No 1 | 2023

ISSN (print) 2786-9415
ISSN (online) 2786-9423

МЕТЕОРОЛОГІЯ
ГІДРОЛОГІЯ
МОНІТОРИНГ ДОВКІЛЛЯ

METEOROLOGY
HYDROLOGY
ENVIRONMENTAL MONITORING

УКРАЇНСЬКИЙ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ ДСНС УКРАЇНИ ТА НАН УКРАЇНИ

МЕТЕОРОЛОГІЯ. ГІДРОЛОГІЯ. МОНІТОРИНГ ДОВКІЛЛЯ

№ 1 (3) • 2023

METEOROLOGY. HYDROLOGY. ENVIRONMENTAL MONITORING

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief

Volodymyr Osadchyi,
D.Sci. in Geography,
Corr. member of the NAS of Ukraine

Deputy Editors-in-Chief

Yuriy Ilyin, *D.Sci. in Geography*
Yurii Nabyvanets, *Ph.D.*
Oleksii Shevchenko, *D.Sci. in Geology*

Responsible secretary

Yuliia Chornomorets, *Ph.D.*

Members of Editorial Board

Vira Balabukh, *Ph.D.*
Oleg Voitsekhovych, *Ph.D.*
Liudmyla Gorbachova, *D.Sci. in Geography*
Vasyl Grebin', *D.Sci. in Geography*
Svitlana Krakovska, *Ph.D.*
Oleksii Kryvobok, *Ph.D.*
Peter Linnik, *D.Sci. in Chemistry*
Vazira Martazinova, *D.Sci. in Phys.&Math.*
Oleksandr Obodovskyi, *D.Sci. in Geography*
Valeriya Ovcharuk, *D.Sci. in Geography*
Natalia Osadcha, *D.Sci. in Geography*
Valentyn Protsak, *Ph.D.*
Mykhailo Savenets, *Ph.D.*
Viktor Samoilenko, *D.Sci. in Geography*
Oleg Skrynyk, *Ph.D.*
Sergiy Snizhko, *D.Sci. in Geography*
Valentyn Khilchevskyi, *D.Sci. in Geography*
Valeriy Khokhlov, *D.Sci. in Geography*
Olga Shevchenko, *D.Sci. in Geography*
Vitalii Shpyg, *Ph.D.*

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор

В.І. Осадчий,
д.геогр.н., професор,
член-кореспондент НАН України

Заступники головного редактора

Ю.П. Ільїн, *д.геогр.н.*
Ю.Б. Набиванець, *к.геогр.н.*
О.Л. Шевченко, *д.г.н.*

Відповідальний секретар

Ю.О. Чорноморець, *к.геогр.н.*

Члени редколегії

В.О. Балабух, *к.геогр.н.*
О.В. Войцехович, *к.геогр.н.,*
Л.О. Горбачова, *д.геогр.н., професор*
В.В. Гребінь, *д.геогр.н., професор*
С.В. Краковська, *к.ф.-м.н.*
О.А. Кривобок, *к.геогр.н.,*
П.М. Линник, *д.х.н., професор*
В.Ф. Мартазінова, *д.ф.-м.н., професор*
О.Г. Ободовський, *д.геогр.н., професор*
В.А. Овчарук, *д.геогр.н., професор*
Н.М. Осадча, *д.геогр.н., професор*
В.П. Процак, *к.т.н,*
М.В. Савенець, *к.геогр.н.*
В.М. Самойленко, *д.геогр.н., професор*
О.Я. Скриник, *к.ф.-м.н.*
С.І. Сніжко, *д.геогр.н., професор*
В.К. Хільчевський, *д.геогр.н., професор*
В.М. Хохлов, *д.геогр.н., професор*
О.Г. Шевченко, *д.геогр.н.*
В. М. Шпиг, *к.геогр.н.*

КИЇВ • 2023

УДК 551.5; 556.16; 504.06

ISSN (PRINT) 2786-9415
ISSN (ONLINE) 2786-9423

Рекомендовано до друку

Вченою Радою Українського
гідрометеорологічного інституту
ДСНС України та НАН України
(протокол № 3 від 25.04.2023 р.)

Свідоцтво
про державну реєстрацію
друкованого засобу
масової інформації
серія КВ № 25082–15022Р

Видання представлене
у розділі наукової періодики
на сайті Національної бібліотеки
ім. В.І. Вернадського

МЕТЕОРОЛОГІЯ • ГІДРОЛОГІЯ • МОНІТОРИНГ ДОВКІЛЛЯ

Київ. 2023. № 1 (3). 64 с.

Засновник та видавець
УКРАЇНСЬКИЙ
ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ДСНС УКРАЇНИ ТА НАН УКРАЇНИ

Журнал засновано
25 листопада 2021 року.
Виходить 2 рази на рік.

Адреса редакції:
Україна, проспект Науки, 37, Київ, 03028
e-mail: journal@uhmi.org.ua

Editorial office address
37, Prospect Nauky, Kyiv, 03028, Ukraine
e-mail: journal@uhmi.org.ua

Відповідальний редактор:
Олексій Шевченко

Responsible editor:
Oleksii Shevchenko

Дизайн обкладинки:
Катерина Сурай

Cover design:
Kateryna Surai

Підписано до друку 25.04.2023 р. Формат 60×84/8. Друк офсетний. Папір крейдований.
Ум. друк. арк. 7,44. Наклад 100 прим. Зам. № УГІ–03–23.

Оригінал-макет та друк ТОВ "ДІА": 03022, Київ–22, вул. Васильківська, 45

Цілковите або часткове розмножування в будь-який спосіб матеріалів,
опублікованих у цьому виданні, допускається лише з письмового дозволу видавця.

© Український гідрометеорологічний інститут, 2023

ЗМІСТ CONTENTS

КЛІМАТОЛОГІЯ

Рибченко Л.С., Савчук С.В. 4
Сонячна радіація при посухах холодного періоду року за 1991–2020 рр. в Україні

ПРИКЛАДНА МЕТЕОРОЛОГІЯ

Киреєва З.М., Скриник О.А., Паламарчук Л.В. 14
Гомогенізація часових рядів опадів: основні сучасні підходи та програмні засоби

Сіденко В.П., Кравченко І. І., КиреєваЗ.М., Пінчук Д.Б. 27
Порятунок даних (data rescue) та контроль якості добових часових рядів температури повітря (середньої, максимальної та мінімальної) та атмосферних опадів України

ЧИСЛОВІ МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ В ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЇ

Шевченко О.Л. 36
Логічно-апріорний аналіз в гідрогеологічних дослідженнях

ГІДРОЛОГІЯ СУХОДОЛУ

Розлач В.О., Христюк Б.Ф. 45
Коефіцієнти теплового потоку у довгостроковому прогнозуванні строків появи льодових явищ на водосховищах річки Дніпро

НАУКОВІ ГІПОТЕЗИ ТА ДИСКУСІЇ

Зеленський О.Ю., Скорбун А.Д., Сплошной Б.М., Шевченко О.Л., Шпиг В.М. 54
Чи є кореляції доказом того, що зміни швидкості лічення сигналів радіоактивного розпаду обумовлені змінами температури?

CLIMATOLOGY

Rybchenko L.S., Savchuk S.V. 4
Solar radiation during cold season drought for the years 1991–2020 in Ukraine

APPLIED METEOROLOGY

Kyreieva Z.M., SkrynykO. A., Palamarchuk L.V. 14
Homogenization of precipitation time series: main modern approaches and software tools

Sidenko V.P., Kravchenko I.I., Kyreieva Z.M., Pinchuk D.B. 27
Data rescue and quality control of daily time series of air temperature (mean, maximum and minimum) and atmospheric precipitation in Ukraine

NUMERICAL METHODS AND MODELS IN HYDROMETEOROLOGY

Shevchenko O.L. 36
Logical-apriori analysis in hydrogeological research

LAND HYDROLOGY

Rozlach V.O., Khrystiuk B.F. 45
Heat flow coefficients at the long-term forecasting of the ice phenomena appearance dates at the Dnipro cascade reservoirs

SCIENTIFIC HYPOTHESES AND DISCUSSIONS

Zelenskyi O.Iu., Skorbun A.D., Sploshnoi B.M., Shevchenko O.L., Shpyh V.M. 54
Can correlations be an evidence, that changes in the count rate of radioactive decay signals are due to changes in temperature?

Л.С. Рибченко
ORCID: 0009–0007–6517–3630
L.S.Rybchenko@gmail.com
С.В. Савчук
ORCID: 0009–0007–7861–9419
svetlanasvs120676@gmail.com

Український гідрометеорологічний інститут Державної служби України з надзвичайних ситуацій та Національної академії наук України, Київ, Україна

УДК 551.580

СОНЯЧНА РАДІАЦІЯ ПРИ ПОСУХАХ У ХОЛОДНИЙ ПЕРІОД РОКУ ПРОТЯГОМ 1991–2020 РР. В УКРАЇНІ

Через особливий стан атмосфери з антициклональним характером атмосферної циркуляції та трансформації малорухомих повітряних мас на значних територіях Атлантико-Європейського сектору у холодний період року, почали фіксуватися посухи або передумови до них, зокрема на більшій частині території України. Мета роботи — оцінка змін складових режиму сонячної радіації при посухах чи їх передумовах у холодний період року протягом 1991–2020 рр. в Україні. Наведено зміни складових радіаційного режиму при посухах або передумовах до них під час холодного періоду та їх порівняння відносно середніх значень 1991–2020 рр. в Україні. У певні місяці холодного періоду спостерігались відхилення окремих складових радіаційного режиму протягом останнього тридцятиріччя відносно стандартної кліматичної норми 1961–1990 рр. У холодний період вказаного проміжку часу при посухах або передумовах до них спостерігалися збільшення тривалості сонячного сяйва, прямої та сумарної сонячної радіації, що супроводжувалися зниженням розсіяної радіації. Виконані дослідження є вагомими для напрямку моніторингу аномалій кліматичних змін, що визначають вирішення прикладних завдань, зокрема адаптації сільськогосподарського виробництва в умовах посух або передумов до них протягом холодного періоду року.

Ключові слова: *радіаційний режим, сонячна радіація, посухи холодного періоду.*

ВСТУП

Посуха є складним природним явищем, що зумовлене значним періодом збільшення тривалості сонячного сяйва, прямої сонячної радіації, температури повітря за умов нестачі вологи у повітрі та ґрунті. У холодний період року це створює несприятливі передумови для розвитку сільськогосподарського виробництва [1–9].

В умовах зміни атмосферної циркуляції подібні процеси призводять до збільшення ясної та малохмарної погоди, відбувається зростання тривалості сонячного сяйва (ТСС) та потоку прямої сонячної радіації, що викликає зміни у надходженні потоків короткохвильової радіації, перерозподіл складових сумарної радіації, та одночасне збільшення енергетичних можливостей підстильної поверхні.

Згідно з каталогом 1991–2020 рр. посухи різної інтенсивності та тривалості відзначаються протягом більшості вегетаційних періодів. Проте характерною особливістю періоду 1991–2020 рр. є поява передумов або виникнення посух, що формуються у холодний період року. Для підтвердження наявності таких явищ необхідно проводити розрахунки перетворення складових радіаційного режиму відносно середніх показників.

Результати досліджень посух на території країни є предметом чисельних наукових робіт щодо оцінки ступеня посушливості, впливу посух у окремі періоди вегетації на стан і розвиток сільськогосподарських рослин. Розглянуто причини виникнення посух і зміни метеорологічних показників відносно середніх значень [10–11]. З метою представлення просторового розподілу основних характеристик посух в роботі побудовано карти окремих складових радіаційного режиму у визначені посушливі періоди.

Метою проведених досліджень є оцінка змін складових радіаційного режиму при посухах чи передумовах до них за холодний період року (листопад–березень) протягом 1991–2020 рр. в Україні.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для проведення дослідження використано архів результатів вимірювань метеорологічної й актинометричної мережі спостережень ЦГО ім. Б. Срезневського ДСНС України. Створено каталог і базу даних спостережень за окремими складовими режиму сонячної радіації. Проведено розрахунки на підставі методів математичної статистики та здійснено

картографування просторово-часового розподілу окремих складових радіаційного режиму для території країни при посухах.

Відповідно "Оглядів погоди та стихійних метеорологічних явищ на території України" Українського гідрометеорологічного центру, Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського ДСНС України визначено передумови та посухи, що спостерігались протягом холодного періоду 1991–2020 рр. Неоднозначна зміна середніх кліматологічних значень складових режиму сонячної радіації зумовлена різним ступенем надходження окремих складових короткохвильової радіації до рівня підстильної поверхні, що істотно впливає на перезимівлю та подальший розвиток рослин сільськогосподарського виробництва.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Зміна атмосферної циркуляції призвела до збільшення ясної та малохмарної погоди у 1991–2020 рр. і стала причиною зростання тривалості сонячного сяйва та прямої сонячної радіації з одночасним зменшенням розсіяної радіації. Це призвело до підвищення температури повітря при значному дефіциті опадів і зумовило формування посушливих явищ, що не спостерігались і не були типовими для значної частини територій країни протягом 1961–1990 рр.

З 1991 по 2020 рр. фіксувалися періоди формування посушливих явищ або передумови до них у деякі місяці холодного періоду року.

Передумови до посух відзначались у березні-квітні 2004 р., коли на більшій частині території спостерігався значний брак опадів та збільшувалась температура повітря.

У лютому–березні 2011 р., внаслідок значного дефіциту опадів, виникали передумови розвитку посух на переважній частині території країни.

У січні 2014 р. на півдні, у Степовій зоні та в АР Крим, недостатня кількість опадів сприяла початку посушливих явищ.

З другої половини березня 2015 р. розпочалась ранньовесняна ґрунтова посуха у більшості областей країни, особливо на півдні та сході.

У березні–квітні 2020 р. розвивалася повітряно-ґрунтова посуха на значній частині території України.

У вересні-листопаді 2011 р. фіксувалася ґрунтова посуха АР Крим і південно-східній частині України при дефіциті ефективних опадів (кількість опадів становила 20–60% норми), зниження запасів продуктивної вологи до незадовільних значень. У вересні та у першій половині листопада 2015 р. відмічалась повітряно-ґрунтова посуха у Полтавській, Дніпропетровській, Харківській, на більшій частині Запорізької, Херсонської та Миколаївської областей за тривалого дефіциту опадів.

Згідно з виконаними розрахунками протягом теплого періоду року до підстильної поверхні надходить переважна більшість короткохвильової радіації.

У 80–90-х рр. XX ст. та у 20 рр. XXI ст. відбулась зміна щодо надходження складових сумарної сонячної радіації. Сума прямої сонячної радіації за рік, зокрема у холодний період упродовж 1961–2020 рр., зростала на переважній частині території із півночі на південь, що засвідчують результати спостережень на окремих актинометричних станціях України (*рис. 1*).

Зростання розпочалось із 80-х рр. XX ст. і продовжується в XXI ст., незважаючи на досить поступове збільшення прямої радіації у холодний період, порівняно з річними сумами, необхідно зауважити, що ця тенденція не припиняється.

Річна сума розсіяної сонячної радіації, зокрема за холодний період впродовж 1961–2020 рр. поступово зменшувалася на переважній частині територій, в чому переконують результати спостережень (*рис. 2*).

Таке зменшення зафіксоване з середини 80-х рр. XX ст і триває в XXI ст. Тобто, зменшення розсіяної радіації збігається з періодом збільшення надходження прямої радіації. Це є підтвердженням зміни атмосферної циркуляції, що призвело до зростання ясної та малохмарної погоди та зміни умов надходження сонячної радіації до підстильної поверхні.

На *рис. 3* представлене відхилення тривалості сонячного сяйва в окремі місяці холодного періоду року при посухах або передумовах до посух відносно багаторічних значень протягом 1991–2020 рр. на території України.

Відхилення мали різну направленість тривалості сонячного сяйва при окремих посухах або їх передумовах відносно середніх багаторічних значень. Найбільше додатнє відхилення ТСС відносно середніх значень 1991–2020 рр. спостерігалось у березні 2011 р. і березні 2020 р. по всій території країни. У березні 2004 р. додатнє відхилення зафіксоване на півдні, у Степовій зоні. У лютому 2011 р. додатнім було відхилення на сході та невеликій території західного регіону. У листопаді 2011 р. незначне додатнє відхилення ТСС спостерігалося переважно по всій території країни. У листопаді 2015 р. досить незначні додатні відхилення відзначались локально у декількох регіонах.

Під час посух або передумов до них протягом холодного періоду фіксувалися відхилення різного

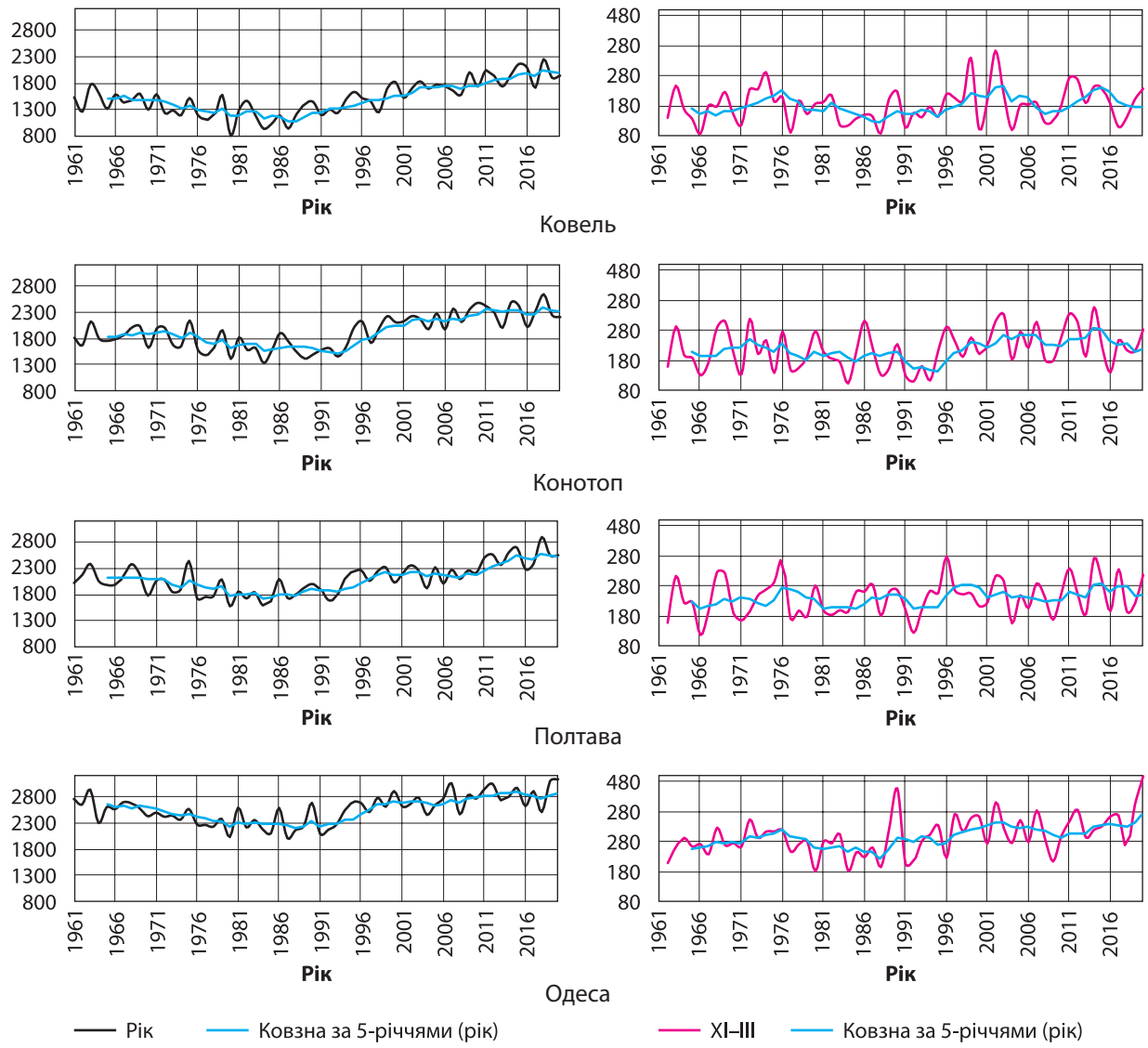


Рис. 1. Зміна суми прямої сонячної радіації (МДж/м^2) за рік та холодний період року впродовж 1961–2020 рр. на актинометричних станціях України

знаку прямої сонячної радіації територією країни відносно середніх значень 1991–2020 рр. (рис. 4).

Згідно з *рисунком 4*, подібно до тривалості сонячного сяйва (*рис. 3*), значні додатні відхилення прямої сонячної радіації при посухах відносно середніх протягом 1991–2020 рр. спостерігались у березні 2011 р. і березні 2020 р. У березні 2004 р. додатні відхилення зафіксовані на півдні, у Степовій зоні. У лютому 2011 р. відзначались на переважній частині територій і найбільшими були на сході країни. У листопаді 2011 р. збільшення щодо норми значення прямої радіації мали місце майже на всій території та дещо більшими були у західному регіоні. У листопаді 2015 р. додатніми відхилення прямої радіації були на наступних частинах території країни: у південно-західному та значно менше у південному та східному напрямку.

Розсіяна сонячна радіація за періоди посух або передумов до них у холодний період року також зазнає значних змін щодо надходження до підстильної поверхні. Це засвідчує відхилення цієї складової радіаційного режиму при посухах відповідно до середніх значень 1991–2020 рр. в Україні (*рис. 5*).

Відхилення розсіяної сонячної радіації у холодний період були неоднозначними за спрямуванням для різних наведених термінів на території країни та зазвичай протилежним за знаком щодо тривалості сонячного сяйва (*рис. 3*) і прямої радіації (*рис. 4*). Найбільші від'ємні відхилення розсіяної радіації територією спостерігались у березні 2011 р. й березні 2020 р., проте не на всій території, як це відзначалось зі тривалістю сонячного сяйва й прямою радіацією. На значній частині країни, особливо у центральному регіоні спостерігалися додатні від-

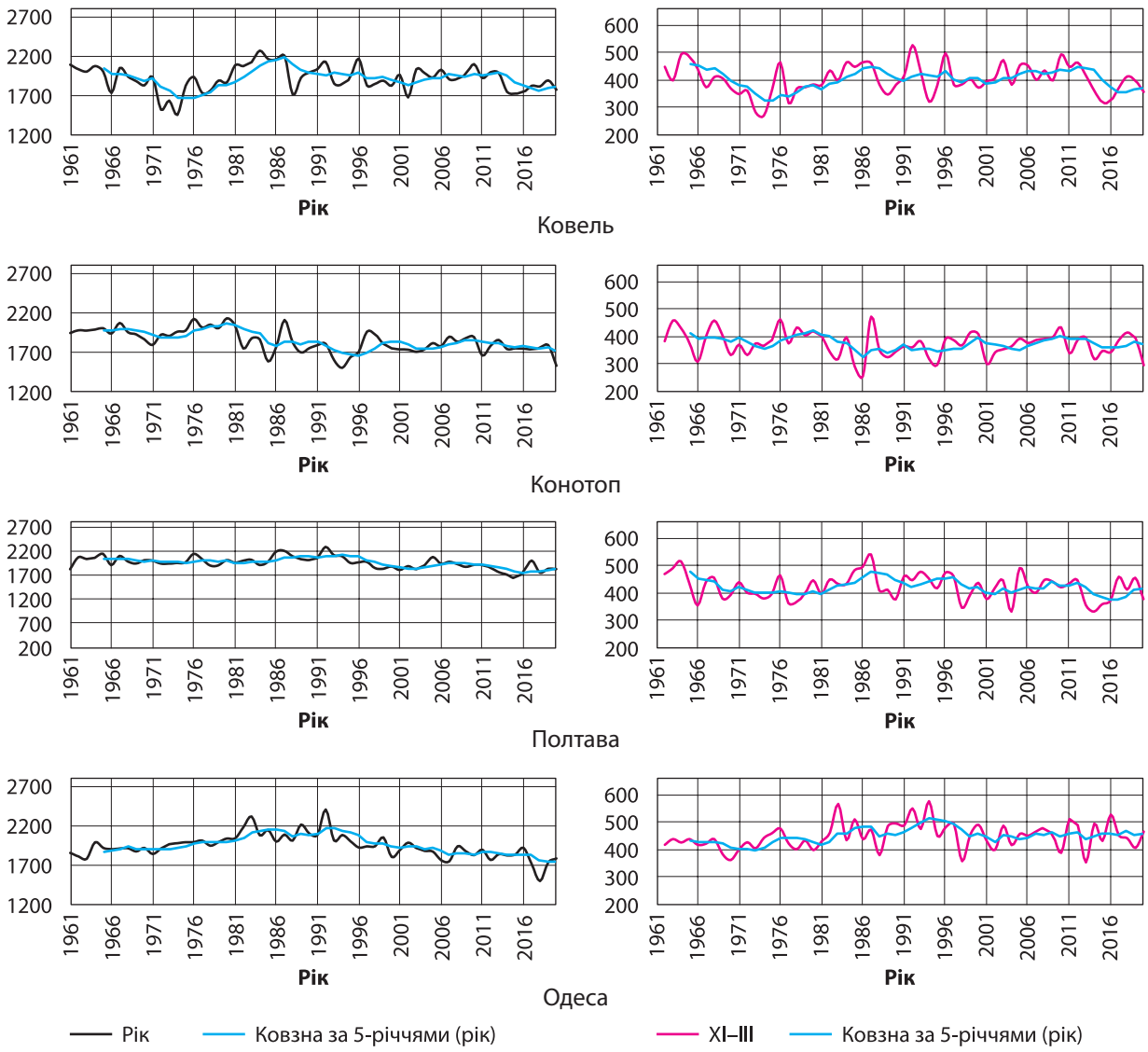


Рис. 2. Зміна суми розсіяної сонячної радіації (МДж/м^2) за рік та холодний період року впродовж 1961–2020 рр. на актинометричних станціях України

хилення розсіяної радіації. У інші наведені місяці холодного періоду також відмічались додатні та від'ємні відхилення розсіяної радіації для окремих регіонів. Однак, у березні 2004 р. і у лютому 2011 р. від'ємні відхилення займали значно більші площі, ніж у листопаді 2011 р. й у листопаді 2015 р.

Сумарна сонячна радіація у періоди посух або передумов до них за холодний період також зазнала істотних змін щодо надходження до підстильної поверхні. Це засвідчують відхилення сумарної радіації при посухах відповідно до її середніх багаторічних значень 1991–2020 рр. (*рис. 6*).

Згідно з *рисунком 6*, додатні відхилення сумарної сонячної радіації за окремих періодів з посухами або передумовами до них у холодний період року відносно середньої багаторічної 1991–2020 р. були значно виразнішими, ніж для раніше представлених окремих складових радіаційного режиму. При тому, що найбільшого впливу на просторовий розподіл її змін стосовно середньої мали тривалість сонячного сяйва і пряма сонячна радіація (*рис. 3–4*).

Найбільші додатні відхилення сумарної радіації при посухах спостерігались у березні 2011 р. й березні 2020 р. Дещо меншими вони були у листопаді 2011 р. У лютому 2011 р. додатні її відхилення при посухах відзначались на більшості територій країни, окрім регіонів заходу та півдня. У листопаді 2015 р. невеликі додатні відхилення характерні для дещо більшої частини країни, окрім західної та східної. Найменшими додатні відхилення за посух на теренах держави, як і стосовно інших досліджених складових радіаційного режиму, були у березні 2014 р. на півдні, у Степовій зоні.

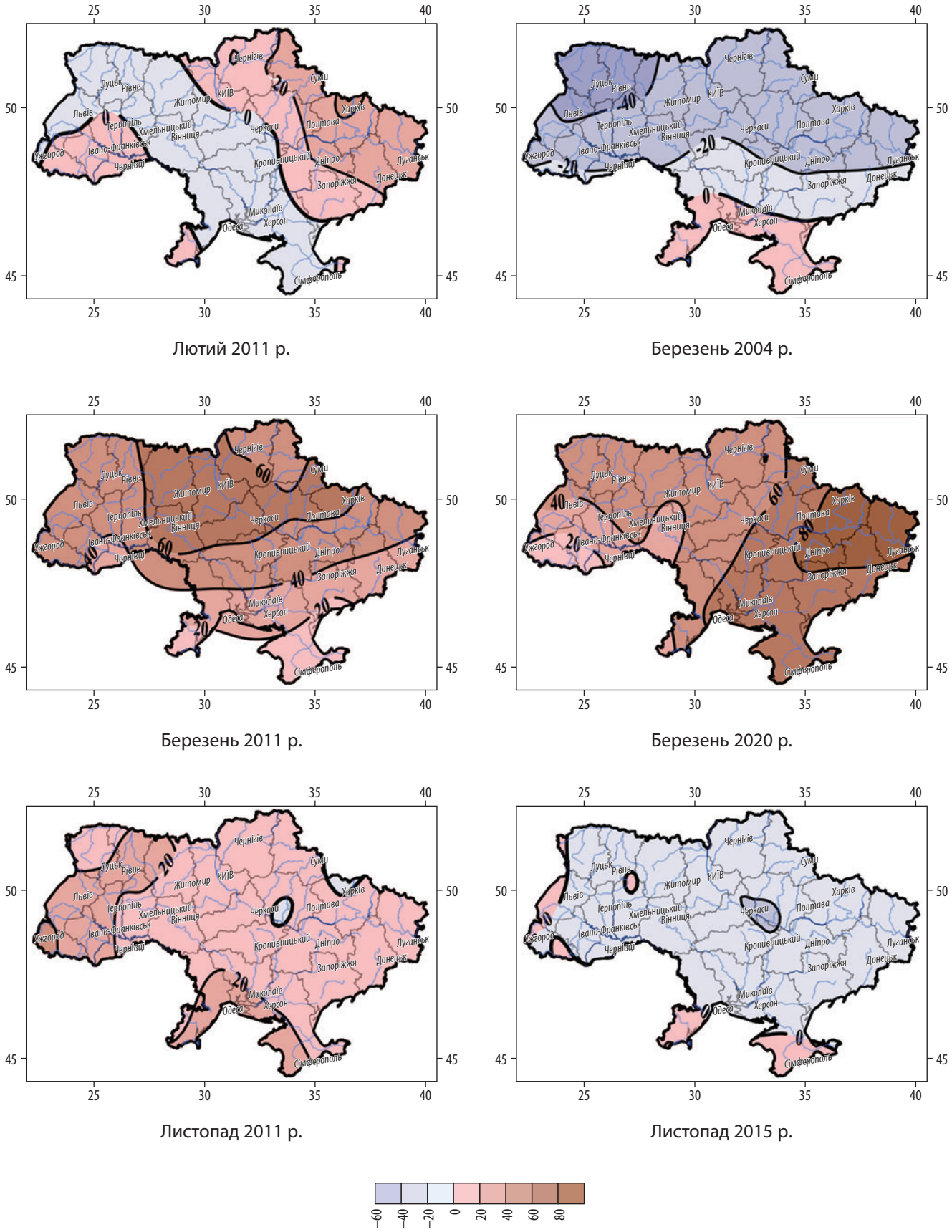
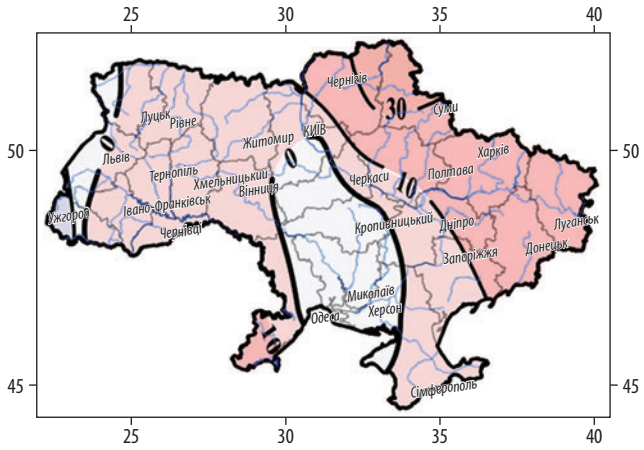
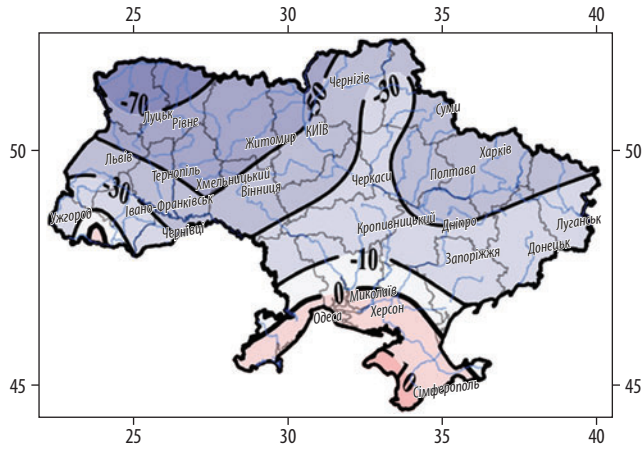


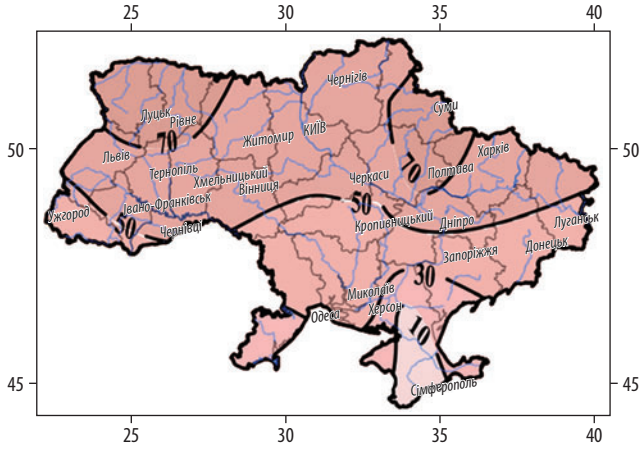
Рис. 3. Відхилення тривалості сонячного сяйва (год) при окремих посухах холодного періоду року відносно багаторічного значення за період 1991–2020 рр. в Україні



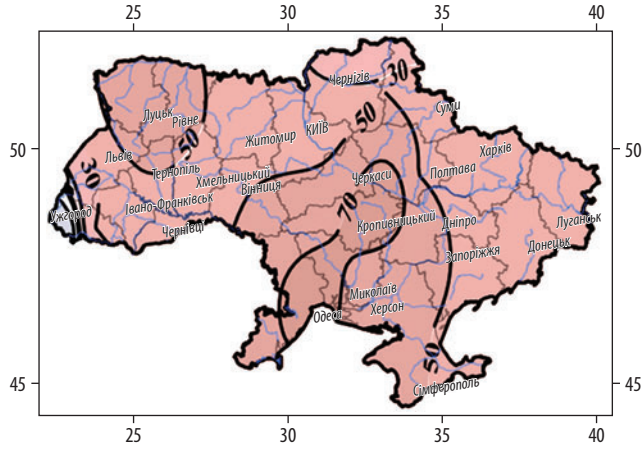
Лютий 2011 р.



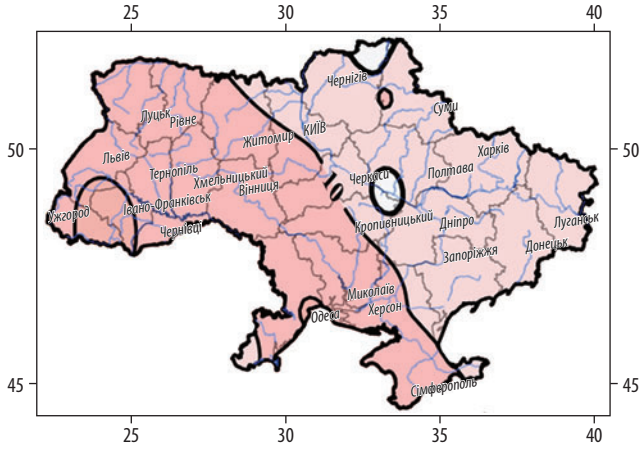
Березень 2004 р.



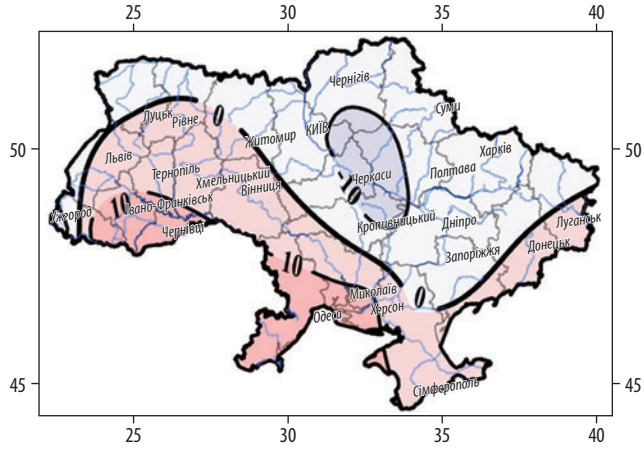
Березень 2011 р.



Березень 2020 р.



Листопад 2011 р.



Листопад 2015 р.

