

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра метеорології та кліматології

**КОМПЛЕКСНА МАГІСТЕРСЬКА
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

ДИНАМІКА ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ТЕМПЕРАТУР І ОПАДІВ В УКРАЇНІ В
КОНТЕКСТІ СУЧАСНИХ ЗМІН КЛІМАТУ

1. Динаміка екстремальних температур в Україні в умовах сучасних змін клімату

Виконав магістр групи МЗК-18
Богушенко А.О.
Керівник: доц., к.геогр.н. Хоменко І.А.

2. Динаміка екстремальних опадів в Україні в умовах сучасних змін клімату

Виконав магістр групи МЗК-18
Яценко В.О.
Керівник: доц., к.геогр.н. Хоменко І.А.

Провідний науковий керівник: доц., к.геогр.н. Хоменко І.А.

Рецензент: д.геогр.н., проф. Берлінський М.А.

Одеса 2020 р.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет Гідрометеорологічний інститут

Кафедра метеорології та кліматології

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: Динаміка екстремальних опадів в Україні
в умовах сучасних змін клімату

Виконав магістр 2 курсу групи МЗК – 18
спеціальності 103 “Науки про Землю”

Яценко Владислава Олександрівна

Керівник к.геогр.н., доц.

Хоменко Інна Анатоліївна

Рецензент д.геогр.н., проф.

Берлінський Микола Анатолійович

Одеса 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут, факультет Гідрометеорологічний інститут
Кафедра метеорології та кліматології
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність 103 "Науки про Землю"
(шифр і назва)
Освітньо-наукова програма Кліматологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

Прокоф'єв О.М.

“ 23 ” березня 2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Яценко Владиславі Олександрівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Динаміка екстремальних опадів в Україні
в умовах сучасних змін клімату

керівник роботи Хоменко Інна Анатоліївна, к.геогр.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “04” березня 2020 року № 23-с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 12 травня 2020 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) річні значення екстремальних кліматичних
індексів, що характеризують режим опадів, для шістнадцяти станцій України, а
саме: м. Ай-Петрі, Асканія Нова, Вінниця, Керч, Київ, Лубни, Луганськ, Львів,
Миколаїв, Одеса, Полтава, Ужгород, Умань, Феодосія, Чернівці, Шепетівка за весь
період інструментальних спостережень на цих станціях

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) побудова теоретичних розподілів для середньорічних температур і
емпіричних розподілів для 10 екстремальних кліматичних індексів, які
характеризують режим опадів; виявлення просторово-часових змін у вологісному
режимі України і здійснення висновків щодо змін річної суми опадів, максимальної за
рік одноденної кількості опадів і індексу посушливості у майбутньому з
використанням методів спектрального і гармонічного аналізу; побудова просторових
розподілів відхилень середніх значень індексів за період 1981-2010 рр. від їх
кліматичної норми, визначеної за період 1961-1990 рр.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Просторові розподіли відхилень середніх значень індексів за 1981-2010 рр. від їх кліматичної норми; графічне представлення теоретичних розподілів середньорічної температури і емпіричних розподілів екстремальних температурних індексів; графічне представлення часового ходу спостережуваних значень індексів і значень індексів, змодельованих і спрогнозованих за допомогою гармонічного аналізу.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 23 березня 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін Виконання етапів проекту (роботи)	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	Вивчення літературних джерел за темою дипломного проекту.	23 березня - 5 квітня 2020р.	98	відмінно
2.	Підготовка даних метеорологічних спостережень до обробки.	1-5 квітня 2020р.	100	відмінно
3.	Обробка даних метеорологічних спостережень за допомогою графічно-розрахункових пакету «Excel», пакету прикладних програм «Matlab»	6-11 квітня 2015р.	100	відмінно
4.	Отримання теоретичних і емпіричних розподілів за різні кліматичні періоди, виявлення лінійних трендів, визначення коефіцієнтів рівнянь регресії, застосування спектрального і гармонічного аналізу для моделювання і прогнозування середньорічної і екстремальних температур. побудова графіків. Побудова карт за допомогою картографічного пакету Golden Software Surfer.	12-18 квітня 2020р.	100	відмінно
5.	Аналіз отриманих результатів.	19-23 квітня 2020 р.	98	відмінно
Атестація		20-26 квітня 2020 р.	100	відмінно
6	Аналіз отриманих результатів.	24 квітня – 5 травня 2020р.	98	відмінно
7.	Оформлення магістерської роботи.	6 – 10 травня 2020 р.	100	відмінно
8.	Підготовка комп'ютерної презентації та доповіді до захисту магістерської роботи.	11-20 травня 2020 р.	100	відмінно
9	Попередній захист дипломної роботи.	23-24 травня 2020 р.	100	відмінно
Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)			99	відмінно

Студент Яценко В.О.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи Хоменко І.А.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Анотація

Тема: „Динаміка екстремальних опадів в Україні в умовах сучасних змін клімату”

Автор: Яценко В.О.

Актуальність проблеми. Один з найпомітніших прикладів змін клімату – це підвищення середньої глобальної температури на $0.72 \pm 0.18^\circ\text{C}$ тільки за останні 100 років (1906 – 2005). Підвищення середньої глобальної температури прискорює і інтенсифікує водний цикл, в результаті чого відбуваються більш сильні шторми, повені і посухи. Інтенсифікований водний цикл може також здійснювати вплив на різні аспекти людської діяльності, а саме охорона здоров'я, експлуатація водно-енергетичних ресурсів, екосистеми, продовольча безпека і промислове і муніципальне водопостачання

Метою даної роботи є було виявлення особливостей динаміки і просторового розподілу екстремальних опадів на території України в умовах сучасних змін клімату.

Відповідно до поставленої мети було розв'язано такі **задачі**:

- побудовано теоретичні розподіли для річних сум опадів і емпіричні розподіли для 10 екстремальних кліматичних індексів, що характеризують вологісний режим;
- виявлено лінійні тренди за весь період спостережень і кліматичні періоди 1901-1930 рр., 1931-1960 рр., 1961-1990 рр., 1981-2010 рр., визначено рівняння регресії лінійних трендів і їх статистичну значущість для $\alpha = 0.05$ і $\alpha = 0.01$ для 15 екстремальних індексів, які характеризують режим опадів, для 16 станцій України;
- для виявлення просторово-часових змін у вологісному режимі України застосовано модель лінійної регресії і тест Манна-Кендалла. Для здійснення прогнозу річної кількості опадів, індексу посушливості і максимальної за рік одноденної кількості опадів на найближчі 22 роки (2019-2050 рр.) було застосовано методи спектрального і гармонічного аналізу;
- побудовано просторові розподіли відхилень середніх значень індексів за період 1981-2010 рр. від їх кліматичної норми, визначеної за період 1961-1990 рр.

Об'єкт дослідження – екстремальні кліматичні індекси, які характеризують режим опадів.

Предмет дослідження – кліматичні і фізико-статистичні характеристики екстремальних індексів, які характеризують режим опадів

Методи дослідження – фізико-статистичний та кліматичний аналіз.

Наукова новизна отриманих результатів.

В даній роботі *вперше* для території України:

- отримано просторово-часовий розподіл екстремальних індексів, які характеризують режим опадів;
- здійснено прогноз річної кількості опадів, індексу посушливості і максимальної за рік одноденної кількості опадів до 2050 р. для восьми станцій України за допомогою гармонічного аналізу.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані режимні характеристики можуть бути використані для ефективного вирішення проблем адаптації до змін клімату і пом'якшення наслідків змін клімату.

Магістерська робота в обсязі 160 сторінок складається з 3 розділів, висновків, переліку посилань з 31 джерела, чотирьох додатків, містить 25 рисунки та 6 таблиць.

Ключові слова: екстремальні кліматичні індекси, глобальне потепління, екстремальні опади, аналіз трендів, прогноз опадів

Summary

Theme: „Extreme precipitation dynamics in Ukraine in the context of the modern climate change”

Author: Yatsenko V.O.

Urgency of the issue. One noticeable example of changing climate is an increase in the global average temperature by $0.74\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.18\text{ }^{\circ}\text{C}$ in only the last 100 years (1906–2005). This global warming has been accelerating and intensifying the water cycle of the world, which can result in more violent storms, floods, and droughts. The intensified water cycle can influence every aspect of human activities, such as human health, water energy exploitation, ecosystems, food security, and industrial and municipal water supplies.

Aim of this study is to reveal features of dynamics and spatial distribution of extreme precipitation over Ukraine in the context of the modern climate change.

According to aim assigned **such tasks** are solved:

- non-parametric probability distribution of annual precipitation and empirical probability distributions of ten extreme precipitation indices are derived;
- linear trends are obtained for period of available observations for each stations and periods of 1901-1930, 1931-1960, 1961-1990, 1981-2010, linear trend equations are derived and their statistical significance are determined for $\alpha = 0.05$ i $\alpha = 0.01$ for 10 extreme precipitation indices for 16 stations of Ukraine;
- in order to reveal spatiotemporal changes in the temperature conditions of Ukraine a combination of linear regression and Mann-Kendal test are used. Annual precipitation, annual maximum 1-day precipitation and maximum number of consecutive days when precipitation $<1\text{ mm}$ were predicted by a combination of spectral analysis and harmonic regression for the next 22 years (2019-2050)
- spatial distribution anomaly of extreme precipitation indices for 1981-2010 period relative to the 1961-1990 mean are obtained.

Object of scientific research is extreme precipitation indices.

Subject of scientific research is climatic characteristics and statistical characteristics of extreme precipitation indices.

Methods of scientific research is statistical and climatic analysis.

Scientific novelty of results obtained.

In this study for the Ukraine for the first time

- spatiotemporal distributions of extreme precipitation indices are obtained;
- prediction of annual precipitation, annual maximum 1-day precipitation and maximum number of consecutive days when precipitation $<1\text{ mm}$ are made up to 2050 for eight stations of Ukraine using the combination of spectral analysis and harmonic regression.

Practical importance of results obtained. The results obtained are practically important for solution for the problems of climate change adaptation and mitigation.

Master thesis of 160 pages consists of three chapters, conclusions, bibliography of 31 sources, four annexes, contains 25 figures and 6 tables.

Keywords: extreme climate indices, global warming, extreme precipitation, trend analysis, precipitation prediction

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Методики оцінки змін, які відбуваються у повторюваності та інтенсивності екстремальних кліматичних і погодних явищ.....	9
1.1 Екстремальні кліматичні індекси, які використовуються для характеристики температурно-вологісного режиму.....	9
1.2 Екстремальні кліматичні індекси ETCCDMI для характеристики режиму опадів.....	15
2 База даних і методика дослідження.....	21
2.1 Аналіз лінійних трендів.....	22
2.2 Аналіз емпіричних розподілів.....	25
2.3 Аналіз часових рядів.....	25
2.4 Просторовий аналіз індексів.....	27
3 Просторово-часовий розподіл екстремальних індексів, які характеризують режим опадів, над територією України в контексті сучасних змін клімату.....	28
3.1 Сучасні зміни в часовому розподілі опадів на території України.....	29
3.2 Сучасні зміни в просторово-часовому розподілі абсолютних індексів, які характеризують режим опадів, на території України.....	34
3.3 Сучасні зміни в просторово-часовому розподілі індексів тривалості, які характеризують режим опадів, на території України.....	46
3.4 Сучасні зміни в просторово-часовому розподілі процентильних індексів, які характеризують режим опадів, на території України.....	56
3.5 Сучасні зміни в просторово-часовому розподілі фіксованих порогових індексів, які характеризують режим опадів, на території України.....	62
3.6 Сучасні зміни в просторово-часовому розподілі позакатегоріальних індексів, які характеризують режим опадів, на території України.....	68
Висновки.....	75
Перелік посилань.....	78
Додаток А.....	81
Додаток Б.....	86
Додаток В.....	106
Додаток Г.....	141

ВСТУП

Зміни клімату, глобальне потепління і глобальний енергетичний дисбаланс розглядаються як основні наслідки різкого підвищення концентрації парникових газів через людську діяльність, особливо індустріалізацію, спалення корисних копалин і змін у земле/ландшафтокористуванні. Один з найпомітніших прикладів змін клімату – це підвищення середньої глобальної температури на $0.72 \pm 0.18^\circ\text{C}$ тільки за останні 100 років (1906 – 2005). Глобальне потепління суттєвий вплив здійснює на глобальні і регіональні водні ресурси, зокрема на багаторічний режим і кількість атмосферних опадів, що пояснюється зміною меридіонального градієнта температури, впливом на характер атмосферної циркуляції і інтенсивність перенесення водяної пари з океанів. Встановлено, що в найзагальніших рисах в умовах глобального потепління в нетропічній зоні кількість опадів зростає, в субтропіках спостерігається тенденція до їх зменшення [4]. Підвищення середньої глобальної температури також прискорює і інтенсифікує водний цикл, в результаті чого відбуваються більш сильні шторми, повені і посухи. Інтенсифікований водний цикл може також здійснювати вплив на різні аспекти людської діяльності, а саме охорона здоров'я, експлуатація водно-енергетичних ресурсів, екосистеми, продовольча безпека, промислове і муніципальне водопостачання [21].

Всесвітня метеорологічна організація і Об'єднана експертна група з виявлення кліматичних змін та індексів змін клімату розробили і запровадили 27 основних індексів, які характеризують екстремальні відхилення кліматичних явищ і рекомендували окремим країнам провести дослідження цих індексів з метою їх узагальнення для крупних регіонів або для Земної кулі в цілому для проведення відповідного порівняльного аналізу. Шістнадцять з цих індексів використовуються для характеристики температурного режиму, а одинадцять – для характеристики режиму опадів.

Метою даної роботи було виявлення особливостей динаміки і просторового розподілу екстремальних опадів на території України в умовах сучасних змін клімату.

Для вивчення режиму екстремальних опадів на території України було залучено річні значення десяти індексів, рекомендованих Експертною групою моніторингу, для характеристики екстремальних кліматичних явищ, пов'язаних з опадами, для 16 станцій України за весь доступний період спостережень.

Роботу виконано на кафедрі метеорології та кліматології під керівництвом к.геогр.н., доц. Хоменко І.А.

1 МЕТОДИКИ ОЦІНКИ ЗМІН, ЯКІ ВІДБУВАЮТЬСЯ У ПОВТОРЮВАНOSTІ ТА ІНТЕНСИВНОСТІ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ КЛІМАТИЧНИХ І ПОГОДНИХ ЯВИЩАХ

1.1 Екстремальні кліматичні індекси, які використовуються для характеристики температурно-вологісного режиму

Підвищення повторюваності і інтенсифікація кліматичних стихійних лих в останній час спричиняють великі економічні збитки і навіть людські жертви. Життя і діяльність людей напряду залежить від змін, які відбуваються в навколишньому середовищі. Характер цих змін відбивається в різноманітності кліматичних характеристик. Особливо гостро сьогодні постає питання щодо зміни характеристик екстремальних станів кліматичної системи, які показують межі їх природної мінливості. Окрім того, викликає велику занепокоєність і наслідки небезпечних явищ погоди, які в своїй більшості мають гідрометеорологічне походження. Питання щодо заходів з пом'якшення наслідків екстремальних явищ погоди є одним з пріоритетних, а дослідження кліматичних екстремумів – однією з головних сфер діяльності Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО). Дані проблеми обумовлюють необхідність кращого розуміння тенденцій у змінах клімату, а перед метеорологією, гідрологією та пов'язаними з ними геофізичними науками постають нові задачі. В зв'язку з цим в теперішній час проводяться масштабні дослідження з оцінки ймовірних впливів змін клімату на весь спектр екстремальних кліматичних умов. Але ще й досі немає надійних підтверджень щодо статистичної значущості збільшення (або зменшення) інтенсивності і тривалості екстремумів, чи їх зв'язку зі змінами клімату [3]. Тільки на сьогоднішній день ми можемо давати більш повні оцінки поведінки (повторюваності і інтенсивності) екстремальних кліматичних явищ, оскільки стають доступними більш нові дані, подовжуються багаторічні ряди

гідрометеорологічної інформації. У зв'язку з цим актуальними стають завдання виявлення змін клімату як на глобальному, так і на регіональному рівні. Важливість і перспективність досліджень регіональних проявів глобальної зміни клімату не викликає сумнівів, оскільки сучасна глобальна зміна є інтегральним показником регіональних змін клімату, тим більше що на регіональному рівні особливо сильно проявляються негативні наслідки кліматичних змін.

Погодні та кліматичні екстремуми є більш інформативними, ніж середні показники, оскільки останні мають потребу в додатковій інтерпретації, оскільки навіть для температури зміни можуть бути неузгодженими між середнім та екстремумами, мінімальними і максимальними значеннями та іншими частинами розподілу [15,11] через зміни у зворотних процесах або енергетичному спектрі, які можуть впливати на інші частини розподілу [31]. Хоча екстремальні явища погоди реалізуються нечасто, а отже зазвичай мають набагато меншу повторюваність на відміну від середніх станів погоди, проте, вони мають більшу мінливість [29]. Тому в сучасних наукових дослідженнях при оцінці мінливості погоди і клімату все частіше використовуються екстремальні кліматичні індекси.

Існує декілька визначень кліматичних екстремумів, які використовуються в наукових працях одночасно, тому, для того щоб уникнути помилкової інтерпретації, треба в подальшому визначитись з термінологією, яка використовується для опису екстремальних явищ в кліматології [3, 4]. Частково помилкове вживання різних термінів відбувається через те, що слово "екстремум" може використовуватись як для характеристики кліматичної змінної, так і для характеристики впливу.

У випадку змін клімату, які стосуються температури повітря біля поверхні землі або кількості опадів, поняття "екстремуму" досить чітко визначене і зазвичай відноситься до значень величини, що спостерігаються у хвостах розподілу, тобто значень, що, як очікується, реалізуватимуться досить рідко. Проте, навіть у цьому випадку може бути неоднозначність щодо

визначення поняття "екстремум". Наприклад, велика кількість кліматичних досліджень щодо "екстремумів" стосується показників повторюваності чи інтенсивності явищ, які, власне, описують частини розподілу, які не є досить екстремальними, такі як хвилі тепла, які вважаються, що відбулись, якщо максимальна температура більша за 90-ту процентиль добової максимальної температури.

Такі явища реєструються кожного сезону, і їх, зазвичай, вивчають, визначаючи, чи є тенденції щодо їх частоти. В літературі їх часто називають "помірні екстремуми", але цей термін не використовується в математичній статистиці через те, що такі значення величини не обов'язково розглядатимуться як екстремуми у статистичному сенсі. Однак фізичні механізми реалізації "помірних екстремумів", все-таки схожі з тими, які відіграють значну роль у формуванні екстремальних явищ [9]. Існують також випадки, коли розподіл значень певної величини вище за 90-ту процентиль може бути добре апроксимований екстремальним розподілом величини. Дуже часто запропоновані кліматичні індекси, наприклад деякі кліматичні індекси ETCCDI [18] не можна охарактеризувати навіть як помірні екстремуми, оскільки вони визначають різні точки в розподілі добових температур та опадів, які не є екстремальними, наприклад, добова мінливість, або, принаймні не скрізь, наприклад, річна кількість морозних днів.

Існує також ціла низка робіт, яка зосереджується на значеннях кліматичних характеристик, які, зазвичай, не повторюються щороку. У цьому випадку ця концепція добре відповідає тій, що використовується в математичній статистиці, а, отже, в цьому є доступними потужні статистичні інструменти, засновані на теорії екстремальних значень, для аналізу історичних та майбутніх екстремумів (наприклад, в працях [7,14]). Такі інструменти від самого початку були розроблені для того, щоб можна було передбачити значення поза діапазоном розглядуваної вибірки, оскільки, існує проблема оцінки значень, які спостерігаються один раз на сто років, на основі 30-ти або 40-річної вибірки. Отже, поняття "екстремум" в цьому контексті

визначається як дуже високі проценти, такі як 95-та, 99-та або 99,9-та проценти річних максимальних значень. Важливим аспектом цієї теорії є кількісна оцінка невизначеності таких екстраполяцій за допомогою обчислення належним чином побудованих довірчих інтервалів. Все частіше ці інструменти використовуються для оцінки екстремальних явищ, які змодельовані в кліматичних моделях [9, 10]. Ці інструменти отримують подальший розвиток у статистичних науках, і зараз існує дуже високий рівень взаємодії між суспільством та науковою спільнотою щодо розробки та застосування методів, які можуть бути використані в кліматичних науках, таких як інструментарій ExtREmes [12].

У випадку екстремумів, які визначаються їх впливом, поняття того, що представляє собою екстремум, може бути менш чітко визначеним, і це може вплинути на підходи, доступні для аналізу. Наприклад, усі тропічні циклони, які класифікуються як шторми категорії 1–5 за шкалою Саффіра-Сімпсона, вважаються екстремальними через високий потенціал, який може завдати шкоди через сильні вітри, опади та/або повені від штормових хвиль. Штормові хвилі є важливою складовою енергетики кліматичної системи і виникають у більш-менш постійній кількості (в усьому світі) щороку. Їх складніше характеризувати статистичними методами, ніж, наприклад, екстремальні температурні явища, які можна виявляти у певних фіксованих місцевостях. Кількість тропічних циклонів у певних регіонах не є постійною, регіони, їх шляхи змінюються з часом, і тому історичні дані, які можуть бути використані для виявлення тропічних циклонів у хвостах відповідного розподілу ймовірностей, незважаючи на постійне вдосконалення, зазнають значних неоднорідностей [24, 20].

