльність. Серед заходів, які можуть сприяти цьому можна назвати включення питань гідрологічної термінології до програм наукових та науково-практичних заходів, які проводять в Україні з водної проблематики, а також до програм курсових заходів з підвищення кваліфікації фахівців, які працюють в підприємствах, установах та організаціях гідрометеорологічної служби, органах водного господарства, охорони довкілля.

#### Список літератури

1. Гідролого-екологічний тлумачний словник / За ред. А.В. Яцика. К.: Урожай, 1995. 157 с.
2. Державний стандарт України ДСТУ 3517-97. Гідрологія суші. Терміни та визначення основних понять. К: Держстандарт України. 107 с.
3. Кочан І.О. Українське термінознавство 1960-1990-х років. Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія "Проблеми української термінології". 2012. № 733. С.24-28.
4. Манукало В.О., Митник Т.Г., Ковальська Л.Г. Міжнародна стандартизація у сфері метеорології та гідрології: історія становлення, сучасний стан та тенденції розвитку. Стандартизація, сертифікація, якість. 2017. № 3(106). С. 57-66.
5. Манукало В.О., Голєня Н.К., Ковальська Л.Г. Стандартизація інформації про екстремальні гідрометеорологічні явища – складова частина управління ризиками стихійних лих. В кн. Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології. Ніка-Центр, 2019. С. 148-156.
6. Манукало В.О., Митник Т.Г., Ковальська Л.Г., Гальперіна Т.О. Розроблення українських національних нормативних документів у сфері гідрометеорологічної діяльності. Стандартизація, ISSN:2306-5680 **Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2023. № 2 (68)**

сертифікація, якість. 2020. № 5(123). С. 12-20.

7. *Осадчий В.І., Хільчевський В.К., Манукало В.О.* Національна гідрометеорологічна служба в Україні - століття системних спостережень і прогнозів (1921-2021). Український географічний журнал. 2021. №3. С. 3-11.

8. *Петровська М.А.* Гідроекологічний словник. Львів: ВЦ ЛНУ ім. І. Франка. 2010. 140 с.

9. *Симоненко Л.О.* Українська термінографія: стан і перспективи. Мовознавство. 2014. № 4. С.29-35.

10. *Симоненко Л.О.* Українське термінознавство кінця ХХ - початку ХХІ ст. Стан і перспективи розвитку. Мовознавство. 2018. № 3. С.39-47.

11. *Фурт Д.В., Дмитрук Л.А.* Термінологія: навчальний посібник. Кривий Ріг. ДонНУЕТ. 2020. 172 с.

12. *Хільчевський В.К.* Водні та збройні конфлікти – класифікаційні ознаки: у світі та в Україні. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2022. № 1(63). С. 6-19.

13. *Хільчевський В.К.* Гідрохімічний словник. К. ДІА. 2021. 208 с.

14. *Хільчевський В.К., Гребін В.В., Манукало В.О.* Гідрологічний словник. К: ДІА. 2021. 236 с.

15. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000. Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy. 2000. URL.: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32000L0060>.

16. International Glossary of Hydrology. WMO, UNESCO, Geneva, 2012. 461p.

17. *Khilchevskiy V.K.* Water resources of Ukraine: assessment based on the FAO Aquastat database. Proceedings 15th International Scientific Conference: *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. European Association of Geoscientists & Engineers, 2021. P. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2005>

18. *Manukalo V.O., Grebin V.V.* Developing the Ukrainian Hydrological Terminology as a Component of Water-Related Activity and its Integration with the International Professional Community//Proceedings of the 16th International Monitoring Conference of Geological Processes and Ecological Condition of Environment, .2022, P.1 - 5. <https://doi.org/103997/2214-4609.2022580007>.

19. *Osadchyi V.I., Khilchevskiy V.K., Manukalo V.O.* National Hydrometeorological Service in Ukraine - 100 Years of System Monitoring (1921-2021). *Proceedings 15th International Scientific Conference: Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. European Association of Geoscientists & Engineers, 2021. P. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2008>

## References

1. Hidroloho-ekolohichniy tlumachnyi slovnyk [Hydrological and ecological explanatory dictionary] / Za red. A.V. Yatsyk. K.: Urozhai, 1995.157 s.2.1. Derzhavnyi standart Ukrainy DSTU 3517-97. Hidrolohiia sushy. Terminy ta vyznachennia osnovnykh poniat [Hydrology of Land. Basic terms and definitions]. K: Derzhstandart Ukrainy. 107 s.

3. *Kochan I.O.* Ukrainske terminoznavstvo 1960-1990-kh rokiv [Ukrainian terminology of 1960s-1990s]. Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politehnika". Seriya "Problemy ukrainskoi terminolohii". 2012. № 733. S.24-28.

4. *Manukalo V.O., Mytnyk T.H., Kovalska L.H.* Mizhnarodna standartyzatsiia u sferi meteorolohii ta hidrololohii: istoriia stanovlennia, suchasnyi stan ta tendentsii rozvytku [International standardization in the field of meteorology and hydrology: history of development, current state and development trends]. Standartyzatsiia, sertyfikatsiia, yakist. 2017. № 3(106). S. 57-66.

5. *Manukalo V.O., Holenia N.K., Kovalska L.H.* Standartyzatsiia informatsii pro ekstremalni hidrometeorolohichni yavyscha – skladova chastyna upravlinnia ryzykamy stykhiinykh lykh [Standardization of information on extreme hydrometeorological phenomena – a component of natural disaster risk management]. V kn. Problemy hidrololohii, hidrokhimii, hidroeolohii. Nika-Tsent, 2019. S. 148-156.

6. *Manukalo V.O., Mytnyk T.H., Kovalska L.H., Halperina T.O.* Rozroblennia ukrainskykh natsionalnykh normatyvnykh dokumentiv u sferi hidrometeorolohichnoi diialnosti [Development of Ukrainian national regulatory documents in the field of hydrometeorological activities]. Standartyzatsiia, sertyfikatsiia, yakist. 2020. № 5(123). S. 12-20.

7. *Osadchyi V.I., Khilchevskiy V.K., Manukalo V.O.* Natsionalna hidrometeorolohichna sluzhba v Ukraini - stolittia systemnykh sposterezhen i prohnoziv (1921-2021) [The National Hydrometeorological Service in Ukraine - a century of systematic observations and forecasts (1921 – 2021)]. Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal. 2021. №3. S. 3-11.

8. *Petrovska M.A.* Hidroekolohichniy slovnyk [Hydroecological dictionary]. Lviv: VTs LNU im. I. Franka. 2010. 140 s.

9. *Symonenko L.O.* Ukrainska terminohrafiia: stan i perspektyvy [Ukrainian terminography: state and prospects]. Movozaivstvo. 2014. № 4. S.29-35.

10. Symonenko L.O. Ukrainiske terminoznavstvo kintsia XX - pochatku XXI st. Stan i perspektyvy rozvytku [Ukrainian terminology of the late 20th - early 21st centuries. State and prospects of development]. Movoznavstvo. 2018. № 3. S.39-47.
11. Furt D.V., Dmytruk L.A. Terminohiia: navchalnyi posibnyk [Terminology: textbook]. Kryvyi Rih. DonNUET. 2020. 172 s.
12. Khilchevskiy V.K. Vodni ta zbroini konflikty – klasyfikatsiini oznaky: u sviti ta v Ukraini [Water and armed conflicts - classification features: in the world and in Ukraine]. Hidrolohiia, hidrokimiia i hidroekolohiia, 2022. № 1(63). С. 6-19.
13. Khilchevskiy V.K. Hidrokhimichni slovnyk [Hydrochemical dictionary]. K. DIA. 2021. 208 s.
14. Khilchevskiy V.K., Hrebin V.V., Manukalo V.O. Hidrolohichni slovnyk [Hydrological dictionary]. K: DIA. 2021. 236 s.
15. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000. Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy. 2000. URL.: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32000L0060>.
16. International Glossary of Hydrology. WMO, UNESCO, Geneva, 2012. 461p.
17. Khilchevskiy V.K. Water resources of Ukraine: assessment based on the FAO Aquastat database. Proceedings 15th International Scientific Conference: *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. European Association of Geoscientists & Engineers, 2021. P. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2005>
18. Manukalo V.O., Grebin V.V. Developing the Ukrainian Hydrological Terminology as a Component of Water-Related Activity and its Integration with the International Professional Community//Proceedings of the 16th International Monitoring Conference of Geological Processes and Ecological Condition of Environment, .2022, P.1 - 5. <https://doi.org/103997/2214-4609.2022580007>.
19. Osadchyi V.I., Khilchevskiy V.K., Manukalo V.O National Hydrometeorological Service in Ukraine - 100 Years of System Monitoring (1921-2021). *Proceedings 15th International Scientific Conference: Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. European Association of Geoscientists & Engineers, 2021. P. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2008>

#### **Ukrainian scientific hydrological terminology: history of formation, current state and development priorities**

**Manukalo V.O., Khilchevskiy V.K., Grebin V.V.**

*The purpose of this article is to acquaint the general public of scientists, educators and practitioners who work in the field of hydrology, use and protection of surface waters of the land with the formation and development of Ukrainian scientific terminology, as well as the developments in this direction of research during the period of independence of Ukraine, which were carried out in the Ukrainian Hydrometeorological Institute the Institute of the State Emergency Service of Ukraine and the National Academy of Sciences of Ukraine and at the Department of Hydrology and Hydroecology of the Faculty of Geography of Taras Shevchenko Kyiv National University.*

*The history of the formation of Ukrainian scientific hydrological terminology over the last more than 150-year period largely reflects the complex historical process of the formation of Ukraine as an independent state. Despite the difficulties of development at certain historical stages, terminological activity on the territory of modern Ukraine developed, acting as a powerful factor in the establishment of its own style of Ukrainian scientific language, which can satisfy the demand of a wide range of scientists and practitioners working in the field of studying, using and protecting surface waters.*

*In Ukraine, teams of scientists and educators have formed, which have significant achievements in the development of Ukrainian hydrological terminology. It is important not to neglect this direction of research in the future. This especially applies to the implementation of terms in practical activities. Among the measures that can contribute to this, it is possible to name the inclusion of issues of hydrological terminology in the programs of scientific and scientific-practical events held in Ukraine on water issues, as well as programs of course events for improving the qualifications of specialists working in enterprises, institutions and organizations of the hydrometeorological service , water management, environmental protection.*

*The article was prepared based on the results of the authors' work on the development of hydrological normative, educational and scientific reference literature, as well as the study of relevant Ukrainian and foreign literary sources. Achievements, problematic issues are shown, and priority tasks for development in this direction of research are outlined.*

**Keywords:** land hydrology, scientific terminology, formation, development, Ukraine.

**Надійшла до редколегії 08.05.2023**

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.2.2>  
УДК 556.06+.537

**Ободовський О.Г.<sup>1</sup>, Корнієнко В.О.<sup>2</sup>, Кузьмочко В.Ю.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка

<sup>2</sup>Український гідрометеорологічний центр ДСНС України

## ОЦІНКА ВЕРТИКАЛЬНИХ РУСЛОВИХ ДЕФОРМАЦІЙ РІЧОК БАСЕЙНУ ТЕТЕРЕВА

Проведено дослідження вертикальних руслових деформацій основних річок басейну Тетерева за останній 40 річний період за даними 6 гідрологічних постів. Передумовою до цього було встановлення тенденцій змін водності розглядуваних водотоків. Виявлено загальне зниження цих показників, особливо середніх та максимальних показників стоку. Це добре співставимо з раніше проведеними дослідженнями за коливаннями водності досліджуваних річок. З урахуванням викладеного показано, що сучасні вертикальні руслові деформації характеризують акумуляцію наносів в руслах річок басейну середня інтенсивність якої змінюється в межах 0,27-1,31 см/рік. У цілому ця тенденція підтверджується і зміною поздовжніх профілів річок за вказаний період.

**Ключові слова:** річки басейну Тетерева, вертикальні руслові деформації, коливання стоку води, процеси акумуляції наносів, поздовжні профілі річок.

**Вступ.** Вертикальні руслові деформації обумовлюють трансформацію поздовжнього профілю річки шляхом зміни рельєфу русла. Незважаючи на незначні темпи вони впливають на зміну прояву горизонтальних деформацій і складають загальні умови прояву руслових процесів [1].

Наслідком прояву вертикальних деформацій є постійна зміна абсолютних відміток дна русла, що виникають під дією ерозійно-аккумулятивних процесів. Зміна відміток дна русла, в свою чергу, впливає на абсолютні відмітки рівнів води, які використовують багато галузей господарства (промислові та комунальні водозабори, робота енергетичних об'єктів, водний транспорт, гідротехнічне будівництво та обслуговування тощо). [2,3].

На сьогодні, існує слабка обізнаність про руслові процеси і, зокрема, про сучасні вертикальні руслові деформації річок басейну Тетерева та тенденції їх прояву. Проте певні дослідження цього питання були виконані ще в кінці 90-х років минулого століття і було б цікаво прослідкувати зміни в характері прояву цих деформацій на вказаних річках.

**Мета дослідження** - оцінювання вертикальних руслових деформацій на річках басейну Тетерева (рис. 1).

До основних **завдань роботи** можна віднести просторово-часову оцінку змін водності річок басейну, побудову та динаміку різночасових поздовжніх профілів річок, аналіз кривих витрат води, встановлення та оцінку вертикальних руслових деформацій досліджуваних річок.

**Вихідні дані та методи дослідження.** Для виконання мети та поставлених завдань використано щоденні рівні та витрати за даними діючих 6 гідрологічних постів, розташованих на 4 річках досліджуваного водозбору (рис. 1).

З метою оцінювання впливу змін водності досліджуваних річок на їх руслові процеси взагалі та вертикальні руслові деформації зокрема були побудовані і проаналізовані графіки ходу змін водності для середніх, максимальних та мінімальних річних витрат води за період 1980-2020рр. (рис.2).

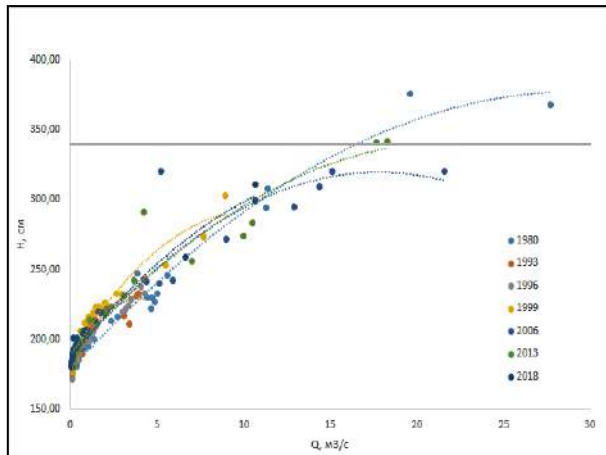
За вказаними побудовами був встановлений часовий тренд (тенденція) змін наведених витрат.

Отримані результати для часових змін вказаних витрат засвідчують загальне зменшення за 40-річний період їхніх показників. Особливо це стосується середньорічних та максимальних витрат води. Така ситуація добре співвідноситься з раніше отриманими

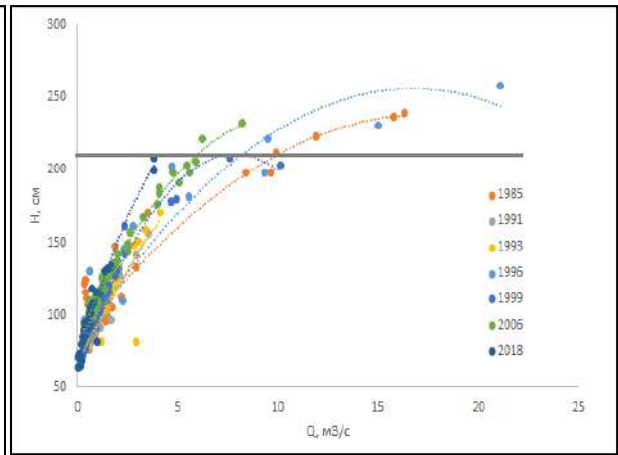




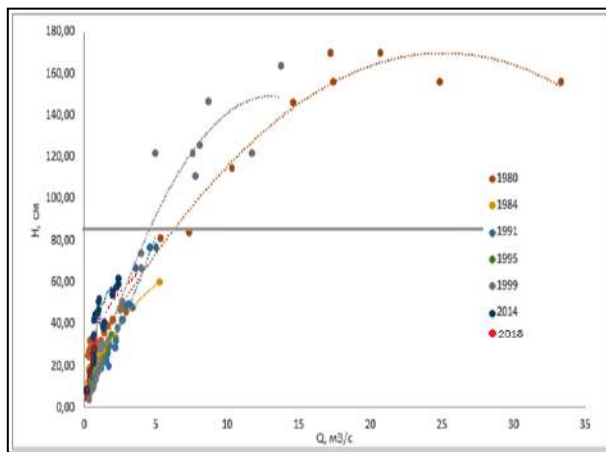
Власне за цей період спостережень (орієнтовно 40 років) були побудовані криві витрат води  $Q=f(H)$  (рис.3).



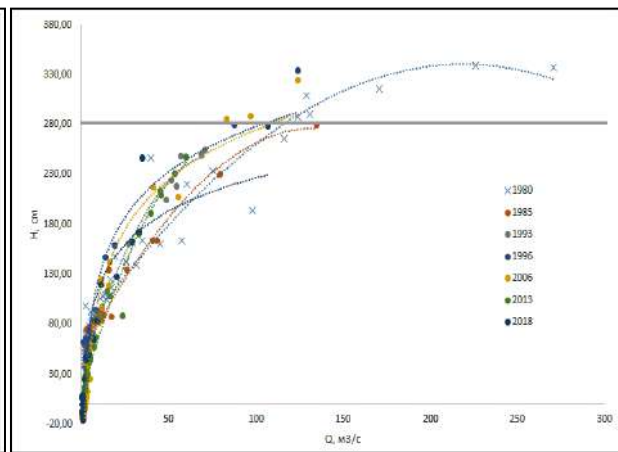
а)



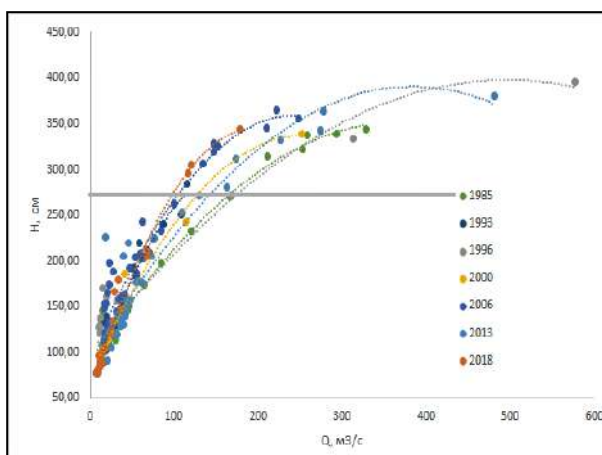
б)



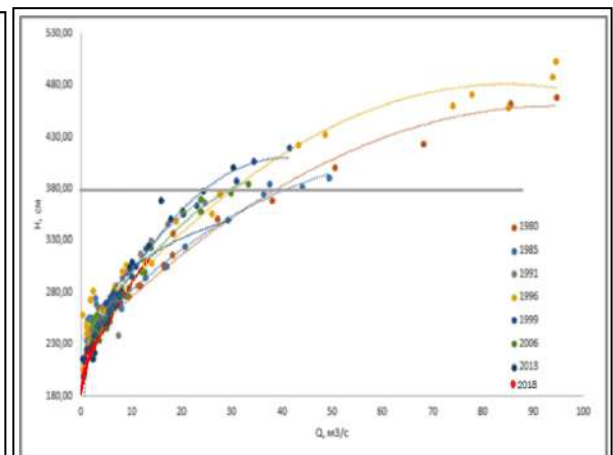
в)



г)



д)



е)

Рис. 3. Суміщені криві  $Q=f(H)$  для: а) р. Ірша -гідрологічний пост Хорошів; б) р. Гуйва -гідрологічний пост Городківка; в) р. Тетерів -гідрологічний пост Троця; г) р. Ірша-гідрологічний пост Українка; д) р. Тетерів -гідрологічний пост Іванків; е) р. Гнилоп'ять – гідрологічний пост Головенка

Указані криві будувались за даними середньодобових витрат і рівнів води. Вибір саме вказаних характеристик обумовлений тим, що для рівнинних річок (до яких можна віднести і досліджувані водотоки), середньодобові та витрати і рівні води практично не відрізняються від вимірених за рахунок певної інерції цих змін. Для гірських та напівгірських річок такий підхід є недоречним із-за швидкоплинних коливальних змін витрат і рівнів води протягом доби [7-9].

З метою більш об'єктивної оцінки прояву вертикальних деформацій були обрані відносно багатоводні роки, щоб можна було залучити до розгляду якомога більший спектр витрат і рівнів води. До таких віднесені наступні роки - 1980, 1985, 1993, 1996, 2006, 2013, 2018. Для гідрологічних постів в с. Троща - р. Тетерів та в с. .Городківка- р .Гуйва вказані роки були незначно змінені. Таким чином було побудовано 6-8 кривих витрат за вказаний період, що дає підстави свідчити про достатньо об'єктивне оцінювання їх часової динаміки. Варто також відзначити, що на кривих витрат встановлений вихід води на заплаву і деякі з них перетирають цю відмітку. Але при затопленій заплаві, враховуючи її ширину, шорсткість та антропогенні видозміни на її поверхні, може суттєво змінитися характер прояву вертикальних деформацій. Тому їхній аналіз проводився лише в межах руслових бровок [1,3]. Вихід води на поверхню заплави представлений на усіх графіках суцільною горизонтальною лінією.

Для встановлення основних тенденцій у динаміці вертикальних руслових деформацій вказаних річок було використано залежність  $Q=f(H)$  для річок басейну (табл. 1). За вказаною залежністю за відомими методами[1-3] було оцінено характер прояву вертикальних руслових деформацій для вищенаведених гідрологічних постів. Оцінки деформацій були приведені до середньостатистичних витрат води, які спостерігалися перед виходом води на поверхню заплави.

Отримані результати засвідчили для річок басейну повсемісне зростання рівнів води при фіксованих витратах у межах руслових бровок. Це є свідченням того, що для всіх досліджуваних русел річок спостерігаються процеси акумуляції, хоча їхня інтенсивність може проявлятися по-різному. Так для верхів'їв річок (Тетерів – с. Троща, Ірша – смт Хорошів) її величини є незначними. Натомість в нижніх течіях розглядуваних водотоків (Тетерів – смт Іванків, Ірша - с.Українка) спостерігається суттєве зростання вказаних процесів. Але, у цілому, має місце накопичення наносів в руслах вказаних річок.

**Таблиця 1. Зміна залежності  $Q=f(H)$  для річок басейну Тетерева**

№	Річка-пункт	Період спостереження	Q, м³/с	$\Delta_{\max}$ , см(+ - акумуляція)	$\Delta_{\max}$ , см/рік	$\Delta_{\text{сер}}$ , см/рік
1	Тетерів – с. Троща	1980-2018	10	+18	+0,48	+0,27
2	Тетерів – смт Іванків	1985-2018	100	+69	+2,09	+1,31
3	Гнилопять -с. Головенка	1980-2018	20	+53	+1,40	+0,80
4	Гуйва –с. Городківка	1985-2018	5,0	+38	+1,15	+0,68
5	Ірша – смт Хорошів	1980-2018	5,0	+22	+0,58	+0,31
6	Ірша – с. Українка	1980-2018	50	+55	+1,45	+0,85

Цікавим, на наш погляд, є порівняльний аналіз отриманих результатів з попередніми дослідженнями [3,9]. Для річок Тетерева та Ірші в 60-80-х роках минулого століття спостерігалися зворотні процеси з превалюванням ерозії в руслах цих річок. В цей же період мала місце їх підвищена водність [5]. Отже, тенденція до змін умов прояву вертикальних руслових деформації, які встановлюються за допомогою кривих витрат води  $Q=f(H)$  превалюючи може бути обумовлена фазами водності, в яких знаходиться річка. Особливо це стосується середнього і максимального стоку, які мають схожу тенденцію у режимі змін фаз водності [5,10].

Оцінка вертикальних руслових деформацій за допомогою кривих витрат води є дискретною і стосується ділянки річки поблизу гідрологічного поста. Для континуального оцінювання цих деформацій можна використати накладання їхніх різночасових поздовжніх

профілів. Тому для вказаних 4 річок басейну були побудовані їх поздовжні похили для початку (1986р.) і закінчення періоду спостережень (2020р.) (рис.4-7). Звісна річ, масштабність побудови поздовжніх профілів не дозволяє встановити їхнє зміщення за вказаний період з точністю до сантиметрів. Натомість тенденцію до розмивання (просідання) дна русла або до акумуляції (накопичення) наносів та його підвищення за порівнянням різночасових поздовжніх профілів можна встановити. Такий підхід був успішно раніше застосований для річок басейну Дністра [11-12].

У цілому, на порівнювальних поздовжніх профілях в районах розміщення гідрологічних постів можна спостерігати незначне зміщення одного відносно іншого з невеликим превалюванням висотних положень поздовжнього профілю за 2020 рік, що підтверджує зростання акумулятивних процесів в руслах річок в сучасних умовах. Але цей процес не є континуальним. На деяких ділянках річок має місце врізання їх русел, зокрема в умовах виходу на денну поверхню порід Українського кристалічного щита (р. Тетерів-Радомишль, р. Гнилоп'ять - Бердичів).

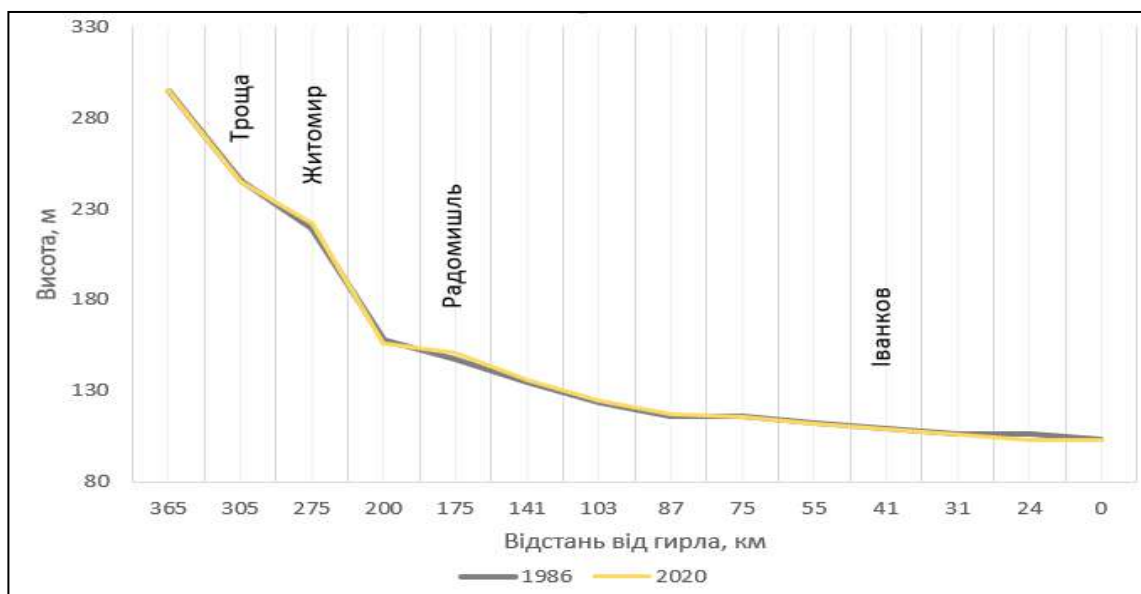


Рис. 4. Поздовжній профіль річки Тетерів

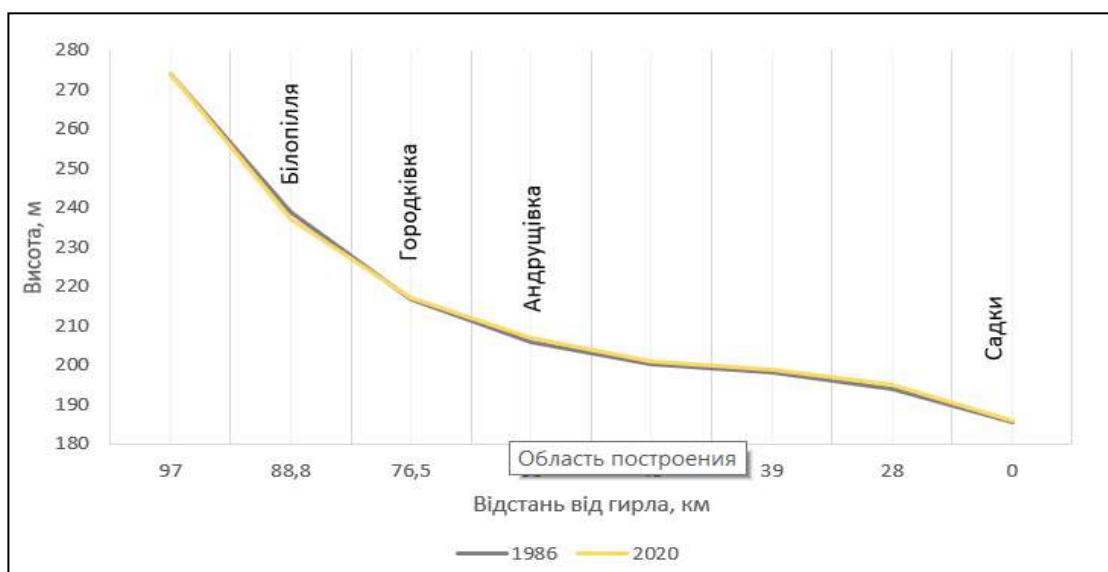


Рис. 5. Поздовжній профіль річки Гуйва

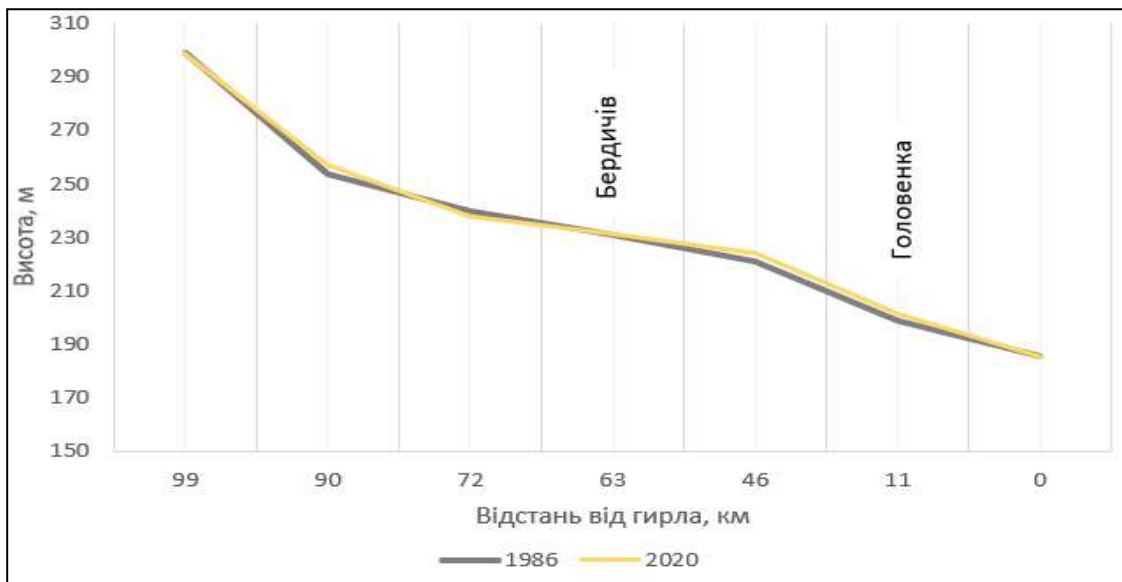


Рис. 6 Поздовжній профіль річки Гнилоп'ять

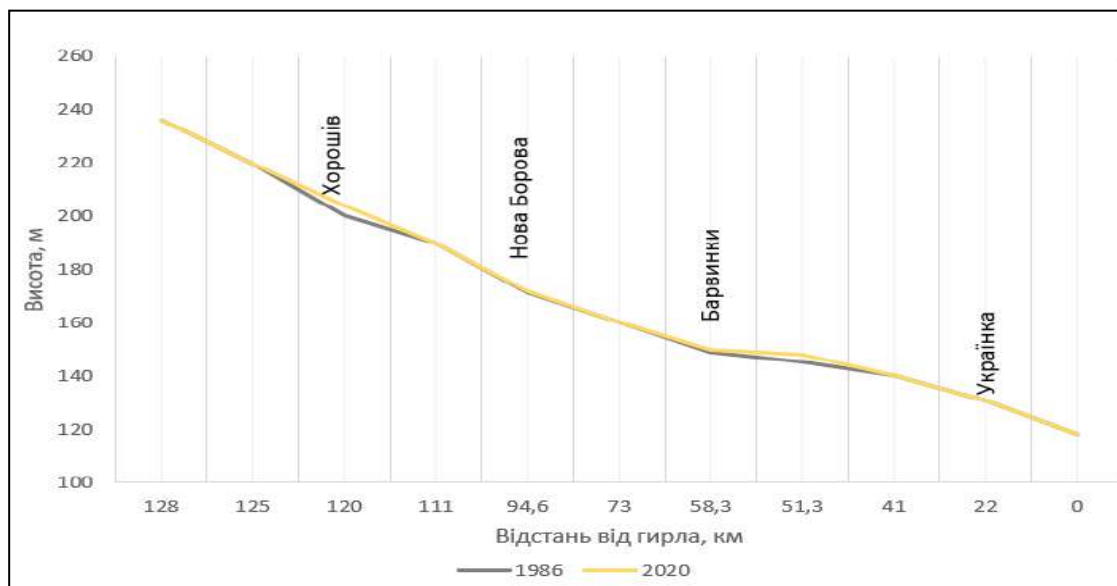


Рис. 7. Поздовжній профіль річки Ірша

**Висновки.** Результати дослідження вертикальних руслових деформацій річок басейну Тетерева засвідчили тенденцію до накопичення наносів в їхніх руслах за останній 40-річний період. Величини акумуляції наносів коливаються в середніх показниках у межах 0,27-1,31 см/рік і їх величини зростають в нижніх течіях. Максимальні показники акумуляції зростають в межах 0,48-2,09 см/рік. Встановлено, що цей процес превалюючи залежить від змін фаз водності досліджуваних річок. Порівняльний аналіз з попередніми дослідженнями засвідчив зміну процесів врізання (ерозії) на акумуляцію в руслах річок.

Порівняльний аналіз дискретних ( за кривими витрат за даними гідрологічних постів) та континуальних (за поздовжніми профілями) оцінок вертикальних руслових деформацій дає можливість більш об'єктивного встановлення тенденцій їхніх проявів.

#### Список літератури

1. Латориця : гідрологія, гідроморфологія, руслові процеси / Ободовський О. Г., Онищук В. В., Розлач З. В. та ін. ; [за ред. О. Г. Ободовського]. – К. : ВПЦ «Київський університет», 2012. 319 с.

2. Руслові процеси: підручник / О.Г. Ободовський. К.: ВПЦ «Київський університет», 2017. 511 с.
3. *Ободовський О. Г.* Гідролого-екологічна оцінка руслових процесів : (на прикладі річок України) / О. Г. Ободовський ; КНУ ім. Тараса Шевченка. К. : Ніка-Центр, 2001. 274 с.
4. *Ободовський О.Г., Лук'янець О.І., Москаленко С.О., Корнієнко В.О.* Узагальнення середнього річного стоку води річок відповідно до гідрографічного районування України. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». 2020. № 51. С. 158-170. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-11> .
5. *О.І. Лук'янець, О.Г. Ободовський, В.В. Гребін, О.О. Почаєвець, В.О. Корнієнко* Просторові закономірності зміни середнього річного стоку води річок України. //Український географічний журнал 2021 (1). С. 6-14. <https://doi.org/10.15407/ugz2021.01>.
6. *Лук'янець О.І., Ободовський О.Г., Гребін В.В., Москаленко С.О., Почаєвець, О.О. Корнієнко В.О.* Прогнозні оцінки водного стоку річок України на основі стохастичних закономірностей його багаторічних коливань. Український географічний журнал 2021 (4). С. 18-29 <https://doi.org/10.15407/ugz2021.04>.
7. *Ободовський Ю.О., Хільчевський В.К., Ободовський О.Г.* Гідроморфоекологічна оцінка руслових процесів річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України). За ред.О.Г. Ободовського. К.: Прінт- сервіс. 2018. 193с.
8. *О. Obodovskyi, Іu. Obodovskyi, V. Onischuk* Mountain river dominant formative discharge evaluation (through example of the Upper Tisza basin) // Geography and Tourism. Bydgoszcz, Poland. 2016. Vol. 4. No.2. P. 89-99.
9. *Ободовський О.Г.* Оцінка вертикальних руслових деформацій на рівнинних річках України // Захист довкілля від антропогенного навантаження. Харків-Кременчук, 2001, вип.5(7).- С.49-57.
10. River Runoff in Ukraine Under Climate Change Conditions. Paperback – July 4, 2020 by Oleksandr Obodovskyi (Editor). LAP LAMBERT Academic Publishing. 180 p.
11. *Ободовський А.Г., Розлач З.В., Легкая Ю.М., Дементенко А.И.* Продольные профили основных водотоков в бассейне Днестра в контексте определения направленности вертикальных русловых деформаций// Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. К., ВГГ «Обрії», 2008, т.15. С.43-54.
12. *Розлач З.В., Ободовський О.Г., Самойленко В.М.* Унормування поздовжніх профілів водотоків басейну верхнього та середнього Дністра для завдань районування//Наукові праці УкрНДГМІ, вип.257, К., 2008. С.199-206.