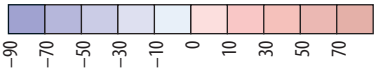


Рис. 4. Відхилення прямої сонячної радіації (МДж/м^2) щодо окремих посух холодного періоду року відносно багаторічних значень за період 1991–2020 рр. в Україні

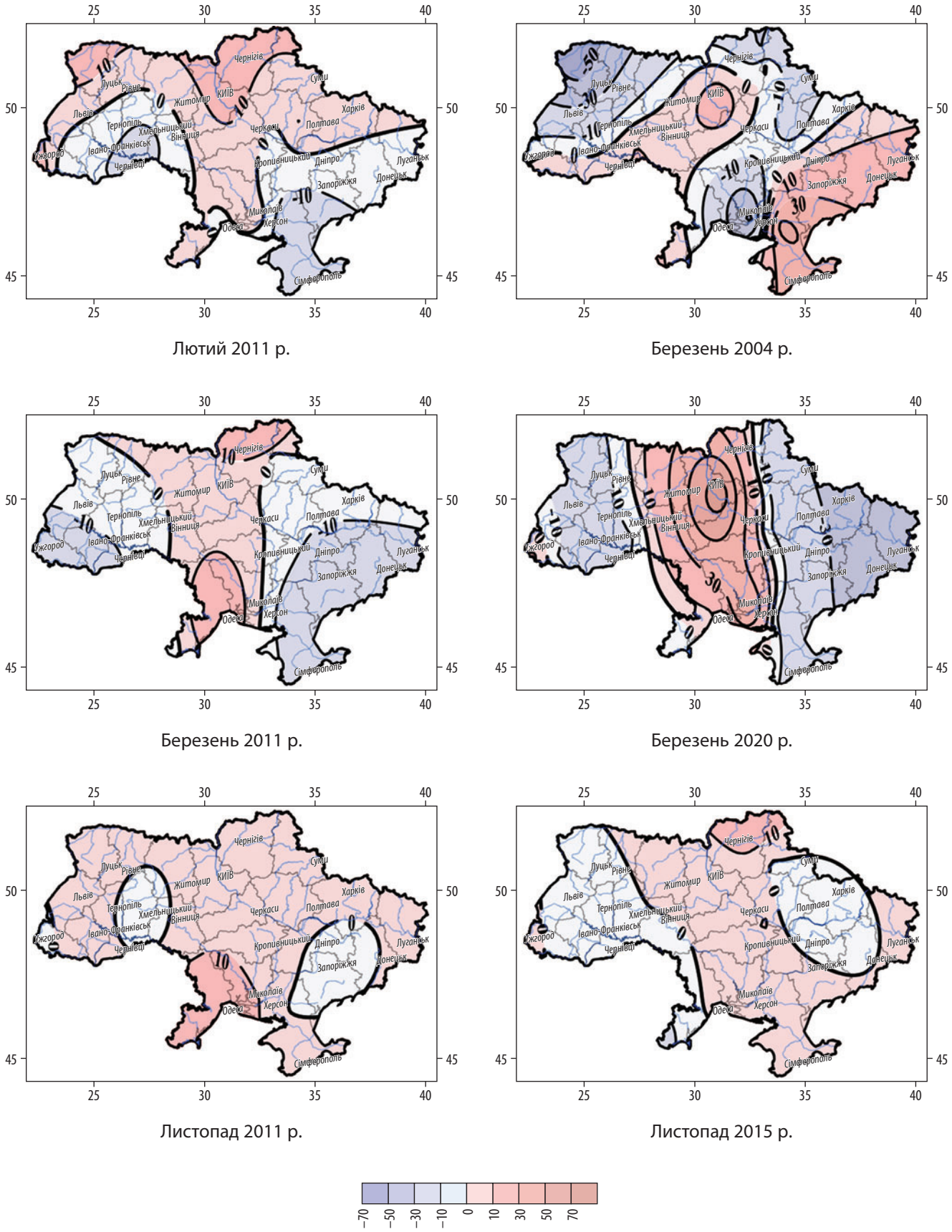
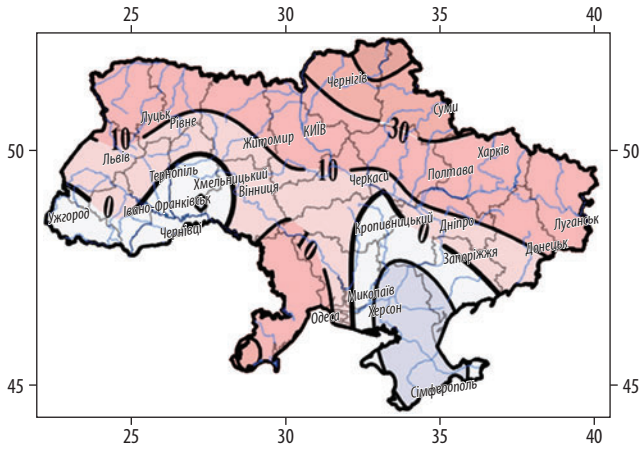
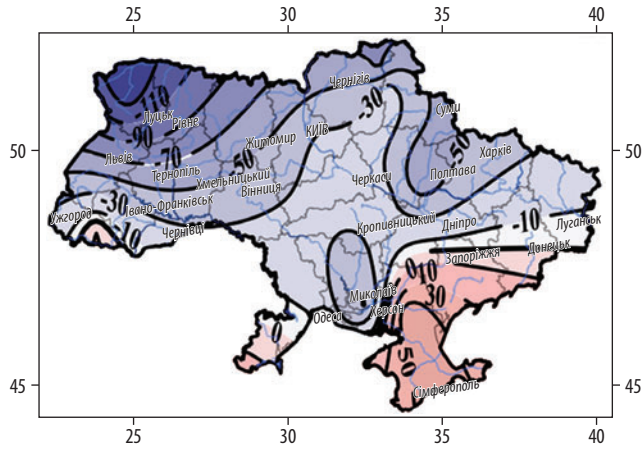


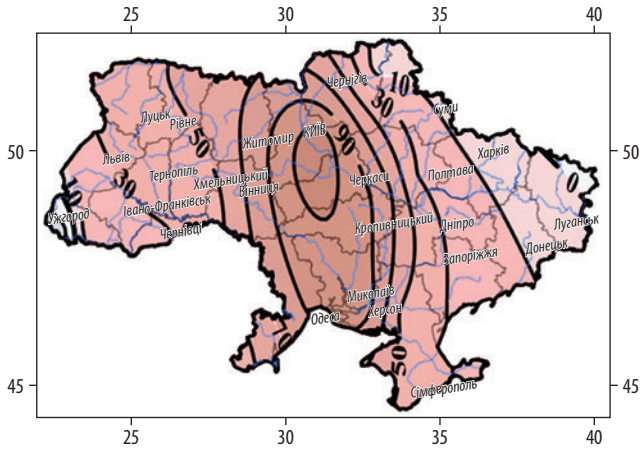
Рис. 5. Відхилення розсіяної сонячної радіації (МДж/м^2) щодо окремих посух холодного періоду року відносно її середнього багаторічного значення за період 1991–2020 рр. на території України



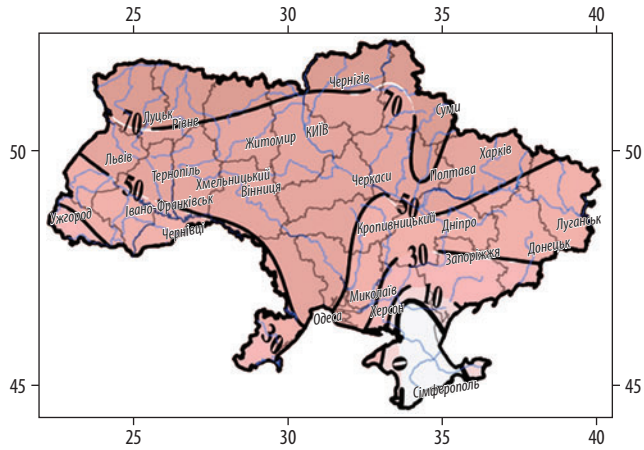
Лютий 2011 р.



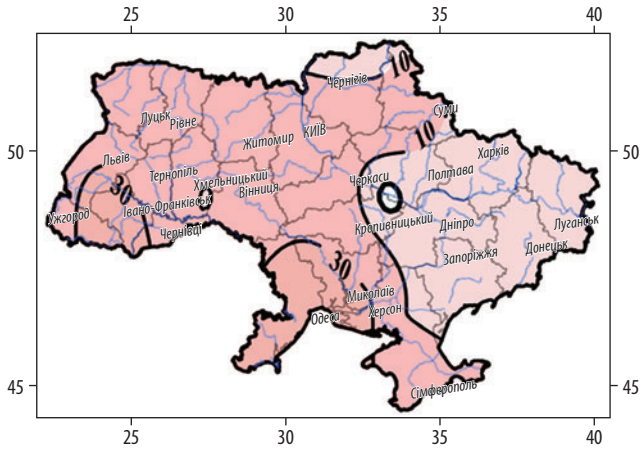
Березень 2004 р.



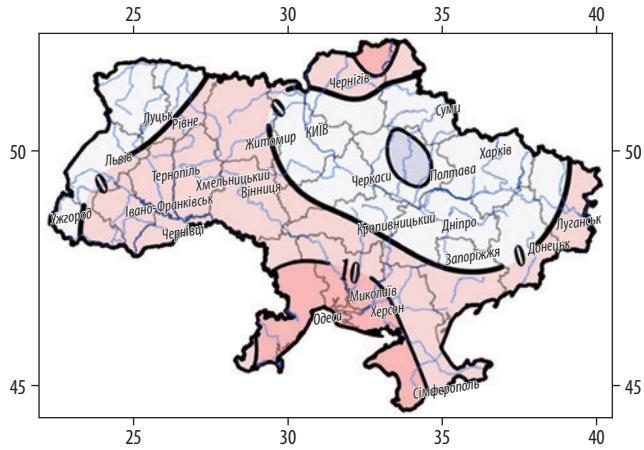
Березень 2011 р.



Березень 2020 р.



Листопад 2011 р.



Листопад 2015 р.

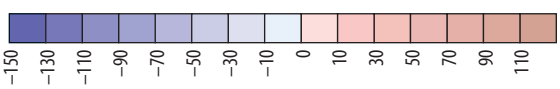


Рис. 6. Відхилення сумарної сонячної радіації (МДж/м^2) щодо окремих посух холодного періоду року відносно її середнього багаторічного значення за період 1991–2020 рр. в Україні

Отже, при посухах у холодний період року відповідно до середніх значень 1991–2020 рр., як і у теплий період, спостерігалось підвищення тривалості сонячного сяйва, прямої та сумарної сонячної радіації. Проте для розсіяної радіації відхилення щодо багаторічних значень були досить неоднозначними для різних досліджуваних строків і не завжди узгоджувались із тими змінами, що спостерігались для тривалості сонячного сяйва, прямої та сумарної сонячної радіації.

Виконані дослідження мають вагоме значення для УкрГМЦ та інших підрозділів ДСНС України та можуть бути використані як основа для складання рекомендацій щодо сталого розвитку економіки галузей, які є найбільш чутливими до посух.

Представлений матеріал фундаментально важливий для моніторингу аномалій кліматичних змін, що визначають вирішення прикладних завдань адаптації сільськогосподарського виробництва в умовах посух або передумов до них.

ВИСНОВКИ

Посушливі явища або передумови до них у холодний період року є наслідком особливого стану атмосфери з антициклональним характером атмосферної циркуляції та трансформацією малорухомих повітряних мас на значних територіях. Завдяки складному комплексу динамічних процесів, який зумовлює розвиток цього явища, відбувається підвищення тривалості сонячного сяйва та короткохвильової радіації, що призводить до підвищення температури повітря у бездощовий період.

Протягом періоду дослідження відзначалася зміна атмосферної циркуляції, яка призвела до збільшення ясної та малохмарної погоди. Зазнали істотних перетворень надходження складових радіаційного режиму до рівня підстильної поверхні у 1991–2020 рр. порівняно з 1961–1990 рр. Спостерігалися збільшення тривалості сонячного сяйва, прямої та сумарної сонячної радіації, що не завжди супроводжувались одночасним зменшенням розсіяної радіації. Такими були зміни протягом теплого періоду 1991–2020 рр. і вони стали характерними навіть для холодного періоду, що не відмічалось раніше. Істотне підвищення тривалості сонячного сяйва, прямої та сумарної сонячної радіації змінює стан підстильної поверхні та призводить до коливання балансу короткохвильової радіації (поглинута радіація), ефективного випромінювання (балансу довгохвильової радіації) та повного радіаційного балансу. В умовах посушливих явищ або передумов до них відбувається перерозподіл витратної частини радіаційного балансу та зростання витрат на турбулентний теплообмін.

Посуха є небезпечним природним явищем, яке досить часто спостерігається за останні тридцять років. У окремі місяці холодного періоду року посухи фіксувались у кінці осені (листопад), наприкінці зими та на початку весни (лютий–березень). Протягом окремих холодних періодів спостерігались передумови, що сприяли виникненню посушливих явищ.

Відповідно до проведених розрахунків з'ясувалося, що у окремі місяці холодного періоду протягом останнього 30-річчя фіксуються роки, коли виникали посухи чи передумови розвитку посух на переважній або значній частині території країни: у березні 2004 р., лютому–березні та листопаді 2011 р., із другої половини березня та у першій половині листопада 2015 р. і у березні–квітні 2020 р.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Дмитренко В.П., Строкач Н.К. Посушливі явища (бездощовий період, суховій, посуха). *Клімат України:* кол. моногр. / за ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ: Вид-во Раєвського, 2003. С. 233–245.
   [Dmytrenko, V.P., Strokach, N.K. (2003). Dry phenomena (rainless period, drought, drought). *Climate of Ukraine:* collective monograph / edited by V.M. Lipinskyi, V.A. Diachuk, V.M. Babichenko. Kyiv: Raevsky Publishing House. 233–245].
2. Дмитренко В.П. Посушливі явища. *Погода, клімат і урожай польових культур:* монографія. Київ: Ніка-центр, 2010. С. 328–358.
   [Dmytrenko, V.P. (2010). Dry phenomena. *Weather, climate and harvest of field crops:* a monograph. Kyiv: Nika Center. 328–358].
3. Логвинов К.Т., Сакали Л.И., Дайгот Л.С. Оценка степени засушливости вегетационного периода. *Особенности засухи 1972 г. на Украине:* кол. моногр. / под ред. К.Т. Логвинова. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1973. С. 25–29.
   [Logvinov, K.T., Sakali, L.I., Daygot, L.S. (1973). Assessment of the degree of aridity of the growing season. *Features of the 1972 drought in Ukraine:* collective monograph / edited by K.T. Logvinov. Leningrad: Gidrometeoizdat. 25–29].
4. Мартазинова В.Ф., Свердлик Т.А. Крупномасштабная атмосферная циркуляция XX столетия, ее изменение и современное состояние. *Тр. УкрНИГМИ*. 1998. **246.** С. 21–27.
   [Martazinova, V.F., Sverdlik, T.A. (1998). Large-scale atmospheric circulation of the 20th century, its changes and current state. *Proceedings of UHMI*. **246.** 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. **248.** С. 36–47.
   [Martazinova, V.F., Sologub, T.A. (2000). Atmospheric circulation that forms arid conditions on the territory of Ukraine at the end of the 20th century. *Scientific Practices of UHMI*. **248.** 36–47].
6. Мартазинова 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. **247.** С. 36–48.
[Martazinova, V.F., Ostapchuk, V.V., Ivanova, Ye.K., Prokhorenko, V.M. (1999). The nature of changes in the average daily air temperature on the territory of Ukraine in recent decades and the physical and statistical method of its forecast with a long lead time. *Proceedings of UHMI*. **247.** 36–48].

7. Рибченко Л.С. Перетворення радіаційного режиму в період посухи. *Фізична географія та геоморфологія*. 2006. **50.** С. 34–39.
[Rybchenko, L.S. (2006). Transformation of the radiation regime in the period of drought. *Physical geography and geomorphology*. **50.** 34–39] [in Ukrainian].
8. Рибченко Л.С. Зміна радіаційного режиму в умовах сучасної посухи в Україні. *Укр. геогр. журн*. 2007. **1.** С. 14–19.
[Rybchenko, L.S. (2007). The change of the radiation regime in the conditions of modern drought in Ukraine. *Ukrainian geographical journal*. **1.** 14–19].
9. 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.
[Rybchenko, L.S., Savchuk, S.V. (2013). Solar radiation regime in the conditions of intensive droughts of 2001–2010 in Ukraine. *Ukrainian geographical journal*. **1.** 5–11. DOI: https://doi.org/10.15407/ugz2013.01.005 (Accessed: 05.12.2023)].
10. Рибченко Л.С., Савчук С.В. Складові радіаційного режиму сонячної радіації при посухах за 1991–2020 рр. в Україні. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. **2 (68).** 2023. С. 63–73. DOI: https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.2.7
[Rybchenko, L.S., Savchuk, S.V. (2023). Components of the radiation regime of solar radiation during droughts for 1991–2020 in Ukraine. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*. **2 (68).** 63–73. DOI: https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.2.7 (Accessed: 05.12.2023)].
11. Рибченко Л.С., Савчук С.В. Сонячна радіація та максимальна температура повітря у періоди інтенсивної засухи 2011–2015 рр. *Часопис картографії*. **1 (20).** 2019. С. 131–144.
[Rybchenko, L.S., Savchuk, S.V. (2019). Solar radiation and maximum air temperature during periods of intense drought 2011–2015. *Journal of cartography*. **1 (20).** 131–144].

Rybchenko Lyudmyla
ORCID: 0009–0007–6517–3630
L.S.Rybchenko@gmail.com

Savchuk Svitlana
ORCID: 0009–0007–7861–9419
svetlanasvs120676@gmail.com

Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine and the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

SOLAR RADIATION DURING COLD SEASON DROUGHT FOR THE YEARS 1991–2020 IN UKRAINE

Drought is a dangerous natural phenomenon that has often been observed during the last thirty years. In certain months of the cold period of the year, droughts were observed at the end of autumn (November), at the end of winter and at the beginning of spring (February–March). The purpose of the work is to evaluate the changes in the components of the radiation regime of solar radiation during droughts or their prerequisites for the cold period of the year in 1991–2020 in Ukraine. During some cold periods, the prerequisites for the development of droughts were noted. The latest in the cold period of the year are droughts or the prerequisites for them, in particular some in the larger territory of Ukraine, which are caused by a special state of the atmosphere with the anticyclonic nature of the atmospheric circulation and the transformation of slow-moving air masses in large areas. According to a complex of dynamic processes that cause the development of this phenomenon, there is an increase in the duration of sunlight and short-wave radiation, which leads to an increase in air temperature during a period without rain or precipitation. In the conditions of changes in atmospheric circulation in 1990–2020 relative to 1961–1990, which led to an increase in clear and cloudless weather, deviations of individual components of the radiation regime of solar radiation were observed in certain months of the cold period. In the cold period of the last three decades, during droughts or the conditions for them, an increase in the duration of sunshine, the flow of direct and total solar radiation was observed, which was accompanied by a decrease in scattered radiation. The set of dynamic processes during droughts or the prerequisites for them leads to an increase in the energy potential of the active surface. Changes in the components of the radiation regime of solar radiation during droughts or prerequisites for them during the cold period of the year and their comparison relative to the average values for the years 1991–2020 in Ukraine are given. The conducted studies are important in the direction of monitoring climate change anomalies, which determine the solution of applied problems of adaptation of agricultural production in conditions of droughts or prerequisites for them during the cold period.

Keywords: *radiation mode, solar radiation, droughts during the cold period.*

З.М. Киреєва[1]
ORCID: 0009–0003–9544–6944
kireeva5687@gmail.com
О.А. Скриник[2,1]
ORCID: 0000–0003–0332–5073
skrynyk@nubip.edu.ua
Л.В. Паламарчук[1]
ORCID: 0000–0001–9906–8870
palamarchuk.l@ukr.net

[1] *Український гідрометеорологічний інститут Державної служби України з надзвичайних ситуацій та Національної академії наук України, Київ, Україна*

[2] *Національний університет біоресурсів і природокористування, Київ, Україна*

УДК 551.583.1+551.577

ГОМОГЕНІЗАЦІЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ ОПАДІВ: ОСНОВНІ СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ

Проаналізовано сучасні програмні продукти, які можуть бути використані для проведення контролю якості та гомогенізації часових рядів метеорологічних величин, зокрема сум атмосферних опадів. Для виконання процедур контролю якості та гомогенізації часових рядів місячних сум опадів обрано програмний продукт HOMER. До переваг використання цієї програми можна віднести можливість для дослідника приймати рішення про підтвердження точок розриву на етапі об'єднаного порівняння (joint detection), що дозволяє враховувати наявну інформацію про природну мінливість значень сум опадів у регіоні та не допускати надмірного згладжування їх величин. Проведено тестування процедури гомогенізації рядів місячних сум опадів метеорологічної мережі протягом 1946–2020 рр. з використанням HOMER. Визначено методичні підходи до виділення ділянок неоднорідностей в часових рядах (точок розриву). Встановлено, що величина амплітуди зсуву в точках розриву може змінюватися в межах 0,1–0,7 (у відносних одиницях стандартного відхилення). Проведено корекцію часових рядів місячних сум опадів за досліджуваний період та розраховано, що їх зміна залежить від величини і знаку амплітуди зміщення і складає 10–20% початкових сум опадів. Розроблені методичні прийоми та підходи до перевірки якості даних та їх гомогенізації з використанням програмного продукту HOMER можуть застосовуватися у подальших дослідженнях опадів.

Ключові слова: *гомогенізація, програмний продукт HOMER, місячні суми опадів, кліматична однорідність даних, точки розриву.*

ВСТУП

Головним джерелом даних для отримання різноманітних кліматичних показників, які використовуються у прогнозуванні змін клімату, оцінюванні впливу стану атмосфери на господарську діяльність та здоров'я людей, прогнозуванні погоди є дані стандартних метеорологічних спостережень, що проводяться на державних метеорологічних мережах. У [40] сформульовані сучасні вимоги Всесвітньої Метеорологічної Організації (ВМО) до якості та способу представлення результатів спостережень для подальшого коректного їх використання у розрахунках, верифікації моделювання та для інших потреб. Дані повинні бути отримані за стандартними методиками з допомогою вчасно каліброваних приладів, пройти перевірку якості. У часових рядах метеорологічних величин заповнюються усі пропуски й далі проводиться процедура гомогенізації. Поля метеорологічних величин у певному регіоні представляють у вигляді просторових сіток з різним розділенням (*gridding*), у вузли сіток інтерполюють дані спостережень станцій метеорологічної мережі. Одна з важливих процедур у наведеному переліку — гомогенізація часових рядів, яка виконується після перевірки на якість отриманих даних.

Гомогенізація метеорологічних рядів — це процес виявлення та корекції аномальних змін у даних спостережень, які спричинені різними чинниками неприродного характеру. До таких можна віднести: перенесення станції в іншу точку спостережень, зміну методики, або приладів для вимірювання, зміну ландшафтного середовища навколо станції і тому подібне [18]. Отримані після гомогенізації ряди величин вважаються кліматично однорідними, тобто такими, що можуть показувати лише зміни і коливання регіонального та глобального клімату.

Процедура гомогенізації метеорологічних даних є важливим і обов'язковим процесом, оскільки дозволяє забезпечити у подальшому якісні та однорідні ряди для розрахунку кліматичних показників та кліматичних індексів.

Для проведення гомогенізації використовується ряд математичних методів та підходів, які змінюються відповідно до розвитку знань та технологій. Можна вважати, що історично процес гомогенізації

кліматичних даних зачинався ще з початком збору інформації про стан атмосфери у XIX сторіччі. У той час, коли були створені метеорологічні станції і почалося накопичення даних та формування їх часових рядів, перевірку на однорідність та відповідну корекцію проводили переважно для температурних показників, а рядам сум опадів, швидкості вітру та інших метеорологічних величин, у зв'язку з частою зміною умов вимірювання та складністю методик корекції, приділялась менша увага.

У вересні 1873 року на "Міжнародному метеорологічному конгресі" у Відні Карл Єлінек вперше звернув увагу на інформацію про національні багаторічні ряди даних [24], а через десятиліття у 1905 році Г. Хеллман [42] знову зауважив про відсутність однорідних кліматичних часових рядів через зміни в оточенні станцій та появу нових приладів і закликав працювати над тим, щоб дані станцій з багаторічними спостереженнями ("Säkularstationen") були максимально однорідними.

Методи гомогенізації змінювались з часом. Наприклад, раніше задокументовані точки розриву видаляли за допомогою паралельних вимірювань. Так спостереження в астрономічній обсерваторії Віденського університету були скориговані за допомогою багаторічних 24-годинних вимірювань астрономічної обсерваторії Празького університету. В свою чергу, вимірювання в Мілані з 1763 по 1834 роки були скориговані за допомогою вимірювань в Падуї [29].

Однак для більшості точок розривів у часових рядах була невідома величина зсуву, крім того, ймовірно, що ряди також містили незадокументовані неоднорідності. Таким чином, виникла потреба в статистичних методах виявлення та усунення розривів. На початку XX століття Конрад [17] для оцінювання однорідності рядів застосував критерій Хайдке [22], який використовував співвідношення двох рядів опадів та навів оцінку отриманих результатів. Як наслідок, він рекомендував, крім названого критерію, використовувати ще додаткові критерії для перевірки однорідності рядів, такі як: критерій Гельмерта [23] і "ретельний" критерій Аббе [15]. Ці критерії продовжували використовувати і в 1940-х роках [14]. Через кілька років для виявлення та усунення неоднорідностей в рядах був запропонований принцип подвійної маси [28].

Юліус Ханн [21] вивчав мінливість абсолютних кількостей опадів і їх співвідношення між станціями та використовував це для контролю якості рядів. Цей підхід був використаний Брюкнером [10] для перевірки даних сум опадів на неоднорідність шляхом порівняння з сусідніми станціями. У своїй книзі "Методи в кліматології" Конрад і Поллак [16] формалізували цей підхід відносної гомогенізації, який зараз є домінуючим методом виявлення та усунення наслідків штучних змін. Пізніше робоча група ВМО з кліматичних змін рекомендувала застосовувати такі підходи для створення еталонних рядів, використовуючи усереднення даних по багатьох станціях у відносно невеликій географічній області.

Подальший розвиток підходів до гомогенізації знаходимо у роботах Александерссона [7] та Моберга [9], де показано розроблений стандартний тест нормальної гомогенності (Standard Normal Homogeneity Test, SNHT), який знайшов широке впровадження в багатьох дослідженнях. SNHT — це метод, який можна використовувати для ряду з однією точкою розриву, але кліматичні ряди зазвичай містять більше одного розриву. Таким чином, важливим подальшим кроком стала розробка методів, спеціально створених для виявлення та виправлення кількох точок розриву в роботі з неоднорідними даними [30, 37]. Стаття Каусінуса та Местре [12] містить перший опис такого методу, який одночасно коригує всі ряди виділеної мережі. В подальшому, подібні методи виявились більш точними, що знайшло своє підтвердження у порівняльному дослідженні EU COST ("European Cooperation in Science and Technology") Action ES0601 HOME [38].

Поточна робота зі створення відповідних наборів даних для досліджень змін клімату та його коливань сприяла постійному розвитку методів виявлення та корекції точок розривів у часових рядах кліматичних показників. Щоб відслідковувати удосконалення та адаптацію методів гомогенізації, Угорська метеорологічна служба розпочала серію "Семінарів з гомогенізації" у 1996 році [26].

Сучасні високі вимоги ВМО до якості даних метеорологічних спостережень, що сформульовані в [40], змушують науковців продовжувати працювати над удосконаленням методів гомогенізації даних та розробкою нових підходів до роботи з метеорологічною інформацією. На сьогодні створено значну кількість ефективних гомогенізаційних алгоритмів, процедур та програмних пакетів, які проводять спеціальний кліматичний контроль та мінімізують ті викиди значень показників, що мають некліматичну природу. У науковому та експертному середовищі нині активно обговорюються й оцінюються існуючі програмні продукти [20, 25, 37, 38], які можна використовувати для отримання однорідних часових рядів різних метеорологічних величин.

Наразі усі існуючі алгоритми та методи перевірки часових рядів на кліматологічну неоднорідність (або методи гомогенізації) можуть бути поділені на два основних типи: відносні та абсолютні.

При використанні відносних методів гомогенізації, завжди досліджують не один, а кілька рядів даних, отриманих на метеостанціях, що розташовані у типовому ландшафтному регіоні. Ці методи ґрунтуються на припущенні, що зміни в кількості опадів або температурні коливання на обраній метеостанції повинні бути подібними до тих, які спостерігаються на інших станціях цієї групи. Відносні методи можуть використовувати процедури стандартизації даних в рамках конкретної мережі станцій, порівняння середніх значень зі схожими станціями, аналіз сезонної варіації тощо. Як приклад використання відносного гомогенізаційного методу, можна навести емпіричне моделювання, яке включає створення моделі, що ґрунтується на взаємозв'язках між даними на різних станціях і використовується для визначення неоднорідності в результатах спостережень конкретної метеостанції. Таку модель можна розробити, користуючись кореляцією, регресійним аналізом, або аналізом головних компонентів, в залежності від характеру наявних даних і специфіки завдання.

У свою чергу, використання абсолютних методів передбачає опрацювання лише окремих рядів даних спостережень. Іншими словами, вибирається конкретний ряд, з яким проводяться необхідні статистичні процедури, такі як розрахунки критеріїв або проведення тестів, а на основі отриманих результатів робиться висновок щодо його гомогенності або неоднорідності. Головна ідея полягає в тому, що зміни в роботі приладів і інструментів, які використовуються для вимірювань конкретних метеорологічних величин, можуть суттєво впливати на отримані результати.

Згідно з висновками проведеного комплексного порівняльного аналізу гомогенізаційних методів і алгоритмів [38], в рамках Європейського проекту COST Action ES0601 HOME більш ефективними і коректними визнані відносні методи.

Протягом останніх десятиліть у багатьох країнах розроблена велика кількість програмних продуктів для гомогенізації кліматичних даних, які використовують різноманітні методи та алгоритми перевірок на наявність та усунення викидів і точок розриву часових рядів. Серед найбільш популярних та таких, що знаходять широке застосовування у наукових дослідженнях є наступні відносні методи:

MASH (Multiple Analysis for Series Homogenization) представляє собою набір спеціалізованих програм, розроблених Угорською метеослужбою для оцінки якості кліматичних рядів і їх стандартизації. Методологія MASH передбачає використання критерію Шейрера-Рея-Хейра для перевірки однорідності даних, який ґрунтується на оцінюванні різниці/відношення значень між спостереженнями та їх середніми показниками. У випадку, якщо результат тесту вказує на нерівномірність розподілу даних, для оцінки статистичної однорідності за нульовою гіпотезою використовується інструментарій рухомих блоків. Цей підхід дозволяє користувачам визначити, чи є виявлені зміни статистично значущими. Метод MASH належить до групи відносних і часто застосовується для виявлення поступових часових змін даних спостережень, оскільки він може фіксувати неоднорідності рядів, які формуються протягом кількох років. Цей програмний продукт використовують для гомогенізації різноманітних метеорологічних [4, 7] та гідрологічних показників, включаючи інформацію про рівень води в річках, опади та температуру.

Інше програмне забезпечення *RHtestsV4 (Regression-based Homogeneity Test Version 4.0)*, що використовує мову програмування R, застосовується для виявлення і корекції неоднорідностей рядів кліматичних даних. Тут пропонується підхід, що ґрунтується на методі відносних розбіжностей (Relative Homogeneity Test, RHT), порівнюються середні значення двох періодів та оцінюється ймовірність того, що вони різняться саме через неоднорідність даних. RHtestsV4 розроблено науковцями Канадського метеорологічного центру (Canadian Meteorological Centre) [39].

ACMANT (Analysis of Climatological Mean and ANomalous Trends) є програмним забезпеченням, створеним Німецьким метеорологічним центром, що також призначене для гомогенізації кліматичних даних. Програма базується на статистичному методі, відомому як "модель змін", який використовується для визначення динаміки середніх значень та дисперсій кліматичних рядів. ACMANT включає різноманітні інструменти для аналізу та візуалізації даних, а також можливість експорту результатів для подальшого аналізу іншим програмним забезпеченням і також входить до групи відносних методів. Програмне забезпечення використовується для виявлення та коригування неточностей та розривів у кліматичних даних, а також для аналізу трендів у кліматичних рядах. В основі ACMANT лежать статистичні методи, такі як аналіз відношень середніх значень рядів, тест Фішера і різні методи регресійного аналізу. Результатом роботи цієї програми є гомогенізовані кліматичні дані, які можна використовувати для вивчення змін клімату за тривалі періоду часу. [19].

HOMER (HOMogenization softwarE in R) — це інтерактивне, напівавтоматичне сучасне програмне забезпечення, яке було розроблено для гомогенізації місячних та річних даних про атмосферні опади

або температуру повітря. HOMER був розроблений у 2007–2011 роках, під час виконання проєкту COST Action ES0601: (HOME) [25]. Основною метою проєкту було створення набору методів для виявлення та корекції кліматичних змін різних просторових та часових масштабів. Результатом виконання проєкту став синтез найбільш ефективних статистичних процедур, які існували на той час і були покладені в основу роботи програмного забезпечення HOMER.

Перелічені програмні продукти використовують різні методики для гомогенізації даних та надають різні можливості для користувачів. Вибір конкретного програмного забезпечення залежить від індивідуальних потреб користувача та специфіки дослідження, що проводиться.

Метою даного дослідження є аналіз програмних продуктів, що знаходяться у вільному доступі і використовуються для перевірки якості та гомогенізації часових рядів метеорологічних величин і, зокрема, включають прийоми та інструменти для гомогенізації рядів сум атмосферних опадів. Крім того, важливим завданням є підтвердження можливості використання обраного програмного продукту HOMER для проведення процедури гомогенізації місячних сум опадів, на прикладі тестування часових рядів отриманих на метеорологічних станціях України протягом 1946–2020 рр.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для апробації програмного забезпечення HOMER було використано фактичні дані спостережень на 224 пунктах (метеорологічні станції та опадомірні пости) метеорологічної мережі України. Початкові дані отримані з таблиць ТМ-1 та ТМС архіву Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського (ЦГО). Масив часових рядів щомісячних сум опадів за період 1946–2020 рр. сформований за результатами спостережень на 177 метеорологічних станціях та 47 опадомірних постах. Зауважимо, що до досліджуваного масиву включалися дані тільки окремих постів. Були задіяні лише ті, в часових рядах яких пропуски виявилися незначними і не перевищували 20% загальної кількості спостережень за обраний період.

Важливо відмітити ті зміни в методиках вимірювання та типах приладів, що використовувалися на метеорологічній мережі для вимірювання опадів, які могли вплинути на однорідність результатів вимірювань. До основних груп змін у проведенні спостережень за атмосферними опадами протягом досліджуваного періоду (1946–2020 рр.), можемо віднести наступні:

1. Так звані масові зміни, що відбувались на всіх метеостанціях майже одночасно. Сюди входить планова заміна приладів на усій мережі, а також зміни методики спостережень. На усіх метеостанціях в Україні, у 1950-х роках, було проведено заміну дощоміра Ніфера на опадомір Третьякова, що очевидно призвело до порушень гомогенності часових рядів. В 1966 р. відбувся перехід до чотириразових спостережень за опадами впродовж доби, що могло вплинути на точність визначення середніх добових та місячних значень. З 1967 р. до результатів вимірювань почали додавати поправку на змочування для всіх видів опадів. Проте, усі отримані у той час дані були перевірені на наявність викидів та розривів і для усунення виявлених неоднорідностей були введені спеціальні поправочні коефіцієнти для рядів місячних сум опадів. Значення коефіцієнтів подаються у кліматичних довідниках.

2. Локальні зміни, які фіксуються при вимірюваннях і викликані проблемами роботи приладів на окремих станціях у різні періоди. До цієї групи відноситься також перенесення метеостанцій на нове місце, зміни ландшафту біля метеомайданчика, зміна ступеню його відкритості.

Саме друга група змін умов вимірювання, а також наявність технічних помилок спостерігачів часто є причиною неправильних результатів спостережень, що порушують однорідність рядів даних та потребують їх перевірки.

Порівняльний аналіз існуючого спеціалізованого програмного забезпечення показав перевагу продукту HOMER для гомогенізації часових рядів опадів. Зазначене програмне забезпечення базується на *відносних методах* гомогенізації кліматичних даних, що, як зазначено вище, є найбільш ефективними у роботі з часовими рядами сум атмосферних опадів. Більше того, використання цього продукту вже показало хороші результати у проведенні аналізу на однорідність часових рядів температури повітря для території України, про що свідчать публікації вітчизняних науковців [4, 7]. HOMER також часто використовується міжнародними фахівцями для гомогенізації метеорологічних даних, отриманих на мережі метеостанцій в інших регіонах. Цей програмний продукт застосовується для оцінки однорідності не лише середньої температури повітря (Танзанія) [33], але і місячних максимальних та мінімальних температур (Піренеї) [34]. Також опубліковані результати адаптації програмного продукту для аналізу даних спостережень за атмосферними опадами [13, 42].

Програмне забезпечення HOMER складається з ряду функцій повного процесу гомогенізації, серед яких наступні: контроль якості даних (*quality control*), що використовує покращений алгоритм

програми Climatol; виявлення та корекція помилок даних за допомогою адаптованих алгоритмів, взятих з PRODIGE (PRocedure Of Detection of InhomoGEneity) та ACMANT [19], таких як попарне порівняння (*pairwise-detection*), об'єднане порівняння (*joint detection*), а також використання моделі ANOVA (ANalysis Of VAriance) для корекції виявлених розривів однорідності ряду за допомогою дисперсійного аналізу. Крім того, HOMER надає широкий набір інструментів для аналізу та візуалізації набору даних у зручному форматі.

HOMER використовує мову програмування R. Зазначимо, що R — це мова програмування, яка використовується для статистичних обчислень і побудови графіки. Вона повністю підтримується основними операційними системами, такими як Windows, Linux, MacOS і має мінімальні відмінності, які не помітні кінцевому користувачеві. Для роботи з програмним забезпеченням HOMER потрібно мати встановленою версію R 2.15.3, або наступні варіанти версій, що зазначено у вимогах від розробників [31].

Програмне забезпечення HOMER використовує відносні гомогенізаційні методи [38], тому всі статистичні розрахунки в ньому виконують не для окремих рядів, а для певної обраної кількості або різницевих рядів для адитивних величин, або рядів відношень (для кумулятивних величин). Тобто, для гомогенізації довільного ряду за певною ознакою завжди має бути обрано деяку кількість інших контрольних рядів, а потім розраховуються їх різниці або відношення, які будуть проаналізовані[3].

Проєкт COST Action ES0601 (HOME) започаткував стандартизацію формату великого об'єму місячних вхідних даних задля усунення проблем з сумісністю при використанні багатьох програм та проєктів, що у результаті дозволило пришвидшити взаємодію і зменшити час на підготовку і обробку вхідних даних.