Доцільно “екстремальне явище” охарактеризувати як чітко визначене погодні або кліматичне явище, яке спостерігається зрідка в умовах сучасного клімату. Термін “чітко визначений” припускає, що таке явище має бути визначене в термінах вимірюваних фізичних кількісних характеристик такі як температура, кількість опадів, рівень стоку тощо; термін “рідко”

використовується для оцінки значень на кінцях розподілу величини, починаючи з 90-тої процентилі розподілу, для того щоб захопити “помірні” екстремуми.

Важливо зазначити, що зв'язок між екстремальними явищами та надзвичайними наслідками (тобто природними катастрофами) не є простим. Явища, які з статистичної точки зору є малопоширеними, не обов'язково можуть призвести до наслідків, у випадку відсутності впливу або вразливості до цього явища. Вплив надзвичайного явища може залежати від сезону, його тривалості та одночасного виникнення подальших екстремальних явищ, наприклад, посуха, яка спостерігається разом з хвилями тепла [24]. Настання надзвичайної події не обов'язково означає економічні збитки. Скоріше виникнення збитків також залежить від того, чи є якась інфраструктура під загрозою та її характеристики, густота населення, фактори, що впливають на вразливість населення, зокрема те, чи вживаються заходи реагування на надзвичайні ситуації тощо [13]. І навпаки, не всі збитки від погодних чи кліматичних подій пов'язані з надзвичайними явищами, як було визначено вище. Наприклад, погана будівельна практика може призвести до того, що “нормальне” або помірне за своєю інтенсивністю явище може викликати надзвичайні збитки. Наприклад, хоча у 2011 р. в Таїланді повинь заподіяв страхових збитків у розмірі понад вісім мільярдів доларів США, кількість дощу, що випала в регіоні, була не винятковою [25]. Це питання добре знайоме галузі страхування, яка використовує моделі пошкоджень для зв'язку екстремальних подій із впливами [17,26]. Екстремальний вплив на екосистеми також може статися після помірних подій, наприклад коли вони ускладнюються іншими кліматичними явищами [24,10].

Використовуючи підходи, які було описано вище, об'єднаною експертною групою з виявлення кліматичних змін та індексів змін клімату (ETCCDMI) в рамках проекту CLIVAR – “Клімат і океан – мінливість, передбачуваність та зміни” під егідою Комісії з кліматології ВМО та об'єднаної технічної Комісії з океанології і морської метеорології були

запропоновані індекси [8,18,31] з метою моніторингу змін, які відбуваються в екстремальних значеннях метеорологічних величин таких як температура біля поверхні землі і кількість опадів, спостереження за якими здійснюються на регулярній основі.

Ці індекси зазвичай включають: (1) абсолютні значення, такі як, річні максимуми і мінімуми температури і річну максимальну кількість опадів; (2) частоту перевищення фіксованих абсолютних порогових значень, а саме: кількість днів на рік з кількістю опадів вище за 20 мм; (3) частоту подолання фіксованих відносних порогових значень таких як 90-та перцентиль добової максимальної температури або 10-та перцентиль добової мінімальної температури, де порогові значення визначаються на основі стандартного кліматичного періоду 1961 – 1990 рр.; а також (4) безрозмірні індекси, а саме: частка річної кількості опадів, яка генерується явищами, що надають кількість опадів вищу за значення 95-тої перцентилі.

Саме ці індекси найчастіше використовуються, оскільки вони описують такі аспекти мінливості температури і опадів, які здійснюють соціальний, економічний або екологічний вплив в більший-менший степені. Відносні індекси також мають перевагу в тому, що вони можуть бути застосовані для різних кліматичних зон і за їх допомогою можна надавати стійкі і надійні оцінки щодо змін клімату. Експертна група з виявлення кліматичних змін та індексів змін клімату запровадила 27 основних індексів для оцінки екстремальних температур і опадів відхилення явищ клімату і рекомендувала окремим країнам провести дослідження цих індексів, з метою їх узагальнення для великих регіонів або для Земної Кулі в цілому, і проведення відповідного порівняльного аналізу [23]. Чітке і зрозуміле викладення етапів розробки цих індексів можна знайти в роботі [30].

Розрахунок індексів потребує доступ до високоякісних, щоденних, однорідних метеорологічних даних. Високоякісні дані є доступними в гідрометеорологічних службах багатьох країн,

Шістнадцять з 27 індексів, рекомендовані Експертною групою з виявлення кліматичних змін та індексів змін клімату (ETCCDMI) є температурними, а одинадцять характеризують зміни в екстремальних опадах. Вони отримуються з добових максимальних і мінімальних температур і добової кількості опадів. Від самого початку індекси обирались для оцінки багатьох аспектів глобального клімату, що змінюється, які включали зміни інтенсивності, повторюваності і тривалості явищ, пов'язаних з температурою і опадами. Ці індекси характеризують явища, які спостерігаються кілька разів на сезон або рік, таким чином дозволяючи отримати більш якісні статистичні характеристики, ніж ті екстремальні індекси, які характеризують явища, що знаходяться на самих кінцях розподілів і спостерігаються не частіше, ніж один раз на рік.

1.2 Екстремальні кліматичні індекси ETCCDMI для характеристики режиму опадів

Основний набір включає 27 екстремальних кліматичних індексів температурного режиму та режиму опадів, з яких 11 належать до індексів, які характеризують режим опадів. Індекси описують різні характеристики екстремумів, включаючи частоту, амплітуду та мінливість. Ці індекси широко використовуються для моніторингу змін клімату і кліматичних екстремумів, верифікації кліматичних моделей та оцінки майбутнього клімату [6,22]. Один з ключових підходів передбачає підрахунок кількості днів у сезон чи рік, в які температура або кількість опадів перевищують конкретні пороги, зокрема процентилі в статистичному розподілі.

Для розрахунку індексів, запропонованих Експертною групою з виявлення кліматичних змін та індексів змін клімату (ETCCDI) для моніторингу змін в розподілі екстремальних температурних явищ використовуються добові максимальні і мінімальні температури на рівні 2 м над поверхнею землі.

Зведена інформація щодо екстремальних індексів, які характеризують режим опадів, представлена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Екстремальні кліматичні індекси ETCCDI, які характеризують режим опадів

Скорочена назва індексу	Назва індексу	Опис індексу	Обчислення індексу	Одиниці вимірювання
RX1day	Максимальна одноденна кількість опадів (Max 1-day precipitation amount)	Максимальна в певний період кількість опадів, що випала в один день	Якщо RRx_{kj} – кількість опадів за однодобовий інтервал в день k періоду j , тоді максимальна кількість опадів за період j визначатиметься як $Rx1day_j = \max(RR_{kj})$	мм
RX5day	Максимальна п'ятиденна кількість опадів (Max 5-day precipitation amount)	Максимальна в певний період кількість опадів, що випала протягом п'яти днів	Якщо RRx_{kj} – кількість опадів за п'ятиденний інтервал k періоду j , тоді максимальна кількість опадів за період j визначатиметься як $Rx5day_j = \max(RR_{kj})$	мм
SDII	Простий індекс добової інтенсивності (Simple daily intensity, index)	Відношення річної суми опадів до кількості дощових днів, тобто днів з опадами ≥ 1 мм	Якщо RRx_{wj} – сума опадів в дощові дні, в які $RR \geq 1$ мм, періоду j , а W характеризує кількість дощових днів періоду j , то $SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W}$	мм/день
R10 mm	Кількість днів з сильними опадами (Number of heavy precipitation days)	Річна кількість днів з опадами ≥ 10 мм	Якщо RR_{ij} – добова сума опадів в день i періоду j , тоді кількість днів з сильними опадами визначається як $RR_{ij} \geq 10$ мм.	дні
R20 mm	Кількість днів з дуже сильними опадами (Number of very heavy precipitation days)	Річна кількість днів з опадами ≥ 20 мм	Якщо RR_{ij} – добова кількість опадів в день i періоду j , тоді кількість днів з дуже сильними опадами визначається як $RR_{ij} \geq 20$ мм.	дні
CDD	Індекс посушливості (Consecutive dry days)	Максимальна за певний період кількість послідовних днів з опадами < 1 мм	Якщо RR_{ij} – кількість опадів в день i періоду j , тоді індекс посушливості визначається як найбільша послідовна кількість днів, коли $RR_{ij} < 1$ мм	дні

Продовження табл. 1.1

Скорочена назва індексу	Назва індексу	Опис індексу	Обчислення індексу	Одиниці вимірювання
CWD	Дощовий індекс (Consecutive wet days)	Максимальна за певний період кількість послідовних днів з опадами ≥ 1 мм	Якщо RR_{ij} – сума опадів в день i періоду j , тоді дощовий індекс визначається як найбільша послідовна кількість днів, коли $RR_{ij} \geq 1$ мм	дні
R95pTOT	Частка опадів завдяки дням з сильним зволоженням (Precipitation fraction due to very wet days)	Відношення кількості опадів у дні, коли сума опадів перевищувала 95-тий перцентиль, визначену за період 1961-1990 рр., до загальної кількості опадів за певний період	Якщо RR_{wj} – добова кількість опадів в дощовий день w $RR_{ij} \geq 1$ мм періоду j , а $RR_{wn}95$ – 95-тий перцентиль кількості опадів, визначена за період 1961-1990 рр. а W характеризує кількість дощових днів періоду j , то $R95pTOT_j = 100 \cdot \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{RR_j}$, де $RR_{wj} > RR_{wn}95$	%
R99pTOT	Частка опадів завдяки дням з надзвичайним зволоженням (Precipitation fraction due to extremely wet days)	Відношення кількості опадів у дні, коли сума опадів перевищувала 99-тий перцентиль, визначену за період 1961-1990 рр., до загальної кількості опадів за певний період	Якщо RR_{wj} – добова кількість опадів в дощовий день w $RR_{ij} \geq 1$ мм періоду j , а $Rn_{wn}99$ – 99-тий перцентиль кількості опадів, визначена за період 1961-1990 рр. а W характеризує кількість дощових днів періоду j , то $R99p_j = 100 \cdot \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{RR_j}$, де $RR_{wj} > RR_{wn}99$	%
PRCPTOT	Загальна кількість опадів у дощові дні (Total wet-day precipitation)	Річна сума опадів в дощові дні, тобто днів з опадами ≥ 1 мм	Якщо RR_{ij} – сума опадів в день i періоду j , а I характеризує кількість днів періоду j , то $PRCPTOT_j = \sum (RR_{ij})$	мм
Rnn mm	Загальна кількість опадів в дні, коли кількість опадів перевищує довільно обраний поріг	Річна кількість днів, коли сума опадів перевищує поріг, встановлений користувачем	Якщо RR_{ij} – сума опадів в день i періоду j , тоді Rnn мм визначається як $RR_{ij} \geq nn$ мм, де nn – це поріг, визначений користувачем	дні

Один з ключових підходів концепції передбачає підрахунок кількості днів у році, що перевищують конкретні пороги. Прикладами таких показників "підрахунку днів" є кількість днів з кількістю опадів вище 10 або 20 мм. Багато індексів ETCCDI базуються на процентилях зі встановленими пороговими значеннями для оцінки помірних екстремальних явищ, які зазвичай трапляються кілька разів на рік, а не погодні явища, що реалізуються один раз в десятиріччя і мають надзвичайно руйнівний характер. Для опадів процентильні пороги обчислюються для всіх дощових днів базового періоду. Такі індекси дозволяють легко відстежувати тенденції в повторюваності або інтенсивності подій, які можуть і не бути екстремальними, але принаймні є стресовими для суспільства. Причина вибору в основному відсоткових, а не фіксованих порогів, полягає в тому, що кількість днів, яка перевищує пороги процентилі, більш рівномірно розподіляється в просторі, а також є більш істотною і показовою в кожному регіоні.

Індекси, які визначаються за допомогою підрахунку днів, на основі порогових відсотків є вираженням аномалій місцевого клімату. Індекси режиму опадів у цій категорії представляють кількість опадів, що випадає вище 95-того процентиля (R95p) та 99-того (R99p), віднесено до загальної кількості опадів за певний період, і включають найбільш екстремальні опади за рік, але не обмежуються ними. Ці аномалії мають встановлену поширеність, тобто пороги вибираються таким чином, щоб їх було перевищено з постійною частотою, протягом стандартного кліматичного періоду, який використовується для визначення порогів. Отже, значення порогів залежить від місцевості. Такі індекси дозволяють проводити просторові порівняння, оскільки вони вибирають однакову частину розподілу ймовірності опадів у кожному місці. Індекси, які визначаються за допомогою підрахунку днів, на основі абсолютних порогових значень менш придатні для просторових порівнянь екстремальних явищ, ніж індекси, засновані на порогових значеннях процентилів. Причина полягає в тому, що на великих площах індекси, які визначаються за допомогою підрахунку днів, на основі

абсолютних порогів можуть вибирати різні частини розподілу опадів, оскільки мінливість цих індексів залежить від географічних умов, наприклад, з навітряного боку гірського масиву може систематично випадати значно більша кількість опадів, ніж з підвітряного боку, в цьому випадку зрозуміло, що ймовірність реєстрації значних опадів буде значно більшою з навітряного боку. Але індекси, засновані на кількості днів, що перетинають певні фіксовані пороги, можуть бути пов'язані зі значними впливами, зокрема, якщо пороги мають фізичне, гідрологічне або біологічне значення.

Значення абсолютних екстремумів, такі як річна максимальна п'ятиденна кількість опадів (RX5day), часто можуть бути пов'язані з екстремальними явищами, які впливають на людське суспільство та природне середовище. Наприклад, індекс RX5day можна використовувати як своєрідний індикатор повені, оскільки сильні повені на великих просторових масштабах зазвичай спричиняються не єдиним випадком сильних зливових опадів, а найбільш ймовірно тривалими сильними опадами, які спостерігаються над великою територією.

Індекси, засновані на кількості днів, що перетинають процентильні пороги, менш придатні для прямого порівняння впливу, але можуть надати корисну інформацію щодо впливу та адаптації. Наприклад, поріг, який використовується для розрахунку днів з сильною зволоженістю R95p (кількість днів з кількістю опадів вище за 95-ту процентиль), зазвичай означає більшу кількість опадів у вологому, аніж у сухому кліматі. Супутні впливи також можуть відрізнятися. Тим не менш, у кожному кліматичному режимі природа і людина сильно адаптувались до місцевого типу мінливості клімату, і місцева інфраструктура створена для того, щоб протистояти місцевим екстремальним кліматичним явищам. Зміни індексу R95p, таким чином, є актуальними для порівняння, наприклад, для змін вимог до каналізаційних та дренажних систем у різних місцевостях.

Єдиний індекс, який характеризує посушливі умови – це CDD, який пов'язаний з посушливими періодами і є індикатором вразливості регіону до

посух. Дійсно посушливі умови, проте, спричиняються більш комплексними умовами, ніж ті, які враховуються індексом CDD, наприклад, взаємодією дефіциту опадів також з характеристиками ґрунту і землекористуванням.

Використовуючи однакові визначення екстремальних явищ та аналізуючи дані стандартизованим способом, можна порівняти результати з різних місць та отримати цілісну картину змін клімату у всьому світі.

Крім основного набору з 27 індексів, можна визначити додаткові індекси крайнощів, більш конкретні для потреб адаптації в певних регіонах. Наприклад, проєкт ECA&D визначив 50 додаткових індексів [28]. Учасники семінару ETCCDI, проведеного в Південно-Східній Азії, зазначили, що додаткові індекси режиму опадів бажані для початку та дати закінчення сезону мусонів [19]. Концепція індексів допускає такі додаткові визначення, які стають особливо актуальними, якщо вони обчислюються стандартизованим чином для декількох країн регіону.

2 БАЗА ДАНИХ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

База даних, яка використовувалась для дослідження, містила інформацію про 10 річних значень екстремальних кліматичних індексів, які характеризують режим опадів, для 16 станцій на території України. Дані було отримано з сайту, який містить кліматичну інформацію для території Європи [28]. Одинадцятий індекс $R_{nn} \text{ mm}$ (загальна кількість опадів в дні, коли кількість опадів перевищує довільно обраний поріг) не досліджувався.

В табл. 2.1 представлено перелік станцій, які було використано в дослідженні. В табл. Б.1 (додаток Б) для кожної станції і кожного індексу вказано роки, за які дані були відсутні у вибірці.

Таблиця 2.1 – Перелік розглядуваних станцій

Назва	Широта, °	Довгота, °	Висота над рівнем моря, м	Індекс станції	Перший рік спостережень	Останній рік спостережень
Ай Петрі	44.4	34.1	1180	33998	1896	2018
Асканія Нова	46.4	33.9	30	33915	1910	2015
Вінниця	49.2	28.6	298	33562	1936	2008
Керч	45.4	36.4	49	33983	1936	2018
Київ	50.4	30.6	167	33345	1881	2018
Лубни	50	33	158	33377	1936	2018
Луганськ	48.6	39.2	62	34523	1900	2013
Львів	49.8	23.9	323	33393	1921	2018
Миколаїв	47	31.9	50	33846	1900	2015
Одеса	46.4	30.8	42	33837	1894	2008
Полтава	49.6	34.6	160	33506	1900	2018
Ужгород	48.6	22.3	124	33631	1947	2018
Умань	48.8	30.2	216	33587	1886	2018
Феодосія	45	35.4	26	33976	1881	2012
Чернівці	48.4	25.9	246	33658	1945	2008
Шепетівка	50.2	27	278	33317	1936	2018

Станції обирались за наявністю даних і таким чином, щоб було представлено кожний з регіонів відповідно до карти поділу України на п'ять регіонів (рис. 2.1).

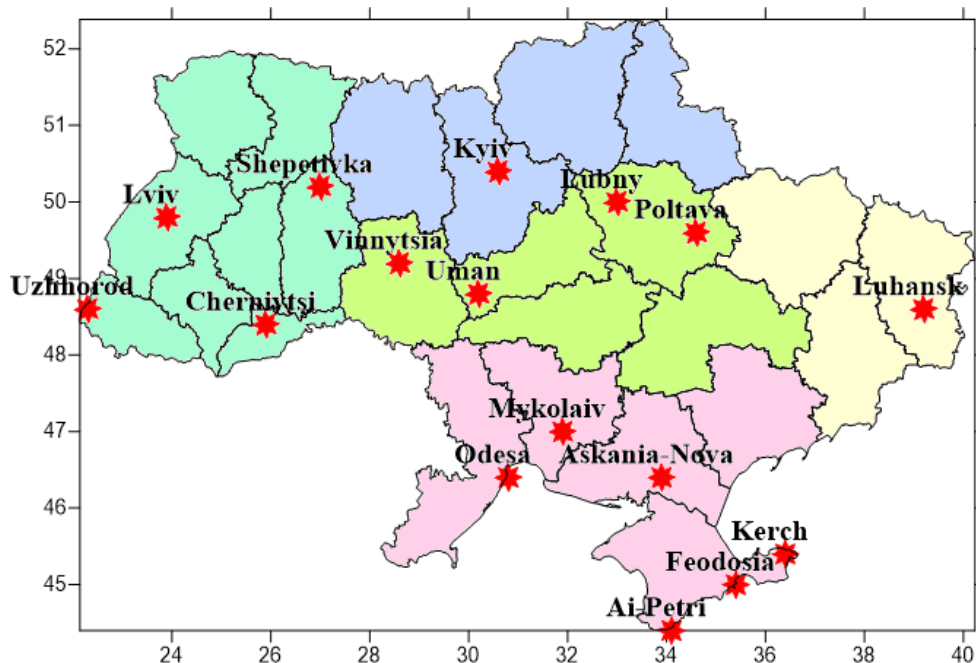


Рисунок 2.1 – Карта поділу території України на п'ять регіонів відповідно до [1].

2.1 Аналіз лінійних трендів

В даному дослідженні було застосовано метод найменших квадратів для визначення лінійних трендів у часових рядах десяти індексів. Тренди було отримано для всього періоду доступних даних, а також за періоди 1901-1930 рр. (якщо за такий період дані були у наявності), 1931-1960 рр., 1961-1990 рр. (стандартний кліматичний період), 1981-2010 рр. Для всіх лінійних трендів було визначено коефіцієнт кореляції, за допомогою якого виявлено статистичну значущість лінійних трендів на рівні значущості $\alpha = 0,05$ та $\alpha = 0,01$.

Для окремих міст і індексів було використано непараметричний тест Манна-Кендалла для визначення монотонної статистично значущої тенденції в часових рядах даних. Тест Манна-Кендалла – це непараметрична перевірка оцінювання значущості тренда, яка заснована на ранжуванні. Нульова гіпотеза H_0 полягає у тому, що вибірка хронологічно упорядкована, незалежна і однозначно розподілена [5]. Статистика S має наступний вигляд [5]:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \operatorname{sgn}(x_j - x_i), \quad (2.1)$$

$$\text{де } \operatorname{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{якщо } x > 0 \\ 0 & \text{якщо } x = 0. \\ -1 & \text{якщо } x < 0 \end{cases}$$

Якщо $n \geq 40$ статистика S – асимптотично нормально розподілена з середнім 0 та дисперсією, яка описується наступним рівнянням [28]:

$$\operatorname{Var}\{S\} = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_t t(t-1)(2t+5)], \quad (2.2)$$

де t – розмір даної зв'язаної групи і $\sum_t$ - сума усіх зв'язаних груп у виборці даних. Стандартизована перевірна статистика K може бути розрахована за допомогою рівняння [5]:

$$K = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}} & \text{якщо } S > 0 \\ 0 & \text{якщо } S = 0, \\ \frac{S+1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}} & \text{якщо } S < 0 \end{cases} \quad (2.3)$$

Стандартизована статистика K підпорядковується закону стандартного нормального розподілу із середнім нульовим значенням і одиничною дисперсією. Значення ймовірності P статистики K вибірки можна оцінити за допомогою функції нормального інтегрального розподілу [5]:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-t^2/2} dt. \quad (2.4)$$

Для незалежної вибірки даних без тренда, значення P має дорівнювати 0.5. Для вибірки з великим позитивним трендом – близьким до 1.0; з великим негативним трендом значення P – близьким до 0.0. Якщо вибірки даних мають внутрішньорядну кореляцію, то дані повинні бути попередньо "очищені" від неї, і отримана поправка застосована для обчислення дисперсії [5].

