

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
ГЕОГРАФІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА МЕТЕОРОЛОГІЇ ТА КЛІМАТОЛОГІЇ

На правах рукопису

УДК 551.583

Кваліфікаційна робота магістра
Спеціальність 103 – Науки про Землю
Освітня програма «МЕТЕОРОЛОГІЯ»

**ГОМОГЕНІЗАЦІЯ ЩОМІСЯЧНИХ РЯДІВ ОПАДІВ ЗА
ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НОМЕР**

Виконала	студентка курсу ОР «Магістр» кафедри метеорології та кліматології Кирєєва Зорина Махмадсалімівна
Науковий керівник	к. ф.-м. н., доц. Олійник Ростислав Васильович

Робота рекомендується до захисту

Протокол № ____ засідання кафедри метеорології та кліматології

від «__» _____ 2023 р.

Завідувач кафедри метеорології та кліматології	доктор географічних наук, професор Сніжко Сергій Іванович
---	--

Київ–2023

Зорина КИРЕЄВА

Освітня програма «Метеорологія», ОР Магістр

Науковий керівник: к. ф.-м. н., доц. Ростислав ОЛІЙНИК

Рецензент: к. геогр. н., Людмила ПАЛАМАРЧУК

ГОМОГЕНІЗАЦІЯ ЩОМІСЯЧНИХ РЯДІВ ОПАДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ HOMER

Проведено контроль якості та процедуру гомогенізації довгострокових рядів місячних сум опадів за 1946-2020 рр. по 227 спостережуваним пунктам України за допомогою програмного забезпечення HOMER. Встановлена задовільна точність спостережень гідрометеорологічної мережі за атмосферними опадами. Виявлено в загальному масиві даних аномальних значення і виправлено грубі та технічні помилки. Встановлені особливості просторового розподілу місячних сум атмосферних опадів до і після процедури гомогенізації. Відмічено, що розподіл тенденцій змін для гомогенізованих даних рядів опадів відзначається більшою однорідністю, порівняно з початковим.

Ключові слова: гомогенізація, програмний продукт HOMER, атмосферні опади, однорідність даних.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 ГОМОГЕНІЗАЦІЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ТА КЛІМАТИЧНИХ ДАНИХ СПОСТЕРЕЖІНЬ	6
1.1. Історія гомогенізації кліматичних даних	6
1.2. Гомогенізаційні методи перевірки часових рядів на однорідність.....	9
1.3. Приклади програмного забезпечення, яке використовується для гомогенізації кліматичних даних.....	11
РОЗДІЛ 2 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НОМЕР	15
2.1. Загальний опис і технічні вимоги програмного забезпечення	15
2.2. Формат вхідних даних	16
2.3. Функціонал НОМЕР	20
2.3.1 Контроль якості даних (Fast CLiMATOL checks та Fast QC)	20
2.3.2 Процедури гомогенізації	22
РОЗДІЛ 3 АТМОСФЕРНІ ОПАДИ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ТА ПРОВЕДЕННЯ СПОСТЕРЕЖІНЬ ЗА НИМИ	27
3.1. Розподіл атмосферних опадів на території України	27
3.2. Прилади для проведення вимірювань атмосферних опадів	29
3.3. Методика проведення вимірювань атмосферних опадів	32
3.4. Первинний критичний контроль вимірювань	35
РОЗДІЛ 4 КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ТА ГОМОГЕНІЗАЦІЯ РЯДІВ ЩОМІСЯЧНИХ СУМ ОПАДІВ В НОМЕР	39
4.1. Використані дані та методика проведення досліджень	39
4.2. Загальний контроль якості часових рядів щомісячних сум опадів за 1946-2020 рр.....	42
4.3. Проведення процедури гомогенізації часових рядів щомісячних сум опадів за 1946-2020 рр.	50
4.4. Визначення причин появи неоднорідності в часових рядах місячних сум опадів.....	56
4.5. Побудова просторового розподілу коефіцієнтів рівнянь лінійної регресії для початкових та гомогенізованих даних.	58
ВИСНОВКИ	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	62
ДОДАТКИ	69

ВСТУП

Актуальність теми. На сьогодні процедура гомогенізації метеорологічних та кліматичних даних є важливим процесом, оскільки вона дозволяє виправляти помилки та інакватності, які можуть виникати в процесі збору та обробки даних, і забезпечує їхню однорідність та точність. Застосування гомогенізаційних методів забезпечує використання більш якісної та надійної інформації для проведення подальших метеорологічних та кліматологічних досліджень.

Крім того, в умовах зміни клімату гомогенізація метеорологічних даних є особливо актуальною, оскільки забезпечує збереження стабільності та порівнянності даних з різних періодів часу. Це дозволяє проводити аналіз довготривалих тенденцій змін погодних умов та клімату в цілому, що є важливим для розробки стратегій адаптації до змін клімату та запобігання їхнім негативним наслідкам.

Гомогенізація кліматичних даних є надзвичайно важливим та актуальним процесом, який допомагає забезпечити точність та надійність метеорологічних даних, що є ключовим як для наукових досліджень так і для прикладних додатків.

Проблеми гомогенізації метеорологічних та кліматичних даних сьогодні активно розглядаються науковою спільнотою, зокрема, це: O. Mestre, P. Domonkos, V. Venema, L. Magnus, T. Joelsson, R. Coscarelli, J. Luterbacher, J. A. Guijarro, J. Coll. Серед вітчизняних вчених дана тематика обговорюється в наукових працях В.І. Осадчого, О.А. Скриник, О.Я. Скриника, Паламарчук Л.В., та інші.

Метою роботи є огляд сучасного програмного забезпечення HOMER та його використання для оцінки точності вимірювань та перевірки на кліматичну однорідність часових рядів атмосферних опадів.

Відповідно до мети дослідження було сформовано наступні **завдання**:

- за допомогою програмного забезпечення HOMER виконати загальний контроль якості даних місячних сум опадів, що отримані на гідрометеорологічній мережі України;
- провести в програмі HOMER процедуру гомогенізації часових рядів місячних сум атмосферних опадів за період 1946-2020 рр.;
- проаналізувати та оцінити аномалії часових рядів місячних сум атмосферних опадів та визначити способи їх корекції;
- встановити особливості просторового розподілу місячних сум атмосферних опадів до і після процедури гомогенізації.

Об'єкт дослідження – якість та однорідність часових рядів атмосферних опадів, зафіксованих на гідрометеорологічній мережі України.

Предмет дослідження – довгострокові ряди місячних сум опадів, отриманих на метеорологічних станціях та окремих постах України.

Матеріали та методи досліджень. Для вирішення поставлених завдань у роботі застосовано методи кореляційного, статистичного аналізу та гомогенізації, а також використано пакети прикладних програм MS Office Excel, HOMER, ArcGIS Desktop.

Структура кваліфікаційної роботи. Робота складається з чотирьох розділів. Загальний обсяг роботи – 69 сторінок.

РОЗДІЛ 1

ГОМОГЕНІЗАЦІЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ТА КЛІМАТИЧНИХ ДАНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Метеорологічним процесам різних масштабів та кліматичним показникам, що визначені для довготривалого періоду спостережень, властиві постійні коливання та зміни, які характеризуються різною періодичністю та направленістю. Основні величини, за якими інтенсивності змін і трендів в стані атмосфери для окремих регіонів та в цілому, зазвичай отримані на метеорологічній мережі: приземна температура повітря, характеристики вітрового режиму і баричного поля, атмосферні опади, та ін. Всім з названих показників властива своя специфіка вимірювання, обробка результатів, введення поправок, що суттєво впливає на точність даних. Достовірність розрахованих на основі цих даних спеціальних та стандартних кліматичних індексів і показників істотно залежить від якості первинних даних. У сучасний період змін клімату, кліматичні показники для наступних періодів розраховуються переважно за використання регіональних чи глобальних моделей, тому стає також обов'язковою процедура верифікації чисельних моделювань [48]. І для коректної верифікації результатів модельних розрахунків також потрібні репрезентативні, однорідні і якісні дані, що описують клімат.

Гомогенізація кліматичних/метеорологічних даних – це процес виявлення та корекції аномальних змін у ряді кліматичних даних, які можуть бути спричинені різними чинниками, що мають неприродний характер. До них можуть відноситись зміна технологій вимірювання, зміна місця розташування станції спостереження, зміна умов довкілля навколо станції та інші [6].

1.1. Історія гомогенізації кліматичних даних

Історично завжди провадився контроль якості даних спостережень та перевірка на однорідність часових рядів, але змінювалися методичні підходи

до такого процесу. Причиною цього є те, що рівень наукових знань та технічних можливостей розрахунків суттєво прогресували з часом [47].

Історія гомогенізації кліматичних даних починається з початку збору метеорологічних спостережень у ХІХ столітті. У той час, коли метеорологічні станції були створені та почали збирати дані, майже всі дослідження були зосереджені на кількісних показниках, таких як температура повітря, атмосферний тиск, вітер тощо.

Протягом ХХ століття дослідники почали звертати увагу на якість даних, зокрема на виявлення та коригування можливих помилок та неточностей у збірці даних. Гомогенізація даних стала важливою складовою процесу очищення даних, що включає в себе видалення аномальних даних та виявлення і коригування змін в методах збору даних.

Перші спроби гомогенізації метеорологічних даних були проведені в Німеччині в 1920-х роках, коли була виявлена зміна температури відносно висоти на метеорологічній станції. У 1930-х роках було розроблено методи для визначення температурної аномалії шляхом порівняння з близькими метеорологічними станціями. У 1940-50-х роках дослідження гомогенізації даних активно розвивалися в США, де національна служба погоди (National Weather Service) використовувала підходи для збирання та аналізу метеорологічних даних. Пізніше, в 1960-70-х роках, були розроблені математичні методи для гомогенізації даних. В 1980-х роках Європейський центральний бюро з прогнозування погоди та клімату (ECMWF) розробив методику гомогенізації даних, яка стала стандартом для роботи з метеорологічними даними в Європі. З тих пір гомогенізація даних стала важливою частиною роботи з кліматичними даними, особливо при оцінці змін клімату.

В даний час науковці постійно працюють над покращенням методів гомогенізації даних та розробкою нових підходів до роботи з

метеорологічними даними. Сучасні вимоги до якісних даних метеоспостережень сформульовано в [39], отже тепер дослідники до початку використання результатів метеорологічних спостережень і кліматичних показників, які отримано на їх основі, зобов'язані проводити для первинних даних процедуру гомогенізації.

Гомогенізація кліматичних даних є важливою для багатьох досліджень в галузі кліматології, включаючи оцінку змін клімату на різних масштабах часу і простору, розробку кліматичних моделей, прогнозування кліматичних змін та інших досліджень, пов'язаних з кліматом. Оскільки недостатня гомогенізація даних спостережень може призвести до неправильного виявлення тенденцій зміни клімату, а також до недостовірних прогнозів майбутніх кліматичних змін, цей процес є важливим етапом аналізу кліматичної інформації.

Останні десятиріччя кліматологи приділяють істотну увагу згаданій проблемі з метою її вирішення. На даний момент створено значну кількість ефективних та сучасних гомогенізаційних алгоритмів, процедур і програмних пакетів, які проводять спеціальний кліматичний контроль та мінімізують ті викиди величин, що мають некліматичну природу. В сучасних наукових публікаціях [11, 33, 36] активно обговорюються і оцінюються існуючі програмні продукти, які можна використовувати для гомогенізації рядів різних метеорологічних величин.

Гомогенізацію довгострокових рядів основних кліматологічних характеристик вже реалізовано в багатьох країнах, де створені національні бази гомогенізованих даних [30, 31, 32]. Окрім цього, гомогенізаційні методи також часто застосовуються і в міжнародних кліматичних проектах [29] для того, щоб створити загальні бази даних і досліджувати динаміку клімату.

1.1. Гомогенізаційні методи перевірки часових рядів на однорідність

Використання даних метеорологічних вимірювань для кліматологічного опрацювання можна вважати повноцінним тільки при використанні якісних та однорідних метеорологічних рядів, або якщо їхня неоднорідність враховується. Через це будь-які кліматологічні дослідження потрібно розпочинати з перевірки однорідності рядів [64, 10].

У класичних працях виділяють статистичну та кліматологічну однорідності.

Ряд буде вважатися кліматологічно однорідним, якщо його характеристики змінюються щороку, або від одного довільного періоду до іншого аналогічного періоду років, лише відповідно до природної мінливості процесів, що впливають на клімат і погоду та даної території. Тобто, такий ряд має об'єктивно відображати клімат певного регіону, його коливання і зміни в часі.

Виділяють такі дві основні причини порушення кліматологічної однорідності метеорологічних рядів. Перша – це вплив оточуючої місцевості. До неї відносять перенесення метеорологічних майданчиків, забудову та розбудову прилеглих територій, збільшення деревних насаджень біля метеостанцій. Такі переміни відображаються у змінах кліматичних показників на конкретній метеостанції. Іншою причиною можуть бути зміни методики вимірювання, або заміна типу і установки приладу. В такому випадку неоднорідність буде помітною у метеорологічних рядах по всій сітці метеостанцій, де відбулись вказані зміни.

В свою чергу, статистично однорідним рядом є ряд певної метеорологічної величини, всі компоненти якого за даного рівня значущості належать одній і тій самій генеральній сукупності. Тобто, такий ряд буде окремою реалізацією випадкового процесу, що однорідний в часі. Під однорідністю в часі мається на увазі стаціонарність, тобто, статистично однорідний ряд реалізується як стаціонарний випадковий процес.

Статистична неоднорідність може виникати як наслідок змін клімату під впливом антропогенних чи природних чинників одночасно на значній території, і проявлятися в отриманих даних значної кількості метеостанцій. Саме виявлення статистичної неоднорідності дає змогу зробити висновки про тенденції кліматичних змін і має велике значення для розробки теорій коливань клімату. Статистично однорідний ряд завжди має бути і кліматологічно однорідним. В свою чергу, кліматологічна однорідність/неоднорідність, не означає, що ряд є статистично однорідним/неоднорідним. Вона лише означає, що кліматичні характеристики, які були отримані в результаті обробок ряду, можна порівнювати з аналогічними показниками на інших сусідніх станціях.

Можемо підсумувати, що перед початком дослідження ряду на статистичну однорідність, необхідно виявити та усунути кліматологічні неоднорідності.

Всі існуючі алгоритми та методи перевірки часових рядів на кліматологічну неоднорідність (або гомогенізаційні методи) можна розділити на два типи: відносні (relative) і абсолютні (absolute).

Використовуючи відносні гомогенізаційні методи завжди опрацьовується не один, а декілька рядів, які отримані на прилеглих метеостанціях. Такі методи спираються на припущення, що зміна кількості опадів чи температурні зміни на метеостанції мають бути подібними до тих, які також спостерігаються в цій мережі на інших станціях. Ці методи можуть включати процедури стандартизації даних в межах конкретної мережі станцій, порівняння середніх значень з подібними станціями, порівняння сезонної мінливості тощо.

Як приклад відносного гомогенізаційного методу можна навести метод емпіричного моделювання, що полягає у створенні певної моделі, яка базується на взаємозв'язках між даними на різних станціях та використовується для визначення неоднорідності в даних спостережень конкретної метеостанції. Таку модель можна створити на основі кореляції,

регресії, або аналізі головних компонентів, залежно від характеру наявних даних і специфіки задачі.

В свою чергу, при використанні абсолютних методів відбувається опрацювання тільки окремих рядів отриманих даних. Тобто, обирається ряд, з яким проводяться необхідні статистичні процедури (розрахунки або тести), а на основі їхніх результатів робиться висновок про його неоднорідність або однорідність. Суть полягає в тому, що зміни якості приладів та інструментів, які використовуються для проведення вимірювань конкретної величини, можуть також впливати на отримані результати.

Згідно з висновками комплексного порівняльного аналізу гомогенізаційних алгоритмів і методів [35], проведеного в рамках Європейського проекту COST («European Cooperation in Science and Technology») Action ES0601 HOME саме відносні методи визнані найефективнішими. Аналогічний висновок також наводиться особливо коли мова йде про ряди кількості опадів і температури повітря.

1.3. Приклади програмного забезпечення, яке використовується для гомогенізації кліматичних даних

За останні десятиріччя багатьма різними країнами було розроблено велику кількість програмних продуктів для виконання гомогенізації кліматичних даних, які використовують різні методи та алгоритми перевірки. Найбільш популярними та часто використовуваними в наукових дослідженнях є наступні.

MASH («*Moving-Blocks Bootstrap After Scheirer-Ray-Hare Test*») – комплекс спеціалізованих програм, розроблений для здійснення контролю якості кліматичних рядів і їх приведення до однорідного стану, розроблений в Угорській метеослужбі.

Метод *MASH* передбачає перевірку однорідності даних за допомогою критерію Шейрера-Рей-Хейра, який базується на відмінностях між

спостереженнями та їх середнім значенням. Якщо тест показує, що дані неоднорідні, для оцінки мінливості статистики однорідності за нульовою гіпотезою однорідності використовується завантажувальна програма рухомих блоків. Це дозволяє користувачеві визначити, чи є виявлені зміни статистично значущими. Метод MASH особливо корисний для виявлення поступових змін у даних з часом, оскільки він може виявити зміни, які відбуваються протягом кількох років. Він застосовувався до широкого діапазону гідрологічних даних, включаючи дані про річковий стік, опади та температуру [33].

Інший продукт *RHtestsV4 software* («*Regression-based Homogeneity Test Version 4.0*») – це програмне забезпечення на мові програмування R, яке використовується для виявлення та корекції неоднорідності в кліматичних даних. Воно базується на методі відносних розбіжностей (Relative Homogeneity Test, RHT), який порівнює середні значення двох періодів та оцінює ймовірність того, що вони різні через неоднорідність даних. Розробниками RHtestsV4 є учені з Канадського метеорологічного центру (Canadian Meteorological Centre). [37].

