

ГЕОГРАФІЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ГЛОБАЛЬНОГО ГІДРОЛОГІЧНОГО ЦИКЛУ

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

УДК 551.583.1+551.577

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

¹ Український гідрометеорологічний інститут ДСНС та НАН України, Київ

² Національний університет біоресурсів та природокористування, Київ

³ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

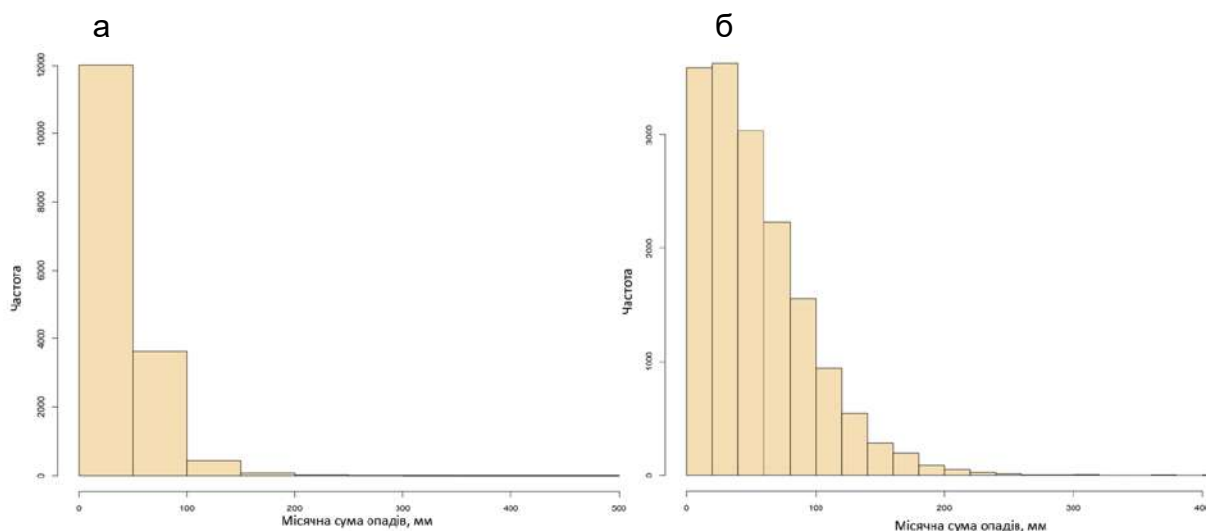


Рис. 1. Закономірності розподілу місячних сум опадів січня (а) та серпня (б) за період 1946-2020 рр.