#### References

1. Latoritsa: hydrology, hydromorphology, channel processes / O. G. Obodovskyi, V. V. Onyshchuk, Z. V. Rozlach, etc. ; [edited by O. H. Obodovskyi]. - K.: VOC "Kyiv University", 2012. 319 p.
2. River processes: textbook / O.G. Obodovskyi - K.: VOC "Kyiv University", 2017. 511 p.
3. *Obodovskyi O. G.* Hydrological and ecological assessment of channel processes: (on the example of rivers of Ukraine) / O. H. Obodovskyi; KNU named after Taras Shevchenko. - K.: Nika-Center, 2001. 274 p.
4. *Obodovsky O.G., Lukyanets O.I., Moskalenko S.O., Kornienko V.O.* Generalization of the average annual water flow of rivers in accordance with the hydrographic zoning of Ukraine. Bulletin of Kharkiv National University named after V. N. Karazin, series "Geology. Geography. Ecology". 2020. No. 51. С. 158-170. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-11>.
5. *O.I. Lukyanets, O.G. Obodovskyi, V.V. Grebin, O.O. Pochayevets, V.O. Kornienko* Spatial patterns of changes in the average annual flow of water in the rivers of Ukraine. //Ukrainian Geographical Journal 2021 (1). P. 6-14. <https://doi.org/10.15407/ugz2021.01>.
6. *Lukyanets O .I., Obodovskyi O. H., Grebin V. V., Moskalenko S. O., Pochayevets, O. O., Kornienko V.O.* Predictive estimates of the water flow of the rivers of Ukraine based on stochastic regularities of its long-term fluctuations. Ukrainian Geographical Journal 2021 (4). P. 18-29 <https://doi.org/10.15407/ugz2021.04>
7. *Obodovskyi Yu.O., Khilchevskiy V.K., Obodovskyi O.G.* Hydromorphoecological assessment of channel processes of rivers of the upper part of the Tisza basin (within Ukraine). Under the editorship of O.G. Obodovskyi K.: Print service. 2018. 193 p.
8. *О. Obodovskyi, Іu. Obodovskyi, V. Onischuk* Mountain river dominant formative discharge evaluation (through the example of the Upper Tisza basin) // Geography and Tourism. – Bydgoszcz, Poland. 2016. Vol. 4 No. 2.P. 89-99.
9. *Obodovskyi O.G.* Assessment of vertical channel deformations on the plain rivers of Ukraine // Environmental protection from anthropogenic load. Kharkiv-Kremenchuk, 2001, issue 5(7).- P.49-57.
10. River Runoff in Ukraine Under Climate Change Conditions. Paperback – July 4, 2020 by Oleksandr Obodovskyi (Editor). LAP LAMBERT Academic Publishing. 180 p.
11. *Obodovskyi A.G., Rozlach Z.V., Legkaya Yu.M., Dementenko A.I.* Longitudinal profiles of the

main watercourses in the Dniester basin in the context of determining the direction of vertical channel deformations// Hydrology, hydrochemistry and hydroecology. K., VGG "Obrii", 2008, vol. 15. - P.43-54.

12. Rozlach Z.V., Obodovskiy O.G., Samoilenko V.M. Normalization of longitudinal profiles of watercourses of the upper and middle Dniester basin for zoning tasks// Scientific works of UkrNDGMI, issue 257, K., 2008 P.199-206.

#### **Assessment of vertical channel deformations of the Teteriv basin rivers**

**Obodovskiy O.G., Korniienko V.O., Kuzmochko V.Yu.**

*The investigation of vertical channel deformations of the main rivers of the Teteriv basin over the last 40 years according to the data of 6 hydrological stations was carried out. The prerequisite for this was the establishment of trends in changes in the water discharge of the considered watercourses. A general decrease of these indicators, especially the average and maximum flow indicators, was revealed. This is confirmed by previously conducted studies on water level fluctuations of the researched rivers. The results proved a universal increase in water levels for the rivers of the basin at fixed water discharge within the river banks. This is evidence that accumulation processes are observed on all explored riverbeds, although their intensity may be manifested in different ways. It is shown that modern vertical channel deformations characterize the accumulation of sediments in the riverbeds of the basin, the average intensity of which varies within 0.27-1.31 cm/year. In general, this trend is confirmed by the change in the longitudinal profiles of the rivers during the specified period, where in the areas where the hydrological stations are located, a slight shift of one relative to the other can be observed, with the prevailing height positions of the longitudinal profile for the year 2020.*

*Comparative analysis of discrete (according to flow curves based on data from hydrological stations) and continuous (according to longitudinal profiles) estimates of vertical channel deformations makes it possible to more objectively establish the trends of their manifestations.*

**Key words:** rivers of the Teteriv basin, vertical channel deformations, water flow fluctuations, processes of sediment accumulation, longitudinal profiles of rivers.

**Надійшла до редколегії 01.06.2023**

**DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.2.3>**

УДК 556.06+556.535

**Христюк Б.Ф., Горбачова Л.О., Розлач В.О.**

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

### **ДАТИ ПОЯВИ ЛЬДОВИХ ЯВИЩ НА ВОДОСХОВИЩАХ ДНІПРОВСЬКОГО КАСКАДУ ТА МОЖЛИВОСТІ ЇХ ДОВГОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ**

*Довгострокове прогнозування дат появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду, особливо із завчасністю не менше 1 місяця, має важливе практичне та наукове значення. Так, на основі саме цієї характеристики льодового режиму визначають строки та глибини осіннього спрацювання кожного з шести Дніпровських водосховищ. Разом з цим, методик довгострокового прогнозування дат появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду не існує. Вочевидь, це пов'язано з тим, що проблема розробки надійних довгострокових прогнозів льодового режиму водних об'єктів є однією з найбільш важких у гідрометеорології, яка і досі ще не отримала в повній мірі задовільного рішення. У довгострокову прогнозуванні льодового режиму використовують статистичний, кореляційний, регресійний аналіз, а в якості предикторів розглядають атмосферні показники. Отже, у роботі досліджено зв'язки між кількісними показниками атмосферних процесів Північної Атлантики і датами появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду. Отримані результати показують, що такі показники атмосферних процесів Північної Атлантики як мінімальний тиск атмосферного повітря у центрі Ісландського мінімуму, паттерн Північно-Атлантичного коливання (ПАК) і паттерн Скандинавського коливання (СКАНД) безсумнівно мають досить значний вплив на формування дат появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду, але такий вплив не є переважачим і такі показники можна тільки частково застосувати в якості предикторів для довгострокового прогнозування. Отже, для отримання більш прийнятних результатів необхідно розширити пошук предикторів атмосферних процесів як у просторі, так і часі.*

**Ключові слова:** Дніпровські водосховища, льодові явища, довгострокове прогнозування, атмосферні процеси, Ісландський мінімум, паттерн ПАК, паттерн СКАНД

**Вступ.** Льодові явища на річках, озерах та водосховищах, які широко поширені в середніх і високих широтах, особливо Північної півкулі, є невід'ємною складовою їхнього гідрологічного режиму [1]. Вони впливають на гідрологічні, геоморфологічні, біологічні, хімічні, екологічні процеси водних об'єктів, а також обумовлюють соціально-економічні аспекти деяких галузей економіки [2-5]. Час від часу на водних об'єктах льодові явища

ISSN:2306-5680 **Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2023. № 2 (68)**

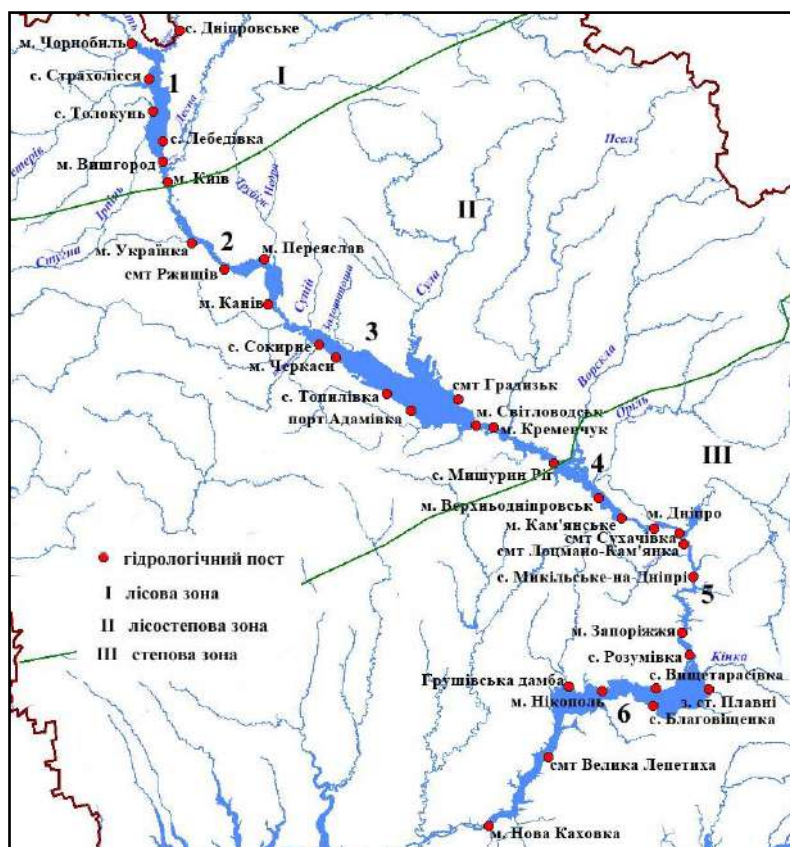
утворюють небезпечні ситуації. Так, катастрофічне підняттям рівнів води внаслідок утворення заторів або зажорів призводить до затоплення територій і руйнуванню інфраструктурних об'єктів населених пунктів та загрози життю людей [4]. Шуга, внутрішньоводний і плавучий лід, льодохід є вкрай небезпечними для судноплавства, гідроенергетики, оскільки можуть пошкодити судна, навігаційні системи, греблі, шлюзи, мости, тощо [3, 5]. Утворення стійкого льодового покриву сприяє зниженню рівня розчиненого кисню у воді та проникнення світла, що, безумовно, негативно впливає на усі біологічні процеси водного об'єкта [3]. Разом з цим, підвищення температури повітря призводить до змін льодового режиму водних об'єктів, а саме, зміщуються строки їхнього настання, зменшується їхня тривалість, льодостав стає нестійким або взагалі може не утворюватися [2, 5]. Нестійкість льодових явищ впродовж зимового сезону може створювати додаткові небезпеки для роботи гідроенергетики, судноплавства, рибного та комунального господарств тощо. Отже, для запобігання негативних наслідків від льодових явищ вкрай необхідне їхнє прогнозування.

Каскад Дніпровських водосховищ є єдиним водогосподарським комплексом, основною функцією якого є генерація електроенергії [6]. Льодові явища впливають на роботу його гідротехнічних споруд, виробіток електроенергії на ГЕС, тривалість навігації, рибне господарство тощо. Особливо важливо мати уявлення про дати появи льодових явищ на водосховищах, оскільки на їх основі визначають строки та глибини осіннього спрацювання кожного з шести Дніпровських водосховищ [7]. Отже, прогнозування цієї характеристики льодового режиму Дніпровських водосховищ, особливо із завчасністю не менше 1 місяця (довгострокове) має велике практичне значення. Разом з цим, методик довгострокового прогнозування основних фаз льодового режиму, у тому числі і дат появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду, не існує. Український гідрометеорологічний центр Державної служби України з надзвичайних ситуацій (УкрГМЦ) використовує науково-методичні надбання для довгострокового прогнозування льодових явищ, які розроблено тільки для річок України ще у середині ХХ століття [8-10]. Отже, розроблення методик довгострокового прогнозування дат появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду є актуальним завданням.

Проблема розробки надійних довгострокових прогнозів льодового режиму водних об'єктів є однією з найбільш важких у гідрометеорології, яка і досі ще не отримала в повній мірі задовільного рішення [11]. Найбільш розповсюдженими підходами при довгостроковому прогнозуванні льодового режиму водних об'єктів є статистичний, дискримінантний, кореляційний, регресійний аналізи, ортогональні функції для визначення оптимальних предикторів атмосферних процесів [11, 12]. Зазвичай використовується два основних підходи. Перший підхід засновано на знаходженні зв'язків між кількісними показниками атмосферної циркуляції над об'єктом прогнозування або над окремими суміжними (великими за площею) синоптичними районами чи зонами та строками (датами) настання льодових явищ (частіше їхніми відхиленнями від норми). Саме такий підхід використано у методиках [8-10] для довгострокового прогнозування льодового режиму річок України. Другий підхід базується на фізико-статистичних методах, які застосовують рівняння множинної лінійної регресії з представленням гідрометеорологічних полів при розкладі їх по природних ортогональних складових або поліномах Чебишева [11, 12]. В останні десятиліття для дослідження і прогнозування льодових явищ водних об'єктів використовують методи дистанційного супутникового зондування, телеконекційні показники, методи машинного навчання [13-16]. В Україні сучасні дослідження присвячено короткостроковому прогнозуванню льодового режиму річок з використанням фізико-статистичних залежностей, багатовимірного статистичного аналізу [7, 17]. Зазначимо, що у всіх роботах [7, 8-10, 17] атмосферну циркуляцію над об'єктом прогнозування розглядають з точки зору впливу на процеси льодоутворення атмосферних процесів Північної Атлантики, що виражається через певні показники.

**Метою даного дослідження** є знаходження зв'язків між кількісними показниками атмосферних процесів Північної Атлантики і датами появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду та оцінювання можливостей використання отриманих результатів для оперативного довгострокового прогнозування.

**Матеріали та методи дослідження.** Впродовж ХХ століття у різні проміжки часу на р. Дніпро було побудовано шість водосховищ: Київське, Канівське, Кременчуцьке, Кам'янське, Дніпровське та Каховське (рис. 1). Усі водосховища поєднані спільними правилами експлуатації, утворюючи каскад і єдиний водогосподарський комплекс [6]. Каскад водосховищ перетинає три фізико-географічні зони: лісову (Київське водосховище), лісостепову (Канівське та частково Кременчуцьке водосховища) і степову (частково Кременчуцьке, Кам'янське, Дніпровське та Каховське водосховища). Кожне з шести Дніпровських водосховищ характеризується своїми гідрологічними та морфометричними характеристиками, які безпосередньо впливають на умови їхнього льодового режиму, особливо це стосується окремих ділянок. Загальний процес формування льодового режиму на водосховищах визначається метеорологічними умовами (температура повітря, швидкість вітру тощо), запасами тепла у водних масах водосховища та інтенсивністю віддачі тепла в атмосферу, течіями та вітровими хвилями, що перемішують водні маси. Зазвичай, перші льодові явища на водосховищах спостерігаються під час вторгнення холодних арктичних повітряних мас на територію України в осінньо-зимовий період. Календарні дати таких вторгнень коливаються з року в рік у широких межах та залежать від загальної атмосферної циркуляції у Північній півкулі [7-10]. Льодові явища вперше з'являються передусім на мілководних ділянках, у гирлах річок, які впадають у водосховища. У цих місцях водні маси за рахунок невеликих глибин, значного водообміну та перемішування охолоджуються раніше, ніж в глибоководній частині водосховищ [18].



**Рис. 1** Схема розташування водосховищ Дніпровського каскаду і гідрологічних постів на них

Спостереження за льодовим режимом на водосховищах Дніпровського каскаду виконуються на 38 гідрологічних постах, які розташовано на берегах водосховищ (рис. 1). На кожному з водосховищ розташовано від 5 до 8 постів. У роботі створено електронну базу даних щодо дат появи льодових явищ на 38 гідрологічних постах за даними спостережень, які містяться в опублікованих довідкових матеріалах, підготовлених Центральною геофізичною обсерваторією ім. Бориса Срезневського (м. Київ).



У базі даних початок періоду для дослідження на кожному гідрологічному посту приймався в залежності від року заповнення водою кожного водосховища. Відомості до бази даних занесено по 2020 рік включно. За дати появи льодових явищ приймалися дати їхньої першої появи у поточному зимовому періоді.

Формування льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду пов'язано з масштабними процесами в атмосфері, що розвиваються на величезних просторах протягом тривалого часу. У роботах [7, 8-10, 17] показано певний вплив атмосферних процесів Північної Атлантики на формування льодових явищ річок України. Отже, у цьому дослідженні атмосферні процеси Північної Атлантики характеризуються Ісландським центром дії атмосфери (Ісландський мінімум), Північно-Атлантичним коливанням (ПАК) і Скандинавським коливанням (СКАНД).

Ісландський центр дії атмосфери є малорухливою областю низького тиску з центром поблизу острова Ісландія. Ісландський мінімум утворює один полюс Північно-Атлантичного коливання, другим є Азорський антициклон [19]. Чим активніший Ісландський центр дії атмосфери, тим більшу територію охоплює циклонічна діяльність, і тим на більший період вона зберігається. Як наслідок, спостерігається менше випадків вторгнення холодного повітря і поява льодових явищ відбувається в більш пізні строки. І навпаки, сильніше розвинутий підвищений тиск повітря у північних широтах призводить до послаблення циклонічної діяльності Ісландського мінімуму, через це, територія України частіше знаходиться під дією холодних мас повітря з півночі у вигляді антициклонічних систем. Це призводить до прискореної появи льодових явищ в осінній період. За кількісну характеристику, яка виражає потужність Ісландського мінімуму приймають мінімальний тиск повітря в його центрі. Отже, для дослідження було створено базу даних щодо мінімального тиску атмосферного повітря у центрі Ісландського мінімуму ( $P_{\text{мін}}$ ) на висоті АТ-500 гПа за період з 1 вересня по 10 жовтня кожного року. Вихідними даними слугували матеріали відділу метеорологічних прогнозів УкрГМЦ та архівні карти Національного управління океанічних і атмосферних досліджень США (National Oceanic & Atmospheric Administration USA, NOAA), які містить сайт <https://www.wetterzentrale.de/topkarten.php?model=gfs&time=3&lid=OP> (приклад карти наведено на рис. 2).

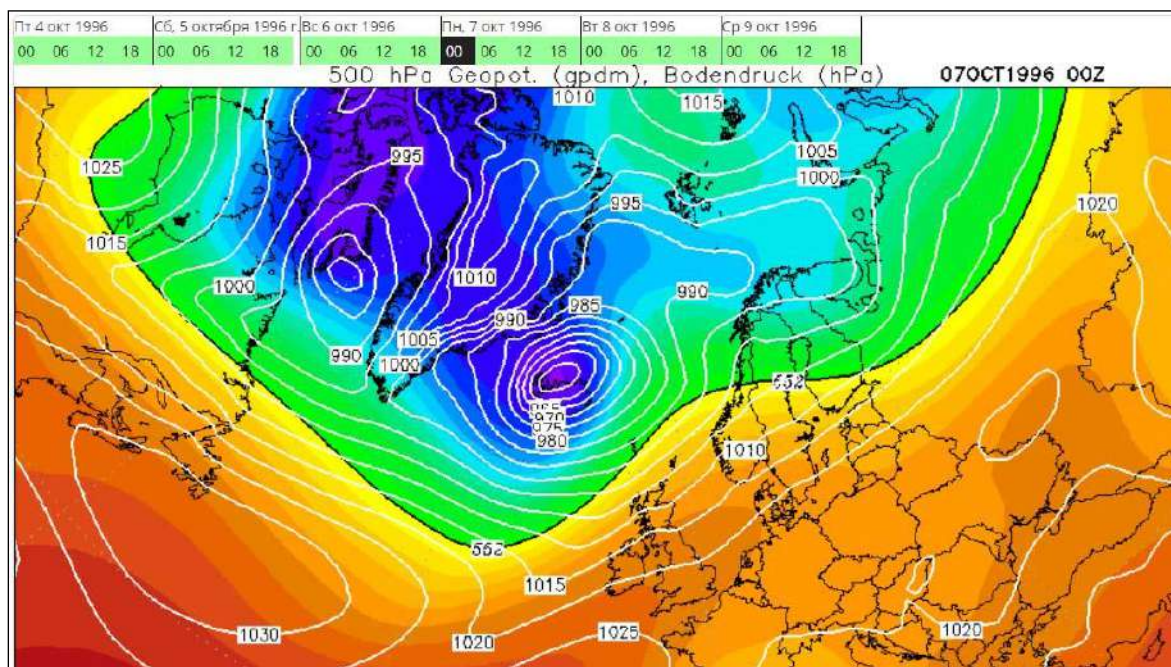


Рис. 2 Тиск атмосферного повітря на висоті АТ-500 гПа у районі Ісландського центру дії атмосфери за 07.10.1996 р.

Північно-Атлантичне коливання (ПАК) є найбільш відомим проявом мінливості клімату у Північній Атлантиці і впливає на кліматичні умови багатьох регіонів Євразії та Північної

Америци [19, 20]. ПАК характеризує перерозподіл тиску атмосферного повітря між двох центрів дії, а саме Азорського максимуму і Ісландського мінімуму. Мінливість цих центрів дії атмосфери безпосередньо впливає на розподіл температури, опадів, хмарності і багатьох інших гідрометеорологічних величин, що проявляється у формуванні холодніших або, навпаки, тепліших зим у Європі [19]. Скандинавське коливання (СКАНД) визначається характером атмосферної циркуляції над Скандинавським півостровом, Західною Європою та східною частиною Російської Федерації / західною частиною Монголії. СКАНД може обумовлювати значні кліматичні аномалії над Євразією та прилеглими територіями [20, 21]. Для дослідження використано середні місячні значення телеконекційних паттернів ПАК і СКАНД, які визначаються Національною службою погоди (National Weather Service, NWS) Національного управління океанічних і атмосферних досліджень США (National Oceanic & Atmospheric Administration USA, NOAA) і, які наведено на сайті: [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/MD\\_index.php](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/MD_index.php).

Оцінювання відгуку льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду на зміни атмосферних показників Північної Атлантики визначалося за розрахованими коефіцієнтами кореляції між датами появи льодових явищ та значеннями мінімального тиску атмосферного повітря у центрі Ісландського мінімуму, а також паттернами ПАК і СКАНД. Оцінювання ефективності отриманих залежностей (прогностичних рівнянь) і можливостей їхнього використання для оперативного довгострокового прогнозування виконано за залежними даними згідно критеріїв, які наведено у табл. 1.

Таблиця 1 Показники якості методики при кількості членів ряду  $n \geq 25$  [12]

Категорія	Показники якості		
	$\bar{S} / \bar{\sigma}$	Коефіцієнт кореляції ( $r$ )	Забезпеченість допустимої похибки прогнозів ( $\delta_{\text{доп}}$ ), %
добра	$\leq 0,50$	$\geq 0,87$	$\geq 82$
задовільна	0,51 – 0,80	0,86 – 0,60	81 – 60

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз статистичних характеристик дати появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду, які розраховано для 38 гідрологічних постів показав, що дані 3-х гідрологічних постів, а саме вдсх Канівське – м. Вишгород, вдсх Кам'янське – м. Світловодськ і вдсх Дніпровське – м. Кам'янське мають значний антропогенний вплив. Отже, відомості по цих постах було виключено з подальших досліджень. Надалі, для кожного водосховища було визначено пост-індикатор, для якого і визначався кореляційний зв'язок між датами початку льодових явищ та показниками атмосферних процесів Північної Атлантики. Пост-індикатори обиралися з поміж інших як такі, на яких льодові явища щорічно з'являються у першу чергу. Настання дат появи льодових явищ у пізніші строки на інших постах обумовлюються їхніми гідрологічними та морфометричними характеристиками (глибоководні, гирлові річкові ділянки, тощо), які також впливають на формування льодових явищ. Враховуючи морфометричні особливості Кременчуцького водосховища, а саме його поділ на дві частини – верхню (руслону) та нижню (озерну), для нього визначено два поста-індикатори.

На водосховищах Дніпровського каскаду простежуються закономірні зміни з півночі на південь середніх, ранніх і пізніх дат появи льодових явищ відповідно до фізико-географічних умов їхнього формування (табл. 2). Разом з цим, дати появи льодових явищ характеризуються значною мінливістю. Так, різниці між пізніми та ранніми датами появи льодових явищ становлять близько 3-х місяців. Допустимі похибки прогнозів коливаються в межах від 10 до 13 діб, середня завчасність прогнозів у разі їхнього випуску 20 жовтня – від 38 до 61 доби.

Аналіз кореляційних зв'язків дат появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду з показниками атмосферних процесів Північної Атлантики показав, що дуже слабкі зв'язки має мінімальний тиск атмосферного повітря у центрі Ісландського мінімуму. Коефіцієнти кореляції коливаються від 0,004 до 0,12 (табл. 3). Паттерн ПАК має найкращі зв'язки, але і вони характеризуються як слабкі і помірні, тобто коливаються всього у межах від 0,25 до 0,38. Паттерн СКАНД має помірний зв'язок на півночі каскаду Дніпровських водосховищ (0,37), який поступово зменшується спочатку до слабого (0,22-

0,25) і до дуже слабкого на півдні (0,14-0,19). Звісно, що тіснота лінійного кореляційного зв'язку є важливою характеристикою, яка показує міру залежності одного показника від іншого. Зазначимо, що слабкий кореляційний зв'язок ще не означає відсутність залежності між показниками. Так, на рис. 3 для поста вдсх Канівське – м. Київ отримано дуже низький коефіцієнт кореляції між датами початку льодових явищ і мінімальним тиском атмосферного повітря у центрі Ісландського мінімуму.

Таблиця 2 Статистичні характеристики рядів спостережень дати появи льодових явищ на постах-індикаторах водосховищ Дніпровського каскаду

Назва поста	Період/тривалість спостережень, роки	Дата			$\Delta$ , доба	$\delta_{\text{доп}}$ , доба	$Z_{\text{серед}}$
		середня	рання	пізня			
вдсх Київське - с. Страхолісся	1966-1974, 1978-2020 / 52	27.11	30.10.1979	28.01.2007	90	11	38
вдсх Канівське - м. Київ	1977-2020 / 43	13.12	17.11.1993	10.02.2020	85	12	54
вдсх Кременчуцьке - м. Черкаси	1976-2020 / 45	15.12	14.11.1993	08.02.2020	86	13	56
вдсх Кременчуцьке - порт Адамівка	1976-2020 / 45	10.12	13.11.1993	30.01.2007	78	10	51
вдсх Кам'янське - с. Мишурич Ріг	1964-2020 / 57	10.12	01.11.2000	09.02.2020	100	11	51
вдсх Дніпровське - м. Кам'янське	1964-87, 1990-2020 / 55	21.12	18.11.1993	09.02.2020	83	13	62
вдсх Каховське - с. Благовіщенка	1958-2020 / 63	20.12	12.11.1993	08.02.2020	87	13	61

**Примітка:**  $\Delta$  – різниця між пізньою та ранньою датами появи льодових явищ;  $\delta_{\text{доп}}$  – допустима похибка прогнозу;  $Z_{\text{серед}}$  – середня завчасність прогнозу у разі його випуску 20 жовтня.

Таблиця 3 Кореляційні залежності дат появи льодових явищ на постах-індикаторах водосховищ Дніпровського каскаду від кількісних показників атмосферних процесів Північної Атлантики та оцінка їх ефективності

Назва поста	Рівняння	$r$	$\bar{S}/\bar{\sigma}$	$\delta_{\text{доп}}$ , %
<i>Ісландський мінімум</i>				
вдсх Київське – с. Страхолісся	$\Delta D = -0,227 P_{\text{мін}} + 220,0$	-0,12	0,98	56
вдсх Канівське – м. Київ	$\Delta D = 0,008 P_{\text{мін}} - 7,94$	0,004	0,99	70
вдсх Кременчуцьке – м. Черкаси	$\Delta D = 0,120 P_{\text{мін}} - 116,9$	0,06	0,99	60
вдсх Кременчуцьке – порт Адамівка	$\Delta D = 0,023 P_{\text{мін}} - 22,5$	0,01	0,99	56
вдсх Кам'янське – с. Мишурич Ріг	$\Delta D = -0,251 P_{\text{мін}} + 244,1$	-0,13	0,99	49
вдсх Дніпровське – м. Кам'янське	$\Delta D = 0,122 P_{\text{мін}} - 118,7$	0,05	0,99	49
вдсх Каховське – с. Благовіщенка	$\Delta D = -0,084 P_{\text{мін}} + 81,3$	-0,04	0,99	48
<i>Північно-Атлантичне коливання</i>				
вдсх Київське – с. Страхолісся	$\Delta D = -3,93 \text{ ПАК}_{\text{VIII}} - 0,26$	-0,25	0,96	58
вдсх Канівське – м. Київ	$\Delta D = 7,00 \text{ ПАК}_{\text{VIII}} - 0,61$	0,38	0,92	58
вдсх Кременчуцьке – м. Черкаси	$\Delta D = 5,33 \text{ ПАК}_{\text{VI}} - 1,28$	0,28	0,95	60
вдсх Кременчуцьке – порт Адамівка	$\Delta D = -3,38 \text{ ПАК}_{\text{V}} - 0,58$	-0,25	0,96	60
вдсх Кам'янське – с. Мишурич Ріг	$\Delta D = -4,89 \text{ ПАК}_{\text{V}} - 0,72$	-0,32	0,94	56
вдсх Дніпровське – м. Кам'янське	$\Delta D = -5,30 \text{ ПАК}_{\text{VIII}} - 0,03$	-0,29	0,95	56
вдсх Каховське – с. Благовіщенка	$\Delta D = -6,62 \text{ ПАК}_{\text{VIII}} - 0,12$	-0,35	0,91	58
<i>Скандинавське коливання</i>				
вдсх Київське – с. Страхолісся	$\Delta D = 5,60 \text{ СКАНД}_{\text{VIII}} - 0,02$	0,37	0,92	62
вдсх Канівське – м. Київ	$\Delta D = -4,77 \text{ СКАНД}_{\text{VI}} - 0,53$	-0,25	0,96	63
вдсх Кременчуцьке – м. Черкаси	$\Delta D = -4,39 \text{ СКАНД}_{\text{VI}} - 0,40$	-0,22	0,96	62
вдсх Кременчуцьке – порт Адамівка	$\Delta D = -4,02 \text{ СКАНД}_{\text{VI}} - 0,36$	-0,24	0,96	67
вдсх Кам'янське – с. Мишурич Ріг	$\Delta D = 2,25 \text{ СКАНД}_{\text{VIII}} - 0,22$	0,14	0,98	54
вдсх Дніпровське – м. Кам'янське	$\Delta D = -3,91 \text{ СКАНД}_{\text{V}} + 1,05$	-0,19	0,97	56
вдсх Каховське – с. Благовіщенка	$\Delta D = -3,54 \text{ СКАНД}_{\text{VI}} + 0,47$	-0,17	0,97	48

**Примітка:**  $r$  – коефіцієнт кореляції між предиктором і прогнозною величиною;  $\delta_{\text{доп}}$ , % – забезпеченість допустимої похибки прогнозу;  $\bar{S}$  – середня квадратична похибка перевірочних прогнозів;  $\bar{\sigma}$  – середнє квадратичне відхилення прогнозової величини

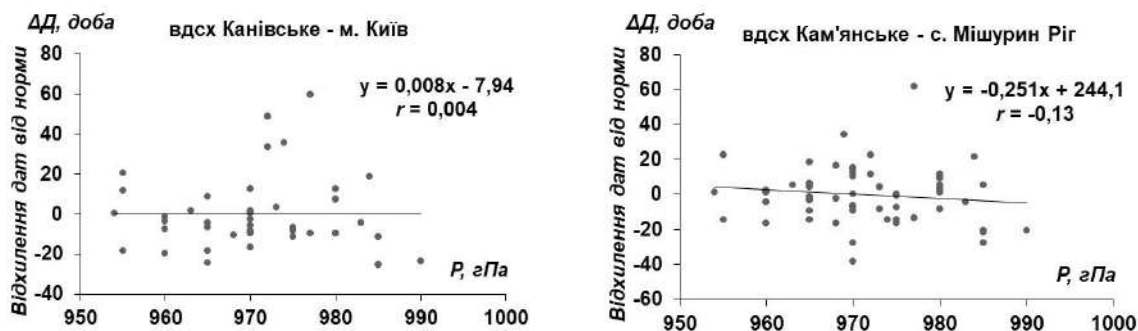


Рис. 3 Приклад кореляційних залежностей дат появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду від мінімального тиску атмосферного повітря у центрі Ісландського мінімуму

Разом з цим, перевірочні розрахунки за кореляційним рівнянням показали, що у 30 випадках з 43 похибка прогнозування не перевищує допустиму похибку прогнозу (12 діб) (табл. 2), і відповідно, забезпеченість допустимої похибки прогнозу склала 70 % (табл. 3). Такий показник відповідає оцінці якості прогнозу «задовільно» згідно [12]. Отже, виконана у роботі перевірка прогнозних рівнянь (табл. 3) за залежними даними показала, що використати в якості предиктора для довгострокового прогнозування дати появи льодових явищ мінімальний тиск атмосферного повітря у центрі Ісландського мінімуму можна тільки для двох постів (вдсх Канівське – м. Київ і вдсх Кременчуцьке – м. Черкаси), паттерн ПАК – також для двох постів (вдсх Кременчуцьке - м. Черкаси і вдсх Кременчуцьке - порт Адамівка) і паттерн СКАНД – для чотирьох постів (вдсх Київське - с. Страхолиця, вдсх Канівське - м. Київ, вдсх Кременчуцьке - м. Черкаси, вдсх Кременчуцьке - порт Адамівка). Зазначимо, що навіть для цих постів виконати всі критерії якості, що наведено у табл. 1. неможливо.

Високі значення співвідношення середньої квадратичної похибки перевірочних прогнозів ( $\bar{S}$ ) до середнього квадратичного відхилення прогнозовної величини ( $\bar{\sigma}$ ) (табл. 3) обумовлюються значеннями екстремальних дат появи льодових явищ. Кількість таких екстремальних значень у рядах спостережень незначна (приклад на рис. 2), але, як зазначається у роботі [22], навіть одиничний випадок може призвести до перевищення встановленої межі співвідношення.

Отримані результати показують, що такі показники атмосферних процесів Північної Атлантики як мінімальний тиск атмосферного повітря у центрі Ісландського мінімуму, паттерни ПАК і СКАНД безсумнівно мають досить значний вплив на формування дат появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду, але такий вплив не є переважаючим і такі показники можна тільки частково застосувати в якості предикторів для довгострокового прогнозування. Зазначимо, що у роботі [17] паттерн ПАК використано в якості предиктора для прогнозування льодових явищ на р. Дністер і отримано хороші результати. Однак, ця робота присвячена короткостроковому прогнозуванню і разом з паттерном ПАК використано також інші предиктори. Вибір предикторів для довгострокового прогнозування є дуже обмеженим на відміну від короткострокового. У роботах [17, 19, 20] показано, що вплив ПАК і СКАНД на атмосферні процеси і гідрометеорологічні характеристики річок України не є однаковим, тобто їхній прояв має фізико-географічну зональність, сезонність, тощо. Разом з цим, цілком зрозуміло, що атмосферні процеси над водосховищами Дніпровського каскаду досить різноманітні, що опосередковано підтверджується їхнім нестійким льодовим режимом. Отже, вочевидь, досягнути більш менш прийнятних результатів довгострокового прогнозування льодових явищ водосховищ Дніпровського каскаду можливо за рахунок розширення пошуку предикторів як у просторі, так і часі. Такий підхід цілком обґрунтовується сучасними уявленнями щодо формування гідрологічного, у тому числі і льодового, режиму водойм, який є результатом складних процесів кліматичних і гідрологічних взаємодій, обумовлених циркуляцією атмосфери і океану на Земній кулі [23]. Такі уявлення успішно реалізовано у роботах [15, 16, 23-25], у тому числі і для прогнозування дати встановлення льодоставу на Київському водосховищі

[16] шляхом використання різних телеконекційних показників атмосферних процесів Земної кулі.