ACSMANT («*Analysis of Climatological Mean and ANomalous Trends*») – програмне забезпечення для гомогенізації кліматичних даних, розроблене Німецьким метеорологічним центром. Базується на статистичному методі "моделі змін", який використовується для визначення змін у середніх значеннях і дисперсіях кліматичних рядів. Програма включає в себе різні інструменти для аналізу та візуалізації даних, а також можливість експорту результатів для подальшого аналізу. ACSMANT використовується для виявлення та коригування неточностей та змін в кліматичних рядах даних, а також для аналізу трендів із кліматичних даних. В основі ACSMANT лежать статистичні методи, такі як аналіз відношення до середнього, тест Фішера і різні методи регресійного аналізу. Результатом роботи є гомогенізовані кліматичні дані, які можна використовувати для дослідження кліматичних змін із часом. [8].

HOMER («*HOM*ogenization softwarE in R») – це пакет програмного забезпечення мовою R для гомогенізації часових рядів кліматичних даних. Це спільний Європейський продукт, що створений в рамках проекту COST Action ES0601: (HOME), в якому зібрані та об'єднані основні алгоритми існуючих на той час гомогенізаційних методів і процедури автокорекції нерепрезентативних даних [11].

Ці програмні продукти мають різні підходи до гомогенізації даних та різні можливості для користувачів. Вибір програмного забезпечення залежить від конкретних потреб користувача і специфіки дослідження.

Для нашого дослідження було вирішено обрати програмний продукт HOMER, оскільки його складова базується на відносних методах гомогенізації кліматичних даних, які, як зазначено вище, виявляються найбільш ефективними у роботі з часовими рядами кількості атмосферних опадів. Окрім цього, використання цього продукту вже показало свої результати при його застосуванні для проведення перевірки на однорідність часових рядів температури повітря, що описані в роботах вітчизняних науковців [58, 64].

Аналіз наукових робіт іноземних фахівців з даної проблематики, показав що HOMER часто використовується для гомогенізації метеорологічних даних отриманих на мережі станцій [Hosseinzadehtalaei,]. Даний програмний продукт застосовують для оцінки однорідності як середньої температури повітря (Танзанія) [21, 40], так і місячних максимальних і мінімальних температур (Піренеї) [24], а також для даних спостережень за атмосферними опадами [3, 40].

Як бачимо, програмний продукт HOMER активно використовується не тільки на території Європи, де він був розроблений, але й на інших континентах, що дає змогу назвати цей продукт придатним для міжнародного користування для різних кліматичних територій.

До того ж, HOMER знаходиться у вільному доступі для користувачів і є безкоштовним програмним забезпеченням, що суттєво полегшує можливість його використання у студентських навчальних цілях. Детальніше про специфіку роботи HOMER та його основні гомогенізаційні алгоритми і процедури розглянемо в наступному розділі.

РОЗДІЛ 2

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ HOMER

2.1. Загальний опис і технічні вимоги програмного забезпечення

HOMER (HOMogenization softwarE in R) – це інтерактивне, полуавтоматичне сучасне програмне забезпечення, яке було розроблено для гомогенізації місячних та річних даних про опади або температуру. HOMER був розроблений між 2007-2011 роками, під час виконання проекту COST Action ES0601: (HOME) [11]. Основною метою проекту було створення набору із методів для виявлення та корекції кліматичних змін у різних просторових і часових масштабах. Результатом дослідження та імплементації став синтез найбільш ефективних статистичних процедур, які існували на той час, який і був закладений в основу роботи програмного забезпечення HOMER.

Це програмне забезпечення має в собі функціонал для повного процесу гомогенізації, такі як: контроль якості даних (quality control), що використовує покращений алгоритм програми Climatol, виявлення та корекція помилок даних за допомогою алгоритмів, що були адаптовані від PRODIGE та ASMANT [13], такі як попарне порівняння (pairwise-detection), об'єднане порівняння (joint detection), а також модель ANOVA, що використовує дисперсійний аналіз для корекції виявлених даних. Також HOMER пропонує широкий набір графіків для аналізу та перегляду набору даних у зручній формі.

HOMER використовує мову програмування R. R це мова програмування з відкритим кодом, яка використовується для статистичних обчислень і графіки. Вона повністю підтримується основними операційними системами, такими як Windows, Linux, MacOS і має мінімальні відмінності, які не видно кінцевому користувачу. Для роботи з програмним забезпеченням HOMER потрібно мати встановленою версію R 2.15.3, або більше, що зазначено у вимогах від розробників [15].

HOMER використовує кілька каталогів під назвами ho (для виведення однорідних даних), ga (для розміщення необроблених даних), qc (для розміщення даних із контрольованою якістю), fig (для виведення графіки), meta (для розміщення метаданих, якщо вони доступні) і tmp (для зберігання тимчасових робочих файлів). Версія 2.6.1 HOMER створює ці папки, якщо вони відсутні автоматично. Для більш старих версій користувач повинен створити ці структури перед запуском HOMER самостійно використовуючи R, або інші доступні засоби.

Програмне забезпечення HOMER використовує відносні гомогенізаційних методів [35]. Тому всі статистичні розрахунки в ній 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 розраховані їх різниці або відношення, які будуть проаналізовані.

2.2. Формат вхідних даних

Під час проекту COST Action ES0601: (HOME) була проведена стандартизація формату для великого об'єму місячних вхідних даних. Цей підхід дозволяє використовувати єдиний формат серед багатьох програм та проектів, що пришвидшує взаємодію та зменшує час на обробку вхідних даних.

Оскільки HOMER може читати тільки місячні значення, користувач має забезпечити саме місячний формат даних. Хоча програма також працює з річними та сезонними даними, ці дані отримуються під час обрахунків, а не під час вводу. HOME-формат [11] має на увазі текстовий файл у форматі .txt, який складається з тринадцяти стовпців на кожен запис рядку. Перший стовпець визначає рік як ціле число, а за ним йдуть дванадцять стовпців із даними, які, очевидно, представляють дванадцять місяців року (від січня до

грудня по порядку). Ці 12 значень даних мають бути відформатовані відповідно до конвенції Fortran 6.1f, це число до шести символів у форматі з плаваючою комою, чого достатньо для будь-якого кліматичного показника. Приклади: 1010,7 для тиску, 2,0 для опадів або 22,2 для температури. Усі значення мають бути у форматі таблиці з роздільником у вигляді пробілів. Роздільник повинен бути присутнім завжди. Відсутні дані позначаються значенням -999,9. У випадку недотримання цього правила, наприклад присутність пропуску у файлі, або використання іншого числа на місці пропуску, програма не буде працювати коректно. Роки з повністю відсутніми даними також повинні бути включені до файлів. На рис. 2.1 зображено приклад текстового файлу місячних опадів з відсутніми значеннями для 1946 року.

1946	-999.9	-999.9	-999.9	-999.9	-999.9	-999.9	-999.9	-999.9	-999.9	-999.9	-999.9	-999.9
1947	26.0	23.0	32.0	39.0	29.0	45.0	58.0	90.0	22.0	10.0	77.0	60.0
1948	43.0	30.0	28.0	26.0	103.0	121.0	86.0	83.0	32.0	52.0	19.0	9.0
1949	28.0	18.0	21.0	41.0	20.0	93.0	85.0	56.0	13.0	7.0	39.0	50.0
1950	25.0	13.0	1.0	77.0	17.0	34.0	24.0	141.0	34.0	78.0	67.0	18.0
1951	12.0	40.0	26.0	47.0	121.0	27.0	47.0	4.0	51.0	3.0	24.0	14.0
1952	22.0	32.0	14.0	20.0	43.0	55.0	22.0	66.0	116.0	100.0	68.0	26.0

Рис. 2.1 – Приклад змісту файлу сформованого для місячних даних обраного пункту спостережень.

Кожен файл теж повинен мати відповідну до конвенції назву. Файли даних мають містити 18 символів у форматі xxvvrsssssssc.txt, де:

- xx - статус даних, можливі варіанти: га (необроблені дані), qc (дані після контролю якості) або ho (гомогенізовані дані).
- vv – кліматична змінна, яка найчастіше використовується:
 - tn: середньомісячне значення мінімальної добової температури
 - tx: середньомісячне значення денної максимальної температури
 - tm: середньомісячна середньодобова температура
 - rr: місячна сума накопичених опадів
 - pp: тиск
 - sd: тривалість сонячного сйва

- r: роздільна здатність або період даних: для HOMER це завжди m (місячні).
- ssssssss: номер станції який має бути вказаний з 8 цифр. Якщо на станції є міжнародно визнаний код, краще використовувати його, оскільки це дозволяє уникнути дублікатів. За відсутності міжнародно визнаних кодів користувач може створювати власні внутрішні номери.
- c: це індикатор вмісту. Для цілей HOMER слід вказати d.
- «.txt»: останні чотири символи буквально є «.txt», формат файлу.

HOMER працює з рядами даних по станціям, які згруповані у так звану «мережу»[14]. Мережа складається з декількох станцій, коли на кожен окрему станцію є свій файл з даними. Щоб задати мережу для HOMER, треба забезпечити файл зі списком станцій з деякими метаданими. Назва цього файлу має бути у форматі nnnnnnstations.txt, де nnnnnn є номером вибраної мережі. Номери мережі довільні, і користувач повинен призначати їх на власний розсуд. Кожна мережа має містити лише один файл статусу (ra, qc або ho), і всі перераховані файли обов'язково мають належати до однієї кліматичної змінної. Наприклад, мережа не може містити суміш файлів з даними про опади та тиску одночасно. Замість цього мають бути створені окремі мережі. Зміст мережевого файлу має складатися з:

- файл станції – повна назва файлу даних у форматі HOME (тобто xxvvrsssssssc.txt). HOMER перегляне папку, визначену першими двома символами, щоб знайти та прочитати кожен файл даних.
- lat1: градуси широти ($N > 0$; $S < 0$), вказані як ціле число
- lat2: хвилини широти, вказані як ціле число
- lat3: секунди широти, вказані як ціле число
- lon1: градуси довготи ($W > 0$; $E < 0$), вказані як ціле число
- lon2: хвилини довготи, вказані як ціле число
- lon3: секунди довготи, вказані як ціле число
- висота: висота над рівнем моря у форматі f6.1

- назва станції: назва або псевдонім станції. Заборонені пробіли чи символи, такі як наголоси.
- Пробіли мають бути замінені підкресленням і спеціальними символами.

Приклад змісту такого файлу зображено на рис. 2.2.

rarrm0000001d.txt	51	45	32	24	39	27	154	Richytsya
rarrm0000002d.txt	51	23	59	24	24	42	168	Vyzhva
rarrm0000003d.txt	51	13	45	24	15	3	184	Ruda
rarrm0000005d.txt	51	1	40	24	19	34	186	Yagidne
rarrm0000011d.txt	51	16	43	26	15	16	161	Svaryni

Рис. 2.2 – Приклад правильного оформлення опорного файлу зі списком станцій.

НОМЕР також має вимоги до відповідної структури папок, звідки програма зможе читати вхідні дані, або зберігати графіки, гомогенізовані дані чи додаткову інформацію.

Сама папка, де міститься НОМЕР може бути названа довільно. В ній має міститись файл мережі та додаткові директорії: ho, ga, qc, meta, tmp.

Користувач має розмістити доступні метадані (вільний формат, для довідки) у папку meta, а дані – у папку qc або ga, в залежності чи використовуються “сірі” або дані після контролю якості. Дуже важливо мати на увазі наступні моменти:

- Кожна станція, перерахована у файлі станції, має бути доступною як файл даних із такою ж точною назвою.
- Файли даних, які потрібно уніфікувати, мають бути розміщені в каталозі, який відповідає першим двом літерам назви файлу даних (тобто дескриптор статусу, ga або qc). Зауважте, що повторно гомогенізувати гомогенізовані дані не є хорошою практикою, тому розміщення даних у папці ho не дасть прийнятних результатів.
- Бажано розмістити вихідний код НОМЕР у цій папці, хоча він може бути в іншому місці комп’ютера. Розміщення його у папці НОМЕР

полегшить запуск програми, оскільки не потрібно буде вказувати папку з даними - вона підтягується автоматично.

- Можуть бути присутніми інші файли, такі як посібники з підтримки, примітки або навіть не пов'язані з HOMER матеріали та папки, оскільки вони не заважатимуть коду та його виконанню. Але бажано уникати переповнених каталогів, щоб мати легкий доступ до їх вмісту.