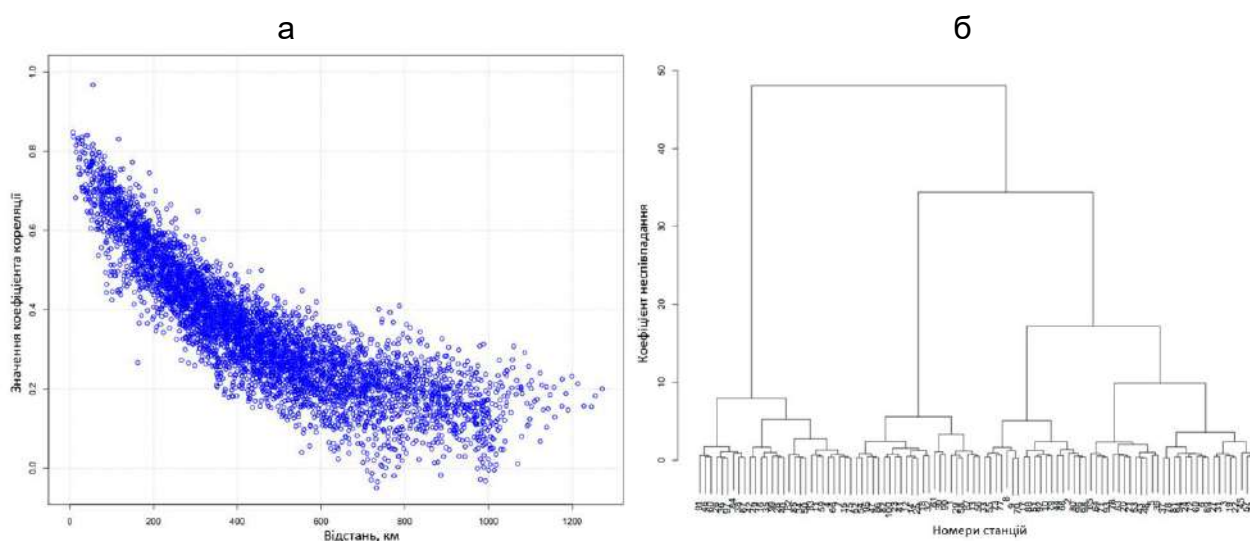


Рис. 2. Кореляційний зв'язок між попарно вибраними станціями залежно від відстані між ними (а) та дендрограма кластерного аналізу (класифікація станцій за статистичними оцінками місячних сум опадів) (б).

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

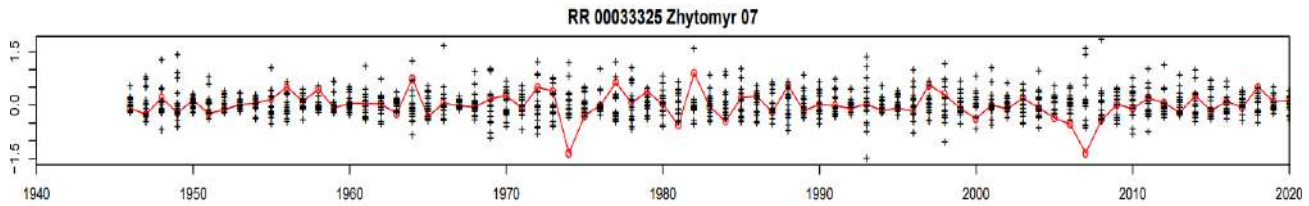


Рис. 3. Фрагмент графічного файлу HOMER для виявлення аномальних значень (викидів) місячних сум опадів для станції Житомир. RR – позначення для масиву даних атмосферних опадів (дані вимірювань), 00033325 – Міжнародний метеорологічний код станції

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

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

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

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

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

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

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

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

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

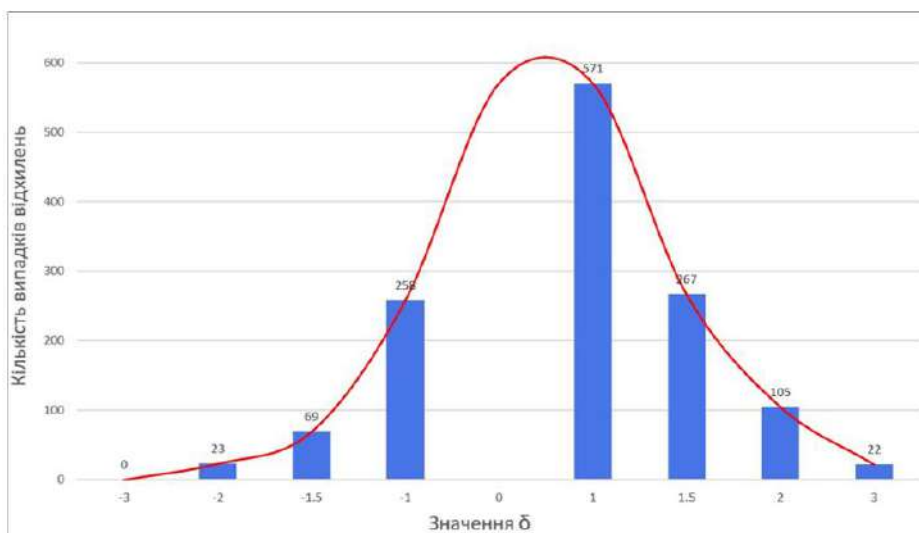


Рис. 4. Розподіл випадків відхилень місячних сум опадів за період 1946-2020 рр.