**Висновки.** На водосховищах Дніпровського каскаду дати появи льодових явищ характеризуються значною мінливістю. Різниці між пізніми та ранніми датами появи льодових явищ становлять близько 3-х місяців. Під час розроблення методик довгострокового прогнозування льодових явищ водойм виникають певні труднощі з пошуку предикторів, що обумовлюється різноманітністю атмосферних процесів над територією України в осінньо-зимовий період. Зазвичай, для прогнозування льодового режиму річок України широко використовуються показники атмосферних процесів Північної Атлантики, оскільки вони домінуючи впливають на формування гідрометеорологічних показників над Європою. Разом з цим, аналіз кореляційних зв'язків мінімального тиску атмосферного повітря у центрі Ісландського мінімуму, паттернів ПАК і СКАНД з датами появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду показав, що їх коефіцієнти кореляції коливаються у межах від 0,004 до 0,38, тобто такі зв'язки класифікуються в межах категорій як «відсутність зв'язку» до «помітних». За показниками ефективності прогнозних кореляційних рівнянь мінімальний тиск атмосферного повітря у центрі Ісландського мінімуму, паттернів ПАК і СКАНД можна використати в якості предикторів для довгострокового прогнозування дати появи льодових явищ тільки для деяких водосховищ, оскільки для них отримано найбільші значення забезпеченості допустимих похибок прогнозів у межах 60-70 %.

Аналіз методичних підходів, які застосовуються у світі, показав, що досягнути більш менш прийнятних результатів довгострокового прогнозування льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду можливо за рахунок розширення пошуку предикторів атмосферних процесів як у просторі, так і часі. Одним із таких підходів є використання різних телеконекційних показників атмосферних процесів Земної кулі.

*Дане дослідження виконано згідно держбюджетної теми № 5/21 "Розроблення системи довгострокового прогнозування строків настання фаз льодового режиму на водосховищах басейну р. Дніпро" Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України (№ державної реєстрації 0121U108580).*

#### Список літератури

1. Prowse T.D. River-ice ecology. I: Hydrologic, geomorphic, and water-quality aspects. Journal of Cold Regions Engineering. 2001. Vol. 15. Issue. 1. P. 1-16. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-381X\(2001\)15:1\(1\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-381X(2001)15:1(1))
2. Yang X., Pavelsky T.M., Allen G.H. The past and future of global river ice. Nature. 2020. Vol. 577. Issue 7788. P. 69–73. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1848-1>
3. Beltaos S., Burrell B. Hydrotechnical advances in Canadian river ice science and engineering during the past 35 years. Canadian Journal of Civil Engineering. 2015. Vol. 42. Issue 9. P. 583-591, DOI: <https://doi.org/10.1139/cjce-2014-0540>
4. Rokaya P., Lindenschmidt K.-E., Pietroniro A., Clark M. Modelling of ice jam floods under past and future climates: A review. Journal of Hydrology X. 2022. Vol. 15. 100120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2022.100120>
5. Marszelewski W., Pawłowski B. Long-Term Changes in the Course of Ice Phenomena on the Oder River along the Polish-German Border. Water Resources Management. 2019. Vol. 33. P. 5107-5120. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02417-2>
6. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Каскад днепровских водохранилищ / под ред. М. С. Каганера. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1976. 348 с.
7. Бойко В.М., Петренко Л.В., Щербак А.В. Короткострокове прогнозування характеристик льодового режиму водних об'єктів України за фізико-статистичною моделлю ICE\_1\_5. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2014. Т. 4 (35). С. 65-72.
8. Гусева А.А. Анализ синоптических условий вскрытия и замерзания рек Украины и его применения в гидропрогностике этих явлений (отчет). Киев: Управление гидрометеорологической службы УССР, 1947. 29 с.
9. Еременко Л.В. Метод прогноза замерзания рек Верхнего и Среднего Днепра на основе анализа атмосферных процессов (отчет). Киев: Управление гидрометеорологической службы УССР, 1962. 67 с.

10. Гусева А.А. Метод долгосрочного прогноза замерзания рек бассейна Верхнего и Среднего Днепра на основе анализа атмосферных процессов (отчет). Киев: Управление гидрометеорологической службы УССР, 1963. 65 с.
11. Guide to hydrological practices. Volume II: Management of water resources and application of hydrological practices. WMO-No. 168. 6th ed. Geneva: World Meteorological Organization, 2009. 324 p.
12. Настанова з оперативної гідрології. Прогнози режиму вод суші. Гідрологічне забезпечення і обслуговування / Керівний документ. Київ: Український гідрометеорологічний центр, 2012. 120 с.
13. Lindenschmidt K., Syrenne G., Harrison R. Measuring ice thicknesses along the Red River in Canada using RADARSAT-2 satellite imagery. *Journal of Water Resource and Protection*. 2010. Vol. 2. P. 923-933.
14. Graf R., Kolerski T., Zhu S. Predicting ice phenomena in a river using the artificial neural network and extreme gradient boosting. *Resources*. 2022. Vol. 11(2). 12. DOI: <https://doi.org/10.3390/resources11020012>
15. Сутырина Е. Н. Методики долгосрочного прогнозирования сроков полного очищения ото льда водохранилищ Ангаро-Енисейского каскада. *Географический вестник*. 2017. № 1(40). С. 66-72.
16. Khrystiuk B.F., Gorbachova L.O. Application of the Natl Index for Long-Term Forecasting of Freeze-Up Appearance Date at the Kyiv Reservoir. *Proceedings of the XVI International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment»*. Kyiv, Ukraine, November 15-18, 2022. European Association of Geoscientists & Engineers (EAGE). 2022. Vol. 2022. P. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580071>
17. Лобода Н.С., Сиренко А.М. Вдосконалення методик прогнозування льодових явищ на річках України на основі методів багатовимірного статистичного аналізу. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2010. Т. 3(20). С. 21-29.
18. Vyshnevskiy V.I., Shevchuk S.A. Use of remote sensing data to study ice cover in the Dnipro Reservoirs. *Journal of Geology, Geography, and Geocology*. 2020. Vol. 29(1). P. 206-216. DOI: <https://doi.org/10.15421/112019>
19. Хохлов В.Н., Романова А.В., Меньшова Ю.В. Вейвлет-аналіз зв'язку синоптичних процесів над Північною Атлантикою та Україною. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2007. Вип. 4. С. 135-145.
20. Лобода Н.С., Коробчинська А.О. Оцінка впливу мінливості Північно-Атлантичного та Скандинавського коливаний на гідрометеорологічні характеристики України. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2010. Т. 18. С. 91-98.
21. Wang M., Tan B. Two Types of the Scandinavian Pattern: Their Formation Mechanisms and Climate Impacts. *Journal of Climate*. 2020. Vol. 33 (7). P. 2645–2661. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0447.1>
22. Попов Е.Г. Гидрологические прогнозы. Ленинград. Гидрометеоиздат, 1979. 256 с.
23. Wang J., Wang X., Lei X., Wang H., Zhang X., You J., Tan Q., Liu X. Teleconnection analysis of monthly streamflow using ensemble empirical mode decomposition. *Journal of Hydrology*. 2020. Vol. 582. 124411. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124411>
24. Sobolowski S., Frei A. Lagged relationships between North American snow mass and atmospheric teleconnection indices. *International Journal of Climatology*. 2007. Vol. 27(2). P. 221-231. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.1395>
25. Христюк Б.Ф., Горбачова Л.О. Довгострокове прогнозування дати початку весняного водопілля у верхів'ї річки Південний Буг за телеконекційними індексами. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2023. № 1(67). С. 26-33. DOI: 10.17721/2306-5680.2023.1.3

#### References

1. Prowse T.D. River-ice ecology. I: Hydrologic, geomorphic, and water-quality aspects. *Journal of Cold Regions Engineering*. 2001. Vol. 15. Issue. 1. P. 1-16. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-381X\(2001\)15:1\(1\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-381X(2001)15:1(1))
2. Yang X., Pavelsky T.M., Allen G.H. The past and future of global river ice. *Nature*. 2020. Vol. 577. Issue 7788. P. 69–73. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1848-1>
3. Beltaos S., Burrell B. Hydrotechnical advances in Canadian river ice science and engineering during the past 35 years. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2015. Vol. 42. Issue 9. P. 583-591, DOI: <https://doi.org/10.1139/cjce-2014-0540>
4. Rokaya P., Lindenschmidt K.-E., Pietroniro A., Clark M. Modelling of ice jam floods under past and future climates: A review. *Journal of Hydrology X*. 2022. Vol. 15. 100120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2022.100120>
5. Marszelewski W., Pawłowski B. Long-Term Changes in the Course of Ice Phenomena on the Oder River along the Polish-German Border. *Water Resources Management*. 2019. Vol. 33. P. 5107-5120. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02417-2>
6. Kaganer, M.S. (ed.). (1976). *Hydrometeorological regime of lakes and reservoirs of the USSR. Cascade of the Dnieper reservoirs*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ. (in Russ.)

7. *Boyko V.M., Petrenko L.V., Shcherbak A.V.* Korotkostrokovye prognozuvannia kharakterystyk l'odovogo rezhymu vodnykh ob'ektiv Ukrainy za fizyko-statystychnoiu modelliu ICE\_1\_5 [Short-term forecasting of ice regime characteristics of Ukraine water objects for physico-statistical model ICE\_1\_5]. *Hidrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekolohiia*. 2014. T. 4(35). S. 65-72.
8. *Guseva A.A.* Analiz sinopticheskikh uslovij vskrytija i zamerzaniia rek Ukrainy i ego primenenija v gidroprognozi jelih javlenij (otchet) [Analysis of the synoptic conditions of the opening and freezing of the rivers of Ukraine and its application in hydroprognostication of these phenomena (report)]. Kyiv: Department of Hydrometeorological Service of Ukrainian SSR, 1947. 29 s.
9. *Eremenko L.V.* Metod prognoza zamerzaniia rek verhnego i srednego Dnepra na osnove analiza atmosferynykh processov (otchet) [Method of the rivers freezing forecasting of the Upper and Middle Dnieper based on the analysis of atmospheric processes (report)]. Kyiv: Department of Hydrometeorological Service of Ukrainian SSR, 1962. 67 s.
10. *Guseva A.A.* Metod dolgosrochnogo prognoza zamerzaniia rek bassejna Verhnego i Srednego Dnepra na osnove analiza atmosferynykh processov (otchet) [Method of long-term rivers freezing forecasting of the Upper and Middle Dnieper basin based on the analysis of atmospheric processes (report)]. Kyiv: Department of Hydrometeorological Service of Ukrainian SSR, 1963. 65 s.
11. Guide to hydrological practices. Volume II: Management of water resources and application of hydrological practices. WMO-No. 168. 6th ed. Geneva: World Meteorological Organization, 2009. 324 p.
12. *Nastanova z operativnoi hidrolohi. Prohnozy rezhymu vod sushi. Hidrolohichne zabezpechennia i obsluhovuvannia* [Manual on operational hydrology. Forecasts of land water regime. Hydrological support and maintenance] / Kerivnyj dokument. Kyiv: Ukrain's'kyj hidrometeorolohichnyj tsentr, 2012. 120 s.
13. *Lindenschmidt K., Syrenne G., Harrison R.* Measuring ice thicknesses along the Red River in Canada using RADARSAT-2 satellite imagery. *Journal of Water Resource and Protection*. 2010. Vol. 2. P. 923-933.
14. *Graf R., Kolerski T., Zhu S.* Predicting ice phenomena in a river using the artificial neural network and extreme gradient boosting. *Resources*. 2022. Vol. 11(2). 12. DOI: <https://doi.org/10.3390/resources11020012>
15. *Sutyryna E.N.* Metodiki dolgosrochnogo prognozuvannia srokov polnogo ochyshhenija oto l'da vodohranilishh Angaro-Enisejskogo kaskada [Long-term forecasting techniques for the terms of the complete disappearance of ice on reservoirs of the Angara-Yenisei cascade]. *Geograficheskij vestnik*. 2017. Vol. 1(40). P. 66-72. DOI: <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2017-1-66-72>
16. *Khrystiuk B.F., Gorbachova L.O.* Application of the Natl Index for Long-Term Forecasting of Freeze-Up Appearance Date at the Kyiv Reservoir. *Proceedings of the XVI International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment»*. Kyiv, Ukraine, November 15-18, 2022. European Association of Geoscientists & Engineers (EAGE). 2022. Vol. 2022. P. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580071>
17. *Loboda N.S., Sirenko A.M.* Vdoskonalennja metodyk prognozuvannja l'odovykh javyshh na richkah Ukraïny na osnovi metodyk bagatovymirnogo statystychnogo analizu [The improvement of ice forecast for the Ukrainian rivers on basis of methods of multivariate statistical analysis]. *Hidrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekolohiia*. 2010. T. 3(20). S. 21-29.
18. *Vyshnevskiy V.I., Shevchuk S.A.* Use of remote sensing data to study ice cover in the Dnipro Reservoirs. *Journal of Geology, Geography, and Geoecology*. 2020. Vol. 29(1). P. 206-216. DOI: <https://doi.org/10.15421/112019>
19. *Khokhlov V.N., Romanova A.V., Menshova Yu.V.* Vevlet-analiz zv'jazku synoptychnykh procesiv nad Pivnichnoju Atlantykoju ta Ukraïnoju [Wavelet analysis of linkage between synoptic processes of North Atlantic and Ukraine]. *Visnyk Odes'kogo derzhavnogo ekologichnogo universytetu*. 2007. Vyp. 4. S. 135-145.
20. *Loboda N.S., Korobchinskaya A.A.* Ocinka vplyvu minlyvosti Pivnichno-Atlantychnogo ta Skandynavs'kogo kolyvan' na gidrometeorolohichni harakterystyky Ukraïny [Assessing the impact of variability of the North Atlantic and Scandinavian fluctuations in the hydrological and meteorological characteristics of the Ukraine]. *Hidrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekolohiia*. 2010. T. 18. S. 91-98.
21. *Wang M., Tan B.* Two Types of the Scandinavian Pattern: Their Formation Mechanisms and Climate Impacts. *Journal of Climate*. 2020. Vol. 33 (7). P. 2645–2661. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0447.1>
22. *Popov E.G.* *Gidrologicheskie prognozy* [Hydrological forecasts]. Leningrad. Gidrometeoizdat, 1979. 256 s.
23. *Wang J., Wang X., Lei X., Wang H., Zhang X., You J., Tan Q., Liu X.* Teleconnection analysis of monthly streamflow using ensemble empirical mode decomposition. *Journal of Hydrology*. 2020. Vol. 582. 124411. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124411>
24. *Sobolowski S., Frei A.* Lagged relationships between North American snow mass and atmospheric teleconnection indices. *International Journal of Climatology*. 2007. Vol. 27(2). P. 221-231. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.1395>

25. *Khrystiuk B.F., Gorbachova L.O.* Dvougostrokove prognozuvannja daty pochatku vesnjanoogo vodopillja u verhiv'i' richky Pivdennyj Bug za telekonnekciynomy indeksamy [Long-term forecasting of the start date of spring flood in the upper of the Southern Buh River by teleconnection indices]. *Hidrolohiya, hidrokimiya i hidroekolojiya*. 2023. № 1(67). С. 26-33. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.1.3>

#### **Appearance dates of ice phenomena on the Dnipro Cascade reservoirs and the possibility of their long-term forecasting**

**Khrystiuk B.F., Gorbachova L.O., Rozlach V.O.**

*Long-term forecasting of the appearance dates of ice phenomena on the Dnipro Cascade reservoirs, especially with the forecast lead time at least 1 month, has important practical and scientific significance. So, it is on the basis of this characteristic of the ice regime that the terms and depths of autumn operation of each of the six Dnipro reservoirs are determined. Along with this, there are no methods for long-term forecasting of the appearance date of ice phenomena on the Dnipro Cascade reservoirs. Obviously, this is due to the fact that the problem of developing reliable long-term forecasts of the ice regime of water bodies is one of the most difficult in hydrometeorology, which has not yet received a fully satisfactory solution.*

*The objective of this of the research is to find connections between quantitative indicators of atmospheric processes in the North Atlantic and the appearance dates of ice phenomena on the Dnipro Cascade reservoirs, and to evaluate the possibilities of using the obtained results for operational long-term forecasting.*

*In long-term forecasting of ice regime is used the statistical, correlational, regression analysis as well as the atmospheric indicators as predictors. Therefore, the minimum atmospheric pressure in the center of the Icelandic minimum, the North Atlantic Oscillation (NAO) pattern and the Scandinavian Oscillation (SCAND) pattern were used in the research. These indicators characterize the atmospheric processes of the North Atlantic. Materials of the Department of Meteorological Forecasts of the Ukrainian Hydrometeorological Center (Kyiv) and the National Oceanic & Atmospheric Administration USA (archival synoptic maps, the values of NAO and SCAND patterns) were used as initial data. The obtained results show that such indicators of the atmospheric processes of the North Atlantic as the minimum atmospheric pressure in the center of the Icelandic minimum, NAO and SCAND patterns undoubtedly have a fairly significant influence on the formation of the appearance dates of ice phenomena on the Dnipro Cascade reservoirs, but such an influence is not predominant and such indicators can only be partially used as predictors for long-term forecasting. Therefore, to obtain more acceptable results, it is necessary to expand the search for predictors of atmospheric processes both in space and time.*

**Keywords:** Dnipro reservoirs, ice phenomena, long-term forecasting, atmospheric processes, Icelandic minimum, NAO pattern, SCAND pattern.

**Надійшла до редколегії 22.05.2023**

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.2.4>

УДК 556.16.047

**Лободзінський О.В., Данько К.Ю.**

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

#### **ВИЗНАЧЕННЯ ТА ОЦІНКА ЗМІНИ ТИПІВ ЖИВЛЕННЯ РІЧОК БАСЕЙНУ Р. ГОРИНЬ**

*На прикладі річок басейну річки Горинь визначено алгоритм розчленування гідрографів стоку, наведено результати розрахунку величин різних типів живлення та проаналізовано їх багаторічну динаміку. Для річок України характерними є снігове, дощове та підземне (грунтове та глибоке підземне) живлення. Визначення величини снігового та дощового живлення річок, здійснюється з урахуванням характеристик атмосферних опадів, та їх співвідношення з характеристиками водного стоку. У роботі за допомогою аналітичного (розрахункового) методу встановлено показники підземного живлення, зокрема глибокого підземного. Викладено ключові принципи визначення показників живлення річок, графічну та геометричну складові застосування методу розчленування гідрографів. Розглянуто приклади застосування комп'ютерного програмного забезпечення для вирішення подібних задач. Метеорологічні характеристики приведено до відповідних водозборів за допомогою визначення вагових коефіцієнтів. Для річок басейну оцінено зміни типів живлення за два характерні періоди 1961-1990 та 1991-2020 роки.*

**Ключові слова:** гідрограф, живлення річок, поверхневий стік, підземний стік.

**Вступ.** Визначення кількісних характеристик різних типів живлення водного стоку річок є одним із найважливіших питань при дослідженні їх гідрологічного режиму. Джерела живлення водного стоку річок, визначають загальний характер гідрологічного режиму річок, а разом з тим і прояв фаз водного режиму, режим хімічного складу річкових вод, режим температури води, наявність льодових явищ тощо. Динаміка живлення водного стоку, в першу чергу, проявляється через коливання рівнів та змінювання витрат води. Відповідні

ISSN:2306-5680 **Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2023. № 2 (68)**



зміни водного стоку позначаються на формі гідрографу, зокрема, як раптові високі піки рівнів води під час дощових паводків або тривалі малі витрати води під час межені (живлення водного стоку лише підземне).

**Актуальність дослідження.** Одним з способів визначення часток різних типів живлення у загальному стоці досліджуваної річки являється розчленування гідрографу річкового стоку. Він виконується з урахуванням особливостей режиму річки, умов надходження дощової та талої води, підземного стоку тощо. Дане питання особливо актуалізується в сучасних умовах зміни клімату, а саме, в контексті інтегрованого управління водними ресурсами. Розуміння процесів формування водного стоку та умов живлення річок, сприяє ефективному використанню водних ресурсів та розвитку водозалежних секторів економіки.

**Метою дослідження** є визначення часток різних типів живлення річок басейну р. Горинь та подальша оцінка впливу кліматичних змін на їх перерозподіл.

**Вихідні дані.** У роботі використано щоденні дані спостережень з 8-ми гідрологічних постів (витрати води) та 15-ти метеорологічних станцій (температура повітря, опади та висота снігового покриву) за період з 1961 по 2020 роки. Спираючись на рекомендації WMO [13], оцінку впливу кліматичних змін проведено для двох тридцятирічних періодів: кліматологічна стандартна норма – 1961-1990 рр. та сучасний період – 1991-2020 рр.

**Аналіз попередніх досліджень.** Для визначення типів живлення річок використовується низка підходів. Найбільш вживаними методами визначення джерел живлення річок є методи розчленування гідрографів [6, 7, 9]. Вони ґрунтуються на розчленуванні річного гідрографа стоку за видами живлення та розрахунку частки кожного окремого виду живлення у відсотках від річного стоку.

Першочерговим і водночас найскладнішим завданням при здійсненні розчленування гідрографів являється виокремлення поверхневої і підземної складової живлення досліджуваної річки. Нижче наведемо декілька запропонованих в різні роки та періоди схем графічного розчленування гідрографів [5, 6, 7, 9].

В.Г. Глушковим виділено дві категорії підземного живлення: живлення глибокими підземними водами та живлення алювіальними водами і верховодкою. Виокремлення першої категорії здійснюється за допомогою майже горизонтальної прямої лінії, проведеної через точки найменших витрат води на багаторічному графіці ходу стокових характеристик. Для визначення другої категорії живлення відокремлюються всі пікові значення паводків і водопілля.

За допомогою іншого підходу В.С. Советовим виділено дві категорії підземного живлення на прикладі р. Іжори. Цей метод полягає в проведенні паралельної до вісі абсцис прямої лінії через точку найменшої річної витрати, яка припадала на зимовий час (кінець лютого початок березня). Шляхом з'єднання точки найменшої зимової витрати з максимумом верховодки і найменшою витратою літньої межені, над лінією підземного живлення виділено верховодку. Недоліком вищенаведеного підходу є те, що розташування конкретної точки максимуму верховодки точно визначити неможливо.

За схемою М.І. Львовича для рівнинних річок зі сніговим живленням з початком весняного водопілля підземне живлення зростає і досягає свого максимуму в момент його завершення.

Відповідно методу розчленування гідрографів, що запропонований А. В. Огієвським, на гідрографах проводиться лінія глибоководного живлення, яка відповідає мінімумам посушливих років. За даними для холодних зим визначається інтенсивність максимального падіння підземного живлення. Точка перетину лінії підземного живлення для зимового періоду з лінією глибоководного живлення визначає межу падіння підземного живлення в кінці зими, далі до дати піку водопілля підземне живлення не змінюється. Починаючи з дати піку водопілля підземне живлення починає збільшуватися з інтенсивністю, яке дорівнює інтенсивності максимального падіння підземного живлення. З отриманої таким чином точки, лінію підземного живлення орієнтують на літній мінімум. Після чого підземне живлення зростає за рахунок осінніх дощів.

Децо інший підхід до визначення ходу підземного живлення в період водопілля запропонував Б. В. Поляков. На його думку підземне живлення під час початку водопілля не збільшується і не залишається постійним, як у решти авторів, а зменшується до періоду

піку водопілля. Це пояснюється тим, що у вказаний період водопілля зростає гідростатичний тиск річкової паводкової хвилі на ґрунтовий стік.

В свою чергу, Б. І. Куделін запропонував розчленовувати гідрографи в залежності від гідрогеологічних умов і режиму підземного стоку в річку. Відповідно до цього підходу виділено наступні водоносні горизонти: а) що не мають гідравлічного зв'язку з річкою; б) що мають гідравлічний зв'язок з річкою; в) що мають періодичний зв'язок з річкою.

Дослідженнями з визначення типів живлення річок України з використанням вище зазначених методичних підходів займалися В.В. Гребінь, Є.В. Василенко [3], Л.О. Горбачова [2], Ю.О. Чорноморець [11, 12], Ф. В. Зузук, С. С. Кутовий, Ю. В. Грицюк [5], О.Л. Шевченко [4] та інші.

Використання тих чи інших методів на практиці обумовлено, в першу чергу, наявністю даних та завданнями конкретного дослідження. Враховуючи велику кількість підходів, нижче наведені певні особливості, які використано у роботі для розчленування гідрографів та оцінки впливу зміни клімату на превалювання тієї чи іншої частки типу живлення річки.

**Методика дослідження.** Враховуючи те, що метою представленого дослідження є оцінка впливу кліматичних змін на розподіл типів живлення, початковим кроком роботи було приведення у відповідність величин метеорологічних елементів на метеостанціях до територій досліджуваних річкових водозборів, що замикаються відповідними гідрологічними постами.

Оскільки мережа метеостанцій розташована неоднорідно в межах річкових басейнів і відображає значення метеорологічних показників дискретно (у окремих точках), а для дослідження необхідно їх осереднені значення для всього досліджуваного водозбору, у роботі з цією метою використано метод зважування (метод трикутників, полігони Тиссена). За цим методом зони впливу певних метеостанцій в межах конкретного водозбору виражаються через вагові коефіцієнти (як відношення площі зони впливу метеостанції до загальної площі досліджуваного водозбору). Для поділу водозбору на часткові площі впливу (полігони Тиссена) кожної метеостанції, використано інструментарій ГІС-системи – ArcGIS (рис.1). Для обраних розрахункових басейнів потрібно мати надійні дані щодо величини площі водозбору, тому отримані контури уточнювалися за картами масштабу 1: 50000.

Для того, щоб об'єктивно оцінити генезис різних піків на гідрографах, побудовано комплексні графіки для всіх досліджуваних водозборів, на яких представлено синхронні перебіги витрат води, кількості опадів, температури повітря та висоти снігового покриву (рис. 2). Аналізуючи такі графіки, можемо оцінити, які з піків на гідрографі утворені за рахунок рідких опадів, а які за рахунок сніготанення під час відлиг.

Схема розчленування гідрографів, що представлена нижче, базується виключно на гідрологічному підході [3], тобто на аналізі значень щоденних витрат води. У його основі лежить визначення величини підземного живлення за даними про стік води річок без кількісного врахування підземних вод, що надходять у річку з водоносних горизонтів.

Першим етапом розчленування гідрографу стоку було визначення **частки глибокого підземного** живлення, яке здійснювалося шляхом проведення прямої горизонтальної лінії через точки, які відповідають мінімальному значенню витрати води за конкретний рік. При цьому глибоке підземне живлення розглядається як квазістаціонарний процес, який можливий лише для умов водного потоку, що встановився. Проте глибоке підземне живлення процес неоднорідний і нестійкий. Зокрема, це обумовлено фільтраційними властивостями гірських порід, які складають основу річкових басейнів. Враховуючи це, глибоке підземне живлення на гідрографі, при його розчленуванні, варто також розглядати як динамічну характеристику, що незважаючи на певну інерційність перебігу процесів має власну внутрішньорічну та багаторічну мінливість.

Враховуючи, що водність кожного конкретного дня, місяця і року, визначається умовами формування стоку попереднього дня, місяця і року та, в свою чергу, визначає водність наступного дня, місяця або року, при визначенні частки глибокого підземного живлення на гідрографі варто враховувати не лише мінімальну витрату води кожного конкретного року, а й попереднього та, за можливістю, наступного. Для вирішення цієї задачі запропоновано проведення інтерполяції між мінімальними значеннями витрат сусідніх років за весь досліджуваний період (рис. 3).

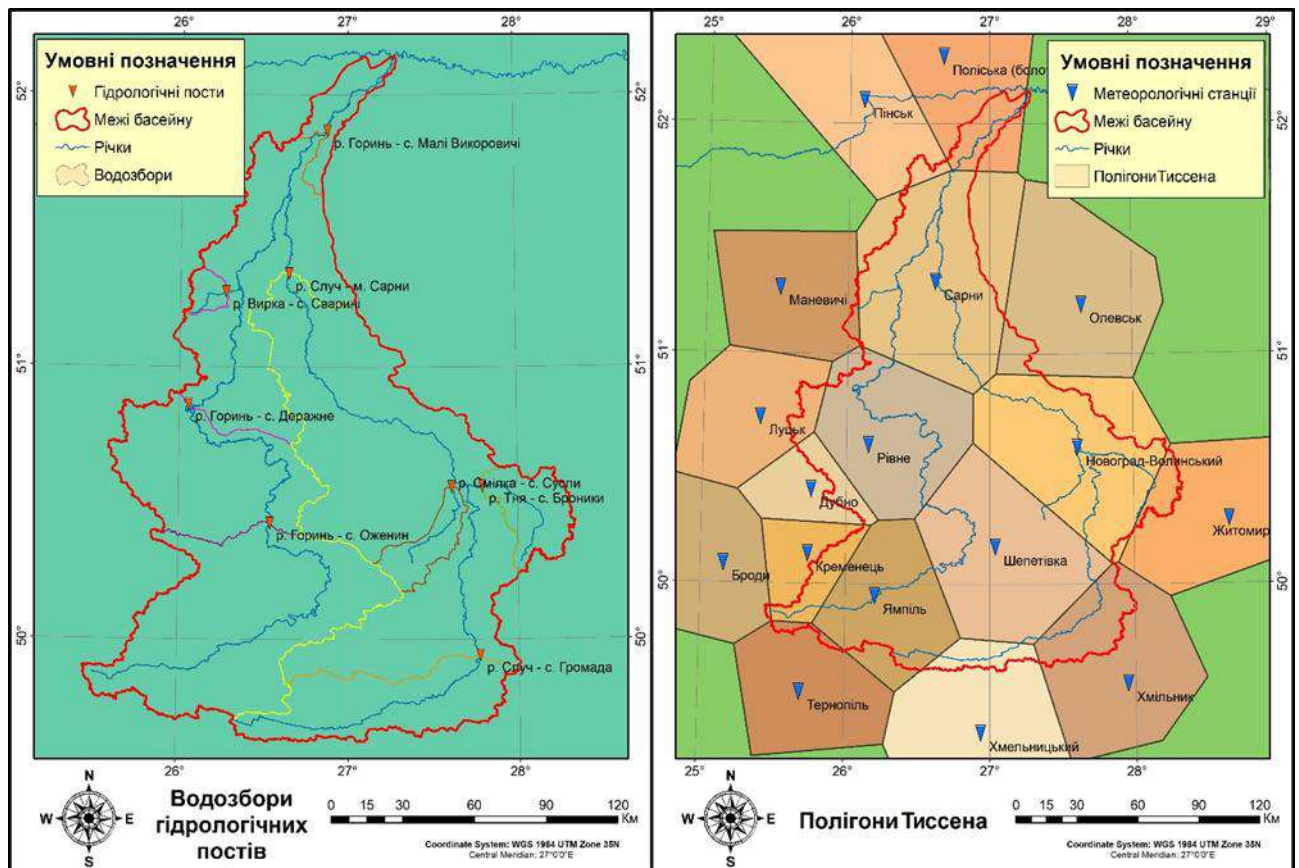


Рис. 1. Схема розташування досліджуваних водозборів та зон впливу метеостанцій у басейні р. Горинь

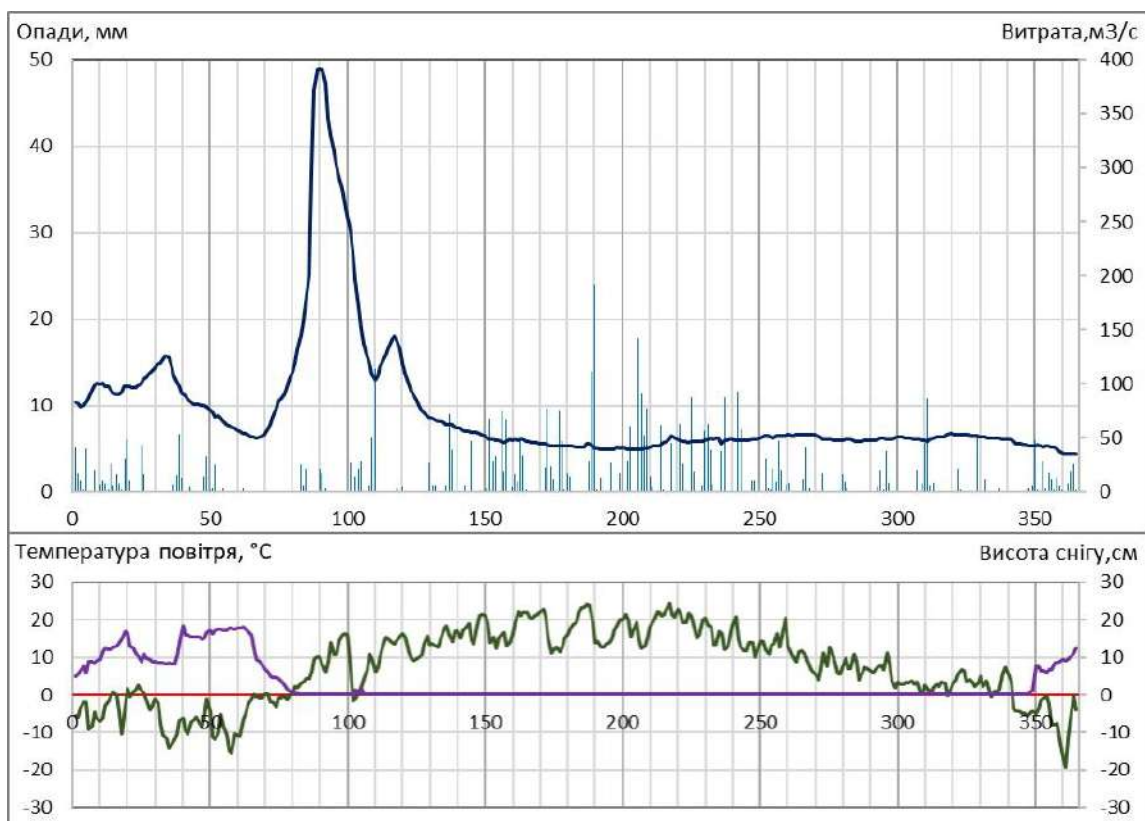


Рис. 2. Комплексний графік басейну р. Горинь-с. Малі-Викоровичі за 1986 р.

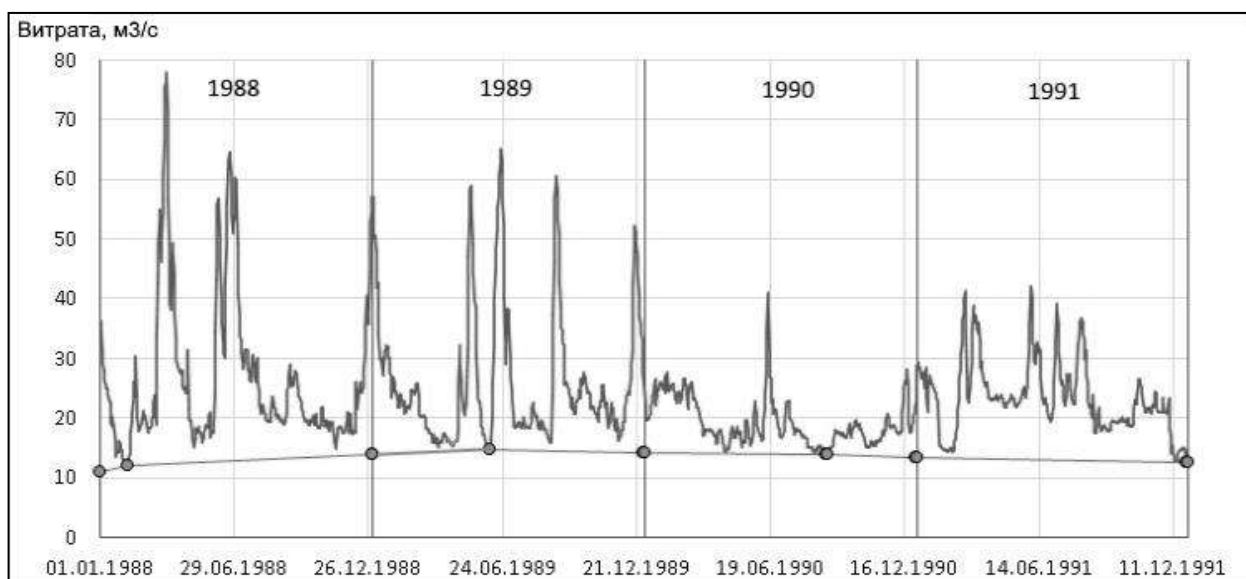


Рис.3. Інтерполяція між мінімальними значеннями витрат води сусідніх років на прикладі р. Горинь - с. Оженин

Такий підхід дозволяє визначити більш наближені до реальних значень величини глибокого підземного живлення для кожного конкретного дня, що, в свою чергу, дозволяє уникнути різких перепадів цього типу живлення на стику років

При цьому, числове вираження частки глибокого підземного живлення від загального водного стоку обчислюється за різницею площ фігур, загального гідрографу та фігури нижньої частини гідрографу, яка обмежується умовною лінією глибокого підземного живлення та віссю абсцис.