2.3. Функціонал HOMER

Основна взаємодія між користувачем і HOMER здійснюється шляхом відповідей на запитання, що з'являються на екрані під час виконання. Користувачу пропонується обрати потрібну процедуру шляхом натискання на відповідну кнопку на клавіатурі. Після завершення вибраної процедури головне меню HOMER знову з'явиться, готове для наступного запиту. Меню поділене на 2 секції - процедури контролю якості та гомогенізація (рис 2.3).

```

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. 2.3 – Основне меню HOMER

Розглянемо основні опції, які були використані в даній роботі.

2.3.1. Контроль якості даних (Fast CLiMATOL checks та Fast QC)

Перший етап гомогенізації – виявлення та вилучення так званих викидів (outliers). В англійській 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 [64].

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

Спочатку розглянемо основи контролю якості Fast Climatol. Fast Climatol створює pdf-файл у папці meta, який включає в собі набір графіків статистичного аналізу вхідних даних. Графіки включають в собі:

- Гістограми мережі.
- Корелограма наявної мережі. Цей графік показує наскільки дані корелюють між собою в залежності від географічної дистанції. Прийнято вважати, що низька кореляція ($\sim r < 0.2$) вказує на можливі помилки.
- Дендрограма мережі. Графік демонструє дендрограму, отриману з кластерного аналізу набору даних. Станції групуються в один кластер (верхня частина) і розділені на відповідну кількість груп, скільки станцій (нижня частина). Між ними гілки дендрограми розділяють станції відповідно до міри статистичної відмінності.
- Карта мережі. Показує географічну карту з нанесеними станціями.

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

В результаті на кожну станцію формується файл з таким іменем - control_xxvvrsssssssc.txt, де control_ це ідентифікатор контролю якості,

створений опцією Fast QC HOMER. xxvvrsssssssc.txt - ім'я файлу відповідно до умов, визначених раніше.

Таким чином, файл для станцій ratxm00061809d.txt буде названий control_ratxm00061809d.txt. Кожен контрольний файл містить 13 часових рядів (по одному для кожного місяця, ідентифікованого їх порядковим номером, тобто січень = 1, березень = 3, листопад = 11 і т. д.). Серії значень показують червоними точками, з'єднаними червоною лінією, а чорними плюсами – значення сусідніх станцій, які також називають опорними станціями (рис. 2.4). Цей графік використовує простий, але потужний принцип, на якому базується відносна гомогенізація: кліматологічно близькі станції повинні демонструвати подібну поведінку з плином часу.

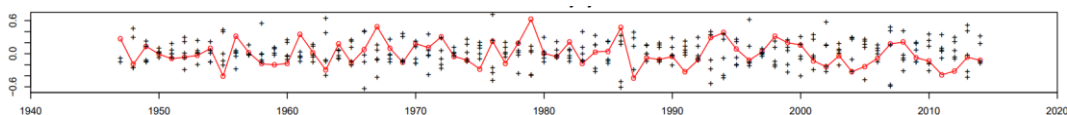


Рис. 2.4 – Приклад вмісту файлу після процедури Fast QC.

Після того, як опція f буде введена, HOMER запитає додатковий ввід: чи потрібно перевіряти якість початкових даних (серії, які ви вказали на початку HOMER), чи гомогенізованих даних. Перевірка гомогенізованих даних у пошуку відхилень настійно рекомендується як спосіб контролю якості внесених коригувань.

Fast QC використовує синтез адаптації методу Paulhus і Kohler (1952) [23] та Fast QC з програмного забезпечення Climatol для заповнення щоденних даних про кількість опадів шляхом усереднення сусідніх значень, нормалізованих шляхом їх ділення на відповідну середню кількість опадів.

2.3.2. Процедури гомогенізації

До процедур гомогенізації, в контексті даної роботи, відносять три основні - попарне порівняння (pairwise detection), об'єднане порівняння (joint detection) та корекція (correction) [64].

Попарне порівняння є наступним етапом гомогенізації. На даному етапі розглядаються відношення часових рядів основної станції (candidate station) та її оточення (referens station) [64].

На етапі попарного порівняння, програмним аналізом проводиться тільки ідентифікація можливих точок розриву. Точки розриву в кожній парі основної станції та станції оточення можна віднести до наступних причин: неоднорідності станції-кандидата, неоднорідність опорної станції або помилкового чи справжнього кліматичного ефекту. Розрив буде вважатись достовірним/обґрунтованим, якщо його позиція збігається у більшості різницевих рядів (як мінімум у трьох рядах) [20].

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 – для кожної станції-кандидата – графік виявлення також з'являтиметься на екрані, і потрібно буде клацнути мишею, щоб перейти до наступної станції. Для полегшення аналізу різницеві ряди розміщують у міру зростання їх середнього квадратичного відхилення (σ). Вміст файлу зображено на рис. 2.5.

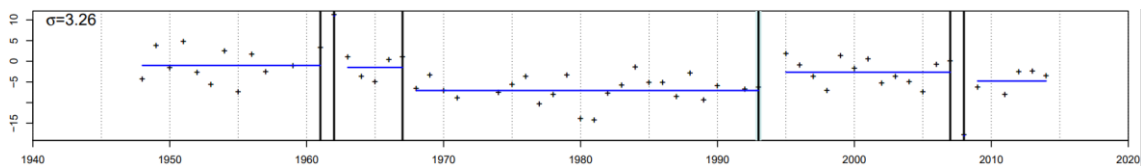


Рис. 2.5 – Вміст файлу станції після операції попарного порівняння.

Наступним етапом є етап *об'єднаного порівняння*. Тут важливо підкреслити, що попарне виявлення та об'єднане порівняння є окремими процедурами. HOMER використовує алгоритм *sgHseg*, який був початково створений біологічним науковцем для сегментації ДНК [25]. Виявлення попарно 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. Кожен виявлений файл містить такі поля (рис. 2.6):

- Код станції: 8-значний код станції (як у назві файлів даних);
- Подія: (раптові або поступові неоднорідності);
- Рік: рік, у якому виявлено точку розриву;
- Місяць: місяць, у якому знайдено точку розриву;
- Метадані: n, коли точка розриву не підтримується метаданими, або m (потрібно редагувати вручну), якщо є свідчення метаданих;
- Назва станції.

00000001	BREAK	1993	12	n	Richytsya
00000002	BREAK	1967	12	n	Vyzhva
00000002	BREAK	1996	12	n	Vyzhva
00000003	BREAK	2002	12	n	Ruda
00000005	BREAK	1998	12	n	Yagidne
00000016	BREAK	1951	12	n	Schurovychi
00000016	BREAK	1980	12	n	Schurovychi
00000021	BREAK	2005	12	n	Sasiv
00000056	BREAK	1964	12	n	Pidgajtsi

Рис 2.6 – Результат обчислення об'єданого порівняння без інтерактивної опції.

Якщо вибрано інтерактивну опцію, користувач може використовувати систему на основі графіка, щоб додавати/видаляти контрольні точки. HOMER запустить графік для кожної станції-кандидата, відображаючи такі символи:

- Зелене коло з плюсом всередині – розташування точки розриву, виявленої процедурою виявлення об'єднання;
- Прозорий трикутник – розташування контрольної точки, виявленої в попарному порівнянні з річними даними;

- Червоний трикутник – розташування контрольної точки, виявленої в попарному порівнянні з літніми сезонними даними;
- Синій трикутник – розташування контрольної точки, виявленої в парному порівнянні з зимовими сезонними даними.

Після цього у користувача є набір інтерактивних операцій, який складається з дій додавання/видалення точки розриву (натискання лівою кнопкою миші на нову або додану точку відповідно) та переходу до наступного графіку (рис. 2.7).

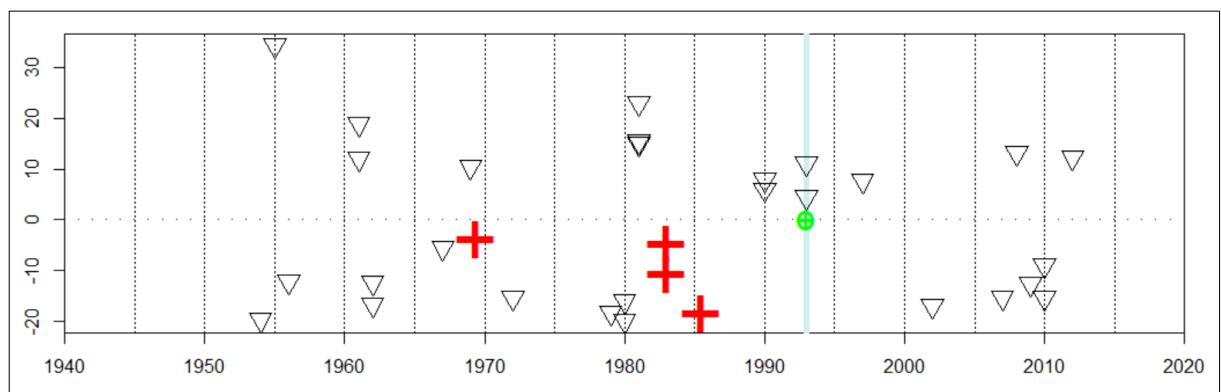


Рис. 2.7 – Інтерактивний режим процедури об'єднаного порівняння.

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 може бути використана над початковими або даними після контролю якості. Ця процедура може бути запущена через команду “с” в меню HOMER. Після вибору потрібної опції та вхідних даних, програма створить і збереже в папці /ho новий файл для кожної станції відповідно до конвенції про найменування ххvvrsssssssc.txt, з приставкою “ho” (homogenized) - як індикатор однорідності вихідних даних. Наприклад, необроблений файл даних ratxm00061802d.txt створить однорідний файл даних hotxm00061802d.txt.

Корекція використовує двофакторну модель ANOVA, адаптовану з PRODIGE. Детальний опис алгоритму описаний у роботі [17]. Наприкінці

процедури виправлення над виправленим 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 тільки для простої перевірки на однорідність часових рядів, так і для проведення автоматизованої корекції неточних даних та/або пропусків у спостереженнях.

РОЗДІЛ 3

АТМОСФЕРНІ ОПАДИ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ТА ПРОВЕДЕННЯ СПОСТЕРЕЖІТЬ ЗА НИМИ

Атмосферними опадами, згідно з [55], називають сублімаційні або конденсаційні продукти водяної пари, які можуть випадати на земну поверхню в твердому чи рідкому стані з хмар.

Залежно від виду і форми, усі атмосферні опади, які можуть випадати з хмар, поділяють на тверді, рідкі і змішані види опадів. До рідких відносяться мряка і дощ; до твердих – сніг, льодяна і сніжна крупа, льодяний дощ, сніжні зерна, град; до змішаних опадів належить мокрий сніг.

Атмосферні опади відносяться до важливої характеристики зволоження. Їх утворення і випадіння в Україні є наслідком складних процесів атмосферної циркуляції, які визначають вологообмін та теплообмін в атмосфері. Кількість опадів, їхній річний та добовий хід, а також розподіл по поверхні Землі, інтенсивність, повторюваність, тощо є ключовими характеристиками клімату, які мають важливе значення для галузей сільського господарства, економіки, промисловості й багатьох інших [54].

3.1. Розподіл атмосферних опадів на території України

Значним чином річний хід та кількість опадів залежать від того, яким чином пересуваються повітряні маси, який спостерігається характер підстильної поверхні та як розміщуються низькі та високі області атмосферного тиску.

Зі сторони Атлантичного океану найчастіше приходять вологі повітряні маси на території України, просуваючись на схід та південній схід з заходу та північного заходу, поступово втрачаючи свою вологу, і, відповідно, кількість опадів буде зменшуватись в такому ж напрямку. Таким чином, рівнинній території країни кількість опадів помітно змінюється від 700-600 мм на заході

й півночі до 450-500 мм на сході країни, а на південних територіях зменшується і становить близько 350 мм на рік [53].

Найбільші середньорічні суми атмосферних опадів фіксуються в гірських районах: а у Кримських горах можуть становити до 1200 мм, а в Карпатах до 1000-1500 мм [43].

Гradient річної суми опадів визначається як додатний, тобто річні суми атмосферних опадів збільшується на території України з півдня на північ (приблизно +22 мм/рік на 10 широти), в свою чергу, її довготний gradient – від’ємний, а отже, річні суми опадів спадають з заходу далі на схід (приблизно – 11 мм/рік на 10 довготи) [45].

Календарний рік прийнято ділити на два періоди в залежності від виду опадів, що випадають: теплий (з квітня по жовтень), коли переважають рідкі опади, та холодний (з листопада по березень), коли можуть випадати і рідкі, і тверді опади одночасно. [45].

Кількість опадів також характеризується своєю нерівномірним розподілом за сезонами. Найбільше опадів спостерігається в теплу пору – більше майже на 2-3 рази, чим в холодний. Як виняток з цієї закономірності виділяють Південний берег Криму, там опади переважно спостерігається саме в холодну пору, що пов'язано із пануванням повітряних мас високого тиску і низхідного руху повітря влітку [43].

При розгляданні розподілу кількості опадів в залежності від сезонів року можемо помітити наступні закономірності. Найменша кількість опадів спостерігається в січні та лютому, з показниками місячних сум до 30-40 мм, але може підвищуватись в залежності від географічного положення.

Опади теплового періоду року характеризуються значною мінливістю, на що впливає радіаційне надходження на земну поверхню. Червень та липень характеризуються максимальними сумами опадів на всіх територіях України, від 75-100 мм на Поліссі до 50-40 мм на Сході країни, з середніми показниками

для інших територій близько 60-70 мм. [54]. Вересень і жовтень є найсухішими місяцями літнього сезону [53].

Середня кількість днів із зафіксованими опадами також змінюється відповідно до території України. У південній частині країни вона може коливатись від 5 до 9, а в західній і північній складає 10-16 днів в місяць [43].

3.2. Прилади для проведення вимірювань атмосферних опадів

Згідно з [55], для проведення вимірювань рідких опадів відбувається використання таких основних приладів: опадомір О-1 (або опадомір Третьякова), пловіограф П-2 та вимірювач опадів автоматизований ВОА-1М (ваговий). Окрім них, можуть також використовуватись сумарний опадомір та польовий дощомір (або Ф. Давітая). У більш ранні періоди вимірювань використовувався також дощомір з суцільним захистом Ніфера.

Основний прибор, що використовують для вимірювання кількості всіх видів опадів – це опадомір Третьякова О-1 (рис 3.1 а). Комплект опадоміра складається з двох металічних відер діаметром 169,5 мм, а висотою 40 см, площа приймальної поверхні дорівнює 200 см²; планкового захисту, що захищає від видування опади, які потрапляють у відро; тагана, необхідного для розміщення відра у суворо вертикальному положенні на стовпці [62].

У відрі всередині впаяно діафрагму, частиною якої є знімна воронка. Влітку вона запобігає випаровуванню опадів, тоді як на зиму знімається, з метою потрапляння твердих опадів на дно відра, де вони будуть захищені від можливості видування. Відро має спеціальний носик для зливу опадів, який повинен закриватися ковпачком на період між строками спостережень [62].