HOMER також працює з рядами даних станцій, які згруповані у так звану "мережу" [27]. Мережа складається з декількох станцій, і на кожну окрему станцію формується свій файл з даними. Щоб задати мережу для HOMER, треба забезпечити файл зі списком станцій з необхідними метеорологічними показниками. Кожна мережа має містити лише один файл статусу (початковий або гомогенізований), і всі перераховані файли обов'язково повинні утримувати одну кліматичну змінну. Наприклад, мережа не може містити одночасно файли з даними про опади та тиск, для такого випадку мають бути створені окремі мережі.

Основна взаємодія між користувачем і HOMER здійснюється шляхом відповідей на запитання, що з'являються на екрані під час виконання послідовних опцій. Користувачу пропонується обрати потрібну процедуру шляхом натискання на відповідну кнопку на клавіатурі. Після завершення вибраної процедури, знову з'явиться головне меню HOMER, готове для наступного запиту. Меню поділене на дві секції: процедури контролю якості та гомогенізація (*рис. 1*).

```
What do you wish, Master/Mistress?

FAST QUALITY CONTROL
-> Fast CLiMATOL checks                type i
-> Fast QC                             type f
-> Outlier file creation?              type o
-> Removal of outliers?                type r

HOMOGENISATION
-> Pairwise detection?                 type d
-> Joint detection?                    type j
-> Correction?                         type c
-> Visualization?                      type v
-> New neighbourhood                   type n
-> Change hinteraction hoption :-)     type h
-> Break file creation/modification?   type b
-> Break file edition?                 type e
-> Quit?                               type q

Your choice :|
```

Рис. 1. Вигляд основного меню HOMER

Перший етап роботи — виявлення та видалення так званих викидів (*outliers*). В англомовній літературі цей процес називають контролем якості (*quality control — QC*). Викиди повинні бути вилучені до процедури гомогенізації, тому що вони можуть суттєво вплинути на її результати [7].

HOMER має дві процедури для контролю якості: набір статистичних процедур, які запозичені з програми Climatol, та власний швидкий контроль якості (*fast quality control*).

Основи контролю якості Fast Climatol. Fast Climatol передбачають статистичні розрахунки та відповідну їх візуалізацію. Результати накопичуються у вигляді pdf-файлів у відповідній папці, де розміщено набір графіків статистичного аналізу вхідних даних. Серед графічних зображень: гістограми наявної мережі; корелограма мережі, яка показує тісноту зв'язку між станціями в залежності від географічної

відстані. Прийнято вважати, що низька кореляція ($r < 0,2$) вказує на можливі помилки в результатах гомогенізації, якщо станції знаходяться у зоні низьких коефіцієнтів; дендрограма мережі, що демонструє зв'язки між рядами даних окремих станцій, які отримані після проведеного кластерного аналізу набору відповідних спостережень. Станції групуються в один кластер (верхня частина) і розділені на відповідну кількість груп за критерієм подібності статистичних параметрів рядів спостережень (нижня частина). Гілки дендрограми розділяють станції відповідно до міри статистичної відмінності між ними; розташування мережі, де зображена географічна карта з нанесеними станціями відповідно до їх географічних координат [3].

Далі проводиться етап швидкого контролю якості (Fast QC), що є стартовою фазою гомогенізації. На цьому етапі початкові дані опорної станції порівнюються з оточуючими станціями для виявлення механічних помилок на етапі вимірювання або їх фіксації. Для кожної опорної станції можливо обрати оточуючі станції двома шляхами — визначення коефіцієнту кореляції, або географічна близькість декількох станцій. Програмою розраховуються ряди аномалій для кожної станції і кожного місяця року окремо.

Безпосередньо до процедури гомогенізації у програмному продукті, відносять три основні етапи: попарне порівняння (*pairwise detection*), об'єднане порівняння (*joint detection*) та корекція (*correction*).

На етапі попарного порівняння для часових рядів сум опадів розглядаються відношення значень основної станції (*candidate station*) та її оточення (*referens station*) [7]. При цьому, програмним аналізом проводиться тільки ідентифікація можливих точок розриву. Вважається, що появу точок розриву в кожній парі основної станції та станції оточення можуть обумовлювати наступні причини: неоднорідності ряду вимірювань станції-кандидата, неоднорідність ряду опорної станції або помилкового чи справжнього кліматичного ефекту. Розрив буде зафіксований достовірним/обґрунтованим, якщо така позиція збігається у більшості рядів окремих станцій оточення (як мінімум у трьох рядах) [28].

Якщо користувач вибрав параметр "без взаємодії", HOMER швидко обчислить, побудує та збереже в каталозі fig порівняння для кожної станції відповідно до попередньо вибраного методу вибору станцій оточення. Якщо користувач вибрав інтерактивну опцію, графіки не лише зберігатимуться на жорсткому диску користувача, але й для кожної станції-кандидата графік виявлення також з'являтиметься на екрані, потрібно буде клацнути мишею, щоб перейти до наступної станції. Для полегшення аналізу використовують ряди відношень місячних сум опадів між основною станцією та станціями оточення та розміщують їх у порядку зростання середнього квадратичного відхилення (σ).

Наступним етапом є етап об'єднаного порівняння. Тут важливо підкреслити, що попарне виявлення та об'єднане порівняння є окремими процедурами. HOMER використовує алгоритм cghseg, який був створений біологом-науковцем для сегментації ДНК [36]. Виявлення попарного порівняння надає користувачеві графічний інструмент для візуального визначення точок розриву, тоді як об'єднане порівняння створить список точок розриву, а також, якщо потрібна взаємодія, інтерактивну графіку. Створені точки розриву у файлах можуть бути відредаговані користувачем, за умови, що їх формат збережено. Якщо вибрано інтерактивну опцію, то дослідник може використовувати систему на основі графіка, щоб додавати/видаляти контрольні точки. Для рядів сум опадів можливість редагування користувачем списку точок розриву має вагоме значення, бо надає можливість додати (або видалити) точку, виходячи з наявних знань користувача про природну мінливість опадів у досліджуваному регіоні.

Після визначення точок розриву у автоматичному, або інтерактивному режимі, та ручного виправлення точок у текстових файлах, ця інформація буде використана під час наступного етапу — корекції. Корекція використовує двофакторну модель ANOVA, адаптовану з PRODIGE. Детальний опис алгоритму описаний у роботі [32]. Наприкінці процедури виправлення над отриманими даними буде виконано процедуру парного порівняння. Це дозволяє користувачеві визначити потенційні залишкові неоднорідності. Якщо інтерактивний параметр увімкнено, графіки з'являтимуться на екрані так само, як і під час виконання процедур попарного порівняння.

Таким чином, HOMER може використовуватись як для простої перевірки на однорідність часових рядів, так і для проведення автоматизованого виявлення неточних даних та/або пропусків у спостереженнях так і їх корекції.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

На основі даних спостережень за опадами протягом 1946–2020 рр. був сформований архів місячних сум за правилами HOMER. Після формування масиву даних та обрання робочої директорії проводиться початковий етап розрахунків — статистична оцінка даних (*Fast Climatol Check*), яка, серед іншого, дозволяє отримати загальну закономірність та окремі параметри розподілу досліджуваних часо-

вих рядів місячних сум атмосферних опадів. Формується масив діаграм, що представляє розподіл (повторюваність значень) сум опадів окремо для кожного місяця періоду досліджень, а також усереднений розподіл за весь період спостережень на усіх станціях. Уявлення про закономірність розподілу досліджуваної величини важливе і необхідне користувачу для вибору наступних опцій програмного забезпечення.

На *рис. 2* наведено усереднений розподіл, який дозволяє констатувати, що максимум повторюваності місячних сум опадів у масиві даних знаходиться у діапазоні від 20 до 40 мм, а найнижчу ймовірність мають місячні суми опадів, значення яких перевищують 220–240 мм. На *рис. 2* виділена градація значень з сумами опадів меншими 0,0 (мм), яка формується за рахунок пропусків даних, що неминуче зустрічаються у будь якому великому масиві. При формуванні масиву для HOMER відсутні дані позначаються числом –999,9. Очевидно, що кількість пропусків є відносно невеликою у порівнянні з загальним обсягом даних.

Далі проводиться загальний контроль (Fast QC) якості початкових даних, для виявлення неклімативних похибок, які могли бути зроблені під час вимірювань і обробки даних. Основним методом пошуку аномалій (або викидів) на цьому етапі є порівняння значень, отриманих на опорному пункті (станції), зі значеннями на пунктах його оточення.

Зазначимо, що існує декілька способів вибору пунктів оточення, однак у даному дослідженні використовувався метод кореляції, який ґрунтується на розрахунку кореляційного зв'язку між часовими рядами даних опорного пункту та його оточення. Важливо відзначити, що граничне значення коефіцієнта кореляції визначається дослідником. У нашому випадку було обрано значення 0,7, оскільки значення нижче цієї межі можуть призвести до включення у список оточення станцій, які мають принципово інші умови процесів утворення опадів.

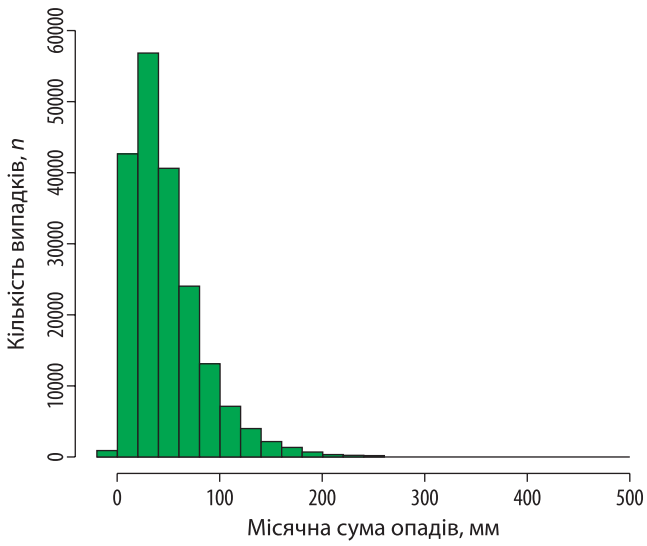


Рис. 2. Розподіл місячних сум опадів протягом 1946–2020 рр.

У результаті проведення необхідних розрахунків HOMER створює відповідні текстові файли (*рис. 3*), де формується список станцій оточення, виявлених для опорної станції, та зазначається величина кореляційного зв'язку між ними.

Окрім цього, програмою подаються результати порівняння часових рядів станцій у вигляді графіків, на яких також зазначаються, так звані, викиди (відхилення). При цьому, величина такого викиду оцінюється за допомогою розрахунку відношень усереднених значень часового ряду опорної станції до її оточення. За допомогою графічних візуалізацій дослідник може проводити оцінку даних та контроль їх якості, розглядаючи кожний випадок окремо та самостійно встановлюючи граничну межу величини викиду. У нашому випадку, після аналізу отриманої інформації про встановлену мінливість опадів досліджуваного регіону [1, 6] було вирішено детально оцінювати і корегувати ті відхилення (викиди), величина яких лежить у проміжку від –1,5 і менше до 1,5 і більше. Виявлені відхилення у масиві даних перевірялися і корегувалися з використанням таблиць ТМ-1.

```
00033651 Kolomyya
==================================
CORRECTION NEIGHBORHOOD
00033526  0.877 Ivano-Frankivsk
00033658  0.825 Chernivtsi
00033524  0.821 Dolyna
00000078  0.812 Dora
00033645  0.810 Yaremche
00000056  0.799 Pidgajtsi
00033536  0.781 Chortkiv
00033657  0.774 Seliatyn
00000064  0.766 Galych
00033409  0.760 Berezhany
00000053  0.732 Zhvanets
00033297  0.726 Brody
00033557  0.716 Nova-Ushytsya
00033548  0.713 Kamyanets-Podilsky
00033421  0.703 Yampil
==================================
Periode 1
00033651 1946 - 2020
UNCHANGED REFERENCE PERIOD
```

Рис. 3. Текстовий файл, що сформований на етапі Fast QC із переліком пунктів оточення для станції Коломия

Після оцінки якості рядів місячних сум опадів за весь досліджуваний період та виправлення виявлених помилок, наступним етапом стає можливість провести аналіз часових рядів станцій та перевірити їх однорідність. Перевірка однорідності ґрунтується на гіпотезі, яка стверджує, що у випадку однорідності часових рядів на двох сусідніх станціях, послідовність сформована з відношень значень сум опадів на цих станціях за тривалий період набуває узгодженого характеру. Однак, якщо величина відношення у якийсь момент часу показує різкі зміни, це свідчитиме про порушення однорідності в одному із порівнюваних рядів. Коли факт порушення однорідності у ряді встановлено, для його виправлення застосовуються статистичні методи [11].

Сама процедура гомогенізації має на меті виявлення впливу на однорідність часових рядів сум опадів тільки тих факторів які не пов'язані з коливаннями глобального чи регіонального клімату, а формуються завдяки технічним чи мікрокліматичним умовам вимірювання метеорологічних величин. До них можна віднести переміщення метеостанцій чи метеопостів, а також зміну природного ландшафту в районі метеорологічної станції. На основі існуючої інформації [32], можна стверджувати, що найчастіше за обраний період відзначаються переміщення станцій на відстань від десятків метрів до декількох кілометрів, особливо це було актуально у 1950–1960-х роках. Але подальший аналіз матеріалу показав, що неоднорідність у часових рядах може бути спричинена й іншими факторами. Наприклад, це може статися, коли порушується типовий річний розподіл опадів, характерний для даного регіону. Іншими словами, питання щодо причин, які призводять до порушення однорідності часових рядів опадів, є складним і вимагає подальших наукових досліджень [5].

Перевірка рядів на однорідність у HOMER починається з попарного порівняння (*pairwise detection*), під час якого здійснюється розрахунок та аналіз відношень між часовими рядами сум опадів основної станції та станцій оточення.

На цьому етапі програма лише виокремлює можливі точки розриву в рядах даних, а рішення про їх підтвердження приймається на наступному етапі — об'єднаного порівняння (*joint detection*). Дослідник обирає, яким методом встановлення точок розриву буде користуватись. У варіанті інтерактивного методу точки розриву встановлюються безпосередньо дослідником, який приймає рішення на підставі власних міркувань, попереднього аналізу даних та порівнянні результатів з наявною інформацією. При автоматизованому варіанті програма виконує це самостійно. У нашому випадку, було обрано перший метод, тобто всі можливі точки розриву підтверджувались конкретно дослідником. При цьому, після проведеного попереднього аналізу, точками розриву було вирішено визначати такі, що повторювались на декількох (2–3) станціях в один момент. Результатом цього процесу є сформований програмою текстовий файл у робочій директорії, який містить список станцій, де були відмічені точки розриву однорідності у часових рядах опадів.

Під час попарного порівняння програма також генерує файли для кожного наявного пункту спостережень, у яких зберігається візуалізація результатів перевірки на однорідність рядів даних.

Після того, як точки розриву були зафіксовані та підтверджені, відбувається корегування неоднорідності часового ряду, за допомогою методів дисперсійного аналізу визначається величина амплітуди зміщення (зсуву) на ділянці неоднорідності, а корекція зсуву проводиться за допомогою двофакторної моделі ANOVA. При цьому, амплітуда зсуву є безрозмірною величиною, оскільки програма визначає її за співвідношенням сум опадів на двох станціях (мм/мм). Тобто, суть корекції полягає у зменшенні або збільшенні місячних сум опадів за певний період часу між точками розриву. Текстові файли зі скорегованими даними відображаються в робочій директорії та є доступними для перегляду і подальшої обробки.

Для прикладу розглянемо часовий ряд сум опадів станції Дніпро, що має зафіксовану і підтверджену точку розриву у 1973 році. За допомогою проведеного аналізу наявної в матеріалах інформації, причиною виникнення цієї точки було вирішено вважати перенесення станції, яке, згідно з довідником [2], мало місце в 1974 р. та могло вплинути на отримані результати вимірювань.

У *табл. 1* для порівняння представлені початкові та скореговані (гомогенізовані) місячні й річні суми

Таблиця 1. **Результати гомогенізації місячних сум опадів (мм), метеорологічна станція Дніпро, 1973 рік**

	I, мм	II, мм	III, мм	IV, мм	V, мм	VI, мм	VII, мм	VIII, мм	IX, мм	X, мм	XI, мм	XII, мм	Сума, мм
1973 р. (почат.)	31	60	62	19	128	25	47	69	5	48	38	41	573
1973 р. (гомог.)	34	67	69	21	142	28	52	77	6	53	42	46	635

Таблиця 2. **Результати гомогенізації місячних сум опадів (мм), метеорологічна станція Приколотне, 1994 рік**

	I, мм	II, мм	III, мм	IV, мм	V, мм	VI, мм	VII, мм	VIII, мм	IX, мм	X, мм	XI, мм	XII, мм	Сума, мм
1994 р. (почат.)	32	17	50	30	65	33	16	86	5	92	21	33	480
1994 р. (гомог.)	28	15	44	26	57	29	14	75	4	80	18	29	419

опадів за 1973 р. для станції Дніпро, коли було встановлено точку розриву у цей рік. Наведені значення гомогенізованих сум відрізняється від початкових, причому річна сума збільшилась на 10,8%. Очевидно, що процес вирівнювання ряду залежить від початкових значень величин і зі зменшенням суми початкових опадів, зменшується і величина її зміни при гомогенізації. Таким чином, величина скорегованої суми опадів січня збільшилась на 9,6%, в той час як травня — на 10,9%.

Іншим прикладом може бути точка розриву 1994 р. для станції Приколотне. У *табл. 2* наведені значення гомогенізованих місячних та річної сум, які мають нижчі значення, порівняно з початковими даними, при чому річна сума зменшилась на 12,7%.

Із наведених у *табл. 1, 2* гомогенізованих часових рядів видно, що їх корекція відбувається з урахуванням величини і знаку амплітуди зміщення та початкових значень величин ряду до процедури гомогенізації. Зазначимо, що введення поправок, відбувається тільки для окремих ділянок часових рядів, а розрахунки їх величин проводяться окремо для кожного випадку.

На *рис. 4* наведені текстові файли, які подаються програмою на етапі Fast QC, де вказуються відпо-

```
00034504 Dnipro
==================================
CORRECTION NEIGHBORHOOD
00034505  0.846 Synelnykove
00034407  0.822 Gubynykha
00034601  0.815 Zaporijhjhya
00033805  0.782 Nikopol
00034502  0.732 Pavlograd
00033705  0.724 Pomichna
00000273  0.723 Vasylkivka
00033848  0.720 Ochakiv
00033723  0.718 Komisarivka
00034401  0.717 Krasnograd
00033621  0.717 Kobelyaky
00034415  0.712 Izum
00033801  0.703 Loshkarivka
==================================

Periode 1
00034504 1946 - 1973
13 1.109 522.522
Amplitude :     0.11

Periode 2
00034504 1974 - 2020
UNCHANGED REFERENCE PERIOD
```

а

```
00034301 Prykolotne
==================================
CORRECTION NEIGHBORHOOD
00034319  0.789 Kupyansk
00034208  0.756 Zolochiv
00034409  0.755 Lozova
00034401  0.752 Krasnograd
00034415  0.747 Izum
00033621  0.747 Kobelyaky
00034300  0.747 Kharkiv
00034421  0.738 Svatove
00034317  0.733 Komsomolske
00033506  0.731 Poltava
00000265  0.709 Verkhnodniprovsk
00011111  0.701 Amvrosiivka
==================================

Periode 1
00034301 1946 - 1994
13 0.873 580.174
Amplitude :     -0.13

Periode 2
00034301 1995 - 2020
UNCHANGED REFERENCE PERIOD
```

б

Рис. 4. Програмні файли зі встановленими проміжками часу, для яких проводилась корекція, з зазначеною величиною амплітуди протягом 1946–2020 рр.: *а* — для станції Дніпро; *б* — для станції Приколотне

відні періоди часових рядів, для яких проводилась корекція даних. Також для них вказується величина та знак амплітуди. Бачимо, що амплітуда для Дніпра є додатньою, в той час як для Приколотного — від'ємною, що підтверджує попередні розрахунки.

Крім текстових файлів, програмне забезпечення HOMER також надає візуалізації розподілу річних сум атмосферних опадів для початкових та гомогенізованих даних окремо. Далі на *рис. 5* представлений такий часовий розподіл річних сум за період з 1946 по 2020 р. для станції Дніпро показані як початкові так і гомогенізовані дані. Оскільки в 1973 р. було зафіксовано точку розриву, то програмою були скореговані місячні та, відповідно, річні суми за попередній до точки період, тобто за 1946–1973 рр.

На *рис. 6* представлений аналогічний розподіл початкових та гомогенізованих рядів річних сум для станції Приколотне. У порівнянні з попередньою станцією тут корегувався довший відрізок часового ряду (48 років) і амплітуда зсуву була від'ємною, але мала трохи вище абсолютне значення. Візуально результат гомогенізації проявляється у зменшенні максимальних сум опадів впродовж 1946–1994 рр.

Проводяться розрахунки лінійного та поліноміального трендів для часових рядів річних сум опадів до і після процедури гомогенізації і візуалізуються як у вигляді кривих (*рис. 5, б*), так і значень коефіцієнтів відповідних рівнянь. Очевидно, що корекція рядів місячних і річних сум опадів спричиняє зміни значень коефіцієнтів лінійних та поліноміальних трендів розподілу опадів у часі, і змінює форми їх кривих. У цілому, для усього масиву даних отримуємо деяке згладжування екстремумів та зменшення мінливості показника, як у часовому так і у просторовому вимірі. Тут є певні неоднозначності, бо проведення процедури гомогенізації показало, що автоматичне спільне виявлення (*joint detection*) не є ідеальним і тому, можемо у результаті набуття однорідності рядом, втратити ті зміни і коливання, що уже безпосередньо пов'язані зі змінами регіонального клімату. Дослідник, маючи відповідну кваліфікацію й необхідну інформацію про закономірності розподілу опадів та міру їх мінливості у регіоні, повинен додатково провести оцінювання програмних змін ряду, у тому числі й враховуючи значення коефіцієнтів трендів, щоб по можливості не допустити надмірне "згладжування" часового ряду.

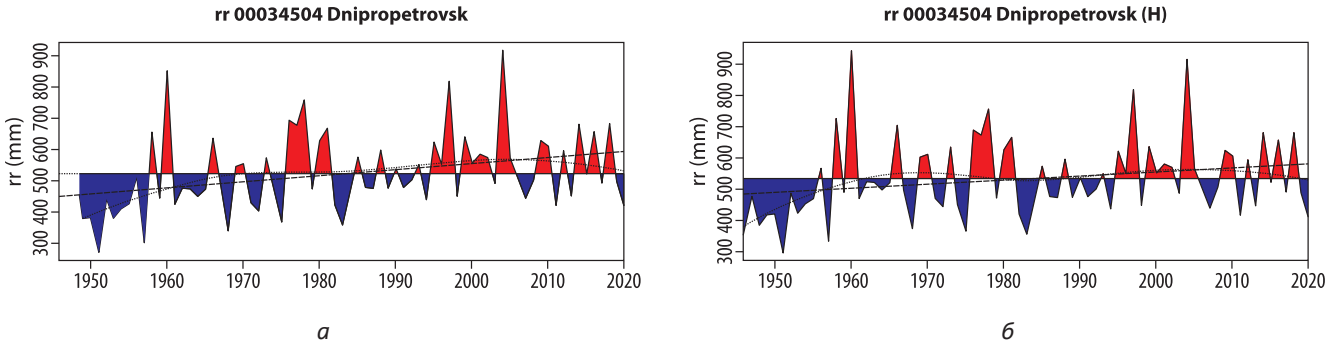


Рис. 5. Часовий розподіл річних сум опадів за період з 1946 р. по 2020 р., ст. Дніпро: *а* — до гомогенізації; *б* — після гомогенізації

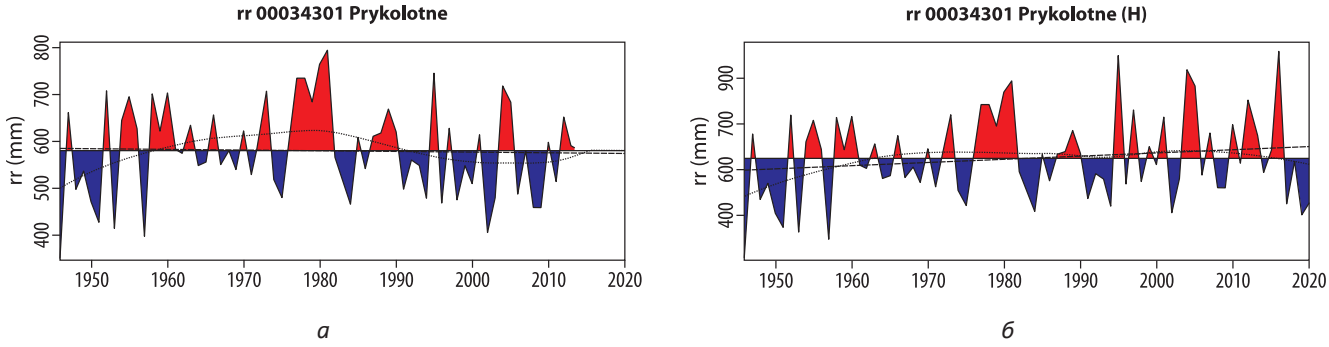


Рис. 6. Часовий розподіл річних сум опадів за період з 1946 р. по 2020 р., ст. Приколотне: *а* — до гомогенізації; *б* — після гомогенізації

ВИСНОВКИ

У зв'язку з необхідністю виконання сучасних вимог ВМО до якості та представлення даних спостережень, що використовуються при проведенні кліматичних досліджень (дані повинні отримуватися із застосуванням стандартних методик спостережень, не мати пропусків, пройти перевірку якості та однорідності), було виконано аналіз сучасних програмних продуктів та методів, які можуть забезпечити реалізацію необхідних процедур для часових рядів атмосферних опадів.

Аналізувалися найбільш поширені програмні продукти, що є у вільному доступі та найчастіше використовуються у роботах вітчизняних і зарубіжних дослідників: MASH, ACMANT, RHtestsV4, HOMER.

Для проведення гомогенізації часових рядів опадів у дослідженні використано програмне забезпечення HOMER, як продукт, що включає в себе необхідні функції для контролю якості та для повного процесу гомогенізації, використовує покращений алгоритм програми Climatol, проводить виявлення та корекцію помилок даних за допомогою адаптованих алгоритмів, взятих з PRODIGE та ACMANT, виявляє точки розриву (ділянки неоднорідності) у часових рядах та виконує корекцію часового ряду, використовуючи модель ANOVA.

Тестування процедури гомогенізації часових рядів місячних сум опадів проведено на основі даних спостережень метеорологічної мережі України за період 1946–2020 років. Гомогенізації рядів місячних сум опадів виконувалася шляхом створення для кожної станції окремої групи оточення, визначеної з урахуванням тісноти кореляційних зв'язків між рядами сум опадів у кожній парі станцій. До групи входило по 6–14 станцій.

Виконана статистична обробка відношень часових рядів для кожної пари станцій, установлювалися можливі ділянки неоднорідності рядів (точки розриву) та визначалася величина амплітуди зміщення (зсуву). У досліджуваному масиві спостережень величини амплітуда коливалися у межах 0,1–0,7.

Після фіксації точки розриву виконувалася корекція часового ряду в межах ділянки встановленої неоднорідності. Збільшення/зменшення місячних сум опадів залежало від величини та знаку амплітуди зміщення і становило 10–20% початкових сум опадів.

HOMER є простим у використанні та ефективним інструментом обробки і аналізу первинних масивів даних спостережень. Крім виконання статистичних розрахунків забезпечує якісну візуалізацію отриманих результатів, та надає можливість для уточнення результату проводити повторну процедуру гомогенізації. Для проведення статистичного аналізу програма може формувати як різницеві ряди для адитивних величин (температура) так і ряди відношень для кумулятивних величин (опади), що розширює можливості її застосування.

До переваг використання HOMER можна віднести можливість для дослідника приймати рішення про підтвердження (фіксацію) точок розриву на етапі об'єднаного порівняння (*joint detection*), що дозволяє враховувати наявну інформацію про природну мінливість значень сум опадів у регіоні та не допускати надмірного згладжування їх величин.

Отримані методичні прийоми та підходи до перевірки якості даних та їх гомогенізації з використанням програмного продукту HOMER можуть застосовуватися у подальших дослідженнях опадів.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Балабух В.О. Мінливість дуже сильних дощів та сильних злив в Україні. *Наукові праці УкрНДГМІ*. 2008. **Вип. 257**. С. 61–72.
   [Balabukh, V. (2004). Traiektorii tsykloniv, scho zumovliuiut' nebezpechnu i stykhijnu kil'kist' opadiv v Ukraini u teplyj period roku. *Naukovi pratsi UkrNDHMI*. **253.** 37–49].
2. Кліматичний довідник. Історія та фізико-географічний опис метеорологічних станцій України. К., 2011. 462 с.
   [Klimatychnyi dovidnyk. Istoriia ta fizyko-heohrafichnyi opys meteorolohichnykh stantsii Ukrainy. Kyiv, 2011. 462].
3. Киреєва З.М. Гомогенізація щомісячних рядів опадів за допомогою програмного забезпечення HOMER: кваліфікаційна робота магістра: 103 Науки про Землю / Киреєва Зорина Махмадсалімівна. Київ, 2023. 72 с. URL: https://ir.library.knu.ua/items/cfae8b91-c8ef–4d8b-a55d–024adb2eb00d.
   [Kyreieva, Z.M. (2023). Homohenizatsiia shchomisiachnykh riadiv opadiv za dopomohoiu prohramnoho zabezpechennia HOMER: kvalifikatsiina robota mahistra: 103 Nauky pro Zemliu / Kyreieva Zoryna Makhmadsalimivna. Kyiv. 72].
4. Осадчий В.І. Скриник О.А., Сіденко В.П., Бойчук Д.О., Ошурок Д.О., Скриник О.Я. Гомогенізована база довгих рядів середньої місячної температури повітря. *Геоінформатика*. **1 (65)**. 2018. С. 54–68.
   [Osadchyi, V.I, Skrynyk, O.A., Sidenko, V.P., Boichuk, D.O., Oshurok, D.O., Skrynyk, O.Y. (2018). Homohenizovana baza dovhykh riadiv serednoi misiachnoi temperatury povitria. *Heoinformatyka*. **1 (65).** 54–68].
5. Паламарчук Л.В., Осадчий В.І., Скриник О.А., Киреєва З.М., Сіденко В.П., Ошурок Д.О., Скриник О.Я. Використання програмного забезпечення HOMER для контролю якості та гомогенізації рядів щомісячних сум опадів. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2023. **1 (67).** С. 58–77. DOI: https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.1.7.
   [Palamarchuk, L.V., Osadchyi, V.I., Skrynyk, O.A., Kyreieva, Z.M., Sidenko, V.P., Oshurok, D.O., Skrynyk, O.Y. (2023). Vykorystannia prohramnoho zabezpechennia HOMER dlia kontroliu yakosti ta homohenizatsii riadiv shchomisiachnykh sum opadiv. *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia.* **1 (67).** 58–77].

6. Паламарчук Л.В., Сокур К.С., Заболоцька Т.М. Динаміка інтенсивності опадів та мезоструктурні особливості їх полів у теплий період року на рівнинній частині території України. *Гідрологія, гідрохімія і гідрогеологія*. 2019. **Вип. 4.** С. 95–111.
[Palamarchuk, L.V., Sokur, K.S., Zabolotska, T.M. (2019). Dynamika intensyvnosti opadiv ta mezostrukturni osoblyvosti yikh poliv u teplyi periodu roku na rivnynnii chastyni terytorii Ukrainy. *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroheolohiia*. **4 (55).** 95–111].
7. Скриник О.А., Бойчук Д.О., Сіденко В.П. Виявлення та усунення кліматологічної неоднорідності у часових рядах кліматологічних показників. *Гідрологія, гідрохімія і гідрогеологія*. 2019. **Вип. 2 (53).** С. 88–100.
[Skrynyk, O.A., Boichuk, D.O., Sidenko, V.P. (2019). Vyiavlennia ta usunennia klimatolohichnoi neodnoridnosti u chasovykh riadakh klimatolohichnykh pokaznykiv. *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroheolohiia*. **2 (53).** 88–100].
8. Alexandersson, A. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *J. Climatol*. **6.** 661–675.
9. Alexandersson, H., Moberg, A. (1997). Homogenization of Swedish temperature data. 1. Homogeneity test for linear trends. *Int. J. Climatol*. **17.** 25–34.
10. Brückner, E. (1890). Klimaschwankungen seit 1700 nebst Bemerkungen über Klimaschwankungen der Diluvialzeit. E.D. Hölzel, Wien and Olnütz.
11. Cao, L.-J., Z.-W. (2012). Progress in research on homogenization of climate data. *Adv Clim. Change Res*. **3.** Iss. 2. 59–67. DOI:10.3724/SP.J.1248.2012.00059.
12. Caussinus, H., Mestre O. (2004). Detection and correction of artificial shifts in climate series. *Appl. Statist*. **53.** Part 3. 405–425.
13. Coll, J., Curley, M., Walsh, S., Sweeney, J. (2014). Ireland with HOMER.
14. Conrad, V. (1944). Methods in Climatology. Harvard University Press, 228 p.
15. Conrad, V., Schreier O. (1927). Die Anwendung des Abbe'schen Kriteriums auf physikalische Beobachtungsreihen. Gerland's Beiträge zur Geophysik, XVII, 372.
16. Conrad, V., Pollak C. (1950). Methods in Climatology. Harvard University Press, Cambridge, MA, 459 p.
17. Conrad, V., (1925). Homogenitätsbestimmung meteorologischer Beobachtungsreihen. Meteorologische Zeitschrift, 482–485.
18. Cowtan, K.D. (2015). Homogenization of Temperature Data: An Assessment.
19. Domonkos, P. (2014). The ACMANT2 software package. Eighth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases and Third Conference on Spatial Interpolation Techniques In Climatology and Meteorology. WMO, WCDMP. **84.** 46–72.
20. Gorbachva, L., Khrystiuk, B., Shpyg, V., Pishniak, D. (2022). Estimation of tendencies homogeneity and stationarity of air tempetature at the Ukrainian Antartic "Akademik Vernadsky" station during 1951–2020. *Геофізичний журнал*. **Т. 44.** 4. С. 183–194. DOI: https://doi.org/10.24028/gjv44i4.264848
21. Hann, J. (1880). Untersuchungen über die Regenverhältnisse von Österreich-Ungarn. II. Veränderlichkeit der Monats- und Jahresmengen. S.-B. Akad. Wiss. Wien.
22. Heidke, P. (1923). Quantitative Begriffsbestimmung homogener Temperatur- und Niederschlagsreihen. Meteorologische Zeitschrift, 114–115.
23. Helmert, F.R. (1907). Die Ausgleichrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate. 2. Auflage, Teubner Verlag.
24. Hofund Staatsdruckerei. (1873)/ Bericht über die Verhandlungen des internationalen Meteorologen-Congresses zu Wien, 2–10. September 1873, Protokolle und Beilagen.
25. HOME. Homepage of the COST Action ES06601 — Advance in Homogenization Methods jf climate Series: An Integrated Approach (HOME), URL: http://www.homogenization.org (33); http:// www/homogenization.org/HOMER_R/pdf (36).
26. Hungarian Meteorological Service (HMS). (1996). Proceedings of the First Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data, Budapest, Hungary, 6–12 October 1996, 44 p.
27. Joelsson, M., Slättberg, N., Carnebring, A., Sturm, C., & Engström, E. (2020). Automation of the interactive mode of the homogenisation software HOMER for climatological applications.
28. Kohler, M.A. (1949). Double-mass analysis for testing the consistency of records and for making adjustments. *Bull. Amer. Meteorol. Soc*. **30.** 188–189.
29. Kreil, K. (1854a). Mehrjährige Beobachtungen in Wien vom Jahre 1775 bis 1850. Jahrbücher der k.k. Central-Anstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus. I. Band — Jg 1848 und 1849. 35–74.
30. Mestre, O. (1999). Step-by-step procedures for choosing a model with change-points. In Proceedings of the second seminar for homogenisation of surface climatological data, Budapest, Hungary, WCDMP. No. 41, WMO-TD. No. 962, 15–26.
31. Mestre, O., Aguilar, E. (2011). HOME_R. Fast documentation. HOMER Training School. 36 p. http://www.homogeni- sation.org/HOME_R.pdf!
32. Mestre, O., Domonkos P., Pikard F., Auer, I., Robin, S., Lebarbier, E. (2013). a.o.Homer: a homogenization software — methods and applications. *Idojaras, Quart. J. Hungarion. Meteorol. Ser*. **117.** Iss. 1. 47–67.
33. Luhunga, P., Mutayoba, E., Ng'ongolo, H. (2014). Homogeneity of Monthly Mean Air Temperature of the United Republic of Tanzania with HOMER. *Atmospheric and Climate Sciences.* **4.** 1. 70–77. doi: 10.4236/acs.2014.41010.
34. Pérez-Zanón, N., Sigró, J., Domonkos, P., and Ashcroft, L. (2015). Comparison of HOMER and ACMANT homogenization methods using a central Pyrenees temperature dataset, *Adv. Sci. Res.* **12.** 111–119, https://doi.org/10.5194/asr-12-111-2015.
35. Peterson, T.C., Easterling D.R., Karl T.R., Groisman P., Nicholls N., Plummer N., Torok S., Auer I., Boehm R., Gullett D., Vincent L., Heino R., Tuomenvirta H., Mestre O., Szentimrey T., Salinger J., Forland E.J., Hanssen-Bauer I., Alexandersson H., Jones P., Parker D. (1998). Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: A review. *Int. J. Climatol*. **18.** 1493–1517.
36. Picard, F., Lebarbier, E., Hoebeke, M., Rigaill, G., Thiam, B., Robin, S. (2011). Joint segmentation, calling, and normalization of multiple CGH profiles. *Biostatistics*. Jul. **12 (3).** 413–28. doi: 10.1093/biostatistics/kxq076
37. Szentimrey, T. (1999). Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH). Proceedings of the second seminar for homogenization of surface climatological data, Budapest, Hungary; WMO, WCDMP. **41.** 27–46.
38. Venema, V., Mestre, O., Aguilar, E., Auer, I., Guijarro, J.A., Domonkos, P., Vertacnik, G., Szentimrey, T., Stepanek, P., Zahradnicek, P., Viarre, J., Müller-Westermeier, G., Lakatos, M., Williams, C.N., Menne, M.J., Lindau, R., Rasol, D., Rustemeier, E., Kolokythas, K., Marinova, T., Andresen, L., Acquaotta, F., Fratianni, S., Cheval, S., Klancar, M., Brunetti, M., Gruber, Ch., Prohom Duran, M., Likso, T., Esteban, P., Brandsma, Th. (2012).