Далі на гідрографі позначалися нижні переломні точки початку й закінчення періодів більш чи менш різкого збільшення витрат води під час паводків. Відповідно до методики Полякова, під час весняного водопілля ґрунтове живлення зменшується до дати піку водопілля, а потім починає збільшуватися до дати його закінчення, тому на кожному графіку відмічено ці дати, для визначення межі ґрунтового живлення. Через ці точки проведено відрізки ламаної лінії. Площа гідрографу вище названих відрізків характеризує **поверхнєве живлення річки**.

Площа гідрографу між суцільною ламаною лінією, з одного боку, та лінією підземного глибоководного живлення, з іншого боку, виражає ґрунтове живлення річки. Якщо під час весняного водопілля відмічалися піки спричиненні рідкими опадами, вони також зрізалися плавною лінією і отримані площі додавалися до значення дощового живлення.

В окремі роки у зимовий період не формувалось достатньої кількості снігозапасів, за рахунок чого весняне водопілля не виділялось на річному гідрографі стоку. За таких умов піки на гідрографі зрізалися плавними лініями.

Задля підвищення точності та оперативності виконання розрахунків у роботі використано комп'ютерне програмне забезпечення з відкритою ліцензією Graph. На його основі здійснено розрахунки з визначення площ кожного окремого типу живлення на гідрографі. На нашу думку, такий спосіб розрахунку окремих площ, що відповідають тим чи іншим типам живлення є набагато ефективнішим та точнішим, ніж загальноприйнятий у гідрологічній практиці, де ця задача виконується вручну.

**Фізико-географічні умови.** Річка Горинь - типова рівнинна річка Поліської низовини, що протікає територією двох країн - України та Республіки Білорусь. Загальна площа річкового басейну становить 27700 км<sup>2</sup>, а довжина річки 659 км [1]. Горинь є притокою другого порядку Дніпра (площа якої займає 5,55 % від площі басейну Дніпра) та найбільшою притокою Прип'яті (23,1 % від площі басейну Прип'яті). Річка протікає у трьох фізико-географічних зонах: зона мішаних лісів (Волинське та Житомирське Полісся), зона широколистяних лісів (Волинське Опілля, Мале Полісся та Східно-Подільська область) і,

невелика частина, у лісостеповій зоні (Північно-Західна Придніпровська височинна область). Річковий басейн Горині на заході межує з басейном річки Стир, на сході – з басейнами річок Ствига, Уборть, Уж і Тетерів, а на півдні – з басейнами Південного Бугу і Дністра.

Окрім кліматичних умов, тип живлення річок також обумовлюється підстильною поверхнею та геологічними умовами в межах басейну.

Басейн річки розташований у двох геоморфологічних областях: верхня частина знаходиться на півдні на Волино-Подільській височині, а середня і нижня частини на півночі на Поліській низовині.

Основними породами в межах Волино-Подільській височини є крейдові піски, мергелі, вапняки та крейда, що виходять на денну поверхню у долинах річок. Вони підстилаються давніми кристалічними породами, головним чином гранітами, які перекриті товщею третинних пісків, глин, мергелів та вапняків. Четвертинні утворення представлені флювіогляціальними пісками, суглинками та лесами, на яких розвинуті родючі сірі лісові ґрунти та чорноземи. У межах Полісся поширені морені відклади, представлені зазвичай суглинками з різним вмістом валунів, флювіогляціальні піски та лесоподібні суглинки з поверхневим покривом дерново-підзолистих ґрунтів; значні площі зайняті торфовищами.

У гідрогеологічному відношенні басейн р. Горинь знаходиться в межах двох басейнів підземних вод: Волино-Подільський артезіанський басейн та область тріщинуватих вод Українського щита, які відрізняються за геологічною будовою та літолого-фаціальним складом. Підземні води в басейні приурочені до девонських і крейдових відкладів, в межах кристалічного масиву - пов'язані з тріщинами в кристалічних породах. У межах Полісся глибина залягання ґрунтових вод незначна, на ділянках заплав у річкових долинах може коливатись від 0,0 м до 14,0 м, частіше ґрунтові води залягають на глибині 2,0-5,0 м [8, 10].

**Результати виконаних досліджень.** Визначено частки усіх типів живлення для 8-ми водозборів у межах басейну р. Горинь за досліджуваний період (1961 - 2020 рр.) (табл. 1).

Таблиця 1. Відсоток частки різних типів живлення для водозборів р. Горинь

№ п/п	Річка– пост	Площа водозбору, км <sup>2</sup>	Типи живлення*, %					
			ГПЖ	ГЖ	ГПЖ+ГЖ	СЖ	ДЖ	СЖ+ДЖ
1	Горинь – Малі Викоровичі	27000	36,6	19,9	56,5	29,6	13,9	43,5
2	Случ – Сарни	13300	23,5	28,0	51,4	32,0	16,6	48,6
3	Горинь – Деражне	9160	46,2	21,1	67,3	21,6	11,0	32,7
4	Горинь – Оженин	5860	44,7	23,7	68,4	19,7	11,8	31,6
5	Случ – Громада	2480	20,0	34,4	54,4	24,3	21,4	45,6
6	Тня – Броники	982	13,4	28,6	42,0	37,1	20,9	58,0
7	Смілка – Сусли	632	7,9	23,7	31,6	41,6	26,8	68,4
8	Вирка – Сварині	231	17,1	32,4	49,5	30,2	20,4	50,5
<b>Середнє по басейну</b>			<b>26,2</b>	<b>26,5</b>	<b>52,7</b>	<b>29,5</b>	<b>17,8</b>	<b>47,3</b>

**Примітка.** \* ГПЖ – глибоке підземне живлення, ГЖ – ґрунтове живлення, СЖ – снігове живлення, ДЖ – дощове живлення.

Розподіл типів живлення залежить від площі водозбору, його геологічної будови та кліматичних показників. Оцінка частки типів живлення за багаторічний період показала, що найменші середньобагаторічні значення глибокого підземного живлення відповідають найменшим за площею басейну гідрологічним постам, а саме Смілка – Сусли (7,9 %), Тня – Броники (13,4 %) та Вирка – Сварині (17,1 %). В свою чергу, найбільші середньобагаторічні показники частки глибокого підземного живлення відмічаються на постах Горинь – Оженин (44,7%) та Горинь – Деражне (46,2 %), що пояснюється особливостями геологічної будови. Біля поста Оженин ближче до поверхні з'являються кристалічні породи протерозою, окрім крейди, а в районі гідрологічного поста Деражне відмічається значна залежність зони інтенсивного водообміну від водоносного горизонту в карбонатних відкладах, що карстуються.

Відповідно до результатів проведених розрахунків ґрунтове живлення за багаторічний період складає від 19,9% (Горинь – Малі Викоровичі) до 34,4 % (Случ – Громада).

Поверхнева складова живлення залежить від кількості атмосферних опадів тому інтенсивніше проявляється на невеликих за площею водозборах (Тня, Вирка, Смілка), оскільки схилний стік швидше потрапляє до гідрологічної мережі.

В цілому, у басейні р. Горинь підземна складова живлення складає від 31,6% до 68,4%; частка снігового живлення коливається в межах від 19,7% (Горинь – Оженин) до 41,6% (Смілка – Сусли), а середні багаторічні значення частки дощового живлення коливаються в межах від 11% (Горинь – Деражне) до 26,8 % (Смілка – Сусли).

З метою виявлення змін у структурі типів живлення, проведено порівняння усереднених значень за два характерні періоди 1961-1990 рр. (кліматологічна стандартна норма) та 1991-2020 рр. (сучасний період) для усіх типів живлення.

Встановлено, що за багаторічний період 1961-2020 рр. на річках басейну р. Горинь прослідковується повільний тренд зростання величини глибокого підземного живлення (рис. 4). Зокрема тенденції щорічного зростання величини глибокого підземного живлення відзначались в період 1961-1990 рр. Проте у період 1991-2020 рр. спостерігалась динаміка поступового зменшення показників глибокого підземного живлення. Виключенням є показники багаторічної динаміки глибокого підземного живлення за даними гідрологічного поста Горинь – Деражне, де тренд зростання частки глибокого підземного живлення водного стоку р. Горинь зберігає тенденцію у 1991-2020 рр. порівняно з 1961-1990 рр. Ймовірно подібний тренд може бути пов'язаний з водністю річок Стубла та Путилівка, стік яких суттєво є зарегульованим ставками та мережами меліоративних каналів.

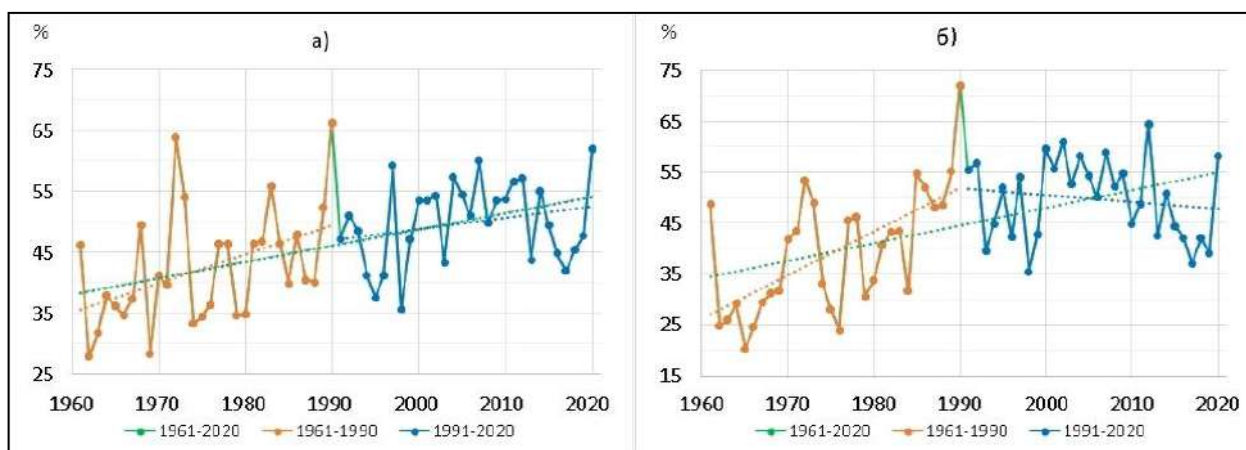


Рис. 4. Хронологічний графік ходу частки глибокого підземного живлення від загального живлення річки, а) Горинь – Деражне, б) Горинь – Оженин (1961-2020 рр.)

Середня величина частки глибокого підземного живлення на річках басейну Горині у період 1961-1990 рр. становила 6,0 - 42,6%, а в у період 1991-2020 рр. 9,9-49,9% (табл. 2). Мінімальні значення величин глибокого підземного живлення пояснюються розмірами самих річок, базис ерозії яких знаходиться на недостатніх глибинах і прояв інших типів живлення у них більш інтенсивний.

Таблиця 2. Частка величини глибокого підземного живлення річок басейну р. Горинь

№ п/п	Річка – пост	Глибоке підземне живлення		Різниця
		Частка у % від загального		
		1961-1990	1991-2020	
1	Горинь – Малі Викоровичі	35,1	38,2	3,1
2	Случ – Сарни	21,8	25,2	3,4
3	Горинь – Деражне	42,6	49,9	7,3
4	Горинь–Оженин	39,5	49,9	10,3
5	Случ – Громада	16,0	23,7	7,7
6	Тня – Броники	11,2	15,6	4,4
7	Смілка – Сусли	6,0	9,9	3,8
8	Вирка – Сварині	14,2	19,9	5,7

У сучасний період частка глибокого підземного живлення в басейні р. Горинь в середньому збільшилася в діапазоні від 3,1% до 10,3%, об'єм стоку в середньому зменшився на 14,6%, а середньорічна сума опадів на 2,9%.

Аналіз хронологічних графіків ходу відсотку ґрунтового живлення показав, що для сучасного періоду для усіх водозборів характерний тренд до збільшення цієї частки живлення, проте відмічається тренд до зниження для окремих постів (Горинь – Малі Викоровичі, Горинь – Оженин), як для всього періоду так й для періоду кліматологічної стандартної норми. На посту Случ – Громада спостерігається тренд до зниження в період кліматологічної стандартної норми, але при цьому загальний тренд збільшується.

Середня величина частки ґрунтового живлення на річках басейну Горині у період 1961-1990 рр. становила 19,8 - 33%, а в у період 1991-2020 рр. - 19,3 - 37 %. На постах Горинь – Малі Викоровичі та Горинь – Оженин відмічається зменшення частки ґрунтового живлення у сучасний період на 1,1 % та 0,6 % відповідно. На решті постів відмічається збільшення вищенаведеної частки живлення в діапазоні від 2,8 % до 11 % (табл. 3).

**Таблиця 3. Частка величини ґрунтового живлення річок басейну р. Горинь**

Ґрунтове живлення				
№ п/п	Річка – пост	Частка у % від загального		Різниця
		1961-1990	1991-2020	
1	Горинь – Малі Викоровичі	20,5	19,3	-1,1
2	Случ – Сарни	26,1	29,9	3,8
3	Горинь – Деражне	19,8	22,4	2,7
4	Горинь – Оженин	24,1	23,4	-0,6
5	Случ – Громада	33,0	35,8	2,8
6	Тня – Броники	23,1	34,1	11,0
7	Смілка – Сусли	20,1	27,3	7,1
8	Вирка – Сварині	27,9	37,0	9,1

Аналіз хронологічних графіків ходу частки снігового живлення показав однозначний тренд до зменшення цього виду живлення. У сучасний період величина снігового живлення річок басейну р. Горинь в середньому зменшилася в діапазоні від 3,2 % до 16,4 % (табл. 4).

**Таблиця 4. Частка величини снігового живлення річок басейну р. Горинь**

Снігове живлення				
№ п/п	Річка – пост	Частка у % від загального		Різниця
		1961-1990	1991-2020	
1	Горинь – Малі Викоровичі	31,2	28,0	-3,2
2	Случ – Сарни	35,9	28,0	-8,0
3	Горинь – Деражне	26,0	17,3	-8,7
4	Горинь – Оженин	22,9	16,6	-6,3
5	Случ – Громада	28,9	19,9	-9,0
6	Тня – Броники	41,5	32,7	-8,8
7	Смілка – Сусли	45,2	38,0	-7,2
8	Вирка – Сварині	38,4	21,9	-16,4

В першу чергу це пов'язано зі зростанням температури повітря. Відповідно до проведеної оцінки метеорологічних характеристик, у басейні зафіксовано зростання середньої річної температури повітря на 1,2°C у сучасний період. Для території басейну р. Горинь загальна кількість діб з від'ємною температурою в цей же період у середньому зменшилась на 16 діб.

Частка дощової складової живлення, в першу чергу, залежить від кількості та інтенсивності рідких опадів. Для періоду кліматологічної стандартної норми на частку дощового живлення припадало від 11,7 % до 28,7 %, а у сучасний період від 10,1 % до 24,9 %. Для постів які розташовані у північній частині басейну (Горинь – Малі Викоровичі, Случ – Сарни та Вирка – Сварині) відмічається збільшення частки дощового живлення на 1,3 %, 0,8 % та 1,7 % відповідно. Для решти постів частка дощового живлення зменшилася в діапазоні від 1,3 % до 6,6 %.

Таблиця 5. Частка величини дощового живлення річок басейну р. Горинь

№ п/п	Річка – пост	Дощове живлення		Різниця
		Частка у % від загального		
		1961-1990	1991-2020	
1	Горинь – Малі Викоровичі	13,2	14,5	1,3
2	Случ – Сарни	16,2	17,0	0,8
3	Горинь – Деражне	11,7	10,4	-1,3
4	Горинь – Оженин	13,5	10,1	-3,4
5	Случ – Громада	22,1	20,6	-1,5
6	Тня – Броники	24,2	17,6	-6,6
7	Смілка – Сусли	28,7	24,9	-3,8
8	Вирка – Сварині	19,5	21,2	1,7

У середньому по басейну річки Горинь за багаторічний період з 1961 по 2020 роки, на частку глибокого підземного живлення припадає 26,2%, на частку ґрунтового живлення 26,5 %, на частку снігового живлення 29,5 % та на частку дощового живлення 17,8 %.

Структура живлення річок басейну р. Горинь за 1961-2020 роки в середньому по басейну змінилася наступним чином: у порівнянні з періодом кліматологічної стандартної норми снігове та дощове живлення у сучасний період зменшилося на 8,4 % і 1,6 % відповідно, а глибоке підземне та ґрунтове живлення збільшилося на 5,7 % та 4,3 % відповідно.

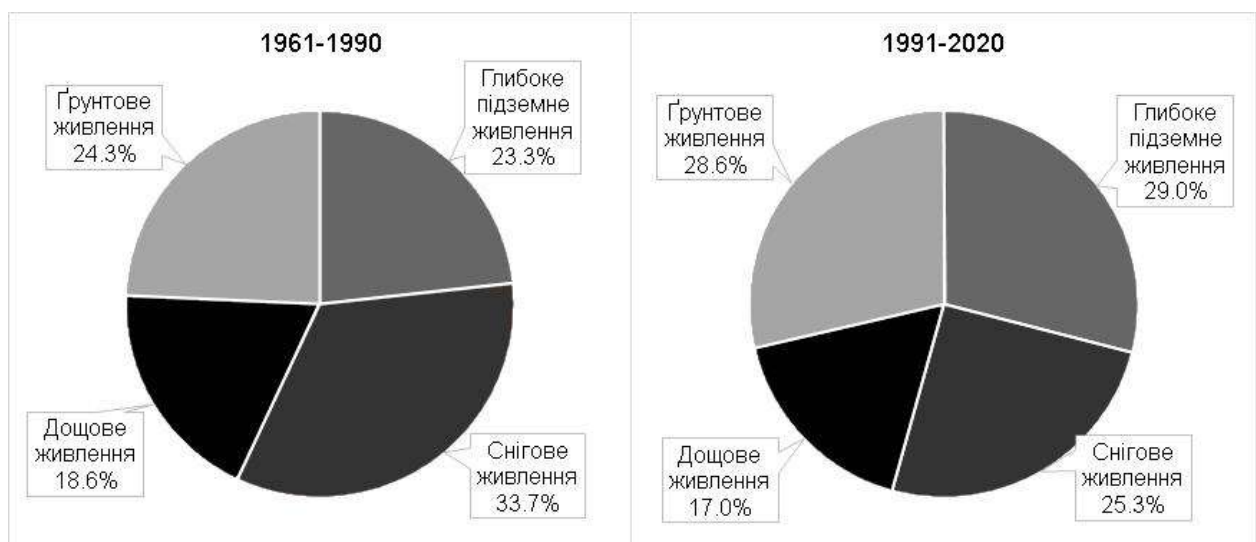


Рис. 5. Діаграма розподілу типів живлення в басейні р. Горинь за два характерні періоди

Отже, можемо припустити, що зменшення снігового і дощового живлення пов'язане, насамперед, зі збільшенням середньорічної температури повітря (на 1,2 °C) та зі зменшенням річної кількості атмосферних опадів на території басейну (на 19 мм).

Для перевірки правильності отриманих результатів, частки підземних складових живлення також було визначено розрахунковим способом, який рекомендовано у роботі [3]. Де пропонується визначати повний та постійний (глибоководний) підземний стік досліджуваної річки, відповідно, за величинами мінімального середньомісячного та мінімального річного стоку за багаторічний період. Різниця у отриманих різними методами результатах в середньому для басейну р. Горинь коливається в діапазоні від 2,1 % до 10,5 %.

**Висновки.** Оцінено зміни окремих часток типів живлення в річному розрізі, що спричинені кліматичними змінами. У порівнянні з періодом кліматологічної стандартної норми (1961-1990 рр.) виявлено зменшення частки снігового та дощового живлення у сучасний період (1991-2020 рр.) на 8,4 % і 1,6 % відповідно та збільшення частки глибокого підземного та ґрунтового живлення на 5,7 % та 4,3 % відповідно. Можна припустити, що відбувається перерозподіл вологи між різними типами живлення.



Зменшення частки поверхневої складової живлення, на нашу думку, пов'язано зі зміною кліматичних показників, а саме, зі збільшенням середньорічної температури повітря на 1,2 °С у сучасний період. У річному розрізі по басейну Горині найбільше потеплішав січень на 2,3 °С, а найменше – жовтень на 0,5 °С. Така ситуація призвела до зменшення кількості днів з від'ємними температурами і, як результат, до зменшення снігонакопичення на території басейну та до незначного промерзання ґрунту або зовсім його відсутності, що сприяє, навіть у зимовий період, вільній інфільтрації та фільтрації атмосферної води та поповненню підземних вод. Крім того, у сучасний період, річна кількість опадів в межах території басейну р. Горинь зменшилася на 19 мм, що є додатковим фактором зменшення поверхневої складової живлення. Збільшення підземної складової живлення пов'язано зі зменшенням рівня води в річці, тобто завдяки зростанню гідравлічного градієнта при тому, що рівні глибоких міжпластових горизонтів лишаються більш менш сталими.

#### Список літератури

1. Вишневецький В. І., Косовець О. О. Гідрологічні характеристики річок України. Київ: Ніка-центр, 2003. 324 с.
2. Горбачова Л.О. Чинники, структура і динаміка вносу розчиненого цезію-137 з водним стоком у басейні Прип'яті : дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.07. Київ, 2005. 185 с.
3. Гребінь В. В., Василенко Є. В. Методичні аспекти виділення підземної складової у живленні річок. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2010. № 4(21). С. 8–15.
4. Закономірності міграції техногенних радіонуклідів на меліоративних системах чорнобильської зони відчуження за результатами досліджень 1986-2004 рр. : монографія / О.Л. Шевченко та ін. Херсон : Олді - плюс, 2011. 415 с.
5. Зузук Ф. В., Кутовий С. С., Грицюк Ю. В. Роль різних видів живлення річок Волинської області у формуванні їх водних ресурсів: монографія. Луцьк : Східноєвроп. нац. ун-ту ім. Лесі Українки, 2019. 109 с.
6. Лучшева А. А. Практическая гидрология. Л: Гидрометеиздат, 1976. 438 с.
7. Огиевський А.В. Гидрология суши (общая и инженерная): учебник. М: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы. 1952. 515 с.
8. Ресурси поверхневих вод ССРСР. Т.6: Україна і Молдавія. Вып.2. Среднее и Нижнее Поднепровье / под ред. М.С. Каганера. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 656 с.
9. Соколовский Д. Л. Речной сток (основы теории и методики расчетов). Л.: Гидрометеиздат, 1968. 540 с.
10. Справочник по водным ресурсам ССРСР. Украинская ССР / Под ред. М.С. Каганера. К.: Изво АН УССР. Т. VIII, Часть 2, 1955. 656 с.
11. Чорноморець Ю. О. Кількісна оцінка основних джерел живлення р. Дністер-м. Заліщики. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2015. № 3(38). С. 6-16.
12. Чорноморець Ю. О., Гребінь В. В. Багаторічна динаміка режиму живлення річки Десна. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2010. № 3(20). С. 59-67.
13. Seventeenth World Meteorological Congress : Abridged final report with resolutions / World Meteorological Organization (WMO). Geneva, 2015. P. 695. URL: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=3138](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3138).

#### References

1. Vyshnevskiy V. I., Kosovets O. O. Hidrolohichni kharakterystyky richok Ukrainy [Ukrainian Rivers' Hydrological Characteristics]. Kyiv: Nika- tsentr, 2003. 324 s.
2. Horbachova L.O. Chynnyky, struktura i dynamika vynosu rozchynenoho tseziiu-137 z vodnym stokom u baseini Prypiati [Factors, structure and dynamics of the dissolution of dissolved cesium-137 with water runoff in the Pripyat basin] : dys. ... kand. heohr. nauk: 11.00.07. Kyiv, 2005. 185 s.
3. Hrebin V. V., Vasylenko Ye. V. Methodychni aspekty vydilennia pidzemnoi skladovoi u zhyvleni richok [Methodological aspects of the selection underground constituent in the nourishment of the rivers]. Hidrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekolohiia. 2010. № 4(21). S. 8–15.
4. Zakonomirnosti mihratsii tekhnohennykh radionuklidiv na melioratyvnykh systemakh chornobylskoi zony vidchuzhennia za rezultatamy doslidzhen 1986-2004 rr [Patterns of relationship of migration of man-caused radionuclides on reclamation work of Chernobyl radioactive contamination zone on results researches 1986–2004]: monohrafiia / O.L.Shevchenko ta in. Kherson: Oldi - plus, 2011. 415 s.
5. Zuzuk F. V., Kutovyi S. S., Hrytsiuk Yu. V. Rol riznykh vydiv zhyvleniia richok Volynskoi oblasti u formuvanni yikh vodnykh resursiv: monohrafiia [The role of different types of the Volyn region rivers feeding in their water resources formation]. Lutsk : Skhidnoievrop. nats. un-tu im. Lesi Ukrainsky, 2019. 109 s.

6. Luchsheva A. A. *Praktycheskaia hydrolohiia* [Practical hydrology]. L.: Hydrometeoyzdat, 1976. 438 s.
7. *Ohyevskiy A.V. Hydrolohiia sushy (obshchaia y ynzhenernaia)* [Land Hydrology (General and Engineering)]: uchebnyk. M: Hosudarstvennoe yzdatelstvo selskokhoziaistvennoi lyteratury. 1952. 515 s.
8. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR* [USSR Surface Water Resources. Issue 6: Ukraine and Moldova. Vol.2. The Middle and the Lower Dnieper.]. T.6: Ukrayna y Moldavyia. Vyp.2. Srednee y Nyzhnee Podneprove / pod red. M.S. Kahanera . L.: Hydrometeoyzdat, 1971. 656 s.
9. *Cokolovskiy D.L. Rechnoi stok (osnovy teoryy y metody raschetov)* [River Runoff (Theory Fundamentals and Calculation Methods)]. L.: Hydrometeoyzdat, 1968. 540 s.
10. *Spravochnyk po vodnym resursam SSSR* [USSR Water Resources Handbook. UkrSSR. Ed. Kaganer]. Ukraynskaia SSR / Pod red. M.S. Kahanera. K.: Yz-vo AN USSR. T. VIII, Chast 2, 1955. 656 s.
11. *Chornomorets Yu. O. Kilkisna otsinka osnovnykh dzherel zhyvlennia r. Dnister – m. Zalishchyky* [Quantitative estimate of alimentation river for river Dniester outlet Zaleschiki]. *Hidrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekolohiia*. 2015. № 3(38). S. 6-16
12. *Chornomorets Yu. O., Hrebin V. V. Bahatorichna dynamika rezhyumu zhyvlennia richky Desna* [Long-term dynamic of alimentation regime of Desna river]. *Hidrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekolohiia*. 2010. № 3(20). S. 59-67
13. *Seventeenth World Meteorological Congress : Abridged final report with resolutions / World Meteorological Organization (WMO). Geneva, 2015. P. 695. URL: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=3138](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3138).*

### **Determination and assessment of the Horyn River Basin rivers feeding types changes**

**Lobodzynskiy O., Danko K.**

*Using the Horyn River Basin rivers as an example the hydrograph separation algorithm was defined. The results of calculating different river feeding types values were given in the paper. Also, were analyzed their long-term dynamics. Ukrainian rivers are characterized by snow, rain, and ground (soil and underground) types of rivers feeding. The amount of snow and rain rivers feeding is determined by taking into account the characteristics of atmospheric precipitation and their correlation with water runoff characteristics. In the paper, the ground rivers feeding amount, in particular underground feeding, was established using an analytical (calculation) method. The key principles for river feeding amount determination such as graphic and geometric components of the hydrograph separation method application were described. Examples of using computer software for elementary figures areas calculating were considered. The total amount of separated hydrographs was 480.*

*Daily observation data from 8 hydrological stations (water discharges) and 15 meteorological stations (air temperature, precipitation and snow cover height) were used for the research. Meteorological characteristics were correlated to the corresponding watersheds by determining the weight coefficient. The GIS system tools - ArcGIS were used for the catchment areas construction and their further division into separate areas of each weather station influence (Thiessen polygons). The resulting contours of the catchments were further refined on maps with a scale of 1: 50000.*

*In general, for the period 1961-2020, it was established that the Horyn River Basin ground feeding values were from 31.6% to 68.4%; the share of snow feeding ranged from 19.7% (Horyn – Ozhenyn) to 41.6% (Smilka – Susly), and the average long-term values of the rain feeding share were ranged from 11% (Horyn – Derazhne) to 26.8% (Smilka – Susly). For Horyn River Basin rivers feeding types changes were assessed for two representative periods - 1961-1990 and 1991-2020. In general, for the Horyn River Basin in the present period (1991-2020) it was revealed a decrease in the relative values of the snow and rain feeding share by 8.4% and 1.6%, respectively, and an increase in the underground and soil feeding share by 5.7% and 4.3%, respectively.*

**Key words:** hydrograph; rivers feeding; surface runoff; ground runoff

**Надійшла до редколегії 11.05.2023**

# ГЕОГРАФІЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ГЛОБАЛЬНОГО ГІДРОЛОГІЧНОГО ЦИКЛУ

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.2.5>

УДК: 551.510.42+[528.88:614.841.12]

**Рибчинська В.О.<sup>1,2</sup>, Савенець М.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка

<sup>2</sup> Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України

## **ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВИХ ДАНИХ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕБІГУ ПРОЦЕСІВ ГОРІННЯ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ**

*У статті представлено методику використання індексу  $NO_2/CO$  для оцінки ефективності перебігу процесів горіння на основі даних дистанційного зондування хімічних складових атмосферного повітря, що здійснено вперше для території України. Використано дані супутникового приладу TROPospheric Monitoring Instrument (TROPOMI) супутника Sentinel-5 Precursor, а також даних метеорологічних характеристик із реаналізу ERA5 для семи відібраних днів, включаючи дні із лісовими пожежами як еталонні для порівняння. Розроблена методика оцінки для території України включає у себе етап перевірки надійності даних супутникового зондування, аналіз умов хмарності, висоти граничного шару атмосфери та характеристик вітру, визначення фонових вмісту забруднюючих речовин і забруднення над джерелом викидів, та безпосередньо обчислення індексу  $NO_2/CO$ . На основі отриманих значень встановлено можливість розрізнити переважаюче спалювання твердого палива над територією від міст із різноманітними джерелами викидів. Перспективним напрямом подальшого використання індексу  $NO_2/CO$  є перехід до обчислення емісійних факторів і можливість встановлення багаторічної зміни у використанні переважаючих типів палива у містах.*

**Ключові слова:** викиди, діоксид азоту, монооксид вуглецю, Sentinel-5P, дистанційне зондування, забруднення атмосфери.

**Вступ.** Погіршення стану забруднення атмосферного повітря, сформованого внаслідок потужного антропогенного впливу, переросло у глобальну проблему, подолання якої наразі неможливе без використання та розвитку сучасних технологій. Моніторинг якості атмосферного повітря відіграє важливу роль не тільки для виявлення потенційно небезпечних концентрацій, але і для формування контролю за викидами забруднюючих речовин, розвитку методів моделювання, інвентаризацій викидів, тощо [8]. Як наслідок, значні зусилля спрямовані на розроблення і покращення методів моніторингу, до яких відносяться й супутникове зондування [16].

На відміну від наземних систем моніторингу, супутникове зондування характеризується важливою перевагою – просторовим охопленням – що дозволяє виявляти зміни забруднення атмосферного повітря над будь-якою територією. По-перше, значно покращується можливість оперативного виявлення викидів забруднюючих речовин у віддалених районах (напр., лісові пожежі) та їх подальший аналіз і дослідження на основі зібраних супутникових даних [27]. По-друге, стає можливим встановлювати понаднормові або незаконні викиди забруднюючих речовин від промислових підприємств, що являє собою інструмент контролю [20]. Звичайно, потрібно зважати на недоліки супутникового зондування хімічних складових, пов'язаних із отриманням загального вмісту у стовпі атмосфери, похибками його відновлення, залежністю від хмарності, та поки що досить грубу просторову роздільну здатність (від 3,5 км до десятків км для газових складових атмосферного повітря) [27].

Серед газових складових атмосферного повітря найбільш зручним є аналіз нітрогено- та вуглецевмісних сполук. До їх викидів призводять процеси горіння, що характеризують активність переважної більшості джерел викидів [18]. Запуск супутника Sentinel-5 Precursor

(Sentinel-5P) із супутниковим приладом TROPospheric Monitoring Instrument (TROPOMI) на борту значно розширили можливості використання даних газових складових атмосферного повітря, досягнувши просторової роздільної здатності 3,5x5,5 км [19]. На основі супутникових даних загального вмісту діоксиду азоту (NO<sub>2</sub>) та монооксиду вуглецю (CO) досліджуються викиди від промисловості [5,23], автотранспорту [6], морського транспорту [21] природних пожеж [10, 17], та інших джерел.

Універсальність надходження нітрогено- та вуглецевовмісних сполук призвело до появи ряду індексів, що знаходяться як співвідношення вмісту різних забруднюючих речовин, зокрема CO<sub>2</sub>/CO [24], NO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> [9], CO/CO<sub>2</sub> [7], NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> [29], NO<sub>2</sub>/CO [13], тощо. На основі подібних індексів стало можливим оцінити ефективність перебігу процесів горіння (англ.: burning efficiency), що є ключовим параметром для знаходження емісійних факторів — коефіцієнтів, що дозволяють визначити інтенсивність викидів забруднюючих речовин за тих чи інших промислових/ природних процесів. Супутникове зондування відкрило нові можливості використання подібних індексів, адже стає можливим їх оцінка у реальних, а не лабораторних умовах. Особливо зручним у використанні є індекс NO<sub>2</sub>/CO, що дозволяє оцінити ефективність та температуру спалювання і, як наслідок, опосередковано визначити переважаючий тип палива (газ, вугілля, тощо), що використовується. CO у цьому випадку відіграє роль контрольного параметра [3]: за умови спалювання твердого палива або горіння біомаси його викиди зростають, тоді як під час спалювання газу у атмосферу переважно надходять нітрогеновмісні сполуки. Співвідношення NO<sub>2</sub>/CO вже активно використовується для аналізу викидів під час природних пожеж [28] та загалом від великих міст [13]. Цей індекс є перспективним як для оцінки ефективності використання палива у містах, так і для уточнення емісійних факторів, що сприятимуть зменшенню похибок під час створення інвентаризацій викидів.

Незважаючи на активне використання наведених індексів за кордоном, в Україні досі не було проведено жодних оцінок щодо можливості його застосування. При тому, що забруднення атмосферного повітря (в тому числі NO<sub>2</sub> і CO) залишається проблемним питанням [1,30]; а супутникове зондування хімічних складових вже активно використовується на практиці [4, 22]. Тому, **метою даної статті** є розроблення методики використання індексу NO<sub>2</sub>/CO для оцінки перебігу процесів горіння і перевірка адекватності відображення показника на території України.

**Матеріали та методи дослідження.** Для розроблення методології використання індексу ефективності перебігу процесів горіння для території України обрано супутниковий прилад TROPOMI супутника Sentinel-5P (офіційний хаб: <https://s5phub.copernicus.eu/dhus/#/home>) у зв'язку із найкращою на сьогодні просторовою роздільною здатністю зондування газових складових атмосферного повітря (3.5 x 5.5 км). Супутниковий прилад TROPOMI являє собою спектрометр, що працює в ультрафіолетовому (UV), видимому (VIS), ближньому (NIR) і короткохвильовому інфрачервоному (SWIR) діапазонах для моніторингу озону (O<sub>3</sub>), метану (CH<sub>4</sub>), формальдегіду (CH<sub>2</sub>O), монооксиду вуглецю (CO), діоксиду азоту (NO<sub>2</sub>), діоксиду сірки (SO<sub>2</sub>) та аерозолів у атмосфері [15]. Для представлених досліджень використано режимні (offline) дані загального вмісту NO<sub>2</sub> у стовпі тропосфери, та загального вмісту CO у стовпі атмосфери.