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

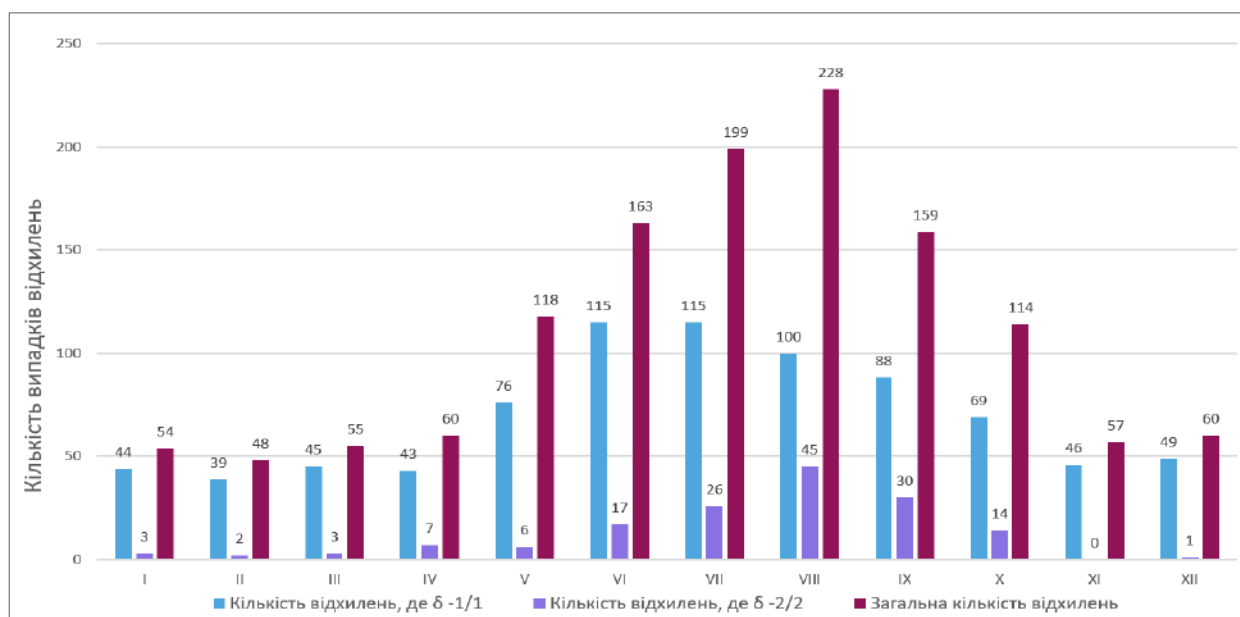


Рис. 5. Річний розподіл відхилень (викидів) місячних сум опадів за період 1946-2020 рр.