Нахил тренда оцінюється наступним чином:

$$\beta = \text{median} \left(\frac{x_i - x_j}{i - j} \right), \forall j < i, \quad (2.5)$$

де β – оцінка нахилу тренда, x_i – j -те спостереження. При висхідному тренді значення β – додатне, при спадному – β від'ємне.

Тест Манна-Кендалла було застосовано до рядів спостережених значень річної кількості опадів (RR) та індексів RX1day (максимальна одноденна кількість опадів) і CDD (індекс посушливості) за різні періоди, вказані в таблиці 2.2 для міст Керч, Київ, Лубни, Луганськ, Львів, Умань, Ужгород, Шепетівка.

Таблиця 2.2 – Періоди спостережень для різних міст України, які було використано для визначення лінійного тренду і перевірки його значущості методом Манна-Кендалла

Назва	період спостережень RR	період спостережень RX1day	період спостережень CDD
Керч	1945-2016	1945-2016	1945-2016
Київ	1945-2018	1945-2018	1945-2018
Лубни	1945-2018	1945-2018	1945-2018
Луганськ	1944-2013	1945-2013	1945-2013
Львів	1945-2018	1945-2018	1945-2018
Ужгород	1947-2018	1947-2018	1947-2018
Умань	1945-2018	1945-2018	1945-2018
Шепетівка	1945-2018	1945-2018	1945-2018

2.2 Аналіз емпіричних розподілів

В роботі для всіх десяти індексів для всіх станцій разом побудовано емпіричні розподіли за весь доступний період спостережень 1881-2018 рр., а також періоди 1901-1930 рр., 1931-1960 рр., 1961-1990 рр., 1981-2010 рр. та 1991-2018 рр.

З метою розуміння і порівняння змін, які відбулись в розподілі річної кількості опадів над територією України з часом, за допомогою непараметричних методів було підібрано і побудовано теоретичні розподіли рядів річної кількості опадів для 8 станцій (Керч, Київ, Лубни, Луганськ, Львів, Умань, Ужгород, Шепетівка) за два періоди: перший період – до 1980 р, а другий – з 1981 р.

2.3 Аналіз часових рядів

В даному дослідженні спектральний і гармонічний аналіз були використані для найкращого представлення часових рядів річної кількості опадів (RR), індексів RX1day (максимальна одноденна кількість опадів) і CDD (індекс посушливості), які мають періодичні складові.

Відбір ґрунтувався на таких критеріях. Індекси повинні бути надійними та правдоподібними, а інформація, що виводиться з індексів, повинна бути корисною для досліджень впливу кліматичних змін.

В зв'язку зі змінами клімату, які відбуваються і прогнозуються за поширеними сценаріями, в багатьох регіонах Земної кулі часовий розподіл опадів має суттєво змінитись. Вважається, що в майбутньому тривалість посушливих періодів значно подовжиться, а повторюваність опадів зменшуватиметься, проте їх інтенсивність зростатиме. Така ситуація є вкрай небезпечною для сільського господарства, міської і транспортної інфраструктури тощо. Тому для аналізу було обрано саме індекси RX1day і

CDD, за допомогою яких можна дослідити, які тенденції спостерігаються на території України в часовому розподілі опадів.

Виходячи з основних принципів математичного аналізу, будь-яку функцію можна представити нескінченним рядом синусоїдальних і косинусоїдальних функцій. Такий ряд має назву ряду Фур'є, а метод визначення функцій – аналізом Фур'є.

Визначення кінцевої суми членів з синусами і косинусами має назву гармонічного аналізу. Перша (або основна) гармоніка має період, який дорівнює довжині всього досліджуваного періоду. Друга гармоніка має період, який дорівнює половині основного, і т.ін. Загалом, якщо кількість спостережень дорівнює N , то кількість гармонік дорівнюватиме $\frac{N}{2}$.

Представлення часового ряду випадкової величини X за допомогою гармонічного аналізу матиме вигляд:

$$X = \bar{X} + \sum_{i=1}^{i=N/2} \left[A_i \sin\left(\frac{360^\circ}{P} it\right) + B_i \cos\left(\frac{360^\circ}{P} it\right) \right]. \quad (2.6)$$

де P – основний період чи повний період періодичної функції, i – номер гармоніки і є цілим числом між одиницею і $\frac{N}{2}$, t – час, $\bar{X}$ – середнє значення випадкової величини X .

Отже, часова сума являє собою середнє ($\bar{X}$) плюс суму всіх $\frac{N}{2}$ гармонік.

Коефіцієнти A_i і B_i визначаються за формулами:

$$A_i = \frac{2}{N} \sum \left[X \sin\left(\frac{360^\circ}{P} it\right) \right]; \quad B_i = \frac{2}{N} \sum \left[X \cos\left(\frac{360^\circ}{P} it\right) \right]. \quad (2.7)$$

Оскільки зазвичай всі метеорологічні величини мають виразний тренд, особливо температура, то формулу (2.6) має сенс переписати у вигляді:

$$X = \bar{X} + mt \sum_{i=1}^{i=N/2} \left[A_i \sin\left(\frac{360^\circ}{P} it\right) + B_i \cos\left(\frac{360^\circ}{P} it\right) \right]$$

де m – це тангенс кута нахилу лінії тренду до вісі $\overrightarrow{OX}$, а $\bar{X} + mt$ являє собою рівняння лінійної регресії.

За допомогою гармонічного аналізу було зроблено спробу спрогнозувати зміну річної кількості опадів (RR), максимальної за рік одноденної кількості опадів (RX1day) та індексу посушливості (CDD) до 2050 р.

2.4 Просторовий аналіз індексів

Для всіх десяти індексів для території України було побудовано просторовий розподіл відхилення середнього значення індексу за період 1981-2010 рр. від середнього значення за стандартний кліматичний період 1961-1990 рр. Було використано тільки станції, на яких в ці роки не було пропущених індексів, тому просторовий розподіл для різних індексів було побудовано, враховуючи різну кількість станцій.

Всі карти було отримано за допомогою тривимірної програми креслення поверхні карт Golden Software Surfer.

3 ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИЙ РОЗПОДІЛ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ІНДЕКСІВ, ЯКІ ХАРАКТЕРИЗУЮТЬ РЕЖИМ ОПАДІВ, НАД ТЕРИТОРІЄЮ УКРАЇНИ В КОНТЕКСТІ СУЧАСНИХ ЗМІН КЛІМАТУ

3.1 Сучасні зміни в часовому розподілі опадів на території України

На рис. 3.1 представлено розподіли ймовірностей річної кількості опадів для восьми міст України за два періоди спостережень (перший закінчується в 1980, а другий розпочинається у 1981 і характеризує сучасний розподіл), вказані в табл. 2.2. Для кількісної характеристики змін для кожного ряду було отримано також середню кількість опадів за обидва періоди і середньоквадратичний відхил, які також надані на рис. 3.1.

Для кожного міста України річна кількість опадів зростає від 2 мм (м. Умань) до 88 мм (м. Луганськ). В м. Ужгород також незначно зростає кількість опадів (близько 6 мм), в усіх інших містах України збільшення кількості опадів коливається в межах 40 – 50 мм. Середньоквадратичний відхил збільшується тільки в м. Керч і досить несуттєво – на 5 мм, в інших містах навпаки спостерігається зменшення розкиду біля середнього значення від 6 мм до 62 мм. В м. Керч і м. Львів також практично не змінюється форма розподілу, хоча зростає повторюваність екстремальних опадів, що можна зауважити по правій частині розподілу. В м. Ужгород і м. Київ відбувається суттєва зміна розподілу: різко зростає повторюваність середньої кількості опадів, проте повторюваність сильних опадів зменшується порівняно з 1947-1980 рр., але незначно зростає кількість екстремальних опадів, на відміну від м. Шепетівка, де навпаки зростає кількість сильних опадів, але зменшується кількість надзвичайних.

В інших містах України: м. Лубни, Луганськ і Умань так само різко зростає повторюваність середньої кількості опадів, але ще мода суттєво зсувається в правий бік, також значно збільшується кількість сильних і екстремальних опадів за виключенням м. Умань.

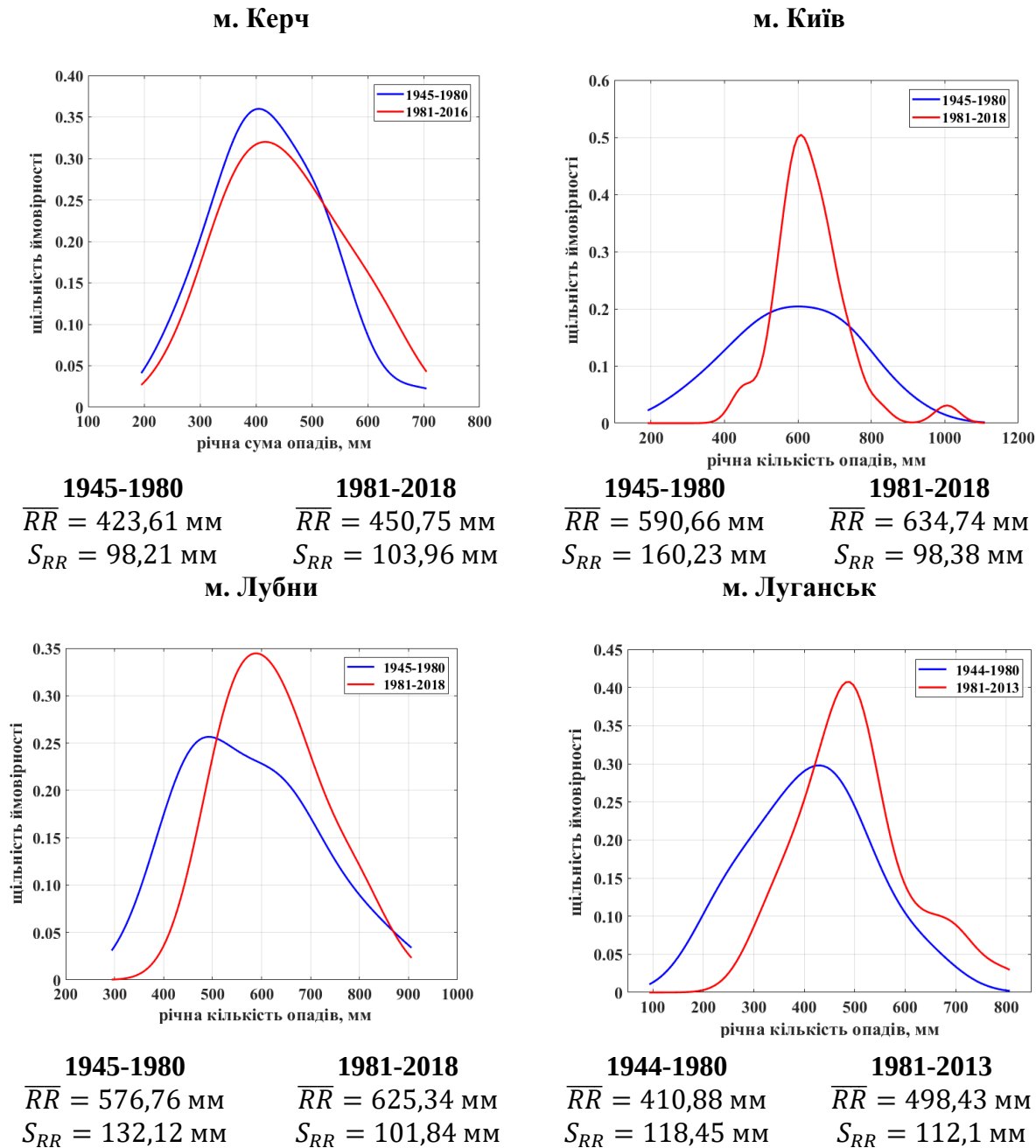
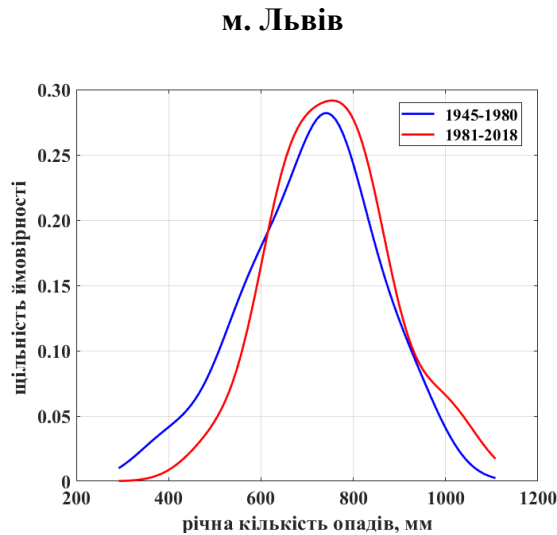
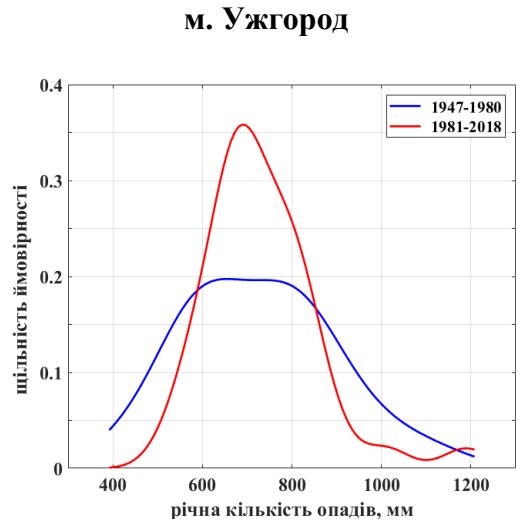


Рисунок 3.1 – Щільність розподілу ймовірностей середньорічної кількості опадів за два порівнюваних періоди в досліджуваних містах України

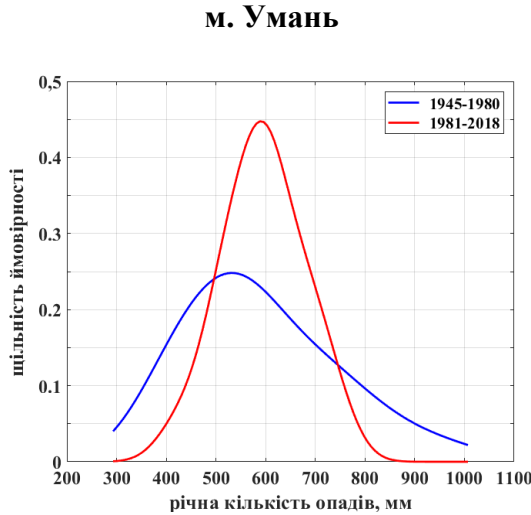
Таким чином, в усіх містах України збільшується середня кількість опадів, змінюються розподіли ймовірностей кількості опадів, що викликає зміну модальних значень, збільшення екстремальних опадів і зменшення повторюваності років з незначною кількістю опадів практично в усіх регіонах України.



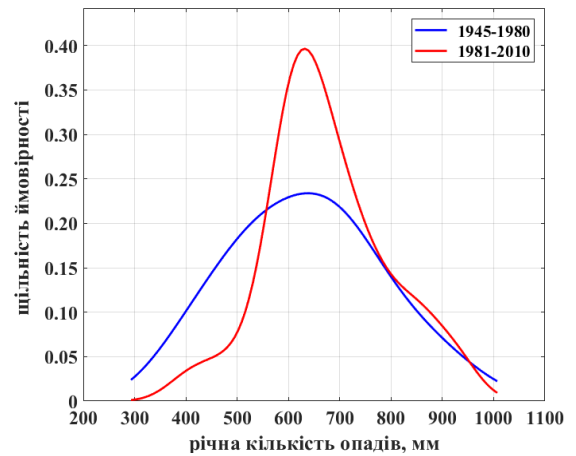
1945-1980	1981-2018
$\overline{RR} = 708,56 \text{ мм}$	$\overline{RR} = 754,57 \text{ мм}$
$S_{RR} = 135,34 \text{ мм}$	$S_{RR} = 122,55 \text{ мм}$



1947-1980	1981-2018
$\overline{RR} = 727,15 \text{ мм}$	$\overline{RR} = 733,31 \text{ мм}$
$S_{RR} = 166,5 \text{ мм}$	$S_{RR} = 124,94 \text{ мм}$



1945-1980	1981-2018
$\overline{RR} = 592,40 \text{ мм}$	$\overline{R} = 594,39 \text{ мм}$
$S_{RR} = 148,95 \text{ мм}$	$S_{RR} = 79,68 \text{ мм}$



1945-1980	1981-2018
$\overline{RR} = 635,27 \text{ мм}$	$\overline{RR} = 673,71 \text{ мм}$
$S_{RR} = 145,05 \text{ мм}$	$S_{RR} = 116,61 \text{ мм}$

Продовження рис. 3.1

На рис. 3.2 для восьми міст України представлено спостережувані значення річної кількості опадів і значення, змодельовані і спрогнозовані до 2050 р. за допомогою спектрального і гармонічного аналізу. Для оцінки точності статистичної моделі було обчислено коефіцієнт кореляції, коефіцієнт детермінації, середньоквадратичну похибку моделі (RMSE), різницю між середніми значеннями і середньоквадратичними відхиленнями спостережуваних даних і моделі (табл. 3.1) для кожного часового ряду.