Benchmarking homogenization algorithms for monthly data. *Climate of the Past*. **8.** 89–115, doi: 10.5194/cp-8-89-2012, See also the introductory blog post and a post on the weaknesses of the study.
39. Wang, Xiaolan, Feng, Y. (2013). RH tests V4 user manual. Environment Canada Science and Technology Branch Atmospheric Science and Technology Directorate Climate Research. Division Res. Rep.
40. WMO. Calculation of monthly and annual 30-years standard normals. World Meteorological Organization, World Climate Data and Monitoring Programme Series, 1989. WCDP. 10. WMO-TD.
41. Zentralanstalt für Meterologie und Geodynamik. (1906). Bericht über die internationale meteorologische Direktorenkonferenz in Innsbruck, September 1905. Anhang zum Jahrbuch 1905. k.k. Hof-und Staatsdruckerei.
42. Zhang, L., Si, J., Jiapaer, G., Zhang, T., Mao, W., Dong, S. (2022). Spatial Homogenization Adjustment and Application of Weather Station Networks in Xinjiang, China. *Atmosphere*. **13 (11).** 1840. https://doi.org/10.3390/atmos13111840.

Kyreieva Zoryna[1]
ORCID: 0009–0003–9544–6944
kireeva5687@gmail.com

Skrynyk Olesya[2,1]
ORCID: 0000–0003–0332–5073
skrynyk@nubip.edu.ua

Palamarchuk Lyudmyla[1]
ORCID: 0000–0001–9906–8870
palamarchuk.l@ukr.net

[1] *Ukrainian Hydrometeorological Institute of State Emergency Service of Ukraine and National Academy of Sciences of Ukraine*

[2] *National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

HOMOGENIZATION OF PRECIPITATION TIME SERIES: MAIN MODERN APPROACHES AND SOFTWARE TOOLS

In our work, we analyzed modern software products that are frequently used for quality control and homogenization of long climatological time series of different variables, in particular, atmospheric precipitation. Based on our analysis, the HOMER software was selected to perform quality control and homogenization procedures for time series of monthly precipitation sums. The advantages of using HOMER include the possibility for the researcher to make a decision on confirming the breakpoints at the stage of joint comparison (joint detection), which allows considering the available information about the natural variability of atmospheric precipitation in the region and preventing oversmoothing of their values. The HOMER homogenization procedure was applied to monthly atmospheric precipitation time series collected in Ukraine for the period 1946–2020. Possible areas of inhomogeneity of the series (break points) were established and it was determined that the value of the shift amplitude is 0.1–0.7 (in relative units of standard deviation). The correction of the time series of the monthly precipitation sums for the studied period was carried out and it was calculated that their change depends on the magnitude and sign of the shift amplitude and is 10–20% of the initial amounts of precipitation. The considered methodological techniques and approaches to data quality control and their homogenization using the HOMER software can be applied in further precipitation studies.

Keywords: *homogenization, software HOMER, monthly atmospheric precipitation sums, data quality, break points.*

В.П. Сіденко[1]
ORCID: 0000–0002–4143–2913
vladyslavsidenko@gmail.com

І.І. Кравченко[1,2]
ORCID: 0009–0006–4653–1853
igorkravchenko578@gmail.com

З.М. Киреєва[1]
ORCID: 0009–0003–9544–6944
kireeva5687@gmail.com

Д.Б. Пінчук[1,3]
ORCID: 0000–0002–2054–3761
leodig44@gmail.com

[1] *Український гідрометеорологічний інститут Державної служби України з надзвичайних ситуацій та Національної академії наук України, Київ*

[2] *Національний університет біоресурсів та природокористування, Київ*

[3] *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

УДК 551.583

ПОРЯТУНОК ДАНИХ (DATA RESCUE) ТА КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ДОБОВИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ (СЕРЕДНЬОЇ, МАКСИМАЛЬНОЇ ТА МІНІМАЛЬНОЇ) ТА АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ УКРАЇНИ

У роботі представлено результати роботи щодо порятунку даних (Data Rescue) паперових носіїв (метеорологічних таблиць), які містять записи добових значень середньої (TM), максимальної (TX) та мінімальної (TN) приземних температур повітря та сум атмосферних опадів (RR). Виконано оцифровування добових значень TM, TX та TN отриманих на 176 метеорологічних станціях національної гідрометеорологічної моніторингової мережі. Найбільшу кількість станцій (178) опрацьовано при оцифруванні даних атмосферних опадів. Загальна кількість оцифрованих значень становить 3 571 778. Оцифровані значення заповнюють пропуски, які були у цифровій базі даних добових значень основних кліматичних параметрів (TM, TX, TN та RR), сформованій в Українському гідрометеорологічному інституті. За допомогою сучасного, добре апробованого спеціалізованого програмного забезпечення INQC та Climatol, проведено контроль якості цифрової бази даних. Кількість виявлених грубих помилок становить 3 933 (від 9 до 2015 залежно від метеорологічного параметра, проте — не більше 0,04%). Більше величин належать до категорії можливих помилок, викидів, підозрілих значень та груп підозрілих значень. Їх частка від усіх значень окремих величин дорівнює 0,1–0,14%. За результатами проведеної процедури контролю якості було здійснено перевірку та корекцію всіх виявлених грубих помилок відповідно до даних в оригінальних паперових носіях.

Ключові слова: *добові часові ряди, температура повітря, екстремальні температури, атмосферні опади, data rescue, контроль якості, INQC, Climatol.*

ВСТУП

Висока актуальність досліджень змін клімату зумовлює необхідність створення високоякісних баз даних первинної метеорологічної інформації. Такі бази даних можуть бути покладені в основу великої кількості робіт, так чи інакше пов'язаних із кліматом та його змінами. Часто, однією з перепон до використання в кліматологічних та метеорологічних дослідженнях баз даних первинної метеорологічної інформації є кліматологічна неоднорідність цих рядів [27], яку усувають за допомогою процедури гомогенізації. Таку процедуру для довгих рядів метеорологічних/кліматологічних даних виконують як на рівні середніх за місяць значень [15, 31], так і для даних добового часового масштабу [13, 14, 16, 20–22]. Своєю чергою, головним лімітуючим/обмежуючим фактором при виконанні гомогенізації може бути велика кількість пропущених даних та загальна низька якість рядів досліджуваних станцій (наявність викидів чи інших помилкових значень).

Результати процедур контролю якості та гомогенізації рядів метеорологічних величин представлено в численних дослідженнях, як на локальному чи регіональному, так і на національному, міжнаціональному або ж глобальному рівнях [15, 21, 22, 25, 30 та ін.]. В Україні низку досліджень кліматологічної неоднорідності первинної метеорологічної інформації та її подальшого аналізу на місячному часовому масштабі було проведено в Українському гідрометеорологічному інституті [1–3, 23, 24, 27, 28]. Далі слід виконати дослідження неоднорідностей у кліматологічних рядах з більш високою часовою роздільністю, зокрема на добовому масштабі. Такий підхід дозволить провести комплексний різномасштабний порівняльний аналіз неоднорідностей в рядах спостережень. Також гомогенізовані довгі ряди добових значень метеорологічних спостережень будуть використані як основа для проведення спеціалізованої геостатистичної інтерполяції (геопросторового моделювання) та створення сіткових баз даних для дослідження зміни клімату, включаючи кліматологічні аспекти екстремальних погодних подій та явищ. Варто зазначити, що часова роздільність вихідних даних для кліматологічного дослідження екстремальних погодних явищ повинна бути не менша, ніж добова. Це зумовлено тим, що вони мають коротку тривалість (від кількох годин до кількох днів) [4]. Для того, щоб заповнити про-

галини в просторовому і часовому охопленні даних кліматичних спостережень проводять процедури порятунку даних (Data Rescue) [6–12, 17, 19].

Метою роботи є представлення результатів щодо оцифровування пропущених значень у базі даних довгих часових рядів добових значень середньої, мінімальної та максимальної приземних температур повітря та атмосферних опадів та контроль якості отриманих рядів. Такі дані слугуватимуть основою для аналізу сучасних (за період 1946–2020 рр.) змін клімату України (приземної температури повітря та атмосферних опадів) та дослідження їх можливих фізичних причин та факторів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Порятунок даних. Початкову цифрову базу даних добових значень TM, TX, TN і RR було отримано в Центральній геофізичній обсерваторії (ЦГО), проте вона містила значну кількість пропусків. Набір станцій у базі даних для рядів усіх метеорологічних величин є однаковим, і складається зі 178 станцій, які є основою сучасної моніторингової мережі Гідрометслужби України. В цій роботі для дослідження було обрано часовий період з 1946 по 2020 рік. Вибір саме цього періоду є виправданим, оскільки це є логічним продовженням попередніх досліджень, що були виконані на рівні щомісячних значень [33]. Оскільки, в часових рядах добових значень метеорологічних величин є значна кількість пропусків, то існує нагальна потреба для їх заповнення. Після проведення повної інвентаризації пропущених значень, наступним етапом було проведено фотосканування паперових носіїв (таблиць ТМС), які зберігаються у спеціалізованому архіві Центральної геофізичної обсерваторії та містять записи добових значень середньої (TM), максимальної (TX) та мінімальної (TN) приземних температур повітря та сум атмосферних опадів (RR). Загалом було відсканова-но паперові носії для 178 станцій для різних часових періодів, переважно для 1946–1960 рр., менше для 1946–1975 рр. На *рис. 1* представлено приклади фотокопій, створених для однієї зі станцій (Любешів, Волинська область).

Після цього було проведено оцифрування рядів досліджуваних величин зі створеного фотоархіву паперових носіїв. У цьому випадку оцифровування проводилось в ручному режимі. Варто зазначити, що фотосканування, а також, власне, і процес ручного оцифровування є дуже трудомісткими й вимагають залучення великої кількості ресурсів. Крім того, ручне оцифрування з паперових носіїв також є джерелом надходження різного роду помилок в ряди метеорологічної інформації. Якість оцифровування, головним чином, залежить від компетентності, уваги та концентрації особи, що її здійснює, якщо оцифровування виконується в ручному режимі людиною та ефективності програмного забез-

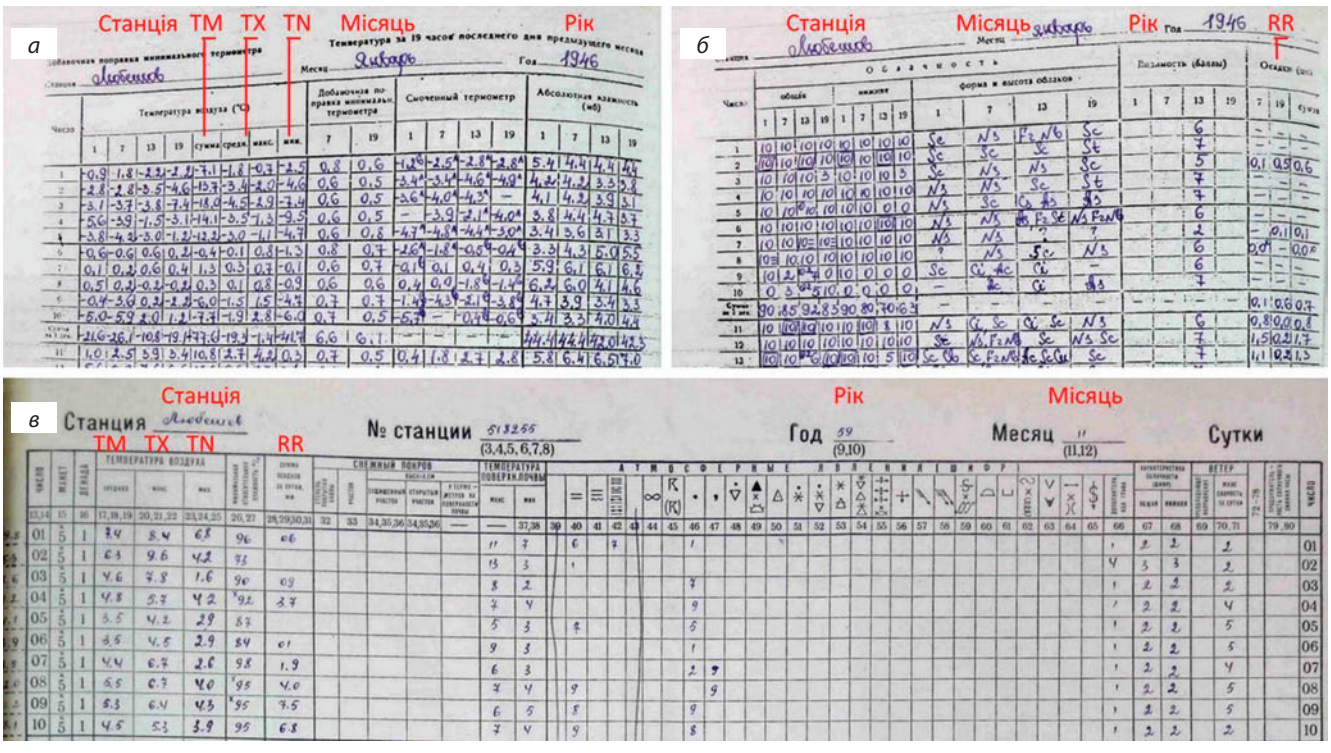


Рис. 1. Приклади фотокопій паперових носіїв метеорологічної/кліматологічної інформації

печення — якщо в автоматизованому. Якість оцифрування також сильно залежить від стану, в якому знаходяться паперові носії, та від того, чи це оригінальні записи, чи переписані заново, оскільки при переписуванні також можуть припуститися помилки. Процедури створення цифрового фотоархіву та оцифрування даних було проведено відповідно до рекомендацій ВМО з порятунку даних [17].

Контроль якості. Часові ряди даних метеорологічних спостережень та вимірювань практично завжди містять в собі помилки різної величини та походження. Саме тому до них необхідно застосовувати процедуру контролю якості. Метою такої процедури є виявлення та вилучення помилок, які в подальшому аналізі можуть призвести до отримання хибних чи необґрунтованих висновків щодо стану кліматичної системи, змін клімату та його мінливості. Контроль якості було виконано у декілька етапів.

Перший етап — "ручний", був проведений за допомогою вбудованих засобів табличного процесора Excel. Він є важливим, оскільки дозволяє очистити ряди від різного роду друкарських помилок, які могли виникнути під час диджиталізації даних. Крім того, він дозволяє очистити часові ряди від нечислових значень, що є важливим для коректної роботи програмного забезпечення, яке буде застосоване на подальших стадіях процедури контролю якості. Слід зазначити, що на цьому етапі перевірка рядів здійснювалась для періоду, в якому було виконано процес ручного оцифрування даних з паперових носіїв. Натомість головні етапи контролю якості для всього періоду покриття бази даних (1946–2020 рр.) було виконано за допомогою спеціалізованих кліматологічних програмних засобів INQC [5] та Climatol [18]. Ці програмні продукти часто використовують і вони є добре апробованими.

Наступний (основний) етап контролю якості — аналіз часових рядів за допомогою INQC (Indices Quality Control of Climatological Daily Time Series) [5]. INQC — це програмне забезпечення (ПЗ), що виконується в середовищі R. INQC можна використовувати для контролю якості кліматологічних даних з добовою роздільною здатністю. Воно являє собою набір функцій/тестів для виявлення помилкових чи підозрілих значень у часових рядах основних метеорологічних величин (середньої, максимальної та мінімальної приземних температур повітря, атмосферних опадів та тиску, відносної вологості, швидкості вітру та ін.). INQC працює, застосовуючи серію тестів до даних, виявляючи помилкові значення (наприклад, від'ємні опади або температури вище/нижче певних встановлених меж), підозрілі значення (наприклад, екстремальні значення, які "випадають" із розподілу ймовірностей значень метеорологічної величини, що аналізується) та сукупно підозрілі значення (які повторюються надто багато разів за окремі короткі періоди). Короткий опис застосованих INQC-тестів представлено в [29]. Під час проведення контролю якості за допомогою ПЗ INQC кожному значенню в часових рядах даних присвоюється додаткове значення на основі системи цілочисельних міток контролю якості, які надають інформацію користувачу про статус перевірених даних для подальшого аналізу і прийняття рішень щодо можливого виправлення чи вилучення помилкового значення. INQC має 6 міток контролю якості для позначення категорій, до яких потрапляє значення ряду, а саме: значення, що пройшли контроль якості; грубі помилки; ймовірні помилки; викиди та підозрілі значення; група підозрілих значень (колективно підозрілі значення) та пропущені значення ряду. На цьому етапі контроль якості здійснювався для усього часового періоду дослідження, а саме для 1946–2020 років для 178 станцій.

Як *додатковий етап контролю якості було використано Climatol* (Climate Tools: Series Homogenization and Derived Products) [18]. Climatol — це програмне забезпечення без графічного інтерфейсу, яке теж працює в середовищі R і яке створене для виконання процедур контролю якості, заповнення пропущених даних та гомогенізації рядів широкого набору метеорологічних величин з місячною та з добовою роздільною здатністю. За допомогою Climatol були проаналізовані дані про викиди як на рівні осереднених за місяць значень, так і на рівні добових значень.

Важливо зазначити, що різниця між INQC та Climatol при проведенні контролю якості полягає в тому, що перше ПЗ реалізує метод "абсолютного" контролю якості й використовує для виявлення помилкових та підозрілих значень лише статистичні характеристики досліджуваного ряду. У випадку Climatol реалізується процедура "відносного" контролю якості, оскільки для виявлення викидів використовуються дані рядів сусідніх станцій.

Для того, щоб перевірити наявності інших, не врахованих в INQC та Climatol, типових помилок, було вирішено провести додатковий етап контролю якості для виявлення випадків, коли для певної станції порушується нерівність $TN \leq TM \leq TX$. Перевірку виконано на основі створених власних скриптів у середовищі R.

Враховуючи велику кількість даних та необхідність проведення декількох ітерацій/циклів контролю якості часових рядів, процес проведення розрахунків необхідно максимально автоматизувати. З цією метою було створено скрипти та програмні

коди, які дозволяють значно мінімізувати участь користувача у всьому ланцюжку основних етапів аналізу емпіричних даних.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Порятунок даних. В результаті проведення детальної інвентаризації наявної цифрової метеорологічної/кліматологічної інформації добового часового масштабу було визначено повноту рядів окремо для кожного року для 178 станцій мережі метеорологічних спостережень України у наявних цифрових наборах рядів добових значень середньої, максимальної та мінімальної приземних температур повітря та добових сум опадів. Для розуміння суті такої оцінки потрібно визначити поняття повноти ряду. В цьому випадку, повнотою ряду будемо вважати відношення фактичної кількості членів ряду (без пропущених значень) до їх загальної (максимально можливої) кількості у досліджуваному періоді, виражене у відсотках. Було встановлено, що в межах часового діапазону 1946–2020 рр. найбільша кількість пропущених даних зосереджена в 1946–1960 рр. (15 років), де повнота становить 20–40%. Часовий період 1976–2020 років в середньому має задовільне та високе значення повноти рядів (понад 80–90%).

На основі створеного архіву відсканованих паперових носіїв було проведено оцифровування по 176 рядах добових значень середньої, максимальної та мінімальної температури, а також 178 рядах добових значень сум опадів для різних часових періодів.

Процедура порятунку даних (оцифрування) дозволила доповнити наявну цифрову базу даних 3 571 778 добовими значеннями кліматологічних величин. Серед них, загальна кількість оцифрованих значень середньої добової температури повітря становить 640 702; кількість оцифрованих значень максимальної та мінімальної добових температур повітря складає по 652 963 та 644 843 відповідно; для рядів добових сум атмосферних опадів оцифровано 1 633 270 значення. Найбільше роботи з оцифрування рядів середньої температури було виконано для періоду 1946–1960 років, тоді як для років періоду з 1961 по 1991 було виконано оцифровування невеликих фрагментів пропущених даних з метою підвищення повноти рядів. Для рядів максимальної та мінімальної температур повітря більшість даних оцифровані для періоду 1946–1959 років, оцифровано окремі пропущені періоди даних з 1960–1991 роки. Для рядів значень добових сум опадів більшість даних була оцифрована для періоду 1946–1975 років. Як і для рядів температури, для рядів опадів було оцифровано певну кількість пропущених даних для періоду 1976–1993 років. Теплові карти повноти добових часових рядів до та після оцифрування показано на *рис. 2*. Як видно з теплових карт, не всі пропущені дані були оцифровані. Однак, кількість пропущених даних суттєво зменшилась у порівнянні з початковим станом бази даних.

Контроль якості. Первинний аналіз оцифрованих даних показав, що типовими помилками під час ручного оцифровування є пропуск знаку мінус перед числом, пропуск роздільника цілих та десяткових значень (символу крапки «.» або коми «,»), що призводить до внесення значень у десять разів вищих ніж насправді. При оцифровуванні рукописних таблиць рядів низької якості можна внести хибне значення, переплутавши подібні один до одного варіанти написання різних цифр та літер. Іноді трапляється так, що ряди різних станцій зі схожими назвами можуть бути помилково об'єднані в один. До того ж дані однієї станції можуть бути помилково розділені у різні ряди. Не варто забувати й про те, що і в метаданих про станції, їх перенесення та будь-які інші зміни теж можуть міститися помилки. Перевірка за допомогою вбудованих засобів Excel виявила 56 грубих помилок. Їх найбільшу кількість було знайдено в рядах максимальної та середньої температур повітря, дещо меншу кількість в рядах мінімальної температури повітря та добової суми опадів (*табл. 1*).

Таблиця 1. **Розподіл виявлених помилок за метрологічними величинами під час проведення попереднього етапу контролю якості часових рядів**

Величина	Кількість помилок	Відсоток, %
Середня добова температура повітря, TM	18	32
Максимальна добова температура повітря, TX	26	46
Мінімальна добова температура повітря, TN	7	13
Добова сума опадів, RR	5	9
Загалом	56	100

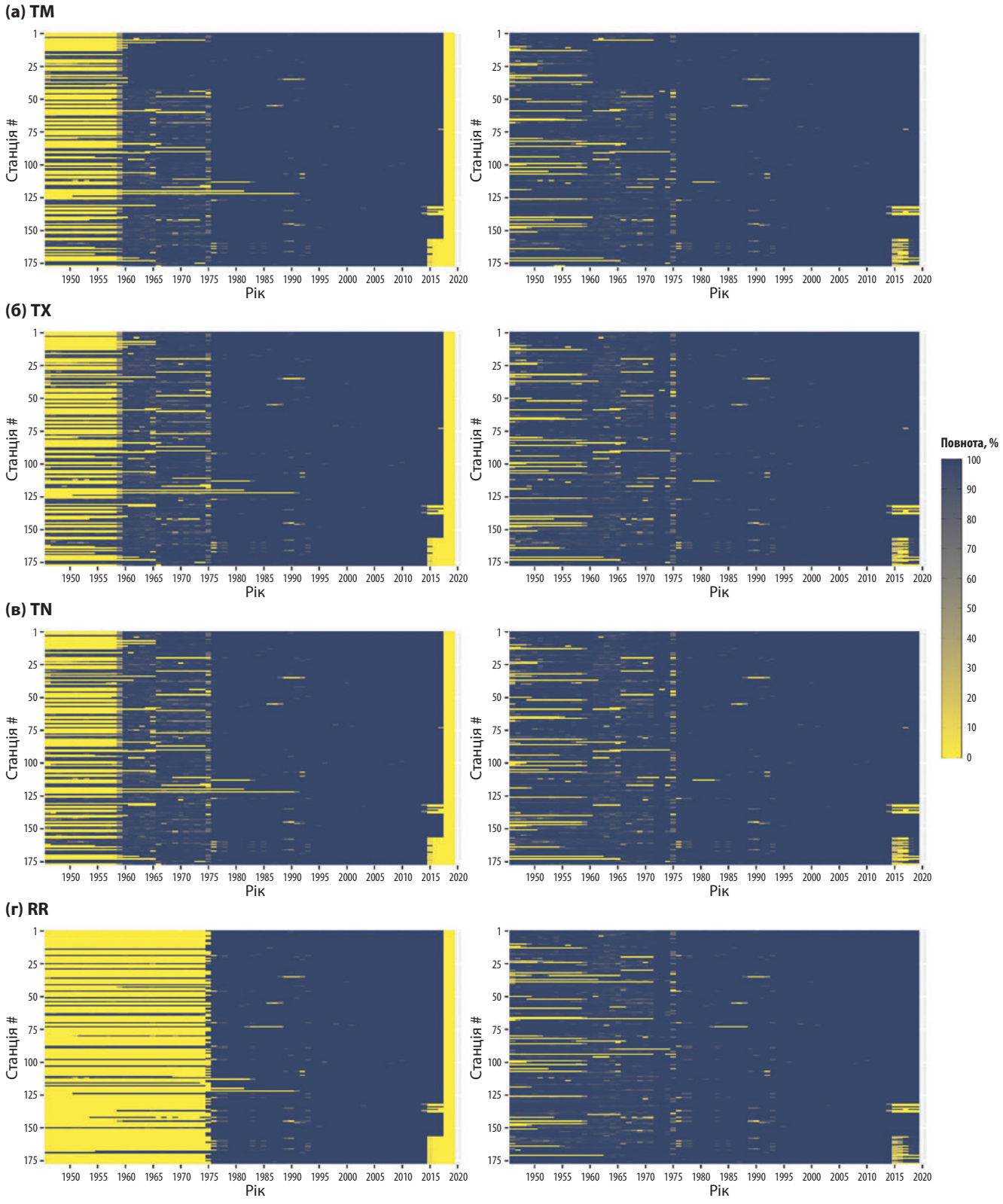


Рис. 2. Теплові карти повноти добових часових рядів до (*зліва*) та після (*справа*) оцифрування даних: *а* — TM; *б* — TX; *в* — TN; *г* — RR

Серед виявлених на попередньому етапі помилок найчастіше зустрічається пропуск символу коми (розділового десяткового знаку) (55,4%) або ж навпаки, подвійний ввід символу (25%). Решту 19,6% склали помилки, що стосувалися набору при оцифруванні зайвих цифр, символів або літер за-

мість цифр, неправильного порядку цифр тощо. Виправлення усіх виявлених випадків було здійснено відповідно до даних у фотокопіях оригінальних паперових носіїв.

За результатами головного етапу контролю якості (за допомогою INQC), в усіх 4 наборах рядів досліджуваних метеорологічних величин (TM, TX, TN, RR) кількість значень, які пройшли контроль якості становить понад 94% від усієї сукупності значень для досліджуваного часового періоду відповідних величин. Кількість виявлених помилок в абсолютних значеннях становить 3 933 (від 9 в рядах RR до 2015 в рядах TN), проте — не більше 0,04% від усієї сукупності значень кожної з величин. Така кількість помилок спричинена великою кількістю помилок категорії txtn — по 1543. Більше величин належать до категорії можливих помилок, викидів, підозрілих значень та груп підозрілих значень. Їх частка від всіх значень окремих величин дорівнює 0,1–0,14%. Однак в абсолютних значеннях ця кількість, а саме до 6758 значень, є досить значною. Відсоток пропусків сягає приблизно 4,6–5,1% значень у кожному з наборів часових рядів досліджуваних величин. Оскільки під час перевірки даних за допомогою INQC було виявлено досить значну кількість помилок категорії txtn, який перевіряє чи виконується умова $TN \leq TX$, здійснено перевірку за допомогою власних тестів: tntm та tmtx. Ці тести були розраховані для кожної пари відповідних рядів однієї метеорологічної станції за допомогою власних скриптів/програмних кодів. Така перевірка показала, що в рядах є 1331 випадок, коли TN>TM та 1 422 випадки, коли TM>TX.

Результатом проведеної процедури контролю якості було виявлення помилок та підозрілих значень температур повітря та атмосферних опадів, які подано в *табл. 2*.

Під час перевірки викидів (виявлених за допомогою ПЗ Climatol) на рівні осереднених за місяць значень у багатьох випадках були знайдені можливі причини помилок. Наприклад, це примітки про несправність мінімального термометра, закресле-

Таблиця 2. **Розподіл випадків виявлених помилок та підозрілих значень після проведення контролю якості за величинами для кожного тесту/функції INQC**

Тест	TM	TX	TN	RR
drywetlong	×	×	×	1653
duplas	0	0	0	0
flat	426	558	533	2439
friki	1438	1605	1603	3676
frikilight	8137	8143	8230	10909
IQRoutliers	126	291	323	1180
jumpABS	226	694	747	0
jumpQUANT	1739	274	1054	0
paretogadget	×	×	×	6
physics (large)	52	46	72	11
physics (small)	11	11	7	13
repeatedvalue	×	×	×	501
rounding	0	193	162	1079
rounding (roundmax)	0	192	167	384
roundprecip	×	×	×	0
suspectacumprec	×	×	×	63
toomany (annual)	0	0	0	2209
toomany (toomanymonth)	0	81	50	2025
txtn	×	1543	1543	×
weirddate	0	0	0	0
Загалом	**12155**	**13631**	**14491**	**26148**

Примітки. 1) × — тест не застосовується; 2) короткий опис застосованих тестів наведений у [29].

Таблиця 3. **Кількість перевірених, виправлених, підтверджених та вилучених значень після усіх етапів процедури контролю якості**

Контроль якості	Величина				Загалом
	TM	TX	TN	RR	
Перевірені	6171	6252	6587	6099	25109
в т. ч.:					
виправлені	1447	2246	2620	261	6574
підтверджені	3080	2358	2270	4202	11910
вилучені	1644	1648	1697	1636	6625

ні дані (ймовірно, записані помилково), а також пропуски у вимірах. Ці примітки, переважно, були розміщені на полях оригінальних паперових носіїв даних. Під час перевірки викидів місячних рядів дані були перевірені на рівні добових значень для кожного дня місяця з викидів. У рядах середньої температури було виправлено 175 значень, а підтверджено — 45. В рядах максимальної та мінімальної температури виправлено 91 та 112 значень, а підтверджено 61 та 68 значень відповідно.

Всі знайдені помилки на кожному з етапів контролю якості, а саме грубі помилки, знайдені завдяки INQC, помилки, знайдені за допомогою власних скриптів (тести tntm та tmtx) та викиди, виявлені внаслідок тестових запусків Climatol, були скомпоновані разом та перевірені вручну. Слід зазначити, що для дати кожної помилки було перевірено кожну з досліджуваних метеорологічних величин. Такий підхід було застосовано для підвищення точності контролю якості, а також тому, що на паперових носіях величини часто розташовуються на одних листах у сусідніх клітинках.

За результатами такої комплексної процедури контролю якості було виконано перевірку всіх виявлених грубих помилок та викидів. Перевірку було здійснено за даними у фотокопіях паперових носіїв (у випадку, якщо вони були наявні). Всі знайдені помилки було виправлено у відповідних наборах рядів даних. Якщо не було можливості перевірити певні помилки, то такі грубі помилки були вилучені та позначені як пропущені. Результати перевірки представлені у таблиці 3. Окрім цього, якщо при перевірці була підозра, що всі значення певного місяця неправильні, то вони перевірялись додатково. Таким чином було знайдено та виправлено 72 помилкових значення середньої, 63 значення максимальної та 65 значень мінімальної температури.

Окрім цього, завдяки процедурі контролю якості в оригінальних рядах добових сум атмосферних опадів на станції Умань для періоду 1946–1965 років було виявлено та виправлено велику кількість помилок, не включених до *таблиці 3*. Після перевірки з паперовими носіями, було виявлено пропуск символу десяткового розділювача. Кількість таких виправлених значень склала 7305.

ВИСНОВКИ

У роботі представлено результати інвентаризації даних наявної цифрової метеорологічної/кліматологічної інформації добового часового масштабу, а саме проаналізовано повноту рядів у наявних цифрових наборах рядів добових значень середньої, максимальної та мінімальної температур повітря та добових сум атмосферних опадів. Встановлено, що за межами періоду 1946–2020 років середня для кожного з чотирьох наборів рядів повнота рядів не є достатньою для проведення подальших досліджень, таких, як процедура гомогенізації добових значень.

Виконано оцифрування 176 рядів добових значень для TM, TX та TN, а також 178 рядів добових значень RR для різних часових періодів (переважно 1946–1960 та 1946–1975). Загальна кількість оцифрованих значень становить 3 571 778 (з них: 640 702 оцифрованих значень середньої добової температури повітря, 652 963 значень максимальної добової температури повітря, 644 843 значень мінімальної добової температури повітря та 1 633 270 оцифрованих значень для рядів добових сум опадів).

Проведено контроль якості даних у декілька етапів з використанням ПЗ INQC, Climatol та власних скриптів/тестів. На першому етапі виявлено та виправлено 56 грубих помилок. На другому, головному етапі контролю якості, кількість виявлених помилок становить 3 933 (від 9 до 2015 в залежності від набору даних), що є не більше 0,04% від усієї можливої для досліджуваного періоду сукупності значень кожної з величин. Кількість величин, що належать до ймовірних помилок, викидів, підозрілих значень та колективно підозрілих значень є дещо більшою. Відсоток таких значень від максимально

можливої сукупності значень окремих величин сягає 0,1–0,14%. За допомогою власних скриптів виявлено 1331 помилкових значень, коли TN>TM та 1 422 випадки, коли TM>TX. За результатами проведеної процедури контролю якості було здійснено перевірку всіх виявлених грубих помилок та викидів за даними у фотокопіях паперових носіїв.

Застосування вищезазначених процедур порятунку даних та контролю якості до оригінальних кліматологічних рядів дозволило значно підвищити повноту рядів, а також покращити якість довгих рядів метеорологічних величин та є важливим для проведення подальших досліджень на основі опрацьованих даних.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Осадчий В.І., Агуілар Е., Скриник О.А., Бойчук Д.О., Сіденко В.П., Скриник О.Я. Добова асиметрія кліматичних змін температури повітря в Україні. *Український географічний журнал*. 2018. **3.** С. 21–30. DOI: https://doi.org/10.15407/ugz2018.03.021
[Osadchyi, V.I., Aguilar, E., Skrynyk, O.A., Boichuk, D.O., Sidenko, V.P., Skrynyk, O.Y. (2018). Daily asymmetry of temperature changes in Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal*. **3.** 21–30. DOI: https://doi.org/10.15407/ugz2018.03.021].
2. Осадчий В.І., Скриник О.А., Сіденко В.П., Бойчук Д.О., Ошурок Д.О., Скриник О.Я. Гомогенізована база даних довгих часових рядів середньої місячної температури. *Геоінформатика*. 2018. **1 (65).** С. 46–58.
[Osadchyi, V.I., Skrynyk, O.A., Sidenko, V.P., Boichuk, D.O., Oshurok, D.O., Skrynyk, O.Y. (2018). Homogenized database of long monthly mean air temperature time series. *Geoinformatika*. **1 (65)**. 45–68].
3. Паламарчук Л.В., Осадчий В.І., Скриник О.А., Киреєва З.М., Сіденко В.П., Ошурок Д.О., Скриник О.Я. Використання програмного забезпечення HOMER для контролю якості та гомогенізації рядів щомісячних сум опадів. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2023. **1 (67).** С. 58–77. DOI: https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.1.7
[Palamarchuk, L.V., Osadchyi, V.I., Skrynyk, O.A., Kyreieva, Z.M., Sidenko, V.P., Oshurok, D.O., Skrynyk, O.Y. (2023). Application of the HOMER software to quality control and homogenize time series of monthly precipitation sums. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*. **1 (67).** 58–77. DOI: https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.1.7].
4. Сіденко В. П. Кліматологічні дослідження екстремальних погодних умов, подій та явищ в Україні та світі. *Гідрологія, гідрохімія та гідроекологія*. 2022. **2 (64).** С. 53–71. DOI: https://doi.org/10.17721/2306-5680.2022.2.5.
[Sidenko, V.P. (2022). Climatic studies of extreme weather conditions, events and phenomena in Ukraine and the world. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*. **2 (64).** DOI: https://doi.org/10.17721/2306-5680.2022.2.5].
5. Aguilar, E., Skrynyk, O. (2021). INQC: Quality control of climatological daily time series. R-Packages. URL: https://CRAN.R-project.org/package=INQC (accessed 12/01/2024).
6. Ashcroft, L., Coll, J. R., Gilabert, A., Domonkos, P., Brunet, M., Aguilar, E., Castella, M., Sigro, J., Harris, I., Unden, P., Jones, P. (2018). A rescued dataset of sub-daily meteorological observations for Europe and the southern Mediterranean region, 1877–2012. *Earth System Science Data*. **10 (3).** 1613–1635. DOI: https://doi.org/10.5194/ESSD-10-1613-2018.
7. Ashcroft, L., Gergis, J., Karoly, D.J. (2014). A historical climate dataset for southeastern Australia, 1788–1859. *Geoscience Data Journal*. **1 (2).** 158–178. DOI: https://doi.org/10.1002/GDJ3.19.
8. Brönnimann, S., Annis, J., Dann, W., Ewen, T., Grant, A.N., Griesser, T., Krähenmann, S., Mohr, C., Scherer, M., Vogler, C. (2006). A guide for digitising manuscript climate data. Climate of the Past. **2 (2).** 137–144. DOI: https://doi.org/10.5194/CP-2-137-2006.
9. Brönnimann, S., Allan, R., Ashcroft, L., Baer, S., Barriendos, M., Brázdil, R., Brugnara, Y., Brunet, M., Brunetti, M., Chimani, B., Cornes, R., Domínguez-Castro, F., Filipiak, J., Founda, D., Herrera, R.G., Gergis, J., Grab, S., Hannak, L., Huhtamaa, H., Jacobsen, K.S., Jones, P., Jourdain, S., Kiss, A., Lin, K.E., Lorrey, A., Lundstad, E., Luterbacher, J., Mauelshagen, F., Maugeri, M., Maughan, N., Moberg, A., Neukom, R., Nicholson, S., Noone, S., Nordli, Ø., Ólafsdóttir, K.B., Pearce, P.R., Pfister, L., Pribyl, K., Przybylak, R., Pudmenzky, C., Rasol, D., Reichenbach, D., Řezníčková, L., Rodrigo, F.S., Rohr, C., Skrynyk, O., Slonosky, V., Thorne, P., Valente, M.A., Vaquero, J.M., Westcottt, N.E., Williamson, F. (2019). Wyszyński Przemys. Unlocking pre-1850 instrumental meteorological records a global inventory. *Bulletin of the American Meteorological Society*. **100 (12).** ES389–ES413. DOI: https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0040.1.
10. Brönnimann, S., Brugnara, Y., Allan, R.J., Brunet, M., Compo, G.P., Crouthamel, R.I., Jones, P.D., Jourdain, S., Luterbacher, J., Siegmund, P., Valente, M.A., Wilkinson, C.W. (2018). A roadmap to climate data rescue services. *Geoscience Data Journal*. **5 (1).** 28–39. DOI: https://doi.org/10.1002/GDJ3.56.
11. Brunet, M., Gilabert, A., Jones, P., Efthymiadis, D. (2014). A historical surface climate dataset from station observations in Mediterranean North Africa and Middle East areas. *Geoscience Data Journal*. **1 (2).** 121–128. DOI: https://doi.org/10.1002/GDJ3.12.
12. Brunet, M., Jones, P. (2011). Data rescue initiatives: bringing historical climate data into the 21st century. Climate Research. **47 (1–2).** 29–40. DOI: https://doi.org/10.3354/CR00960.
13. Camuffo, D., Valle, A. della, Becherini, F., Zanini, V. (2020). Three centuries of daily precipitation in Padua, Italy, 1713–2018: history, relocations, gaps, homogeneity and raw data. *Climatic Change*. **162 (2).** 923–942. DOI: https://doi.org/10.1007/S10584-020-02717-2.
14. Costa, A.C., Soares, A. (2008). Homogenization of climate data: review and new perspectives using geostatistics. *Mathematical Geosciences*. **41 (3).** 291–305. DOI: https://doi.org/10.1007/s11004-008-9203-3.
15. Delvaux, C., Ingels, R., Vrábeĺ, V., Journée, M., Bertrand, C. (2019). Quality control and homogenization of the Belgian historical temperature data. *International Journal of Climatology*. **39 (1).** 157–171. DOI: https://doi.org/10.1002/JOC.5792.
16. Frick, C., Steiner, H., Mazurkiewicz, A., Riediger, U., Rauthe, M., Reich, T., Gratzki, A. (2014). Central European high-resolution gridded daily data sets (hyras): mean temperature and relative humidity. *Meteorologische Zeitschrift*. **23 (1).** 15–32. DOI: https://doi.org/10.1127/0941-2948/2014/0560.
17. Guidelines on best practices for climate data rescue. 2016 edition. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, 2016. ISBN 978-92-63-11182-1.
18. Guijarro, J.A. (2019). Climatol: Climate tools (series homogenization and derived products). R-Packages. URL: https://CRAN.R-project.org/package=climatol (accessed 12/01/2024).