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

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

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

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

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

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

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

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

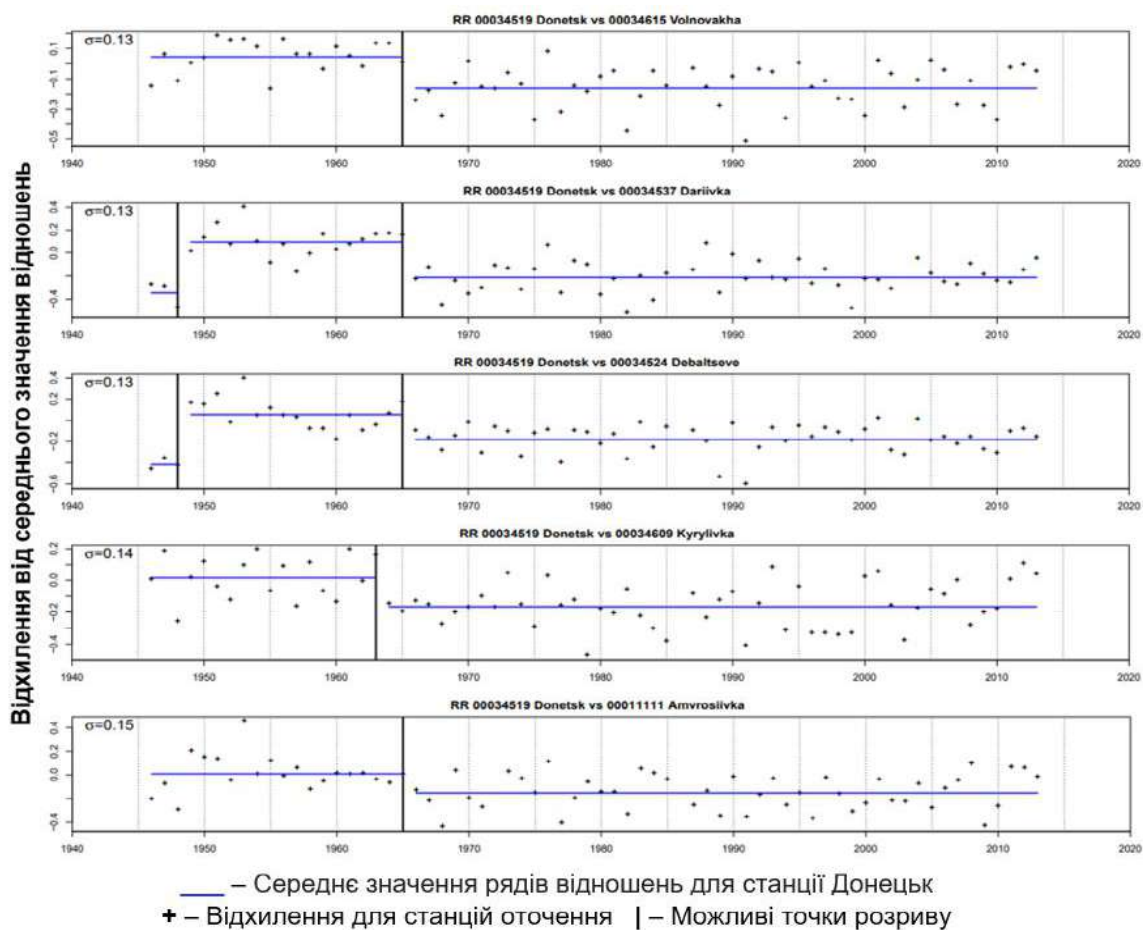


Рис. 6. Ідентифікація точок розриву програмою HOMER в рядах річних сум опадів для станції Донецьк