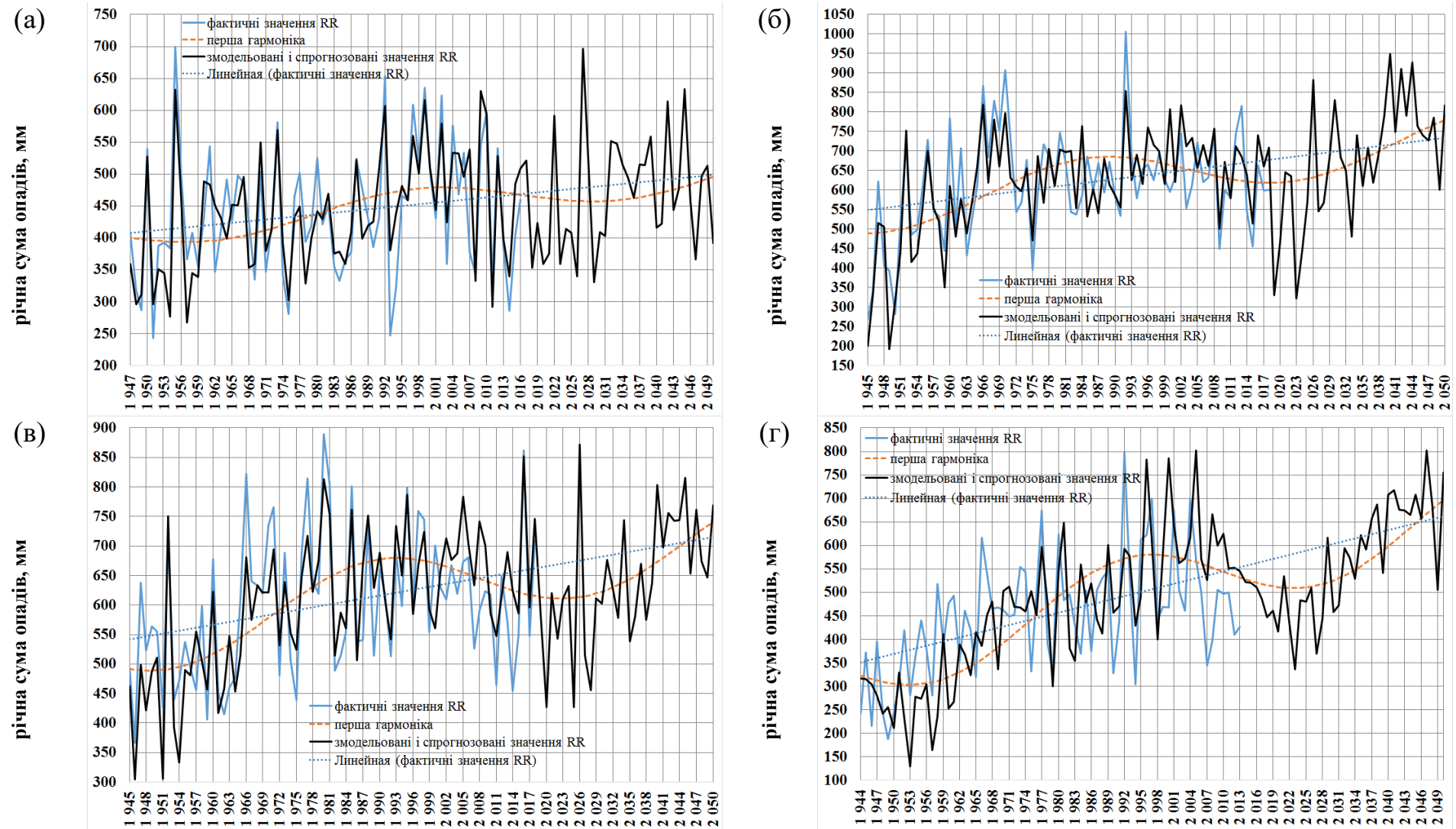
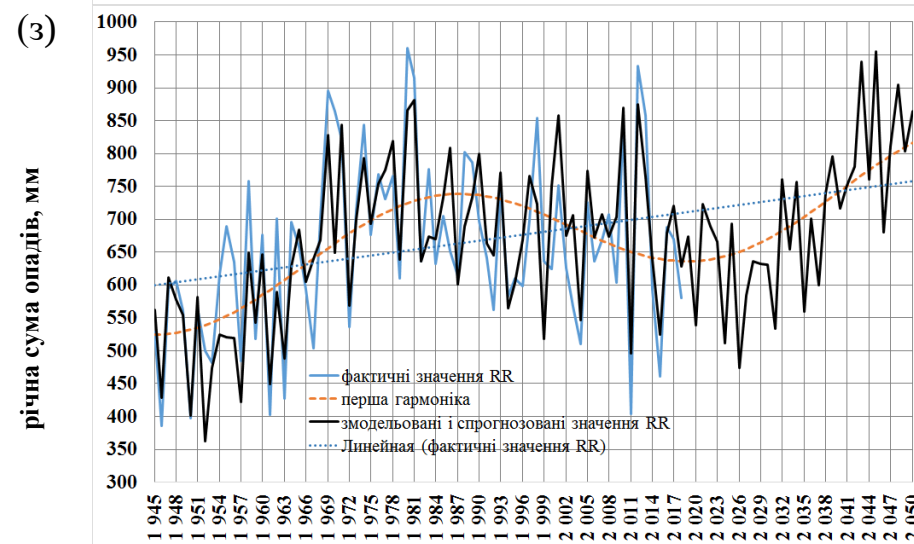
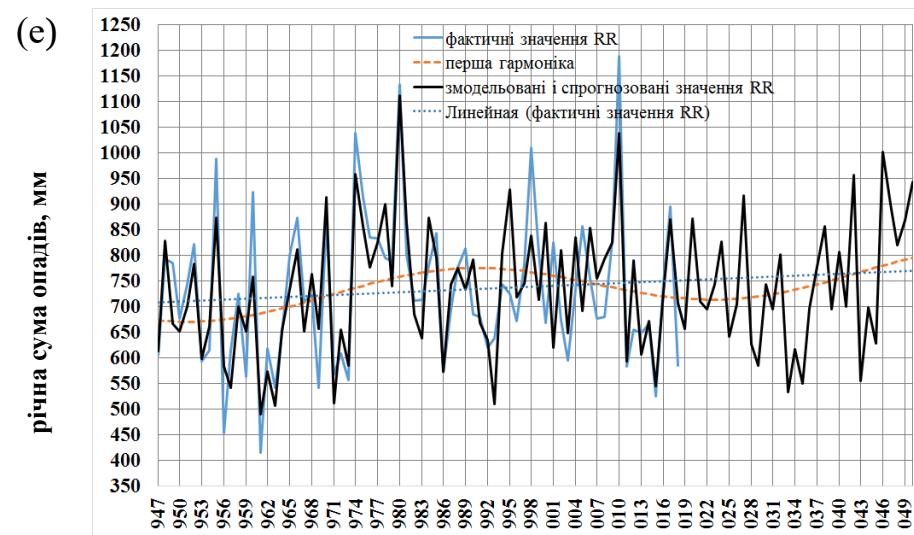
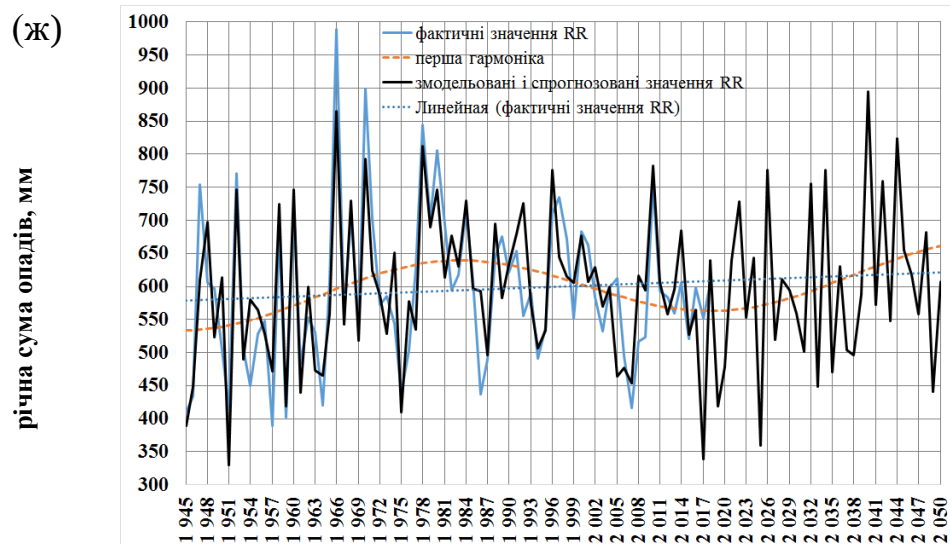
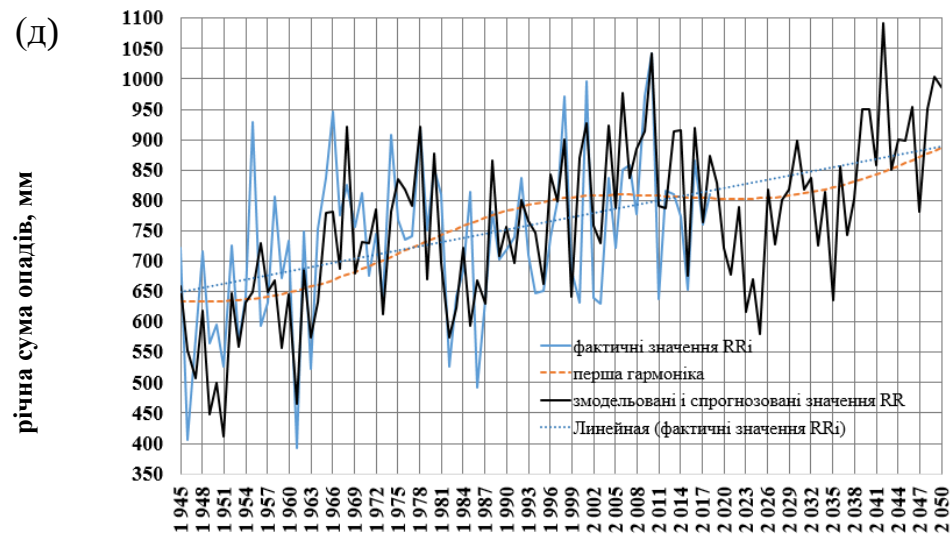


Рисунок 3.2 – Часовий хід фактичної (суцільна блакитна лінія), змодельованої і спрогнозованої (2019-2050 рр.) річної кількості опадів (чорна суцільна лінія) для м. Керч (а), Київ (б), Лубни (в), Луганськ (г), Львів (д), Ужгород (е), Умань (ж), Шепетівка (з).



Продовження рис. 3.2

Таблиця 3.1 – Оцінка статистичної моделі для річної кількості опадів для восьми міст України

Похибка	Керч	Київ	Лубни	Луганськ	Львів	Ужгород	Умань	Шепетівка
R	0.83	0.78	0.80	0.58	0.73	0.80	0.81	0.82
R^2	0.70	0.61	0.64	0.33	0.54	0.65	0.66	0.68
RMSE	55	87	74	126	96	86	74	75
Різниця середніх значень спостережуваних даних і моделі	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Різниця середньоквадратичних відхилень спостережуваних даних і моделі	9.1	-1.2	0.9	-27.0	-3.6	18.1	6.8	10.6
Відмітка про статистичну значущість лінійного тренду, визначену за тестом Манна-Кендалла	+	+	+	+	+	+	+	+

В табл. 3.1 вказано статистичну значущість лінійного тренду, яка визначалась за допомогою тесту Манна-Кендалла на рівні значущості $\alpha = 0,05$.

Значення RMSE (табл. 3.1) коливаються в межах від 55 до 126 мм, причому значення більше за 100 спостерігається тільки для м. Луганськ. Різниця між середніми значеннями змодельованого і спостережуваного рядів дорівнює нулю для всіх міст. Розкид змодельованих значень річної кількості опадів відрізняється від спостережуваних значень на 1-15%, модель для м. Київ, Луганськ, Львів завищує значення середньоквадратичного відхилення, а для інших міст, навпаки, – занижує.

В прийнятних межах для всіх міст, окрім м. Луганськ, знаходяться коефіцієнт кореляції і коефіцієнт детермінації. Для м. Луганськ обидва коефіцієнти є низькими, що свідчить про малу ефективність даної моделі для прогнозування значень річної кількості опадів.

Після успішної оцінки статистичної моделі для восьми міст її було застосовано для отримання значень середньорічної температури в наступні 32 роки (2019-2050 рр.). На рис. 3.2 показано отримані результати, лінійний

тренд і першу (або основну) гармоніку, яка має період, що дорівнює довжині всього досліджуваного періоду і зазвичай враховує найбільшу частину дисперсії, тобто зазвичай має найбільше значення. За всіма розрахунками можна бачити, що кількість опадів в наступні роки зростатиме на всіх станціях України, а в м. Київ, Лубни, Луганську, Львові та Шепетівка, якщо тенденції збережуться, то кількість опадів може підвищитись на 50 – 100 мм. Проте зрозуміло, що тренд ніколи не триває нескінченно, а скоріше за все є частиною коливань з періодами, тривалість яких пов'язана з періодом спостережень. Тому тренд може припинитись в будь який момент. І тому прогноз було надано тільки для наступних 32 роки.

3.2 Сучасні зміни в просторово-часовому розподілі абсолютних індексів, які характеризують режим опадів, на території України

До абсолютних індексів, які характеризують режим опадів, належать максимальна за рік одноденна кількість опадів (RX1day) і максимальна за рік п'ятиденна кількість опадів (RX5day). При сучасних змінах клімату відбувається зміна циркуляційних умов, наслідком чого є зміна просторово-часового розподілу опадів. Тенденції, які спостерігаються, вказують на те, що в подальшому опади випадатимуть рідше, проте окремі випадки ставатимуть все більш екстремальними. Тому для розуміння сучасних тенденцій важливо дослідити зміну екстремальних індексів.

На рис. Б.1 (Додаток Б) представлено ряди значень максимальної за рік одноденної кількості опадів для 16 станцій України за увесь доступний період спостережень. Для всіх рядів було визначено загальний тренд (тренд за весь період спостережень) і тренди за періоди 1901-1930 рр., 1931-1960 рр., 1961-1990 рр., 1981-2010 рр. Статистичну значущість моделей лінійного тренду для всіх періодів було визначено за допомогою коефіцієнта кореляції. Рівняння лінії трендів і їх статистична значущість представлені в табл. В.1 (Додаток В). Для розуміння тенденцій в сучасних змінах максимальної за рік одноденної

кількості опадів і тенденцій, які спостерігались у минулому також було розраховано відхилення максимальної за рік одноденної кількості опадів від кліматичної норми, визначеної за період 1961 – 1990 рр. (рис. Г.1, Додаток Г). Такий саме аналіз було застосовано і до часових рядів інших індексів.

Оскільки в рівнянні регресії кутовий коефіцієнт або градієнт оціненої лінії являє собою величину, на які збільшується функція, якщо аргумент зростає на одиницю, то за допомогою цих коефіцієнтів можна оцінити зміни індексів за рік або десятиріччя.

В основному тренди є статистично незначущими (табл. В.1, Додаток В), зазвичай надійними є тренди, визначені для загального ряду спостережень. Проте, розглянемо деякі тенденції, які мають місце в змінах індексу RX1day.

Практично для всіх розглядуваних станцій у весь період спостережень є характерним висхідний тренд, виключення являють ст. Асканія Нова, Ай-Петрі та Миколаїв, тобто міста, які належать до південних регіонів України (рис. Б.1, Додаток Б). Для всіх трьох станцій від’ємні тренди є досить незначущими: зміна опадів за десятиріччя становить не більше 1 мм. Якщо порівняти спадні тренди з висхідними, то можна побачити, що висхідні тренди також вказують на досить невеликі зміни у кількості максимальних одноденних опадів. Зважаючи на великі коливання в ряду таких опадів, можна вважати зміни і в бік зменшення, і в бік збільшення, незначущими. Для тридцятиріччя 1981-2010 рр. є характерним, в основному, збільшення екстремальної кількості, яке може сягати 5 (м. Полтава, Львів, Феодосія, Керч) – 6 мм (м. Чернівці) за десятиріччя.

В часовому ході відхилень максимальної за рік одноденної кількості опадів від кліматичної норми немає якоїсь усталеної тенденції (рис. Г.1, Додаток Г). Максимальні одноденні опади спостерігаються в різні періоди спостережень: на ст. Асканія Нова, Київ, Миколаїв, Полтава абсолютні максимуми мали місце в період до 1961 р., в таких станціях як Ай-Петрі, Вінниця, максимальна за рік одноденна кількість опадів випадала у період кліматичної норми. В інших містах, за виключенням м. Умань і Ужгород, річні одноденні максимуми припадають на період після 1990 р. В м. Ужгород екстремальні опади спостерігаються протягом усього періоду, а в м. Умань такі опади випадали двічі до 1991 р.

На рис. 3.3 для восьми міст України представлено спостережувані значення максимальної за рік одноденної кількості опадів і значення,

змодельовані і спрогнозовані до 2050 р. за допомогою спектрального і гармонічного аналізу. Оцінка точності статистичної моделі виконувалась за такими показниками, як і в пункті 3.1 і наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Оцінка статистичної моделі для річної абсолютної максимальної одноденної кількості опадів для восьми міст України

Похибка	Керч	Київ	Лубни	Луганськ	Львів	Ужгород	Умань	Шепетівка
R	0.83	0.88	0.81	0.22	0.81	0.84	0.55	0.88
R^2	0.69	0.77	0.65	0.05	0.65	0.71	0.31	0.77
RMSE	21	7	8	54	11	7	12	9
Різниця середніх значень спостережуваних даних і моделі	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Різниця середньоквадратичних відхилень спостережуваних даних і моделі	4.4	1.7	1.5	1.7	0.14	2.1	6.5	2.3
Відмітка про статистичну значущість лінійного тренду, визначену за тестом Манна-Кендалла	+	+	+	+	+	+	+	+

Для м. Луганськ запропонована статистична модель є зовсім не надійною, оскільки коефіцієнт кореляції і коефіцієнт детермінації є заниженими. Для м. Умань коефіцієнти кореляції і детермінації є також досить низькими, але набагато вищі від відповідних коефіцієнтів для м. Луганськ, середньоквадратична похибка знаходиться в прийнятних межах, тому це місто можна включити до аналізу.

Для інших станцій коефіцієнти кореляції і детермінації демонструють добру узгодженість рядів змодельованих і спостережуваних значень індексу RX1day. Окрім того, слід зауважити, що для рядів максимальної за рік одноденної кількості опадів за допомогою статистичної моделі добре моделюється розкид значень індексу біля середнього.

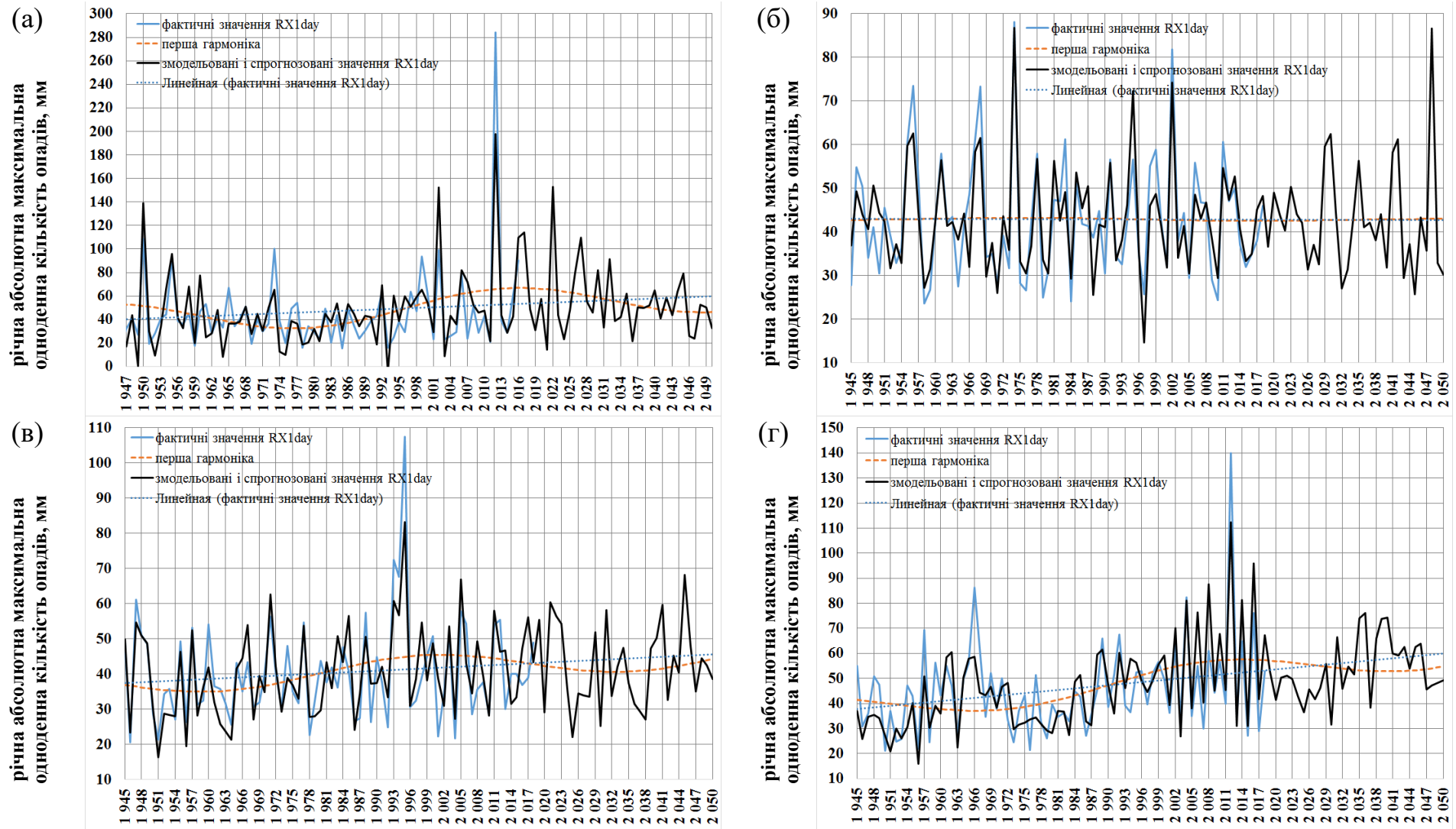
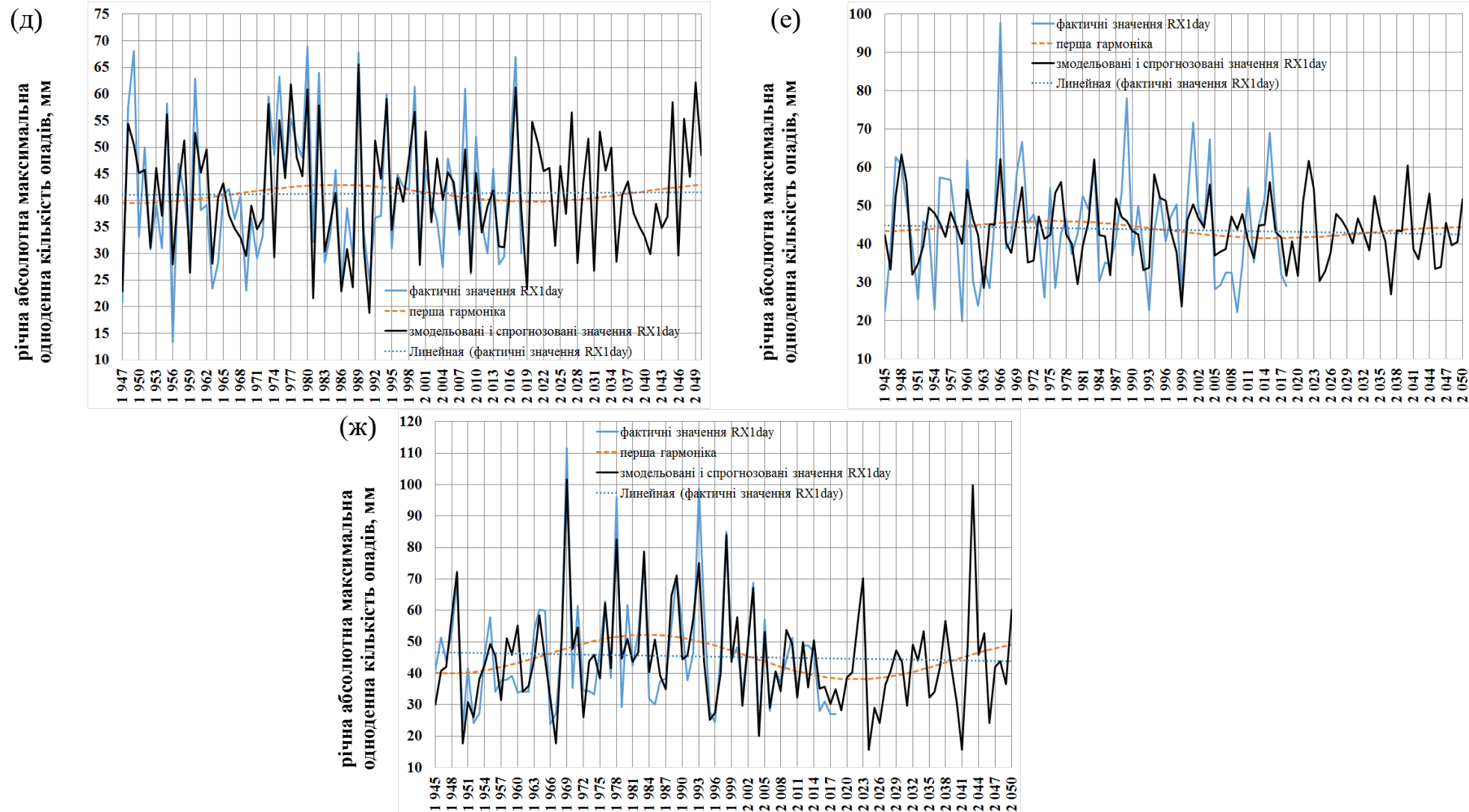


Рисунок 3.3 – Часовий хід фактичної (суцільна блакитна лінія), змодельованої і спрогнозованої (2019-2050 рр.) максимальної за рік одноденної кількості опадів (чорна суцільна лінія) для м. Керч (а), Київ (б), Лубни (в), Львів (г), Ужгород (д), Умань (е), Шепетівка (ж).