Вітровий захист має складатись із 16 планок, що повторюють форму рівнобедреної трапеції. Їхні верхні кінці відігнуто в зовнішню сторону до основної частини під кутом 110°. Відстань між цими планками повинна складати 4-5 см. Коли вітровий захист правильно встановлено він виглядає як конус з 70° кутом нахилу його утворюючої і горизонту [56].

Опадомір розміщується на стовпці так, щоб приймальну поверхню його відра було розташовано на рівні 2-х метрів від ґрунтової поверхні. Поряд з опадоміром встановлюються сходи для спостерігача. Поблизу опадоміру для репрезентативності даних не повинно бути високих дерев, будівель та інших предметів, які можуть вплинути на вимірювання. Проте, рекомендується встановлювати опадомір так, щоб він був захищеним від вітру [62].

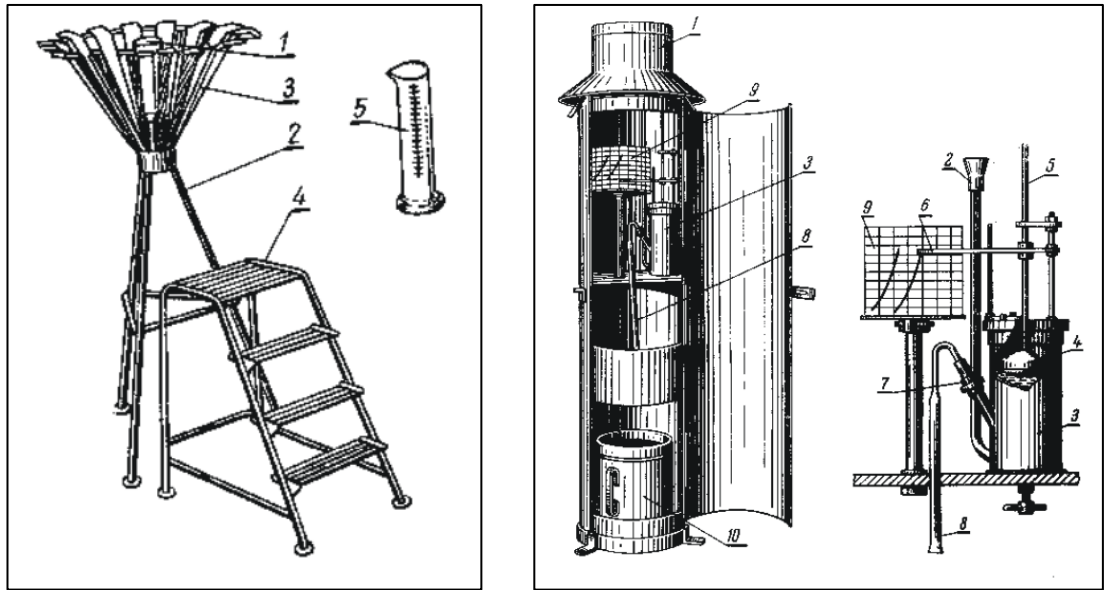


Рис.3.1 а) Опадомір Третьякова О-1; б) Плювіограф П-2.

Для постійного безперервного записування рідких опадів, їх інтенсивності і кількості використовується самописець – плювіограф (рис 3.1 б). Частіше його встановлюють у важкодоступній місцевості.

Його схема є наступною. Приймальною частиною приладу є відкрита посудина циліндричної форми, поперечний переріз площі якої 500 см^2 . Зібрана тут дощова вода стікає по трубці у нижче розташовану водозбірну посудину, в якій знаходиться поплавок з вертикальним стрижнем, до якого прикріплено стрілку з пером і мірі накопичення опадів у водозбірній ємності поплавок починає підніматися, а стрілка з пером – викреслювати криву на закріпленій на барабані, що має годинниковий механізм, діаграмній стрічці [65].

Плювіографи мають такі годинникові механізми з тижневим або добовим обертом. Вода починає автоматично зливатись через скляну трубку-

сифон при повному наповненні водозбірної посудини. В цей момент стрілка з пером опускається вертикально на нульову, тобто початкову, поділку діаграмної стрічки [65].

Плювіограф прийнято встановлювати на відкритій ділянці горизонтально, на підставці таким чином щоб його верхній край розміщувався на висоті 200 см над поверхнею землі. Стрічка плювіографа змінюється о 19 годині часу поясу щоденно. Також на звороті стрічки вказується час знімання і установки стрічки, та виміряну кількість опадів за мірним стаканом, що злиті у відро сифоном [56].

Автоматизований вимірювач опадів ВОА-1М призначений для вимірювання кількості всіх видів опадів, а також інтенсивності рідких опадів в автоматичному режимі, що дозволяє отримувати та за необхідності передавати на ПК всю інформацію про спостереження опадів.

Вимірювач складається з таких трьох блоків: блок виміру опадів (БІО), блок обробки, архівації та індикації (БІОАІ) та блок живлення (БЖ). Він може працювати в режимі автономності, а також у складі автоматизованих гідрометеорологічних станцій. Площа приймальної поверхні приладу – 200 см², а діапазон вимірювань інтенсивності рідких опадів – від 0,01 до 30 мм/хв. Вимірювач також має можливість підключення до ПК за інтерфейсом RS-232.

Сумарний опадомір використовується в важкодоступних та малонаселених місцях, через його можливість вимірювати кількість тих опадів, які випали упродовж тривалого проміжку часу (місяць, вегетаційні періоди і т. д. до 12 місяців). Існують декілька видів такого опадоміра, серед яких найбільш поширеним є опадомір М-70 [46].

До його складу входять прийомний циліндр, збірник опадів, планковий захист та металева підставка. Приймним циліндром називається спеціальне металеве відро, перетин якого дорівнює 500 см³. Цей циліндр має знаходитись в тій же горизонтальній площині, що і верхня точка конусоподібного захисту

з планок. На верхній частині збірника є люк для проведення вимірювань опадів. Для того, щоб зберегти опади від випаровування в збірник додають мінеральне масло. Далі при вимірюванні опадів їх виливають в мірний стакан після відкриття люку збірника опадів. Якщо в збірнику спостерігається лід чи сніг, їх спочатку розтоплюють, а вже потім переливають в мірний стакан [56].

В польових умовах для вимірювання рідких опадів використовують дощомір Ф. Давітая. Він являє собою скляну посудину з прийомною поверхнею 30 см^2 і висотою 34 см. Її нижня частина закривається скляною лійкою та має спеціальні поділки на стінках, кожна з яких дорівнює шару опадів в 1 міліметр. Такий дощомір встановлюється на металевій або дерев'яній підставці з урахуванням, щоб його верхній край знаходився на висоті 150 см на поверхнею ґрунту [46].

В більші ранні роки спостережень використовувався також дощомір з суцільним захистом Ніфера. За своєю системою він схожий на опадомір Третьякова, але його площа поперечного перерізу відрізнялася 500 см^2 , а саме опадомірне відро було захищено спеціальним конусоподібним суцільним захистом (захист Ніфера). Встановлювався він за тим же принципом, що і опадомір, але результати спостережень були менш точними [51].

3.3. Методика проведення вимірювань атмосферних опадів

Основна методика проведення вимірювань опадів зводиться до визначення тієї кількості опадів, які випадають (за період між двома строками спостережень) та оцінюванні інтенсивності випадання для рідких опадів окремо [46].

Кількість опадів визначають як висоту (у мм) шару води, утворений від опадів (дощ, мжичка, рясні роси, туман, сніг, град, крупа та інші) на горизонтальній поверхні за відповідний встановлений інтервал часу, при цьому мають бути відсутніми випаровування, сток і просочування [46].

Інтенсивністю дощу називається та кількість атмосферних опадів, яка випадає за відповідну сталу одиницю часу, яка дорівнює 10 хвилин. Вона обчислюється в мм/хв, а точність обчислювання становить до 0,01 мм/хвилину [46].

Кількість опадів визначається за допомогою опадомірів об'ємним методом. В свою чергу, інтенсивність рідких атмосферних опадів визначають за результатом запису змінювання рівня води, що відображений у діаграмному бланці плевіографа, в якому зареєстрована та кількість опадів, яка поступає під час дощу до поплавкової камери самопису чи під час щохвилинної реєстрації кількості опадів за допомогою автоматичного опадоміра [55].

Кількість опадів прийнято вимірювати постійно упродовж всього року. Проведення вимірювань кількості опадів проводиться чотири рази на добу – в 00, 06, 12 і 18 годин за міжнародним скоординованим часом [46].

У відповідний призначений строк спостерігач має принести з приміщення метеостанції порожнє відро, що закрито кришкою (зادля запобігання попаданню туди опадів) та замінити ним те відро, що перебувало в опадомірі. Закрите кришкою відро з опадами приносять у приміщення станції і проводиться вимірювання їхньої загальної кількості. Для цього всю воду, яка зібралась у відрі, треба виливати у спеціально призначений мірний стакан (склянка), що входить до складу комплекту опадоміра. Далі відраховується кількість поділок за положенням меніска води в стакані, заокруглюючи до цілих значень. Співвідношення між площею приймального отвору відра та площею поперечного перерізу мірного стакана таке, що одна поділка стакана дорівнює 0,1 міліметра атмосферних опадів [46].

Якщо випадають тверді опади або змішані, то вимірювання їхньої кількості здійснюється після того, як ці опади повністю розтануть.

До вимірної кількості опадів додають *поправки* на змочування відра опадоміра і на випаровування. Якщо кількість опадів не перевищує одну

десяту (0,1) міліметра, то і поправка становитиме 0,1 мм, за більшої кількості поправка буде дорівнювати 0,2 міліметри. Якщо кількість вимірюваних опадів перевищує 100 мм, вимірювання має проходити в кілька етапів, але до отриманої загальної суми додавати одну поправку – 0,2 мм. У разі випадіння твердих чи змішаних атмосферних опадів величина поправки становитиме 0,1 міліметра незалежно від їхньої кількості. При цьому, до таких опадів, як сніг, снігова і льодяна крупи, снігові зерна, та льодяний дощ поправка вводиться як до твердих опадів, а до всіх інших видів рідких та змішаних – як до рідких [55].

Результати всіх вимірювань записуються у відповідні колонки КМ-1. У книжці є три колонки для запису опадів, перша з них поділена за допомогою похилої риски. Над нею записується значення кількості цілих поділок на вимірювальному стакані, а під рискою – відповідна кількість опадів в міліметрах. Поправки на змочування відра опадоміра (також у міліметрах) вказують у другій колонці, а в третій зазначається розраховане значення виправленої кількості опадів [55].

Добову кількість опадів розраховують як суму всіх результатів вимірювань за усі строки спостережень. Окрім цього, для величини атмосферних опадів подають висновки за декаду, місяць та рік, за відповідними характеристиками.

Декадні висновки складаються для сумарної кількості опадів та сумарної кількості опадів за кожен їх строк вимірювання. Сумарні значення обчислюються як сума значень метеовеличини за строки, коли вона визначалась.

Місячні висновки, в свою чергу, подають для тих же характеристик, що і декадні, а також для наступних: «сумарна кількість опадів за денну і нічну половини метеодоби, максимальна добова кількість опадів і дата, коли вона спостерігалася та кількість днів із різними кількостями опадів не менші ніж: 0,0; 0,1; 0,5; 1,0; 5,0; 10,0; 20,0; 30,0; 50,0; 80,0; 120,0 мм, сумарні поправки на

змочування відра опадоміра» [55]. При цьому, сумарні значення обчислюються як сума всіх значень відповідних характеристик метеовеличин за кожну із діб місяця.

Річні висновки для величини атмосферних опадів, окрім тих, що входять до місячних ті добових, подають також за такою характеристикою, як кількість днів із опадами по градаціям [55]. Сумарну поправку на змочування розраховують як суму всіх поправок на змочування відра опадоміра за 12 місяців.

Окрім цього, розраховуються середні арифметичні значення сум опадів за багаторічний період спостережень, які дають норму річних або норму місячних опадів для району метеорологічної станції.

3.4 Первинний критичний контроль вимірювань

Первинний критичний контроль зосереджується на порівнянні значень конкретних метеорологічних величин та аналізі їхніх змін від одного строку до наступного на одній метеостанції. Оскільки метеорологічні величини знаходяться у певному взаємозв'язку, то зміна значень однієї величини, здебільшого, супроводжується зміною і значень інших [55].

Первинним критичним контролем займаються переважно керівники спостережних підрозділів або начальники станцій. Контроль мають проводити регулярно, не відкладаючи його на кінець декади або місяця, тому що це дає можливість своєчасно встановити і усунути недоліки та неточності в спостереженнях.

У непевних випадках про правильність вимірних даних перевіряють справність приладів, а також правильність їхнього розташування і дотримання спостерігачами усіх необхідних вимог методики проведення спостережень за певними величинами.

У разі виявлення несправності приладу або його неправильного розміщення, мають бути терміново вжиті заходи з виправлення недоліків і зроблені записи про них у відповідну книжку спостережень.

При проведенні спостережень за кількістю опадів виявлені помилки можуть мати такі причини:

- несправність опадоміра (механічні пошкодження відра опадоміру, протікання або дефекти у вітровому захисті тощо);
- опадомір встановлено на нестандартній висоті;
- приймальна частини відра розташована нижче чи вище стосовно планкового вітрового захисту;
- розташування опадоміра є нерепрезентативним (поблизу високих дерев, будівель, огорожі тощо);
- при проведенні спостережень порушувались основні вимоги (в теплий період відсутня лійка, відсутній ковпачка, приймальна поверхня опадомірного відра має негоризонтальне положення, з планкового вітрового захисту невчасне прибираються снігові намети тощо);
- було порушено строки при проведенні спостережень (заміна відра відбулася не в строк вимірювання опадів, а пізніше чи раніше встановленого терміну);
- опадомірне відро нагрівалося або в нього доливали воду для прискорення розтавання твердих опадів;
- було взято з опадомірного стакану неточні відліки;
- для вимірювання використовувався нестандартний стакан;
- поправки на змочування були введені неправильно;
- було встановлено відро з залишками опадів за попередній строк.

При проведенні первинного критичного контролю перш за все порівнюють кількість опадів з наявними атмосферними явищами, які давали ці опади. Якщо є невідповідність між атмосферними явищами та кількістю

вимірних опадів – це свідчить про наявні помилки в спостереженнях за якимось з елементів [55]. Коли при вимірюванні кількості опадів між строками зафіксовано атмосферні явища, які мають давати опади, проте в опадомірному відрі їх немає, можливі такі причини:

- протікання опадомірного відра;
- наявність інтенсивного випаровування опадів у спекотний літній день з відра тому що відсутні ковпачок або/та лійка;
- тверді опади були видуті сильним вітром з відра опадоміра;
- зафіксовані атмосферні явища були нетривалими і слабкими.