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

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

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

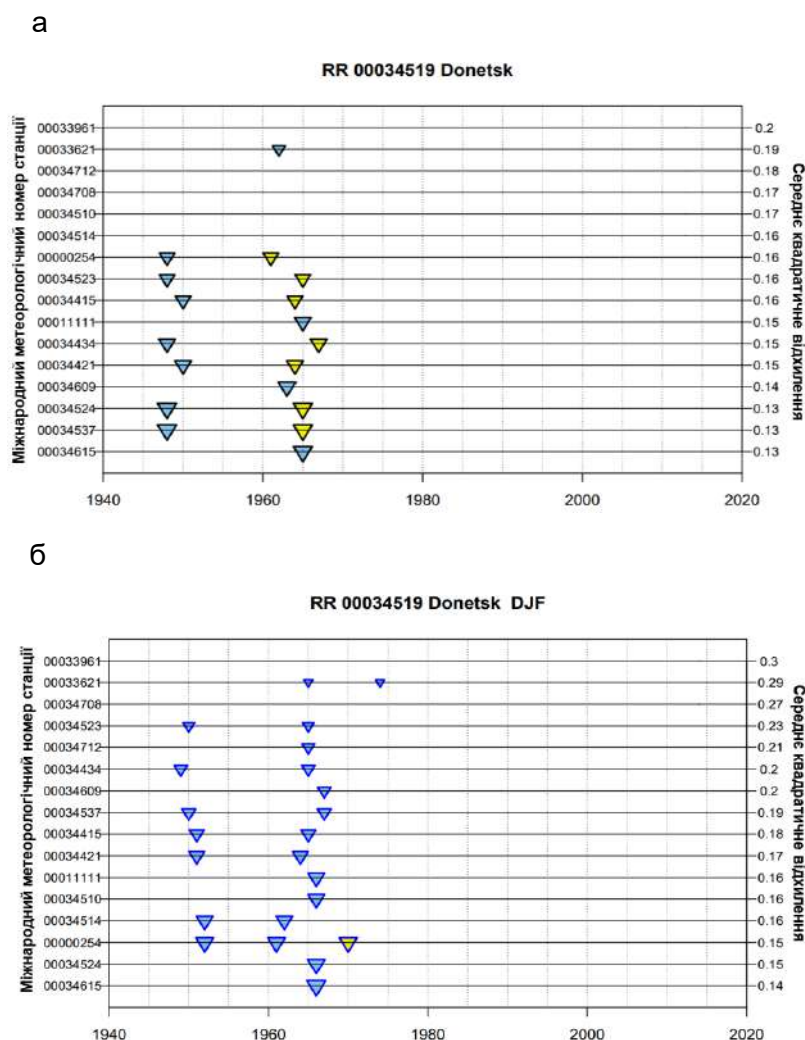


Рис. 8. а) Заключний графік попередньо відмічених точок розриву при порівнянні часових рядів сум опадів станції Донецьк та оточення, де ∇ – виявлена точка розриву в ряду основної станції; б) Попередньо відмічені точки розриву в рядах сум опадів станції Донецьк для зимових місяців (DJF)

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

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

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

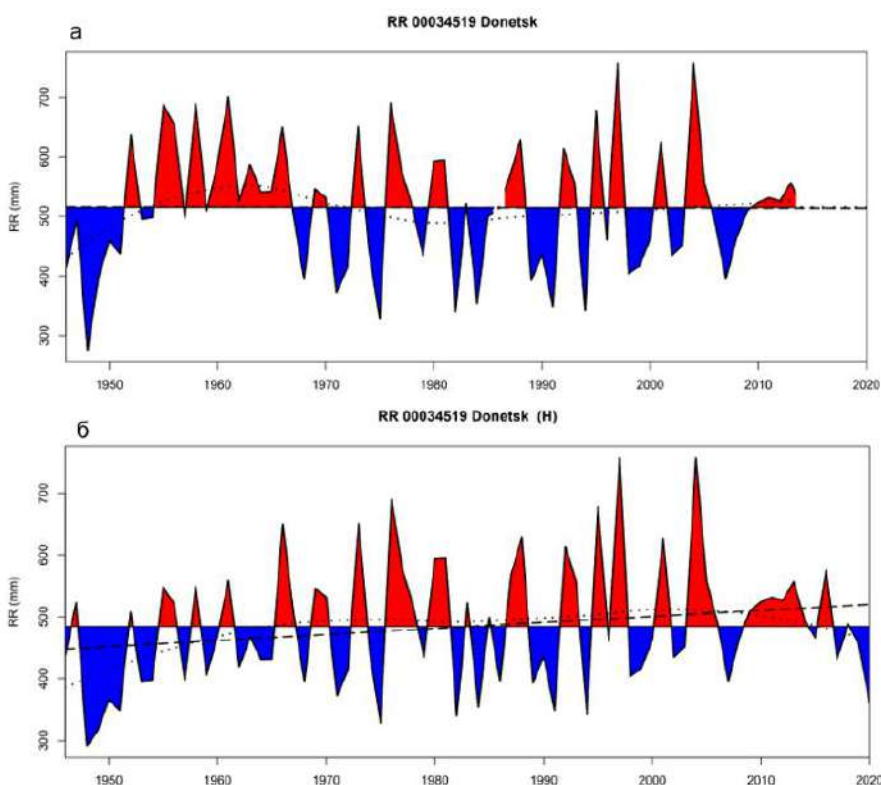


Рис. 9. Часовий розподіл річних сум опадів за досліджуваний період (1946- 2020) до перевірки якості вимірювань та гомогенізації (а) та гомогенізованих даних (б)