У даній роботі, велика увага була приділена підбору даних: днів та районів дослідження. Дати обрано з урахуванням метеорологічних умов, з особливою увагою до безхмарних днів над районами дослідження. Це дозволило уникнути похибок супутникового зондування, що значно зростають в умовах щільної хмарності. Один із обраних днів для перевірки алгоритмів обрано із наявним хмарним покривом. Так як метою статті є розроблення методики використання індексу NO<sub>2</sub>/CO та перевірки можливості його використання для урбанізованих територій, було обрано три райони з різними характеристиками емісії забруднюючих речовин. Перший район охоплює м. Київ та його околиці для оцінки перебігу ефективності процесів горіння у мегаполісі з великою кількістю різноманітних джерел викидів та використаним паливом. Обрано безхмарні дні 26.03. і 10.05.2021 р., та хмарний день 15.04.2021 р. Другий районом обрано м. Маріуполь та його околиці як приклад міста з потужною промисловістю, де переважаючим є вуглецевовмісне паливо. Обрано безхмарні дні 27.04 та 05.05.2021 р. Для оцінки адекватності відображення

даних NO<sub>2</sub>/CO обрано третій район, що вважатиметься еталонним для порівняння. Це випадок інтенсивних лісових пожеж на півночі території України у квітні 2020 р. Еталонними днями обрано 10.04.2020 та 12.04.2020 з осередком на території Київської області. Саме лісові пожежі найкраще підходять для аналізу ефективності горіння як процес горіння біомаси та відсутності горіння газу, що призводять до високого вмісту CO (та інших вуглецевмісних сполук), у порівнянні з іншими забруднювальними речовинами. Варто зауважити, що усі досліджувані дні обрано у період до повномасштабного російського вторгнення, коли інформація про стан забруднення атмосферного повітря та викиди були офіційно встановлені.

Для правильної інтерпретації даних для кожного дня використано індекс якості даних (QA-index) у кожному пікселі, який дає можливість оцінити надійність вмісту NO<sub>2</sub> та CO. QA-index представлений серед набору даних для кожної окремої хімічної складовою. За умови QA-index < 0,50 дані вважаються ненадійні; за умови QA-index = 0,50...0,75 – дані потребують додаткового аналізу перед їх використанням; за умови QA-index > 0,75 – дані вважаються надійними.

Для оцінки метеорологічних умов та правильності обчислення індексу NO<sub>2</sub>/CO використано метеорологічну інформацію, а саме висоту граничного шару атмосфери (ГША) та характеристики вітру. Вихідні дані вітру взято із реаналізу ERA5 для ізобаричних рівнів, де вони представлені у вигляді *u*- та *v*-компоненти (зональна та меридіональна складова) [11]. На їх основі розраховано напрямок (*wd*) та швидкість (*ws*) вітру:

$$ws = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (1)$$

$$wd = \arctg\left(\frac{u}{v}\right) + flow \quad (2)$$

де *flow* = +180, якщо  $\arctg\left(\frac{u}{v}\right) < 180$ ; *flow* = -180, якщо  $\arctg\left(\frac{u}{v}\right) > 180$

Висоту ГША взято з реаналізу ERA5 із набору «однорівневих» параметрів (з англ. – single level) [12].

Оцінка ефективності перебігу процесів горіння здійснено на основі використання індексу NO<sub>2</sub>/CO (у статті позначено як dNO<sub>2</sub>/dCO), обчисленого за формулою (3):

$$\frac{dNO_2}{dCO} = \frac{NO_{2\text{джерело}} - NO_{2\text{фон}}}{CO_{\text{джерело}} - CO_{\text{фон}}} \quad (3)$$

де  $NO_{2\text{джерело}}$  – максимальний загальний вміст NO<sub>2</sub> над джерелом викиду,  $NO_{2\text{фон}}$  – фоновий загальний вміст NO<sub>2</sub> з навітряної сторони до джерела викидів;  $CO_{\text{джерело}}$  – максимальний загальний вміст CO над джерелом викиду;  $CO_{\text{фон}}$  – фоновий загальний вміст CO з навітряної сторони до джерела викидів.

Різниця у чисельнику та знаменнику вказує на надлишок забруднення атмосферного повітря сформованого впливом джерела викидів. Для більш зручного представлення значень індексу, чисельник (dNO<sub>2</sub>) прийнято представляти у ммоль/м<sup>2</sup>, тоді як знаменник (dCO) – у моль/м<sup>2</sup>.

У випадку спалювання твердого палива або горіння біомаси, зростають викиди CO, що призводить до зменшення показника dNO<sub>2</sub>/dCO. Низькі значення dNO<sub>2</sub>/dCO відповідають менш ефективному перебігу процесів горіння. Якщо відбувається спалювання газу, показник dNO<sub>2</sub>/dCO стрімко зростає, що стає індикатором ефективнішого горіння. Таким чином, за величиною dNO<sub>2</sub>/dCO можна опосередковано визначити переважаючий тип палива, що використовується на підприємстві, або в цілому для міста. Зміна величини dNO<sub>2</sub>/dCO вказуватиме на зміну типу палива.

Візуалізація результатів відбувалася з використанням програми «Panoply» для побудови карт вітрів, частки хмарності, QA-index; та із використанням мови програмування Python для карт загального вмісту NO<sub>2</sub> та CO.

## Виклад основного матеріалу.

**1 Оцінка метеорологічних умов та якості супутникових даних.** Першим етапом, що передує розрахунку індексу  $dNO_2/dCO$ , є оцінка метеорологічних умов та якості супутникових даних. Як зазначалося вище, при аналізі районів дослідження та підборі даних для оцінки ефективності перебігу процесів велике значення має надійність даних супутникового зондування, що можна оцінити на основі QA-index та хмарного покриття.

Результати аналізу щільності хмарності над обраними районами показали, що над зонами дослідження хмарність у цілому не спостерігалася, що передбачалося при виборі днів для розроблення методики використання  $dNO_2/dCO$  для території України. Для кожного окремого району умови хмарності формувалися за різної синоптичної ситуації, що видно із просторового розподілу хмарності на регіональному масштабі (рис. 1).

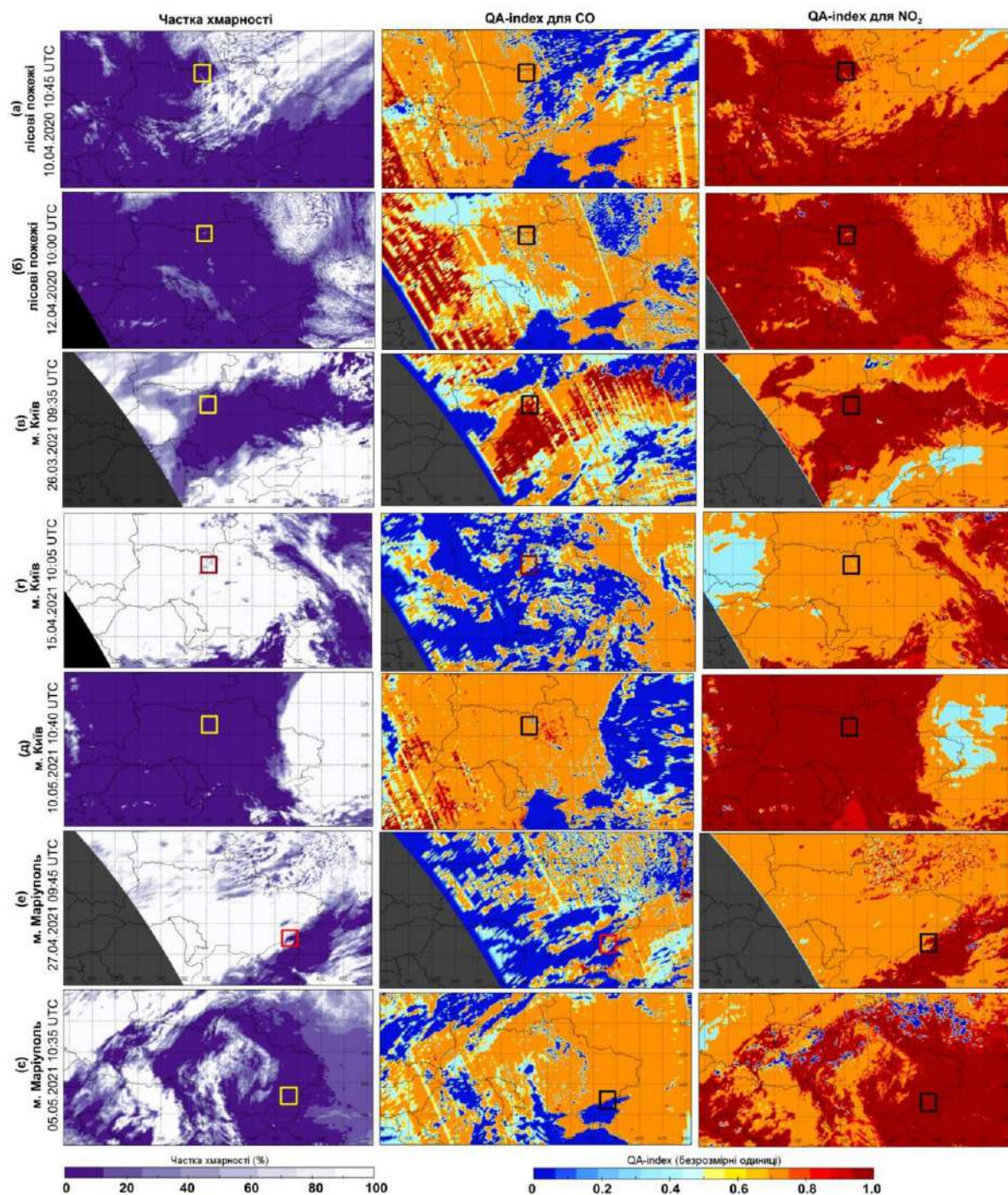


Рис.1 Вихідні супутникові дані хмарності та QA-index для CO та  $NO_2$  для обраних днів на регіональному масштабі

Для м. Києва 26.03.2021 та 10.05.2021 над містом та околицями хмарність не спостерігалася (рис. 1 в, д). У даних випадках найближча хмарність спостерігалася на сході (10.05) та на заході України (26.03), як наслідок QA-index над зоною дослідження був статистично надійний: для CO 0,80–1,00 та 1,00 для NO<sub>2</sub>. Для 15.04.2021 над більшою територією міста спостерігалася хмарність, але QA-index досліджуваних забруднюючих речовин був високим (рис. 1 г): для CO - 0,75; для NO<sub>2</sub> - 0,80, що говорить про надійність даних. Над територією м. Маріуполь в обрані дні 05.05.2021 (рис.1 е) та 27.04.2021 (рис.1 е) хмарність над містом була повністю відсутня, з її наявністю на околицях міста 27.04.2020 (рис.1 е). Як наслідок, маємо висоту якості даних: QA-index для CO 0,80; для NO<sub>2</sub> 1,00.

Для обраних еталонних днів із лісовими пожежами – 10.04.2020 та 12.04.2020 над територією Київської області також спостерігалися ідеальні умови для дослідження (рис. 1 а, б). Дані CO та NO<sub>2</sub> мали високу якість, зі значенням індексу 0,80 для CO та 1,00 для NO<sub>2</sub>, що стало наслідком відсутньої хмарності.

При розрахунках індексу dNO<sub>2</sub>/dCO бралися до уваги вміст забруднюючих речовин у шлейфі. Шлейфом атмосферного забруднення будемо вважати локальні максимуми забруднення, що поширюються від джерела викидів за переважаючим напрямком вітру. Для правильної інтерпретації індексу dNO<sub>2</sub>/dCO необхідно визначати вміст кожного з них (NO<sub>2</sub> та CO) у шлейфі, а також фонові значення з навітряної сторони. Вміст у шлейфі вказуватиме на рівні забруднення спричинені активністю джерел викидів, тоді як фонові значення з навітряної сторони - рівні забруднення без впливу конкретних джерел викидів.

Для визначення висоти на якій оцінюємо напрямок переносу забрудненого атмосферного повітря необхідно брати до уваги висоту ГША. На верхній межі ГША вітер максимально наближається до умов геострофічності, тобто вказує реальний напрямок переміщення повітряних мас не видозмінених впливом підстильної поверхні. Зважаючи на це, для аналізу характеристик вітру обираємо вітер на рівні найближчої ізобаричної поверхні до висоти ГША. Для обраних випадків, ця висота варіювалася від 1270 м (875 гПа) до 2070 м (800 гПа). Під час лісових пожеж 10.04.2020 та 12.04.2020 спостерігався південно-східний та північно-східний вітер зі швидкістю 10 м/с та 3-5 м/с відповідно (рис.2 а-б), що сприяло більш швидкому перенесенню забрудненого повітря.

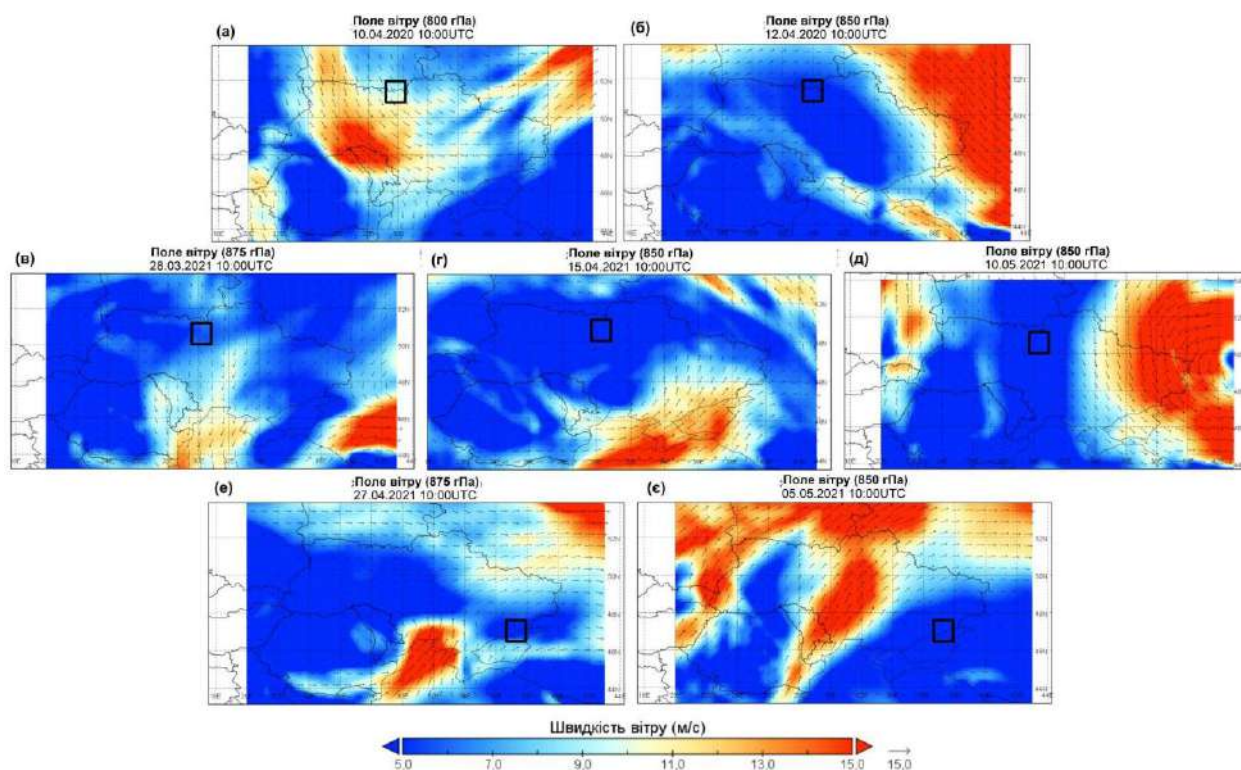


Рис.2 Поле вітру на верхній межі ГША для обраних днів на регіональному масштабі

У м. Києві у досліджувані дні загалом напрямок поширення забруднення був південний 10.05.2021 і 26.03.2021 (рис.2 д,в), та північний протягом 15.04.2021 (рис. 2г) із середньою швидкістю вітру до 6 м/с. У м. Маріуполь 27.04.2021 та 05.05.2021 спостерігався північно-східний та східний вітер зі швидкістю 7 м/с та 2-5 м/с відповідно (рис.2 е-є).

Таким чином, для оцінки ефективності перебігу процесів горіння шляхом розрахунку індексу  $dNO_2/dCO$  першочерговим є визначення щільності хмарності та розрахунку QA-index, як додаткового показника надійності отриманих супутникових даних. Наступним етапом є визначення швидкості та напрямку геострофічного вітру на відповідному ізобаричному рівні, вирахованим з використанням висоти ГША. Після аналізу напрямку та швидкості шлейфу можливо чітко обрати точки для визначення вмісту забруднюючих речовин з метою розрахунку індексу  $dNO_2/dCO$ .

**2 Загальний вміст  $NO_2$  та  $CO$  в атмосферному повітрі.** На другому етапі методики визначення  $dNO_2/dCO$ , до уваги бралася кількість речовини в атмосферному стовпі (для  $NO_2$  у тропосферному стовпі) над джерелом викидів та фоновий вміст. Проведений аналіз супутникової інформації показав, що для досліджуваних районів викиди забруднюючих речовин суттєво відрізнялися (рис. 3-4).

Загалом загальний вміст  $CO$  безпосередньо в досліджуваних зонах варіювався від 0,064 у Маріуполі до 0,330 над Київською областю під час лісових пожеж. Описуючи викиди  $CO$  над м. Київ, варто зазначити, що порівнюючи з іншими досліджуваними регіонами, вміст тут був меншим та мало відрізнявся від фонового. У ясні дні 26.03.2021 та 10.05.2021 кількість  $CO$  над джерелом викидів становила 0,039 моль/м<sup>2</sup> і 0,040 моль/м<sup>2</sup> відповідно та 0,033 моль/м<sup>2</sup> і 0,030 моль/м<sup>2</sup> поза шлейфом. Для 15.04.2021, коли над містом спостерігалася хмарна погода, викиди над джерелом забруднення становили 0,045 моль/м<sup>2</sup>, а фоновий вміст складав 0,036 моль/м<sup>2</sup>. Чіткий шлейф над м. Києвом у досліджувані періоди не спостерігався (рис.3 в-д).

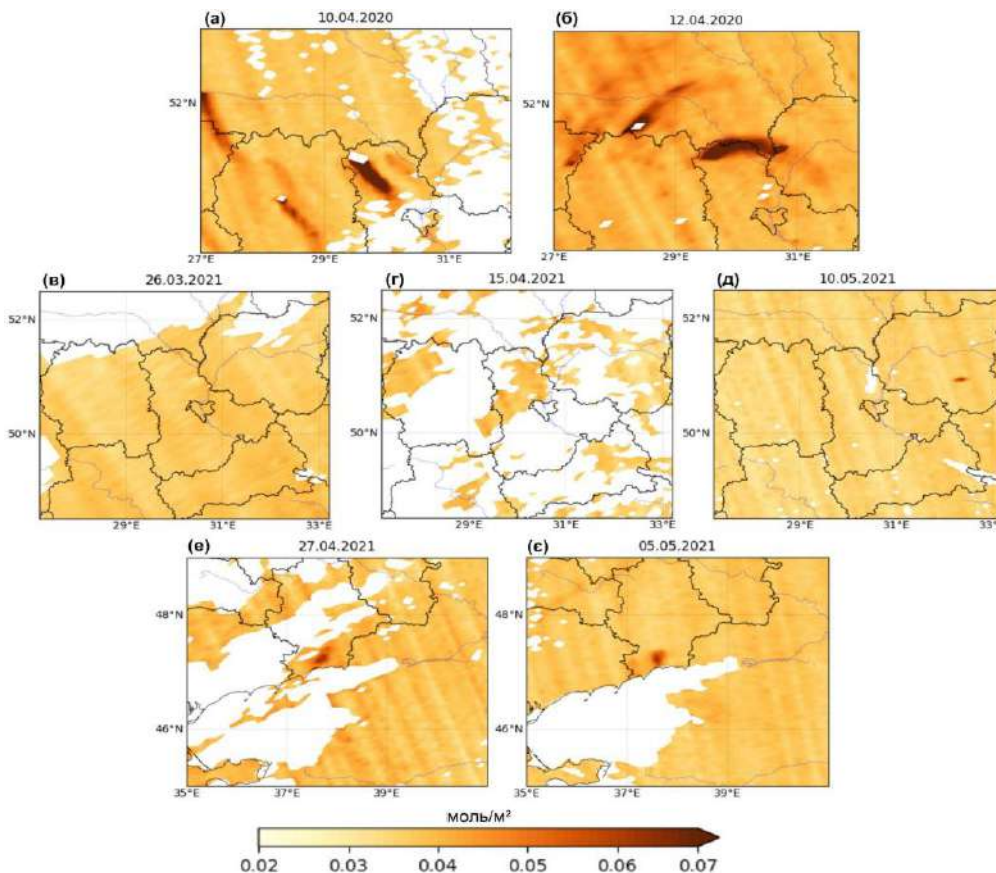


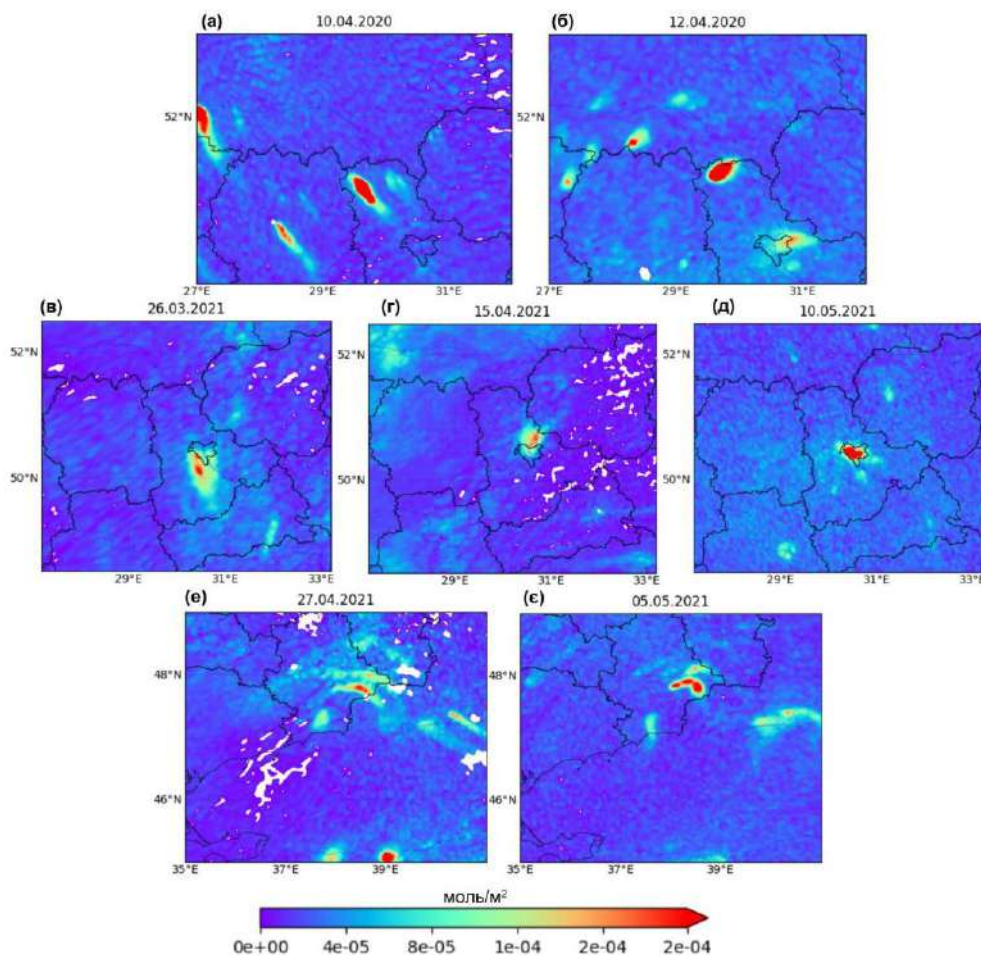
Рис.3 Загальний вміст  $CO$  в атмосфері для обраних днів і районів дослідження: лісові пожежі (а, б), м. Київ (в, г, д), та м. Маріуполь (е, є)



Вміст CO над промисловим районом м. Маріуполь був значно більшим, у порівнянні з м. Київ. 27.04.2021 кількість речовини над джерелом викидів становила 0,055 моль/м<sup>2</sup> та 0,034 моль/м<sup>2</sup> поза шлейфом (рис.3 е); 05.05.2021 – 0,064 моль/м<sup>2</sup> та 0,040 моль/м<sup>2</sup> відповідно (рис.3 є). У досліджувані дні викиди промислового комплексу м. Маріуполь у сукупності зі значним вітром утворювали видимий шлейф забруднення, що поширювався на околиці міста.

Досліджуючи вміст CO під час потужних лісових пожеж був суттєво вищий за попередньо описані показники. 10.04.2020 кількість CO у стовпі атмосфери над джерелом викидів була 0,15 моль/м<sup>2</sup> та 0,037 поза шлейфі, що під дією сильного південно-східного вітру (10 м/с) сприяло потужному перенесенню забруднення, яке простягалось до околиць м. Києва (рис.3 а). 12.04.2020 спостерігалася подібна ситуація. Вміст CO над місцями горіння біомаси становив 0,330 моль/м<sup>2</sup> формуючи потужний видимий шлейф, який поширювався у північно-східному напрямку. Фоновий вміст з навітряної сторони до джерела викидів становив 0,040 моль/м<sup>2</sup>. (рис.3 б).

Загальний вміст NO<sub>2</sub> варіювався в залежності від досліджуваної території: від 8,9x10<sup>-5</sup> моль/м<sup>2</sup> у м. Маріуполь до 1,0x10<sup>-4</sup> моль/м<sup>2</sup> у м. Києві (рис.4 в-д). Кількість речовини над джерелом викидів у всі дні була досить суттєвою: 26.03.2021 над містом вміст NO<sub>2</sub> становив 2x10<sup>-4</sup> моль/м<sup>2</sup>; 15.04.2021 – 1,0x10<sup>-4</sup> моль/м<sup>2</sup>; 10.05.2021 – 2,7x10<sup>-4</sup> моль/м<sup>2</sup>.



**Рис.4** Загальний вміст NO<sub>2</sub> в атмосфері для обраних днів і районів дослідження: лісові пожежі (а, б), м. Київ (в, г, д), та м. Маріуполь (е, є)

Фоновий вміст NO<sub>2</sub> також значно варіювався: 26.03.2021 він становив 9,6x10<sup>-6</sup> моль/м<sup>2</sup>; 15.04.2021 – 2,5x10<sup>-6</sup> моль/м<sup>2</sup>; 10.05.2021 – 1,0x10<sup>-5</sup> моль/м<sup>2</sup>. Протягом досліджуваних днів над м. Києвом спостерігався чіткий видимий шлейф, що переносив забруднене атмосферне повітря за напрямком вітру.

Вміст NO<sub>2</sub> над м. Маріуполем також утворював видимий шлейф забруднення (рис.4 е-є)

є). 27.04.2021 кількість речовини над джерелом викидів становила  $1,1 \times 10^{-4}$  моль/м<sup>2</sup> та  $1,3 \times 10^{-5}$  моль/м<sup>2</sup> поза шлейфом (рис.4 є); 05.05.2021 –  $8,9 \times 10^{-5}$  моль/м<sup>2</sup> та  $1,3 \times 10^{-5}$  моль/м<sup>2</sup> відповідно (рис.4 є).

Подібно до вмісту СО, при дослідженні вмісту NO<sub>2</sub> під час лісових пожеж у Київській області кількість речовини суттєво перевищувала попередньо описані випадки для міст. 10.04.2020 кількість тропосферного NO<sub>2</sub> у стовпі атмосфери над джерелом викидів становила  $7,4 \times 10^{-4}$  моль/м<sup>2</sup> та  $5,7 \times 10^{-6}$  моль/м<sup>2</sup> поза шлейфом, що під дією вітру (10 м/с) сприяло швидкому розповсюдженню забрудненню у південно-східному напрямку (рис.4 а). Вміст NO<sub>2</sub> 12.04.2020 під час горіння біомаси становив  $7,8 \times 10^{-4}$  моль/м<sup>2</sup> та  $3,0 \times 10^{-5}$  моль/м<sup>2</sup> у шлейфі, що теж створювало видимий шлейф, який рухався у північно-східному напрямку (рис.4 б).

**3 Оцінка ефективності перебігу процесів горіння.** Третім етапом оцінки ефективності перебігу процесів горіння є обчислення індексу dNO<sub>2</sub>/dCO на основі перевірених на надійність даних загального вмісту NO<sub>2</sub> та СО у стовпі атмосфери. Вміст над джерелом викидів визначено за максимальним вмістом домішок у забрудненому шлейфі. Фонові вміст NO<sub>2</sub> та СО визначається за межами видимого забрудненого шлейфу з навітряної сторони перед джерелом або групою джерел викидів. Напрямок та швидкість вітру обрано на верхній межі ГША. Вхідні дані та обчислений індекс dNO<sub>2</sub>/dCO наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Вхідні дані та значення dNO<sub>2</sub>/dCO для досліджуваних випадків

Випадок	Лісова пожежа	Лісова пожежа	Викиди м. Київ	Викиди м. Київ	Викиди м. Київ	Викиди м. Маріуполь	Викиди м. Маріуполь
Дата	10 квітня 2020 р.	12 квітня 2020 р.	10 травня 2021 р.	15 квітня 2021 р.	26 березня 2021 р.	27 квітня 2021 р.	5 травня 2021 р.
Висота ГША, м	2070	1647	1662	1550	1270	1348	1473
Ізобарична поверхня, гПа	800	850	850	850	875	875	850
Напрямок вітру	Пд-Сх	Пн-Сх	Пд	Пн	Пд	Пн-Сх	Сх
Швидкість вітру, м/с	10 м/с	<5 м/с	<5 м/с	<5 м/с	6 м/с	7 м/с	<5 м/с
Вміст NO <sub>2</sub> у шлейфі, моль/м <sup>2</sup>	$7.4 \times 10^{-4}$	$7.8 \times 10^{-4}$	$2.7 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-4}$	$2.0 \times 10^{-4}$	$1.1 \times 10^{-4}$	$8.9 \times 10^{-5}$
Фоновий вміст NO <sub>2</sub> , моль/м <sup>2</sup>	$5.7 \times 10^{-6}$	$3.0 \times 10^{-5}$	$1.0 \times 10^{-5}$	$2.5 \times 10^{-6}$	$9.6 \times 10^{-6}$	$1.3 \times 10^{-5}$	$1.3 \times 10^{-5}$
Вміст СО у шлейфі, моль/м <sup>2</sup>	0.150	0.330	0.040	0.045	0.039	0.055	0.064
Фоновий вміст СО, моль/м <sup>2</sup>	0.037	0.040	0.030	0.036	0.033	0.034	0.040
dNO <sub>2</sub> /dCO	6.50	2.59	26.00	10.83	31.73	4.62	3.17

Обчислені значення індексу dNO<sub>2</sub>/dCO для досліджуваних випадків варіюють в межах від 2.59 до 31.73. Для двох випадків із лісовими пожежами індекс складає 2.59 та 6.50; для трьох випадків викидів м. Київ — 10.83, 26.00 та 31.73; для двох випадків викидів м. Маріуполь — 4.62 та 3.17. Отримані показники вказують на можливість використання індексу dNO<sub>2</sub>/dCO для території України. Загалом, індекс вловлює відмінності між малоефективним горінням як наприклад горіння біомаси і спалювання твердого палива, та більш різноманітними джерелами викидів, де поряд із твердим паливом використовується газ. Це свідчить про можливість опосередковано виявляти зміну типів палива за супутниковими даними загального вмісту NO<sub>2</sub> та СО в атмосферному повітрі.

У той же час, одразу простежується недолік, пов'язаний із великим розкидом значень. Фактично, це свідчить про неможливість використання індексу dNO<sub>2</sub>/dCO для одиничних випадків. Тобто, точність оцінки ефективності перебігу процесів спалювання та виявлення зміни типу палива на підприємствах або загалом по місту можливе лише на основі використання відносно довгих статистичних рядів. Для зменшення ролі похибок доцільним

є проведення осереднення за тривалий проміжок часу та побудова статистичного розподілу  $dNO_2/dCO$  з метою оцінки повторюваності різних градацій значень.

Одним із перспективних напрямків використання супутникових даних хімічних складових атмосферного повітря та подібних індексів у майбутньому є оцінка емісійних факторів з виходом на обчислення маси викидів забруднюючих речовин. Той факт, що обчислені значення індексу  $dNO_2/dCO$  відображають відмінність м. Київ у порівнянні із лісовими пожежами та м. Маріуполь вказує на можливість переходу від сучасної якісної оцінки таких параметрів до більш точних кількісних показників із майбутнім розвитком супутникового зондування хімічних складових атмосферного повітря.

**4 Обговорення.** Для обраних випадків та територій, нами було отримано значення індексу  $dNO_2/dCO$ , що змінюється від 2.6 для лісових пожеж до 31.7 для м. Київ із великою різноманітністю джерел викидів. Отримані показники близькі за абсолютними значеннями до розрахунків закордонних вчених. Зокрема, для природних пожеж характерними є індекси від 1 у бореальній зоні до 6 у екваторіально-тропічній зоні [28]. Для міст значення подібних індексів вищі, особливо за умов використання не супутникових, а модельних даних [13, 26].

За умов хмарності нами для Києва отримано показник  $dNO_2/dCO$  близько 10.8, що є порівняно малим із іншими днями. Це дозволяє припустити, що будь-який хмарний покрив (навіть за умови збереження хорошої якості даних) завищує внесок CO, що призводить до зменшення індексу. Причиною цього може бути співпадіння довжин випромінювання тих хвиль, що поглинаються і CO, і водяною парою. Як наслідок вміст CO буде завищеним. Окрім похибок та ряду наближень при визначенні індексів для оцінки ефективності перебігу процесів горіння, значним чином на неузгодженості впливають виведення із радикалами OH [14].

Наразі використання подібних індексів відбувається окремо для супутникових, окремо для наземних, і окремо для модельних даних [26]. У подальшому за різних джерел даних, відбувається їх розгляд паралельно, проте взаємне порівняння абсолютних значень чи їх інтеграція поки неможлива. Потрібно розуміти, що методологія оцінки на основі супутникових даних даватиме нижчі показники.

Загалом, індекс  $dNO_2/dCO$  має хороші перспективи використання для джерел викидів на території України. Проте, надійні оцінки можна отримати лише на основі довгих часових рядів. Основну складність формування таких часових рядів представляє собою достатньо складна технічна реалізація обчислень. Розроблена та представлена у даній статті методика оцінки  $dNO_2/dCO$  дає можливість виходу на автоматизовані алгоритми обрахунку для найбільших міст території України та попередньо виявлених пожеж у природних екосистемах. Перш за все, реалізація методики потребуватиме алгоритми виявлення шлейфів забрудненого атмосферного повітря на основі вихідних пікселів даних супутникових спостережень.

**Висновки.** У представленій роботі вперше для території України здійснено перевірку можливості використання індексу  $dNO_2/dCO$  для оцінки перебігу процесів горіння на основі даних супутникових спостережень Sentinel-5P. Визначено основні етапи розрахунків, що включають у себе аналіз умов хмарності та статистичної надійності супутникових даних, встановлення переважаючого напрямку вітру із залученням даних про висоту ГША, оцінку вмісту  $NO_2$  та CO над джерелом викидів та фоновий вміст із навітряної сторони, та розрахунок індексу  $dNO_2/dCO$  для оцінки перебігу процесів горіння. Отримані значення  $dNO_2/dCO$ , що варіювали від 2.6 до 6.5 для лісових пожеж, від 3.1 до 4.6 для м. Маріуполь із переважним використанням твердого палива, та від 10.8 до 31.7 для м. Києва із різноманітними джерелами викидів та типом палива, дозволяють стверджувати про адекватності відображення індексу і можливість його використання на території України. У зв'язку із наявними похибками і значною варіативністю показників  $dNO_2/dCO$ , наголошено на необхідності проведення аналізу на основі часових рядів.

У подальших дослідженнях необхідно провести розрахунок для періоду щонайменше рік, сформувавши часові ряди для найбільших міст території України. Планується проведення оцінки  $dNO_2/dCO$  до та після війни, що дозволить виявити зміну у використанні палива об'єктами промисловості. Перспективним напрямком подальших досліджень є вихід на розрахунок емісійних факторів та маси викидів за допомогою даних супутникового зондування.