Коли кількість опадів є записаною в книжку КМ-1, проте не відмічено атмосферних явищ, які можуть давати опади, між відповідними строками вимірювання, можна припустити, що не проводились спостереження між цими строками за атмосферними явищами, або не було перевірено опадомірне відро на присутні залишків опадів за попередній строк під час його установа. Щоб дізнатися про можливу причину незбіжності спостереження за опадами і атмосферними явищами, необхідно переглянути дані спостережень за наявністю хмар, що дають опади, станом неба і підстильної поверхні. Але якщо не зафіксовані між строковими вимірюваннями опадів хмари відповідної форми та підстильна поверхня була суха, то найбільш ймовірно, що перед встановленням відра в ньому була наявна вода.

В той же час, кількість вимірних твердих опадів необхідно порівнювати зі зміною висоти снігового покриву, яка виміряна постійними рейками. Якщо за добу не було помічено збільшення висоти снігового покриву, або вона навіть зменшилась при мінусових температурах повітря, тоді присутність опадів у відрі може бути спричинена надуванням в опадомірі так званих «несправжніх» опадів. В такому випадку спостерігач має позначити, що між строковими вимірюваннями були помічені сильний вітер або хуртовина, які могли надувати сніг з оточуючих дахів чи дерев.

Якщо на станції наявний плевіограф чи ВОА-1М, то необхідно порівнювати кількість опадів за ними та за опадоміром.

Опади можуть випаруватися з опадомірного відра у спекотний день, коли кількість опадів $< 0,5$ мм, але в цьому випадку ВОА-1М має зафіксувати їхню кількість. Але якщо є розбіжності при порівнянні з вимірними даними ВОА-1М, проте кількість опадів вже перевищує значення $0,5$ мм, тоді необхідно перевірити на протікання опадомірне відро.

При порівнянні результатів вимірної кількості опадів взимку за ВОА-1М і опадоміром, можна помітити завищення кількості опадів (понад 10%), вимірних за допомогою автоматизованого вимірника. Таке завищення свідчить про неспрацювання підігріву, коли на виході з лійки вимірника утворюються бурулька, котра тисне на його приймальну частину. Це спричиняє безперервне зважування, яке й призводить до деякого завищення даних кількості опадів. При цьому, кількість вимірних твердих опадів Третьякова, часто є більшою, ніж та кількість опадів, що виміряна автоматизованим ВОА-1М. Проте, якщо при тривалому снігопаді деяка частина опадів не встигла розтанути і переходить з попереднього строку, то кількість вимірних ВОА-1М опадів в межах 1-2% може бути більшою [55].

У будь-яких випадках, коли за результатами проведення критичного контролю визначаються сумнівними вимірні значення опадів, необхідно перевіряти справність приладів та їхню правильність встановлення. Виправлення та бракування даних спостережень про кількість опадів в результаті контролю напряду на станції не проводиться.

РОЗДІЛ 4

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ТА ГОМОГЕНІЗАЦІЯ РЯДІВ ЩОМІСЯЧНИХ СУМ ОПАДІВ В НОМЕР

4.1. Використані дані та методика проведення досліджень

Для проведення дослідження було використано фактичні дані спостережень щомісячних сум опадів періоду 1946-2020 рр. по 224 пунктах метеорологічної мережі України, отримані з таблиць ТМ-1 та ТМС архіву Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського (ЦГО). З обраних пунктів спостережень 177 є метеорологічними станціями, а 47 – опадомірними постами. Такий нерівномірний вибір пов'язаний з тим, що до досліджуваного масиву даних було додано лише ті дані опадомірних постів, в часових рядах яких пропуски виявилися незначними та не перевищували 20% загальної кількості спостережень за обраний період.

Окрім цього, використано відомості про зміни, що відбулися в роботі метеостанцій. Для них інформацію за 2011-2020 рр. було взято з Метеорологічних щомісячників із архіву ЦГО, а для періоду до 2011 року – з [50].

Дані, які обрано для процедури гомогенізації, були отримані з використанням опадоміру Третьякова або, в ранній період спостережень, за допомогою дощоміру з конусоподібним захистом Ніфера. Точність вимірювання цими приладами в окремії точці може бути досить висока, а їхні середні похибки складають 9-12%. В свою чергу, максимальні розмахи похибок вимірювання значно більші і можуть виявлятися в діапазоні 3-40% за даними [38]. Відмічається, що рідкі опади значної та середньої інтенсивності вимірюються із більшою точністю. А для рідких та твердих опадів малого радіусу, що мають незначні швидкості падіння, спостерігається нижча точність вимірювання спричинена впливом вітру.

За строковими спостереженнями визначаються суми опадів для різних періодів осереднення (місяць, холодний або теплий період, рік) і на основі цих осереднених даних при потребі можуть бути створені часові ряди як для цілого періоду спостережень, так і для його окремих частин. Але для того, щоб отримати достовірні статистичні характеристики обраного кліматичного показника, ці ряди мають відповідати встановленим вимогам. Перш за все, необхідно, щоб вони були однорідними.

Однією з причин виникання неоднорідностей в часових рядах даних є зміни умов та методики проведення спостережень. Такі зміни можуть спричинюватись заміною приладів, змінами строків вимірювання або/та їх кількості, перенесенням метеомайданчика (чи приладу), зміною ступеню його захищеності, або помилками спостерігачів чи неточностями при проведенні архівації та оцифруванні даних та іншим [44].

Оскільки метою роботи є перевірка часових рядів саме на кліматологічну однорідність, було проаналізовано відповідні документи, які можуть свідчити про зміни умов та методики проведення спостережень.

За обраний досліджуваний період 1946-2020 рр. були зафіксовані деякі зміни в проведенні спостережень за атмосферними опадами, які могли мати вплив на кліматологічну однорідність часових рядів місячних сум опадів. Можемо виділити дві основні групи таких змін.

До першої групи належить планова заміна приладів по усій мережі та зміна методик спостережень, які застосовувались на усіх метеостанціях. Ці зміни можна назвати масовими. У 50-х роках минулого сторіччя відбулася також заміна дощоміру з конусоподібним захистом Ніфера опадоміром з планковим захистом Третьякова, який має інші аеродинамічними властивості. Це призвело до того, що на значній частині станцій відбулось порушення однорідності часових рядів. Щоб усунути такі масові порушення однорідності було визначено та введено спеціальні коефіцієнти поправок для значень

щомісячних сум опадів, які залежали від вимірних середньомісячних швидкостей вітру і типу захищеності приладу. Такий перерахунок вимірювань величин був запроваджений переважно для змішаних і твердих опадів, проте в рядах вимірювань рідких опадів майже не були виявлені значні порушення однорідності [44].

Далі, в 1966 році відбувається перехід з двох до чотирьох строкових спостережень за атмосферними опадами на добу, що також потенційно мало змогу впливати на точність отримання осереднених величин. Окрім цього, з 1967 року починається процес введення поправок для вимірних величин кількості опадів на змочування для всіх видів опадів, і згодом для твердих опадів. Зазначені зміни були практично однотипними для всіх станцій мережі, а тому майже не призвели до значимих порушень однорідності даних після введення необхідних поправок [44].

В свою чергу, до другої групи відносять зміни, які мали місце на окремій чи декількох станціях, але в різний період, та могли вплинути на достовірність і точність проведення вимірювань. Переважно такими змінами були перенесення на нове місце метеостанцій, що в 50-60-х рр. минулого сторіччя активно провадилось в Україні. Також помічається зміна навколишніх умов метеомайданчика та ступеню його відкритості, що особливо часто відбувалося на розташованих у містах метеорологічних станціях. В першому варіанті можливе фіксування раптових змін величин в часових рядах, тоді як другому – поступове зростання змін, що сукупно призведуть до неприродного впливу на значення метеовеличин. Саме такий варіант зміни умов вимірювання, а також технічні помилки спостерігачів потребують перевірки часових рядів даних кліматичних показників [59].

Контроль якості даних, виявлення і усунення неоднорідності в рядах кліматичних показників не є новою проблемою. Метеорологічні величини завжди проходили такий контроль, що виконувався співробітниками на гідрометеорологічній мережі, а кліматологи проводили перевірку на

кліматичні однорідності часових рядів при виконанні їхніх наукових досліджень [59]. Для цього використовували різноманітні напівемпіричні методики, що відрізнялись відповідно до обраного кліматичного показника.

Проте, не зважаючи на значний рівень в Україні кліматичних досліджень, відмічається, що поява наукових публікацій, які висвітлюють методологію провадження контролю якості та однорідності даних (гомогенізацію), отриманих по українській метеорологічній мережі почалась лише в останні 10-15 років [29, 58, 64].

Сьогодні проведення гомогенізації прийнято проводити спеціальним програмними забезпеченнями, які здатні автоматизовано проводити кліматичний контроль та мінімізувати некліматичні викиди обраних величин. В нашій роботі, як вже зазначалось, було обрано продукт HOMER задля огляду його використання при виконанні гомогенізаційної процедури для дострокових часових рядів місячних сум опадів.

4.2. Загальний контроль якості часових рядів щомісячних сум опадів за 1946-2020 рр.

Після сформування за правилами HOMER необхідного архіву даних та обрання робочої директорії починається процес першого етапу статистичної оцінки даних (*Fast Climatol Check*). Після проведення швидкого автоматичного розрахунку, отримуємо показники розподілу використаних часових рядів сум атмосферних опадів.

Першим результатом контролю програма подає розподіл кількості наявних значень сум атмосферних опадів відповідно до року спостережень (рис. 4.1). Як бачимо, існує два періоду відносного дефіциту даних за період від 1946 до 1950 року, що пов'язаний з відсутністю даних про спостереження на деяких метеостанціях та, особливо, постах в архівах ЦГО. Другий період нестачі даних починається з середини 2010-х років та спричинений

військовими діями на півдні та сході України. В подальшому ці пропуски будуть програмно усунені за допомогою функції корекції.

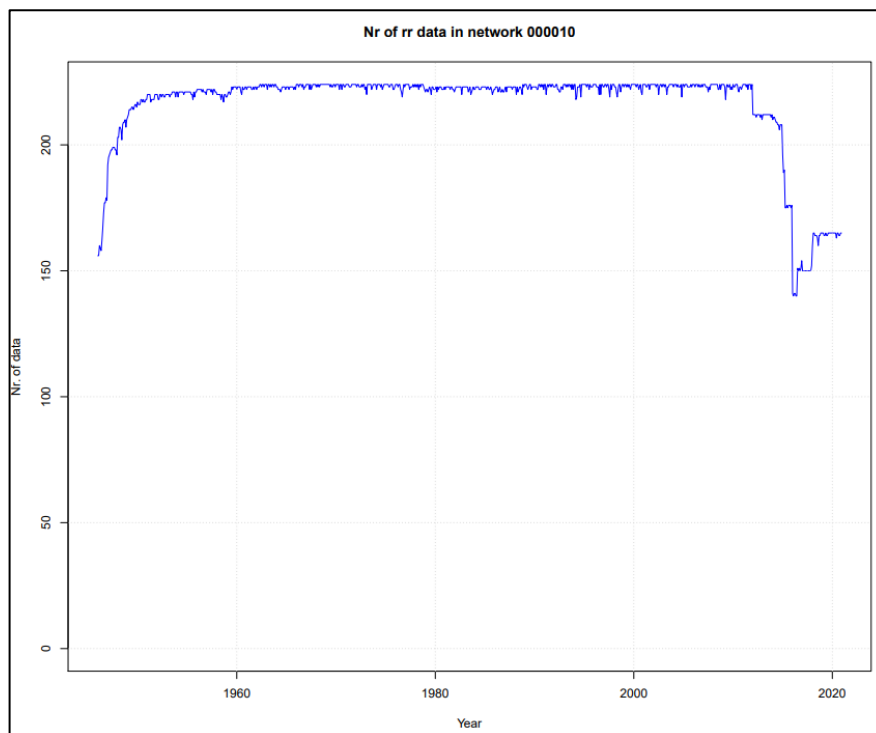


Рис 4.1 – Розподіл кількості наявних значень сум атмосферних опадів за період 1946-2020 рр.

Далі програмою будуються декілька гістограм, на одній з яких відображено повторюваність кількостей щомісячних сум опадів за весь досліджуваний період по всім пунктам спостережень. Тобто, це розподіл усіх окремих значень даних, що ми використовуємо в роботі.

На рис. 4.2 можемо побачити та відмітити, що максимум значень місячних сум опадів лежить в межах від 20 до 40 мм, а мінімум приходить на кількість опадів, що перевищують значення 220 мм. В свою чергу, стовпчик гістограми з опадами менше 0 показує кількість пропущених значень, які, як було зазначено вище, позначаються числом -999,9. Можемо побачити, що кількість пропусків відносно незначна при порівнянні с загальним масивом даних.

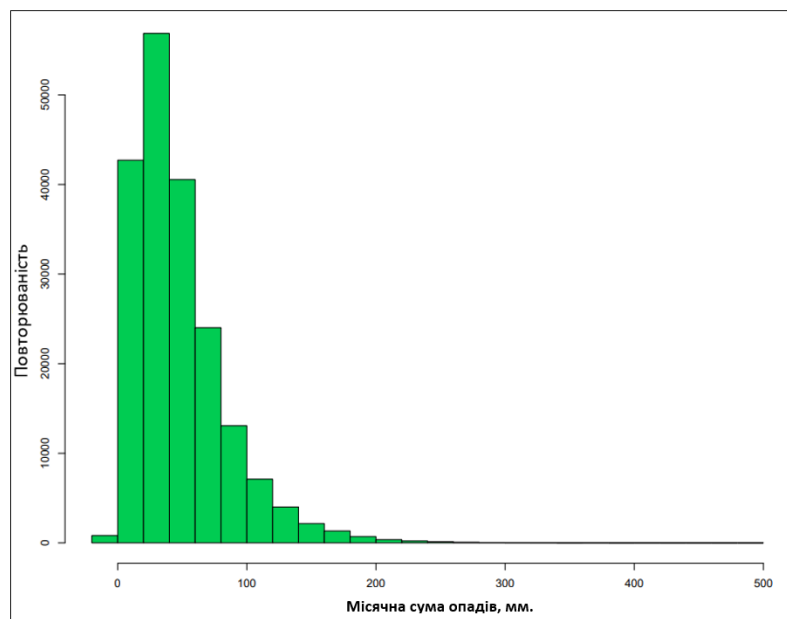
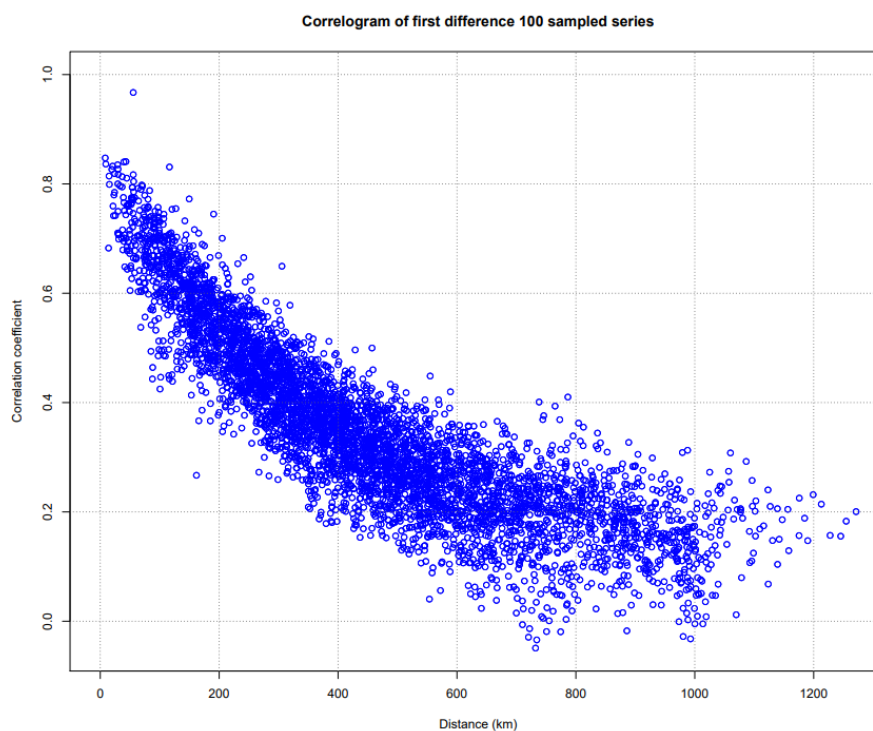


Рис. 4.2 – Загальний розподіл кількостей значень місячних сум опадів за досліджуваний період.

Окрім гістограми загального розподілу повторюваності значень досліджуваних опадів, будуються також такі окремі гістограми розподілу за весь період для кожного з дванадцяти місяців року.



4.3 – Кореляційний зв'язок між часовими рядами попарно обраних пунктів спостережень за період 1946-2020 р.

Окрім зазначених графіків, можна отримати також іншу інформацію. Наприклад, подається також такий інформаційний матеріал, як картосхема (рис 4.4) з точками розташування станцій, що позначені їхнім номером в сформованому для дослідження архіві, яка будується за їхніми географічними координатами, зазначеними в загальному файлі. Можемо побачити, що обрані пункти спостережень рівномірно розташовуються по території України.

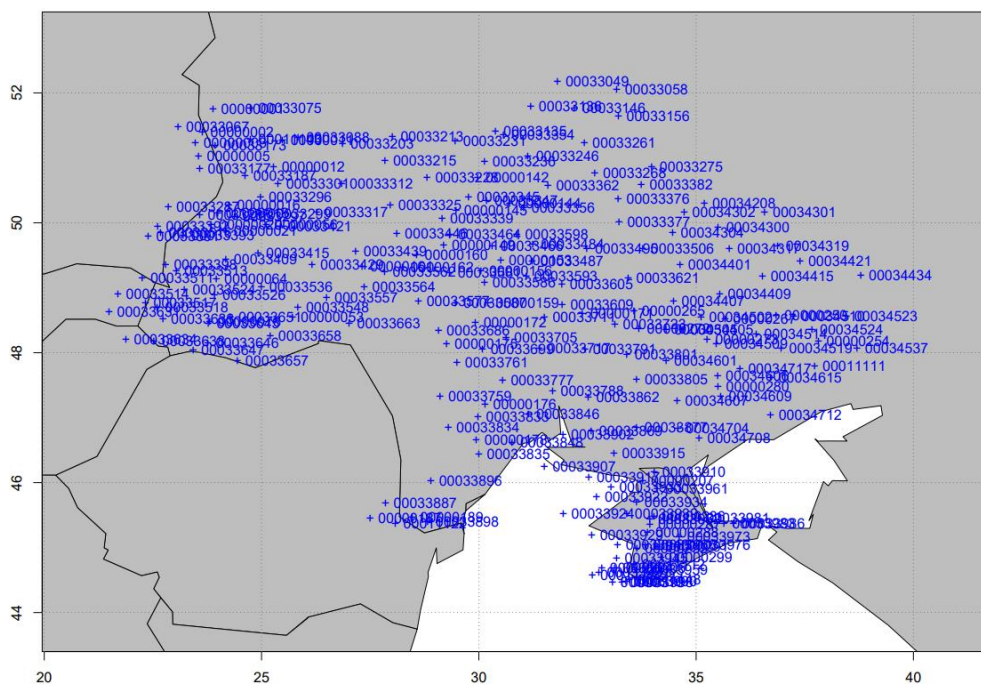


Рис 4.4 – Картосхема розташування досліджуваних пунктів спостережень.

Другим етапом загального контролю якості є *Fast QC*, на якому відбувається контроль якості початкових даних з метою виявлення некліматичних помилок при вимірюваннях та обробці даних. Основи пошуку аномалій (або викидів) полягають в порівнянні значень отриманих на опорному пункті з пунктами оточення.

Існують декілька способів вибору пунктів оточення, але в даному дослідженні був обраний спосіб кореляції, що, відповідно, побудований на розрахуванні кореляційного зв'язку між часовими рядами даних опорного пункту та його оточення. При цьому, граничну величину коефіцієнту кореляції визначає дослідник. В нашому випадку було обране значення 0,7, оскільки

нижчі значення можуть привести до попадання в список оточення станцій з іншими умовами опадотворних процесів.

Після проведення розрахунків програма формує текстові файли (рис. 4.5), де перелічує станції оточення, обрані для опорної станції та зазначає величину їхнього кореляційного зв'язку.