Продовження рис. 3.3

Всі лінійні тренди, які використовувались для побудови статистичної моделі, за тестом Манна-Кендалла є статистично значущими на рівні значущості $\alpha = 0,05$.

Аналізуючи прогнозовані значення максимальної за рік одноденної кількості опадів, можна побачити, що для м. Умань, Київ і Шепетівка, тобто для західних і центральних регіонів, має місце спадний тренд, що тим не менш не виключає, що час від часу можуть спостерігатись надзвичайно сильні опади. Для м. Умань статистична модель не надає прогнозу екстремальних опадів у майбутньому, але через погану узгодженість змодельованих і спостережуваних значень не можна вважати такий прогноз точним. В м. Ужгород лінійний тренд показує незмінність річного ходу абсолютної максимальної кількості опадів, де з високою періодичністю спостерігаються численні екстремуми.

На інших станціях: Керч, Лубни і Львів має місце висхідний тренд, хоча, незважаючи на це, в наступні 32 роки модель не прогнозує настання екстремальних випадків, порівняних з тими, що спостерігались в минулому.

На рис. 3.4 представлено емпіричні розподіли індексу RX1day і відхилення осереднених значень процентилів цього індексу для всіх станцій України за різні тридцятирічні періоди а саме 1901-1930 pp., 1931-1960 pp., 1981-2010 pp. і 1991-2018 pp.

Аналізуючи емпіричні розподіли індексу RX1day (рис. 3.6, а), можна побачити, що тенденції, які не так добре виявляються для окремих станцій, є яскраво виразними для всієї території України. Емпіричний розподіл за період 1991-2018 pp. зсунутий праворуч і має дуже довгий правий хвіст, який охоплює область аж до 270 мм, яку раніше не охоплювало не один з розподілів. Такі зміни вказують, що максимальна кількість опадів, яка випадає в один день, зазвичай становить 30 мм і більше, а також найбільшу повторюваність мають більш інтенсивні опади, ніж до 1991 р. Також кількість надзвичайних опадів зростає з часом і може сягати значень, які раніше не реєструвались.

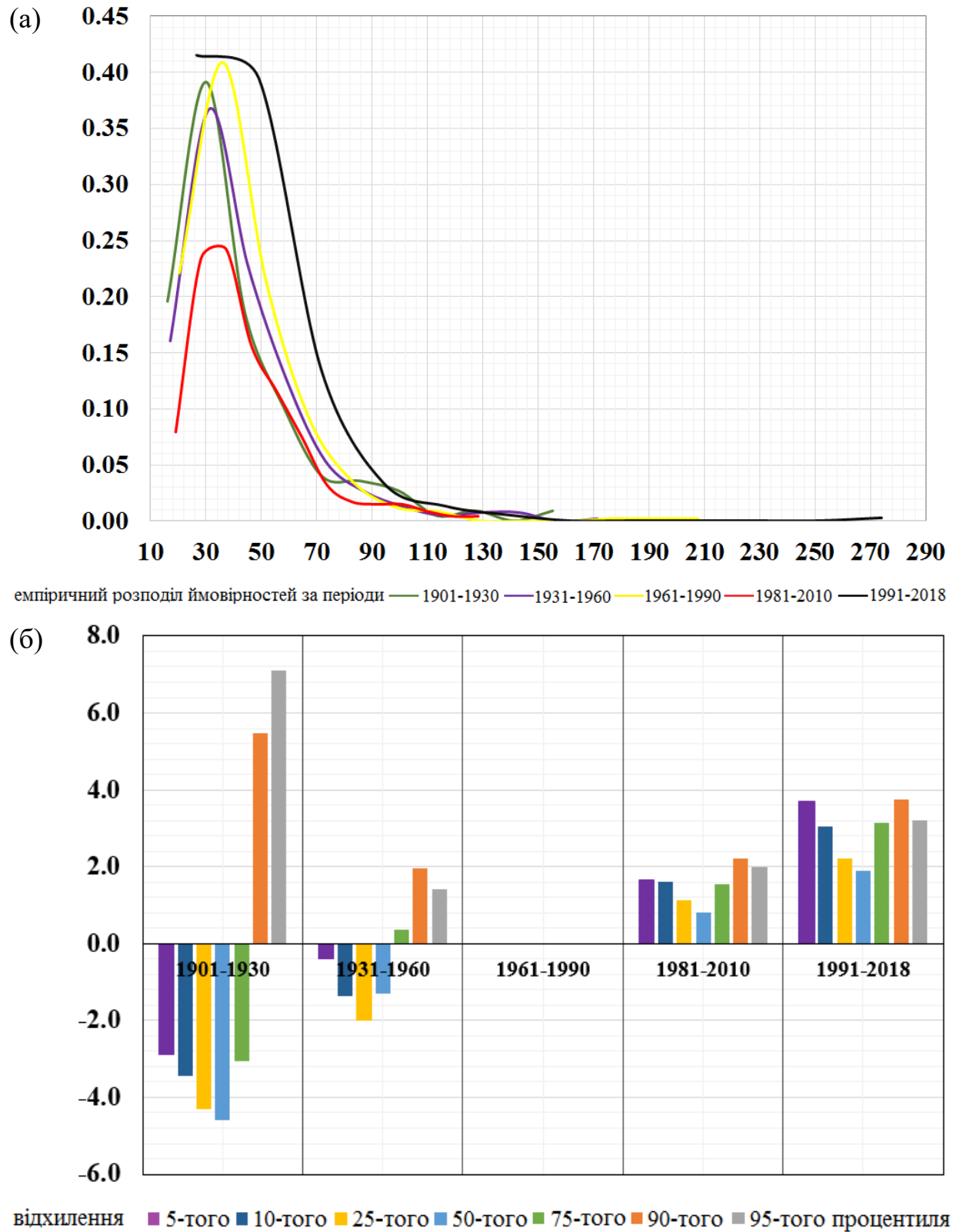


Рисунок 3.4 – Емпіричний розподіл ймовірностей річних значень індексу RX1day (a) і відхилення процентилів індексу RX1day від відповідних процентилів за період 1961-1990 рр. (б)

Ці результати підтверджуються і змінами процентильних значень: відносно значень за стандартний кліматичний період всі процентилі суттєво зростають в 1,5-2 рази.

На рис. 3.5 представлено просторовий розподіл відхилень середніх значень індексу RX1day за період 1981-2010 рр. від кліматичної норми.

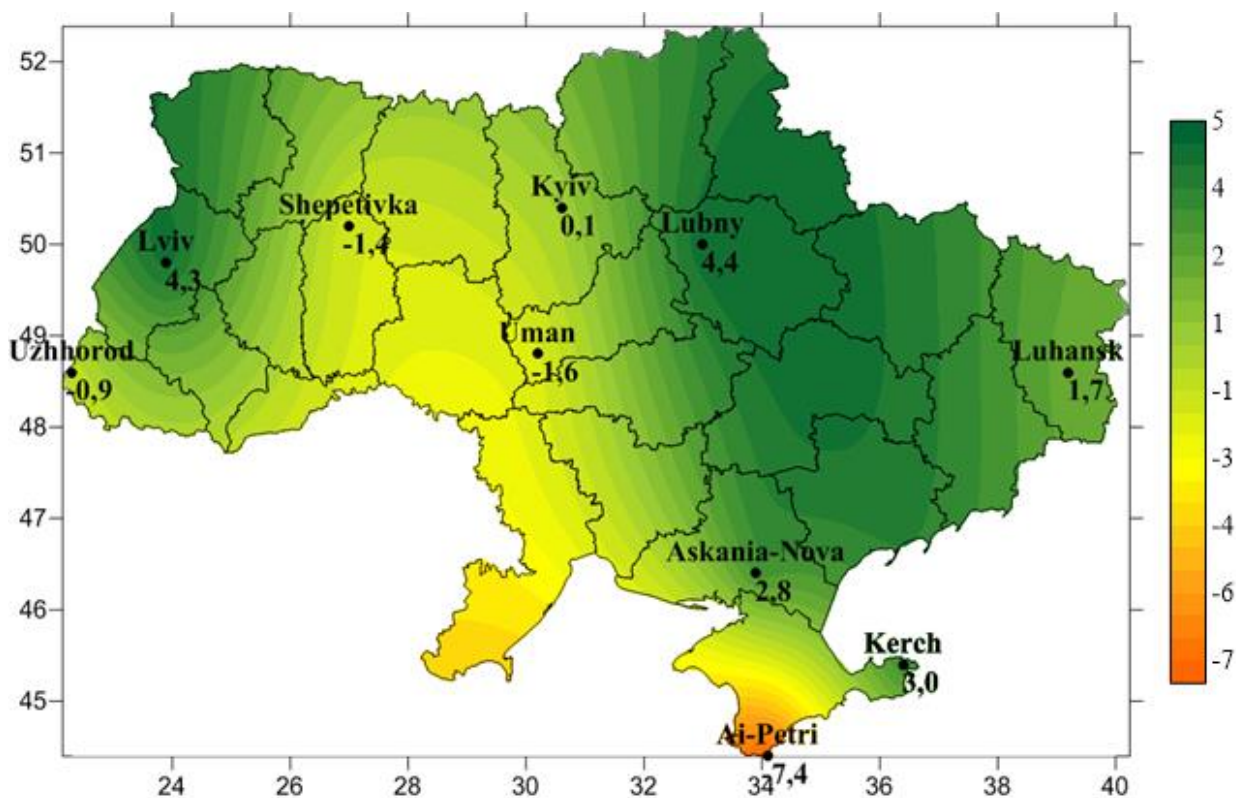


Рисунок 3.5 – Просторовий розподіл відхилення середніх значень максимальної за рік одноденної кількості опадів (RX1day) за період 1981 – 2010 рр. від кліматичної норми

Як можна бачити з рис. 3.5, з часом екстремальні опади зростають найбільше в східному і західному регіонах, але на заході максимум є локальним. З південно-південного сходу на північно-північний захід на території України відбувається зменшення надзвичайних опадів, що до речі відповідає середньому полю опадів на території України і може бути обумовлене тим, що в цьому регіоні випадає менша кількість опадів порівняно з іншими регіонами [2].

В даному випадку є цікавою тенденція для ст. Ай-Петрі і м. Ужгород, оскільки ці станції належать до гірської місцевості, де випадає значна кількість опадів.

Наступний абсолютний індекс, що описує режим опадів, є досить цікавою характеристикою, оскільки може визначати періоди з повенями, оскільки повені дуже часто можуть спостерігатись не тільки при одночасному випадінні великої кількості опадів, але й при випадінні великої кількості опадів протягом декількох днів, що навіть буває частіше.

На рис. Б.2 (Додаток Б) представлено ряди значень максимальної за рік п'ятиденної кількості опадів (RX5day) і її лінійні тренди за різні періоди для 16 станцій України. Рівняння лінії трендів і статистична значущість представлені в табл. В.2 (Додаток В). На рис. Г.2 (Додаток Г) показано річний хід відхилень значень індексу RX5day від кліматичної норми за весь період спостережень.

Для максимальної за рік п'ятиденної кількості опадів, так само як і для максимальної за рік одноденної, мало трендів статистично забезпечених, в основному, це тренди, які визначались за увесь період спостережень (табл. В.2, Додаток В), але для виявлення основних тенденцій проаналізуємо їх.

Так само як і для індексу RX1day індекс RX5day характеризується для більшості розглядуваних станцій висхідними трендами, виключаючи станції Асканія Нова і Ай-Петрі, для яких лінійний тренд є від'ємним як і у випадку індексу RX1day. Для м. Миколаїв лінійний тренд є додатним, що є протилежною тенденцією тій, що спостерігається для індексу RX1day, але зміни кількості опадів в обох випадках незначні.

Для деяких станцій знак тренду є незмінним протягом усього періоду спостережень і для менших періодів, наприклад, для ст. Київ, Одеса, Миколаїв, Ужгород. Найбільше зростання для цих міст відбувається в тридцятирічний період 1981-2010 рр. – зростання коливається від 4 до 10 мм за десятиріччя.

Для інших станцій до 1991 р., а саме ст. Керч, Феодосія, Чернівці, Львів, Полтава, Лубни, Луганськ на тлі загального підвищення індексу RX5day спостерігаються спадні тренди у періоди до 1991 р., але в період 1981-2010 р. має місце суттєве зростання опадів аж до 14 мм.

Такі саме тенденції мають місце і для ст. Асканія Нова і Ай-Петрі, незважаючи на загальний спадний тренд, в період 1981-2010 рр. на цих станціях відбувалось зростання максимальної за п'ятиденної кількості опадів. Для Асканія Нова це підвищення складає всього 2,8 мм за десятиріччя, а для Ай-Петрі – 10,5 мм.

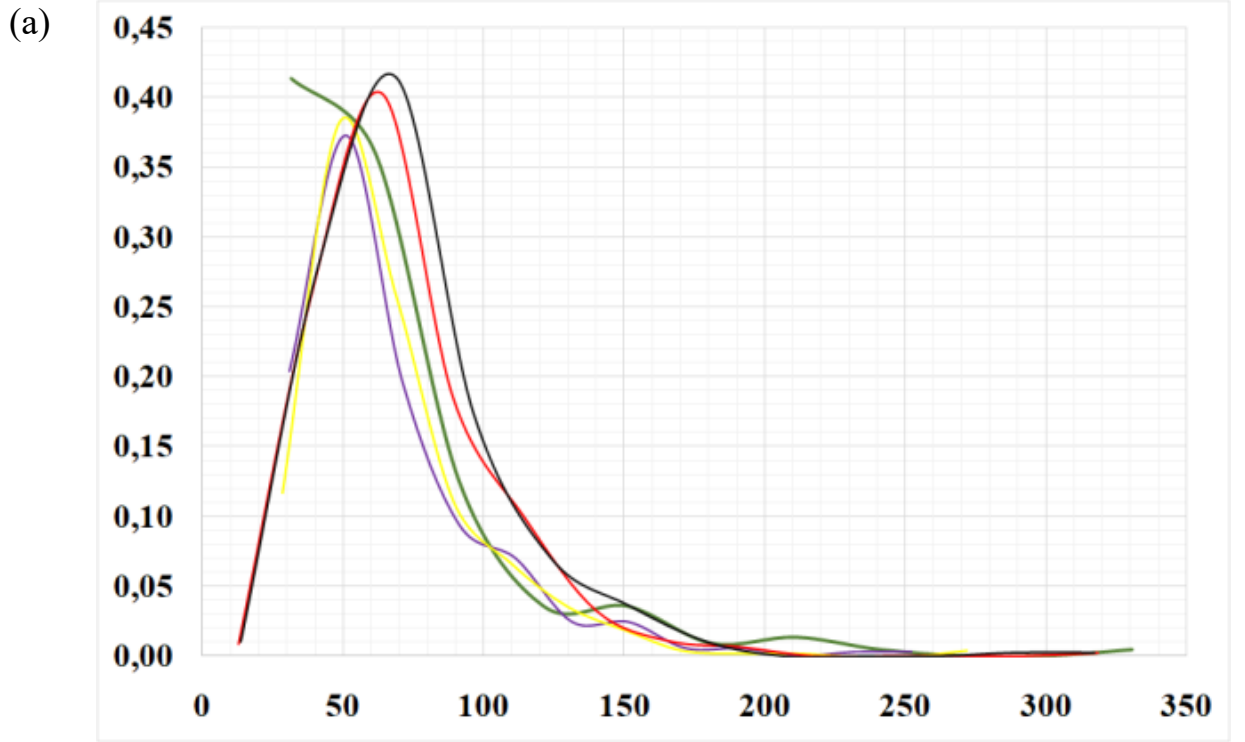
На інших станціях має місце спадний тренд в період 1981-2010 рр., але зміни індексу RX5day за десятиріччя не перевищує 4 мм.

Часовий хід відхилення індексу RX5day від середнього значення за стандартний кліматичний період 1961-1990 рр. має неоднорідний характер, тобто немає сталої тенденції впродовж тривалого періоду, за виключенням м. Одеса: впродовж першої половини двадцятого сторіччя максимальна за рік п'ятиденна кількість опадів нижча кліматичної норми. Слід зауважити, що для всіх станцій максимальні відхилення є характерними для опадів, які перевищують кліматичну норму, ніж для тих, які є нижчими від неї. Загалом часовий хід індексу RX5day повторює часовий хід індексу RX1day.

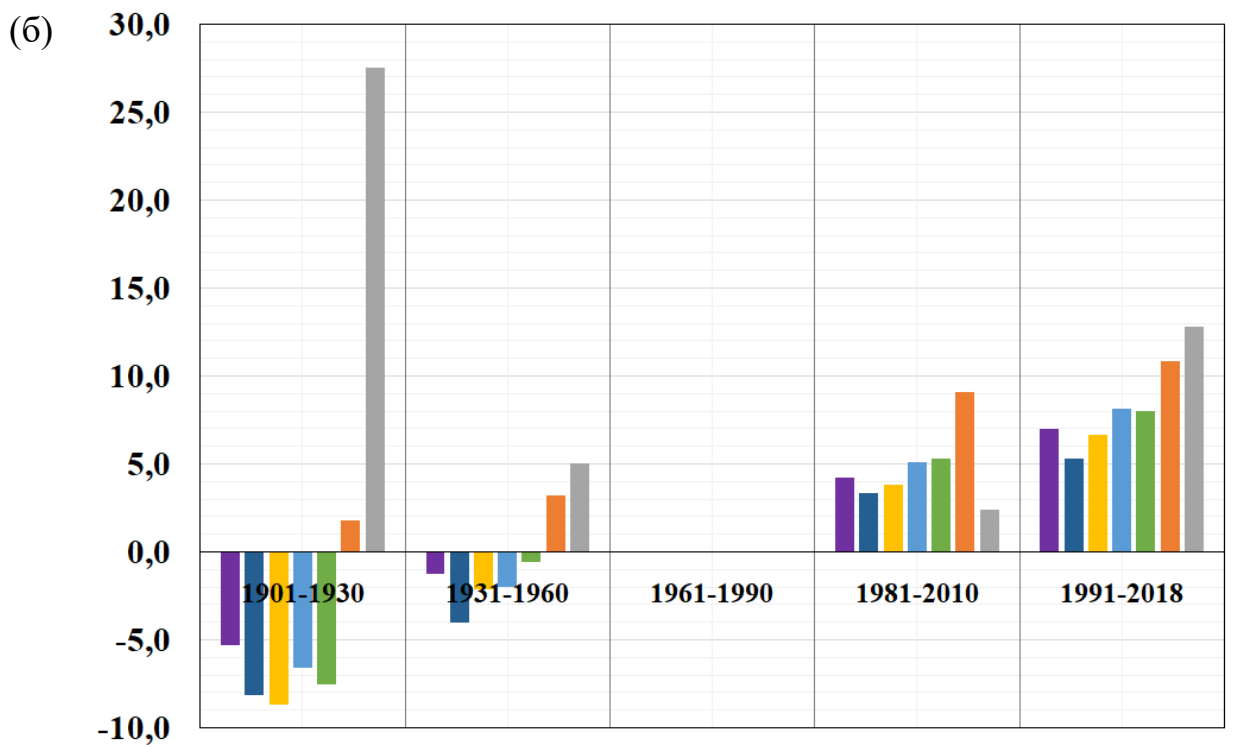
На рис. 3.6 представлено емпіричні розподіли індексу RX5day і відхилення осереднених значень процентилів цього індексу для всіх станцій України за різні тридцятирічні періоди а саме 1901-1930 рр., 1931-1960 рр., 1981-2010 рр. і 1991-2018 рр.

Для всієї території України відбувається зміна розподілу індексу RX5day. Так само як і для індексу RX1day за період 1991-2018 рр. відбувається сильний зсув розподілу в бік більших сум опадів, але хоча розподіл має довгий правий хвіст він не стає довшим порівняно з іншими періодами. Найбільш довший хвіст емпіричний розподіл мав на початку XX сторіччя. Збільшується і середнє, і модальне значення максимальної за рік п'ятиденної кількості опадів, тобто частіше спостерігаються більш інтенсивні опади, ніж раніше, але інтенсивність і повторюваність надзвичайно екстремальних опадів не збільшується.