### Список літератури

1. Баитаннік, М.П., Жемера, Н.С., Кіптенко, Є.М., Козленко, Т.В. Стан забруднення атмосферного повітря над територією України. *Наукові праці УкрНДГМІ*. 2014. Вип. 266. С.70-93
2. Adams, C., McLinden, C. A., Shephard, M. W., et al. Satellite-derived emissions of carbon monoxide, ammonia, and nitrogen dioxide from the 2016 Horse River wildfire in the Fort McMurray area. *Atmos. Chem. Phys.* 2019. Vol. 19. P. 2577–2599. <https://doi.org/10.5194/acp-19-2577-2019>
3. Andreae, M. O. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning – an updated assessment. *Atmos. Chem. Phys.* Vol.19. P. 8523–8546. <https://doi.org/10.5194/acp-19-8523-2019>
4. Babii V., Gordiienko O., Tsyupa I. Comparative analysis of air quality in Kyiv by GIS and remote sensing in 2019–2020. *Geoinformatics (Kyiv, May 2021)*. Vol. 2021. P. 1-6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521138>
5. Borsdorff, T., aan de Brugh, J., Hu, H., et al. Mapping carbon monoxide pollution from space down to city scales with daily global coverage. *Atmos. Meas. Tech.* 2018. Vol.11. P. 5507–5518. <https://doi.org/10.5194/amt-11-5507-2018>
6. Borsdorff, T., aan de Brugh, J., Pandey, S., et al. Carbon monoxide air pollution on sub-city scales and along arterial roads detected by the Tropospheric Monitoring Instrument. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2019. Vol.19 P. 3579–3588. <https://doi.org/10.5194/acp-19-3579-2019>
7. Du, Z. Et al. The CO/CO<sub>2</sub> Ratio in the Products of the Carbon-Oxygen Reaction. *Fundamental Issues in Control of Carbon Gasification Reactivity/* Ed. J. Lahaye, P. Ehrburger. NATO ASI Series, Vol 192. Springer, 1991. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-3310-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-011-3310-4_5)
8. Emily G. Snyder, Timothy H. Watkins, Paul A. Solomon, et al. The Changing Paradigm of Air Pollution Monitoring. *Environmental Science & Technology*. 2013. Vol. 47, N.20 P.11369-11377 <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es4022602>
9. Goldberg D.L., Lu G., Oda, T., et al. Exploiting OMI NO<sub>2</sub> satellite observations to infer fossil-fuel CO<sub>2</sub> emissions from U.S. megacities. *Science of The Total Environment*. 2019. Vol. 695 P. 133805. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133805>
10. Griffin, D., McLinden, C. A., Dammers, et al. Biomass burning nitrogen dioxide emissions derived from space with TROPOMI: methodology and validation. *Atmos. Meas. Tech.* 2021. Vol.14. P.7929–7957. <https://doi.org/10.5194/amt-14-7929-2021>
11. Hersbach, H., et al. ERA5 hourly data on pressure levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). URL: <https://doi.org/10.24381/cds.bd0915c6> (Last accessed: 13.03.2023)
12. Hersbach, H., et al. ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). URL: <https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47> (Last accessed: 15.03.2023)
13. Lama, S., Houweling, S., Boersma, K. F., et al. Quantifying burning efficiency in megacities using the NO<sub>2</sub>/CO ratio from the Tropospheric Monitoring Instrument (TROPOMI). *Atmos. Chem. Phys.* 2020. Vol.20. P.10295–10310. <https://doi.org/10.5194/acp-20-10295-2020>
14. Lama, S., Houweling, S., Boersma, K. F., et al. Estimation of OH in urban plumes using TROPOMI-inferred NO<sub>2</sub>/CO. *Atmos. Chem. Phys.* 2022. Vol.22. P. 16053–16071. <https://doi.org/10.5194/acp-22-16053-2022>
15. Lambert, J.-C., A. Keppens, S. Compernelle, et al. Quarterly Validation Report of the Copernicus Sentinel-5 Precursor Operational Data Products #17: April 2018 – November 2022. *S5P MPC Routine Operations Consolidated Validation Report series*. 2022. Is. 17, Version 17.01.00. 225 p.
16. Lim H. S., MatJafri M. Z., Abdullah K., Wong C. J. Advances in Geoscience and Remote Sensing: Air Pollution Determination Using Remote Sensing Technique/ Ed. Jedlovec G. IntechOpen. 2009. 754 p. <https://doi.org/10.5772/8319>
17. Magro, C., Nunes, L., Gonçalves, O.C. et al. Atmospheric Trends of CO and CH<sub>4</sub> from Extreme Wildfires in Portugal Using Sentinel-5P TROPOMI Level-2 Data. *Fire*. 2021. Vol.4, N.2. P.25. <https://doi.org/10.3390/fire4020025>
18. McDuffie, E. E., Smith, S. J., O'Rourke, P., et al. A global anthropogenic emission inventory of atmospheric pollutants from sector- and fuel-specific sources (1970–2017): an application of the Community Emissions Data System (CEDS). *Earth Syst. Sci. Data*. 2020. *Advances in Geoscience and Remote Sensing*. Vol.12. P.3413–3442. <https://doi.org/10.5194/essd-12-3413-2020>
19. News. Copernicus Sentinel-5P increased spatial resolution change now operational. URL: [https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/news/-/asset\\_publisher/xR9e/content/copernicus-sentinel-5-p-increased-spatial-resolution-change-now-operational](https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/news/-/asset_publisher/xR9e/content/copernicus-sentinel-5-p-increased-spatial-resolution-change-now-operational) (Last accessed: 24.03.2023)
20. Potts, D.A., Ferranti, E.J.S., Timmis, R., et al. Satellite Data Applications for Site-Specific Air Quality Regulation in the UK: Pilot Study and Prospects. *Atmosphere*. 2021. Vol. 12, N.12. 1659. <https://doi.org/10.3390/atmos12121659>

21. Pseftogkas, A., Koukoulis, M.-E., Skoulidou, I., et al. A new separation methodology for the maritime sector emissions over the Mediterranean and Black Sea regions. *Atmosphere*. 2021. Vol.12, N.11. P.1478. <https://doi.org/10.3390/atmos12111478>
22. Savenets M., Osadchyi V., Oreshchenko A., Pysarenko L. Air Quality Changes in Ukraine during the April 2020 Wildfire Event. *Geographica Pannonica*, 2020. Vol. 24, N.4. P.271-284 <https://doi.org/10.5937/gp24-27436>
23. Saw, G.K., Dey, S., Kaushal, H., Lal, K. Tracking NO<sub>2</sub> emission from thermal power plants in North India using TROPOMI data. *Atmospheric Environment*. 2021. Vol. 259. Art. 118514. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118514>
24. Silva, S. J., Arellano, A. F., Worden, H. M. Toward anthropogenic combustion emission constraints from space-based analysis of urban CO<sub>2</sub>/CO sensitivity. *Geophys. Res. Lett.* 2013. Vol. 40 P. 4971–4976, <https://doi.org/10.1002/grl.50954>
25. Tian, Y., Sun, Y., Borsdorff, T., et al. Quantifying CO emission rates of industrial point sources from Tropospheric Monitoring Instrument observations. *Environmental Research Letters*, 2022. Vol. 17, N. 1 Art. 014057. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac3b1a>
26. Van der Velde, I. R., van der Werf, G. R., Houweling, S., et al. Biomass burning combustion efficiency observed from space using measurements of CO and NO<sub>2</sub> by the Tropospheric Monitoring Instrument (TROPOMI). *Atmos. Chem. Phys.* 2021. Vol. 21. P. 597–616. <https://doi.org/10.5194/acp-21-597-2021>
27. Veefkind P., van Oss R.F., Eskes H., et al. The Applicability of Remote Sensing in the Field of Air Pollution. *Institute for Environment and Sustainability*. 2007. EUR 22542 EN. 54 p.
28. Wan, N., Xiong, X., Kluitenberg, G. J., et al. Estimation of biomass burning emission of NO<sub>2</sub> and CO from 2019–2020 Australia fires based on satellite observations. *Atmos. Chem. Phys.* 2023. Vol. 23. P.711–724. <https://doi.org/10.5194/acp-23-711-2023>
29. Xiang Sheng, Zhang Shaojun, Wang Hui, et al. *ACS ES&T Engineering*. 2022. Vol. 2, N.9. P. 1599-1610. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsestengg.2c00027>
30. Yatsenko, Y., Shevchenko, O., Snizhko, S. Assessment of air pollution level of nitrogen dioxide and trends of it changes in the cities of Ukraine. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*. 2018. Vol. 3, N.82. P.87-95. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.82.11>

#### References

1. Bashtannik, M.P., Zhemera, N.S., Kiptenko, Ye.M., Kozlenko, T.V. Stan zabrudnennia atmosfernoho povitria nad terytoriiu Ukrainy. [The conditions of atmospheric air pollution over Ukrainian territory] *Naukovi pratsi UkrNDHMI*. 2014. Vyp. 266. S.70-93
2. Adams, C., McLinden, C. A., Shephard, M. W., et al. Satellite-derived emissions of carbon monoxide, ammonia, and nitrogen dioxide from the 2016 Horse River wildfire in the Fort McMurray area. *Atmos. Chem. Phys.* 2019. Vol. 19. P. 2577–2599. <https://doi.org/10.5194/acp-19-2577-2019>
3. Andreae, M. O. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning – an updated assessment. *Atmos. Chem. Phys.* Vol.19. P. 8523–8546. <https://doi.org/10.5194/acp-19-8523-2019>
4. Babii V., Gordienko O., Tsyupa I. Comparative analysis of air quality in Kyiv by GIS and remote sensing in 2019–2020. *Geoinformatics (Kyiv, May 2021)*. Vol. 2021. P. 1-6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521138>
5. Borsdorff, T., aan de Brugh, J., Hu, H., et al. Mapping carbon monoxide pollution from space down to city scales with daily global coverage. *Atmos. Meas. Tech.* 2018. Vol.11. P. 5507–5518. <https://doi.org/10.5194/amt-11-5507-2018>
6. Borsdorff, T., aan de Brugh, J., Pandey, S., et al. Carbon monoxide air pollution on sub-city scales and along arterial roads detected by the Tropospheric Monitoring Instrument. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2019. Vol.19 P. 3579–3588. <https://doi.org/10.5194/acp-19-3579-2019>
7. Du, Z. Et al. The CO/CO<sub>2</sub> Ratio in the Products of the Carbon-Oxygen Reaction. *Fundamental Issues in Control of Carbon Gasification Reactivity/* Ed. J. Lahaye, P. Ehrburger. NATO ASI Series, Vol 192. Springer, 1991. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-3310-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-011-3310-4_5)
8. Emily G. Snyder, Timothy H. Watkins, Paul A. Solomon, et al. The Changing Paradigm of Air Pollution Monitoring. *Environmental Science & Technology*. 2013. Vol. 47, N.20 P.11369-11377 <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es4022602>
9. Goldberg D.L., Lu G., Oda, T., et al. Exploiting OMI NO<sub>2</sub> satellite observations to infer fossil-fuel CO<sub>2</sub> emissions from U.S. megacities. *Science of The Total Environment*. 2019. Vol. 695 P. 133805. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133805>
10. Griffin, D., McLinden, C. A., Dammers, et al. Biomass burning nitrogen dioxide emissions derived from space with TROPOMI: methodology and validation. *Atmos. Meas. Tech.* 2021. Vol.14. P.7929–7957. <https://doi.org/10.5194/amt-14-7929-2021>

11. *Hersbach, H., et al.* ERA5 hourly data on pressure levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). URL: <https://doi.org/10.24381/cds.bd0915c6> (Last accessed: 13.03.2023)
12. *Hersbach, H., et al.* ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). URL: <https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47> (Last accessed: 15.03.2023)
13. *Lama, S., Houweling, S., Boersma, K. F., et al.* Quantifying burning efficiency in megacities using the NO<sub>2</sub>/CO ratio from the Tropospheric Monitoring Instrument (TROPOMI). *Atmos. Chem. Phys.* 2020. Vol.20. P.10295–10310. <https://doi.org/10.5194/acp-20-10295-2020>
14. *Lama, S., Houweling, S., Boersma, K. F., et al.* Estimation of OH in urban plumes using TROPOMI-inferred NO<sub>2</sub>/CO. *Atmos. Chem. Phys.* 2022. Vol.22. P. 16053–16071. <https://doi.org/10.5194/acp-22-16053-2022>
15. *Lambert, J.-C., A. Keppens, S. Compernelle, et al.* Quarterly Validation Report of the Copernicus Sentinel-5 Precursor Operational Data Products #17: April 2018 – November 2022. *S5P MPC Routine Operations Consolidated Validation Report series*. 2022. Is. 17, Version 17.01.00. 225 p.
16. *Lim H. S., MatJafri M. Z., Abdullah K., Wong C. J.* Advances in Geoscience and Remote Sensing: Air Pollution Determination Using Remote Sensing Technique/ Ed. Jedlovec G. IntechOpen. 2009. 754 p. <https://doi.org/10.5772/8319>
17. *Magro, C., Nunes, L., Gonçalves, O.C. et al.* Atmospheric Trends of CO and CH<sub>4</sub> from Extreme Wildfires in Portugal Using Sentinel-5P TROPOMI Level-2 Data. *Fire*. 2021. Vol.4, N.2. P.25. <https://doi.org/10.3390/fire4020025>
18. *McDuffie, E. E., Smith, S. J., O'Rourke, P., et al.* A global anthropogenic emission inventory of atmospheric pollutants from sector- and fuel-specific sources (1970–2017): an application of the Community Emissions Data System (CEDS). *Earth Syst. Sci. Data*. 2020. *Advances in Geoscience and Remote Sensing*. Vol.12. P.3413–3442. <https://doi.org/10.5194/essd-12-3413-2020>
19. News. Copernicus Sentinel-5P increased spatial resolution change now operational. URL: [https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/news/-/asset\\_publisher/xR9e/content/copernicus-sentinel-5p-increased-spatial-resolution-change-now-operational](https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/news/-/asset_publisher/xR9e/content/copernicus-sentinel-5p-increased-spatial-resolution-change-now-operational) (Last accessed: 24.03.2023)
20. *Potts, D.A., Ferranti, E.J.S., Timmis, R., et al.* Satellite Data Applications for Site-Specific Air Quality Regulation in the UK: Pilot Study and Prospects. *Atmosphere*. 2021. Vol. 12, N.12. 1659. <https://doi.org/10.3390/atmos12121659>
21. *Pseftogkas, A., Koukoulis, M.-E., Skoulidou, I., et al.* A new separation methodology for the maritime sector emissions over the Mediterranean and Black Sea regions. *Atmosphere*. 2021. Vol.12, N.11. P.1478. <https://doi.org/10.3390/atmos12111478>
22. *Savenets M., Osadchyi V., Oreshchenko A., Pysarenko L.* Air Quality Changes in Ukraine during the April 2020 Wildfire Event. *Geographica Pannonica*, 2020. Vol. 24, N.4. P.271-284 <https://doi.org/10.5937/gp24-27436>
23. *Saw, G.K., Dey, S., Kaushal, H., Lal, K.* Tracking NO<sub>2</sub> emission from thermal power plants in North India using TROPOMI data. *Atmospheric Environment*. 2021. Vol. 259. Art. 118514. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118514>
24. *Silva, S. J., Arellano, A. F., Worden, H. M.* Toward anthropogenic combustion emission constraints from space-based analysis of urban CO<sub>2</sub>/CO sensitivity. *Geophys. Res. Lett.* 2013. Vol. 40 P. 4971–4976, <https://doi.org/10.1002/grl.50954>
25. *Tian, Y., Sun, Y., Borsdorff, T., et al.* Quantifying CO emission rates of industrial point sources from Tropospheric Monitoring Instrument observations. *Environmental Research Letters*, 2022. Vol. 17, N. 1 Art. 014057. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac3b1a>
26. *Van der Velde, I. R., van der Werf, G. R., Houweling, S., et al.* Biomass burning combustion efficiency observed from space using measurements of CO and NO<sub>2</sub> by the Tropospheric Monitoring Instrument (TROPOMI). *Atmos. Chem. Phys.* 2021. Vol. 21. P. 597–616. <https://doi.org/10.5194/acp-21-597-2021>
27. *Veefkind P., van Oss R.F., Eskes H., et al.* The Applicability of Remote Sensing in the Field of Air Pollution. *Institute for Environment and Sustainability*. 2007. EUR 22542 EN. 54 p.
28. *Wan, N., Xiong, X., Kluitenberg, G. J., et al.* Estimation of biomass burning emission of NO<sub>2</sub> and CO from 2019–2020 Australia fires based on satellite observations. *Atmos. Chem. Phys.* 2023. Vol. 23. P.711–724. <https://doi.org/10.5194/acp-23-711-2023>
29. *Xiang Sheng, Zhang Shaojun, Wang Hui, et al.* *ACS ES&T Engineering*. 2022. Vol. 2, N.9. P. 1599-1610. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsestengg.2c00027>
30. *Yatsenko, Y., Shevchenko, O., Snizhko, S.* Assessment of air pollution level of nitrogen dioxide and trends of it changes in the cities of Ukraine. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*. 2018. Vol. 3, N.82. P.87-95. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.82.11>

## The use of remote sensing of atmospheric composition for burning efficiency estimation for Ukrainian territory

Rybachynska V., Savenets M.

Ratios of chemical compounds in the atmosphere are becoming more widely used for assessment of changes in fuel consumption by cities or specific industrial objects, as well as for correction of emission factors, which are crucial for emission inventories. The methodology for using the NO<sub>2</sub>/CO ratio for analysis of burning efficiency based on remote sensing data was first implemented for Ukrainian territory. We selected seven case studies for analyses, including three days for Kyiv with a variety of emission sources, two days for Mariupol with prevailing coal-fired industrial facilities, and two days for wildfires as reference cases for comparison. We use NO<sub>2</sub> and CO column number densities derived from the TROPospheric Monitoring Instrument (TROPOMI) onboard the Sentinel-5 Precursor, supported by the boundary layer height and wind parameters from the ERA-5 reanalysis. The overall methodology for NO<sub>2</sub>/CO estimation includes data quality analysis using cloudiness and a quality assurance index; meteorological data processing for obtaining the prevailing wind field at the top of the boundary layer; retrieving NO<sub>2</sub> and CO content from emission sources and background values; and the NO<sub>2</sub>/CO ratio computation itself. For selected cases, the NO<sub>2</sub>/CO ratio equals 2.6 to 6.5 for wildfires, 3.1 to 4.6 for Mariupol, and 10.8 to 31.7 for Kyiv. Because of the available uncertainties, the necessity of estimating the NO<sub>2</sub>/CO ratio using longer time series is emphasized. The prospects for using the NO<sub>2</sub>/CO ratio are possibilities for the computation of emission factors and detecting the mass of pollutants emitted in Ukrainian cities. The NO<sub>2</sub>/CO ratio can be used as an additional parameter for assessing the changes in fuel consumption, considering the war consequences in Ukraine.

**Key words:** emissions, nitrogen dioxide, carbon monoxide, Sentinel-5P, remote sensing, air pollution.

Надійшла до редколегії 25.03.2023

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.2.6>

УДК 551.574.42

Пясецька С.І.

Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського, м. Київ

## ВИПАДКИ МАСОВОГО РОЗПОВСЮДЖЕННЯ СКЛАДНИХ ОЖЕЛЕДО-ПАМОРОЗЕВИХ ВІДКЛАДІВ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ПРОТЯГОМ ОСТАНЬОГО ТРИДЦЯТИРІЧЧЯ 1991-2020 рр.

Стаття присвячена дослідженню випадків масового відкладення складних ожеледо-паморозевих відкладів на території України по окремих десятиріччях протягом періоду 1991-2020 рр., який відображає стан сучасного клімату в регіоні. За випадок масового відкладення складних ожеледо-паморозевих відкладів було прийнято випадок, коли в одну дату такі відклади спостерігались не менше ніж на 10 станціях та не менше ніж у двох областях. Дослідження проводилось по кожному місяцю холодного та окремих місяців перехідних сезонів, а також десятиріччях досліджуваного періоду окремо.

Метою статті було встановити особливості просторо-часового розповсюдження випадків масового розповсюдження складних ожеледо-паморозевих відкладів на території України протягом останнього тридцятирічного періоду.

Встановлено, що випадки масового розповсюдження складних відкладів спостерігаються протягом зимових місяців у січні та грудні. Здебільшого у грудні таких випадків більше ніж у січні. Встановлено збільшення кількості таких випадків протягом останнього десятиріччя (2011-2020 рр.) у двічі порівняно із їх сумарною кількістю за два попередніх десятиріччя.

Доведено, що у випадках масового розповсюдження складних ожеледо-паморозевих відкладів вони спостерігаються щонайменше на 10 станціях в одну дату, проте іноді на 11-15 або 16-20 станціях. Територіально складні ожеледо-паморозеві відклади масового характеру розповсюдження спостерігаються на території щонайменше від 5-6 областей до щонайбільше 13-14. Проте найчастіше вони розповсюджуються на території 5-6 областей.

**Ключові слова:** територія України, складні ожеледо-паморозеві відклади, місяці холодного періоду року, масове просторово-часове розповсюдження складних відкладів.

**Вступ.** Протягом зимового періоду на території України поширеними є ожеледо-паморозеві відклади. Серед них виділяються відклади ожеледі, налипання мокрого снігу, складні відклади та відклади паморозі (кристалічної та зернистої або поєднання обох з них). Складні відклади утворюються завдяки почерговому відкладенню ожеледі та паморозі (здебільшого зернистої, але за умов зниження температури повітря кристалічної), а також іноді завдяки налипанню мокрого снігу, ожеледі та зернистої (в окремих випадках кристалічної) паморозі. Такі відклади утворюються при частих змінах температурних умов

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2023. № 2 (68)

та змінах у мікροструктурі опадів що випадають. Вони можуть сприяти виникненню несприятливих погодних умов, які в решті решт призводять до виникнення різних аварійних ситуацій у різних галузях виробництва та транспорту. Особливо небезпечними такі відклади можуть виявитись при масовому їх виникненні, навіть таких, які не досягли значення небезпечних (НЯ) та стихійних (СГЯ), коли значна територія опиняється під їх впливом. Найбільш складна ситуація складається тоді, коли вони сягають саме розмірів, які відповідають вищезгаданим критеріям. Зважаючи на те, що територія України у холодний період року досить часто знаходиться під впливом погодних умов, які різко змінюються, особливо протягом останнього часу, дослідження випадків масового розповсюдження окремих видів ожеледо-паморозевих відкладів, зокрема і складних набуває актуальності та потребує детального дослідження. Отримані результати надають можливість більш детально вивчити сучасний стан просторово-часового розповсюдження різних видів ожеледо-паморозевих відкладів на території України у тому числі їх масового характеру на сучасному етапі зміни клімату для формування сучасних стратегій у сучасному розміщенні галузей виробництва, які є найбільш вразливі від прояву таких погодних явищ та розробки рекомендацій щодо вже існуючих виробництв вразі імовірності виникнення аварійних ситуацій для запобігання негативним наслідкам їхнього впливу.

**Огляд стану дослідження проблеми.** Найбільш важливими дослідженнями для території України стосовно видів ожеледо-паморозевих явищ можна вважати дослідження, які було проведено О.М. Раєвським починаючи з кінця 50-х та протягом 60-х – 70-х років минулого сторіччя [8-12]. Ним було розроблено та обґрунтовано основи просторово-часового розповсюдження різних видів ожеледо-паморозевих відкладень на території України, враховуючи не тільки погодні умови, як основний чинник їх виникнення, але і встановлення залежності у їх просторовому розповсюдженні від особливостей форм рельєфу. Запропонована їм схема була успішно використана для аналогічного районування інших частин колишнього СРСР, результати якого було опубліковано у монографії Е.П. Драневич у 1971 р., стосовно районування північного заходу Європейської частини СРСР за різними видами ожеледо-паморозевими відкладів. Згодом накопичена інформація щодо видів ожеледо-паморозевих відкладів на території України була доповнена новими матеріалами спостережень протягом 70-х – 90-х років стала основою для подальшого розвитку досліджень. Найбільш змістовно та докладно результати досліджень стосовно різних видів ожеледо-паморозевих відкладів, включаючи дослідження їх найбільших значень, яких вони досягали, було викладено у низці монографій, які було видано в Українському гідрометеорологічному інституті УкрГМІ (колишній УкрНДГМІ) за участю та під керівництвом В.М. Бабіченко [1, 2, 6, 7, 13, 14]. Останньою з цих монографій можна назвати монографію «Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005 рр.)». Проте, враховуючи вищевикладене треба сказати, що у цих публікаціях не було висвітлене питання щодо випадків масового відкладення різних видів ожеледо-паморозевих відкладів як таких та відносно їх критичних значень (досягнення певних критеріїв безпеки) та їх просторово-часового розповсюдження по території України протягом останнього тридцятирічного періоду 1991-2020 рр.

Тому завданням представленого дослідження є саме встановлення особливостей для окремих видів ожеледо-паморозевих відкладень, зокрема масового характеру розповсюдження складних відкладів. Натепер основними керівними документами, які регламентують проведення метеорологічних спостережень на мережі станцій України є керівні документи «Настанови...» [3 - 5], які було створено протягом 2003-2019 рр.

Представлене дослідження безпосередньо пов'язане з тематичним планом наукових та конструкторських робіт, які виконувались та виконуються з 2012 р. по теперішній час.

**Мета, предмет та об'єкт дослідження.** Зважаючи на різкі зміни погодних умов на території України протягом останніх десятиріч та виникнення низки несприятливих погодних умов для багатьох ланок господарського комплексу особливо у холодний період року *метою роботи* було встановити та проаналізувати випадки масового розповсюдження складних відкладів на території України протягом окремих десятиріч періоду 1991-2020 рр. який характеризує стан сучасного клімату, в тому числі і частоту виникнення різних метеорологічних явищ на її території. *Предметом* дослідження є випадки масового розповсюдження складних відкладів на території України протягом окремих місяців десятирічних періодів останнього тридцятиріччя, а *об'єктом* їх динаміка розподілу по окремих місяцях.



**Матеріали та методи дослідження.** Для аналізу було використано матеріали спостережень за ожеледо-паморозевими відкладами протягом періоду 1991-2020 рр., у місяці холодного та перехідних сезонів року, що містяться у Метеорологічних щомісячниках (Вип. 10. (Україна), Ч. II), які знаходяться у Державному галузевому архіві (ГДА) Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського у місті Києві, що підпорядковується ДСНС України.

За випадок масового розповсюдження складних відкладів було прийнято випадок, коли такі відклади спостерігались на території України одночасно (в одну дату). не менше ніж на 10 станціях та не менше ніж у двох областях. Цей метод було обрано для усіх видів ожеледо-паморозевих відкладів для можливості подальшого порівняння їх повторюваності по окремих роках останнього тридцятиріччя та просторово-часового розповсюдження по окремих регіонах України. Для оцінки сучасного територіального та часового розподілу випадків масового розповсюдження складних відкладень основним методом дослідження був емпірико-статистичний метод, який дозволив визначити його основні тенденції.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Стаття складається з двох частин, а саме: «Випадки складних ожеледо-паморозевих відкладів масового характеру розповсюдження протягом окремих десятиріч періоду 1991-2020 рр. на території України» та «Повторюваність випадків масового розповсюдження складних ожеледо-паморозевих відкладів за кількістю станцій та областей протягом десятиріч періоду 1991-2020 рр.». Надалі буде окремо розглянуто особливості їх територіально-часового розповсюдження по території України з урахуванням окремих територіальних угруповань.

Дослідження складних відкладів масового характеру розповсюдження на території України проводився по окремих десятиріччях досліджуваного періоду протягом 1991-2020 рр. Кожний з періодів ілюструвався відповідними таблицями та рисунками. В дослідженні розглядалися випадки масового розповсюдження складних відкладів (не менше ніж на 10 станціях в одну дату та не менше ніж у 2 областях) у окремі місяці холодного періоду за кількістю станцій та за кількістю областей в яких вони спостерігались, що надало можливість оцінити загальну картину просторово-часового розповсюдження таких випадків.

**Випадки складних ожеледо-паморозевих відкладів масового характеру розповсюдження протягом окремих десятиріч періоду 1991-2020 рр. на території України.** Загалом для усіх трьох десятиріч періоду 1991-2020 рр. встановлено, що випадки складних відкладів масового характеру розповсюдження спостерігались лише у січні та грудні місяці, тобто тоді, коли умови для їх утворення та розповсюдження були найбільш сприятливі. Як підтверджує практика, у цілому випадки складних відкладів масового характеру розповсюдження менш поширені на території України ніж аналогічні випадки інших ожеледо-паморозевих відкладень.

У першому десятиріччі (1991-2000 рр.) останнього тридцятиріччя випадків таких випадків було 3, а саме: один випадок у січні 1997 р. та по одному випадку у грудні 1992 р. та грудні 2000 р. Тобто у січні тільки в одному році з 10 виявлено такий випадок, а у грудні у двох з 10. Відповідно їх повторюваність серед сімох з досліджуваних місяців холодного та перехідних сезонів року становила відповідно 33,3 та 66,7 %. Зважаючи на внесок окремих років у загальну кількість випадків масового розповсюдження складних відкладів можна сказати, що 1992 р., 1997 р. та 2000 р. мали його однаковим по 33,3 % кожний (табл.1, рис. 1 (а)).

У другому десятиріччі (2001-2010 рр.) було виявлено 2 подібних випадки, які також спостерігались, один у січні 2004 р., а інший у грудні 2010 р. Таким чином, їх повторюваність по роках становила по 50,0 % кожний. Результати дослідження відображено у табл. 2 та на рис. 1 (б).

В останньому, третьому десятиріччі, порівняно із двома попередніми десятиріччями кількість випадків масового розповсюдження складних ожеледо-паморозевих відкладів дещо збільшилась і становила шість випадків. Так, у січні їх спостерігалось 2, по одному у 2011 р. та 2017 р., а також у грудні по одному випадку у 2012 р. та 2014 р., та два у 2016 р. Тобто по окремих роках десятиріччя внесок у загальну кількість таких випадків 2016 р. становив 33,3 %, а внесок 2011р., 2012 р., 2014 р. та 2017 р. відповідно 16,7 % кожний. Для місяців повторюваність відповідно становила 33,3 % для січня та 66,7 % для грудня (табл.3, рис. 1(в)).

**Таблиця 1. Кількість випадків масового розповсюдження складних ожеледо-паморозевих відкладів по окремих місяцях холодного періоду року протягом 1991-2000 рр.**

Міся-ці	Роки										Усьо-го	Повторю-ваність (%)
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000		
I	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	33,3
II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
XI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
XII	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	66,7
Усього	0			0	0	0	1	0	0	1	3	100,0
%	0,0	33,3	0,0	0,0	0,0	0,0	33,3	0,0	0,0	33,3	100,0	

**Таблиця 2. Кількість випадків масового розповсюдження складних ожеледо-паморозевих відкладів по окремих місяцях холодного періоду року протягом 2001-2010 рр.**

Міся-ці	Роки										Усьо-го	Повторю-ваність (%)
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010		
I	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	50,0
II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
XI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
XII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	50,0
Усього	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	100,0
%	0,0	0,0	0,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0	100,0	

**Таблиця 3. Кількість випадків масового розповсюдження складних ожеледо-паморозевих відкладів по окремих місяцях холодного періоду року протягом 2011-2020 рр.**

Міся-ці	Роки										Усьо-го	Повторю-ваність (%)
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		
I	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	33,3
II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
XI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
XII	0	1	0	1	0	2	0	0	0	0	4	66,7
Усього	1	1	0	1	0	2	1	0	0	0	6	100,0
%	16,7	16,7	0,0	16,7	0,0	33,3	16,7	0,0	0,0	0,0	100,0	

Таким чином можна сказати, що по окремих місяцях холодного періоду року здебільшого випадки масового розповсюдження складних ожеледо-паморозевих відкладів спостерігаються у грудні, проте імовірні і у січні. Серед трьох десятиріч останнього тридцятиріччя 1991-2020 рр. за кількістю таких випадків виділяється період 2011-2020 рр. Кількість таких випадків протягом цього періоду перевищує їх сумарну кількість за перші два десятиріччя. Тобто можна зробити припущення, що завдяки частим та різким змінам погодних умов (різкі температурні коливання протягом доби, випадання переохолоджених опадів), які відбуваються останнім часом, імовірність виникнення складних ожеледо-паморозевих відкладів масового характеру розповсюдження на території України зростає. В разі, якщо теперішній стан погодних умов не зазнає змін, з певною імовірністю можна буде сказати, що кількість випадків ожеледі, випадків налипання мокрого снігу та складних ожеледо-паморозевих відкладів буде зростати. Це певним чином позначиться на кількості випадків їх масового розповсюдження.

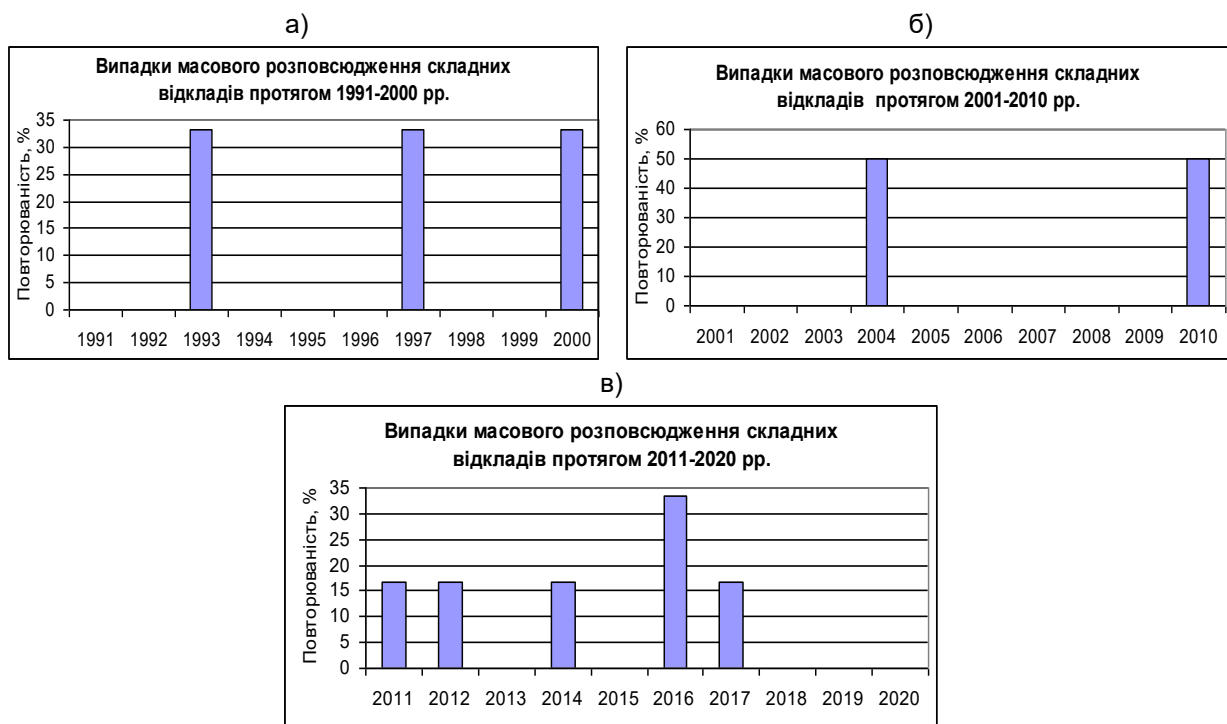


Рис 1. Повторюваність (%) кількості випадків масового розповсюдження складних ожеледо-паморозевих відкладів на території України протягом окремих десятиріч періоду 1991-2020 рр.: а) 1991-2000 рр.; б) 2001-2010 рр.; в) 2011-2020 рр.

Повторюваність випадків масового розповсюдження складних ожеледо-паморозевих відкладів за кількістю станцій та областей протягом десятиріч періоду 1991-2020 рр. Для дослідження кількості станцій, на яких протягом однієї дати спостерігався масовий характер складних ожеледо-паморозевих відкладів було обрано 8 градацій їх кількості, а саме – 10; 11-15; 16-20; 21-25; 26-30; 31-35; 36-40 та  $\geq 41$ . У цілому встановлено, що для усіх трьох десятирічних періодів максимальна кількість станцій, які в одну дату спостерігали складні ожеледо-паморозеві відклади не перевищувала градацію 16-20 станцій. Результати дослідження для кожного окремого десятиріччя представлено відповідно у таблицях 4-6.

З'ясовано, що по окремих десятиріччях повторюваність вищезгаданих градацій мала свої риси. Так, загалом протягом 1991-2000 рр. складні відклади під час їх масового розповсюдження в одну дату спостерігались на від 10 до 16-20 станцій. На ці три градації припало по 33,3 %. Однак, треба наголосити, що у січні випадок масового розповсюдження складних ожеледо-паморозевих відкладів спостерігався на 11-15 станціях, а у грудні два випадки у рівній повторюваності (відповідно по 50,0 % кожний) припали на градації 10 та 16-20 станцій (табл. 4).