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

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

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

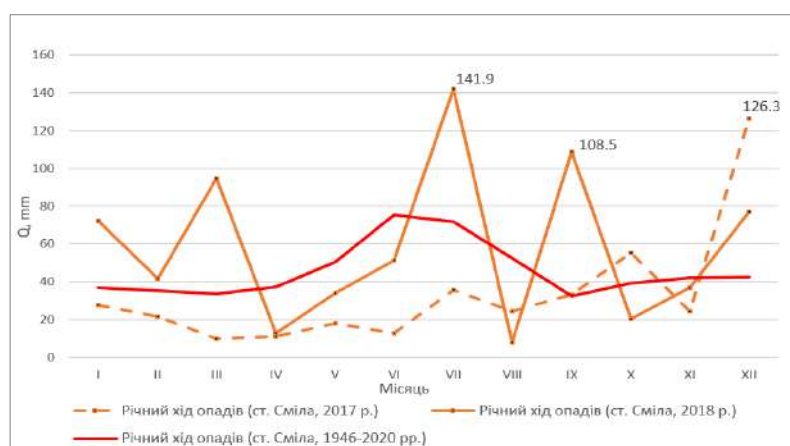


Рис 10. Річний хід опадів, осереднений (1946-2020 рр.) та за окремі роки (ст. Сміла, 2017, 2018 рр.).

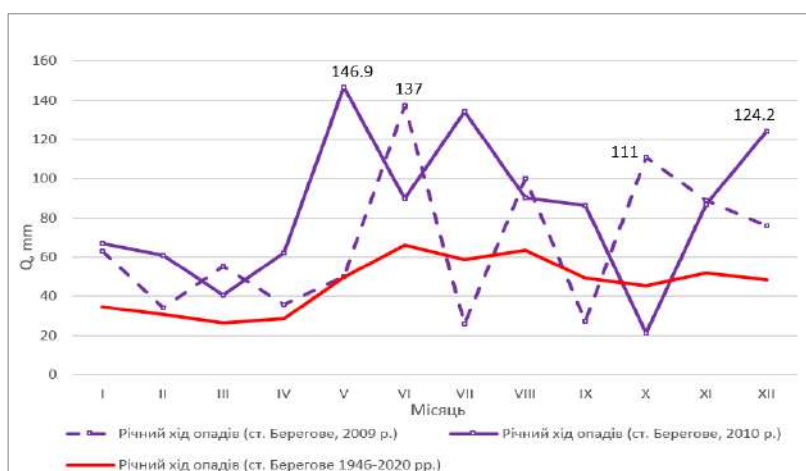


Рис 11. Річний хід опадів, осереднений (1946-2020 рр.) та за окремі роки (ст. Берегове, 2009,2010 рр.).

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

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

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

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

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

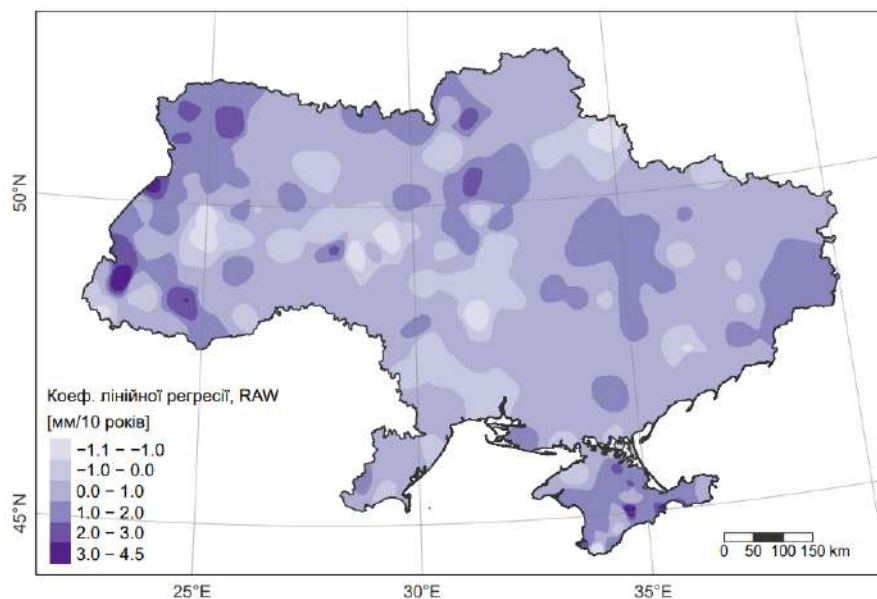


Рис. 12. Просторовий розподіл коефіцієнтів рівнянь лінійної регресії отриманих для початкових даних (негомогенізованих)