Всі висновки, отримані для емпіричних розподілів (рис. 3.6, а), підтверджуються також і відхиленнями процентилів від їх середніх значень за період 1961-1990 рр. Найбільший 95-тий мав місце в період 1901-1930 рр., коли емпіричний розподіл мав найдовший правий хвіст.



емпіричний розподіл ймовірностей за періоди — 1901-1930 — 1931-1960 — 1961-1990 — 1981-2010 — 1991-2018



відхилення — 5-того — 10-того — 25-того — 50-того — 75-того — 90-того — 95-того процентиля

Рисунок 3.6 – Емпіричний розподіл ймовірностей річних значень індексу RX5day (a) і відхилення процентилів індексу RX5day від відповідних процентилів за період 1961-1990 рр. (б)

З 1981 р. має місце поступове збільшення всіх процентилів, зокрема 95-того процентилля, який зростає швидше за інше, але ще не сягає значення, яке спостерігалось на початку ХХ сторіччя. Такі тенденції вказують на поступове збільшення тривалих екстремальних опадів, які можуть викликати повені.

На рис. 3.7 представлено просторовий розподіл відхилень середніх значень індексу RX5day за період 1981-2010 рр. від кліматичної норми.

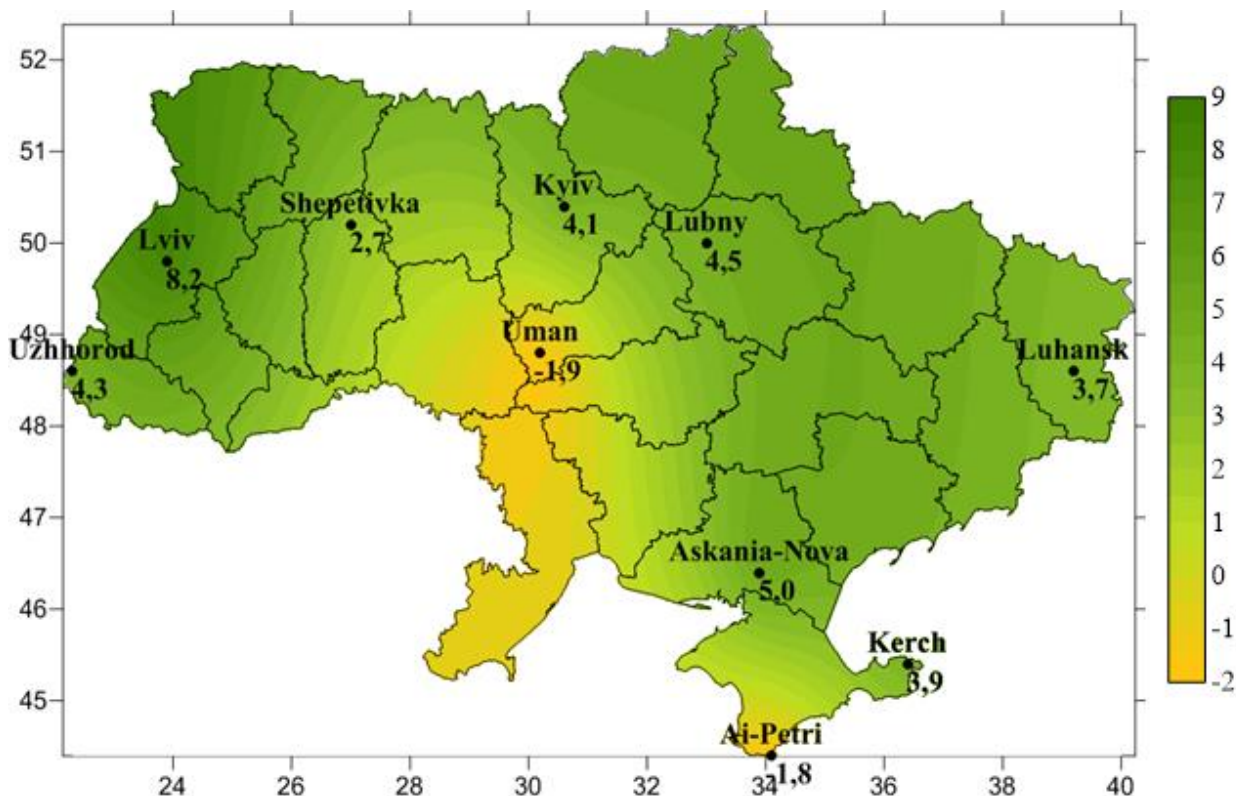


Рисунок 3.7 – Просторовий розподіл відхилення середніх значень максимальної за рік п'ятиденної кількості опадів (RX5day) за період 1981 – 2010 рр. від кліматичної норми

На відміну від індексу RX1day, для якого мало місце суттєве зменшення екстремальних опадів для ст. Шепетівка, Умань і Ай-Петрі, для індексу RX5day такі тенденції зберігаються для ст. Умань і Ай-Петрі, і зменшення не є таким інтенсивним. Для інших міст відбувається суттєве збільшення максимальних за рік п'ятиденних опадів порівняно зі стандартним кліматичним періодом, особливо для м. Львів.

3.3 Сучасні зміни в просторово-часовому розподілі індексів тривалості, які характеризують режим опадів, на території України

До індексів тривалості належать індекси CDD, індекс посушливості, який представляє собою максимальну за рік кількість послідовних днів з опадами менше 1 мм, та CWD, дощовий індекс, який є максимальною за рік кількістю днів з опадами ≥ 1 мм. Особливо цікавим для аналізу є індекс посушливості, який хоча і не враховує багатьох факторів, які можуть впливати на розвиток посухи, проте дозволяє оцінити тенденції.

На рис. Б.3 (Додаток Б) представлено ряди значень індексу посушливості (CDD) і його лінійні тренди за різні періоди для 14 станцій України. Рівняння ліній трендів і статистична значущість представлені в табл. В.3 (Додаток В). На рис. Г.3 (Додаток Г) показано річний хід відхилень значень індексу CDD від кліматичної норми за весь період спостережень.

Тренди в більшості випадків є статистично незначущими, але все одно вони надають уявлення про зміни, які відбуваються. Висхідні тренди для загальних рядів спостережень мають місце тільки для трьох станцій: ст. Ай-Петрі, Асканія Нова і Лубни, причому тренд показує незначну швидкість змін – 0,3-0,5 дні за десятиріччя. Для всіх інших станцій тренди є спадними, в цих випадках швидкість змін, в основному також становить не більше 0,8 дні за десятиріччя, але для м. Луганськ вона складає 3,4 дні за десятиріччя. Спадні тренди спостерігаються і в період 1991-2010 рр. для шести міст: Вінниця, Київ, Луганськ, Умань, Чернівці, Шепетівка, і коливається в межах від $-0,2$ до $-1,5$ дні за десятиріччя. Для інших міст спостерігаються висхідні тренди, причому швидкість зростання набагато більша і може сягати 3 днів за десятиліття.

Лише на двох станціях, м. Київ і м. Луганськ, спостерігаються усталені періоди з надмірною кількістю посушливих днів, які припадають на першу половину XX століття. На всіх інших станціях короткі періоди з надмірною кількістю посушливих днів перемежаються короткими періодами з кількістю посушливих днів нижче кліматичної норми.

На багатьох станціях абсолютний максимум індексу CDD припадає на період до 1991 р., виключаючи м. Львів. Яскраво виражена тенденція до зменшення кількості посушливих днів спостерігається в м. Керч, Київ, Луганськ, Ужгород. Тенденція до збільшення максимальної за рік кількості послідовних посушливих днів має місце в м. Лубни, хоча абсолютний максимум індексу припадає на період до 1991 р., але разом з цим після 1991 р. реєструвалось багато тривалих періодів, впродовж яких максимальна за рік послідовна кількість днів була вищою за норму.

На рис. 3.8 для восьми міст України представлено спостережувані значення і її значення, змодельовані і спрогнозовані до 2050 р. за допомогою спектрального і гармонічного аналізу. Оцінка точності статистичної моделі виконувалась за такими показниками, як і в пункті 3.1 і наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Оцінка статистичної моделі для річної абсолютної максимальної одноденної кількості опадів для восьми міст України

Похибка	Керч	Київ	Лубни	Луганськ	Львів	Ужгород	Умань	Шепетівка
R	0.85	0.86	0.77	0.24	0.85	0.83	0.84	0.82
R^2	0.73	0.74	0.60	0.06	0.73	0.67	0.70	0.67
RMSE	6.6	3.9	4.8	13.7	3.2	4.5	3.6	4.6
Різниця середніх значень спостережуваних даних і моделі	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Різниця середньоквадратичних відхилень спостережуваних даних і моделі	1.61	0.34	0.41	-1.8	0.47	0.22	0.28	0.33
Відмітка про статистичну значущість лінійного тренду, визначену за тестом Манна-Кендалла	+	+	+	+	+	+	+	+

За тестом Манна-Кендалла лінійні тренди, які було покладено в основу статистичної моделі, є статистично значущими. Коефіцієнти кореляції і детермінації показали добру узгодженість змодельованих даних з спостережуваними для всіх розглядуваних міст, виключаючи м. Луганськ. Тому ст. Луганськ було виключено з подальшого аналізу.

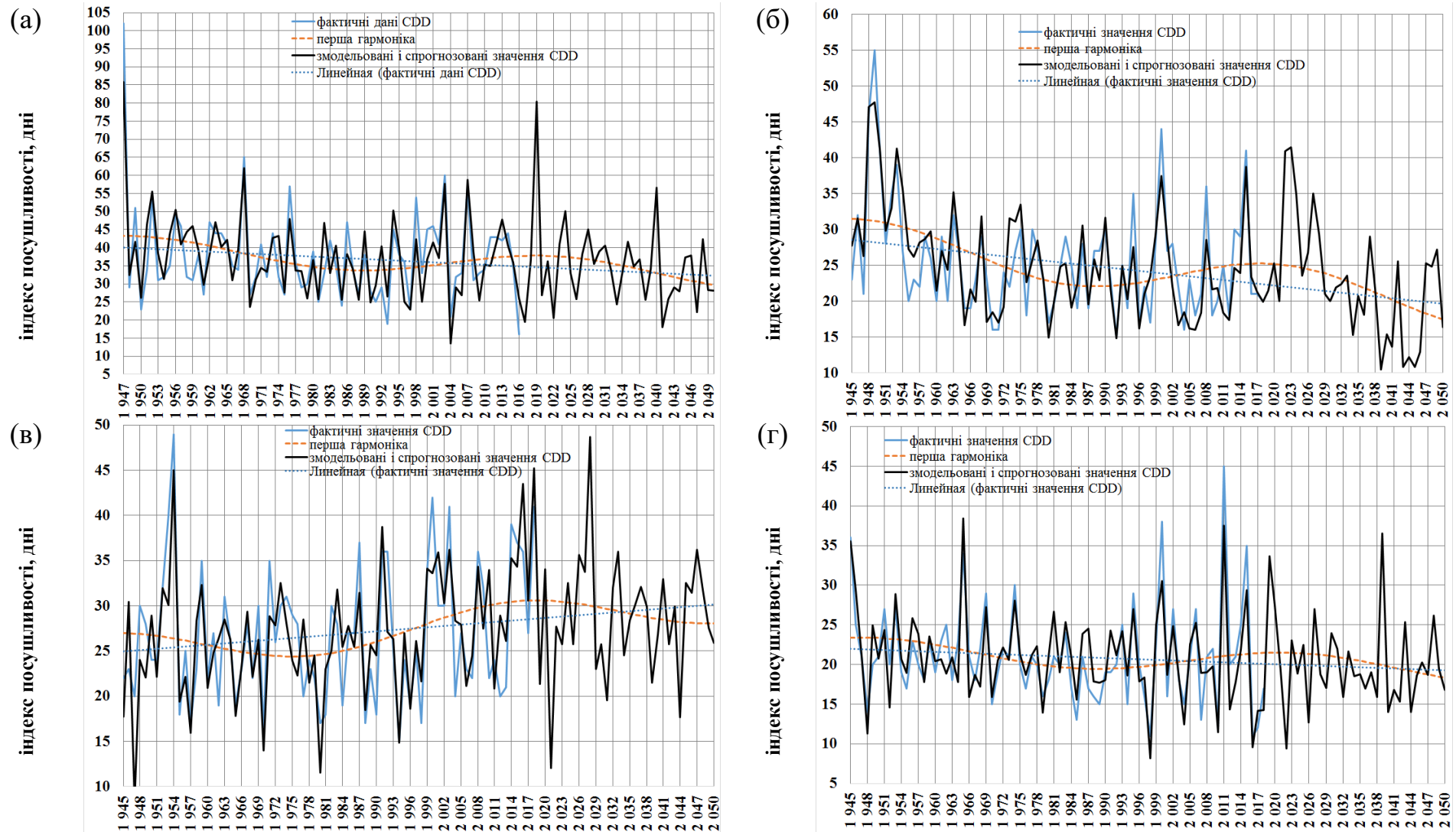
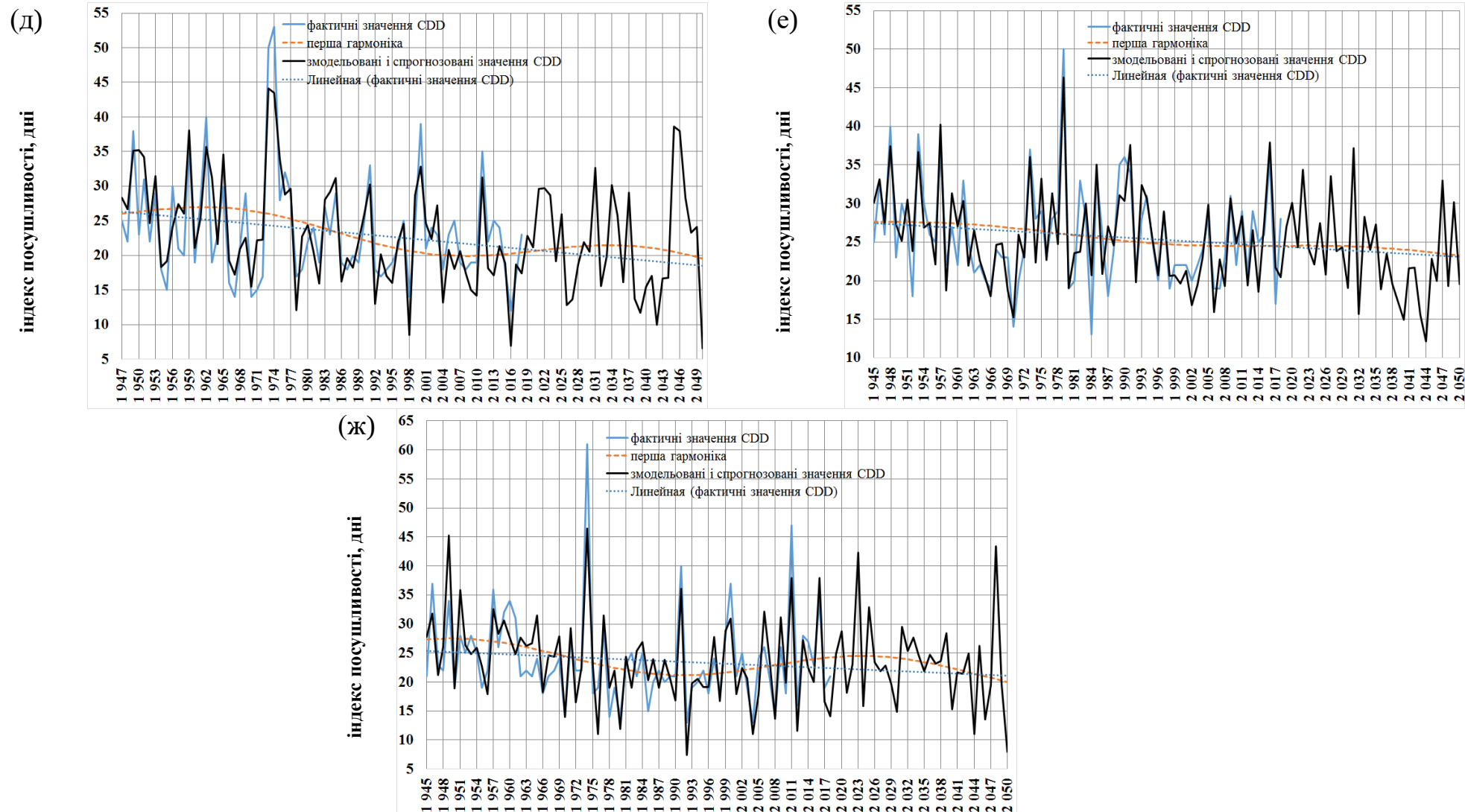


Рисунок 3.8 – Часовий хід фактичного (суцільна блакитна лінія), змодельованого і спрогнозованого (2019-2050 рр.) індексу посушливості (чорна суцільна лінія) для м. Керч (а), Київ (б), Лубни (в), Львів (г), Ужгород (д), Умань (е), Шепетівка (ж).



Продовження рис. 3.8

Статистична модель систематично занижує значення середньоквадратичного відхилення, але похибка знаходиться в прийнятних межах. Середнє значення статистична модель визначає точно. Враховуючи успішну оцінку моделі для семи станцій було зроблено прогноз на найближчі 32 роки до 2050 р. (рис. 3.8).

Максимальна за рік кількість послідовних посушливих днів зменшується на усіх станціях, виключаючи м. Лубни. В м. Лубни спостерігається також збільшення максимальної одноденної кількості опадів з часом, що вказує, що через зростання річної суми опадів і зростання посушливих періодів, в м. Лубни кліматичні умови будуть достатньо несприятливими: посушливі періоди чергуватимуться з періодами з екстремальними опадами.

В м. Умань і м. Шепетівка незважаючи на зменшення індексу посушливості, також знижуються і індекси RX1day та RX5day, якщо оцінювати за загальним трендом, що може вказувати на те, що на тлі загального підвищення опадів спостерігатимуться часті незначні опади.

На рис. 3.9 представлено емпіричні розподіли індексу CDD і відхилення осереднених значень процентилів цього індексу для всіх станцій України за різні тридцятирічні періоди а саме 1901-1930 рр., 1931-1960 рр., 1981-2010 рр. і 1991-2018 рр.

Можна побачити, що особливо тривалі посухи були характерні для території України в період 1931-1960 рр., причому посушливі періоди в деяких випадках могли тривати більше 190 днів. Найбільша повторюваність і інтенсивність посух реєструвалась в період з 1901 р. по 1930 р., коли всі проценти́лі були зсунуті в бік високих значень (рис. 3.9, б). На тлі розподілів індексу CDD за періоди до 1981 р., розподіли за 1981-2010 рр. і за 1991-2018 рр. вказують на зменшення повторюваності і тривалості посух для всієї території України. Такий саме висновок можна зробити, аналізуючи проценти́лі рядів індексу CDD, де можна побачити суттєве зменшення значень всіх процентилів в період з 1981 р. по 2018 р., причому з часом значення процентилів продовжують зменшуватись.

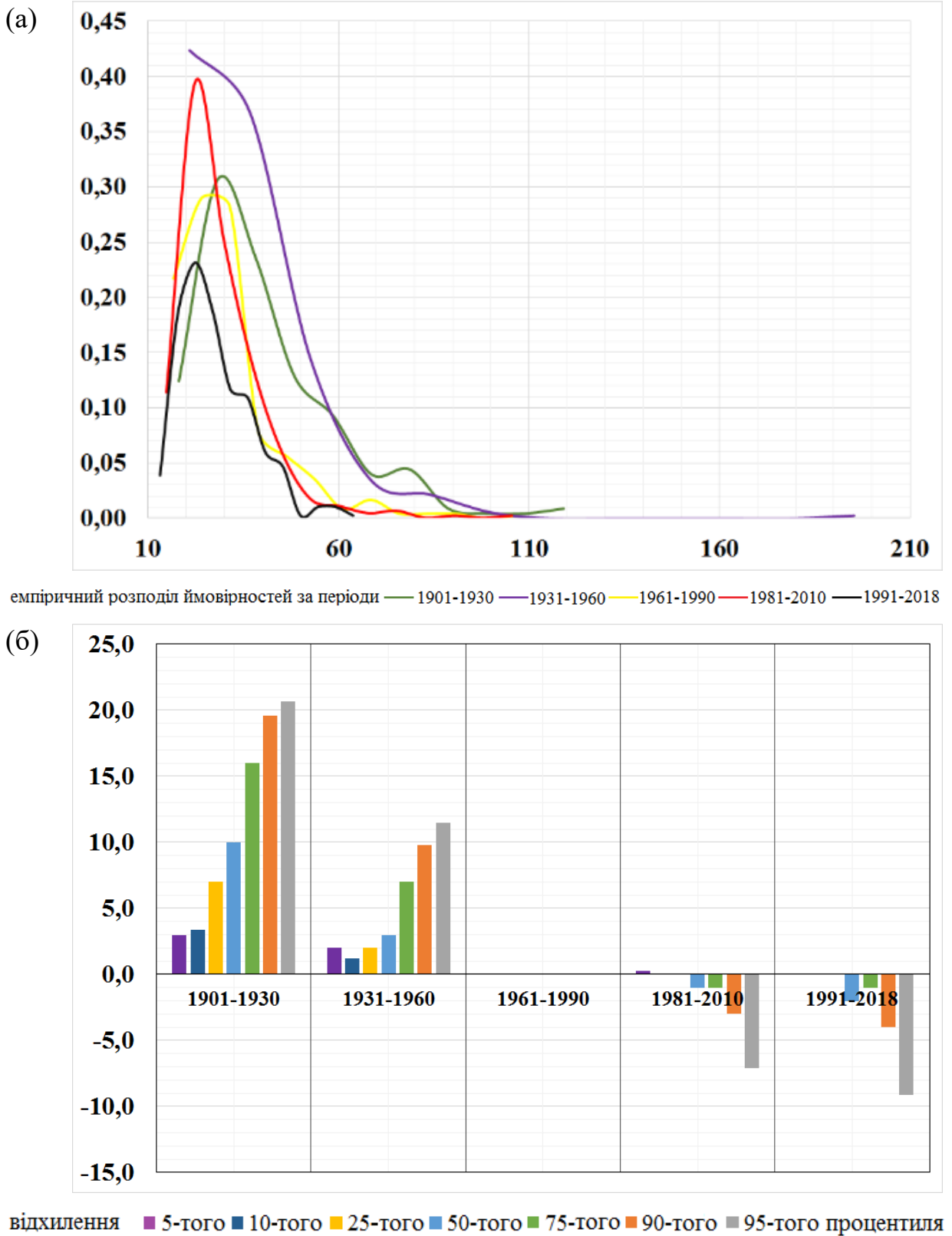


Рисунок 3.9 – Емпіричний розподіл ймовірностей річних значень індексу CDD (а) і відхилення процентилів індексу CDD від відповідних процентилів за період 1961-1990 рр. (б)

На рис. 3.10 представлено просторовий розподіл відхилень середніх значень індексу CDD за період 1981-2010 рр. від кліматичної норми.