Таблиця 4. Повторюваність (%) кількості випадків масового розповсюдження складних ожеледо-паморозевих відкладів за кількістю станцій протягом 1991-2000 рр.

Місяць	Градації кількості станцій								Усього
	10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	$\geq 41$	
I	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1
II	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
III	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
IV	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
X	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
XI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
XII	50,0	0,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Усього	1	1	1	0	0	0	0	0	2
%	33,1	33,3	33,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0

У другому десятиріччі (2001-2010 рр.) в обох випадках масового розповсюдження складних ожеледо-паморозевих відкладів як у січні так і у грудні припали на градацію 16-20 станцій (табл.5).

Протягом останнього третього десятиріччя (2011-2020 рр.) на відміну від двох попередніх десятиріч кількість станцій під час масового розповсюдження складних ожеледо-паморозевих відкладів в одну дату припала на градації 10 та 11-15 станцій. Причому треба зазначити, що повторюваність градації 11-15 станцій становила 83,3 %, тоді як перша градація (10 станцій) лише 16,7 %.

**Таблиця 5. Повторюваність (%) кількості випадків масового розповсюдження ожеледо-паморозевих складних відкладів за кількістю станцій протягом 2001-2010 рр.**

Місяць	Градації кількості станцій								Усього
	10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	≥41	
I	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1
II	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
III	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
IV	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
X	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
XI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
XII	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1
Усього	0	0	2	0	0	0	0	0	2
%	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0

**Таблиця 6. Повторюваність (%) кількості випадків масового розповсюдження ожеледо-паморозевих складних відкладів за кількістю станцій протягом 2011-2020 рр.**

Місяць	Градації кількості станцій								Усього
	10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	≥41	
I	50,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2
II	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
III	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
IV	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
X	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
XI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
XII	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4
Усього	1	5	0	0	0	0	0	0	6
%	16,7	83,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0

Для встановлення особливостей просторового розповсюдження випадків масового прояву складних ожеледо-паморозевих відкладів окремо було проведено дослідження на якій кількості областей в одну дату імовірно виникнення подібних випадків. Для цього було створено низку відповідних градацій (8) кількості областей, щонайменше від 2 областей і далі по градаціям: 3-4; 5-6; 7-8; 9-10; 11-12; 13-14 та ≥15 областей. Результати дослідження наведено у таблицях 7-9.

**Таблиця 7. Повторюваність (%) кількості випадків масового розповсюдження складних ожеледо-паморозевих відкладів за кількістю областей протягом 1991-2000 рр.**

Місяць	Градації кількості областей								Усього
	2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	≥15	
I	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1
II	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
III	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
IV	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
X	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
XI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
XII	0,0	0,0	50,0	0,0	0,0	50,0	0,0	0,0	2
Усього	0	0	2	0	0	1	0	0	3
%	0,0	0,0	66,7	0,0	0,0	33,3	0,0	0,0	100,0

**Таблиця 8. Повторюваність (%) кількості випадків масового розповсюдження складних ожеледо-паморозевих відкладів за кількістю областей протягом 2001-2010 рр.**

Місяць	Градації кількості областей								Усього
	2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	≥15	
I	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	1
II	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
III	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
IV	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
X	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
XI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
XII	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	1
Усього	0	0	0	0	0	1	0	1	2
%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0	0,0	50,0	100,0

**Таблиця 9. Повторюваність (%) кількості випадків масового розповсюдження складних ожеледо-паморозевих відкладів за кількістю областей протягом 2011-2020 рр.**

Місяць	Градації кількості областей								Усього
	2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	≥15	
I	0,0	0,0	50,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2
II	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
III	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
IV	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
X	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
XI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,	0,	0,0	0,0	0
XII	0,0	0,0	25,0	25,0	50,0	0,0	0,0	0,0	4
Усього	0	0	1	1	2	0	0	0	6
%	0,0	0,0	33,3	33,3	33,3	0,0	0,0	0,0	100,0

Встановлено, що у десятиріччі 1991-2000 рр. здебільшого такі випадки спостерігались на території 5-6 областей (66,7 %) та у 33,3 % на більшій території – 11-12 областей (табл. 7). У наступному десятиріччі масове розповсюдження випадків складних відкладів поширювалось на більшу територію, а саме охоплювало 11-12 областей та 13-14 областей (табл. 8). Протягом останнього десятиріччя 2011-2020 рр. Масове розповсюдження складних ожеледо-паморозевих відкладів поширювалось на градації від 5-6 областей до 9-10 областей (по 33,3 % кожна градація) (табл. 9).

Таким чином можна зробити висновок, що випадки масового розповсюдження складних відкладів можуть спостерігатись на території від щонайменше 5-6 областей до 13-14 областей щонайбільше.

**Висновки.** Зважаючи на вищевикладене щодо випадків масового розповсюдження складних ожеледо-паморозевих відкладів на території України протягом окремих десятиріч останнього тридцятиріччя 1991-2020 рр. можна зробити ряд висновків. а саме –

1. Випадки масового розповсюдження складних ожеледо-паморозевих відкладів протягом 1991-2020 рр. спостерігались у січні та грудні, причому у грудні вони спостерігались частіше, особливо протягом останнього десятиріччя 2011-2020 рр. Загальна кількість таких випадків у 2011-2020 рр. дещо перевищує їх загальну кількість протягом обох десятиріч 1991-2000 рр. та 2001-2010 рр.

2. Серед трьох досліджуваних десятиріч за кількістю випадків масового розповсюдження складних ожеледо-паморозевих відкладів виділяється період 2011-2020 рр. Саме протягом нього спостерігалось найбільша кількість таких випадків.

3. За кількістю станцій, які в одну дату спостерігали масовий характер розповсюдження складних ожеледо-паморозевих відкладів виділяються градації кількості станцій 10; 11-15 та 16-20. На більшій кількості станцій складні відклади масового характеру розповсюдження протягом досліджуваних десятиріч масово не спостерігались.

4. Протягом досліджуваних десятиріч періоду 1991-2020 рр. під час масового розповсюдження складних ожеледо-паморозевих відкладів вони спостерігались щонайменше на території 5-6 областей, а щонайбільше на території 13-14. Проте, зважаючи на результати дослідження по окремим десятиріччям, більша повторюваність у цілому припадає на градацію 5-6 областей.

**Перспективи подальших досліджень.** У подальшому, доцільним буде продовжити дослідження саме просторово-часового розповсюдження складних відкладів масового характеру прояву по території України протягом останнього тридцятиріччя (1991-2020 рр.) по місяцях холодного та перехідних сезонів року для з'ясування територіальних особливостей їх просторового розповсюдження та виділення регіонів їх місцезнаходження. Також доцільним буде провести аналогічне дослідження для випадків масового характеру розповсюдження складних ожеледо-паморозових відкладів категорії НЯ (небезпечні) та СГЯ (стихійні).

#### Список літератури

1. Климат Украины / Под ред. Г.Ф. Прихотко, А.В. Ткаченко, В.Н. Бабиченко. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 413 с.
2. Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. К.: Вид-во. Раєвського, 2003. 343 с.
3. Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Керівний документ. Вип. 3, Ч.1 (метеорологічні спостереження на станціях). Державна гідрометеорологічна служба. К., 2011. 279 с.
4. Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні (НЯ) і стихійні гідрометеорологічні явища (СГЯ) погоди. Український Гідрометцентр. К., 2003. 30 с.
5. Настанова з метеорологічного прогнозування. Нормативний Документ. УкрГМЦ. Київ. 2019. 35 с.
6. Опасные явления погоды на Украине / Под ред. К.Т. Логвинова. Труды УкрНИГМИ. 1972. Вып. 110. 235 с
7. Природа Украинской ССР. Климат / Под ред. К.Т. Логвинова, М.И. Щербаня. К.: Наукова думка, 1984. 231 с.
8. Прохоренко М.М., Раевский А.Н. Особенности распределения гололедно-изморозевых отложений на территории Украины в аномальные зимы. Метеорология, климатология и гидрология. 1975. Вып. 11. С. 33-37.
9. Раевский А.Н. Влияние рельефа на распределение гололедно-изморозевых отложений. Труды ОГМИ. 1961. Вып. XXIII. С. 3-10.
10. Раевский А.Н. О распределении гололеда на территории Украины. Труды УкрНИГМИ. 1961. С. 50-62.
11. Раевский А.Н. Влияние особенностей рельефа на распределение гололедных отложений. Труды ГГО. 1961. Вып. 122. С. 75-80.
12. Раевский А.Н. К вопросу о влиянии характера рельефа и лесистости на распределение гололедно-изморозевых отложений. Труды УкрНИГМИ. 1967. Вып. 65. С. 113-117.
13. Стихийные метеорологические явления на Украине и Молдавии / Под ред. В.Н. Бабиченко. - Л.: Гидрометеиздат, 1991. 223 с.
14. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005 рр.) / За ред. В.М.Ліпінського, В.І.Осадчого, В.М. Бабіченко. К.: Вид-во Ніка-Центр, 2006. 311 с.

#### References

1. Klymat Ukrayny [Climate of Ukraine] / Pod red. H.F. Prykhotko, A.V. Tkachenko, V.N. Babychenko. L.: Hydrometeoyzdat, 1967. 413 s.
2. Klimat Ukrayiny [Climate of Ukraine] / Za red. V.M. Lipins'koho, V.A. Dyachuka, V.M. Babichenko. K.: Vyd-vo. Rayevskoho, 2003. 343 s.
3. Nastanova hidrometeorolohichnym stantsiyam i postam. Kerivnyy dokument. - Vyp. 3, CH.1 (meteorolohichni sposterezhennya na stantsiyakh). [Instructions to hydrometeorological stations and posts. Governing document. Vol. 3, Part 1 (meteorological observations at stations). State hydrometeorological service] Derzhavna hidrometeorolohichna sluzhba. K.: 2011. 279 s.
4. Nastanova po sluzhbi prohnziv ta poperedzhen pro nebezpechni i stykhiyni hidrometeorolohichni yavlyshcha pohody. [Instruction on the service of forecasts and warnings about dangerous (DP) and spontaneous (SHP) hydrometeorological phenomena of the weather. Ukrainian Hydrometeorological Center] Ukrayinskyy Hidromettsentr. K.: 2003. 30 s.
5. Nastanova z meteorolohichnoho prohnzuvannya. [Guidance on meteorological forecasting. Normative Document. UkrHMC] Normatyvnyy Dokument. UkrHMTS. Kyiv. 2019. 35 s.
6. Opasnye yavlenyya pohody na Ukrayne [Dangerous weather phenomena in Ukraine] / Pod red. K.T. Lohvynova. Trudy UkrNYHMY. 1972. Vyp. 110. 235 s.
7. Pryroda Ukraynskoj SSR. Klymat [Nature of the Ukrainian SSR. Climate] / Pod red. K.T. Lohvynova, M.Y. Shcherbanya. K.: Naukova dumka, 1984. 231 s.
8. Prokhorenko M.M., Raevskyy A.N. Osobennosti raspredelenyya hololedno-ymorozevykh otlozhenyy na terrytoryy Ukrayny v anomalnye zymy. [Peculiarities of the distribution of glaciated and permafrost deposits on the territory of Ukraine in abnormal winters]. Meteorolohyya, klymatolohyya y hydrolohyya. 1975. Vyp. 11. S. 33-37.
9. Raevskyy A.N. Vlyyanye relefa na raspredelenye hololedno-ymorozevykh otlozhenyy [The

influence of the relief on the distribution of glaciated and permafrost deposits.] Trudy OHMY. 1961. Vyp. XXIII. S. 3-10.

10. Raevskyy A.N. O raspredeleny holoda na terytoryy Ukrainy [On the distribution of ice on the territory of Ukraine]. Trudy UkrNYHMY. 1961. S. 50-62.

11. Raevskyy A.N. Vlyyanye osobennostey rel'efa na raspredelenye holodnykh otlozheny [The influence of features of the relief on the distribution of glacial deposits] Trudy HHO. 1961. Vyp. 122. S. 75-80.

12. Raevskyy A.N. K voprosu o vlyyany kharaktera rel'efa y lesystosty na raspredelenye holodno-zmorozevykh otlozheny [On the question of the influence of the nature of the relief and forest cover on the distribution of glacial-permafrost deposits.] Trudy UkrNYHMY. 1967. Vyp. 65. S. 113-117.

13. Stykhyynye meteorolohycheskye yavlenyya na Ukrainy y Moldavy [Natural meteorological phenomena in Ukraine and Moldova] / Pod red. V.N. Babychenko. L.: Hydrometeoyzdat, 1991. 223 s.

14. Stykhiyni meteorolohichni yavyshcha na terytoriyi Ukrainy za ostannye dvadtsyatyrychchya (1986-2005 rr.) [Natural meteorological phenomena on the territory of Ukraine for the last twenty years (1986-2005)] / Za red. V.M.Lipinskoho, V.I.Osadchoho, V.M. Babichenko. K.: Vyd-vo Nika-Tsent, 2006. 311 s.

### **Cases of mass distribution of complex of complex ice-frost deposits in the territory of Ukraine during the last thirty years, 1991-2020**

**Pyasetska S.I.**

*The article is devoted to the study of cases of mass deposition of complex ice-frost deposits on the territory of Ukraine in separate decades during the period 1991-2020, which reflects the state of the modern climate in the region. The case of mass deposition of complex ice-frost deposits was considered to be the case when such deposits were observed at no less than 10 stations and in no less than two regions on one date. The study was conducted for each cold month and individual months of transitional seasons, as well as decades of the studied period separately.*

*The purpose of the article was to establish the features of the spatio-temporal distribution of cases of mass distribution of complex ice-frost deposits on the territory of Ukraine during the last thirty-year period.*

*It was found that:*

*During 1991-2020, cases of mass spreading of complex ice-frost deposits were observed in January and December, and in December they were observed more often, especially during the last decade of 2011-2020. The total number of such cases in 2011-2020 is slightly higher their total number during both decades 1991-2000 and 2001-2010.*

*Among the three investigated decades, the period 2011-2020 stands out in terms of the number of cases of mass spreading of complex ice-frost deposits. It was during this period that the largest number of such cases was observed.*

*According to the number of stations, which on one date observed the mass nature of the spread of complex ice-frost deposits, there are gradations of the number of stations 10; 11-15 and 16-20. At a greater number of stations, complex sediments of a massive nature of distribution were not massively observed during the studied decades.*

**Key words:** *territory of Ukraine, complex ice-frost deposits, months of the cold period of the year, massive spatio-temporal distribution of complex sediments.*

**Надійшла до редколегії 20.04.2023**

**DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.2.7>**

УДК 551.580

**Рибченко Л.С., Савчук С.В.**

*Український гідрометерологічний інститут ДСНС України та НАН України, м. Київ*

### **СКЛАДОВІ РАДІАЦІЙНОГО РЕЖИМУ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ ПРИ ПОСУХАХ ЗА 1991-2020 РР. В УКРАЇНІ**

*Наведено зміни складових радіаційного режиму сонячної радіації в періоди інтенсивних посух і їх порівняння відносно середніх значень за 1991-2020 рр. в Україні. В окремі місяці вегетаційного періоду в умовах посух спостерігались істотні відхилення окремих складових сонячної радіації порівняно з останнім тридцятиріччям по всій території. Зазвичай в посушливі періоди відбувалось збільшення тривалості сонячного сьйва та прямої сонячної радіації, що супроводжувалось зниженням розсіяної, проте не завжди призводило до збільшення надходження сумарної радіації. Зростання окремих складових радіаційного режиму призводило до збільшення повного радіаційного балансу й альbedo підстильної поверхні. Виконані дослідження є важливою складовою моніторингу аномалій кліматичних умов, що необхідні для вирішення прикладних завдань адаптації сільськогосподарського виробництва в умовах постійних і тривалих посух на значній території.*

**Ключові слова:** *радіаційний режим сонячної радіації; інтенсивна посуха.*

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2023. № 2 (68)

**Вступ.** Посуха є складним природним явищем, зумовленим тривалим періодом збільшеної прямої сонячної радіації, температури повітря, нестачі вологи у повітрі та ґрунті, що створюють несприятливі умови розвитку сільськогосподарських рослин. Пошкодження та загибель рослин відбувається внаслідок суттєвого неузгодження потреби вологи за підвищеної інсоляції та термічного режиму. Результатам дослідження посух на території країни присвячено низку робіт, що оцінюють ступінь посушливості окремих періодів вегетації за умов їх впливу на стан сільськогосподарських рослин, причини виникнення та зміни метеорологічних величин відносно середніх значень [1-8].

Підвищення потоку прямої короткохвильової радіації та перерозподілу енергії між складовими сумарної радіації й радіаційного балансу призводить до посухи, в умовах яких збільшуються енергетичні можливості підстильної поверхні внаслідок значної повторюваності ясної, малохмарної погоди. Відбувається зростання тривалості сонячного саява.

Згідно каталогу за 1991-2020 рр. посухи різної інтенсивності та тривалості на території країни спостерігались майже кожного вегетаційного періоду. Визначено види посух (повітряна, ґрунтова, комплексна повітряно-ґрунтова), розповсюдження територією, характеристику посушливих явищ із перевищенням середніх кліматологічних величин температури повітря й ґрунту та нестачею вологи, заподіяну шкоду для вирощування сільськогосподарських культур. Розраховано перетворення складових радіаційного режиму порівняно із середніми значеннями. Побудовано карти складових радіаційного режиму та відхилення тривалості сонячного саява, прямої, розсіяної, сумарної сонячної радіації відносно середніх за 1991-2020 рр. в окремі періоди інтенсивної посухи.

**Актуальність теми дослідження.** Згідно «Оглядам погоди та стихійних метеорологічних явищ на території України» Українського гідрометеорологічного центру, Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського ДСНС України визначено посухи різної інтенсивності та тривалості за 1991-2020 рр., що спостерігались протягом вегетаційних періодів. Зміна середніх кліматологічних величин радіаційного режиму сонячної радіації зумовлена різною ступеню надходження окремих складових короткохвильової радіації до рівня підстильної поверхні та істотним чином впливає на розвиток і стан сільськогосподарських культур.

**Мета, матеріали та методи дослідження.** Метою виконаних досліджень є оцінка змін складових радіаційного режиму в періоди інтенсивної посухи відносно їх середніх значень за 1991-2020 рр.

Для дослідження використано архів вимірів метеорологічної та актинометричної мережі спостережень ЦГО ім. Б. Срезневського ДСНС України. Створено каталог посух і базу даних спостережень за окремими складовими радіаційного режиму сонячної радіації. На підставі методів математичної статистики проведено розрахунки. Виконано картографування просторово-часового розподілу значень сонячної радіації за територією країни.

**Аналіз виконаних досліджень.** Результатам дослідження посух на території країни присвячено низку робіт, що оцінюють ступінь і вплив посушливості окремих періодів вегетації на стан сільськогосподарських рослин, причини виникнення посух та зміни метеорологічних величин відносно середніх значень при них [2-9].

В умовах посухи збільшуються енергетичні можливості підстильної поверхні, внаслідок значної повторюваності ясної та малохмарної погоди, що призводить до змін у надходженні потоків короткохвильової радіації та перерозподілу енергії між складовими сумарної радіації та радіаційного балансу. Відбувається зростання тривалості сонячного саява.

**Виклад основного матеріалу.** Зміна атмосферної циркуляції, що призводила до збільшення ясної та малохмарної погоди в 1991-2020 рр., стала причиною збільшення тривалості сонячного саява та прямої сонячної радіації при одночасному зменшенні розсіяної радіації, що зумовило зростання температури повітря за значного дефіциту опадів й призвело до формування посушливих явищ, які були нетиповими для більшої частини території у попередньому тридцятиріччі, 1961-1990 рр.

За 1991-2020 рр. посухи різного виду та тривалості спостерігались протягом 22 вегетаційних періодів, а посухи, що охоплювали більшу частину території країни



відзначались 17 теплих періодів.

За 1991-2000 рр. окремі види посух спостерігались протягом 6 вегетаційних періодів, а 5-ть з них по всій території.

За перше десятиріччя XXI ст., у 2001-2010 рр., повітряні або повітряно-ґрунтові посухи різної інтенсивності відмічались впродовж всіх вегетаційних періодів, а протягом 7 років з 10-ти – охоплювали більшу територію країни.

У 2011-2020 рр. окремі види посух, що відзначались значною повторюваністю, спостерігались 6 вегетаційних періодів. За 5 теплих періоди відмічались окремі види явища по всій території.

Новітнім у 1991-2020 рр. є формування посух не тільки протягом теплого періоду, але й у суміжні місяці холодного періоду року.

У березні-квітні 2004 р. на більшості території спостерігався значний недобір опадів, що створювало несприятливі умови для розвитку різних сільськогосподарських культур, внаслідок посушливих явищ.

У лютому-березні 2011 р., за значного дефіциту опадів, виникли передумови розвитку посух на переважній частині території країни.

У січні 2014 р. на півдні та в АР Криму, внаслідок недобору опадів, створювались умови для початку посушливих явищ.

Із другої половини березня 2015 р. розпочалась ранньовесняна ґрунтова посуха на півдні та сході. У березні-квітні 2020 р. повітряно-ґрунтова посуха розвивалась на більшій частині території.

Згідно проведених розрахунків більша частина короткохвильової радіації надходить до підстильної поверхні протягом теплого періоду року. Так, пряма радіація становить до 90 %, а розсіяна сонячна радіація – майже 80 % від річної суми. Тим визначається основний вплив складових радіаційного режиму на розвиток кліматичних умов у теплий період.

У 80-90-ті роки XX ст. відбулась зміна надходження складових сумарної радіації, зокрема збільшення прямої (рис. 1) при одночасному зменшенні розсіяної (рис. 2).

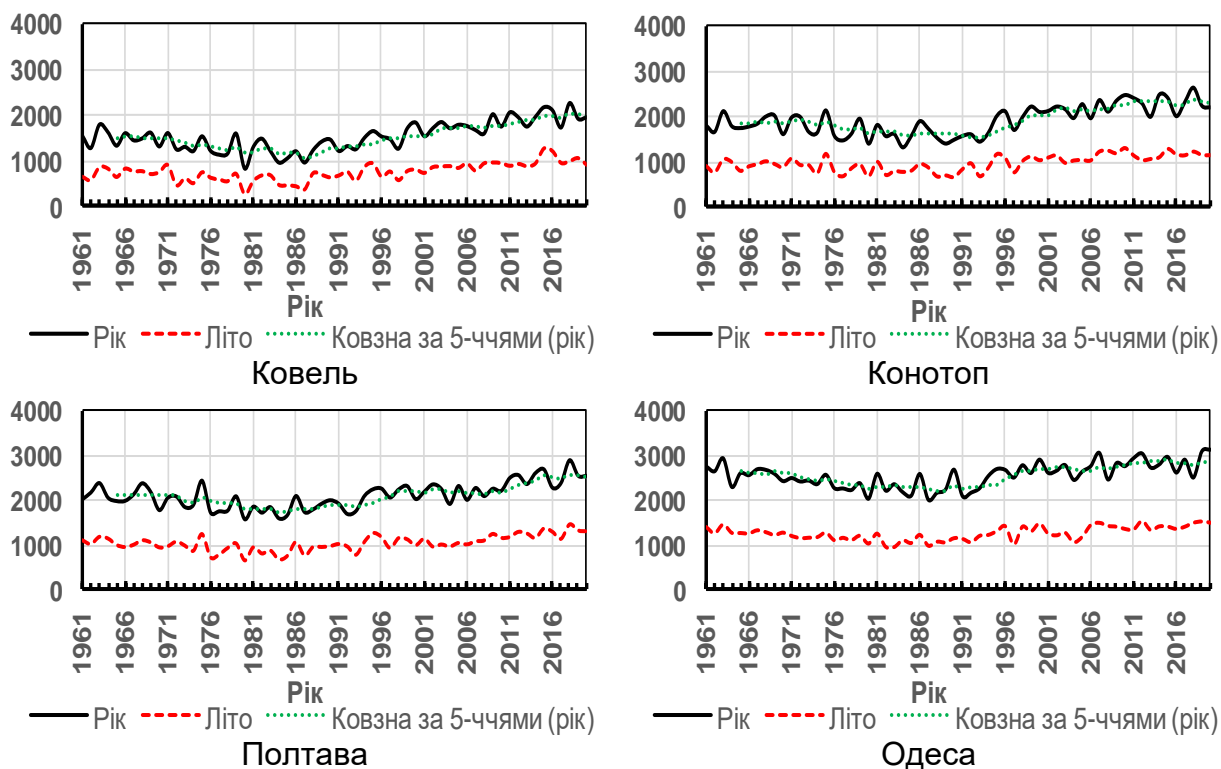


Рис. 1. Зміна прямої сонячної радіації ( $\text{МДж}/\text{м}^2$ ) протягом 1961-2020 рр. влітку та за рік на окремих актинометричних станціях

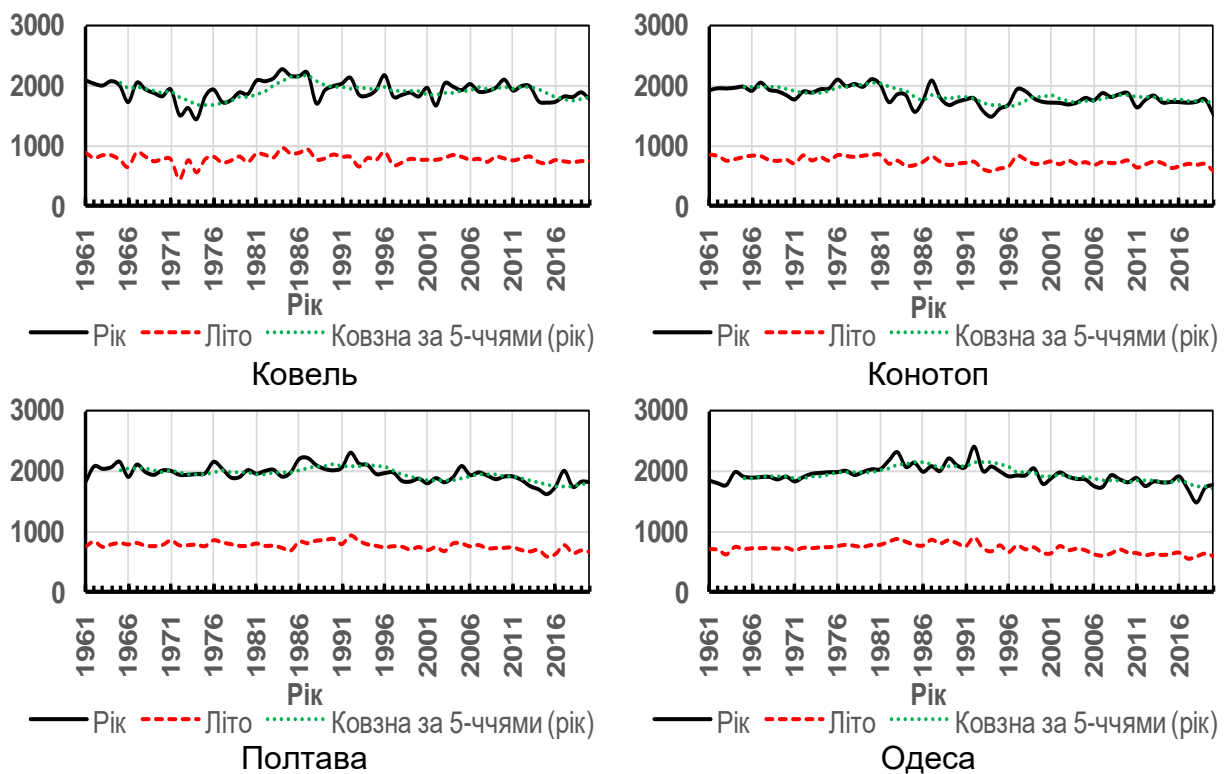


Рис. 2. Зміна розсіяної сонячної радіації (МДж/м<sup>2</sup>) протягом 1961-2020 рр. влітку та за рік на окремих актинометричних станціях

Про зміну надходження прямої сонячної радіації за умов варіації атмосферної циркуляції у 80-90-х роках минулого сторіччя, також засвідчують результати розрахунку внеску прямої і радіації у сумарну, зокрема її збільшення з 1961 за окремі 30-річчя й 10-річчя влітку та за рік (табл. 1).

За табл. 1, найменші суми прямої радіації у складі сумарної за теплий період відмічались у перше десятиріччя з подальшим збільшенням у два наступні.

Таблиця 1. Внесок прямої сонячної радіації у сумарну (%) за теплий період 1961-1990 рр., 1991-2020 рр., окремих десятиріч (1991-2000 рр., 2001-2010 рр., 2011-2020 рр.)

Станція	Період				
	1961-1990 рр.	1991-2020 рр.	1991-2000 рр.	2001-2010 рр.	2011-2020 рр.
Покошичі	48	55	51	57	57
Конотоп	50	58	55	58	60
Ковель	46	50	45	50	55
Бориспіль	51	54	49	54	59
Нова Ушиця	49	53	50	53	56
Світловодськ	60	62	59	62	65
Полтава	56	58	54	57	62
Межгір'я	39	49	45	50	51
Берегове	48	51	52	55	47
Одеса	57	63	59	63	65
Болград	55	61	58	60	65
Херсон	54	61	57	61	64
Асканія Нова	55	58	57	53	63
Карадаг	58	-	60	64	-
Нікітський Сад	61	-	62	65	-

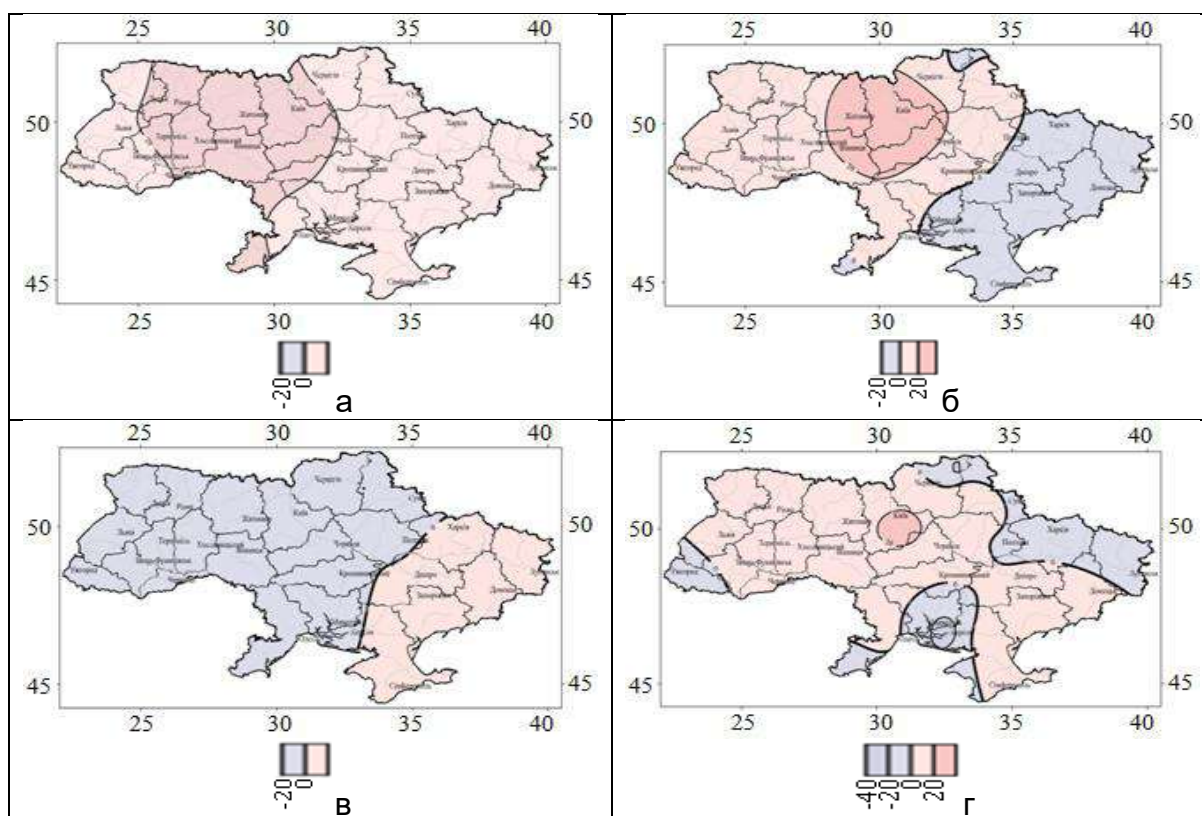
Підтвердженням змін складових сумарної радіації є зменшення розсіяної сонячної радіації у складі сумарної з 1961 р. у окремі 30-річчя й 10-річчя за теплий період (табл. 2).

Згідно табл. 2, відносно попереднього 30-го періоду й в окремі десятиріччя внесок розсіяної радіації у сумарну зменшується.

**Таблиця 2. Внесок розсіяної сонячної радіації у сумарну (%) за теплий період 1961-1990 рр., 1991-2020 рр., окремих десятиріч (1991-2000 рр., 2001-2010 рр., 2011-2020 рр.)**

Станція	Період				
	1961-1990 рр.	1991-2020 рр.	1991-2000 рр.	2001-2010 рр.	2011-2020 рр.
Покошичі	52	45	49	44	43
Конотоп	50	42	45	42	40
Ковель	54	49	53	50	45
Бориспіль	49	48	50	45	43
Нова Ушиця	51	47	50	46	44
Світловодськ	40	38	41	38	35
Полтава	44	42	46	43	38
Межгір'я	61	51	55	50	49
Берегове	52	49	47	45	53
Одеса	42	38	41	37	34
Болград	45	39	42	40	35
Херсон	46	39	43	39	36
Асканія Нова	46	42	44	47	37
Карадаг	42	-	42	35	-
Нікітський Сад	39	-	37	35	-

Визначено відхилення та проведено порівняльний аналіз з отриманням просторово часові змін середніх значень окремих складових радіаційного режиму (тривалості сонячного сйява, прямої, розсіяної та сумарної сонячної радіації) при посухах, що розповсюджувались впродовж окремих місяців теплого періоду (квітень-жовтень), відносно середніх за 1991-2020 рр. на території України (рис. 3-9).



**Рис. 3. Відхилення: а) тривалості сонячного сйява (год); б) прямої (МДж/м<sup>2</sup>), в) розсіяної (МДж/м<sup>2</sup>), г) сумарної сонячної радіації (МДж/м<sup>2</sup>), - при посухах відносно 1991-2020 рр. Квітень**

У квітні, при посухах порівняно з 1991-2020 рр., тривалість сонячного сйява зростає повсюди до 40 год, особливо на Правобережжі (рис. 3а).

Пряма радіація підвищується на більшій частині заходу та центру до 20-40 МДж/м<sup>2</sup> і

дещо знижується на сході на 20 МДж/м (рис. 3б).

Розсіяна радіація змінюється на 20 МДж/м<sup>2</sup>, зменшуючись на більшій Правобережній частині та зростаючи на південному сході (рис. 3в).

Сумарна радіація збільшується на більшій частині території до 20 МДж/м<sup>2</sup> і зменшується в окремих регіонах на Закарпатті, півночі, північному сході, сході на 40 МДж/м<sup>2</sup> (рис. 3г).

У травні, при посухах порівняно з 1991-2020 рр., змінюється направленість від'ємних і додатних змін складових радіаційного режиму. Так, тривалість сонячного сяйва, пряма та сумарна радіація переважно зростають із півночі на південь. Розсіяна радіація зазвичай зменшується. Складові радіаційного режиму змінюються в межах: тривалість сонячного сяйва – від -20 год до 60 год (рис. 4а), пряма радіація переважно збільшується, змінюючись від -80 МДж/м<sup>2</sup> до 100 МДж/м<sup>2</sup> (рис. 4б). Розсіяна радіація змінюється на 40 МДж/м<sup>2</sup>, зменшуючись на переважній частині країни та збільшуючись в західному регіоні (рис. 4в). Сумарна радіація зростає на більшості території і зменшується на меншій, західній, частині, змінюючись на 40 МДж/м<sup>2</sup> (рис. 4г).