19. Hawkins, E., Burt, S., Brohan, P., Lockwood, M., Richardson, H., Roy, M., Thomas, S. (2019). Hourly weather observations from the Scottish Highlands (1883–1904) rescued by volunteer citizen scientists. *Geoscience Data Journal*. **6 (2).** 160–173. DOI: https://doi.org/10.1002/GDJ3.79.
20. Li, Z., Cao, L., Zhu, Y., Yan, Z. (2016). Comparison of two homogenized datasets of daily maximum/mean/minimum temperature in China during 1960–2013. *Journal of Meteorological Research*. **30 (1).** 53–66. DOI: https://doi.org/10.1007/s13351-016-5054-x.
21. Mahmood, R., Jia, S. (2016). Quality control and homogenization of daily meteorological data in the trans-boundary region of the Jhelum River basin. *Journal of Geographical Sciences*. **26 (12).** 1661–1674. DOI: https://doi.org/10.1007/s11442-016-1351-7.
22. Mateus, C., Potito, A. (2021). Development of a quality-controlled and homogenised long-term daily maximum and minimum air temperature network dataset for Ireland. *Climate*. **9 (11).** 158. DOI: https://doi.org/10.3390/cli9110158.
23. Osadchyi, V., Skrynyk, O., Palamarchuk, L., Skrynyk, O., Osypov, V., Oshurok, D., Sidenko, V. (2022). Dataset of gridded time series of monthly air temperature (min, max, mean) and atmospheric precipitation for Ukraine covering the period of 1946–2020. Data in Brief. **44.** 108553. DOI: https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108553.
24. Osadchyi, V., Skrynyk, O., Radchenko, R., Skrynyk, O. (2017). Homogenization of Ukrainian air temperature data. *International Journal of Climatology*. **38 (1).** 497–505. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.5191.
25. Randriamarolaza, L.Y.A., Aguilar, E., Skrynyk, O., Vicente-Serrano, S.M., Domínguez-Castro, F. (2021). Indices for daily temperature and precipitation in Madagascar, based on quality-controlled and homogenized data, 1950–2018. *International Journal of Climatology*. **42 (1).** DOI: https://doi.org/10.1002/joc.7243.
26. Rodrigo, F.S. (2020). Recovering climate data from documentary sources: A study on the climate in the south of Spain from 1792 to 1808. *Atmosphere*. **11 (3).** DOI: https://doi.org/10.3390/ATMOS11030296.
27. Skrynyk, O., Aguilar, E., Skrynyk, O., Sidenko, V., Boichuk, D., Osadchyi, V. (2019). Quality control and homogenization of monthly extreme air temperature of Ukraine. *International Journal of Climatology*. **39 (4).** 2071–2079. DOI: https://doi.org/10.1002/JOC.5934.
28. Skrynyk, O., Luterbacher, J., Allan, R., Boichuk, D., Sidenko, V., Skrynyk, O., Palarz, A., Oshurok, D., Xoplaki, E., Osadchyi, V. (2020). Ukrainian early (pre-1850) historical weather observations. Geoscience Data Journal. **8 (1).** P. 55–73. DOI: https://doi.org/10.1002/gdj3.108.
29. Skrynyk, O., Sidenko, V., Aguilar, E., Guijarro, J., Skrynyk, O., Palamarchuk, L., Oshurok, D., Osypov, V., Osadchyi, V. (2023). Data quality control and homogenization of daily precipitation and air temperature (mean, max and min) time series of Ukraine. *International Journal of Climatology*. C. joc.8080. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.8080.
30. Štěpánek, P., Zahradníček, P., Skalák, P. (2009). Data quality control and homogenization of air temperature and precipitation series in the area of the Czech Republic in the period 1961–2007. *Advances in Science and Research*. **3 (1).** 23–26. DOI: https://doi.org/10.5194/asr-3-23-2009.
31. Venema, V.K.C., Mestre, O., Aguilar, E., Auer, I., Guijarro, J.A., Domonkos, P., Vertacnik, G., Szentimrey, T., Stepanek, P., Zahradnicek, P., Viarre, J., Müller-Westermeier, G., Lakatos, M., Williams, C.N., Menne, M.J., Lindau, R., Rasol, D., Rustemeier, E., Kolokythas, K., Marinova, T., Andresen, L., Acquaotta, F., Fratianni, S., Cheval, S., Klancar, M., Brunetti, M., Gruber, C., Prohom Duran, M., Likso, T., Esteban, P., Brandsma, T. (2012). Benchmarking homogenization algorithms for monthly data. *Climate of the Past*. **8 (1).** 89–115. DOI: https://doi.org/10.5194/cp-8-89-2012.

Sidenko Vladyslav[1]; *ORCID: 0000–0002–4143–2913; *vladyslavsidenko@gmail.com*

Kravchenko Ihor[1,2]; *ORCID: : 0009–0006–4653–1853 igorkravchenko578@gmail.com*

Kyreieva Zoryna[1]; *ORCID: 0009–0003–9544–6944; kireeva5687@gmail.com*

Pinchuk Dmytro[1,3]; *ORCID: 0000–0002–2054–3761 leodig44@gmail.com*

[1] *Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine and the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv*

[2] *National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv*

[3] *Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv*

DATA RESCUE AND QUALITY CONTROL OF DAILY TIME SERIES OF AIR TEMPERATURE (MEAN, MAXIMUM AND MINIMUM) AND ATMOSPHERIC PRECIPITATION IN UKRAINE

This paper presents the results of the digitization of hard copies (meteorological tables) containing records of daily values of mean (TM), maximum (TX) and minimum (TN) surface air temperatures and atmospheric precipitation sums (RR). The daily values of TM, TX and TN obtained at 176 meteorological stations of the national hydrometeorological monitoring network were digitized. The largest number of stations (178) were processed for digitizing atmospheric precipitation data. The total number of digitized values is 3,571,778. The digitized values fill in the gaps in the digital database of daily values of the essential climatic variables (TM, TX, TN and RR), which was created at the Ukrainian Hydrometeorological Institute. The quality control of the digital database was carried out using state-of-the-art, well-tested dedicated software INQC and Climatol. The number of detected gross errors is 3,933 and ranges from 9 to 2015, depending on the meteorological parameter (however, not more than 0.04% of the total set of values of each variable). A slightly larger number of values were recorded that fell into the category of probable errors, outliers, suspicious values, and collectively suspicious values. The percentage of such values from the total amount of values for each dataset reaches up to 0.14%. Based on the results of the quality control procedure, all identified errors were checked and corrected in correspondence with the data in the original hard copies.

Keywords: *daily time series, air temperature, extreme temperatures, atmospheric precipitation, data rescue, quality control, INQC, Climatol.*

ЧИСЛОВІ МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ В ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЇ

О.Л. Шевченко
ORCID: 0000–0002–5791–5354
shevch62@gmail.com

Український гідрометеорологічний інститут Державної служби України з надзвичайних ситуацій та Національної академії наук України, Київ, Україна

УДК 556.388:621.039.75

ЛОГІЧНО-АПРІОРНИЙ АНАЛІЗ В ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

У статті продемонстровано на прикладах, що за браку вхідної інформації, логічно-апріорний аналіз можна ефективно застосовувати для вирішення не надто складних гідрогеологічних завдань: в регіональних дослідженнях, для аналізу даних спостережень за режимом підземних вод, при проектуванні підземних водозаборів, розчленуванні гідрографів річок, виборі розрахункових параметрів для моделювання тощо. У наш час цей метод експертного аналізу витісняється методами обробки даних за допомогою штучного інтелекту, що не вимагає глибоких знань предмету та значного досвіду дослідника. Показано, що логічно-апріорний аналіз може бути ефективним допоміжним методом при виконанні гідродинамічних розрахунків. Так, з його допомогою з'ясовано, що найрепрезентативнішим параметром, який проявляє і контролює залежність величини живлення ґрунтових вод від опадів є середньозважений річний коефіцієнт інфільтраційного живлення. Цей показник можна використовувати і для корегування невідомих фільтраційних параметрів, оскільки він має вузький діапазон варіабельності, що в свою чергу контролюється фактичною сумою річних опадів та його відомими середніми багаторічними зональними величинами.

Ключові слова: *логічно-апріорний аналіз, приплив ґрунтових вод, гідродинамічні розрахунки, інфільтраційне живлення, коефіцієнт інфільтрації, рівень ґрунтових вод, баланс, режим.*

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку прикладних галузей науки, в т.ч. гідрогеології, на тлі широкого доступу до інформаційних джерел, відчувається брак державного фінансування польових та лабораторних досліджень, що змушує науковців та практиків звертатись до вже існуючих джерел, архівних матеріалів та використовувати власний досвід досліджень. Вагомого значення набуває *вміння застосовувати та інтерпретувати дані попередніх геологічних досліджень* для отримання необхідних показників геологічного середовища, виділення справжніх об'єктів-аналогів; інтерполяції та екстраполяції просторових даних для визначення невідомих проміжних та позамежних значень, адекватного оцінювання поточного стану за браком фактичної інформації. Врешті це дозволяє робити адекватні висновки та приймати вірні рішення.

Очевидно, що точність результатів режимних гідрогеологічних спостережень та їх інтерпретації визначається періодичністю і ретельністю вимірювань. Відсутність автоматизованої, регулярної системи спостережень з використанням датчиків-рівнемірів ставить у залежність точність вимірювань від суб'єктивного чинника, збільшуючи кумулятивну помилку на етапах обробки та застосування даних у гідродинамічних розрахунках та моделях. Проте, той самий елемент суб'єктивізму втілений у експертне оцінювання може стати ефективним інструментом під час аналізу та інтерпретації існуючої інформації, перенесення її на інші, подібні об'єкти.

Одним із методів експертного оцінювання є *логічно-апріорний аналіз*, особливо незамінний при регіональних дослідженнях, районуванні, проектуванні водозаборів, розчленуванні гідрографів річок, виборі ділянок розташування спостережних свердловин, обробці даних режимних спостережень, бальній оцінці певних чинників або загального стану середовища тощо. Достовірність висновків або результатів такого аналізу залежить від повноти інформації, наявності об'єктів-аналогів, знань та досвіду дослідника (експерта).

Мета роботи. Доведення актуальності та ефективності застосування логічно-апріорного аналізу, як допоміжного методу, за умов браку даних або їх значної невизначеності.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Принципи та області застосування методу. Отже, логічно-апріорний аналіз об'єднує вміння використовувати власний ***досвід, методи аналогій та вірогіднісно-статистичний***. За підходами та ступенем достовірності висновків його можна поділити на *об'єктивний*, *суб'єктивний* та *інтуїтивний*. Сучасна популярність програмних засобів штучного інтелекту підштовхує до думки, що логічно-апріорний аналіз наразі повинен еволюціонувати у програмування за допомогою нейронних мереж. Так само, як і логічно-апріорний аналіз ці обчислювальні системи застосовуються для передбачення змінних у часі величин за відсутності алгоритму або принципів вирішення задач, невідомої структури моделі, неповноти та суперечливості даних але за наявності достатнього числа прикладів [17]. Тобто алгоритми логічно-апріорного аналізу та моделювання за допомогою штучного інтелекту доволі схожі, являючи собою послідовність наступних процедур: "*класифікування або типізація*, тобто оцінка поточного стану об'єкту виходячи з наявної інформації про нього (або інструментального забезпечення досліджень)" → "*ретроспективний аналіз* — перегляд історії даного об'єкту та/або вибір схожої ситуації чи подібного об'єкту із досвіду дослідника" → "*метод аналогій та актуалізму* — співставлення об'єктів-аналогів та перенесення на досліджуваний об'єкт певних характеристик від аналога, або актуалізація події за аналогією із подією, що трапилась із схожим об'єктом" → "*передбачення або прогнозування* (при застосуванні логічно-апріорного аналізу виконується здебільшого на якісному рівні)". Звісно, логічно-апріорний аналіз може обмежуватись меншою кількістю ланок або виконуватись за іншими підходами, наприклад за принципом інтерполяції або екстраполяції тощо. Для навчання та адекватного рішення нейронним мережам необхідний великий обсяг вхідної інформації, яку людина не здатна осягнути одночасно. Проте дослідник замінює швидку обробку цього масиву даних попереднім досвідом та використовує власну інтуїцію замість машинної операційної системи. Отже машинний аналіз може претендувати на об'єктивний, а для науковців з досвідом лишається суб'єктивний та інтуїтивний види аналізу.

Використання штучних нейронних мереж в гідрогеології у найближчій перспективі слід спрямовувати не лише на обробку чисел а й на розпізнавання та екстраполяцію геологічних тіл (образів), передбачення фільтраційних параметрів, складу порід, якості та температури підземних вод тощо на малодоступних глибинах. Наразі ці питання часто вирішуються за допомогою логічно-апріорного аналізу, що не завжди виправдано.

Чи не вперше метод логічно-апріорного аналізу був описаний при його застосуванні для аналізу даних спостережень за режимом підземних вод [4]. Цей вид аналізу був застосований для вибору режимоформуючих чинників на етапі аналізу природних умов формування режиму ґрунтових вод (перший етап на шляху прогнозування рівня (РГВ) вірогіднісно-статистичними методами). Застосовуючи цей метод обирають чинники, які апріорно найбільш істотно впливають на шукану функцію (показник) і щонайменше залежать від інших чинників. Для рівня ґрунтових вод в першу чергу це — кількість опадів, температура приземного шару повітря, а по друге — співвідношення з рівнем напірних вод або рівнем води у річці (за певних місцевих умов та типу режиму ґрунтових вод). Також він може бути застосований при віднесенні осередку ґрунтових вод чи водоносного горизонту до того чи іншого типу режиму за зовнішніми (ландшафтними) ознаками; при виборі невідомих параметрів за відомими (наприклад: підбір коефіцієнта гравітаційної водовіддачі за відомим описанням породи, коефіцієнтом фільтрації, гранулометричним складом; підбір параметрів моделі "обліку вологості ґрунту" за фізичними властивостями ґрунту [18], вибір параметрів для інших моделей [12–16, 19] тощо).

Під час *регіональних досліджень*, користуючись знаннями про поширення водоносних горизонтів, їх хімічний склад, витриманість гідрогеологічного розрізу, кутів падіння та азимутів простягання порід на певній території, логічно припускати витриманість гідрохімічної зональності на невивчених ділянках. Поширення осадових або масивних кристалічних порід зумовлює накопичення або пластових, або тріщинно-жильних вод. Отже логічно-апріорний аналіз є корисним і під час побудови розрізів та при виділенні таксономічних одиниць *гідрогеологічного районування* [2, 7]. Можна застосувати його і при регіональних балансових розрахунках чисельним методом, та при визначенні перспективних і прогнозних ресурсів, проте у цих випадках традиційно прийнято використовувати методи інтерполяції, типізації та схематизації.

При проектуванні експлуатаційних свердловин цей метод близький до *методу аналогій*. Оскільки до проведення бурових робіт геологічний розріз та сталі рівні у водоносних горизонтах невідомі, при виборі конструкції свердловини доводиться спиратись на існуючу інформацію про найближчі каптажні споруди, на регіональні закономірності падіння пластів, змін їх потужності, фільтраційних параметрів, рівнів підземних вод. За наявності кіль-

ких свердловин із дещо різними і суперечливими розрізами слід уникати застосування принципів нейтральності та інваріантності, статистичного усереднення даних по цих свердловинах, а виходити з аналізу ландшафту, абсолютних відміток поверхні, наявності природних та штучних дрен тощо. За допомогою логічно-апріорного аналізу можна також підібрати прогнозне експлуатаційне зниження у недосконалій свердловині.

Під час вибору точок розташування спостережних свердловин для проведення багатосвердловинних експериментів із визначення швидкості фільтрації та коефіцієнтів дисперсії за допомогою консервативних індикаторів, доводиться застосовувати *апріорні уявлення* про головний напрямок підземного потоку. Це передбачає проведення рекогносцировки або визначення областей живлення та розвантаження за спеціалізованими картами.

При *розчленуванні гідрографів* ми спираємось на відомі закони гідродинаміки, місцеві та зональні чинники, характер розкриття річкою водоносних горизонтів та тип взаємодії підземних вод з річковими, враховуємо вплив техногенних споруд, осушення або зрошення площі водозбору. Наприклад, якщо апріорі відомо, що з весняними піками і окремими сезонними сплесками витрат у річці пов'язані періоди відсутності або різкого зменшення припливу ґрунтових вод, і максимум річкового стоку відповідає мінімуму підземного, то логічним буде висновок, що інтенсивність зменшення витрат підземного стоку дорівнюватиме інтенсивності зростання поверхневого стоку з моменту різкого перегину гідрографа у фазі його загального сезонного підйому, і навпаки, інтенсивність нарощування обсягу підземного стоку буде близькою до інтенсивності зниження витрат поверхневого стоку до точки зміни напряму графіка у бік вирівнювання стоку [3].

Під час *моніторингових досліджень* цей вид аналізу передбачає використання знань про зональні гідрометеорологічні, регіональні геофізичні, геодинамічні, ландшафтні та інші режимоформуючі чинники, закони фільтрації та вологоперенесення для пояснення невідповідностей у коливаннях рівнів ґрунтових вод, нев'язках їх річного балансу тощо.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Автором використано логічно-апріорний аналіз для пояснення, екстраполяції і коригування складових балансу ґрунтових вод, отриманих за результатами несистематичних спостережень на осушувальній системі "Прип'ятська" в Чорнобильській зоні відчуження. З результатів буріння відомо, що потужність водотриву між першим від поверхні безнапірним водоносним горизонтом і другим, міжпластовим напірним горизонтом, складає близько 18 м. Тому кількісною оцінкою перетікання через водотривкий шар можна знехтувати, оскільки апріорі інтенсивність латерального водообміну на прилеглих до каналів площах осушувальних систем набагато вища, ніж вертикального. Проте, для вододілів існує висока ймовірність втрат ґрунтових вод на низхідне перетікання, а для схилів низьких терас і прирічкових ділянок — їх поповнення внаслідок висхідного перетікання з напірного горизонту. Значне перевищення відтоку ґрунтових вод у бік каналу над їх припливом з водозбору до балансової ділянки обумовлюється тим, що градієнт напору між свердловинами №№ 6 і 5, розташованими, відповідно, на вододілі та на пологому схилі, на відстані 260 м одна від одної (*рис. 1*), на порядок менший,

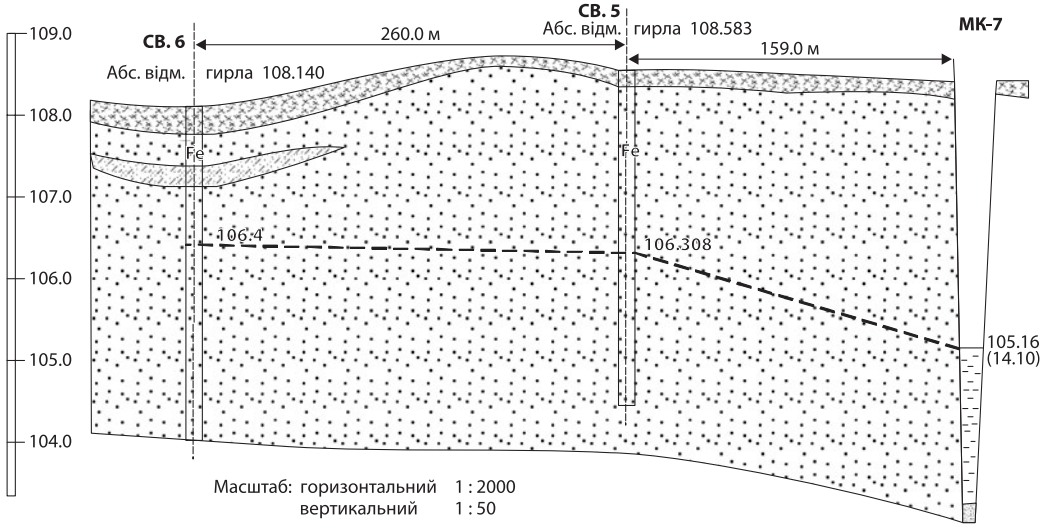


Рис. 1. Розріз по гідрогеологічному створу: "свердловина № 6 — рейка в каналі МК-7", с. Красне

ніж на ділянці між свердловиною № 5 і каналом. Отже, баланс ґрунтових вод формується шляхом їх постійного поповнення, в першу чергу за рахунок інфільтрації, по друге — бічного припливу з водозбору; витрати ж складаються з випаровування та бічного відтоку [8].

Завдяки достатній потужності та регулюючому впливу зони аерації, в даному випадку не спостерігається строгої залежності РГВ від суми атмосферних опадів за період між датами замірів рівня (*рис. 2*). Тим не менш, на подібних ділянках складених піщаними відкладами спостерігається достатньо тісна залежність максимальних весняних рівнів від суми зимових опадів: коефіцієнт кореляції між цими показниками становить 0,7. Гранулометричний склад та потужність зони аерації в 1,15–2,5 м, а також лісова рослинність, що затримує снігові опади, сприяють живленню ґрунтових вод у безморозний зимово-весняний період. Значне розвантаження до відкритої дрени є першочерговим чинником, що обумовлює мінімальні зимові та літні РГВ. Інтенсивність розвантаження в літній період найбільша, а весною, внаслідок підпору від каналу (березень-травень) — найменша. Випаровування за таких РГВ відіграє другорядну роль. Уповільнення стоку ґрунтових вод весною сприяє підйому РГВ [10]. За вільної фільтрації, без підпору, різниця між РГВ на водозборі та рівнем води у каналі становить 1,0–1,3 м (див. *рис. 1*). Рівні ґрунтових та поверхневих вод коливаються синхронно, що підкреслює їх взаємозалежність і, одночасно, їх спільну залежність від метеорологічних чинників [10].

Аналізуючи чинники зростання концентрації ^{90}Sr в ґрунтових водах (*рис. 3*) можна дійти висновку, що за товщини зони аерації піщаного складу в середньому 2–3 м інфільтраційне живлення ґрунтових вод відбувається лише за місячної суми дощових опадів не менше 40 мм.

Річні амплітуди коливань РГВ сягають 0,61–1,25 м (*табл. 1*). Збільшення амплітуди спостерігається із віддаленням від каналу, — на залісненій ділянці водозбору (*рис. 1*, св. № 6) вона більша на 3–12 см, ніж на ділянці транзиту до каналу (св. № 5), що під лугом.

При співставленні кількості опадів та значень живлення ґрунтових вод (Δw), помітні періоди, коли живлення було більшим за опади, що пояснюється участю в живленні ґрунтових вод опадів попереднього періоду, або бічного припливу і/або

Таблиця 1. **Амплітуди коливань рівнів ґрунтових вод на ділянці транзиту (свердловина 5) та на пласкій, залісненій частині водозбору (свердловина 6) [11]**

№ свердловини	Рік спостережень			
	1998	1999	2001	2002
5	0,61	1,25	0,78	0,67
6	0,64	1,23	0,87	0,79

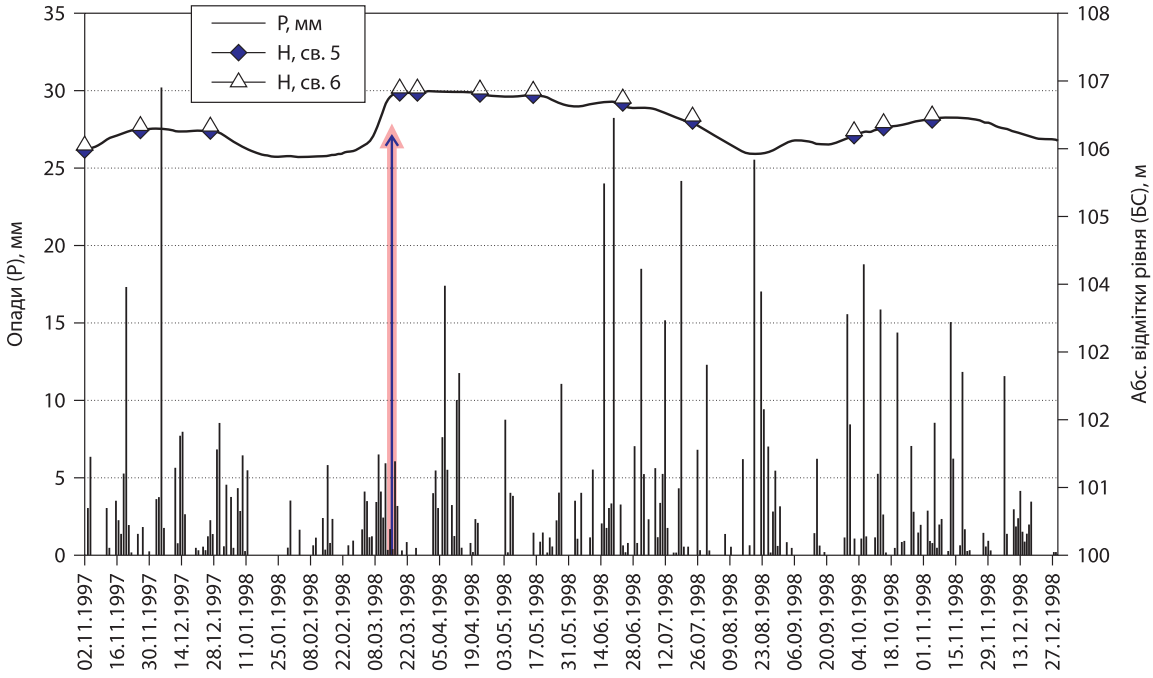


Рис. 2. Інтерпретація нерегулярних замірів РГВ за допомогою логічно-апріорного аналізу даних випадіння атмосферних опадів та температури ґрунту (див. *рис. 3*). Лінія зі стрілкою — початок стійких плюсових температур

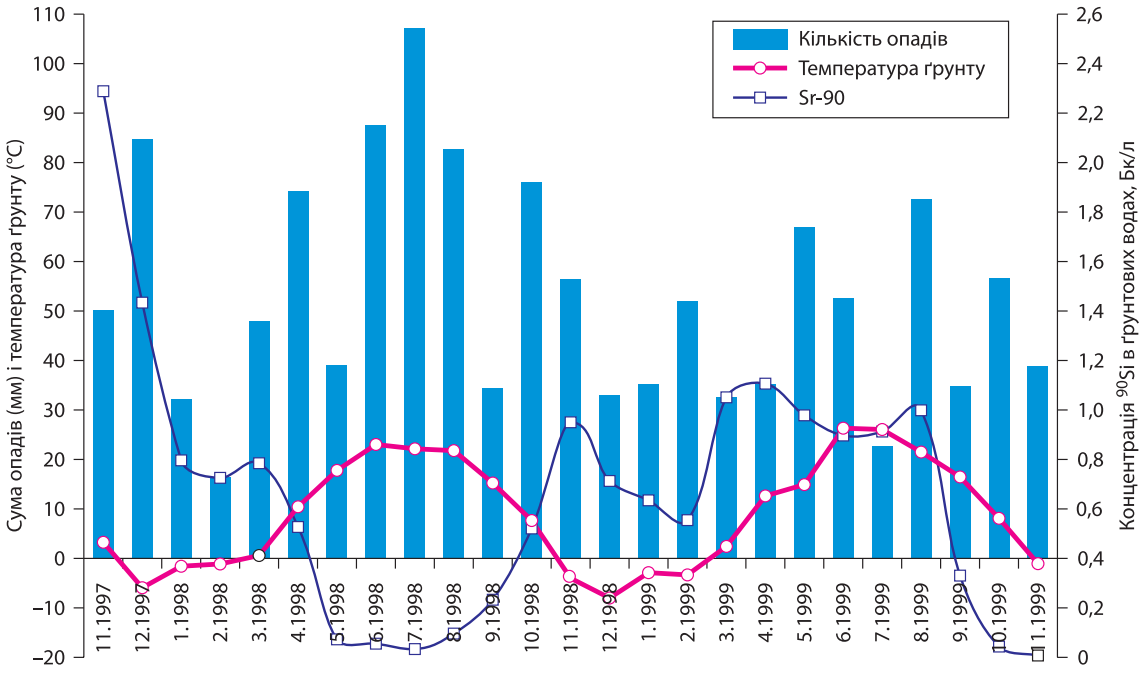


Рис. 3. Коливання температури ґрунту, об'ємної активності ґрунтових вод за ^{90}Sr на фоні змін місячної суми атмосферних опадів

напірного живлення [11]. Звичайно останнє проявлятиметься в періоди літньо-осінньої межені, коли РГВ знижуються, а рівень напірних вод лишається сталим.

Затримка інфільтраційного живлення позначається на значних відхиленнях коефіцієнта інфільтрації (K_w) від середніх багаторічних значень. Коефіцієнт інфільтрації виражає частку надходження атмосферних опадів на рівень ґрунтових вод (рівняння (1)). Навесні, коли до живлення долучаються талі води від снігозапасів зимового періоду, коефіцієнт інфільтрації може звичайно перевищувати одиницю. Так, за період 26.12.97–15.03.98 рр. розрахункове живлення склало 140,38 мм (*табл. 2*) і K_w сягнув 1,36. Це може свідчити лише про те, що в інфільтраційному живленні ґрунтових вод на початку 1998 р. приймали участь грудневі опади 1997 р. Дещо зависоким виявився і K_w за осінньо-весняний період 1997–1998 рр. (2.11–15.03) — 0,85, що можна пояснити запізненням надходження частини опадів вересня та жовтня на РГВ. В той же час Kw за літні сезони надто низькі (у 1998 р. — 0,18), що свідчить про переважання випаровування і транспірації над інфільтрацією опадів.

$$K_w = \Delta w / P\,, \qquad (1)$$

де Δw — інфільтраційне живлення; P — сума опадів за відповідний період.

Вочевидь, за неглибокого залягання ґрунтових вод (0,7–1,4 м) зимові опади надходять на РГВ переважно у березні. Проте, якщо враховувати, що випаровування відбувається і в холодний період, надлишок живлення (*табл. 2*), в т.ч. на його компенсацію, наприклад за час з 26.12.97 р. по 15.03.98 р. можна віднести на бічний приплив. Ці логічні міркування підкріплюються розрахунками відстані до найвищої точки вододілу при вирішенні зворотної задачі за рівнянням (2). Від свердловини № 6 ця відстань складає близько 140 м. Оскільки область живлення поширюється вгору від свердловини № 6 на деяку відстань, вірно допускати наявність невеликого бічного припливу з верхньої частини водозбору, а в багатоводні періоди — із сусідньої підтопленої осушувальної системи [10,11].

$$\Delta Q = 2k_{\text{ф}} \frac{h\Delta t\left(H_1 - H_2\right)}{\ell^2 + 2\ell L} \cdot 10^3, \qquad (2)$$

де $k_{\text{ф}}$ — середній коефіцієнт фільтрації відкладів, що складають горизонт ґрунтових вод, м/добу; h — середня для балансового майданчика потужність цього водоносного горизонту, м; H_1, H_2 — середні за Δt РГВ у свердловинах № 6 і № 5, м; ℓ — відстань між пунктами спостережень, м; L — відстань від верхньої за потоком свердловини № 6 до лінії підземного вододілу (за відмітками поверхні), м; 10^3 — коефіцієнт переходу до мм шару води.

Таким чином, якщо часові інтервали між вимірами РГВ досить великі, отримувані значення елементів живлення можуть виявитись завищеними, що вимагає їх коригування за допомогою інших оцінок і підходів, у тому числі — з використанням логічно-апріорного аналізу.

Таблиця 2. **Результати розрахунку балансу ґрунтових вод за даними спостережень в свердловинах № 5 і № 6 і на водомірному посту Р-3 на каналі-водоприймачі МК-7**

Дата	Інтервал часу Δt, доба	Рівні води по пунктах вимірювань, м			Поповнення ґрунтових вод, мм	Різниця між бічним припливом та відтоком ґрунтових вод з балансової ділянки, мм	Зміна запасу ґрунтових вод (баланс), мм
		св. 6	св. 5	Рейка-3 в каналі МК-7			
02.11.1997		106,06	105,94	104,74			
26.11	24	106,34	106,25	104,95	56,61	–24,61	32,00
26.12	30	106,33	106,23	105,09	34,54	–30,14	4,40
15.03.1998	79	106,91	106,78	105,66	140,38	–72,38	68,00
26.03	11	106,90	106,77	105,64	8,34	–9,94	–1,60
22.04	27	106,91	106,778	105,675	26,31	–24,19	2,12
15.05	23	106,87	106,77	105,63	17,17	–20,89	–3,72
23.06	39	106,75	106,64	105,415	19,11	–37,71	–18,60
23.07	30	106,50	106,36	105,45	–1,8	–29,48	–31,28
01.10	70	106,27	106,17	105,03	44,33	–66,25	–21,92
14.10	13	106,40	106,31	105,16	27,99	–12,19	15,80
04.11.1998	20	106,51	106,39	105,20	28,32	–19,12	9,20
Всього	**366**				**401,3**	**–346,9**	**54,40**
24.03.1999	140	106,99	106,94	105,66	202,80	–143,20	59,60
15.05	52	107,19	107,113	105,77	76,54	–57,22	19,32
12.08	89	106,26	106,15	105,01	–14,99	–91,13	–106,12
07.10	56	105,975	105,863	104,725	17,58	–51,86	–34,28
11.11.1999	35	105,985	105,873	104,735	33,56	–32,36	1,20
Всього	**372**				**330,5**	**–375,77**	**–60,28**
$k_ф$ = 4,8 м/добу		μ = 0,12		$h_{сер.}$ = 6 м	ℓ_1 = 260 м	ℓ_2 = 159 м	

За співвідношенням опадів та інфільтраційного живлення за холодний період різниця шару опадів та інфільтрації в період 26.11–26.12. 1997 р. приблизно дорівнює їх різниці за наступний період проте вже з додатнім балансом для ґрунтових вод (+36,88 мм). Тобто, логічно припустити, що частина опадів грудня, за незначного випаровування в зимовий період, затрималась у зоні аерації та пішла на інфільтраційне живлення у наступний період, що забезпечило підйом РГВ [11]. Якщо закласти на зимовий період місячну норму випаровування і врахувати величину поверхневого стоку, можна отримати менше, вірогідно точніше значення інфільтраційного живлення та бокового припливу: за інтервал часу 26.12.97–15.03.98 рр. живлення завдяки інфільтрації склало 98,57 мм, а бічний приплив з вище розташованої частини водозбору — 41,81 мм, що в сумі відповідає розрахунковому значенню за цей інтервал часу (див. табл. 2).

Таким чином, шляхом застосування *логічно-апріорного аналізу* було знайдено більш обґрунтоване значення інфільтраційного живлення за 366 діб 1997–1998 рр. — 321,3 мм [11], а величина 81,8 мм, що близька до його різниці з попереднім значенням (див. *табл. 2*), отриманим за чисельними розрахунками, віднесена до бокового припливу (*табл. 3*). За такого розподілу значення середнього коефіцієнту інфільтраційного живлення за рік склало 0,45, що кореспондується із відомими зональними величинами.

Реакція РГВ на атмосферні опади відбувається із певним запізненням (особливо в зимовий період), а отже підйом РГВ у весняний період зумовлюється сумою опадів останнього морозного періоду, акумульованої в зоні аерації вологи та ходом температури. Звідси, було б некоректно визначати коефіцієнт інфільтраційного живлення (K_w) за короткий інтервал часу між вимірами РГВ (не зрозуміло з якою величиною опадів співвідносити шар інфільтрації). Для осіннього періоду Kw видається зависоким (*табл. 3*), проте він може відповідати дійсності, оскільки випаровування істотно зменшується порівняно з літнім сезоном. Так, на осінньо-зимовий період 1997 р. (2.11–26.12) K_w склав 0,7; за інтервал часу 26.12–15.03 1997–1998 рр. — 0,85, а за холодний період 1998–1999 рр. (14.10–24.03) — 0,77.