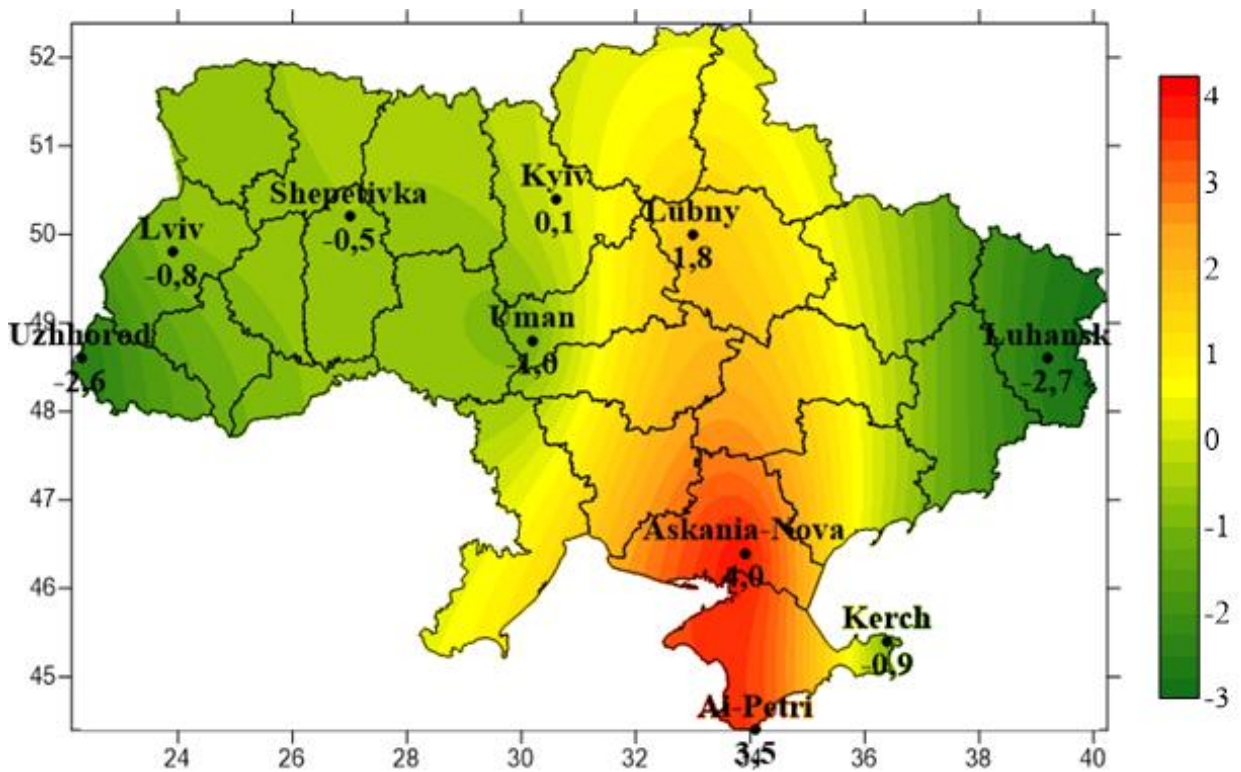


Рисунок 3.10 – Просторовий розподіл відхилення середніх значень максимальної кількості послідовних посушливих днів (CDD) за період 1981 – 2010 рр. від кліматичної норми

В просторовому розподілі індексу CDD різко виділяється смуга, яка поширюється з південних регіонів на центральні і північні регіони України і в якій формуються найбільш посушливі умови. Для всіх інших регіонів є характерним зменшення тривалості, інтенсивності і повторюваності посушливих періодів.

Поряд с індексом CDD, який характеризує посушливі умови, цікаво проаналізувати дощовий індекс CWD, який являє собою максимальну за рік кількість послідовних днів з опадами ≥ 1 мм і, таким чином, характеризує періоди з надлишковим зволоженням.

На рис. Б.4 (Додаток Б) і рис. Г.4 (Додаток Г) представлено графіки часового ходу індексу CWD і тренди, отримані за різні періоди, а також відхилення річних значень індексу CWD від кліматичної норми за період 1961-1990 рр. для 14 станцій.

Так само як і у випадках з трендами для інших індексів більшість трендів за оцінками є статистично незначущими, за виключенням трендів за весь період спостережень або періоди 1961-1990 рр. (табл. В.4, Додаток В)

Часовий розподіл дощового індексу має характер протилежний індексу посушливості. Для міст, для яких індекс CDD демонстрував висхідний тренд, індекс CWD характеризується спадним трендом. Так, на ст. Асканія Нова, Ай-Петрі, Миколаїв і Лубни максимальна за рік кількість днів з опадами ≥ 1 мм зменшується: зменшення становить не більше 0,2 дні за десятиріччя. Для цих станцій є характерними спадні тренди і за інші, більш короткі періоди.

В інших містах України з часом спостерігається збільшення дощового індексу CWD, що вказує на збільшення періодів з надлишковим зволоженням. Швидкість зростання індексу CWD є так само невеликою, але вона суттєво зростає в період 1981-2010 рр. для деяких міст і може складати близько одного дня за десятиріччя.

Відхилення індексу CWD від його середнього значення за стандартний кліматичний період, має досить неоднорідний смугастий характер як і відхилення індексу CDD. Для станцій, де спостерігаються спадні тренди за весь період спостережень виділяються деякі періоди, коли максимальна на рік кількість послідовних днів з опадами ≥ 1 мм була стабільно менша кліматичної норми, але на ст. Асканія Нова, Ай-Петрі і Миколаїв досить часто реєструються досить часто поодинокі випадки, коли кількість днів з надлишковим зволоженням суттєво зростає. В м. Лубни, в основному, дощовий індекс близький до кліматичної норми, так само як і в м. Київ, але в 1991 р. спостерігався надзвичайно довгий дощовий період.

Загалом для багатьох станцій відхилення рідко сягає значень більше 6 днів в бік зростання або зменшення індексу на відміну від індексу посушливості. І лише в м. Київ і м. Умань одного разу за весь період спостережень сягає більше 10 днів. Тобто дощові періоди є набагато коротшими від посушливих періодів, але, якщо в ці періоди випадає велика кількість опадів, то це може призвести до великих збитків.

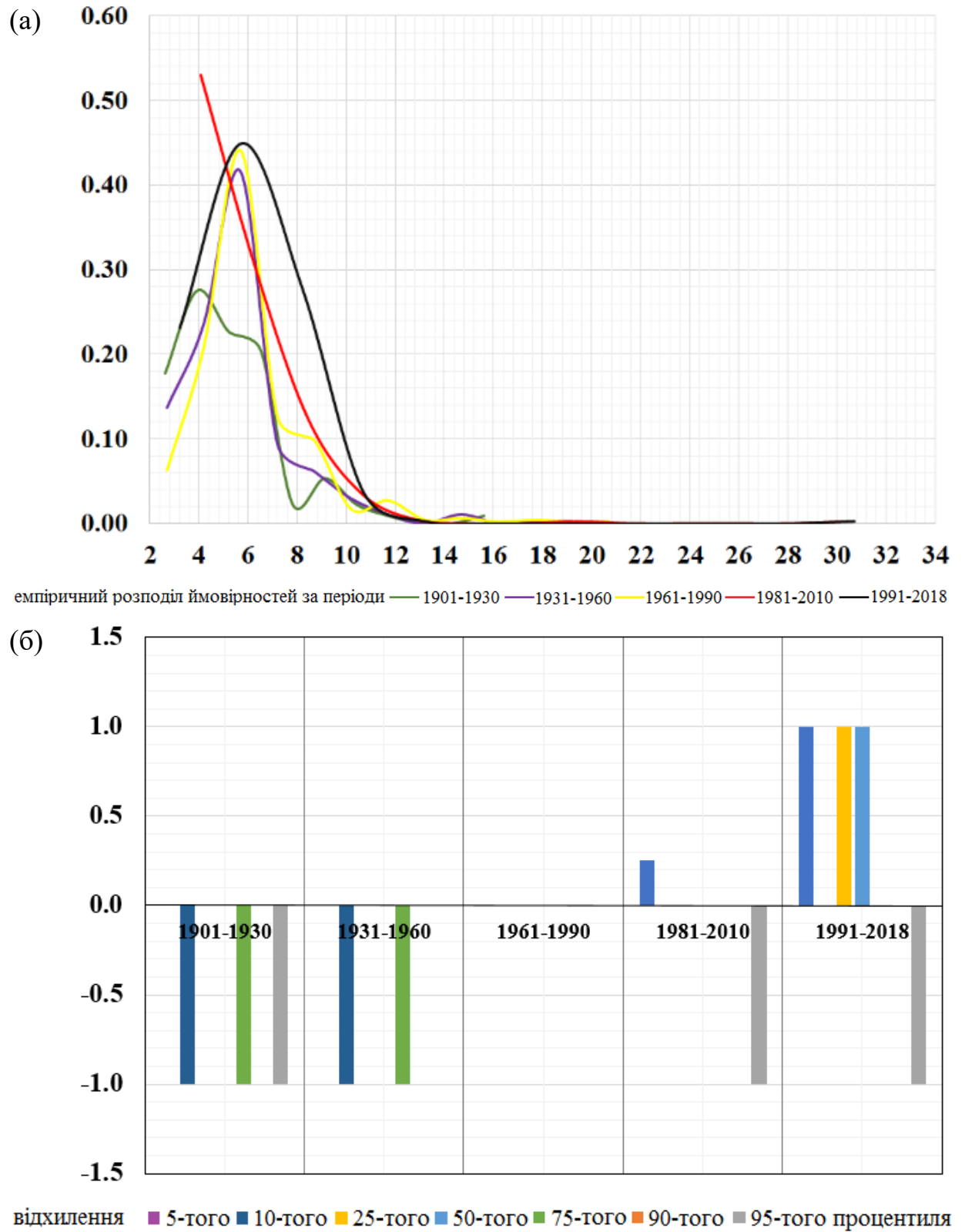


Рисунок 3.11 – Емпіричний розподіл ймовірностей річних значень індексу CWD (a) і відхилення процентилів індексу CWD від відповідних процентилів за період 1961-1990 рр. (б)

Аналізуючи емпіричні розподіли індексу CWD за різні періоди можна побачити, що в останні десятиріччя 1991-2018 рр. розподіл індексу CWD зміщується в бік високих значень і має дуже довгий хвіст, що вказує на те, що саме в останні роки дощові періоди стають більш тривалими (можуть сягати більше 30 днів) і їх повторюваність збільшується (рис. 3.11, а), але інтенсивність таких періодів була найбільшою в попередні роки, що можна бачити з того, що відхилення 95-тої процентиля від відповідного їм середнього значення за стандартний кліматичний період, з часом зменшується, хоча інших процентилів збільшується.

На рис. 3.12 представлено просторовий розподіл відхилень середніх значень індексу CWD за період 1981-2010 рр. від кліматичної норми.

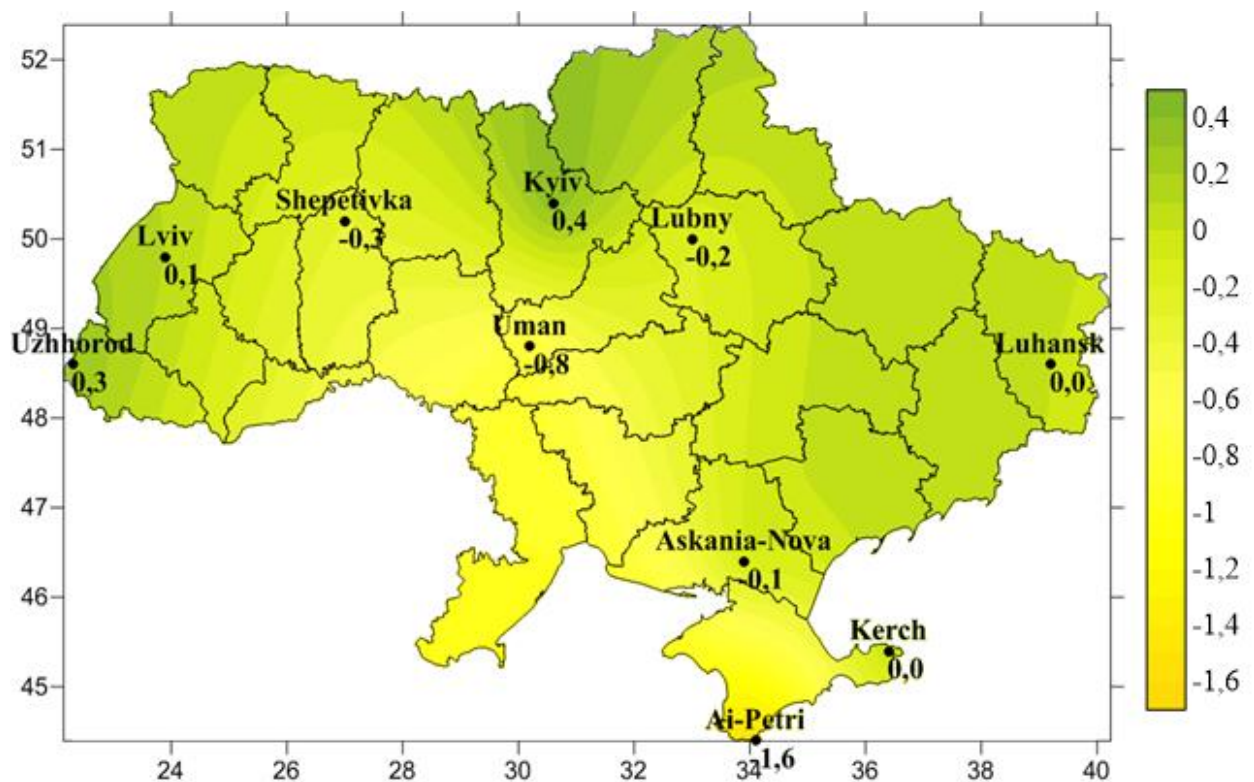


Рисунок 3.12 – Просторовий розподіл відхилення середніх значень максимальної кількості послідовних дощових днів (CWD) за період 1981 – 2010 рр. від кліматичної норми

Можна бачити, що просторовий розподіл індексу CWD відрізняється від просторового розподілу індексу CDD, але в загальних рисах повторює його,

оскільки також виділяється смуга зменшення кількості надлишково зволжених днів, яка розповсюджується з півдня на північ. Відхилення середнього значення індексу від кліматичної норми незначні.

3.4 Сучасні зміни в просторово-часовому розподілі процентильних індексів, які характеризують режим опадів, на території України

До процентильних індексів, які характеризують режим опадів, належать такі індекси як частка опадів завдяки дням з сильним зволоженням (R_{95pTOT}), тобто відношення кількості опадів у дні, коли сума опадів перевищувала 95-тий процентиль, визначену за період 1961-1990 рр., до загальної кількості опадів за рік, і частка опадів завдяки дням з сильним зволоженням (R_{99pTOT}), тобто відношення кількості опадів у дні, коли сума опадів перевищувала 99-тий процентиль, визначену за період 1961-1990 рр., до загальної кількості опадів за рік.

Розглянемо просторово-часовий розподіл частки опадів завдяки дням з сильним зволоженням (індекс R_{95pTOT}). Практично всі лінійні тренди, отримані за весь період спостережень, за періоди 1901-1930 рр., 1931-1960 рр., 1961-1990 рр., 1981-2010 рр. для індексу R_{95pTOT} є статистично незначущі (табл. В.5, Додаток В), але все одно зробимо аналіз.

Для всього періоду спостережень для всіх розглядуваних станцій є характерними висхідні тренди, швидкість зростання відсотку опадів, які перевищують 95-ту процентиль, коливається в межах від 0,03% (ст. Ай-Петрі) до 1,2% (м. Одеса) за десятиліття (рис. Б.5, Додаток Б). Середня швидкість зростання частки опадів, які перевищують 95-ту процентиль, становить 0,4-0,5% за десятиліття. Впродовж усього періоду спостережень тренди, отримані за більш короткі періоди, для більшості станцій також були висхідними. Для періоду 1981-2010 рр. висхідні лінійні тренди було отримано для дванадцяти станцій з п'ятнадцяти, виключення складають Умань, Шепетівка і Асканія Нова. Швидкість зростання індексу R_{95p} за період 1981-

2010 рр. є значно більшою, ніж за увесь період спостережень і коливається в межах від 0,8 (м. Київ) до 6,6 (м. Керч) % за десятиліття, середня швидкість зростання становить приблизно 4-5 % за десятиліття.

Якщо такі тенденції збережуться, то це вказує на те, що з часом може підвищитись частка опадів завдяки дням з сильним зволоженням.

Відхилення річного відсотку опадів, які перевищують 95-ту процентиль, від його кліматичної норми, визначеної за період 1961-1990 рр., представлено на рис. Г.5 (Додаток Г). Значення відхилень коливаються в межах від -30 до +30%. Усталених періодів, впродовж яких спостерігається або перевищення річних значень індексу над кліматичною нормою, або навпаки – занижені значення цього індексу порівняно з кліматичною нормою, не спостерігається. Навпаки, чергуються досить короткі періоди з різними тенденціями. Але можна зробити висновок, що для більшості станцій додатні відхилення за абсолютною величиною є більшими порівняно з від’ємними значеннями.

Емпіричний розподіл індексу $R95pTOT$ з часом змінюється: якщо в попередні періоди розподіли були два- або три модальними, то в період 1991-2018 рр. розподіл індексу стає одномодальним і зсувається праворуч, але більше зміщується ліва, аніж права межа, тобто зменшується повторюваність меншої частки опадів, які перевищують 95-тий процентиль, а повторюваність більшої частки опадів лишається практично незмінною (рис. 3.13, а).

Праворуч зсувається середнє і модальне значення і їх повторюваність зростає порівняно з попередніми періодами.

Щоб краще зрозуміти, які зміни відбуваються в розподілі частки опадів завдяки дням з сильним зволоженням, проаналізуємо ще відхилення середніх значень процентилів від їх кліматичної норми, визначеної за період 1961-1990 рр. (3.13, б).

Середні значення процентилів зростають з часом: швидше зростають значення нижніх процентилів і медіани, а значення верхніх процентилів зростають повільніше, але це вказує все ж таки на поступове зростання частки опадів завдяки дням з сильним зволоженням.