```

00033658 Chernivtsi
=====
CORRECTION NEIGHBORHOOD
00000053 0.893 Zhvanets
00033651 0.825 Kolomyia
00033548 0.825 Kamyanets-Podilsky
00033557 0.778 Nova-Ushytsya
00000056 0.776 Pidgajtsi
00033536 0.759 Chortkiv
00033663 0.753 Mogyliv-Podilsky
00033526 0.746 Ivano-Frankivsk
00000078 0.706 Dora
00033524 0.704 Dolyna
=====

Periode 1
00033658 1946 - 2020
UNCHANGED REFERENCE PERIOD

```

Рис 4.5 – Приклад текстового файлу, сформованого на етапі *Fast QC* з переліком пунктів оточення для станції Чернівці за досліджуваний період.

В свою чергу, основними є результати порівняння та виділення, так званих викидів в графічному виді, що зберігаються в окремій папці обраної директорії. Величина викиду оцінюється через розрахування осереднених значень відношень часового ряду опорної станції (червона лінія) до оточення, при цьому чорними плюсами позначаються величини, отримані в той же час на інших станціях. В нашому дослідженні величина відхилення була позначеною буквою δ , оскільки розробник не надає про це конкретної інформації.

На рис 4.6 можемо побачити фрагмент результату таких розрахунків для окремих місяців обраних станцій (Херсон, Прилуки, Яготин), де *rr* – позначення початкових даних опадів, код перед назвою станції – її міжнародний код.

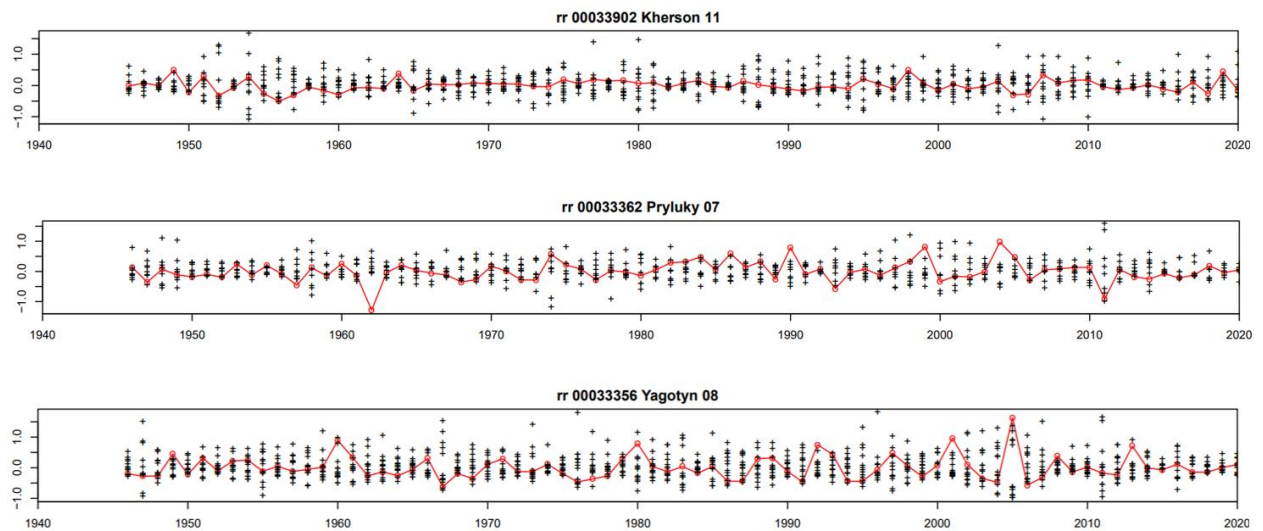


Рис. 4.6 – Виявлення на етапі Fast QC викидів місячних сум опадів для станцій (Херсон, Прилуки, Яготин).

В наведеному фрагменті візуалізації розрахунків (рис. 4.6) бачимо, що величина відхилення в першому випадку, де представлено станцію Херсон (за листопад місяць), має відносно однорідний хід і викидів не спостерігається.

В свою чергу, для станції Прилуки (липень), у 1962 році бачимо відхилення основної станції з $\delta \leq -1,5$, в той час як на станціях оточення розкид значень відносно малий. Цей випадок можна вважати технічною помилкою.

В третьому випадку, відхилення, зафіксоване у 2005 році на станції Яготин (серпень) відхилення станції дорівнює $\delta \leq 1,5$, проте на оточуючих станціях присутній значний розкид величин опадів. Це надає підставу віднести такий викид до тих, які можна пояснити природною варіативністю кількості опадів, що спостерігаються в теплий період.

Можемо підсумувати, що проведення достовірної оцінки даних передбачає окреме розглядання та оцінювання кожного випадку знайденого викиду.

Основними причинами наявності викидів можуть бути випадкові помилки, які виникають при проведенні вимірювань, а також неякісна обробка та оцифрування результатів спостережень або взагалі відсутність даних про

спостереження. З нижчими похибками і меншою ймовірністю, причиною викидів можуть бути заміна приладів та методики спостережень. Проте, проведений контроль викидів також показує, що можливе фіксування аномальних значення опадів на деяких станціях із природних причин.

Аналіз і корекція аномальних значень відбувались з урахуванням причин їх наявності. Прикладом може бути станція Житомир, де величина відхилення в 1974 дорівнювала $\delta \leq -1,5$. Дивлячись на значення липневих сум опадів оточуючих станцій, було вирішено звернутись до початкових даних (таблиці ТМ-1), де значення дорівнювало 120,9 мм. Таким чином було знайдено грубу помилка, яку допустили при оцифруванні даних, яку було виправлено вручну.

Іншим прикладом може бути викид ($\delta \geq 1,5$), який виявлено на станції Одеса 1988 р. у липні. Але після порівняння з початковими даними помилок знайдено не було. Такий викид може пояснюватись тим, що при випаданні опадів влітку, коли переважає конвекція у внутрішньо масових та фронтальних процесах, міста, особливо великі, можуть бути орографічною перешкодою по відношенню до волого несучого потоку. Тому суми опадів у великих містах в літні місяці можуть бути завищені по відношенню до оточуючих територій. Тоді таке високе значення липневої суми опадів в Одесі може мати фізичні причини. Окрім цього, аналіз аномалій і їхня корекція показують, що при неможливості точного визначення правильної місячної суми опадів, оптимальним варіантом буде позначення величини як пропуску (-999,9) та отримання автоматичної корекції програмою.

За весь досліджуваний період було виявлено 1316 відхилень, які становлять 0,66% від загальної кількості значень всього масиву даних. При цьому, 62,3% всіх викидів знаходяться у проміжку від -1 до +1, що пояснюється встановленою мінливістю місячних опадів в регіоні [42, 61]. Тобто, ці викиди можуть бути розглянуті як деяка варіативність величини

природного характеру, що залежить від типу опадотвірних процесів. Про це свідчить також річний хід кількості аномальних значень (рис 4.7).

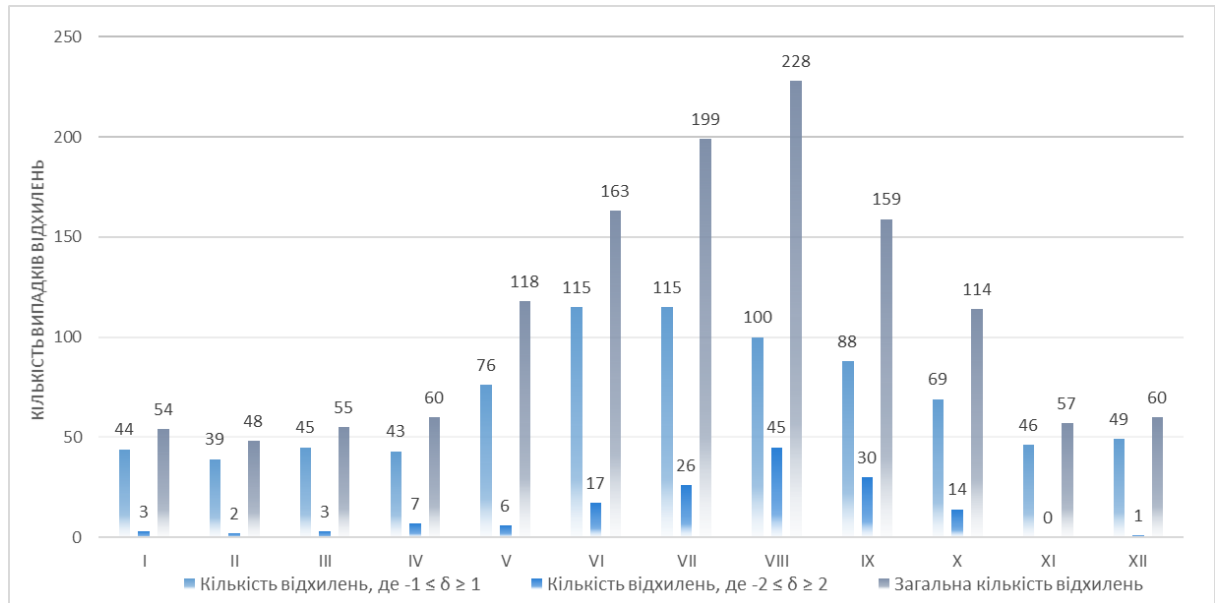


Рис. 4.7 – Річний хід кількості відхилень місячних сум опадів за період 1946-2020 рр.

Як бачимо, максимальні значення всіх сукупних відхилень відмічаються у серпні, але є високою ймовірність і в інші місяці літа. Це пояснюється значною повторюваністю зливових опадів, що характеризуються великою просторовою строкатістю їхніх сум та інтенсивності [42, 61]. 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 (пориви вітру під час опадів з C_b , різниця швидкостей випаровування, розбризкування, тощо) [59].

У діапазоні значень від -1,5 до 1,5 знаходяться 26% відхилень; 10% – в межах від -2,0 до 2,0; і лише 1,5% випадків відхилень лежать у діапазоні від -3,0 до 3,0. Тільки для дуже рідких випадків значення відхилень перевищує 4,0.

Після аналізу отриманої інформації в дослідженні було вирішено детально оцінювати та встановлювати причини і корегувати ті відхилення, коли δ у проміжку від -1,5 і менше до 1,5 і більше.

Поширення викидів на станціях та постах у просторовому вимірі на території країни також характеризується значною нерівномірністю. Найбільш часто викиди фіксуються в пунктах спостережень південного регіону: в Криму та на узбережжях. Максимальною кількістю викидів (33 випадки) за весь досліджуваний період у цьому регіоні вирізняється пост Кілія, а також станції Сарата і Ялта (25 і 19 викидів відповідно). При цьому, у центральних та західних регіонах кількість аномальних викидів є набагато меншою. На більшості станцій і постів не зафіксовано жодного викиду, тоді як на інших – лише від 2 до 7. Ці нерівномірності у якості вимірювань можуть бути спричинені як природними, так і організаційно-технічними факторами: проведення контролю спостережень, рівень кваліфікації персоналу, технічний стан приладів, ландшафтні умови станції впродовж всього досліджуваного періоду. Значну роль відіграватимуть також відносна однорідність при формування опадотвірних процесів та сталість умов циркуляції.

4.3. Проведення процедури гомогенізації часових рядів щомісячних сум опадів за 1946-2020 рр.

Наступним етапом після оцінки якості рядів місячних сум опадів за весь досліджуваний період та усунення виявлених в них помилок, стає можливим проведення аналізу часових рядів станцій та перевірки їхньої однорідності.

Основою перевірки на однорідність є гіпотеза, що у випадку існуючої однорідності двох рядів, на сусідніх станціях відношення значень часових рядів опадів за тривалий період має носити узгоджений характер. Якщо ж в такому взаємозв'язку в якийсь момент відбуваються зміни – це буде свідчити про наявне порушення однорідності в якомусь з рядів. Коли встановлено факт

порушення однорідності ряду, для його вирівнювання використовують статистичні методи [2].

В даному дослідженні основною розглядається версія існуючого впливу на однорідність чинників, які не є кліматичними. До них можна віднести переміщення метеостанції чи поста, або зміна їхніх навколишнього ландшафту. За наявною інформацією [50] найчастіше за обраний період відмічаються переміщення станцій на відстань від десятків метрів до декількох кілометрів, що мало місце у 1950-60-х роках. Проте, згодом аналіз матеріалу показав, що неоднорідність у часових рядах опадів могла бути утворена і іншими факторами. Наприклад, коли порушується стандартний річний розподіл опадів, притаманний для цього регіону. Інакше кажучи, питання щодо причин, які ведуть до порушення кліматичної однорідності рядів опадів достатньо складне та неоднозначне, а отже потребує подальшого дослідження [59].

Першим етапом перевірки рядів на однорідність в HOMER є попарне порівняння, де проводиться розрахунок та аналіз відношень часових рядів сум опадів основної станції та її оточення.

На цьому етапі програма тільки ідентифікуює можливі точки розриву, а рішення про їхнє затвердження має прийматись вже на наступному етапі – об'єднаного порівняння. Тут дослідник вирішує, який метод встановлення точок розриву він буде обирати. Під час інтерактивного методу точки розриву позначаються безпосередньо дослідником, який має обирати їх на основі власних оцінок попереднього аналізу даних та порівнянні результатів з існуючою в нього інформацією. В іншому, автоматизованому, варіанті програма зробить це самостійно. Результатом такого процесу стає сформований програмою текстовий файл у робочій директорії зі списком станцій, де відмічались точки розриву однорідності рядів опадів.

При попарному порівнянні програма також формує для кожного існуючого пункту спостережень файли в яких розміщуються результати аналізу перевірки рядів на однорідність.

На рис. 4.8 представлений фрагмент візуалізації таких результатів на станції Кременець, де для опорної станції демонструються відхилення відношень суцільна блакитна лінія, а чорні плюси показують значення відхилень для оточуючих станцій. В свою чергу, чорні вертикальні лінії показують можливі точки розриву – моменти, коли відбулась різка зміна величини відношення для обраної станції. Цими вертикальними лініями і показуються потенційні аномальні значення величин (точки розриву). Для станції Кременець бачимо такі лінії в різних періодах (1960 та 1984 р.). Проте, доцільно за точку розриву однорідності ряду для опорної станції приймати тільки ті випадки, коли такі лінії спостерігаються в один момент одночасно на 2-3 станціях. Оскільки розрахунки попарних порівнянь станцій розміщені в файлах за середнім квадратичним відхиленням, то найдостовірніші результати будуть вказані зверху списку.

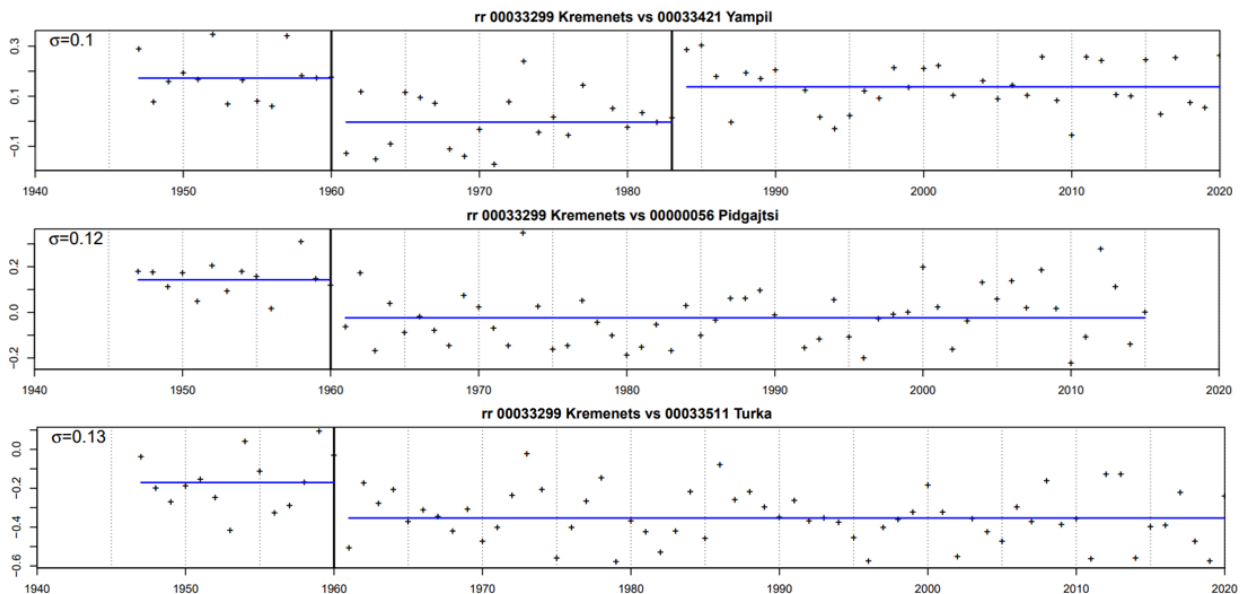


Рис. 4.8 – Фрагмент визначення неоднорідності в рядах річних сум опадів для станції Кременець.

Окрім цього, будуються також загальні графіки для уточнення присутніх точок розриву (рис. 4.9). На графіку для кожної окремої пари станцій трикутниками помічені можливі точки розриву. Їхні розміри змінюються відповідно до амплітуди зміщення, а колір позначає сезон року для якого показане порівняння (жовтий для осіннього, синій для зимового).

На прикладі станції Кременець розглянемо визначення неоднорідностей часового ряду та проведемо його корекцію. На рис. 4.8 бачимо, що точка розриву, відмічена 1960 році, була чітко підтвердженою при попередній перевірці на однорідність, бо спостерігається одночасно для декількох станцій (Ямпіль, Підгайці, Турка).

На загальному графіку (рис 4.9) також простежуються виявлена точка розриву у 1961 р. при чому зміни відмічаються в зимовий період (синій трикутник).

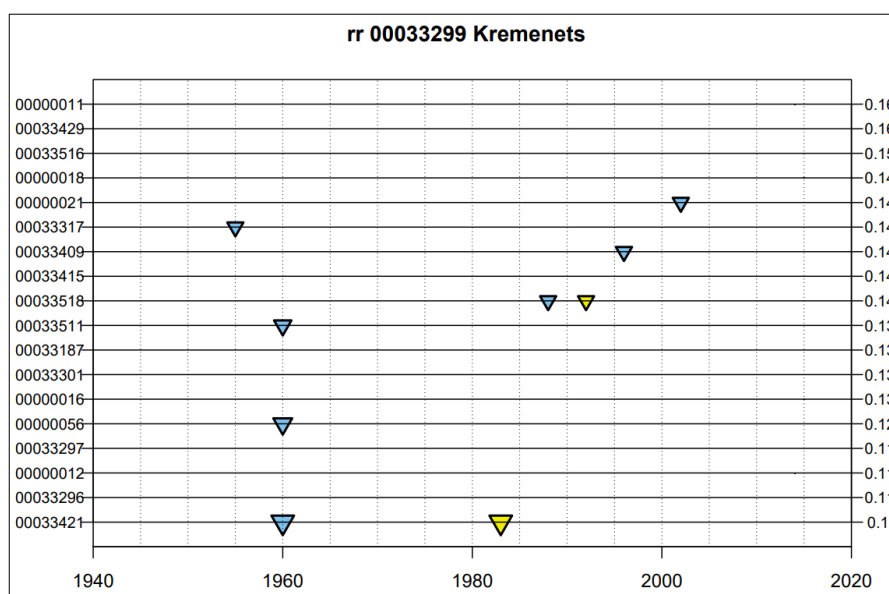


Рис. 4.9 – Загальна візуалізація точок розриву при порівнянні часових рядів сум опадів станції Кременець з її оточенням.

На рис. 4.10 бачимо фрагмент довідника [49], де вказується, що станцію Кременець було перенесено з 1961 року на 1500 м на південь. При цьому, розробником програми зазначено, що точки розриву найчастіше формуються у попередній до наявних змін рік.

Кам'янець-Подільський	Хмельницька	33548	07.07.1970	Relocation (not known, to airport)
			09.09.2004	Relocation (120 m, to the east)
Кременець	Тернопільська	33299	1961	Relocation (1500 m, to the south)
Тернопіль_АМСГ	Тернопільська	33415	1951	Large pond/lake (100 га surface) was created near station
			01.03.1962	Relocation (Тернопіль -> Тернопіль_АМСГ, 4 км)
			08.1969	Relocation (30 m, to the south)

Рис. 4.10. – Фрагмент таблиці Довідника про перенесені метеорологічні станції за період 1946-2020 рр.

Таким чином, можемо встановити, що таке порушення в значеннях рядів опадів для станції Кременець в 1961 році було викликане некліматичними причинами, а отже потребує наступної корекції для отримання однорідного ряду місячних сум опадів.