Якщо долучити до теплого періоду 23.06–1.10 1998 р. ще весняний інтервал 22.04–15.05, то кое-

фіцієнт інфільтрації зміниться несуттєво і складе близько 0,22.

Отже значеннями Kw на рівні 0,2–0,25 можна характеризувати інфільтраційне живлення теплого періоду, а порядку 0,70–0,85 — холодного. Річні значення K_w в зоні Полісся, розраховані за період спостережень за РГВ 1997–2002 рр., за відповідних РГВ (близько 1,0 м) та складу ґрунтів зони аерації, складають близько 0,4–0,5 (*табл. 3*). Найнижче річне значення (за 2000 р.) дорівнювало 0,31, всі інші вкладались в означений діапазон [11]. Очевидно, що коефіцієнти інфільтрації холодного та теплого періодів істотно відрізняються і для управління водними ресурсами та оцінок впливу змін клімату на ресурси ґрунтових вод варто розглядати ці показники окремо (з побудовою відповідних карт).

Отже, *найбільш показовим параметром*, який характеризує певний тип гідродинамічних умов є середньозважений, порахований окремо *за теплий та холодний періоди року, а також підсумковий за рік коефіцієнт інфільтраційного живлення*. На відміну від абсолютного значення інфільтрації він змінюється в досить вузьких межах (*табл. 3*).

Викладені результати добре співвідносяться з оцінками інфільтраційного живлення, які були незалежно виконані іншими дослідниками в ЧЗВ. Так, величина інфільтраційного живлення, визначена В.Ю. Саприкіним за коефіцієнтом вологоперенесення гідрофізичним методом А.Б. Ситнікова [6] (за допомогою датчиків вологості та тензіометрів, встановлених в зоні аерації) для балансової ділянки "Рудий ліс" (поблизу ЧАЕС) склала за 2001 р. 265 мм (40% від суми опадів 668 мм) [5]. За нашими оцінками на балансовому майданчику на лівобережжі р. Прип'ять з практично ідентичними (можливо більш дрібнозернистими) піщаними ґрунтами в зоні аерації — 245 мм [8, 11]. Крім того, для полігону "Рудий ліс" було визначено сумарну інфільтрацію шляхом аналізу "гідрографа спостережної свердловини за допомогою графоаналітичного методу Н. Біндемана": за 2001 р. вона становила 232–266 мм [1].

Щоб остаточно відкоригувати співвідношення інфільтраційного живлення та бічного припливу визначається *інтенсивність інфільтрації* (ω, мм/добу). Для цього є відповідний метод, що забезпечується даними режимних спостережень по трьох свердло-

Таблиця 3. **Результати розрахунку інфільтрації, бічного припливу, втрат вологи на випаровування і коефіцієнта інфільтраційного живлення [11]**

Дата	Період між вимірами, доби	Опади, мм	Інфільтраційне живлення (Δw), мм	Бічний і можливо напірний приплив, мм	Поверхневий стік при $K_{п.ст.}$= 0,01–0,04, мм	Випаровування з ґрунту (E) та ґрунтових вод (e), мм	Коефіцієнт інфільтраційного живлення (K_w)
1	2	3	4	5	6	7	8
2–26.11.97	24	49	51,11	5,5	–1,23	–15,0	
26.12.97	30	68,3	31,54	3,0	–1,73	–13,73	0,70
15.03.98	79	103,5	98,57	41,8	–7,85	–23	0,85
26.03.98	11	11,2	6,34	2,0	–2,06	–1,15	
22.04.98	27	0,0	0,31	25,0	—	–3,5	
15.05.98	23	92	17,17	1,0	–1,16	–72,1	0,27
23.06.98	39	208,5	19,11	—	–2,5	–120,7	
23.07.98	30	0,0	0,0	—	—	–34,2 (–1,80)	
1.10.98	70	137	44,33	—	–5,5	–86,8	0,18
14.10.98	13	21	24,5	3,5	–0,21	–1,0	
4.11.98	20	36	28,32	—	–0,46	–7,32	
Всього	**366**	**726,5**	**321,3**	**81,8**	**–22,7**	**–378,5**	**0,44 (0,55*)**
24.03.99	140	205,6	158,8	49,19	–8,41	–37,8	
15.05.99	52	46,8	8,2	63,14	–0,96	–42,0	
12.08.99	89	155,10	5,2	—	–3,8	–146 (–15,0)	
7.10.99	56	94,3	17,6	—	–2,5	–68,6	
11.11.99	35	56,5	33,56	—	–1,93	–22,94	
Всього	**372**	**558,3**	**223,36**	**112,33**	**–17,6**	**–317,34**	**0,40 (0,59*)**

Примітка: Значення в дужках колонки 7 — в т.ч. розрахункове випаровування з рівня ґрунтових вод; * — в дужках колонки 8 — коефіцієнт сумарного (інфільтраційного, бічного та, можливо, напірного) живлення.

винах, розташованих за напрямком фільтраційного потоку. Розглядається лише інтервал (інтервали) часу, коли підйом РГВ був рівномірним а інфільтрація постійною. За відсутності третьої свердловини, можна "встановити" віртуальну — в проміжку між існуючими. Так, в даному випадку, між свердловинами №№ 5 і 6 прийнято умовну свердловину за припущення, що в цьому просторовому діапазоні градієнт напору за потоком зберігає свою сталість. Було підтверджено, що градієнт витримувався впродовж всього періоду спостережень на рівні 0,01. Згідно розрахунків за формулою (3), інфільтраційне живлення за майже 6,5 місяців 1998–1999 рр. склало 167 мм.

$$\omega = \mu \frac{H_i^{t+1} + H_i^{t-1}}{\Delta t} - \frac{T}{\Delta \ell^2}\left(H_{i-1}^t - 2H_i^t + H_{i+1}^t\right), \quad (3)$$

де H_i^{t-1}, H_i^t, H_i^{t+1} — абсолютні відмітки рівня ґрунтових вод в центральній свердловині відповідно на початковий, середній і кінцевий періоди спостережень; H_{i-1}^t, H_{i+1}^t — абсолютні відмітки РГВ в свердловинах, розташованих відносно центральної, відповідно нижче і вище за потоком в середній період спостережень; Δt — період спостережень; $\Delta \ell$ — відстань між спостережними свердловинами [11].

Сумарне живлення, визначене гідродинамічним методом для області з двох свердловин і рейки в каналі, дорівнює 279,34 мм [11]. Різницю між даними значеннями (112,33 мм) можна віднести до бічного припливу на балансову ділянку з верхньої частини водозбору.

Очевидно, що надходження радіонуклідів в ґрунтові води значною мірою залежить (без врахування фізико-хімічних форм радіонуклідів в ґрунтах) від кількості опадів, рослинного покриву, температурного режиму, потужності зони аерації, її літологічного та гранулометричного складу, фільтраційних властивостей тощо. Проте, слід застерегти, що застосування логічно-апріорного аналізу для усіх випадків наближеного визначення забруднення ґрунтових вод за домінуючими чинниками (або джерелами) неприпустиме, оскільки в ряді випадків інфільтраційне живлення виступає у ролі чинника розбавлення та дисипації, тобто прискорює самоочищення водоносного горизонту, натомість в інших випадках (здебільшого за вододільного режиму ґрунтових вод) — забезпечує основний механізм перенесення радіонуклідів до РГВ, що продемонстровано у роботі [8].

ВИСНОВКИ

За браку сучасної вхідної інформації (гідрогеологічної, гідрологічної тощо) логічно-апріорний аналіз може ефективно застосовуватись як допоміжний метод для вирішення не надто складних гідрогеологічних завдань: в регіональних дослідженнях, для аналізу даних спостережень за режимом підземних вод, при проектуванні підземних водозаборів, розчленуванні гідрографів річок, виборі розрахункових параметрів для моделювання тощо. При його застосуванні слід виходити з відомих гідродинамічних законів та закономірностей, що розкривають залежність гідрогеологічних показників та параметрів від умов середовища та динамічних чинників. Логічно-апріорний аналіз залишається актуальним, ефективним та незамінним в гідрогеології, оскільки в цій галузі наук про Землю майже вся інформація прихована під денною поверхнею, що вимагає широкого діапазону знань, досвіду та інтуїції дослідника. В той же час цього не потребує використання штучних нейронних мереж, які самі навчаються, працюючи з великими масивами даних.

За результатами виконаних гідродинамічних розрахунків та логічно-апріорного аналізу встановлено, що найбільш показовим параметром, який характеризує певний тип гідродинамічних умов та залежність живлення ґрунтових вод від опадів є середньозважений річний коефіцієнт інфільтраційного живлення.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Бугай Д.О. та ін. Дослідження міграції радіонуклідів на експериментальній ділянці-полігоні в ПТЛРВ "Рудий ліс". Ч. 2: Міграція радіонуклідів в геологічному середовищі. *Чорнобильський наук. вісник*. 2007. **2 (30).** 16–33.
[Bugai, D.O. etc. (2007). Study of the migration of radionuclides at the experimental site-polygon in the Rudy lis PTLRV. Part 2: Migration of radionuclides in the geological environment. *Chernobyl of science Bulletin*. **2 (30).** 16–33].
2. Камзіст Ж.С., Шевченко О.Л. Гідрогеологія України: навч. посіб. Київ: Фірма "ІНКОС", 2009. 614 с.
[Kamzist, J.S., Shevchenko, O.L. (2009). Hydrogeology of Ukraine. Kyiv. 614].
3. Ковалевский В.С. Условия формирования и прогнозы естественного режима подземных вод. Москва: Недра, 1973. 152 с.
[Kovalevsky, V.S. (1973). Conditions of formation and forecasts of the natural regime of groundwater. Moscow: Nedra. 152].
4. Коноплянцев А.А. Вопросы изучения и прогноза режима подземных вод. Москва, 1970. **Темат. вып. 25.** 34–58.
[Konoplyantsev, A.A. (1970). Issues of studying and forecasting the regime of groundwater. Moscow. **Them. issue 25.** 34–58].
5. Саприкін В.Ю., Бугай Д.О., Скальський О.С., Джепо С.П., Ван Меєр Н., Кубко Ю.І., Сімонуччі К. Режим інфільтраційного живлення ґрунтових вод на ділянці чорнобильського "Рудого лісу". *Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України*. 2011. **4.** 141–151.
[Saprykin, V.Yu., Bugai, D.O., Skalskyi, O.S., Dzepo, S.P., Van Meer, N., Kubko, Y.I., Simonucci, K. (2011). Regime of infiltration of groundwater in the area of the Chernobyl "Red

Forest". *Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine*. **4.** 141–151].
6. Ситников А.Б., Головченко Ю.Г., Ткаченко К.Д. Гидрогеологическая станция "Феофания": многолетние исследования и результаты. НАН Украины. Ин-т геол. наук. К., 2003. 200 с.
[Sitnikov, A.B., Golovchenko, Yu.G., Tkachenko, K.D. (2003). Hydrogeological station "Feofania": long-term research and results. NAS of Ukraine. Institute of Geol. Sci. Kyiv. 200].
7. Шевченко О.Л. Уніфікація принципів та одиниць гідрогеологічного районування України. *Збірник наукових праць Українського державного геологорозвідувального інституту*. 2008. **2.** 37–45.
[Shevchenko, O.L. (2008). Unification of principles and units of hydrogeological zoning of Ukraine. *Collection of scientific works of the Ukrainian State Geological Survey Institute*. **2.** 37–45].
8. Шевченко О.Л., Козицький О.М., Насєдкін І.Ю., Рябцева Г.П., Бублясь В.М. та ін. Закономірності міграції техногенних радіонуклідів на меліоративних системах Чорнобильської зони відчуження (за результатами досліджень 1986–2004 рр.). Херсон: Олді-плюс, 2011. 415 с.
[Shevchenko, O.L., Kozytskyi, O.M., Nasedkin, I.Yu., Ryabtseva, G.P., Bublyas, V.M., Ivanushkina, N.I., Osadcha, N.M., Syzonenko, V.P. (2011). Patterns of migration of man-made radionuclides on reclamation systems of the Chernobyl Exclusion Zone (based on research results from 1986–2004) / ed. in chief V.A. Stashuk. Kherson: Ukraine. 415].
9. Шевченко О.Л., Насєдкін І.Ю. Водно-радіаційно-балансові дослідження для обґрунтування водоохоронних заходів у Чорнобильській зоні відчуження. *Меліорація і водне господарство*. **89.** 2003. 157–170.
[Shevchenko, O.L., Nasedkin, I.Yu. (2003). Water-radiation-balance studies for the justification of water protection measures in the Chernobyl Exclusion Zone. *Reclamation and water management*. **89.** 157–170].
10. Шевченко А.Л., Наседкин И.Ю. Естественно-антропогенные особенности формирования водообмена и распространения радиоактивных веществ на мелиоративных системах гумидной зоны // Водообмен в гидрогеологических структурах и Чернобыльская катастрофа. Ч. 1. Киев, НАН Украины, 2001. 162–232.
[Shevchenko, A.L., Nasedkin, I.Yu. (2001). Natural-anthropogenic features of the formation of water exchange and the spread of radioactive substances in reclamation systems of the humid zone // Water exchange in hydrogeological structures and the Chernobyl disaster. Part 1. Kyiv, NAS of Ukraine, 162–232].
11. Шевченко О.Л. Радіогідрогеологія осушуваних ландшафтів Українського Полісся (на прикладі Чорнобильської зони відчуження): дисертація на здобуття наук. ступеня доктора геол. наук: спец. 04.00.06 "Гідрогеологія". Київ: Інститут геол. наук НАН України, 2016. 382 с.
[Shevchenko, O.L. (2016). Radiohydrogeology of drainage landscapes of the Ukrainian Polissia (on the example of the Chernobyl exclusion zone). dissertation for obtaining sciences. degree of Doctor of Geol. Sciences: specialty 04.00.06 "Hydrogeology". Kyiv: Institute of Geol. of Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine. 382 p.].
12. Chouaib, W., Alila, Y., Caldwell, P.V. (2021). Implications of a Priori Parameters on Calibration in Conditions of Varying Terrain Characteristics: Case Study of the SAC-SMA Model in Eastern United States. *Hydrology*. **8 (2).** 78. https://doi.org/10.3390/hydrology8020078.
13. Duan, Q., Schaake, J., Koren, V.I. (2001). A Priori estimation of land surface model parameters. *Water Science and Application*; American Geophysical Union: Washington, DC, USA. **3.** 77–94.
14. Hrachowitz, M., Savenije, H., Blöschl, G., McDonnell, J., Sivapalan, M., Pomeroy, J., Arheimer, B., Blume, T., Clark, M., Ehret, U. et al. (2013). A decade of Predictions in Ungauged Basins (PUB): A review. *Hydrol. Sci. J*. **58.** 1198–1255.
15. Koren, V., Smith, M., Duan, Q. (2003). Use of a priori parameter estimates in the derivation of spatially consistent parameter sets of rainfall-runoff models. In Calibration of Watershed Models; American Geophysical Union: Washington, DC, USA. 239–254.
16. Shevchenko, A. (2002). Distribution and Migration of Radionuclides in Meliorated Areas // Chernobyl disaster and groundwater / Editor V. Shestopalov. Publisher Lisse/Abingdon/Exton(pa) / Tokyo: A.A. Balkema. 133–186.
17. Tiwari Mukesh, K., Adamowski, J. (2013). Urban water demand forecasting and uncertainty assessment using ensemble wavelet-Bootstrap-Neural network models. *Water resources research*. **49.** 6486–6507.
18. Yao, C., Li, Z., Yu, Z., Zhang, K. (2012). A priori parameter estimates for a distributed, grid based Xinanjiang model using geographically based information. *J. Hydrol*. **468–469.** 47–62.
19. Yokoo, Y., Kazama, S., Sawamoto, M., Nishimura, H. (2001). Regionalization of lumped water balance model parameters based on multiple regression. *J. Hydrol*. **246.** 209–222.

Shevchenko Oleksii
ORCID: 0000–0002–5791–5354
shevch62@gmail.com

Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine and the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

LOGICAL-APRIORI ANALYSIS IN HYDROGEOLOGICAL RESEARCH

The article demonstrates with examples that due to the lack of input information, logical a priori analysis can be effectively applied to solve not too complex hydrogeological problems: in regional studies, for the analysis of observation data on the groundwater regime, in the design of underground water intakes, dissection of river hydrographs, selection calculation parameters for modeling, etc. Nowadays, this method of analysis is replaced by methods of information processing using artificial intelligence, which does not require deep knowledge of the subject and significant experience of the researcher. It is shown that the logical a priori analysis can be an effective auxiliary method when performing hydrodynamic calculations. Thus, with its help, it was found that the most representative parameter, which manifests and controls the dependence of the groundwater recharge on precipitation, is the weighted average annual coefficient of infiltration recharge. This indicator can also be used to correct unknown filtering parameters, since it has a narrow range of variability, which in turn is controlled by the actual amount of annual precipitation.

Keywords: *logical and a priori analysis, groundwater inflow, hydrodynamic calculations, infiltration recharge, infiltration coefficient, groundwater level, balance, regime.*

В.О. Розлач
ORCID: 0009–0007–7051–7987
veronika.rozlach@gmail.com
Б.Ф. Христюк
ORCID: 0000–0003–4290–3745
khryst@uhmi.org.ua

Український гідрометеорологічний інститут Державної служби України з надзвичайних ситуацій та Національної академії наук України, Київ, Україна

УДК 556.06+556.535

КОЕФІЦІЄНТИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКУ У ДОВГОСТРОКОВОМУ ПРОГНОЗУВАННІ СТРОКІВ ПОЯВИ ЛЬОДОВИХ ЯВИЩ НА ВОДОСХОВИЩАХ РІЧКИ ДНІПРО

Надійне та ефективне управління водними ресурсами неможливе без інформації щодо теперішнього та майбутнього стану річкових басейнів. Своєчасне інформування споживачів про майбутній розвиток гідрологічних процесів засновується на системі гідрологічних прогнозів. Велике значення має довгостроковий аналіз льодових явищ, на основі якого відбувається планування закінчення навігації та перехід функціонування господарських об'єктів на зимовий режим. Надійні та завчасні прогнози строків появи льодових явищ та встановлення льодоставу на водосховищах вкрай необхідні для раціонального використання водних ресурсів, для налагодження режимів роботи водосховищ з урахуванням вимог та інтересів різних секторів економіки: гідроенергетики, судноплавства, рибного господарства, комунального господарства тощо. Строки появи плавучого льоду відносяться до найбільш важливих характеристик осінніх льодових явищ. Останніми роками збільшилась повторюваність теплих сезонів осені та передзимового періоду, а процес льодоутворення часто має затяжний характер. У таких умовах велике значення має прогноз строків стійкої появи льоду та дат встановлення льодоставу, адже ці характеристики визначають найбільш ефективну гідрологічну стратегію в осінньо-зимовий період. У роботі досліджено зв'язки між коефіцієнтами теплового потоку та датами появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду. Отримані прогностичні залежності виявили дуже слабкі та помірні кореляційні зв'язки, а ефективність прогностичних рівнянь склала 60% та менше. Отже, застосування коефіцієнтів теплового потоку в якості предикторів атмосферних процесів є дуже обмеженим. Саме тому слід розширити пошук предикторів атмосферних процесів для довгострокового прогнозування дат появи льодових явищ у просторі й у часі.

Ключові слова: *водосховища, р. Дніпро, поява льоду, довгострокове прогнозування, прогностичні залежності, коефіцієнт теплового потоку.*

ВСТУП

Поява льодових явищ та формування льоду на річках, озерах та водосховищах є важливими характеристиками льодового режиму водних об'єктів, і залежать від багатьох чинників. На терміни появи льодових явищ, насамперед, впливають метеорологічні умови — кількість сонячної радіації, теплоємність опадів, швидкість вітру, індекси атмосферної циркуляції тощо. На процес льодоутворення, окрім метеорологічних факторів, також впливає запас тепла у водоймі, швидкість течії, надходження тепла з ґрунтовими водами, скид промислових вод та ін. [13].

Особливе значення серед усієї кількості оперативних гідрологічних прогнозів, що складаються і надаються споживачам, відіграють прогнози строків настання фаз льодового режиму. Це пов'язано з тим, що методологія їх підготовки тісно пов'язана з аналізом синоптичних процесів [2, 6]. Строки льодових явищ на озерах, річках та водосховищах залежать від масштабних атмосферних процесів, розвиток яких відбувається на значних просторах протягом тривалого часу. Саме з цієї причини довгострокові прогнози льодових явищ на водних об'єктах ґрунтуються переважно на синоптичному прогнозуванні метеорологічних умов періоду замерзання або розкриття водних об'єктів, а також на основі механічних і теплофізичних факторів між атмосферою та підстильною поверхнею [24].

Особливості в закономірностях розвитку атмосферних процесів визначають метеорологічні умови періоду льодових явищ на водних об'єктах. Однорідність атмосферних процесів на значних просторах протягом довготривалого періоду (синоптичного

сезону) та закономірності розвитку (тенденції зміни) цих процесів від сезону до сезону дають змогу з великою завчасністю визначити характер погоди на один-два місяці наперед і, як наслідок, складати довгострокові прогнози строків льодових явищ на річках, озерах та водосховищах [24]. Від точності гідрологічних прогнозів льодових явищ залежить в першу чергу й раціональність використання водних ресурсів країни.

Річка Дніпро пролягає територією України на 981 км. У природному стані русло збережене лише на 100 км, решта — зарегульовано каскадом із 6 водосховищ: Київське, Канівське, Кременчуцьке, Кам'янське, Дніпровське, Каховське. Слід зазначити, що 6 червня 2023 р. внаслідок підриву російською армією греблі ГЕС, Каховське водосховище припинило свою діяльність, проте воно все ще має велике практичне та наукове значення. Кабінетом Міністрів України погоджено відновлення даного водосховища, оскільки без нього неможливе повноцінне відновлення роботи Запорізької АЕС, також воно є останньою сходинкою Дніпровського каскаду гідроелектростанцій, що регулює стік Дніпра для живлення електроенергії, зрошення та водозабезпечення навколишніх регіонів [18]. Виробіток електроенергії на гідроелектростанціях є головною функцією Дніпровських водосховищ, тож поява льодових явищ має великий вплив на роботу гідроелектростанцій [23]. Початок льодоутворення є дуже важливою характеристикою льодового режиму річок як з теоретичної, так і з практичної точок зору, оскільки саме поява льодових явищ впливає на закінчення періоду навігації на річках, визначає терміни будівельних заходів, лімітує роботу гідроелектростанцій та інших галузей господарювання. Окрім того, аналіз коливань дат настання льодових явищ є підґрунтям прогнозних методик, їх будови та меж застосування [12, 19, 20].

Актуальність дослідження обумовлюється тим, що методик довгострокового прогнозування дат появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду не існує. Український гідрометеорологічний центр Державної служби України з надзвичайних ситуацій має методики довгострокового прогнозування дат появи льодових явищ лише для річок [10, 11]. Один з методологічних підходів у цих методиках базується на знаходженні кореляційних зв'язків між розрахованими коефіцієнтами теплових потоків атмосферної циркуляції та датами появи льодових явищ на річках [11]. Отже, застосування такого підходу для водосховищ Дніпровського каскаду дозволить оцінити можливість розробки на його основі методик довгострокового прогнозування дат появи льодових явищ.

Огляд попередніх досліджень. Прогнози льодових характеристик мають порівняно недовгу історію, а питання розробки надійних довгострокових прогнозів льодового режиму водних об'єктів є одним з найбільш складних у гідрометеорології, яке до цього часу не отримало задовільного рішення [30]. Найперші кроки в довгострокових прогнозах льодового режиму відносяться до початку XX століття. Питанням утворення та скресання льодового покриву на річках, озерах, його дослідження та прогнозування присвячені роботи Arden, R.S., Wigle, T.E., Beltaos, S., Calkins, D.J., Scrimgeour, G.J., Prowse, T.D., Culp, J.M., Chambers, P.A. [26–28, 32, 34]. Складанням прогнозів скресання та замерзання річок, розробкою методів прогнозів, які базуються на залежностях строків льодових явищ від метеорологічних елементів, що характеризують атмосферні процеси, які цьому передували займалися Лєбєдєв В.Н., Візе В.Ю., Аполлов Б.А., Бидін Ф.І. [1, 4]. Створенням методик прогнозів та складанню оперативних прогнозів присвячені роботи Г.Р. Брегмана, В.В. Піотровича, Л.Г. Шуляковського, Н.Ф. Виноградова, В.І. Єгорова, Б.М. Гінзбурга [7–9, 17, 25]. Розробкою короткострокових та довгострокових льодових прогнозів на річках, озерах та водосховищах активно займався Ю.М. Георгієвський [6]. Велику увагу дослідженню льодових явищ та їх прогнозам наразі приділяють в країнах Центральної Європи, в Швеції, Китаї, США та Канаді. Так, питанням прогнозування появи льодових явищ з використанням нейронних мереж присвячені роботи Yan, Q., Ding, M. [37], Chen, S.Y., Ji, H.L. [29]. Вченими Rokaya P., Morales-Marin L., Lindenschmidt K.-E. створено систему моделювання для прогнозу скресання льоду на річці Атабаска в Канаді в реальному часі [33]. Sobolowski S. та Frei A. у своїх дослідженнях займалися знаходженням зв'язків між сніговим покривом та атмосферними телеконнекційними індексами [35].

На теренах пострадянського простору були створені методики довгострокового прогнозування фаз льодового режиму для річок України, а також річки Дніпро, основою яких є залежності ключових характеристик льодового режиму від метеорологічних елементів. В Україні питаннями прогнозу льодових явищ займалися Бойко В.М., Петренко Л.В., Щербак А.В. [2].

Дослідженням льодового режиму річки Дніпро присвячені роботи Гребеня В.В., Струтинської В.М. [21], Вишневського В.І., Шевчука С.А. [36]. Щодо прогнозування фаз льодового режиму, можна відмітити праці Лободи Н.С., Кузи А.М., Христюка Б.Ф., Горбачової Л.О., Розлач В.О. [12–13, 23]. На даний момент методик довгострокового прогнозування

фаз льодового режиму на водосховищах Дніпра в Україні все ще не існує. Відповідно, важливим є знаходження кореляційних зв'язків між показниками атмосферної циркуляції та льодовими явищами на водосховищах Дніпровського каскаду. Це дозволить створити методики довгострокового прогнозування фаз льодового режиму для водосховищ річки Дніпро.

Метою дослідження є встановлення зв'язків між кількісними показниками атмосферних процесів, які виражено через коефіцієнт теплового потоку і датами появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду та аналіз отриманих результатів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Сучасні дані спостережень, без сумніву, свідчать, що клімат змінюється як на глобальному, так і на регіональному рівнях, і найбільш стрімка зміна спостерігається в останні 20–30 років. Україна, за темпами підвищення температури повітря, випереджає світові тенденції, й цей стійкий ріст відбувається у всі сезони року [3]. Середня річна температура повітря в Україні за останніх тридцять років підвищилася на 1,2°С [16]. Середня місячна температура повітря у лютому, березні, червні, жовтні, листопаді та грудні 2019 року була найвищою або однією із найвищих для цих місяців за весь період інструментальних спостережень за погодою (з кінця XIX сторіччя).

Безпосередньо тісний зв'язок з температурним режимом та його зміною має і льодовий режим. Підвищення температури повітря призвело до більш пізніх дат появи льодових явищ на водних об'єктах України, нестійкого льодоставу, а також до труднощів у визначенні настання фаз льодового режиму [21]. Рання поява льоду та встановлення стійкого льодоставу на річках скоріш за все буде мати винятковий характер, аніж норму.

Проаналізувавши зміну температурних показників за останні 40 років та врахувавши зміну норми за минулі роки для дослідження було використано період з 2000 до 2020 року, оскільки саме з цього періоду спостерігається найбільш інтенсивна активізація процесу потепління клімату.

Зарегулювання р. Дніпро каскадом із шести водосховищ (*рис. 1*), побудованих впродовж XX сто-

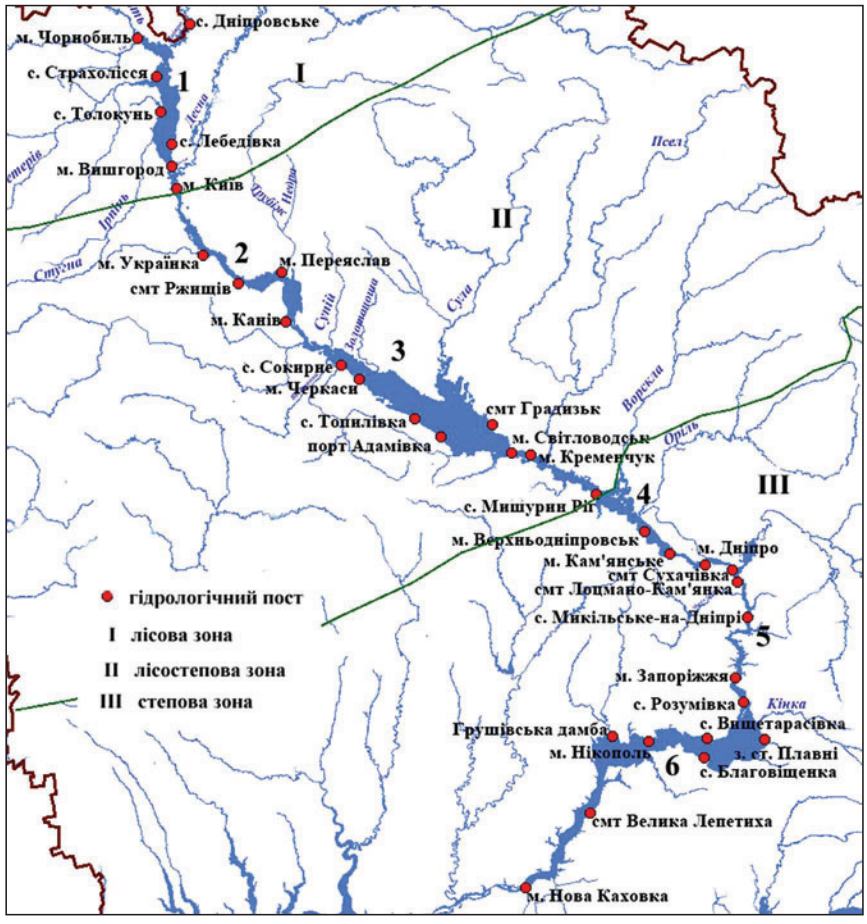


Рис. 1. Каскад Дніпровських водосховищ

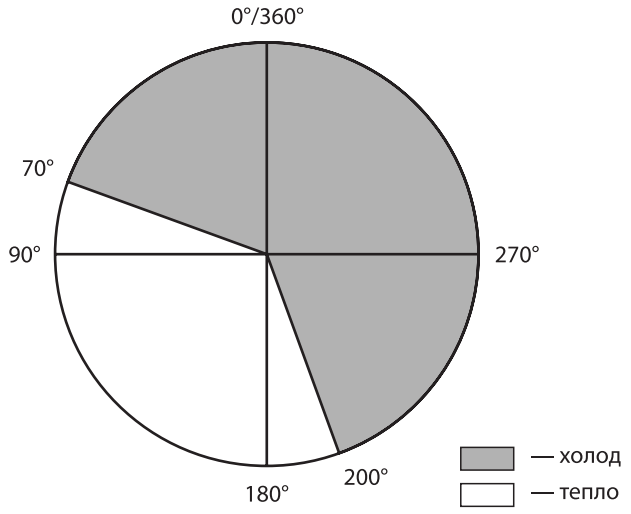


Рис. 2. Градація для визначення напрямків потоків повітря

ліття кардинально змінило льодовий режим річки у порівнянні з її природним станом [22]. Кожне з Дніпровських водосховищ має свої морфометричні особливості, які визначають умови замерзання на окремих його ділянках. Перші льодові явища на водосховищах з'являються насамперед на мілководних затоках, у гирлах річок, які впадають у водосховища, на озерних ділянках, де водні маси завдяки незначним глибинам, активному водообміну та перемішуванню охолоджуються раніше, ніж в глибоководній частині водосховищ. Систематичні спостереження за льодовим режимом водосховищ ведуться на прибережних постах, тоді як на акваторії водосховищ — епізодично (експедиційні обстеження, аеророзвідка та супутникові знімки). На водосховищах р. Дніпро до руйнування Каховського водосховища (06.06.2023 р.) діяло 38 гідрологічних постів, на яких проводились спостереження за льодовим режимом (*рис. 1*). Отже, у роботі для дослідження використано дати появи льодових явищ на 38 гідрологічних постах за період 2000–2020 рік включно. За дати появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду приймались дати їхньої першої появи у поточному зимовому періоді. Чисельне вираження дат появи льодових явищ здійснювалось шляхом визначення їх відхилень від норми.

Методологічний підхід, використаний в дослідженні, засновується на врахуванні напрямку переміщення повітряних мас та їх інтенсивності (надходження холодних та теплих повітряних мас) [5, 7, 11]. Направлення потоку повітряних мас визначається наступним методом: за нульовий напрямок рахується північний напрямок, за напрямок 90° — західний, 180° — південний напрямок, 270° — східний. Холодними впливами вважаються потоки північні, північно-західні, північно-східні, східні, а іноді і південно-східні, з кутами від 0° до 70°, та від 200 до 360°. Теплими впливами вважаються західні, південно-західні та південні з кутами потоку більше 70° та менше 200° (*рис. 2*).

Підраховуючи кількість природно-синоптичних періодів з холодними (*n*) та теплими (*m*) впливами розраховують коефіцієнт теплового потоку за відношенням *n*/*m*. У роки, коли спостерігається переважання теплих потоків, коефіцієнт теплового потоку є меншим за одиницю, а в роки з переважанням холодних потоків він більший за одиницю. Визначення кількості природно-синоптичних періодів з холодними та теплими впливами, і, відповідно, розрахунок коефіцієнтів теплового потоку відбувалося за період 01 вересня – 20 жовтня, оскільки саме у цей період відбувається найбільш інтенсивне охолодження води в річках. Для аналізу атмосферних процесів використано приземні карти погоди метеорологічних показників (направлення потоків повітря на АТ–500 мб поверхні) за період з 2000 по 2020 р.

Оцінювання якості кореляційних залежностей виконано згідно з критеріями, які наведено у роботі [15].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Для кожного водосховища Дніпровського каскаду було обрано один репрезентативний пост, а саме: вдсх Київське — смт Страхолісся, вдсх Канівське — м. Київ, вдсх Кременчуцьке — м. Черкаси, вдсх Кам'янське — с. Мішурин Ріг, вдсх Дніпровське — смт Сухачівка, вдсх Каховське — с. Благовіщенка. На обраних постах щорічно поява льодових явищ на водосховищах спостерігається в першу чергу. Більш пізні строки настання льодових явищ на інших постах обумовлюються їх розташуванням біля глибоководних частин водосховища, де зосереджуються значні маси тепла; поруч гідротехнічних споруд, які порушують природний режим водосховища; в гирлових ділянках річок, які впадають до водосховища або на ділянках зі значною течією води, що перешкоджає льодоутворенню.

Для кожного року розраховані коефіцієнти теплових потоків (*табл. 1*), які змінюються у діапазоні від 0,11 до 1,75. Мінімальні значення теплових коефіцієнтів характерні для років, коли період, який передує появі льодових явищ характеризується переважанням надходження теплих повітряних мас, відповідно до появи льодових явищ, що відбуваються у більш пізні строки. Так, у 2020 році коефіцієнт теплового потоку склав 0,11 (*табл. 1*) і на більшості постів поява льодових явищ відбулася 8–10 лютого (*табл. 2*). Максимальні ж позначки

коефіцієнтів теплових потоків відмічаються в роки, коли для періоду, що передує появі утворенню льодових явищ, характерним є переважання холодних повітряних мас з півночі, північного сходу та сходу. Тоді ж спостерігається поява льодових явищ у ранні строки та строки, близькі до норми. Така ситуація була у 2001, 2005 та 2008 роках (*табл. 1*).

Дати появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду коливаються у широких межах та залежать від загальної циркуляції у Північній півкулі. Тому найбільш рання поява льодових явищ спостерігається в кінці жовтня – першій половині листопада під час вторгнення холодних арктичних повітряних мас на територію України, а пізня — у кінці зимового періоду (в середньому — перша декада лютого). Середня ж дата появи льодових явищ на водосховищах Дніпра припадає на другу декаду грудня (*табл. 2*). Різниця між пізньою та ранньою датою появи льодових явищ становить від 69 днів (вдсх Дніпровське — смт Сухачівка, вдсх Каховське — с. Благовіщенка) до 100 днів (вдсх Кам'янське — с. Мишурин Ріг).

Встановлено залежності між датами появи льодових явищ (через показник відхилення дат появи льодових явищ від норми) та коефіцієнтами теплового потоку (n/m) для каскаду Дніпровських водосховищ (*рис. 3*). Аналіз залежностей показав, що коефіцієнти кореляції коливаються від 0,088 до 0,106, тобто характеризують дуже слабкі зв'язки. Потрібно відзначити, що слабкий кореляційний зв'язок ще не означає відсутність залежності між показниками [23].

Таблиця 1. **Коефіцієнти теплового потоку**

Рік	n/m за період 01.09–20.10	Рік	n/m за період 01.09–20.10
2000	1,20	2011	0,67
2001	1,75	2012	0,18
2002	0,22	2013	1,25
2003	0,71	2014	0,83
2004	0,57	2015	0,38
2005	1,75	2016	1,00
2006	1,20	2017	0,67
2007	0,38	2018	0,67
2008	1,75	2019	0,67
2009	0,29	2020	0,11
2010	0,29		

Отже, для з'ясування ефективності отриманих залежностей довгострокового прогнозування появи льодових явищ проведено їх оцінювання через показник ймовірності не перевищення допустимої похибки P (%) згідно [14, 15, 20]. Забезпеченість перевірних прогнозів появи льодових явищ для водосховищ Дніпра склала 45–60% (*табл. 2*). Отже, для практичного використання можна застосувати тільки залежність, яку отримано для гідрологічного поста вдсх Київське — смт Страхолісся.