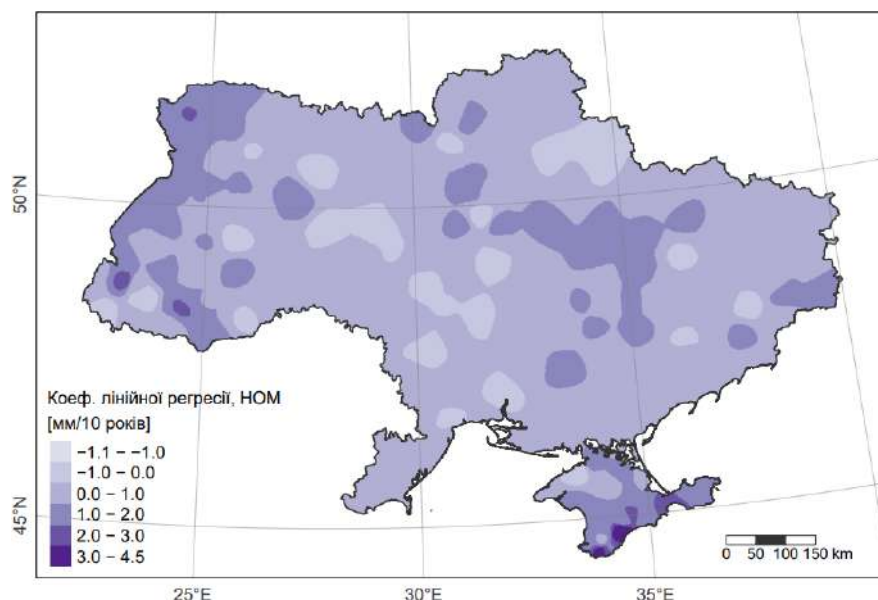


Рис. 13. Просторовий розподіл коефіцієнтів рівнянь лінійної регресії отриманих для часових рядів опадів після гомогенізації

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

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

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

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

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

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

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

Список літератури

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

References

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

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

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

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

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

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

7. Klimatychnyi dovidnyk. Istoriia ta fizyko-geohrafichnyi opys meteorolohichnykh stantsii Ukrainy. [Climatic guide. History and physical-geographic description of meteorological stations of Ukraine]. K. 2011. 462 s.

8. *Kobysheva N.V., Navrovljanskij G.Ja.* Klimatologicheskaja obrabotka meteorologicheskoi informacii [Climatological processing of meteorological information]. L.: Gidrometeoizdat, 1978. 295 s.

9. *Krakovska S.V., Palamarchuk L.V., Hnatiuk N.V., Shpytal T.M., Shedemenko I.P.* Zmina polia opadiv v Ukraini u KhKhI st. za danymy ansamblu rehionalnykh klimatychnykh modelei [Changes in the precipitation field in Ukraine in the 21st century. according to the ensemble of regional climate models]. // *Heoinformatyka* № 4 (64), 2017 S. 62-74.

10. Nastanova hidrometeorolohichnym stantsiiam i postam [Instructions to hydrometeorological stations and posts]: KD 52.4.8.33-11. Derzhavna hidrometeorolohichna sluzhba. Kyiv. 2011. Vyp. 3 Ch. 1. Meteorolohichni sposterezhennia na stantsiiakh. 279 s.

11. *Palamarchuk L.V., Sokur K.S., Zabolotska T.M.* Dynamika intensyvnosti opadiv ta mezostrukturni osoblyvosti yikh poliv u teplyi periodu roku na rivnynnii chastyni terytorii Ukrainy [Dynamics of precipitation intensity and mesostructural features of their fields in the warm period of the year in the flat part of the territory of Ukraine]. *Hidrolohiiia, hidrokhimiiia i hidroheolohiiia*. 2019. № 4(55). S. 95-111. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2019.4.8>.

12. *Palamarchuk L.V., Basista E.K.* Orohrafichnyi vplyv na formuvannia prostorovykh ta chasovykh vidminnostei rozpodilu opadiv v Ukrainskykh Karpatakh [Orographic influence on the formation of spatial and temporal differences in the distribution of precipitation in the Ukrainian Carpathians]. *Hidrolohiiia, hidrokhimiiia i hidroheolohiiia*. 2019. № 2(53). S. 53-66.