На рис. 4.8 можемо також розглянути величину зсуву синьої суцільної лінії відносно середнього значення як амплітуду зміщення, знаки якої будуть вказувати на напрям зміни сум опадів в період після створення точки розриву.

Як бачимо, на станції Кременець амплітуда зміщення в точці 1960 року від'ємна, що каже про зменшення суми опадів з 1960 року при порівнянні з передуючим періодом.

Ті неоднорідності, які програма знаходить в рядах даних, в подальшому корегуються за допомогою методів дисперсійного аналізу. Тобто, проводиться корекція ряду за допомогою зменшення місячних, а отже і річних сум опадів за період між точками розриву. В даному випадку, за період 1946-1960 рр.

Текстові файли зі скорегованими даними з'являються у робочий директорії та доступні для перегляду і подальшої обробки. Далі в табл. 4.1 представлені для порівняння початкові та скореговані (гомогенізовані) місячні і річні суми опадів за 1957 р для станції Кременець. Як бачимо, значення гомогенізованих сум дійсно менше початкових, причому річна сума зменшилась на 6.2%. Проте можемо помітити, що зі зменшенням суми початкових опадів, зменшується і величина її зміни при гомогенізації. Так, наприклад, при початковому значенні 5,4 у жовтні, величина зміни після

гомогенізації склала 0,3 мм, що дорівнює 5,5%. В той же час, для гомогенізованих серпневих даних ця величина складає вже 6,5 мм (6,25%) Отже, можемо встановити, що введення поправок до часових рядів опадів відбувається з урахуванням початкових значень, окремо для кожного.

Таблиця 4.1 – Порівняння початкових та гомогенізованих сум опадів станції Кременець за 1957 р.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сума
1957 (початк.)	19.8	31.6	21.3	17.9	70.2	27	70.4	104	67	5.4	32.2	32.8	499.6
1957 (гомог.)	18.6	29.6	20	16.8	65.8	25.3	66	97.5	62.8	5.1	30.2	30.8	468.5

Окрім них, HOMER також надає візуалізовані графіки розподілу річних сум опадів як для початкових, так і для гомогенізованих даних окремо.

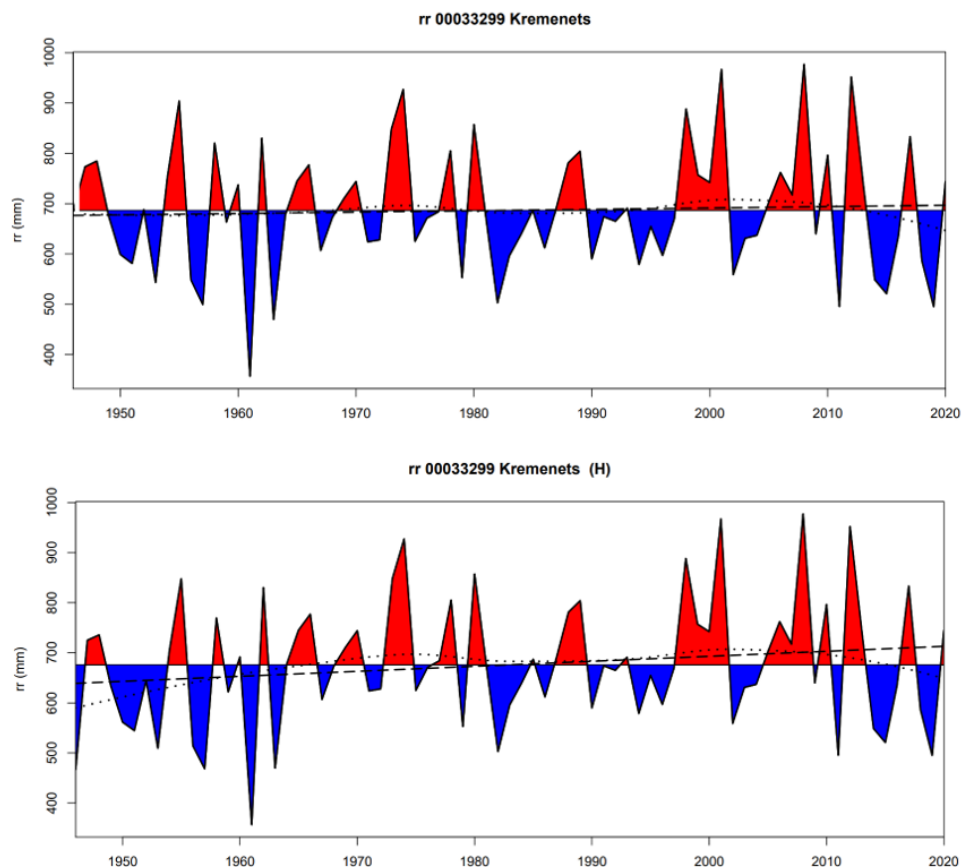


Рис 4.11 – Часовий розподіл за досліджуваний період річних сум опадів ст. Кременець до гомогенізації (а) і після (б).

Як бачимо на рис. 4.11 для станції Кременець, корекція рядів місячних і річних сум опадів спричиняє також зміни значень коефіцієнтів лінійних та поліноміальних трендів розподілу опадів в часі, і змінює форми їх кривих. Бачимо, що корекція опадів, яка відбулася для періоду 1946-1960 рр. істотно вплинула на значення лінійного тренду.

Схожою є ситуація на станції Суми, де було виділено точку розриву у 1952 році. Після звірки з довідником [49], було визначено, що метеостанція Суми була зачинена в листопаді 1951 р. та перенесена на нову станцію Суми AMSG, що, найвірогідніше, і призвело до утворення неоднорідності часового ряду. На рис 4.12 можемо побачити, як корекція періоду 1946-1951р. в подальшому вплинула на зміну форми кривих лінійного та поліноміального тренду.

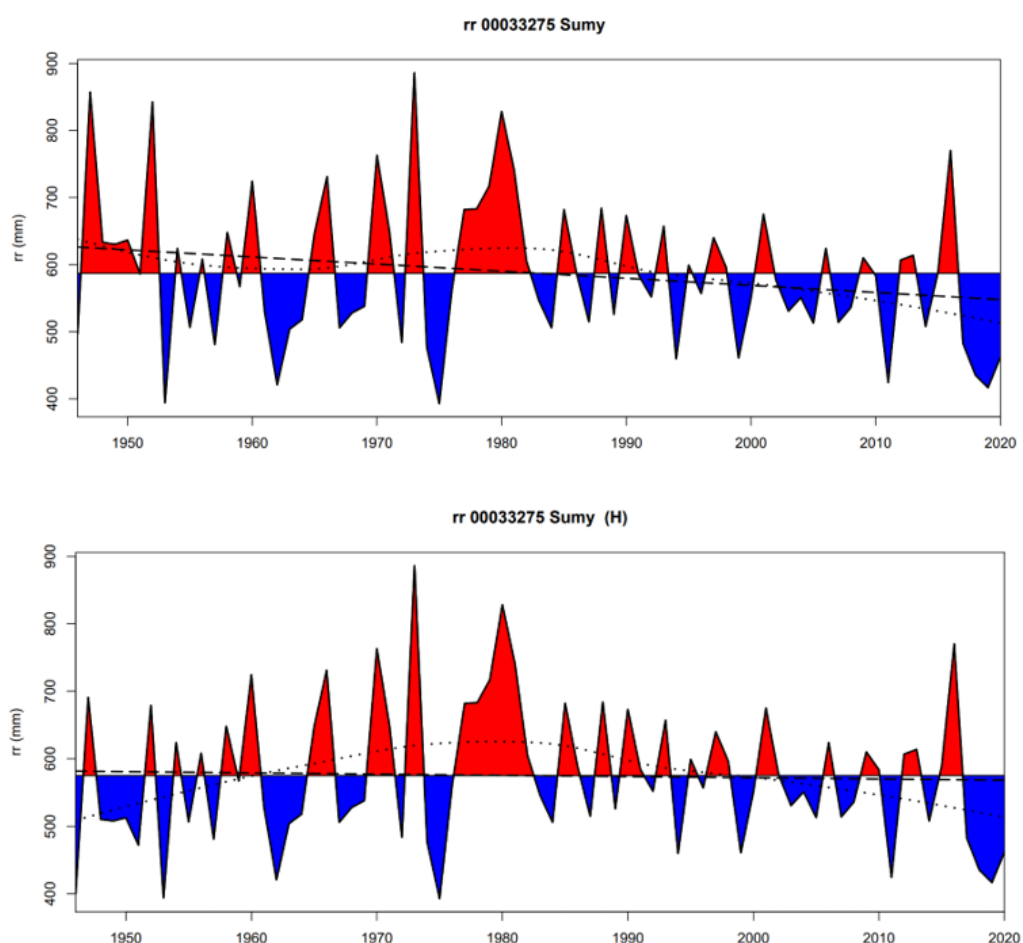


Рис. 4.12 – Часовий розподіл за досліджуваний період річних сум опадів ст. Суми до гомогенізації (а) і після (б).

4.4. Визначення причин появи неоднорідності в часових рядах місячних сум опадів

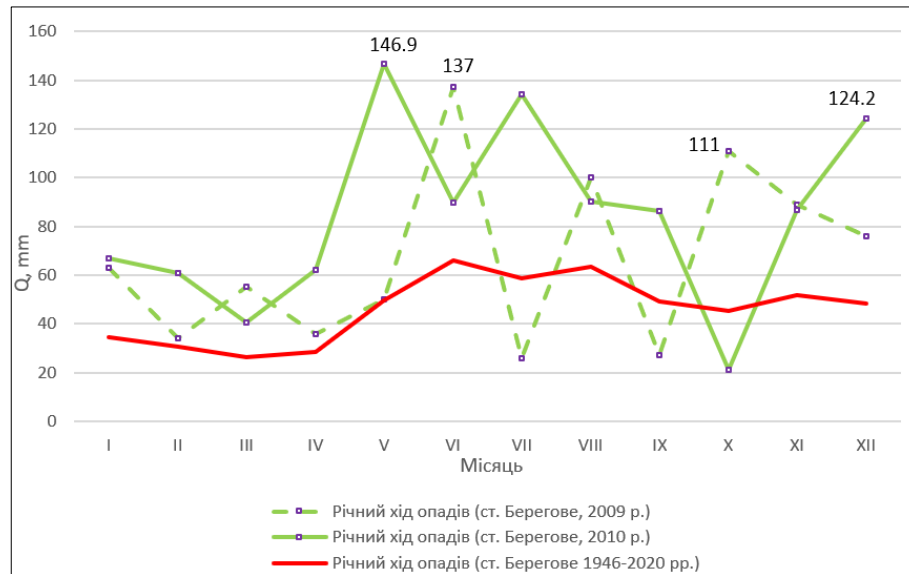
Всього у досліджуваному масиві значень було визначено 265 аномальних значень величин (точок розриву). Для метеостанцій виділено 190 точок, в той час як для опадомірних постів лише 75. При цьому, на окремих постах було виявлено до 5 точок (Круподеринці, Чонгарський міст), а на метеостанціях максимально були зафіксовані по 4 точки на гірських станціях (Пожижевська, Ай-Петрі). В зв'язку наявною достовірною інформацією про перенесення та зміну приладів для метеостанцій [50], було встановлено, що з виявлених точок розриву 25,7% не пов'язані з кліматичними факторами.

Подальші спроби пошуку факторів появи точок розриву у досліджуваному масиві привели до виділення випадків, в яких було зафіксовано неоднорідність ряду при істотному порушенні притаманному регіону річного розподілу опадів. Середньому річному ходу опадів помірної кліматичної зони, де розташована Україна, притаманних умовний нормальний розподіл з мінімумом значень в березні-лютому та максимумом у липні-червні та з деякою асиметрією кривої [50, 60].

Виокремлені порушення проявлялись у таких випадках: річний максимум зміщувався на інший період або утворювався вторинний максимум частіше в холодну пору, а також при об'єднанні двох цих причин. Окрім цього, значення місячних сум опадів спостерігались достатньо високі як для основного, так і для вторинного максимуму. Ці порушення в основному фіксувалися у попередній до відміченої точки розриву рік, або навіть в той, в якому вона спостерігається. В такому випадку річний розподіл буде характеризуватись більшою асиметрією, або виглядати як «подвійна хвиля».

Для прикладу розглянемо точку розриву у 2010 році, станція Берегове (рис. 4.13) Бачимо, що, окрім основного максимуму червня (137 мм) в 2009 році утворюється також вторинний максимум в жовтні (111 мм). Тоді як в 2010

р. спостерігається зміщення основного максимуму (травень, 146 мм), а також утворення вторинного максимуму в грудні (124 мм).



Рисю 4.13 – Річний хід опадів за окремі роки (ст. Берегове, 2009, 2010 рр.), та осереднений за період 1946-2020 рр.

Тоді можемо зробити висновок, що така наявність порушень неоднорідності в даних опадів може бути викликана саме природними причинами. Враховуючи, що основний і вторинний максимум можуть у 1,5-2 рази перевищувати значення норми місячних сум опадів, то ці порушення однорідності можуть спричинюватись саме особливостями макромасштабних процесів циркуляції у досліджуваному регіоні та їхнім впливом на опадоутворення.

Таким чином, цю неоднорідність можна віднести до нестационарності часових ряду місячних сум опадів. Отже, виникає проблема, чи є необхідним враховувати такі точки розриву при отриманні кліматично однорідного ряду.

Звісно, можливі існування і інших чинників, що призводять до однорідності в часових рядах місячних опадів, проте для вирішення цього питання необхідне проведення подальших досліджень.

4.5. Побудова просторового розподілу коефіцієнтів рівнянь лінійної регресії для початкових та гомогенізованих даних

Після проведення оцінок якості часових рядів сум опадів і їхніх перевірок на однорідність, HOMER відображує результати гомогенізації у вигляді значень коефіцієнтів рівнянь лінійної регресії окремо для початкових (raw) та гомогенізованих (ho) рядів даних. Такі розрахунки (Додаток А) використані для створення за допомогою програмного забезпечення ArcGis картосхем розподілу значень коефіцієнту лінійної регресії по всіх пунктах спостережень на території України.

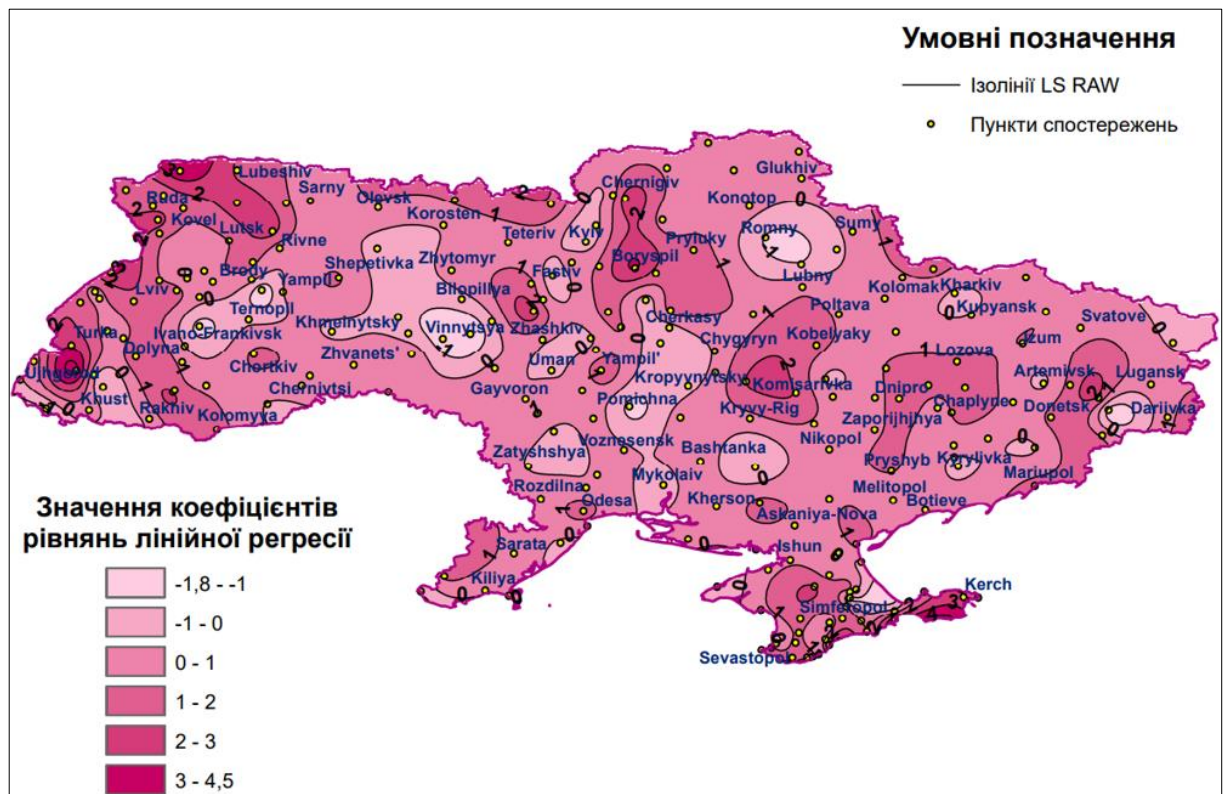


Рис. 4.14 – Просторовий розподіл розрахованих для початкових (raw) даних коефіцієнтів рівнянь лінійної регресії.

На рис. 4.14 бачимо, що розподіл для початкових даних тенденцій змін рядів місячних сум опадів відзначається істотною неоднорідністю. За досліджуваній період відмічається стійка тенденція збільшення сум опадів для північно-західних та західних регіонів з максимальними значеннями коефіцієнтів лінійних трендів 2-3. На інших територіях утворюються окремі

області зростання (станція Чернігів) чи зменшення – станція Вінниця. Такий розподіл змін поля атмосферних опадів загалом співпадає з отриманими результатами за більш короткий період спостережень в [63].

Як і очікувалось, тенденції змін сум гомогенізованих даних опадів (рис. 4.15) повторюють попередньо одержані закономірності у просторовому розподілі, але з максимумом коефіцієнтів 1-2. Можемо висловити припущення, що виправлення знайдених грубих і випадкових помилок зроблених при вимірюваннях сум опадів, які проводяться під час контролю якості даних, вносить істотний внесок в зменшення швидкості зміни сум опадів.

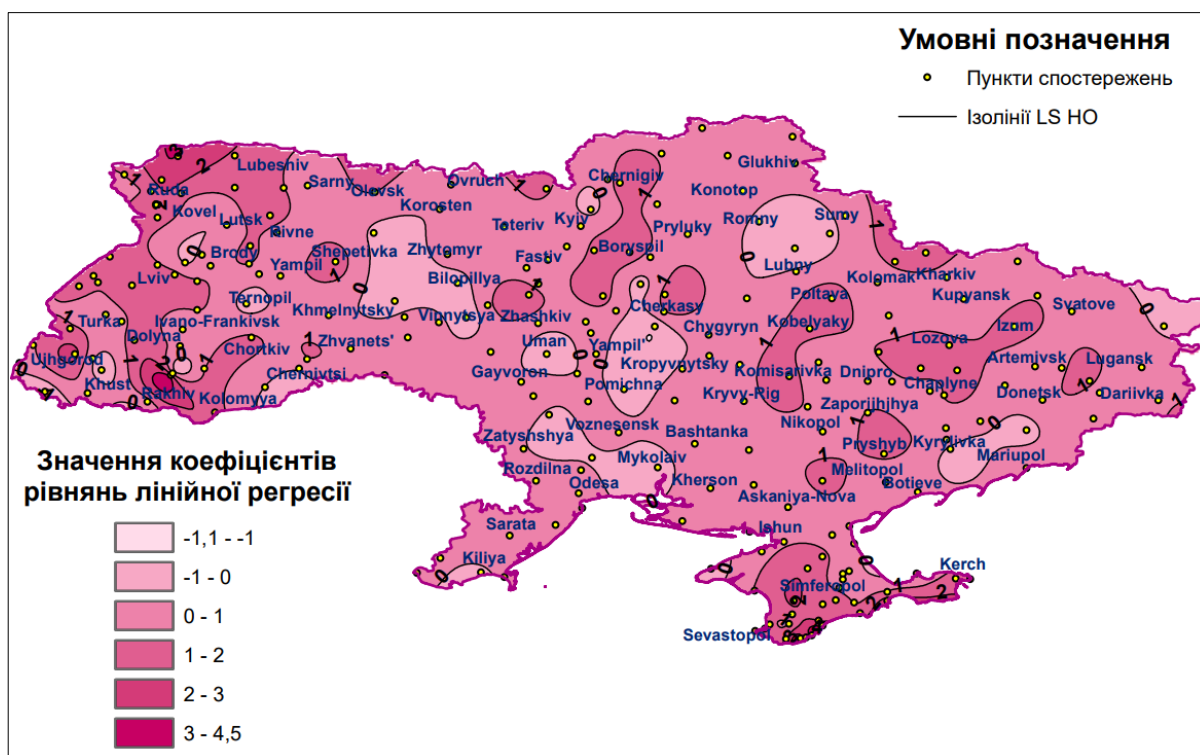


Рис. 4.15 – Просторовий розподіл розрахованих для гомогенізованих (ho) даних коефіцієнтів рівнянь лінійної регресії.

Для того, щоб визначити достовірні кліматичні індекси та показники, а також для дослідження тенденцій змін клімату за тривалий період необхідним, згідно з керівними документами ВМО [38], є використання гомогенізованих даних.

Проте, треба зазначити, що отримані гомогенізовані ряди можуть бути використані для розрахунків статистичних характеристик тільки в тих межах часу, для якого проведено гомогенізацію. Якщо є потреба приєднання нового часового проміжку даних, необхідна повторна гомогенізація для нового періоду.

ВИСНОВКИ

1. На основі програмного забезпечення HOMER (HOMogenization softwarE in R) проведений контроль якості даних та процедури гомогенізації місячних сум опадів періоду 1946-2020 рр. на території України. Встановлена задовільна точність спостережень гідрометеорологічної мережі за атмосферними опадами.
2. Виявлено в загальному масиві даних 0,66% (1316 випадків) аномальних значень, з яких 495 випадків (37,6%) було з різних причин віднесено до грубих помилок. виправлено викиди, для яких $\delta \geq \pm 1,5$, а всі інші було віднесено до природної варіативності величини.
3. Встановлені особливості просторового розподілу місячних сум атмосферних опадів до і після процедури гомогенізації. Відмічено, що розподіл тенденцій змін для гомогенізованих даних рядів опадів відзначається більшою однорідністю, порівняно з початковим.
4. Отримані гомогенізовані довгострокові ряди кліматично однорідних місячних сум опадів, які, згідно до вимог ВМО, можуть бути використані у наступних дослідженнях для оцінок регіональних змін клімату.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Auer I., Böhm R., Jurkovic A., Lipa W., Orlik A., Potzmann R.* а.о. HISTALP – Historical instrumental climatological surface time series of the greater Alpine region 1760-2003. *Int. J. Climatol.* 2007. vol. 27. pp. 17-46.
2. *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)
3. *Coll, John & Curley, Mary & Walsh, Seamus & Sweeney, John.* (2014). Ireland with HOMER
4. *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>.
5. *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)
6. *Cowtan, K. D.* (2015) Homogenization of Temperature Data: An Assessment
7. *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>.
8. *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, WCDMP84, 46-72

9. 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
10. Haylock, M.R., N. Hofstra, A.M.G. Klein Tank, E.J. Klok, P.D. Jones, M. New. 2008: A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. *J. Geophys. Res (Atmospheres)*, 113, D20119, doi:10.1029/2008JD10201
11. 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)
12. Hosseinzadehtalaei, Parisa & Kouchakzadeh, Mahdi & Shifteh Some'e, B. (2013). Homogeneity analysis of precipitation series in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*. 118. 10.1007/s00704-013-1074-y.
13. Joelsson, M., Slättberg, N., Carnebring, A., Sturm, C., & Engström, E. (2020). Automation of the interactive mode of the homogenisation software HOMER for climatological applications.
14. L. Magnus T. Joelsson, Erik Engström, Erik Kjellström, Homogenization of Swedish mean monthly temperature series 1860–2021, *International Journal of Climatology*, 10.1002/joc.7881, 43, 2, (1079-1093), (2022).
15. Mestre O., Aguilar E. HOME_R. Fast documentation. HOMER Training School, 2011. 36 p., http://www.homogenization.org/HOME_R.pdf!
16. Mestre O., Aguilar E. HOMER_R Fast documentation. Homer Training School, 2011. 36 p.
17. 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. (37)
18. 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.
19. *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>
 20. *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.
 21. *P. Luhunga, E. Mutayoba and H. Ng'ongolo*, "Homogeneity of Monthly Mean Air Temperature of the United Republic of Tanzania with HOMER," *Atmospheric and Climate Sciences*, Vol. 4 No. 1, 2014, pp. 70-77. doi: 10.4236/acs.2014.41010.
 22. *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
 23. *Paulhus, J.L., & Kohler, M.A.* (1952). INTERPOLATION OF MISSING PRECIPITATION RECORDS. *Monthly Weather Review*, 80, 129-133.