Кліматичні зміни останніх десятиріч призвели до скорочення на річках загальної кількості діб із льодовими явищами, підвищення температури води у осінньо-зимовий період, більш пізньої появи

Таблиця 2. **Статистичні характеристики рядів спостережень дати появи льодових явищ на водосховищах р. Дніпро та результати перевірних прогнозів**

Водосховище — гідрологічний пост	Величина						
	Загальна кількість складених прогнозів	Середня дата появи льодових явищ	Рання дата появи льодових явищ	Пізня дата появи льодових явищ	Різниця між пізньою та ранньою датою появи льодових явищ, доба	Допустима похибка прогнозу, доба	Ймовірність не перевищення допустимої похибки, P (%)
Київське — смт Страхолісся	20	27.11	13.11. 2002	28.01. 2007	76	11	60
Канівське — м. Київ	20	13.12	01.12. 2018	10.02. 2020	71	12	45
Кременчуцьке — м. Черкаси	21	15.12	28.11. 2014	08.02. 2020	72	13	52
Кам'янське — с. Мишурин Ріг	21	10.12	01.11. 2000	09.02. 2020	100	11	48
Дніпровське — смт Сухачівка	21	18.12	24.11. 2014	01.02. 2007	69	11	48
Каховське — с. Благовіщенка	20	20.12	01.12. 2014	08.02. 2020	69	13	45

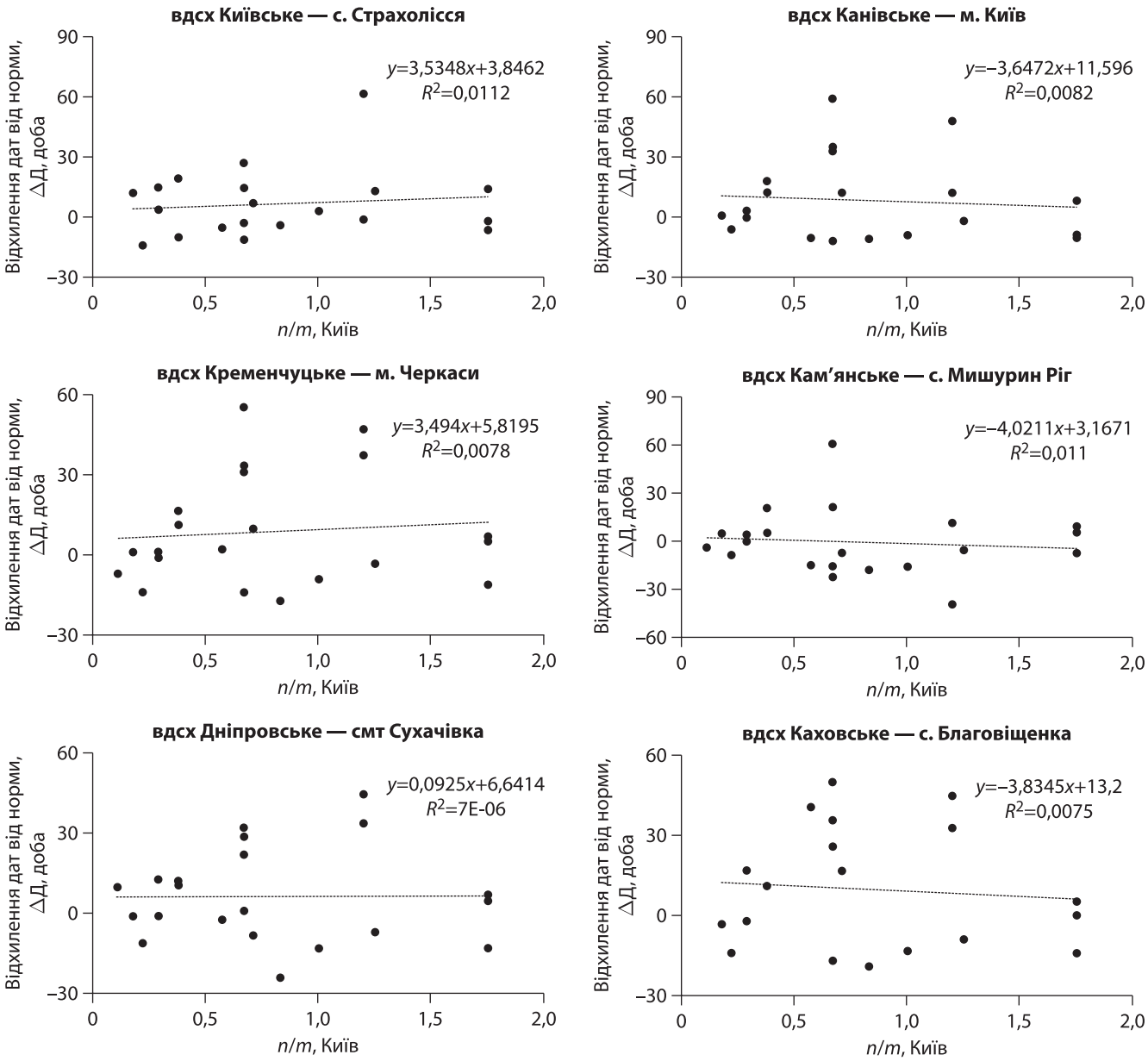


Рис. 3. Залежність дат появи льодових явищ від коефіцієнтів теплового потоку (*n*/*m*) на водосховищах Дніпровського каскаду

льодових явищ [13]. Це створює суттєві труднощі при довгостроковому прогнозуванні льодового режиму Дніпровських водосховищ. Отримані результати демонструють, що використаний у дослідженні методологічний підхід, який було розроблено для річок у другій половині XX століття в умовах більш стійкого режиму температури повітря не надає прийнятних результатів для водосховищ Дніпровського каскаду у сучасних кліматичних умовах. Для отримання надійних прогностичних залежностей для довгострокового прогнозування дат появи льодових явищ необхідно розширити пошук предикторів, які характеризують атмосферні процеси як у просторі, так і у часі. Таким підходом може бути використання телеконнекційних показників атмосферних процесів Земної кулі, які успішно використано у роботі [31].

ВИСНОВКИ

Строки появи льоду відносяться до найбільш важливих характеристик осінніх льодових явищ, адже визначають найбільш ефективну гідрологічну стратегію в осінньо-зимовий період. Методик довгострокового прогнозування дат появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду не існує. Отже, знаходження кореляційних залежностей між кількісними показниками атмосферних процесів та датами появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду, а також можливість розробки на основі такого підходу методик

довгострокового прогнозування дат появи льодових явищ є вкрай актуальним питанням. У роботі вперше досліджено зв'язки між коефіцієнтами теплового потоку та датами появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду за сучасний період спостережень Отримані залежності мають дуже слабкі кореляційні зв'язки, а показник ймовірності не перевищення допустимої похибки склав 60% для гідрологічного поста вдсх Київське — смт Страхолісся і менше для усіх інших постів. Отже, використати вищезазначений підхід для довгострокового прогнозування дат появи льодових явищ можна тільки для Київського водосховища, а для інших водосховищ необхідно виконати пошук нових предикторів, поправочних коефіцієнтів, або створенні нових прогностичних методик на основі сучасних методологічних підходів. Одним із таких підходів є використання телеконнекційних показників атмосферних процесів Земної кулі для довгострокового прогнозування гідрометеорологічних характеристик. Отже, це буде наступним етапом дослідження.

Дане дослідження виконано згідно з держбюджетною темою № 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).

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Аполлов Б.А. Учение о реках. М.: Изд-во МГУ, 1963.
[Apollov, B.A. (1963). Doctrine of Rivers. Moscow: Moscow State University].
2. 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.
[Boyko, V.M., Petrenko, L.V., Shcherbak, A.V. (2014). Short-term forecasting of ice regime characteristics of Ukraine water objects for physico-statistical model ICE_1_5. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*. **4 (35)**. 65–72].
3. Бурикіна С.І., Цуркан О.І. Тенденції сучасної зміни агрокліматичної ситуації на території степової чорноземної зони півдня України. *Таврійський науковий вісник*. **111.** 2020. С. 29–43.
[Burykina, S.I., Curkan, O.I. (2020). Trends of modern changes in the agroclimatic situation in the territory of the steppe chernozem zone of southern Ukraine. *Tavriia Scientific bulletin*. **111.** 29–43].
4. Быдин Ф.И. Зимний режим рек и методы его изучения. Москва, 1933. 237 с.
[Bydin, F.I. (1933). Winter regime of rivers and methods of its study. Moscow. 237 p.].
5. Вангенгейм Г.Я. Опыт применения синоптических методов к изучению и характеристике климата. Гидрометеоиздат. 1985 г.
[Vangengejm, G.Ia. (1985). Experience in the application of synoptic methods to the study and characterization of climate].
6. Георгиевский Ю.М. Краткосрочные и долгосрочные прогнозы ледовых явлений на реках, озерах и водохранилищах: учеб. пособие / Ю.М. Георгиевский. Ленинград: Изд-во ЛГМИ, 1986. 50 с.
[Georgievskij, Iu.M. (1986). Short-term and long-term forecasts of ice phenomena on rivers, lakes and reservoirs. Leningrad: LGMI. 50 p.].
7. Гинзбург Б.М. Краткий обзор методов долгосрочных прогнозов вскрытия и замерзания рек. *Тр. ЦИП*. **Вып. 90.** 1959.
[Ginzburg, B.M. (1959). Brief review of methods for long-term forecasts of opening and freezing of rivers. *Proc. CRI*. **90**].
8. Гинзбург Б.М., Антипова Е.Г., Балашова И.В. Методика прогнозов начала ледостава на водохранилищах волжского каскада ГЭС. *Тр. ГМЦ*. 1968. **Вып. 17.** С. 3–19.
[Ginzburg, B.M., Antipova, E.G., Balashova, I.V. (1968). Methodology of forecasts of the beginning of ice formation on the reservoirs of the Volga HPP cascade. *Proc. GMC*. **17.** 3–19].
9. Гинзбург Б.М., Ефремова Н.Д. Речные ледовые прогнозы. Гидрометеорологическая служба Украины за 50 лет Советской власти. *Труды УкрНИГМИ*. **Вып. 81.** Л.: Гидрометеоиздат. 1970. 272 с.
[Ginzburg, B.M., Efremova, N.D. (1970) River ice forecasts. Hydrometeorological Service of Ukraine for 50 Years of Soviet Authority. *Proceedings of UkrNIGMI*. **81.** L.: Gidrometeoizdat. 272 p.].
10. Гусева А.А. Анализ синоптических условий вскрытия и замерзания рек Украины и его применение в гидропрогностике этих явлений. Киев, 1947.
[Guseva, A.A. (1947). Analysis of the synoptic conditions of the opening and freezing of the rivers of Ukraine and its application in hydroforecasting of these phenomena. Kyiv].
11. Гусева А.А. Метод долгосрочного прогноза замерзания рек бассейна Верхнего и Среднего Днепра на основе анализа атмосферных процессов. Отчет. Киев, 1963.
[Guseva, A.A. (1963). Method of long-term forecast of freezing of the rivers of the Upper and Middle Dnieper basin based on the analysis of atmospheric processes. Report. Kyiv].
12. Куза А.М. Обґрунтування прогнозу появи льодових явищ на основі дискримінантної функції в умовах рівнинних річок України. Дис. на здоб. наук. ступ. канд. геогр. н. за спец. 11.00.07. Одеса. 2013. 287 с.
[Kuza, A.M. (2013). Reasoning of the forecast of the ice phenomena appearance based on the discriminant function in the conditions of the plain rivers of Ukraine. Diss. on of Ph.D. geogr. sci. for special 11.00.07. Odesa. 287 p.].
13. Лобода Н.С., Сіренко А.М. Використання методів багатовимірного статистичного аналізу у гідрологічних прогнозах льодових явищ (на прикладі річок Дністер та Тілігул). *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2011. **Т. 3 (24).** С. 58–65.
[Loboda, N.S., Sirenko, A.M. (2011). The use of multidimensional statistical analysis methods in hydrological forecasts of ice phenomena (on the example of the Dniester and Tiligul rivers). *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*. **3 (24).** 58–65].

14. Манукало В.О., Бойко В.М., Гальперіна Т.О, Петренко Л.В. До питання оцінювання якості методики та точності гідрологічних прогнозів. Науково-методичні розробки. *Наукові праці УКрНДГМІ*. 2016. **Вип. 268.** С. 93–98.
[Manukalo, V.O., Boyko, V.M., Hal'perina, T.O., Petrenko, L.V. (2016). To the issue of quality assessment of the method and accuracy of hydrological forecasts. Scientific and methodological developments. *Scientific works UkrRHMI*. **268.** 93–98].
15. Настанова з оперативної гідрології. Прогнози режиму вод суші. Гідрологічне забезпечення і обслуговування / Керівний документ. Київ: Український гідрометеорологічний центр, 2012. 120 с.
[Manual on operational hydrology. Forecasts of land water regime. Hydrological support and maintenance/Guideline document. Kyiv: Ukrainian Hydrometeorological center, 2012. 120 p.]
16. Осадчий В.І., Бабіченко В.М. Температура повітря на території України в сучасних умовах клімату. *Український географічний журнал*. 2013. **Вип. 4.** С. 32–39.
[Osadchyy, V.I., Babichenko, V.M. (2013). Air temperature on the territory of Ukraine in the modern climate conditions. *Ukrainian geographical journal*. **4.** 32–39].
17. Пиотрович В. В. Методика долгосрочного прогноза сроков очищения ото льда водохранилищ Волгоградской, Волжской и Цимлянской ГЭС. *Труды ЦИП*. 1969. **Вып. 84.** 99–114.
[Piotrovich, V.V. (1969). Methodology of long-term forecast of terms of ice clearing from the reservoirs of Volgograd, Volzhskaya and Tsimlyanskaya HPPs. *Proceedings of the Central Research Institute*. **84.** 99–114].
18. Постанова КМУ. Про реалізацію експериментального проекту "Будівництво Каховського гідровузла на р. Дніпро. Відбудова після руйнування Каховської ГЕС та забезпечення сталої роботи Дніпровської ГЕС у період відбудови". Кабінет міністрів України. 18.07.2023. № 730. https://www.kmu.gov.ua/npasearch?&num=730&category=3
[Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine. On the Implementation of the Pilot Project "Construction of the Kakhovka Hydroelectric Power Station on the Dnipro River. Reconstruction after the destruction of the Kakhovka HPP and ensuring the sustainable operation of the Dnipro HPP during the reconstruction period". The Cabinet of Ministers of Ukraine. 18.07.2023. № 730. https://www.kmu.gov.ua/npasearch?&num=730&category=3].
19. Руководство по гидрологическим прогнозам; вып. 4. Прогноз ледовых явлений на реках и водохранилищах. / под ред. Л.Г. Шуляковского. Л.: Гидрометеоиздат, 1963. 291 с.
[Guidelines for Hydrological Forecasts. Forecast of ice phenomena on the rivers and reservoirs. L.G. Shulyakovsky. Vol. 4. Moscow: Gidrometizdat, 1963. 291 p.].
20. Руководство по гидрологическим прогнозам. Прогноз ледовых явлений на реках и водохранилищах. Вып. 3. Москва: Гидрометиздат, 1989. 168 с.
[Guidelines for Hydrological Forecasts. Forecast of ice phenomena on the rivers and reservoirs. Vol. 3. Moscow: Gidrometizdat, 1989. 168 p.].
21. Струтинська В.М., Гребінь В.В. Термічний та льодовий режим річок басейну Дніпра з другої половини XX століття. Київ: Ніка-Центр, 2010. С. 127–169.
[Strutynska, V.M., Grebin, V.V. (2010). Thermal and ice conditions of the Dnipro basin rivers since the second half of the 20th century. 127–169].
22. Хільчевський В.К., Гребінь В.В. Великі і малі водосховища України: регіональні та басейнові особливості поширення. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2021. **2 (60).** С. 6–17.
[Khilchevsky, V.K., Grebin, V.V. (2021). Large and small reservoirs of Ukraine: regional and basin features of distribution. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*. **2 (60).** 6–17].
23. Христюк Б.Ф., Горбачова Л.О., Розлач В.О. Дати появи льодових явищ на водосховищах Дніпровського каскаду та можливості їх довгострокового прогнозування. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2023. **Т. 2 (68).** С. 22–32. https://doi.org/10.17721/2306–5680.2023.2.3.
[Khrystiuk, B.F., Gorbachova, L.O., Rozlach, V.O. (2023). Appearance dates of ice phenomena on the Dnipro Cascade reservoirs and the possibility of their long-term forecasting. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*. **2 (68).** 22–32].
24. Шакірзанова Ж.Р. Довгострокові гідрологічні прогнози: Конспект лекцій. Одеса: Вид-во: ОДЕКУ, 2010. 153 с.
[Shakirzanova, J.R. (2010). Long-term hydrological forecasts: Synopsis of lectures. Odesa. ODEKU. 153 p.].
25. Шуляковский Л.Г. Появление льда и начало ледостава на реках, озерах и водохранилищах. Расчеты для целей прогноза. Л.: Гидрометеоиздат, 1960. 216 с.
[Shulyakovsky, L.G. (1960). Ice appearance and the beginning of ice formation on rivers, lakes and reservoirs. Calculations for forecasting purposes. L.: Gidrometeoizdat. 216 p.].
26. Arden, R.S., Wigle, T.E. (1972). Dynamics of ice formation in the upper Niagara River. Proc., Int. Symp. On the Role of Snow and Ice in Hydrology; Symp. On Measurement and Forecasting. WMO-4: Measurement and forecasting specific to river and lake ice, UNESCO/WMO/IAHS, Banff, Canada, 2. 1296–1313.
27. Beltaos, S., et al. (1993). Chapter 2: Physical effects of river ice." Environmental aspects of river ice, T.D. Prowse and N.C. Gridley, eds., Envir. Canada, National Hydrology Research Institute, Saskatoon, Canada. 3–74.
28. Calkins, D.J. (1993). Section 2.2: Physical effects of river ice." Environmental aspects of river ice, T.D. Prowse and N.C. Gridley, eds., Envir. Canada, National Hydrology Research Institute, Saskatoon, Canada.
29. Chen, S.Y., Ji, H.L. (2004). Fuzzy Optimization Neural Network BP Approach for Ice Forecasting. Shuili Xuebao (6). 114–118.
30. 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.
31. Khrystiuk, B.F., Gorbachova, L.O. (2022). 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.** 1–5. DOI: https://doi.org/10.3997/2214–4609.2022580071.
32. Prowse, T.D. (2001). River-ice ecology. I: Hydrologic, geomorphic, and water-quality aspects. *Journal of Cold Regions Engineering*. **15.** Issue. 1. 1–16. DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887–381X(2001)15:1(1).
33. Rokaya, P., Morales-Marin, L., Lindenschmidt, K.-E. (2020). A physically-based modelling framework for operational forecasting of river ice breakup. *Advances in water resources*. **139.** DOI: https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2020.103554.
34. Scrimgeour, G.J., Prowse, T.D., Culp, J.M., Chambers, P.A. (1994). Ecological effects of river ice break-up: a review and perspective. *Freshwater Biology*. **32.** 261–275.
35. Sobolowski, S., Frei, A. (2007). Lagged relationships between North American snow mass and atmospheric teleconnection indices. *International Journal of Climatology*. **27 (2).** 221–231. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.1395.

36. Vyshnevskyi, V.I., Shevchuk, S.A. (2020). Use of remote sensing data to study ice cover in the Dnipro Reservoirs. *Journal of Geology, Geography, and Geoecology*. **29 (1).** 206–216. DOI: https://doi.org/10.15421/112019.
37. Yan, Q., Ding, M. (2011). Using Dynamic Fuzzy Neural Networks Approach to Predict Ice Formation. In Proceedings of the 2011 MSEC International Conference on Multimedia, Software Engineering and Computing, Wuhan, China, 26–27 November 2011; Advances in Multimedia, Software Engineering and Computing Vol. 1. Jin, D., Lin, S., Eds. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany. **128.**

Rozlach Veronika
ORCID: 0009–0007–7051–7987
veronika.rozlach@gmail.com

Khrystiuk Borys
ORCID: 0000–0003–4290–3745
khryst@uhmi.org.ua

Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine and the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

HEAT FLOW COEFFICIENTS AT THE LONG-TERM FORECASTING OF THE ICE PHENOMENA APPEARANCE DATES AT THE DNIPRO CASCADE RESERVOIRS

Reliable and efficient water management is impossible without information on the current and future condition of river basins. Timely informing stakeholders about the future development of hydrological processes is based on a system of hydrological forecasts. Long-term forecasts of ice phenomena are of great importance, as they are used to plan the end of navigation and the crossing of economic facilities to winter regime. Reliable and lead-time forecasts of appearance dates of ice phenomena and freeze-up on reservoirs are essential for the rational use of water resources and for establishing reservoir operation regimes that take into account the requirements and interests of various economic sectors: hydropower, shipping, fisheries, utilities, etc. The appearance dates of floating ice are one of the most important characteristics of autumn ice phenomena. In recent years, the frequency of warm seasons in autumn and pre-winter has increased, and the process of ice formation is often protracted. In such conditions, it is of great importance to forecast the appearance dates of stable ice and the dates of freeze-up, as these characteristics determine the most effective hydrological strategy in the autumn-winter period. The paper investigates the relationship between heat flow coefficients and the appearance dates of ice phenomena in the reservoirs of the Dnipro cascade. The received forecasting dependencies revealed very weak and moderate correlations, and the efficiency of the forecasting equations was 60% or less. Thus, the use of heat flow coefficients as predictors of atmospheric processes is very limited. That is why the search for predictors of atmospheric processes should be expanded for long-term forecasting of the appearance dates of ice phenomena in space and time.

Keywords: *reservoirs, Dnipro River, appearance of ice, long-term forecasting, prognostic dependencies, heat flow coefficient.*

УДК 551.52+530.35

ЧИ Є КОРЕЛЯЦІЇ ДОКАЗОМ ТОГО, ЩО ЗМІНИ ШВИДКОСТІ ЛІЧЕННЯ СИГНАЛІВ РАДІОАКТИВНОГО РОЗПАДУ ОБУМОВЛЕНІ ЗМІНАМИ ТЕМПЕРАТУРИ?

О.Ю. Зеленський[1]
zelenski.oleg@ukr.net
А.Д. Скорбун [2]
ORCID: 0000–0001–8586–5713
anskorbun@gmail.com
Б.М. Сплошной[1]
sploshnoybr@ukr.net
О.Л. Шевченко[3]
ORCID: 0000–0002–5791–5354
shevch62@gmail.com
В.М. Шпиг[3]
ORCID: 0000–0003–1055–7120
vitold82@i.ua

[1] *Державне спеціалізоване підприємство "Центральне підприємство з поводження з радіоактивними відходами", м. Чорнобиль Київської обл., Україна*

[2] *Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України, м. Чорнобиль, Україна*

[3] *Український гідрометеорологічний інститут Державної служби України з надзвичайних ситуацій та Національної академії наук України, Київ, Україна*

В науковій літературі останніми роками точиться дискусія щодо можливості змінності швидкості радіоактивного розпаду під впливом зовнішніх факторів, про що свідчать окремі експерименти. Проте, оскільки такі ефекти різко конфліктують з основами ядерної фізики, існує і потужна критика, яка зводиться до того, що всі такі експерименти є некоректними. При цьому, так чи інакше, все зводиться до того, що ефекти, які спостерігаються, є результатом відгуку роботи вимірювальної апаратури на зовнішні метеоумови, тобто викликані змінами температури, вологості тощо. А не є змінами власне вимірюваної величини. У даній роботі розглянута можливість впливу саме такого фактору, як температура. Встановлено кореляцію між регулярними рядами вимірювань температури і рівня гамма-фону на території зони відчуження Чорнобильської АЕС, яка забруднена викидами палива зі зруйнованого енергоблоку. Зроблено припущення щодо механізму формування коливань у сигналах гамма-фону. Виявлений зв'язок може бути пов'язаний з існуванням спільного глобального чинника змінності сигналів гамма-фону і температури, який варто шукати поза межами тривіальних припущень про вплив метеорологічних умов на роботу апаратури.

Ключові слова: *радіоактивний фон, температура повітря, кореляція.*

ВСТУП

У 1986 році на 4-му енергоблоці Чорнобильської атомної електростанції (Україна) сталася катастрофа, яка призвела до радіоактивного забруднення великої території. На сьогоднішній день гамма-фон на контрольованій території формується головним чином внаслідок розпаду ^{137}Cs [10]. Нині у 30-км зоні навколо ЧАЕС функціонує система радіометричного контролю, в якій задіяно кілька десятків постів спостережень. На них в автоматизованому режимі регулярно (число імпульсів за кожні 15 секунд) проводяться вимірювання радіоактивного гамма-фону (*рис. 1*). Особливістю автоматизованої системи контролю радіаційного стану (АСКРС) є те, що як детектори, так і пов'язана з ними електроніка розташовані на відкритому повітрі, тобто знаходяться під впливом таких метеофакторів, як вологість, температура тощо. Тому, не дивлячись на те, що використані в АСКРС детектори типу GammaTracer створені спеціально для використання в таких умовах, певний сенс можуть мати твердження про те, що зміни сигналів, які спостерігаються, є результатом змін температури обладнання.

Питання щодо впливу метеофакторів, у першу чергу температури навколишнього середовища, на роботу апаратури є насправді остаточно не вирішеним і лишається не лише актуальним, але й дискусійним. Наприклад, для вимірювального комплексу [7], за допомогою якого контролюються напруги, температура тощо, і виявлено сезонні зміни швидкості лічення порядку 0,2%, автор робить обережний висновок про можливий вплив температури навіть при змінах у 0,1 °C. Тобто температура буде змінною завжди, навіть в умовах її стабілізації. Питання у величині впливу цих змін. У критичній роботі [22] наводиться фотографія установки, яка вкрита поліетиленом та знаходиться на відкритому повітрі, на основі чого зроблено висновок, що за таких вимірювань усі коливання показника будуть викликані змінами метеоумов.

З іншого боку, якщо всі показники навколишнього середовища змінюються з певною ритмічністю, то чому слід вважати похибкою наявність подібної ритмічності у значеннях гамма-фону? Постає питання: чи потрібно ефект періодичних змін гамма поля враховувати як стандартну невизначеність при розрахунку сумарної невизначеності результату вимірювань?

Мета роботи — аналіз ефектів періодичних змін гамма поля при довготривалих (рік і більше) регулярних вимірюваннях та виявлення ступеню підпорядкованості або залежності цих змін від температури.

Легко зробити не одне припущення про можливі причини, які викликають цей ефект. Проте, у даній роботі здійснено спробу відповісти на головне питання: наскільки зміни рівня сигналу при вимірюваннях на відкритому повітрі відповідають саме справжнім змінам гамма-фону, а не впливу температури на апаратуру чи джерело.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Перевірка температурної чутливості детекторів. Система АСКРС в якості основних використовує детектори типу GammaTRACER (виробництва Genitron Instrument GmbH, Germany). Окремі екземпляри цих детекторів було перевірено на температурну чутливість під час планової метрологічної повірки [10]. Виявлено, що при змінах температури в межах діапазону (+7°C ÷ +53°C) сигнал (швидкість лічення) змінюється всього на 0,5%. Крім того, згідно технічної документації заводу-виробника детекторів типу GammaTRACER, зміни сигналів цих детекторів в робочому діапазоні температур не перевищують 10 нЗв/год, що для наведених нижче даних також складає приблизно 10/800 ~ 1,3%. Тобто параметри детекторів знаходяться в межах паспортних значень і в реальності навіть кращі. З цього можна зробити висновок, що описані нижче зміни сигналів системи АСКРС *не можна пояснювати змінами характеристик апаратури*, викликаними коливаннями температури повітря.

Подальше виділення ритмічності коливань температури та гамма-фону за теплий період року виконувалось за допомогою вейвлет-аналізу [1], а їх порівняння — за допомогою розшифрування вейвлет-розкладу на діаграмі та кореляційного аналізу.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Менше з тим, зміни реальних сигналів системи АСКРС інколи демонструють явну кореляцію зі змінами температури. Оскільки очікується, що сигнал

Рис. 1. Типовий пост спостереження за гамма-фоном у 30-км зоні ЧАЕС. Детектор GammaTRACER на мачті на висоті ~4 м

АСКРС змінюється внаслідок змін температури, то очевидно, що можливими є два типи змін. Добові — за рахунок змін температури вдень і вночі тільки за одну добу, за тривалий період (кілька діб чи сезонні), — коли середньодобові температури від додатних значень змінюються на від'ємні. Ясно, що такі очікувані довготривалі зміни температури повинні входити в добові зміни незалежно від сезону, тому що вплив температури є локальним явищем, яке повинно проявлятися в момент вимірювань. Тому аналізувати треба не лише багатомісячні тренди, а й деталі змінності сигналів протягом кількох діб.

Спочатку уважно подивимося на добові зміни. На *рис. 2, 3* показано дані АСКРС за два різні періоди для двох постів спостережень "Машеве" і "Красне", і відповідні дані про температуру з метеостанції "Чорнобиль". Обидва пости спостережень розташовані на високій лівобережній заплаві р. Прип'ять, віддалені один від одного на відстань 3,25 км.

На *рис. 2* показано порівняльні дані про температуру і гамма-фон для поста спостережень "Машеве" за 15.04–15.05.2018. Особливістю даних АСКРС за цей період є те, що сигнал гамма-фону, який зазвичай має вигляд шумової доріжки (як і повинно бути для пуассонівського процесу розпаду) у першій половині травня перетворився на зашумлену синусоїду. Величина змін досягла ±10%, що набагато перевищує можливу паспортну похибку апаратури у ±4%, включаючи описану вище чутливість до змін

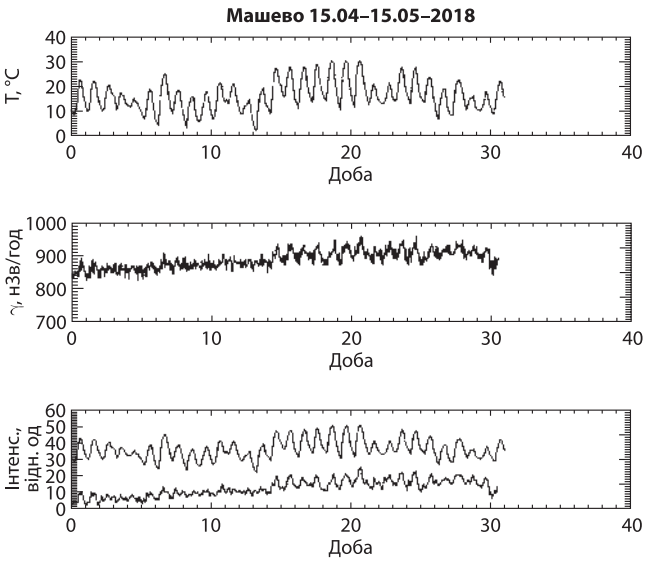


Рис. 2. Дані 15.04–15.05.2018, "Машеве". Зміни температури (верхній графік), гамма-фону (середній графік), та обидві ці криві, нанесені на один графік для наочності порівняння (нижній графік, масштаб змінено)

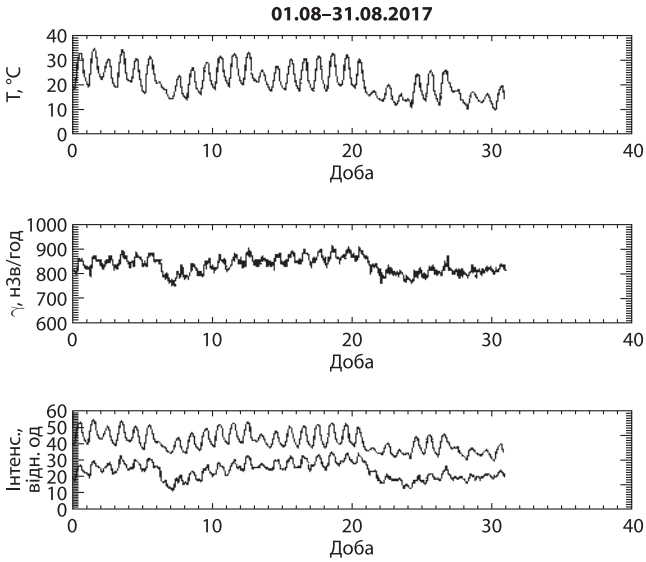


Рис. 3. Дані за 08.2017, "Красне". Зміни температури (верхній графік), гамма-фону (середній графік), та обидві ці криві, нанесені на один графік (нижній графік, масштаб змінено)

температури. На *рис. 2* наведені зверху вниз: температура за цей період, сигнал АСКРС, і нанесені на один рисунок два попередніх графіки. Сигнал АСКРС було згладжено ковзним середнім, щоб краще проявити тренд (добові зміни). Масштаб на цьому рисунку змінено таким чином, щоб обидві криві було зручно порівнювати. Перше, що слід відмітити, це те, що обидва графіки мають вигляд зіпсованої синусоїди: на кожному проявились звичайні добові зміни. Друге, обидва графіки практично однакові і синфазні: зростанню температури (день–ніч) відповідає зростання сигналу АСКРС і навпаки. Але така експериментально виявлена поведінка сигналу суперечить відомим властивостям детекторів на основі лічильників Гейгера-Мюллера [9, 11]: при зростанні температури їхня ефективність падає і, відповідно, зміни температури і викликані ними зміни сигналу повинні бути у протифазі. Крім того, у лівій частині графіка сигналу АСКРС, який відноситься до квітня 2018, яскраво виражених змін практично немає, хоча температура має помітні добові зміни. Різними також є загальні тренди цих двох сигналів: якщо у квітні сигнал АСКРС поступово зростає, то добові коливання температури в цей період такого тренду не мають.

На *рисунку 3* наведено аналогічні графіки за серпень 2017 р., пост спостережень "Красне". На ньому спостерігається ще краща кореляція сигналів температури і сигналів з детектора АСКРС. За цей період зміни обох параметрів були більш яскраві, на них чітко видно, що і сам добовий хід модулюється і можна сказати, що обидва сигнали мають вигляд "зубців пилки". Легко порахувати на графіку температури, що тривалість "зубця" складає 6–7 діб. Кожен "зубець" відповідає одній добі. Розмах значень приземної температури повітря відповідає її добовому ходу, котрий зумовлюється радіаційним балансом (який у свою чергу залежить від висоти Сонця, тривалості дня, режиму хмарності та прозорості атмосфери) та адвекцією повітряних мас [4, 8]. У теплу бездощову погоду впродовж доби температура повітря змінюється наступним чином: після сходу Сонця і до 12 год відбувається її інтенсивне підвищення, потім воно уповільнюється і близько 15 год за місцевим часом досягає максимальних значень, після чого починається її поступове зниження (*рис. 4 а, б*).

Аналіз погодних умов серпня 2017 р. та травня 2018 р. було виконано із залученням даних наземних спостережень вітчизняної гідрометеорологічної мережі та числової (чисельної) мезомасштабної моделі WRF ARW (v.4.1.3), яка є однією з кращих за своїми експлуатаційними характеристиками і найпоширенішою у світі та використовується для широкого кола задач в Україні [19]. З *рис. 4 в, г* та *рис. 5* видно, що виявлені періоди *(тривалість "зубців") пов'язані із атмосферними опадами* на території зони ЧАЕС та Київської області, випадіння яких *супроводжувалося різким зниженням температури повітря*.

Тривалість одного періоду коливань гамма-фону співставна із *синоптичним періодом*, проміжком часу, що характеризується певним синоптичним положенням або процесом над всією півкулею Землі

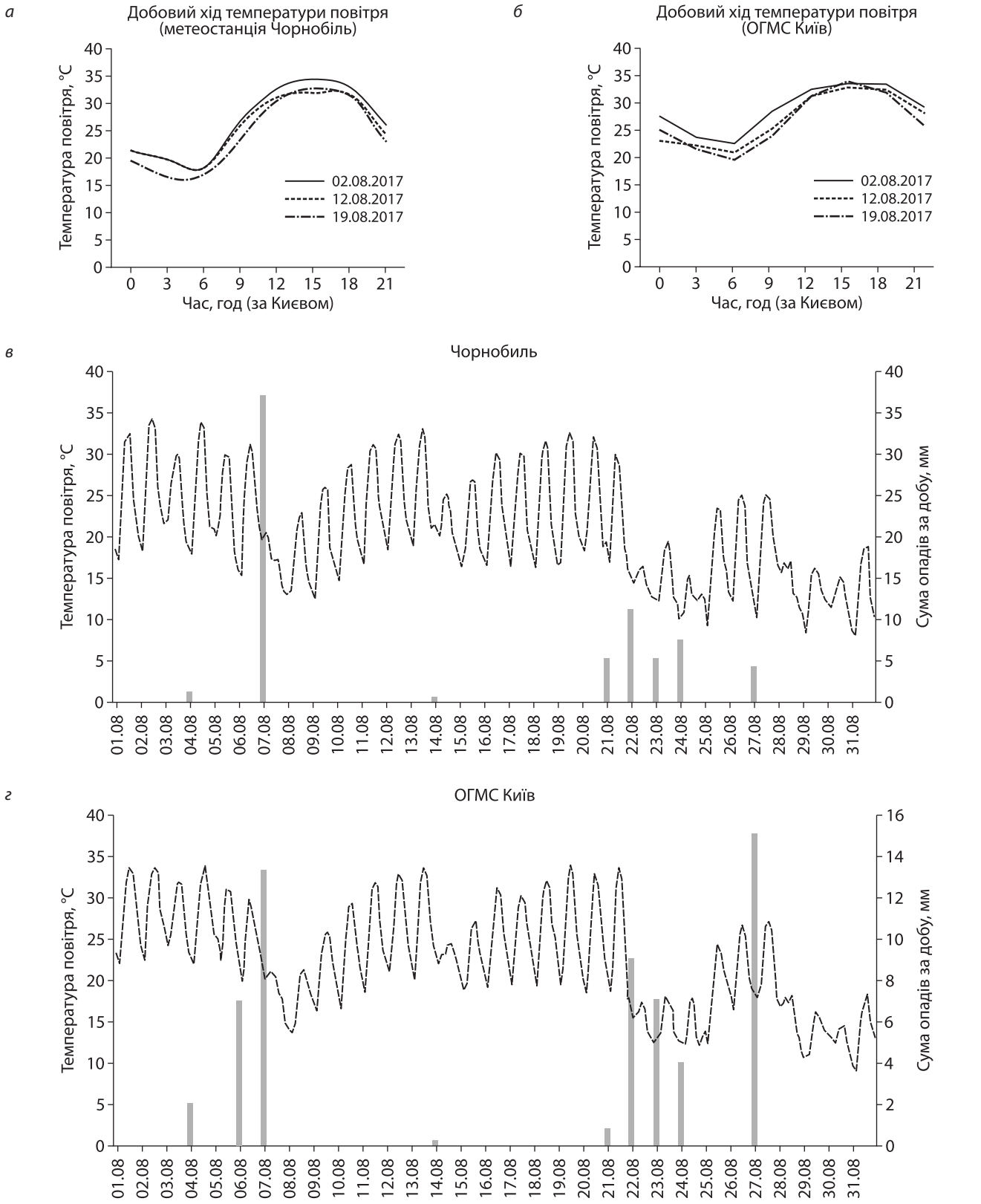


Рис. 4. Добовий хід температури повітря та сума атмосферних опадів за добу на метеостанції Чорнобиль та ОГМС Київ: *а* — добовий хід температури повітря на метеостанції Чорнобиль; *б* — добовий хід температури повітря на Об'єднаній гідрометеорологічній станції Київ; *в* — строкова температура (за Гринвічем) повітря та добові (метеорологічна доба) суми опадів, які були виміряні на метеостанції Чорнобиль упродовж серпня 2017 р.; *г* — строкова температура (за Гринвічем) повітря та добові (метеорологічна доба) суми опадів, які були виміряні на Об'єднаній гідрометеорологічній станції Київ упродовж серпня 2017 р.