13. *Palamarchuk L.V., Shedemenko I.P.* Statystychna otsinka chasovykh zmin richnykh sum opadiv rivnynnoi terytorii Ukrainy [Statistical assessment of temporal changes in the annual amounts of precipitation in the plain territory of Ukraine]. // *Fizychna heohrafiia ta heomorfolohiiia*. 2020. Vyp. 3-4 (101-102). S. 7-18.

14. *Osadchyi V.I., Skrynyk O.A., V.P. Sidenko V.P., D.O. Boichuk D.O., Oshurok D.O., Skrynyk O.Y.* Homohenzivovana baza dovhykh riadiv serednoi misiachnoi temperatury povitria [Homogenized database of long series of average monthly air temperature]. // *Heoinformatyka*. № 1 (65), 2018 S. 54-68.

15. *Osypov V.V., Bonchkovskiy A.S., Oreshchenko A.V., Oshurok D.O., Osadcha N.M.* Obchyslennia kilkosty opadiv na ukrainskykh meteostantsiiakh iz urakhuvanniam vplyvu vitru [Calculation of the amount of precipitation at Ukrainian weather stations taking into account the influence of wind.]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V.N. Karazina, seriia «Heolohiiia. Heohrafiia. Ekolohiiia»*. 2021. № 1 (65). S. 54-68. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-15>

16. Rekomendatsii po analizu rezultatov prostranstvennogo kontrolya rezhimnoi meteorologicheskoi informatsii [Recommendations for the analysis of the results of spatial monitoring of regime meteorological information]. S. Pb.: Gidrometeoizdat. 1993. 176 s.

17. *Skrynyk O.A., Boichuk D.O., Sidenko V.P.* Vyiavlennia ta usunenlia klimatolohichnoi neodnorodnosti u chasovykh riadakh klimatolohichnykh pokaznykiv [Identification and elimination of climatological heterogeneity in time series of climatological indicators] *Hidrolohiiia, hidrokhimiiia i hidroheolohiiia*. 2019. № 2(53). S. 88-100.

18. Spravochnik po klimatu SSSR. Dannie za odelnie godi [Reference book on the climate of the USSR. Data for selected years]. Vipusk 10. Ukrainskaya SSR. Chast 2-5. Atmosfernie osadki. L. Gidrometizdat., 1965-1969, 643 s.

19. *Bukatov, A.E., Pavlenko, E.A.* Ocenka vliyaniia narushenij odnorodnosti ryadov klimaticheskikh danniy na opredelenie kharakteristik izmenchivosti atmosfernykh osadkov v regione Azovskogo moray [Estimation of the impact of climatic data series inhomogeneity on the determination of the atmospheric precipitation variability characteristics in the Azov sea region]. *Ecological safety of coastal and shelf zones and comprehensive use of shelf resources: collected scientific papers*, 2011.v. 24, P.151-162.

20. *Cao L.-J., Z.-W.*, Progress in research on homogenization of climate data. *Adv Clim. Change Res*, 2012, vol. 3 iss 2. pp. 59-67. DOI:10.3724/SP.J.1248.2012.00059. (25).

21. *Cornes, R., van der Schrier, G., van den Besselaar, E.J.M., & Jones, P.D.* (2018). An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Datasets. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(17), 9391—9409. <https://doi.org/10.1029/2017JD028200>.

22. *Costa A.C., Soares A.* Homogenization of Climate Data: Review and New Perspectives Using Geostatistics. *Math Geosci*, 2009, vol. 41 iss. 3 pp. 291-305. DOI: 10.1007/s11004-008-9203-3 (26)

23. *Doblas-Reyes, F.J., Sörensson, A.A., Almazroui, M., Dosio, A., Gutowski, W.J., Haarsma, R., Hamdi, R., Hewitson, B., Kwon, W.-T., Lamptey, B.L., Maraun, D., Stephenson, T.S., Takayabu, I., Terray, L., Turner, A., & Zuo, Z.* (2021). Linking Global to Regional Climate Change. In *Climate Change. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1363-1512). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.012>

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Надійшла до редакції 03.02.2023