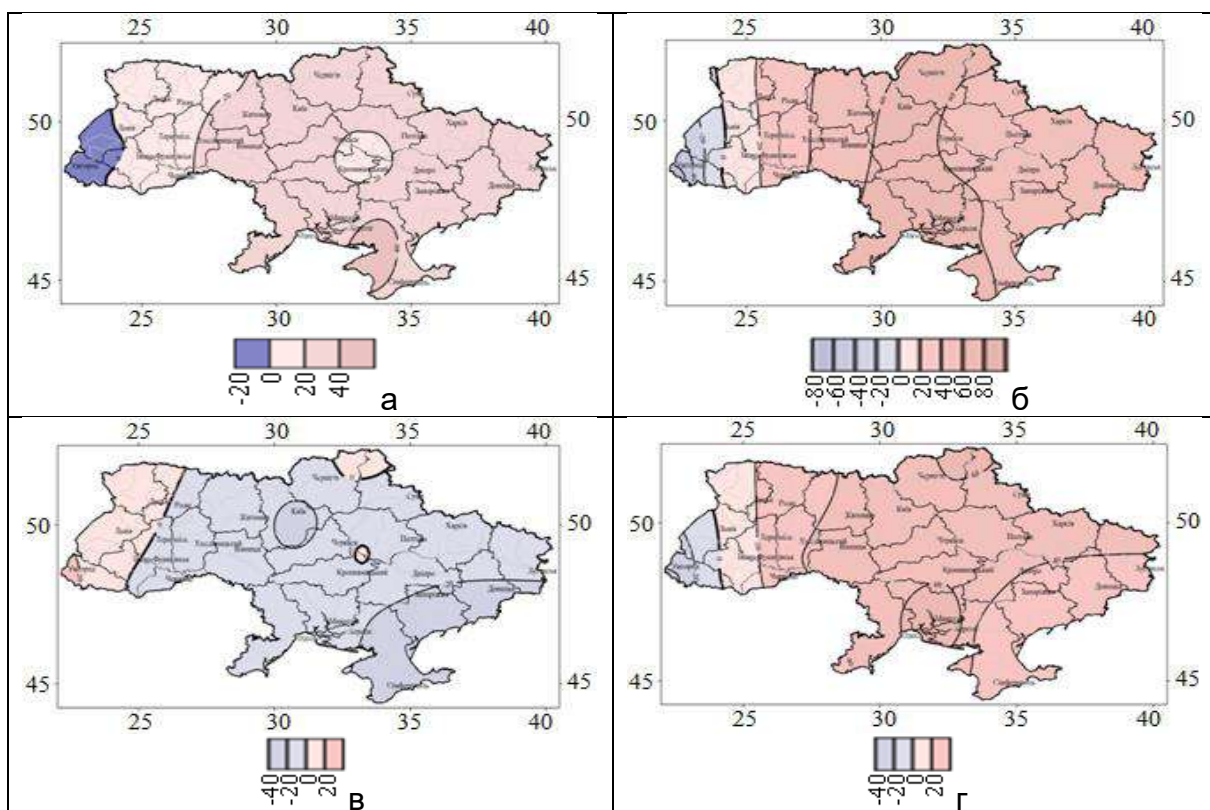
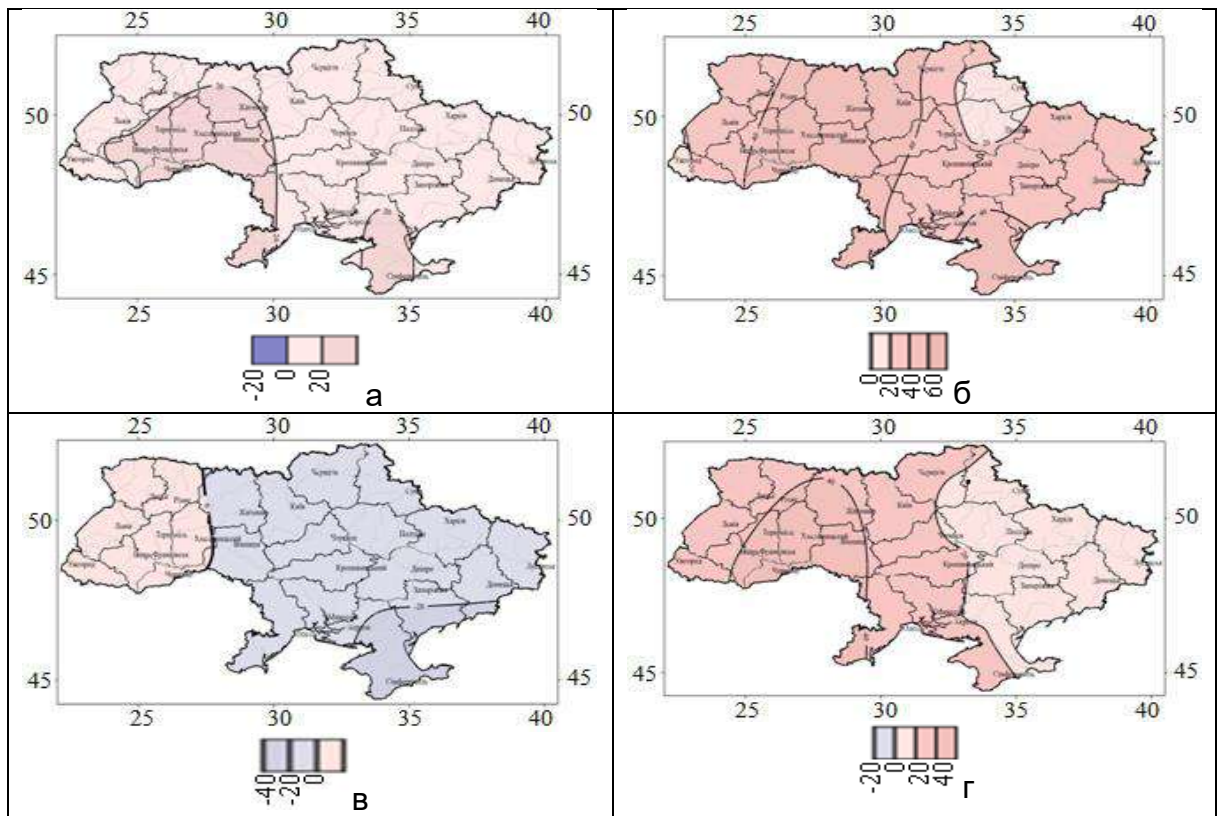


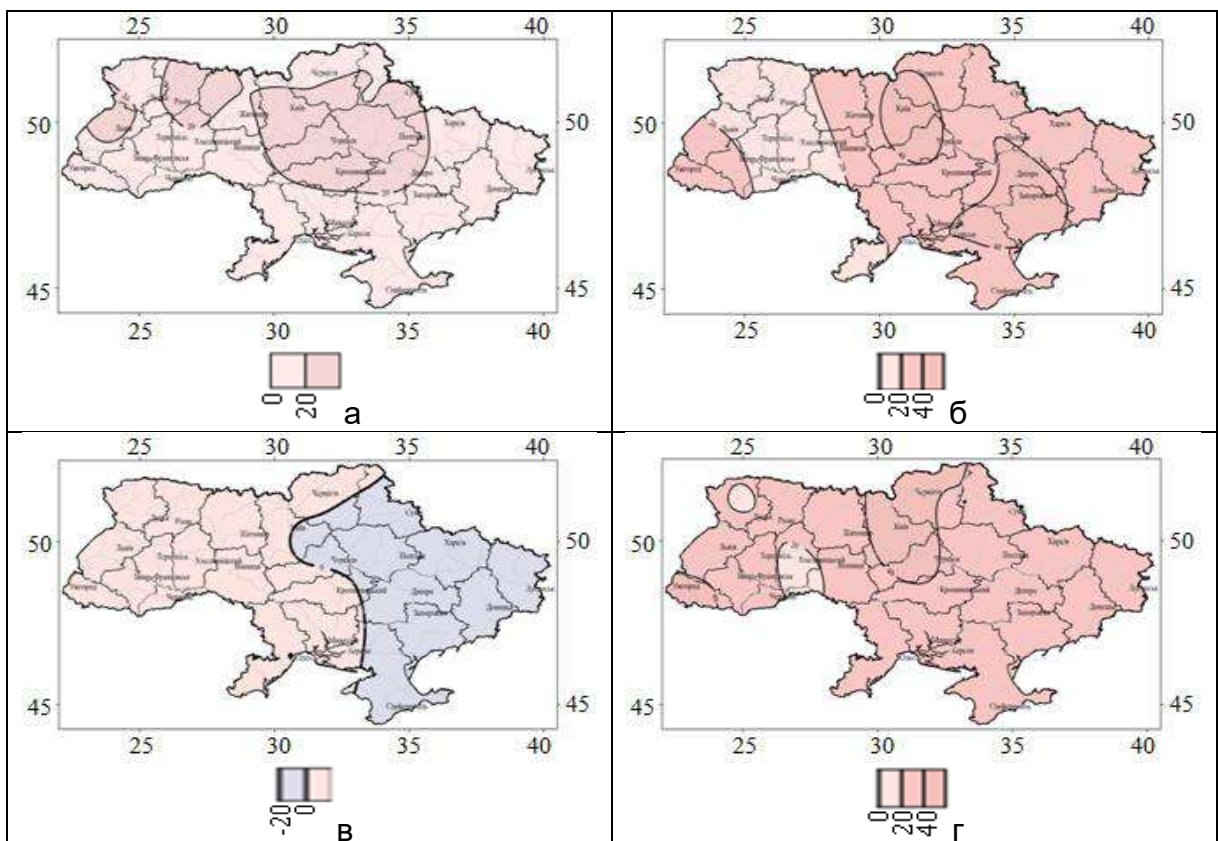
Рис. 4. Відхилення: а) тривалості сонячного сяйва (год); б) прямої (МДж/м<sup>2</sup>), в) розсіяної (МДж/м<sup>2</sup>), г) сумарної сонячної радіації (МДж/м<sup>2</sup>), - при посухах відносно 1991-2020 рр. Травень

У червні, при посухах порівняно з 1991-2020 рр., тривалість сонячного сяйва, пряма та сумарна сонячна радіація зростають по всій території зі сходу, північного сходу до центру та півдня. Розсіяна радіація збільшується на заході та знижується на більшості території, особливо півдні. Складові радіаційного режиму змінюються: тривалість сонячного сяйва від -20 год до 40 год (рис. 5а), пряма радіація збільшується до 80 МДж/м<sup>2</sup> (рис. 5б), сумарна радіація коливається в межах від -20 МДж/м<sup>2</sup> до 60 МДж/м<sup>2</sup> (рис. 5в), розсіяна варює від -40 МДж/м<sup>2</sup> до 20 МДж/м<sup>2</sup> (рис. 5в).

Липню, при посухах порівняно з 1991-2020 рр., притаманні збільшення відхилення окремих складових радіаційного режиму, крім розсіяної радіації. Тривалість сонячного сяйва, пряма та сумарна радіація зростають із північного заходу, заходу, центру до сходу. Так, ТСС зростає до 40 год (рис. 6а), пряма (рис. 6б) і сумарна (рис. 6г) радіація збільшуються до 60 МДж/м<sup>2</sup>. Розсіяна радіація змінюється на 20 МДж/м<sup>2</sup>, знижуючись на Лівобережжі та збільшуючись на Правобережжі (рис. 6в).

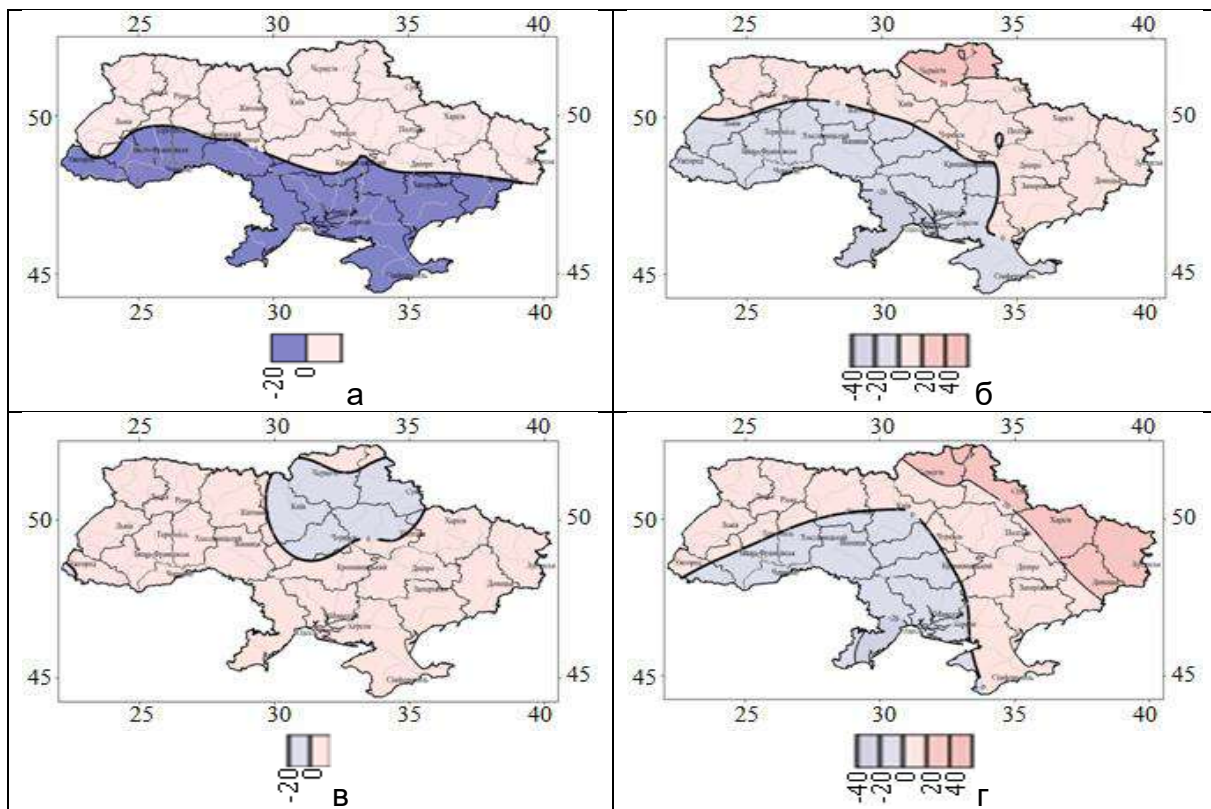


**Рис. 5. Відхилення: а) тривалості сонячного сйва (год); б) прямої (МДж/м<sup>2</sup>), в) розсіяної (МДж/м<sup>2</sup>), г) сумарної сонячної радіації (МДж/м<sup>2</sup>), - при посухах відносно 1991-2020 рр. Червень**



**Рис. 6. Відхилення: а) тривалості сонячного сйва (год); б) прямої ( МДж/м<sup>2</sup>), в) розсіяної (МДж/м<sup>2</sup>), г) сумарної сонячної радіації (МДж/м<sup>2</sup>), - при посухах відносно 1991-2020 рр. Липень**

У серпні, при посухах порівняно з 1991-2020 рр., складові радіаційного режиму відрізняються за просторовими змінами відносно попередніх місяців теплого періоду. Для тривалості сонячного сяйва, прямої та сумарної радіації характерна поява від'ємних відхилень в регіонах заходу, південного заходу, центру, півдня, АР Криму. На більшості території найістотніші додатні відхилення тривалості сонячного сяйва й прямої радіації спостерігаються на півночі, а для сумарної радіації і на північному сході. Розсіяна радіація дещо збільшується, при деяких зниженнях у північному регіоні та на Закарпатті. Складові радіаційного режиму змінюються територією: тривалість сонячного сяйва від -20 год до 20 год (рис. 7а), пряма (рис. 7б) і сумарна (рис. 7г) радіація від -40 МДж/м<sup>2</sup> до 60 МДж/м<sup>2</sup>, розсіяна – від -20 МДж/м<sup>2</sup> до 20 МДж/м<sup>2</sup> (рис. 7в).



**Рис. 7. Відхилення: а) тривалості сонячного сяйва (год); б) прямої ( МДж/м<sup>2</sup>), в) розсіяної (МДж/м<sup>2</sup>), г) сумарної сонячної радіації (МДж/м<sup>2</sup>), - при посухах відносно 1991-2020 рр. Серпень**

У вересні, порівняно з 1991-2020 рр., спостерігались сприятливі умови для виникнення посух за окремими складовими радіаційного режиму. Так, тривалість сонячного сяйва, пряма та сумарна сонячна радіація зростають зазвичай з заходу на схід. ТСС збільшується до 60 год (рис. 8а); пряма радіація найсуттєвіше зростає у центрі (рис. 8б), а сумарна – у центрі, на півночі, північному сході, до 60 МДж/м<sup>2</sup> (рис. 8д). Розсіяна радіація знижується на більшій частині західного регіону та зростає у східному, змінюючись від -20 МДж/м<sup>2</sup> до 20 МДж/м<sup>2</sup> (рис. 8г).

У жовтні, при посухах порівняно з 1991-2020 рр., направленість від'ємних і додатних змін окремих складових радіаційного режиму стає подібною до квітневої, але з більшими значеннями відхилень. Тривалість сонячного сяйва, пряма та сумарна радіація переважно зростають, найбільше зазвичай на Правобережжі. Так, тривалість сонячного сяйва змінюється від -20 год до 60 год (рис. 9а), пряма сонячна радіація від -20 МДж/м<sup>2</sup> до 60 МДж/м<sup>2</sup> (рис. 9б) і сумарна радіація від -40 МДж/м<sup>2</sup> до 60 МДж/м<sup>2</sup> (рис. 9г). Розсіяна радіація зменшується на більшій частині території Правобережжя на 40 МДж/м<sup>2</sup>, але збільшується на меншій, східній частині країни, до 20 МДж/м<sup>2</sup> (рис. 9в).

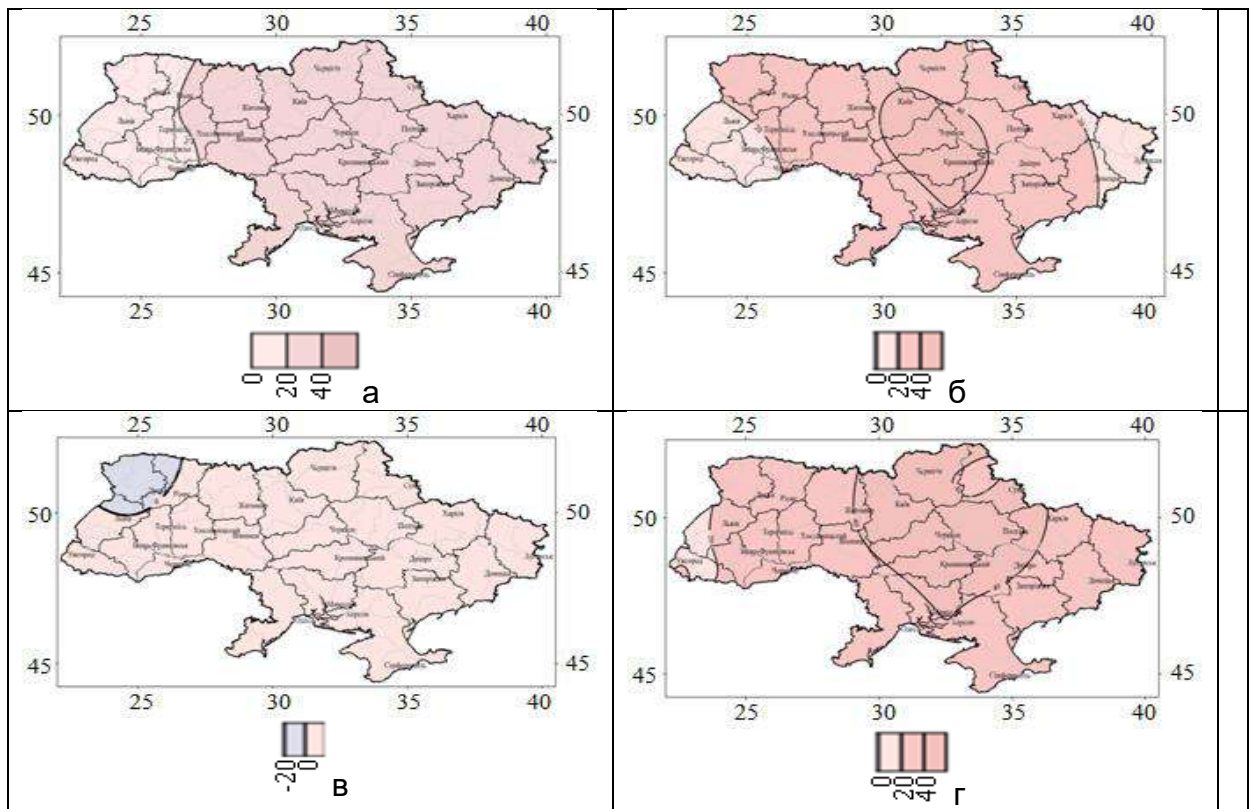


Рис. 8. Відхилення: а) тривалості сонячного сяйва (год); б) прямої (МДж/м<sup>2</sup>), в) розсіяної (МДж/м<sup>2</sup>), г) сумарної сонячної радіації (МДж/м<sup>2</sup>), - при посухах відносно 1991-2020 рр. Вересень

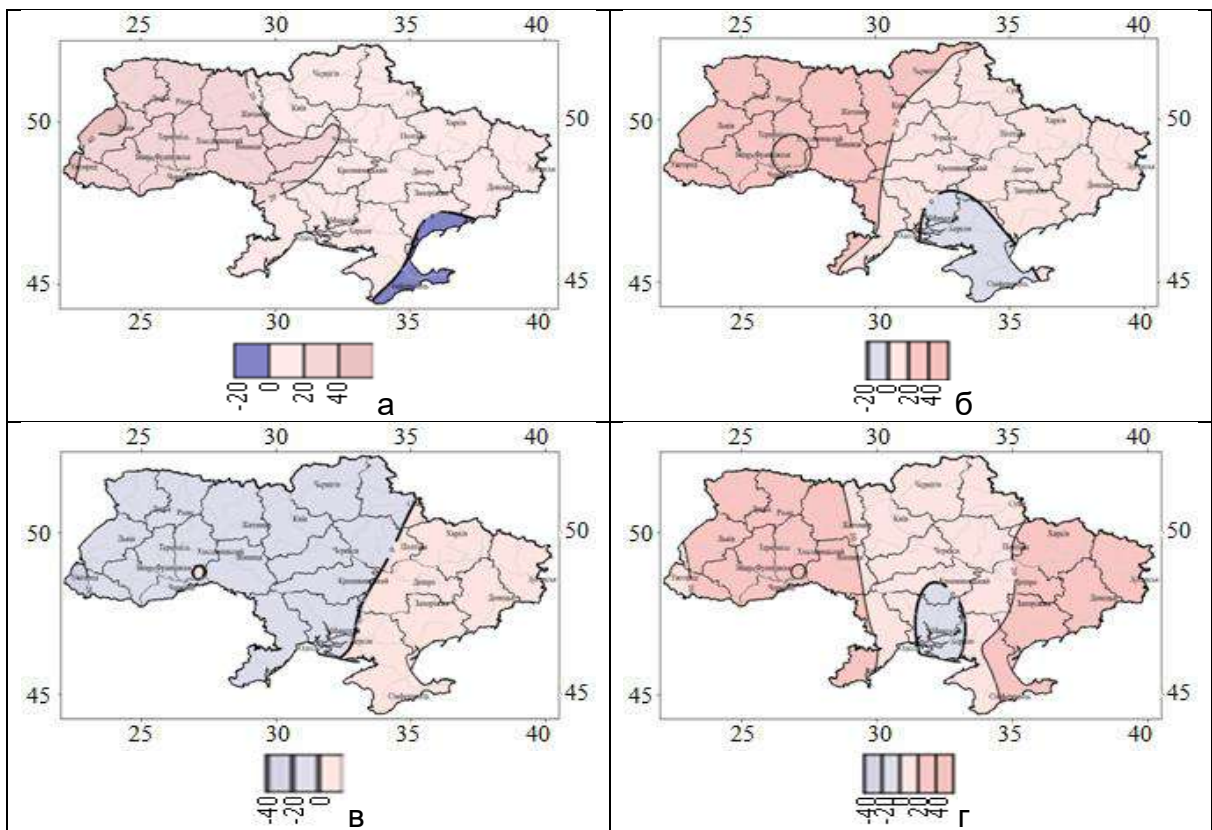


Рис. 9. Відхилення: а) тривалості сонячного сяйва (год); б) прямої (МДж/м<sup>2</sup>), в) розсіяної (МДж/м<sup>2</sup>), г) сумарної сонячної радіації (МДж/м<sup>2</sup>), - при посухах відносно 1991-2020 рр. Жовтень

Отже, для посух протягом теплого періоду, порівняно з 1991-2020 рр., характерне переважно збільшення тривалості сонячного сяйва, прямої та сумарної сонячної радіації при одночасному зменшенні розсіяної. Найбільші зміни притаманні травню, зокрема при збільшенні окремих складових радіаційного режиму; також сприятливі умови для розвитку посух, але з меншою інтенсивністю, у червні, липні; вересні. Серпень відрізняється іншими просторовими змінами з переважаючим збільшенням розсіяної радіації та частковим зростанням тривалості сонячного сяйва, прямої та сумарної радіації. Квітень і жовтень мають подібні ознаки змін складових радіаційного режиму.

**Висновки.** Посуха зумовлюється особливим станом атмосфери з антициклональним характером атмосферної циркуляції та тривалою трансформацією малорухомих повітряних мас на значних територіях. Складний комплекс динамічних процесів, що призводить до розвитку цього явища, зумовлює підвищене надходження короткохвильової радіації, високу температуру повітря за бездощового періоду.

Зміна атмосферної циркуляції призвела до збільшення ясної та малохмарної погоди. Надходження складових радіаційного режиму сонячної радіації до підстильної поверхні зазнало істотних перетворень. У 1991-2020 рр. відносно 1961-1990 рр. відбулось збільшення тривалості сонячного сяйва, прямої та сумарної сонячної радіації при одночасному зменшенні розсіяної радіації протягом року. Найбільші зміни відбувалися у теплий період.

Істотне підвищення надходження прямої сонячної радіації та тривалості сонячного сяйва, за умови зміни стану підстильної поверхні, зумовлює коливання балансу короткохвильової радіації (поглинута радіація), ефективного випромінювання та повного радіаційного балансу. Розвиток посухи зумовлює перерозподіл витратної частини радіаційного балансу. Витрати тепла на випаровування в окремі періоди зменшуються до 40 %, іноді до 30 % (за середніх 60 %). Витрати тепла на турбулентний обмін зростають до 50 % і більше (замість 30 %). За умов тривалої бездощової погоди та високої температури повітря (35-40 °С) на нагрівання приземного шару повітря втрачається до 70 % радіаційного балансу.

Посуха, що є небезпечним природним явищем, спостерігається досить часто протягом останнього тридцятиріччя. Відзначаються окремі види посух (повітряні, повітряно-ґрунтові, ґрунтові) за тривалістю та розповсюдженням територією країни. За 1991-2020 рр. посухи спостерігались протягом 22 років і 17 вегетаційних періодів по всій території. За період дослідження визначено, що протягом окремих місяців холодного періоду спостерігались посухи у кінці осені (листопад), наприкінці зими та на початку весни (лютий-березень). У деякі холодні періоди відзначались передумови розвитку посух.

За теплий період у 1991-2020 рр. складались неоднозначні умови для появи посух протягом окремих місяців. Спостерігались посухи за невеликі проміжки часу (менше місяця), що характеризувались значною інтенсивністю, але не на всій території та потужні, тривалі на більшій частині країни. За результатами проведених досліджень, необхідно приділити значну увагу до впливу виникнення та розповсюдження посух на вирощування різних видів сільськогосподарських рослин і їх поширення територією країни для вирішення питань адаптації землеробства до зміни агрокліматичних умов.

#### Список літератури

1. Дмитренко В. П., Строчак Н. К. Посушливі явища (бездощовий період, суховій, посуха). *Клімат України: колективна монографія* / за ред. В. М. Липінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. К.: Вид-во Раєвського, 2003. С. 233-245.
2. Дмитренко В. П. Посушливі явища. *Погода, клімат і урожай польових культур: монографія* / В. П. Дмитренко ; НАН України, Укр. наук.-дослід. гідрометеорол. ін-т. К.: Ніка-Центр, 2010. С. 328-358.
3. Логвинов К. Т., Сакали Л. И, Дайгот Л. С. Оценка степени засушливости вегетационного периода. *Особенности засухи 1972 г. на Украине: монография* / под ред. К. Т. Логвинова. Л.: Гидрометеиздат, 1973. С. 25-29.
4. Мартазинова В. Ф., Сведлик Т. А. Крупномасштабная атмосферная циркуляция XX столетия, ее изменение и современное состояние. *Тр. УкрНИГМИ*. 1998. Вып. 246. С. 21-27.
5. Мартазинова В. Ф., Сологуб Т. А. Атмосферная циркуляция, формирующая засушливые



условия на территории Украины в конце XX столетия. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2000. Вип. 248. С. 36-47.

6. *Рибченко Л. С.* Перетворення радіаційного режиму в період посухи. *Вісник Київ. Нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка: Фізична географія та геоморфологія*. 2006. Вип. 50. С. 34-139.

7. *Рибченко Л. С.* Зміна радіаційного режиму в умовах сучасної посухи в Україні. *Укр. Геогр. журн.* 2007. № 1. С. 14-19.

8. *Рибченко Л. С. Савчук С. В.* Радіаційний режим в умовах інтенсивних засух 2001-2010 рр. в Україні. *Укр. геогр. журн.* 2013. № 1. С. 5-11. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2013.01.005> . URL: [https://ukrgeojournal.org.ua/sites/default/files/UGJ\\_2013\\_1\\_05-11.pdf](https://ukrgeojournal.org.ua/sites/default/files/UGJ_2013_1_05-11.pdf) (дата звернення: 25.04.2023).

9. *Мартязинова В. Ф., Остапчук В. В., Иванова Е. К., Прохоренко В. М.* Характер изменения среднесуточной температуры воздуха на территории Украины в последние десятилетия и физико-статистический метод его прогноза с длительной заблаговременностью. *Тр. УкрНИГМИ*. 1999. Вып. 247. С. 36-48.

## References

1. *Dmytrenko V. P, Strokach N. K.* Posushlyvi yavyshcha (bezdoschchovy period, sukhovii, posukha) [Drought phenomena (dry season, dry wind, drought)]. *Klimat Ukrainy: kolektyvna monohrafiia [Climate of Ukraine: collective monograph]* / za red. V. M. Lipinskoho, V. A. Diachuka, V. M. Babichenko. K.: Vyd-vo Raievskoho, 2003. S. 233-245.

2. *Dmytrenko V. P.* Posushlyvi yavyshcha [Drought phenomena]. *Pohoda, klimat i urozhai polovykh kultur: monohrafiia [Weather, climate and field crop: a monograph]* / V. P. Dmytrenko ; NAN Ukrainy, Ukr. nauk.-doslid. hidrometeorol. in-t. K.: Nika-Tsentr, 2010. S. 328-358.

3. *Logvinov K. T., Sakali L. I., Dajgot L. S.* Ocenka stepeni zasushlivosti vegetacionnogo perioda [Degree of dryness assessment during the vegetation period]. *Osobennosti zasuhi 1972 g. na Ukraine: monografija [Features of the 1972 drought in Ukraine: a monograph]* / pod red. K. T. Logvinova. L.: Gidrometeoizdat, 1973. S. 25-29.

4. *Martazinova V. F., Svedlik T. A.* Krupnomasshtabnaja atmosfernaja cirkulacija XX stoletija, ee izmenenie i sovremennoe sostojanie [Large-scale atmospheric circulation in the twentieth century, its changes and the present state]. *Tr. UkrNIGMI*. 1998. Vyp. 246. S. 21-27.

5. *Martazinova V. F., Sologub T. A.* Atmosfernaja cirkulacija, formirujushhaja zasushlyve uslovija na territorii Ukrainy v konce XX stoletija [The atmospheric circulation forming dry conditions in Ukraine in the late twentieth century]. *Nauk. pratsi UkrNDHMI*. 2000. Vyp. 248. S. 36-47.

6. *Rybchenko L. S.* Peretvorennia radiatsiinoho rezhymu v period posukhy [Conversion of the radiation regime during a drought]. *Visnyk Kyiv. Nats. un-tu im. Tarasa Shevchenka: Fizychna heohrafiia ta heomorfolohiia*. 2006. Vyp. 50. S. 34-139.

7. *Rybchenko L. S.* Zmina radiatsiinoho rezhymu v umovakh suchasnoi posukhy v Ukraini [Radiation regime change under the current drought in Ukraine]. *Ukr. Heohr. zhurn.* 2007. № 1. S. 14-19.

8. *Rybchenko L. S. Savchuk S. V.* Radiatsiinyi rezhym v umovakh intensyvnykh zasukh 2001-2010 rr. v Ukraini [Radiation regime under the condition of intense droughts 2001-2010 in Ukraine]. *Ukr. heohr. zhurn.* 2013. № 1. S. 5-11. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2013.01.005> . URL: [https://ukrgeojournal.org.ua/sites/default/files/UGJ\\_2013\\_1\\_05-11.pdf](https://ukrgeojournal.org.ua/sites/default/files/UGJ_2013_1_05-11.pdf) (data zvernennia: 25.04.2023).

9. *Martazyanova V. F., Ostapchuk V. V., Yvanova E. K., Prokhorenko V. M.* Kharakter yzmenenya srednesutochnoi temperatury vozdukha na terrytoryy Ukrainy v poslednye desiatyletya y fyzyko-statystycheskyi metod eho prohnoza s dlytelnoi zablavovremennostiu [Character of daily average temperature changes in Ukraine in recent decades and physical-statistical method of its forecasting long in advance]. *Tr. UkrNYHMY*. 1999. Vyp. 247. S. 36-48.

### **Components of the radiation regime of solar radiation during droughts for 1991-2020 in Ukraine Rybchenko L.S., Savchuk S.V.**

*Changes in the components of the radiation regime of solar radiation during periods of intense droughts and their comparison with average values for 1991-2020 in Ukraine are given.*

*Drought is a complex and dangerous natural phenomenon caused by the anticyclonic nature of the atmospheric circulation, the long-term transformation of slow-moving air masses over large areas. A complex of dynamic processes leads to its development. They are facilitated by an increased supply of short-wave radiation, high air temperature, a rainless period, and a lack of moisture in the air and soil.*

*The archive of measurements of the meteorological and actinometric network of observations of the Borys Sreznivskiy CGO of the SES of Ukraine was used. A database of observations of individual components of the radiation regime of solar radiation and a catalog of droughts has been created. Droughts of different intensity and duration during the growing seasons for 1991-2020 were determined.*

*The change in atmospheric circulation led to an increase in clear and cloudless weather, changes in the arrival of components of the radiation regime of solar radiation to the substratum. The biggest changes were in the warm period. In 1991-2020, relative to 1961-1990, the duration of sunshine, direct and total solar radiation increased during the year, and diffuse radiation decreased.*

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2023. № 2 (68)

*During 1991-2020, droughts were observed for 22 years, including 17 growing seasons throughout the territory. They differed in types (air, air-ground, ground), duration, distribution. Prerequisites for the development of droughts were observed in some cold periods. In particular, droughts. observed in November, February-March. In the warm period, intense droughts were observed for short periods of time (less than a month) in some areas and powerful, long-lasting ones in the prevailing area.*

*In certain months of the growing season during droughts, significant deviations of individual components of solar radiation compared to the average for 1991-2020 were observed throughout the country. Usually, during dry periods, the duration of sunshine and direct solar radiation increased significantly, diffuse radiation decreased, so the total radiation did not always increase. An increase in individual components of the radiation regime led to an increase in the total radiation balance and albedo of the underlying surface. The research is part of the monitoring of climate anomalies. They are necessary for solving applied problems of adapting agricultural production to permanent and long-term droughts in a large area.*

**Key words:** radiation regime of solar radiation; intense drought.

**Надійшла до редколегії 20.05.2023**

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

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

### **Наукова тематика збірника:**

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

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

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

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

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

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

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

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

### **Оформлення рукопису статті:**

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

УДК - кегль 11;  
через інтервал - прізвище, ініціали автора – кегль 11, напівжирний, *нахилений*;  
назва установи - кегль 10, *нахилений*;  
через інтервал - назва статті (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/дм<sup>3</sup> (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:

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

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

- назва статті (кегель 9, напівжирний),
- прізвище та ініціали автора/ів (кегель 9, напівжирний, *нахилений*);
- розширений текст анотації англійською (2000 знаків без пробілів (кегель 9, *нахилений*);
- 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 представлено в редакції*).

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

Іл. 2. Табл. 3. Бібліогр.: 12 назв.

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

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

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

Наукове видання

# ГІДРОЛОГІЯ, ГІДРОХІМІЯ І ГІДРОЕКОЛОГІЯ

Періодичний науковий збірник

**2023 рік**

**№ 2 (68)**

*Збережено авторський стиль та орфографію*

Комп'ютерна верстка – Москаленко С.О.

Підписано до друку 04.07.2023  
Формат 60x90/8. 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](mailto:vgl_obrii@ukr.net)

ISSN:2306-5680 Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2023. № 2 (68)