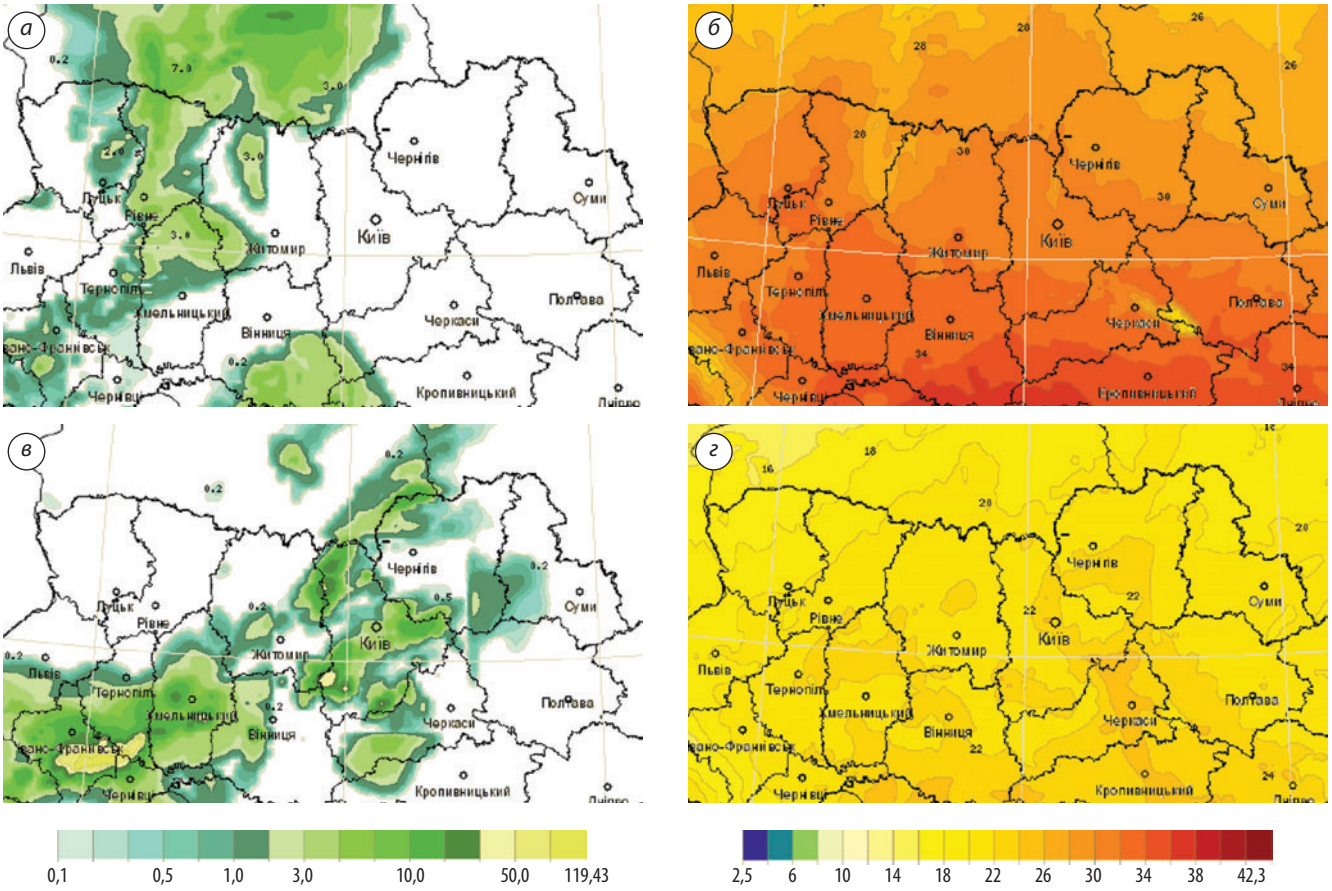


Рис. 5. Просторовий розподіл опадів (*а* — 15 год за Гринвічем, *в* — 21 год за Гринвічем) та приземної температури повітря (*б* — 15 год за Гринвічем, *г* — 21 год за Гринвічем) у центральних та північних областях України 6 серпня 2017 р.

або її частиною. У переважній більшості випадків *його тривалість в європейському синоптичному районі коливається від 5 до 7 діб* [3, 4].

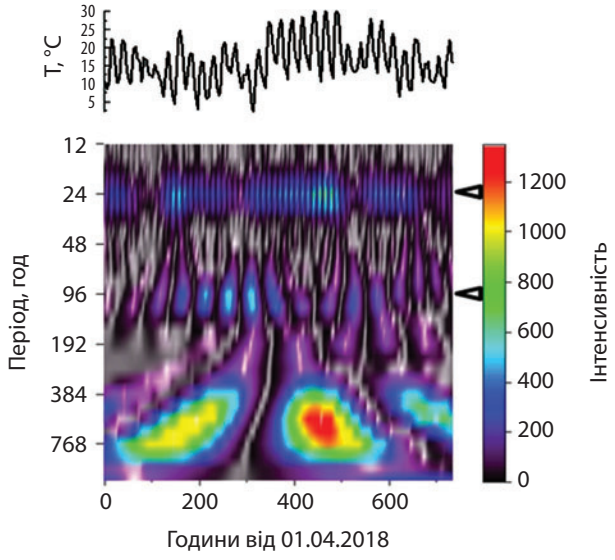


Рис. 6. Вейвлет-розклад температури повітря за період квітень–травень 2018 р. на посту "Машеве". Чітко видно дві серії осередків (плям)

Ймовірними причинами опосередкованого прояву впливу температури повітря на вимірювальну апаратуру можуть бути наступні: 1) зменшення температури повітря зменшує конвективні та турбулентні потоки тепла у приземному шарі тропосфери (і заразом часточок, які під дією цих потоків можуть підніматися із підстильної поверхні); 2) опади вимивають наявні в атмосфері часточки (пил, ґрунт, пилок рослин тощо), концентрація яких може впливати на рівень іонізуючого випромінювання.

Поглиблений аналіз періодичних складових за допомогою вейвлет-аналізу [1] для поста "Машеве" демонструється на *рис. 6, 7*. Використано вейвлет Гаусса, що дало можливість розкрити наступні особливості в картині коефіцієнтів розкладу. По-перше, у розкладі по даному вейвлету наявність (прихованої) синусоїди відображається на картині коефіцієнтів вейвлет-розкладу серією регулярних горизонтально розташованих осередків (плям). З такими осередками пов'язані як максимуми, так і мінімуми синусоїди, а відповідно відстань між сусідніми осередками по горизонталі (час) дає її півперіод. По-друге, амплітуда синусоїди проявляється як яскравість картини осередків. У ті моменти часу,

коли така синусоїдальна модуляція слабка або відсутня, відповідні осередки можуть зникати.

На *рис. 6* показано результат вейвлет-аналізу *температури*. Добре видно дві системи осередків (позначені стрілками). Верхній ряд відповідає добовим змінам, де видно, що інколи амплітуда добових змін дуже мала. Не менш цікавим є поява ряду осередків ***на періоді приблизно 4 доби***. Такої циклічності на хронологічному графіку значень температури натомість не видно.

Результати аналізу розташування плям (осередків) нижнього ряду, з *півперіодом 2 доби*, і відповідні відстані між ними, за якими можна оцінити період, наведено у *таблиці 1*. Положення осередків у таблиці дається як порядковий номер вимірювання.

На *рис. 7* наведено аналогічні результати для сигналу γ-випромінювання на АСКРС "Машеве". Також видно добові та з періодом приблизно в чотири доби зміни, і навіть аналогічні зміни в інтенсивності проявів добового ходу.

З розшифрування до *рис. 7* видно (*табл. 2*), що добові зміни стають набагато регулярнішими у травні (друга половина графіка). На рисунку також чітко видно 4-добовий хід (96 годинний) за рядом осередків навпроти нижньої стрілки.

Порівняння одночасних вимірювань температури і потужності дози. З попереднього розгляду випливає, що кореляція температури і сигналу

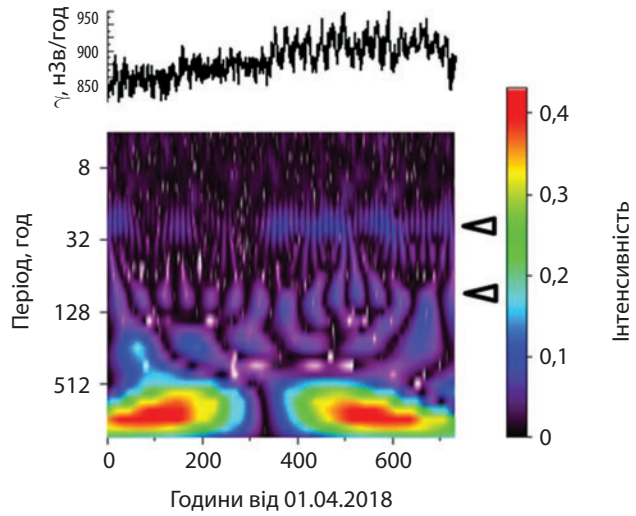


Рис. 7. Вейвлет еквівалентної дози γ-випромінювання в пункті АСКРС "Машеве" за квітень–травень 2018 р.

АСКРС хоча і не однозначна, проте у деякі періоди часу зміни дуже подібні. Отже, лишається високою вірогідність, що причиною змін сигналу АСКРС є температура, не зважаючи на всі аргументи проти. Тому для остаточного вирішення цієї проблеми був проведений аналіз даних одночасного контролю дозових характеристик та температури в детекторах. Такі дані за 2021 рік для поста "Красне" представлено на *рис. 8*. На верхньому графіку наведено зміни температури, а на нижньому — рівня гамма-

Таблиця 1. **Розшифрування вейвлет-розкладу ритмів температури повітря для періодичності у 4 доби (96 годин) (нижній з двох виділених рядів плям на *рис. 6*)**

Дата	Положення плями (осередка)	Різниця	Різниця, години	Півперіод, доби	Період, доби
17.04.2018	21				
19.04.2018	39	18	54	2,3	
21.04.2018	55	16	48	2	4,3
23.04.2018	72	17	51	2,1	4,1
25.04.2018	88	16	48	2	4,1
27.04.2018	104	16	48	2	4
30.04.2018	121	17	51	2,1	4,1
2.05.2018	141	20	60	2,5	4,6
4.05.2018	160	19	57	2,4	4,9
7.05.2018	178	18	54	2,3	4,6
9.05.2018	193	15	45	1,9	4,1
11.05.2018	210	17	51	2,1	4
12.05.2018	223	13	39	1,6	3,8
14.05.2018	236	13	39	1,6	3,3
Середнє		**16,5**	**49,6**	**2,1**	**4,2**

Таблиця 2. **Розшифрування вейвлет-розкладу ритмічності еквівалентної дози γ-випромінювання для періодичності у 4 доби (96 годин) (нижній з двох виділених рядів плям на *рис. 7*)**

Дата	Положення плями (осередка)	Різниця (відстань між осередками)	Період (різниця), години	Період, доби
15.04.2018	20			
17.04.2018	71	51		
20.04.2018	122	51	102	4,3
21.04.2018	166	44	95	4,0
23.04.2018	215	49	93	3,9
26.04.2018	266	51	100	4,2
28.04.2018	322	56	107	4,5
30.04.2018	376	54	110	4,6
2.05.2018	432	56	110	4,6
5.05.2018	481	49	105	4,4
6.05.2018	522	41	90	3,8
8.05.2018	568	46	87	3,6
10.05.2018	617	49	95	4,0
12.05.2018	672	55	104	4,3
15.05.2018	726	54	109	4,5
Середнє		**50,4**	**100,5**	**4,2**

фону. Очевидно, що зміни рівня гамма-фону визначаються не змінами температури.

Проте у більшому масштабі (*рис. 9*), аналізуючи у тому числі період відсутності снігового покриву в холодний період 2021 року, можна помітити цікаві збіги. Видно, що сигнали у цілому об'єднуються у певні групи по 5–15 діб. Кореляції між амплітудами сигналів немає, але є кореляція між моментами появи і закінчення цих груп. Така кореляція спостерігається в інтервалі приблизно 150–350 діб. На початку року і після ~350 діб подібність між змінами температури і гамма-фону зникає. У загальному можна зробити висновок, що у літні місяці спостерігається підвищена змінність гамма-фону у сенсі утворення груп чи "зубців пилки", подібним до таких у температурі. Така змінність сигналів гамма-фону восени і взимку зникає, не зважаючи на те, що температура продовжує змінюватися.

Зважаючи на вже достатньо відомі зміни в кореляційних зв'язках між чинниками водного вине-

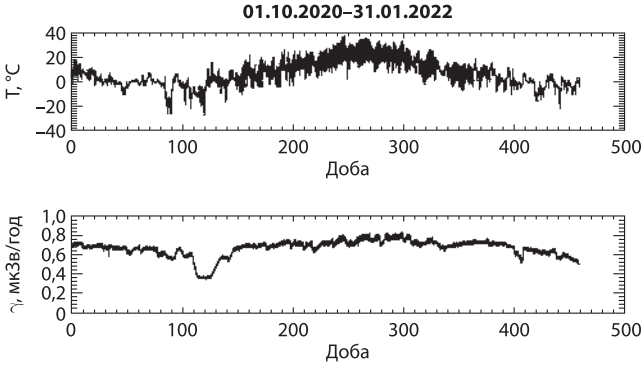


Рис. 8. Дані одночасного вимірювання потужності дози і температури детектором GammaTRACER за період 10.2020 по 01.2022 р., "Красне". Зміни температури (*верхній графік*), гамма-фону (*нижній графік*). По горизонталі — доба від початку вимірювань

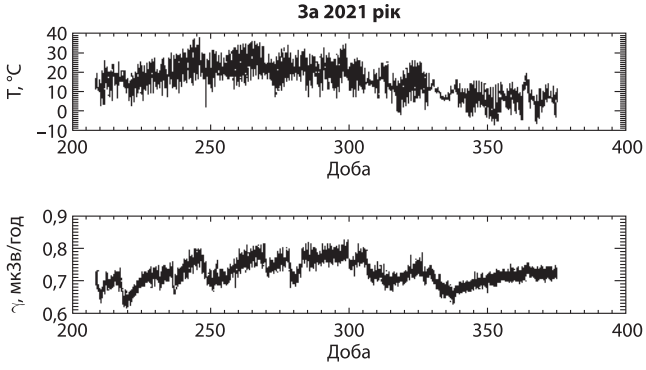


Рис. 9. Дані вимірювання потужності дози і температури детектором GammaTRACER за другу половину 2021 р., "Красне". Зміни температури (*верхній графік*), гамма-фону (*нижній графік*). По горизонталі — доба від початку року

сення з водозборів зони відчуження та величиною водного винесення ^{90}Sr викликані трансформацією форм випадінь та заглибленням центру запасу радіонукліду в ґрунтах [36], на думку спадає аналогія щодо детермінованих часових змін кореляції і для знаку залежності гамма-фону від дощових опадів. В перші роки після аварійних випадінь у зоні відчуження відмічалось деяке збільшення гамма-фону після осадження радіоактивних аерозолів дощовими краплями, тобто прямий зв'язок. В наш час, після значного заростання та укріплення ґрунтової поверхні (зменшення підйому пилу), цей зв'язок, як бачимо (див. *рис. 4*) набув зворотного характеру. Звідси, логічним буде припустити, що в холодний період саме опади залишаються єдиним впливовим метеорологічним чинником і коливання температури значно меншою мірою пов'язані з опадами, а відповідно, і з гамма-фоном.

Метою даного дослідження була перевірка фактично аксіоматичного [22] твердження, що всі спостереження змінності швидкості лічення при вимірюваннях радіоактивного розпаду є результатом тривіального впливу температури на апаратуру. Особливістю експериментальної ситуації у нашому випадку також є те, що детектори гамма-квантів розташовано на відкритому повітрі, тобто вони, як і джерело гамма-фону, є відкритими сонцю і дощам. З метою визначити ступінь впливу навколишнього середовища на показання детекторів, які вимірюють рівень гамма-фону на контрольованій території Чорнобильської зони відчуження, проведено зіставлення показань детекторів та температури навколишнього середовища. Зіставлення проведено для різних детекторів і різних способів вимірювання температури.

Загальна картина змін обох сигналів протягом року дана на рис. 9. З неї видно, що зміни температури і сигналу швидкості лічення у цілому є різними. Легко знайти ділянки, де зміни одного сигналу не супроводжуються змінами в іншому. Але це характеризує досить великі (набагато більше доби) інтервали часу.

Крім того, є ще добові зміни як температури, так і сигналів АСКРС, коли зміни спостерігаються в обох сигналах, і часто достатньо синхронно, що, звичайно, викликає необхідність перевірки "аксіоми" про те, що це вплив температури. Отримані у даній роботі результати свідчать, що виявлені закономірності у змінах гамма-фону не можна пояснити лише впливом температури на апаратуру. Аргументи "проти" є наступними:

1. Відомо, що ефективність лічильників Гейгера–Мюллера зменшується з підвищенням температури [9, 11–13]. Тобто зміни температури і сигналу від радіоактивного розпаду повинні бути у протифазі. У більшості ж випадків спостерігаються скорельовані зміни: криві температури і інтенсивності швидкості лічення імпульсів від радіоактивного розпаду мають однаковий вигляд та ідентичну циклічність. Отже, спостережена зміна сигналу АСКРС не є результатом реакції лічильника на зміну температури.

2. Залишається питання щодо чутливості до температури електронної частини детектора. Пряма перевірка детекторів показала, що при нагріванні детектора до 40–50°С сигнал вдалося змінити не більше, ніж на 0,5% і то статистично.

3. Добові зміни сигналу γ-випромінювання (гамма-фону) краще видно улітку і причина цього не відома. Крім того, сигнал гамма-фону за наявності реакції лічильника на температуру повинен був би закономірно збільшуватися при переході від літніх місяців до зимових, чого не спостерігається.

4. Є дані вимірювань гамма-фону (01–15.05.2018), коли протягом кількох днів амплітуда добових коливань гамма-фону різко збільшилася і досягла ±10%, що значно перевищує всі допустимі апаратурні зміни.

Отже в експерименті ***не отримано доказів впливу температури на апаратуру детектування***. Крім добових змін є ще інші, у першу чергу у вигляді аперіодичних "зубців пилки". На *рис. 9* можна бачити, що такий ефект є в обох сигналах, і вони явно скорельовані (а якщо це проявляється температурна чутливість детектора, то вони повинні бути у протифазі).

Виявлений в обох сигналах за допомогою вейвлет-аналізу ***чотиридобовий період*** без такого аналізу не вдалося б побачити. Тобто зміни цієї складової сигналу дуже малі, набагато менші загального рівня сигналу і тому, у відповідності до сказаного вище (відсутність реакції апаратури при набагато вищих рівнях змін температури), не можуть бути пояснені змінами температури обладнання.

5. Що стосується умоглядного припущення, що це може бути ефект впливу температури на джерело: підвищене виділення радону з ґрунту при нагріванні його сонячним опроміненням. По-перше, і наші експериментальні дані, і літературні свідчать, що зафіксувати присутність дочірніх продуктів розпаду радону в повітрі *можна лише при акумуляції його на фільтрах щонайменше протягом доби, що нівелює усі внутрішньодобові зміни*. По-друге, в циклі робіт групи Ізраїльської геологічної служби досліджувалася варіабельність сигналів від розпаду ^{222}Rn як в природних, так і в лабораторних умовах [11, 25–35]. У результаті цілеспрямованих довготривалих вимірювань радону в природних умовах,

як на поверхні ґрунту, так і під землею (в шахтах, тунелях на глибинах до 100 м), а також в умовах, коли радон знаходився у замкнутому контейнері і не могла йти мова про ексхаляцію, була виявлена варіабельність результатів, включаючи добові зміни, річні зміни та варіації всередині доби тощо. На думку авторів вказаних робіт, виявлену варіабельність не можна пояснити такими стандартними припущеннями, як атмосферні зміни чи геологічні процеси. Для пояснення залучається гіпотеза про існування "космофізичних факторів" (в т.ч. геофізичних).

ВИСНОВКИ

З розгляду наших результатів випливає, що кореляція між змінами температури і сигналів АСКРС у дійсності є обмеженою у тому сенсі, що існує лише у певний період (літні місяці). Отже, отримані результати не дозволяють пояснити змінність сигналів АСКРС тривіальним впливом лише метеоумов. З іншого боку, очевидною є схожість змін сигналів температури і АСКРС у часі: в обох сигналах існують приховані періодичні компоненти, а також багатодобові зміни у вигляді "зубців пилки", які спостерігаються синхронно в обох сигналах. Їх тривалість у теплу частину року відповідає синоптичному періоду. Відсутність кореляції в холодному півріччі може пояснюватися тим фактом, що конвективні потоки від земної поверхні мінімальні або взагалі відсутні. Також можна зробити припущення, що добові зміни як температури, так і сигналів АСКРС пов'язані з обертанням Землі, коли детектор періодично потрапляє в зону впливу деякого зовнішнього фактору (наприклад, Сонця). Але природа появи інших закономірностей є не такою очевидною. І хоча метеорологія пояснює температурні зміни атмосферними процесами, виявлена подібність прихованих періодичних складових в обох фізичних величинах, які ніяк між собою не пов'язані, дозволяє поставити запитання про існування більш загального фактору, який впливає на обидві величини. Згідно подібних досліджень [20] знайдено невеликі кореляції між змінами величини саме гамма-фону та змінами *інтенсивності космічних променів, величиною міжпланетного магнітного поля*. Тому виявлені у нашому аналізі закономірності не можна залишити поза увагою.

Ідея існування зовнішнього фактору, який впливає на всі процеси на Землі, у тому числі на інтенсивність гамма-фону та навіть на швидкості радіоактивного розпаду, висловлювалася неодноразово. Так, із спостережень за шумами в електронній схемі з діодами Зенера було зроблено висновок, що існує космічний фактор типу фонового гравітаційного поля чи структури Простору, який впливає на всі процеси на Землі, викликає зміни на Сонці і температури на Землі [18] (тобто зміни температури на Землі викликані змінами на Сонці лише опосередковано). У роботах Шноля [23,24] на основі аналізу флуктуацій радіоактивного розпаду показано, що параметри цих флуктуацій однозначно пов'язані з астрономічними подіями: існування у добових змінах сигналу зоряного і сонячного періодів, прив'язка деяких особливостей сигналу до астрономічних подій типу сонячного затемнення та ін. У [5, 6] в часових рядах радіоактивного розпаду виявлено періодичні компоненти з періодами в десятки-сотні хвилин, які чітко збігаються з відомими у геофізиці коливаннями Землі. В роботах Баурова [12, 13] з аналізу сезонних змін статистики радіоактивного розпаду зроблено висновок про існування у Просторі виділеного напрямку (векторний потенціал Баурова). У [2, 14–17, 21] обговорюється питання про існування позаземних впливів галактичного походження на процеси на Землі.

Ядерна фізика категорично відкидає можливість впливу на процес радіоактивного розпаду такого чинника, як сезонні зміни температури. А наявність кореляцій не означає наявності причинного зв'язку. Виявлені у нашій роботі кореляції між змінами температури та інтенсивності γ-опромінення або потужності дози в приповерхневому шарі (фізичних величин, які не пов'язані між собою) можуть свідчити про існування загального чинника, який однаково впливає на ці не пов'язані між собою процеси. В цьому сенсі доцільно вивчати закономірності коливань геомагнітного поля Землі та електростатичного поля приземної атмосфери. Крім того, серед великої кількості різних сигналів, які пов'язані з космосом (радіовипромінювання, рентгенівське випромінювання, міжпланетне магнітне поле тощо) слід шукати не просто ті, з якими, хоча б грубо, існує кореляція, а і шукати в них описані вище часові закономірності.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Астафьева Н. М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения. *УФН*. 1996. **Т. 166.** № 11. С. 1145–1170.
   [Astafieva, N.M. (1996). Wavelet analysis: fundamentals of theory and examples of application. *UFN*. **166,** 11. 1145–1170].
2. Берри, Б.Л. Пространственно-временные колебания Вселенной и новые направления в науках о Земле. *Пространство и Время*. 2015. **№ 3 (21).** С. 258–269.
   [Berry, B.L. (2015). Spatio-temporal oscillations of the Universe and new trends in Earth sciences. *Space and time*. **3 (21).** 258–269].
3. Кобзистий П.І. Особливості синоптичних процесів в Украї-

ні: навч. посіб. Київ: ВПЦ "Київський університет", 2002. 149 с.
[Kobzystyi, P.I. (2002). Peculiarities of synoptic processes in Ukraine: Training manual. Kyiv: Publishing Center "Kyiv University". 149 p.].
4. Кобзистий П.І., Щербань І.М. Основи синоптичної метеорології: навч. посіб. Київ: ВПЦ "Київський університет", 2006. 115 с.
[Kobzystyi, P.I., Shcherban, I.M. (2006). Basics of synoptic meteorology: Training manual. Kyiv: Publishing Center "Kyiv University".115 p.].
5. Панчелюга В.А., Панчелюга М.С. Некоторые предварительные результаты локального фрактального анализа шумоподобных временных рядов методом всех сочетаний. *Гиперкомплексные числа в геометрии и физике*. 2014. **Т. 11,** Вып. 1, № 21, С. 134–156.
[Panchelyuga, V.A., Panchelyuga, M.S. (2014). Some preliminary results of local fractal analysis of noise-like time series by the method of all combinations. *Hypercomplex numbers in geometry and physics*. **11 (1),** 21. 134–156.].
6. Панчелюга В.А., Панчелюга М.С. Локальный фрактальный анализ шумоподобных временных рядов методом всех сочетаний в диапазоне периодов 1–115 минут. *Биофизика*. 2015. **Т. 60.** Вып. 2 (21), С. 395–410.
[Panchelyuga, V.A., Panchelyuga, M.S. (2015). Local fractal analysis of noise-like time series by the method of all combinations in the period range of 1–115 minutes. *Biophysics*. **60,** 2 (21). 395–410.].
7. Пархомов А.Г., Макляев Е.Ф. Исследование ритмов и флуктуаций при длительных измерениях радиоактивности, частоты кварцевых резонаторов, шума полупроводников, температуры и атмосферного давления. *Физическая мысль России*. 2004. **№ 1.** 1. http://www.chronos.msu.ru/RREPORTS/parkhomov_ritmy/parkhomov_ritmy.htm.
[Parkhomov, A.G., Maklyaev, E.F. (2004). Investigation of rhythms and fluctuations during long-term measurements of radioactivity, frequency of quartz resonators, semiconductor noise, temperature and atmospheric pressure. *Physical thought of Russia*. **1.** 1].
8. Проценко Г.Д. Метеорологія та кліматологія: Навчальний посібник. Київ, 2007. 265 с.
[Protsenko, G.D. (2007). Meteorology and climatology: Training manual. Kyiv. 265 p.].
9. Сидоренко В.В., Кузнецов Ю.А., Оводенко А.А. Детекторы ионизирующих излучений на судах. Справочник. Ленинград: Судостроение. 1984. С. 74–76.
[Sidorenko, V.V., Kuznetsov, Yu.A., Ovodenko, A.A. (1984). Ionizing radiation detectors on ships. Directory. Leningrad: Shipbuilding, 74–76].
10. Скорбун А.Д., Кучмагра О.А., Сплошной Б.М., Дорошенко А.О. Періодичності у сигналах довготривалих вимірювань гамма-фону в Чорнобильській зоні відчуження. *Nuclear Power and the Environment*. 2019. **№ 2 (14).** С. 60–67. doi.org/10.31717/2311–8253.19.1.6.
[Skorbun, A.D., Kuchmagra, O.A., Solid, B.M., Doroshenko, A.O. (2019). Periodicities in the signals of long-term measurements of the gamma background in the Chernobyl exclusion zone. *Nuclear Power and the Environment*. **2 (14).** 60–67].
11. Baurov Yu.A., Sobolev Yu.G., Kushniruk V.F. Kuznetsov E.A., Konradov A.A. Experimental investigation of changes in β-decay count rate of radioactive elements. arXiv:hep-ex/9907008.
12. Baurov, Yu.A., Sobolev, Y. G., Ryabov, Y.V. (2014). New force, global anisotropy and the changes in β-decay rate of radioactive elements. *American Journal of Astronomy and Astrophysics*. **2 (6–1).** 8–19. Published online October 28, 2014. (http://www.sciencepublishinggroup.com/j/ajaa) doi: 10.11648/j.ajaa.s.2014020601.12
13. Baurov, Yu.A. (2004). Global Anisotropy of Physical Space. Experimental and Theoretical Basis. Nova Science, NY, 166 p.
14. Berkovich, S. Calendar variations in the phenomena of Natureand the apparition of two Higgs bosons. https://www2.seas.gwu.edu/~berkov/Berkovich_Calendar_Effect_ modified.pdf.
15. Berry, B.L. (1998). Regularities of Natural Cycles, Predictions of Climate and Surface Conditions. *Hydrol. Process.* **12.** 2267–2278.
16. Berry, B.L. (2010). Helio-geophysical and Other Processes, Periods of Their Oscillations and Forecasts. *Geophysical Processes and Biosphere*. **9.4.** 21–66.
17. Berry, B.L. (2011). Helio-geophysical and Other Natural Processes, Periods of Their Oscillations, and Forecasts 1. *Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics*. **47.7.** 54–86.
18. Cahill, R.T. (2014). Solar flare five-day predictions from quantum detectors of dynamical Space fractal flow turbulence: gravitational wave diminution and Earth climate cooling. *Progress in Physics*. **10,** Issue 4 (October). 236–242.
19. Doroshenko, A., Shpyg, V., Budak, I., Huda, K. (2020). Numerical atmospheric models and their application in different areas of economics [In: Kvasniy L. and Tatomyr I. (eds) Ukraine in the context of global and national modern servisation processes and digital economy]: monograph. Praha: Oktan Print. 155–171. https://doi.org/10.46489/UITCOG0909.
20. Milián-Sánchez, V., Scholkmann, F., Fernández de Córdoba, P. et al. (2020). Fluctuations in measured radioactive decay rates inside a modified Faraday cage: Correlations with space weather. *Sci Rep*. **10.** 8525. https://doi.org/10.1038/s41598-020-64497-0.
21. Pommé, S. (2019). Solar influence on radon decay rates: irradiance or neutrinos? *Eur. Phys. J. C*. **79:** 73 https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-019-6597-7.
22. Rokityansky, I.I. (1999). Phenomenon of quasi-spontaneous globally synchronized variations of physical parameters (QSV). Physics and Chemistry of the Earth, Part A. *Solid Earth and Geodesy*. **24,** Issue 8. 705–710.
23. Shnoll, S.E. (2012). Cosmophysical Factors in Stochastic Processes. American Research Press, Rehoboth, NM, USA, 430.
24. Shnoll, S.E. (2014). On the Cosmophysical Origin of Random Processes. Open Letter to the Scientific Community on the Basis of Experimental Results Obtained During 1954–2014. *Progress in physics*. **10,** Issue 4 (October). LETTERS TO PROGRESS IN PHYSICS.
25. Scholkmann, F., Steinitz, G., Piatibratova, O., Kotlarsky, P. (2018). Diurnal oscillations in radon decay data from a long-term (3.5 year) directional Enhanced Confined Mode (ECM) experiment: New insights into possible extra-terrestrial influences. 20th EGU General Assembly, EGU 2018, Proceedings from the conference held 4–13 April, Vienna, Austria, p. 3308. 2018EGUGA.20.3308S.
26. Steinitz, G., Piatibratova, O., Kotlarsky, P. (2011). Possible effect of solar tides on radon signals. *Journal of Environmental Radioactivity*. **102.** 8. 749–765.
27. Steinitz, G., Piatibratova, O., Kotlarsky, P. (2014). Sub-daily periodic radon signals in a confined radon system. *Journal of Environmental Radioactivity*. **134.** 128–135.
28. Sturrock, P.A., Steinitz, G., Fischbach, E., Parkhomov, A., Scargle, J.D. (2016). Analysis of beta-decay data acquired at the

Physikalisch-Technische Bundesanstalt: evidence of a solar influence. *Astropart. Phys*. **84.** 8–14. https://doi.org/10.1016/j.astropartphys.2016.07.005.
29. Steinitz, G., Kotlarsky, P., Piatibratova, O. (2018). Radon signals in geological (natural) geogas and in a simultaneous enhanced confined mode simulation experiment. *Proc Math Phys Eng Sci*. **474.** 2216. https://doi.org/10.1098/rspa.2017.0787.
30. Sturrock, P.A., Steinitz, G., Fischbach, E. (2018). Analysis of gamma radiation from a radon source: II. Indications of influences of both solar and cosmic neutrinos. *Astropart Phys*. **100.** 1–12. https://doi.org/10.1016/j.astropartphys.2018.02.003
31. Steinitz, G., Sturrock, P., Fischbach, E, Piatibratova, O. (2018). Indications for non-terrestrial influences on radon signals from a multi-year enhanced confined experiment. Earth and Space Science Open Archive. https://www.essoar.org/doi/abs/10.1002/essoar.a0e6de6afdf78d90.905b86c97fa74b0c.1.
32. Sturrock, P.A., Fischbach, E., Piatibratova, O., Steinitz, G., Scholkmann F. An Oscillation Evident in Both Solar Neutrino Data and Radon Decay Data. arXiv: 1907.11749.
33. Sturrock, P.A., Fischbach, E., Piatibratova, O., Scholkmann, F. (2021). Possible Indications of Variations in the Directionality of Beta-Decay Products. *Front. Phys*. **19.** Sec. Nuclear Physics. https://doi.org/10.3389/fphy.2020.584101
34. Sturrock, P.A., Piatibratova, O., Scholkman, F. (2021). Comparative Analysis of Super-Kamiokande Solar Neutrino Measurements and Geological Survey of Israel Radon Decay Measurements. *Front. Phys*. **18.** Sec. Stellar and Solar Physics https://doi.org/10.3389/fphy.2021.71
35. Sturrock, P.A. (2022). Neutrino-Flux Variability, Nuclear-Decay Variability, and Their Apparent Relationship. *Space Sci Rev*. **218:** 23. https://doi.org/10.1007/s11214-022-00878-3.
36. Shevchenko, A.L., Charnyi, D.V., Akinfiev, G.A. and Kireev, S.I. (2016). Factors Governing Strontium-90 export with surface runoff in the Chernobyl NPP Restricted Zone. *Water Resources*. **43.** 3. 522–532. https://doi.org/10.1134/S0097807816010127.

Zelenskyi Oleg[1]
zelenski.oleg@ukr.net

Skorbun Anatolii [2]
ORCID: 0000–0001–8586–5713
anskorbun@gmail.com

Sploshnoi Borys[1]
sploshnoybr@ukr.net

Shevchenko Oleksii[3]
ORCID: 0000–0002–5791–5354
shevch62@gmail.com

Shpyg Vitalii[3]
ORCID: 0000–0003–1055–7120
vitold82@i.ua

[1] *STE "Central enterprise for radioactive waste management", Chornobyl, Kyiv obl., Ukraine*

[2] *Institute for safety problems on nuclear power plants of National academy of sciences of Ukraine, Chornobyl, Kyiv obl., Ukraine*

[3] *Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine and the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

CAN CORRELATIONS BE AN EVIDENCE, THAT CHANGES IN THE COUNT RATE OF RADIOACTIVE DECAY SIGNALS ARE DUE TO CHANGES IN TEMPERATURE?

In recent years, there has been a debate in the scientific literature about the possibility of variability in the rate of radioactive decay under the influence of external factors, as evidenced by separate experiments. However, since such effects are in sharp conflict with the basic principles of nuclear physics, there is also a strong criticism, which converges to that all such experiments are incorrect. At the same time, one way or another, everything converges to that the observed effects are the result of the response of the measurement equipment to external weather conditions, that is, caused by changes in temperature, humidity, etc. And these effects are not changes of the actual measured physical quantity. In this work, the possibility of influence of such a factor as temperature is carefully considered. A correlation was found between regular series of measurements of temperature and gamma background level in the exclusion zone of the Chornobyl nuclear power plant, which is contaminated by fuel fallouts from the destroyed power unit. The assumption was made regarding the mechanism of formation of features in gamma background signals. The revealed relation may indicate the existence of a common global factor (cause) of the variability of the gamma background signals and temperature, which should be sought beyond trivial assumptions about the influence of meteorological conditions on the operation of the equipment.

Keywords: *radioactive background, temperature, correlation.*