 24. *Pérez-Zanón, N., Sigró, J., Domonkos, P., and Ashcroft, L.:* 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>, 2015.
 25. *Picard F, Lebarbier E, Hoebeke M, Rigaiil G, Thiam B, Robin S.* Joint segmentation, calling, and normalization of multiple CGH profiles. *Biostatistics*. 2011 Jul;12(3):413-28. doi: 10.1093/biostatistics/kxq076
 26. *Picard, F., Robin, S., Lavielle, M.* et al. A statistical approach for array CGH data analysis. *BMC Bioinformatics* 6, 27 (2005). <https://doi.org/10.1186/1471-2105-6-27>
 27. *Prohom M., Barriendos M., Sanchez-Lorenzo A.* Reconstruction and homodenization of the longest instrumental precipitation series in the Iberian

- Peninsula (Barcelona, 1786-2014). *Int. J. Climatol*, 2016, vol. 36, iss. 8, pp. 3072-3087.
28. *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.
29. *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.
30. *Spinoni J., Szalai S., Szentimrey T., Lakatos M., Bihari Z., Nagy A. a.o.* Climate of the Carpathian Region in the period 1961–2010: climatologies and trends of 10 variables. *Int. J. Climatol*. 2015. vol. 35, iss. 7. pp. 1322-1341;
31. *Štěpánek P.* Homogenization of air temperature series in the Czech Republic during a period of instrumental measurements. *Proceedings of the Fourth seminar for homogenization and quality control in climatological databases*. WMO. Budapest, Hungary. 2004. WCDMP-No. 56. pp. 117-133;
32. *Syrakova M., Stefanova M.* Homogenization of Bulgarian temperature series. *Int. J. Climatol*. 2009. vol. 29. pp. 1835-1849.
33. *Szentimrey T.* Multiple analysis of series for homogenization (MASH). *Proceedings of the Second Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data*. WMO, Budapest, Hungary. 1999. WCDMP-No. 41. pp. 27-46;
34. *Szentimrey, T.*, 2011: Manual of homogenization software MASHv3.03, Hungarian Meteorological Service, p. 66.
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. Vincent L.A. A technique for the identification of inhomogeneities in Canadian temperature series. *J. Clim.* 1998. vol. 11. pp. 1094-1104.
37. Wang, Xiaolan & Feng, Y.. (2013). RHtestsV4 user manual. Environment Canada Science and Technology Branch Atmospheric Science and Technology Directorate Climate Research. Division Res. Rep.
38. WMO Solid precipitation measurement intercomparison: final report. WMO/TD-No.872.1998. URL: http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo-td_872.pdf
39. 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
40. Zhang L, Si J, Jiapaer G, Zhang T, Mao W, Dong S. Spatial Homogenization Adjustment and Application of Weather Station Networks in Xinjiang, China. *Atmosphere*. 2022; 13(11):1840. <https://doi.org/10.3390/atmos13111840>.
41. Балабух В.О. Траєкторії циклонів, що зумовлюють небезпечну і стихійну кількість опадів в Україні у теплий період року. *Наукові праці УкрНДГМІ*, 2004. Вип.253. с. 37-49.
42. Балабух В.О. Мінливість дуже сильних дощів та сильних злив в Україні. *Наукові праці УкрНДГМІ*, 2008. Вип. 257. с.61-72.
43. Барабаш М.Б., Корж Т.В., Татарчук, О.Г. 2004. Вивчення зміни опадів на рубежі XX і XXI століть в умовах глобального потепління клімату. с. 92-102. *Наукові праці UkrNDGMI*. Видання 253.
44. Букатов А. Е. Оценка влияния нарушений однородности рядов климатических данных на определение характеристик изменчивости атмосферных осадков в регионе Азовского моря / А. Е. Букатов, Е. А. Павленко // *Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу*. — 2011. — Вип. 24. — С. 151—162. — Библиогр.: с. 161—162
45. Врублевська О.О., Катеруша Г.П. Навчальний посібник з дисципліни «Клімат України та прикладні аспекти його використання» – Одеса: ОДЕКУ, 2012. – 180 с.

- 46.Галік О.І. Метеорологічні прилади і методи спостережень. Практикум: Навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2008. – 134 с
- 47.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.
- 48.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>.
- 49.Кліматичний довідник. Випуск 10. К.,1968. – 456 с.
- 50.Кліматичний довідник. Історія та фізико-географічний опис метеорологічних станцій України. К. – 2011. – 462 с.
- 51.Колесник П.И. Метеорологія: Практикум. – К.: "Вища школа", 1986. – 176 с;
- 52.Краковська С.В., Паламарчук Л.В.,Гнатюк Н.В., Шпиталь Т.М., Шедемченко І.П. Зміна поля опадів в Україні у ХХІ ст. за даними ансамблю регіональних кліматичних моделей // – Геоінформатика - № 4 (64), 2017 – С. 62-74.
- 53.Кульбида М.І., Олійник З. Я., Паламарчук Л. В., Галицька Є. І. Аналіз режиму опадів на території України за десятиріччя 2002-2011рр. Фізична географія та геоморфологія. 2013. № 1(69). С.127-138
- 54.Ліпінський В.М., Дячук В.А., Бабіченко В.М. Клімат України – Київ.: Вид. Раєвського, 2003. – 343 с.
- 55.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.
- 56.Нетробчук І.М. Вимірювання метеорологічних величин: наоч. посіб. – Луцьк : ВежаДрук, 2015. – 128 с.;

57. Метеорологічні прилади: методи спостережень, вимірювань та їх обробка: Навчальний посібник / за ред. В.С. Антонова. – Чернівці: Рута, 2004. – 108 с.
58. *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.
59. *Паламарчук Л.В., Осадчий В.І., Скриник О.А., Кирєєва З.М., Сіденко В.П., Ошурок Д.О., Скриник О.Я.* Використання програмного забезпечення НОМЕР 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>.
60. *Паламарчук Л.В. Басіста Є.К.* Орографічний вплив на формування просторових та часових відмінностей розподілу опадів в Українських Карпатах. Гідрологія, гідрохімія і гідрогіологія. 2019. Вип.2. С. 53-66.
61. *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 гідрогіологія. 2019. Вип. 4. С. 95- 111.
62. *Паламарчук Л.В., Шевченко О.Г.* Метеорологічні прилади та вимірювання. – К.: Видавництво «Інтерконтиненталь-Україна», 2012. – 123 с.;
63. *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.
64. *Скриник О.А., Бойчук Д.О., Сіденко В.П.* Виявлення та усунення кліматологічної неоднорідності у часових рядах кліматологічних показників. Гідрологія, гідрохімія і гідрогіологія. 2019. Вип. 2(53). С. 88-100.
65. *Шевченко О.Г., Сніжко С.І., Круківська А.В.* Ш37 Практикум з метеорології та кліматології / Шевченко О.Г., Сніжко С.І., Круківська А.В. – К.: ФОП Маслаков, 2018. – 117 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Табл. А.1.1 – Значення коефіцієнтів лінійної регресії для початкових (ra) та гомогенізованих (ho) даних спостережень за 1946-2020 р.

Назва пункту	Коеф.ЛР (ra)	Коеф.ЛР (ho)	Назва пункту	Коеф.ЛР (ra)	Коеф.ЛР(ho)
Lubeshiv	1.873556	1.873556	Nizhyn	0.607977	0.650444
Svityaz	1.297991	1.02674	Oster	-0.221383	-0.221383
Manevychi	2.43433	1.328927	Pryluky	1.385595	0.542472
Kovel	1.269078	1.386091	Olevsk	0.812717	0.992657
Volodymyr-Volyn.	1.459695	1.488805	Ovruch	1.152044	0.492839
Lutsk	1.03216	0.189317	Korosten	0.124486	0.124486
Sarny	0.338885	0.522947	Novograd-Voln.	-0.418175	-0.180102
Rivne	0.490546	0.490546	Zhytomyr	0.346723	0.346723
Dubno	1.153289	1.153289	Chornobyl	1.787327	1.097519
Rava-Ruska	3.044364	1.289505	Teteriv	0.499009	0.50124
Kamyanka-Buzka	1.101519	1.101519	Kyiv	0.39165	0.39165
Brody	0.693863	0.693863	Boryspil	1.184876	1.184876
Mostyska	1.633161	1.210751	Baryshivka	2.386036	1.401272
Yavoriv	0.714443	1.313516	Yagotyn	1.690657	0.762504
Lviv	1.692023	1.692023	Fastiv	1.244594	0.560475
Drohobych	0.685215	0.685215	Bila-Tserkva	0.665593	0.665593
Stry	0.812942	0.812942	Myronivka	1.272706	1.272706
Turka	2.857155	1.144956	Zolotonosha	1.253038	1.253038
Slavske	0.81303	1.113977	Cherkasy	-0.41555	0.918193
Shepetivka	1.057684	1.411895	Zhashkiv	0.181487	0.415767
Yampil	-0.002599	0.642504	Smila	-0.75943	-0.744609
Khmelnysky	-0.124023	0.204851	Chygyryn	0.112727	0.217772
Nova-Ushytsya	0.584786	0.61404	Zvenygorodka	0.303203	0.303203
Kamyanets-Podil.	0.932951	0.928996	Uman	-0.09004	-0.410279
Kremenets	0.273524	0.996367	Bilopillya	-0.311169	-0.346896
Ternopil	-0.228402	-0.271314	Khmilnyk	-0.470111	-0.485129
Berezhany	-1.272893	1.014105	Vinnytsya	-1.6033	0.269428
Chortkiv	1.120021	1.089178	Zhmerynka	0.639804	0.589807
Dolyna	1.649251	1.475388	Gaysyn	0.250936	0.560128
Ivano-Frankivsk	0.750376	0.750376	Mogyliv-Podils	0.151594	0.148595
Yaremche	2.038963	2.380435	Novomyrgorod	-0.326122	-0.326122
Kobelyaky	1.376707	1.25369	Znamyanka	0.314708	0.314708
Nyzhni-Vorota	4.132996	2.245599	Kirovograd	-0.221119	0.138859
Rakhiv	0.343165	0.638515	Gayvoron	0.241468	0.241468
Kolomyya	0.753799	0.983073	Pomichna	-1.201036	-0.346489
Velykiy-Berezni	0.474538	0.931385	Bobrynets	0.397266	0.397266
Nyzhniy-Studeniy	0.26258	0.133257	Lubashibka	-0.26664	-0.227861
Ujhorod	-0.100677	0.387397	Zatyshshya	-0.026827	0.047844
Mizhgirrya	-0.778223	-0.525821	Serbka	0.242278	0.07056
Beregove	-1.022297	-0.797792	Rozdilna	0.412474	0.250213

Продовження таблиці А.1.1

Пункт спостережень	Коеф.ЛР (ra)	Коеф.ЛР (ho)	Пункт спостережень	Коеф.ЛР (ra)	Коеф.ЛР (ho)
Khust	0.500587	0.7806	Odesa	0.43764	0.209644
Chernivtsi	-0.025792	-0.025792	Sarata	0.66486	0.844552
Seliatyn	1.435093	1.440333	Bolgrad	1.171963	0.250871
Semenivka	0.816092	0.55835	Bilgorod-Dnistrovs.	-0.138335	0.278549
Shchors	0.814135	0.90511	Vylkove	0.150848	0.150848
Pokoshychi	0.916967	0.957579	Pervomaysk	0.365644	0.372432
Chernigiv	0.635767	0.635767	Voznesensk	0.156259	0.156259
Mykolaiv	-0.256006	-0.256006	Bashtanka	0.391606	0.453511
Ochakiv	-0.935795	0.39602	Debaltseve	1.221944	0.760657
Velyka-Oleksandr.	0.84408	1.308996	Krasnoarmiiysk	0.847859	0.726782
Nyzhni-Sirogozy	1.207994	0.824074	Donetsk	-0.025678	-0.298341
Nova-Kakhovka	0.430612	0.452185	Amvrosiivka	1.311243	0.847895
Kherson	0.774817	0.00765	Volnovakha	1.063055	1.063055
Askaniya-Nova	0.241684	0.241684	Mariupol	0.486754	0.486532
Bekhtery	1.172595	0.376683	Gubynykha	1.483522	1.483522
Genichesk	0.25784	0.24627	Dnipropetrovsk	1.932218	1.284208
Khorly	-0.165406	0.141471	Pavlograd	1.681018	0.807716
Strilkove	0.319927	0.295067	Komisariivka	1.037861	1.037861
Druzhba	0.508836	0.508836	Synelnykove	0.68061	0.717926
Glukhiv	0.480179	0.42462	Chaplyne	0.90472	0.90472
Konotop	0.319326	0.319326	Kryvy-Rig	0.804311	0.434162
Sumy	-1.058324	-0.181414	Loshkarivka	0.886385	1.0339
Romny	-0.22934	-0.22934	Nikopol	0.556097	0.556097
Lebedyn	-0.901875	-0.901875	Zaporijhja	1.033137	1.159883
Gadyach	0.696026	0.148552	Gulyaypole	-0.145928	-0.235915
Lubny	0.837007	0.129579	Pryshyb	0.125653	0.125653
Vesely-Podil	0.858911	1.436452	Kyrylivka	0.321144	0.321144
Poltava	1.362423	1.380407	Melitopol	0.54476	0.54476
Kobelyaky	0.843649	1.202589	Berdyansk	0.823337	0.810873
Zolochiv	0.57911	0.57911	Botieve	0.679202	0.625533
Bogodukhiv	0.277031	0.254478	Ishun	0.652529	1.356265
Prykolotne	-0.138153	0.717932	Rozdolne	-0.868218	-0.375696
Kolomak	0.944011	0.944011	Dzhankoi	2.017799	1.847289
Kharkiv	0.035515	0.309329	Chornomorske	0.577907	0.098706
Kupyansk	0.358964	0.358964	Klepinine	1.05351	0.026623
Komsomolske	1.004035	1.236441	Nyzhnogirsky	2.211146	1.389895
Krasnograd	1.200107	1.180452	Mysove	1.301516	1.29827
Izum	0.715253	0.730902	Kerch	0.767147	1.065161
Lozova	-0.110745	-0.110745	Opasne	0.378761	1.17872
Svatove	0.508663	0.508663	Evpatoriya	1.588886	1.542626
Bilovodsk	0.731053	0.843664	Vladyslavivka	1.551991	2.134356
Lugansk	1.3633	0.896953	Bilogirsk	3.536861	2.528888
Dariivka	1.866207	1.173579	Simferopol	1.127689	1.694771
Artemivsk	0.703734	0.640674	Feodosiya	3.244256	2.74602

Продовження таблиці А.1.1

Пункт спостережень	Коеф.ЛР (ra)	Коеф.ЛР (ho)	Пункт спостережень	Коеф.ЛР (ra)	Коеф.ЛР (ho)
Krupoderyntsi	-1.751402	-0.624555	Trijtsya	0.35426	1.081627
Lityn	2.016378	0.681422	Bus'k	0.468779	0.109815
Zoziv	0.154408	0.039792	Sasiv	-1.5591	0.381972
Oleksandro-Stepanivka	1.063301	0.781559	Zhvanets'	0.008499	0.109411
Pokotylove	0.157663	-0.046071	Pidgajtsi	1.710355	0.859667
Osychky	1.4192	0.148856	Galych	-0.49141	0.600492
Berezivka	-0.923239	0.314478	Dora	3.071793	1.497257
Kuyal'nyts'kyj lyman	0.119136	-0.140578	Litky	-0.528337	0.946336
Reni	0.046492	0.110031	Berezan'	2.376265	1.575127
Kiliya	-0.115769	0.485434	Zdorivka	1.031615	0.457636
Chongars'kyj Mist	-1.184726	0.391522	Fesyury	-0.078143	0.38202
Oleksijevo-Druzhkivka	-0.037771	0.256165	Korsun'-Shevchenkivs'kyj	1.617565	0.190245
Yampil'	-0.489754	0.221485			

Закінчення таблиці А.1.1