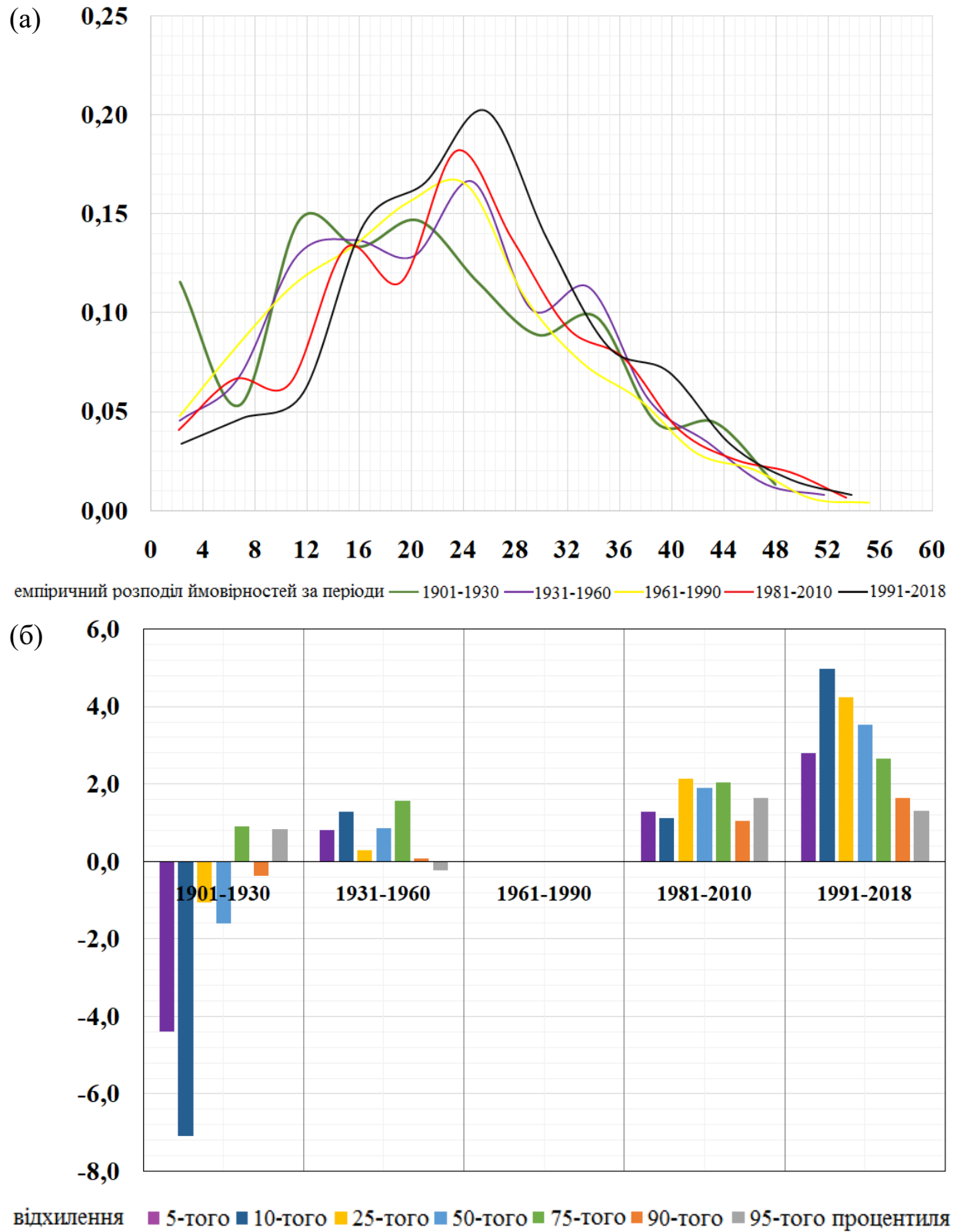


Рисунок 3.13 – Емпіричний розподіл ймовірностей річних значень індексу R95pTOT (a) і відхилення процентилів індексу R95pTOT від відповідних процентилів за період 1961-1990 рр. (б)

На рис. 3.14 представлено просторовий розподіл відхилень середніх значень індексу R95pTOT за період 1981-2010 рр. від кліматичної норми.

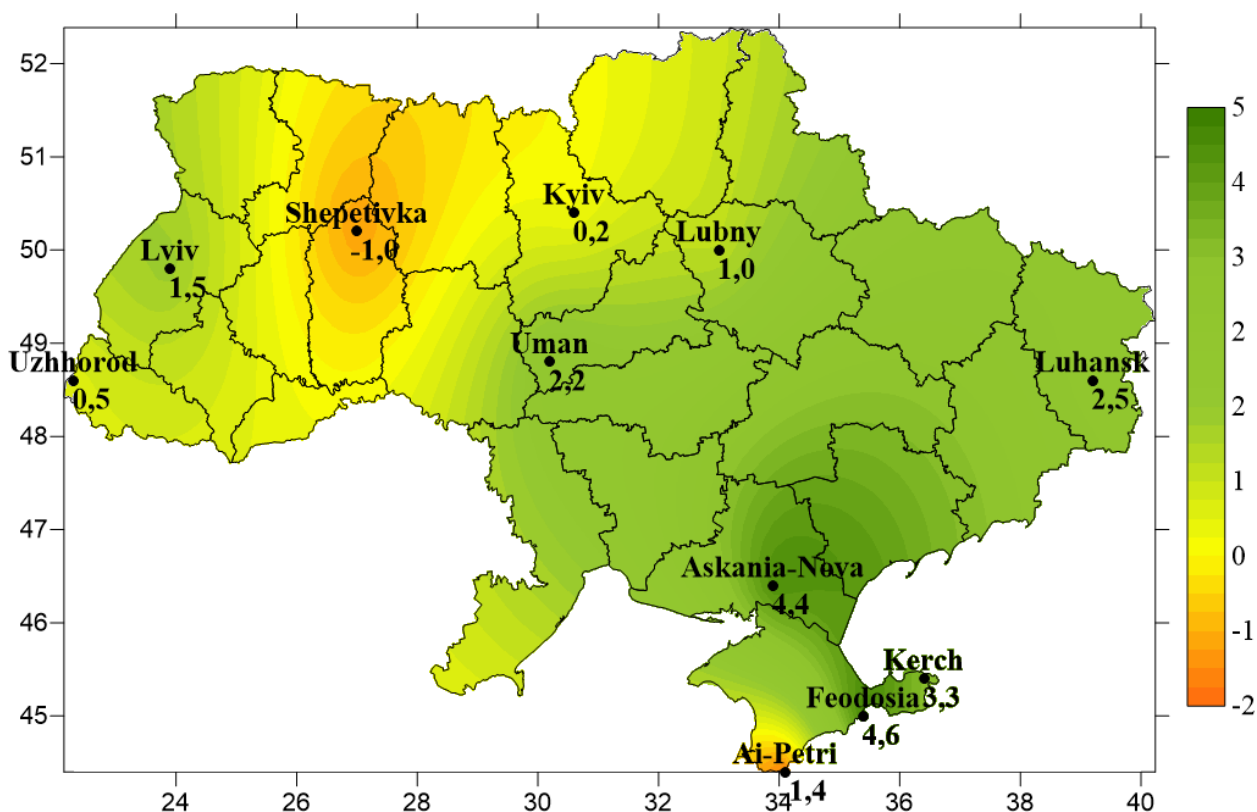


Рисунок 3.14 – Просторовий розподіл відхилення середніх значень частки опадів завдяки дням з сильним зволоженням (R95pTOT) за період 1981 – 2010 рр. від кліматичної норми

Просторовий розподіл різниць середніх значень індексу R95pTOT за період 1981-2010 рр. і 1961-1990 рр. має вогнищевий характер. Найбільше зростання частки опадів більших за 95-тий центиль спостерігається на південному сході країни, а в центральній частині західного регіону відбувається зменшення опадів.

Практично всі лінійні тренди, які отримано для всього періоду спостережень і для більш коротких періодів індексу R99pTOT, є статистично незначущими (табл. В.6, Додаток В). Такий результат в даному випадку не є несподіваним, оскільки ряди цього індексу через його високий поріг, містять багато нулів, що може вплинути на статистичну значущість результатів.

Лінійний тренд, визначений за весь період спостережень, для семи станцій, а саме м. Луганськ, Полтава, Ужгород, Миколаїв, Шепетівка, Асканія Нова і Ай-Петрі, є від'ємним, для інших станцій – тренд висхідний (Б.6, Додаток Б). Швидкість і зростання, і зменшення частки опадів більших за 99-тий центиль за весь період спостережень становить лише 0,1-0,4% за десятиліття. За період 1981-2010 рр. лише для трьох станцій спостерігаються спадні тренди: ст. Умань, Шепетівка і Асканія Нова, всім іншим станціям відповідає висхідний тренд, який вже характеризується більшою швидкістю зростання, яка коливається від 0,05 (м. Київ) дні до 3,6 (м. Чернівці) % за десятиріччя.

Для більш точного аналізу часового розподілу індексу проаналізуємо часовий хід різниць річної частки опадів більших за 99-тий центиль і їх середнього значення, визначеного за період 1961-1990 рр. (рис. Г.6, Додаток Г). Відхилення коливаються в межах від -10 до 30-50%, тобто можна бачити, що додатні відхилення в декілька разів перевищують від'ємні відхилення. В річному ході відхилень спостерігаються більш тривалі періоди (три-п'ять років), коли частка опадів вищих за 99-тий центиль менша за кліматичну норму, і більш короткі періоди (один-два роки), коли частка таких опадів більша за кліматичну норму. Такий розподіл є досить поширеним для індексів, де в рядах міститься багато нулів.

Для визначення змін, які відбуваються в часовому розподілі індексу R99pTOT дослідимо емпіричні розподіли цього індексу (рис. 3.15, а). До 1991 р. емпіричні розподіли за різні періоди були досить схожі. З 1991 р. розподіл змінює форму: зростає повторюваність малої кількості (3-5) днів з надзвичайним зволоженням, і розподіл зсувається праворуч, що вказує на зростання інтенсивності і повторюваності.

Значення центилів індексу R99pTOT, визначені за різні кліматичні періоди вказують на поступове зростання кількості днів з надзвичайним зволоженням для всієї території України (рис. 3.15, б).

На рис. 3.16 представлено просторовий розподіл відхилень середніх значень індексу R99pTOT за період 1981-2010 рр. від кліматичної норми.

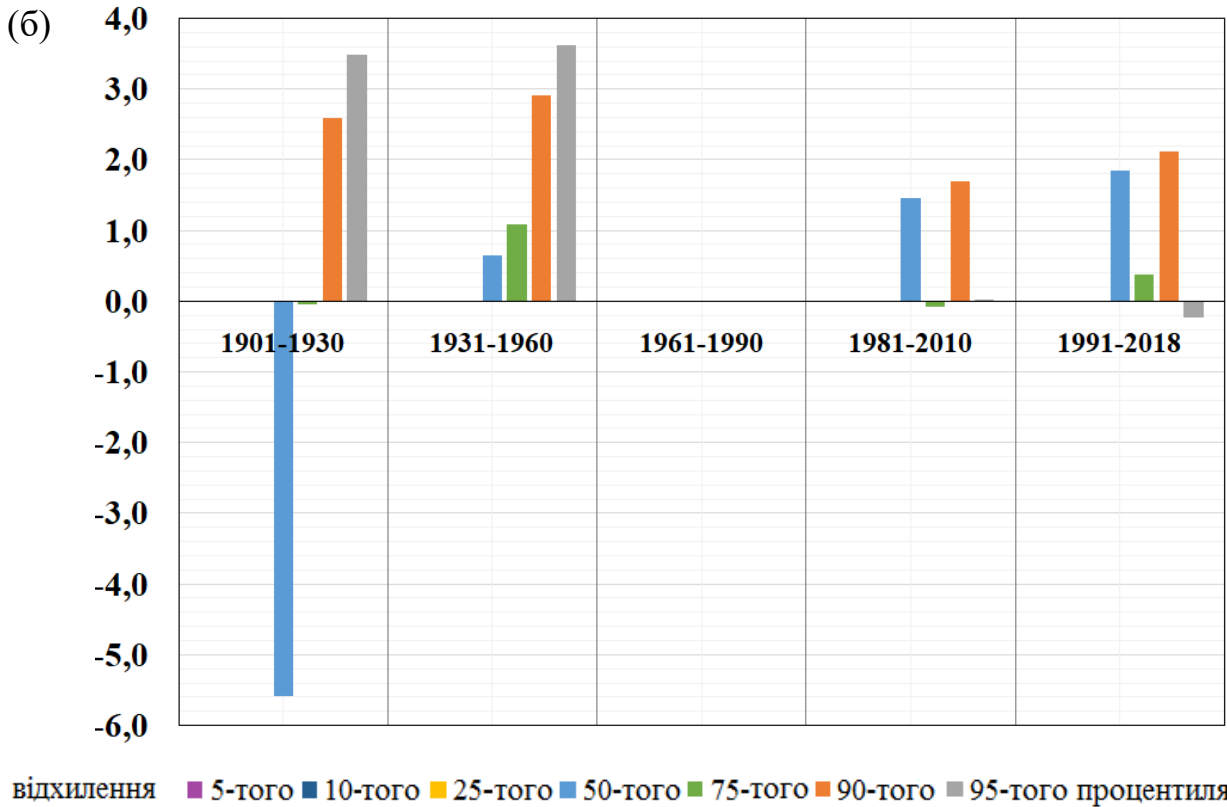
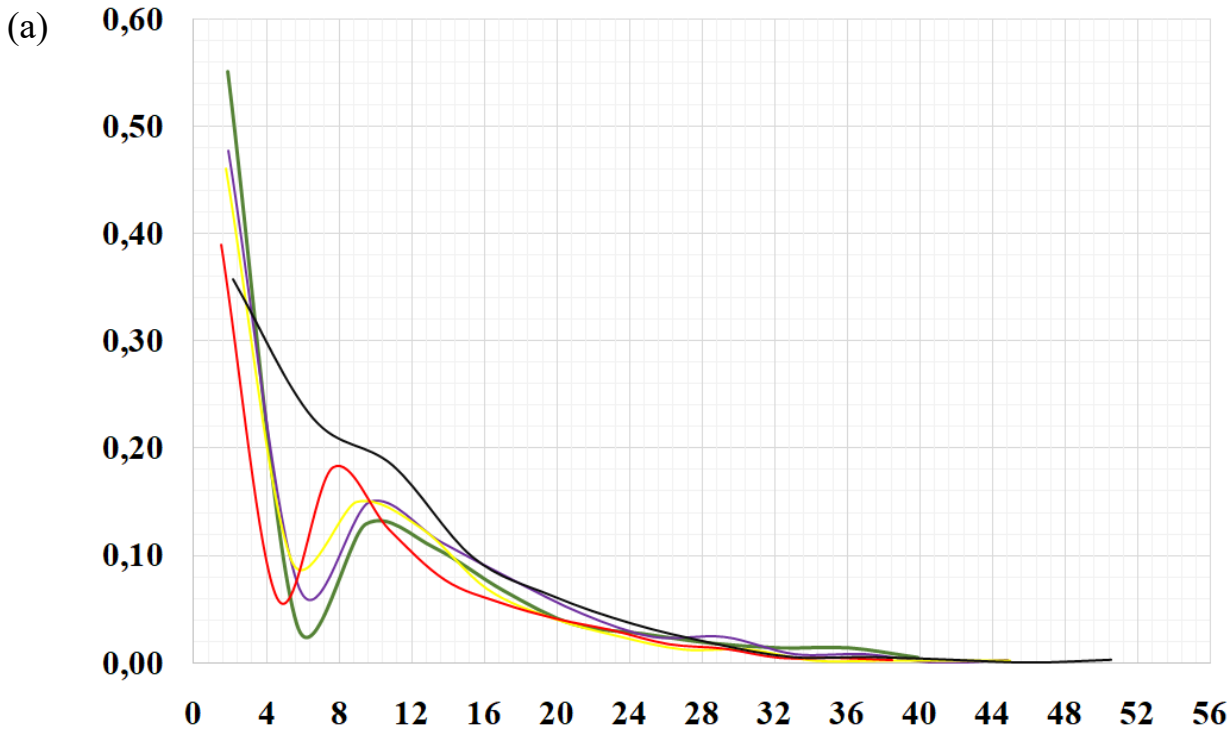


Рисунок 3.15 – Емпіричний розподіл ймовірностей річних значень індексу R99pTOT (a) і відхилення процентилів індексу R99pTOT від відповідних процентилів за період 1961-1990 рр. (б)

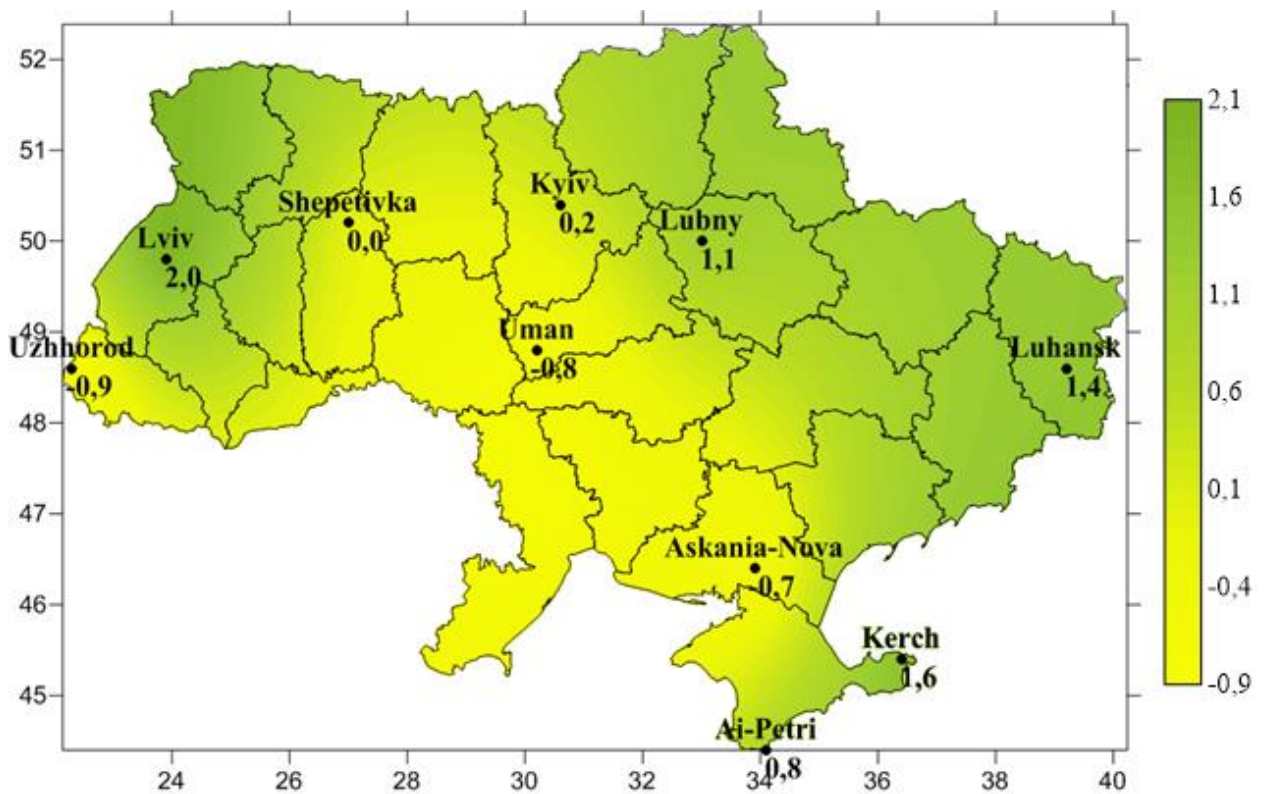


Рисунок 3.16 – Просторовий розподіл відхилення середніх значень частки опадів завдяки дням з надзвичайним зволоженням (R99pTOT) за період 1981 – 2010 рр. від кліматичної норми

У просторовому розподілі різниць між середніми значеннями індексу R99pTOT за період 1981-2010 рр. і 1961-1990 рр. виділяється зона зменшення частки опадів, вищих за 95-тий процентиль, в Закарпатській області і в центральних і південних регіонах України. Зростання частки опадів у дні з надзвичайним зволоженням спостерігається на сході і заході країни.

3.5 Сучасні зміни в просторово-часовому розподілі фіксованих порогових індексів, які характеризують режим опадів, на території України

Абсолютними пороговими індексами, які характеризують режим опадів є кількість днів з опадами ≥ 10 мм (R10mm) та кількість днів з опадами ≥ 20 мм (R20mm). Зрозуміло, що ці індекси на відміну від індексів, в основу яких покладено процентильні пороги, не враховують місцеві

кліматичні умови, але для помірних широт, в яких кількість опадів не коливається в дуже широких межах, вони прийнятні для використання і навіть демонструють добру узгодженість з просторово-часовим розподілом процентильних індексів.

Лінійні тренди, визначені за весь період спостережень, виявились статистично значущими тільки для 8 з 14 розглядуваних станцій України (табл. В.7, Додаток В). Лінійні тренди показали, що на всіх станціях за весь період спостережень відбувається несуттєве підвищення кількості днів з опадами ≥ 10 мм (рис. Б.7, Додаток Б). Приріст кількості днів з опадами ≥ 10 мм становить від 0,1 (м. Керч) до 1,0 (м. Львів) дня за десятиліття. За період 1981-2010 рр. на дев'яти станціях України також спостерігається збільшення кількості днів з сильними опадами і швидкість зростання як і для інших індексів суттєво підвищується: значення коливаються від 0,5 (ст. Асканія Нова) до 2,7 (ст. Львів) дні за десятиліття.

Відхилення річної кількості днів з опадами ≥ 10 мм від її кліматичної норми, визначеної за період 1961-1990 рр., коливається в межах від -25 до +30 днів для всієї території України, причому для різних станцій відхилення може коливатись в різних межах, найчастіше діапазон коливань складає -10 ... +10 днів (рис. Г.7, Додаток Г). Для індексу R10mm виявляється цікава тенденція для ст. Київ, Луганськ, Одеса, де яскраво виражені два тривалих періоди: в першій половині ХХ століття річна кількість днів з опадами ≥ 10 мм нижча за кліматичну норму, в другій половині і на початку ХХІ століття – більша. Для інших станцій таких сталих періодів не виявлено.

Емпіричні розподіли індексу R10mm, отримані за різні кліматичні періоди, набувають форми двомодального розподілу і зсуваються праворуч в бік високих значень. Довгий правий хвіст розподілу лишається незмінним. Все це вказує на те, що з часом інтенсивність і тривалість явища буде зростати.

Попередньо зроблені висновки узгоджуються з результатами, отриманими при аналізі значень процентилів, отриманих за різні кліматичні періоди: значення всіх процентилів поступово збільшуються.

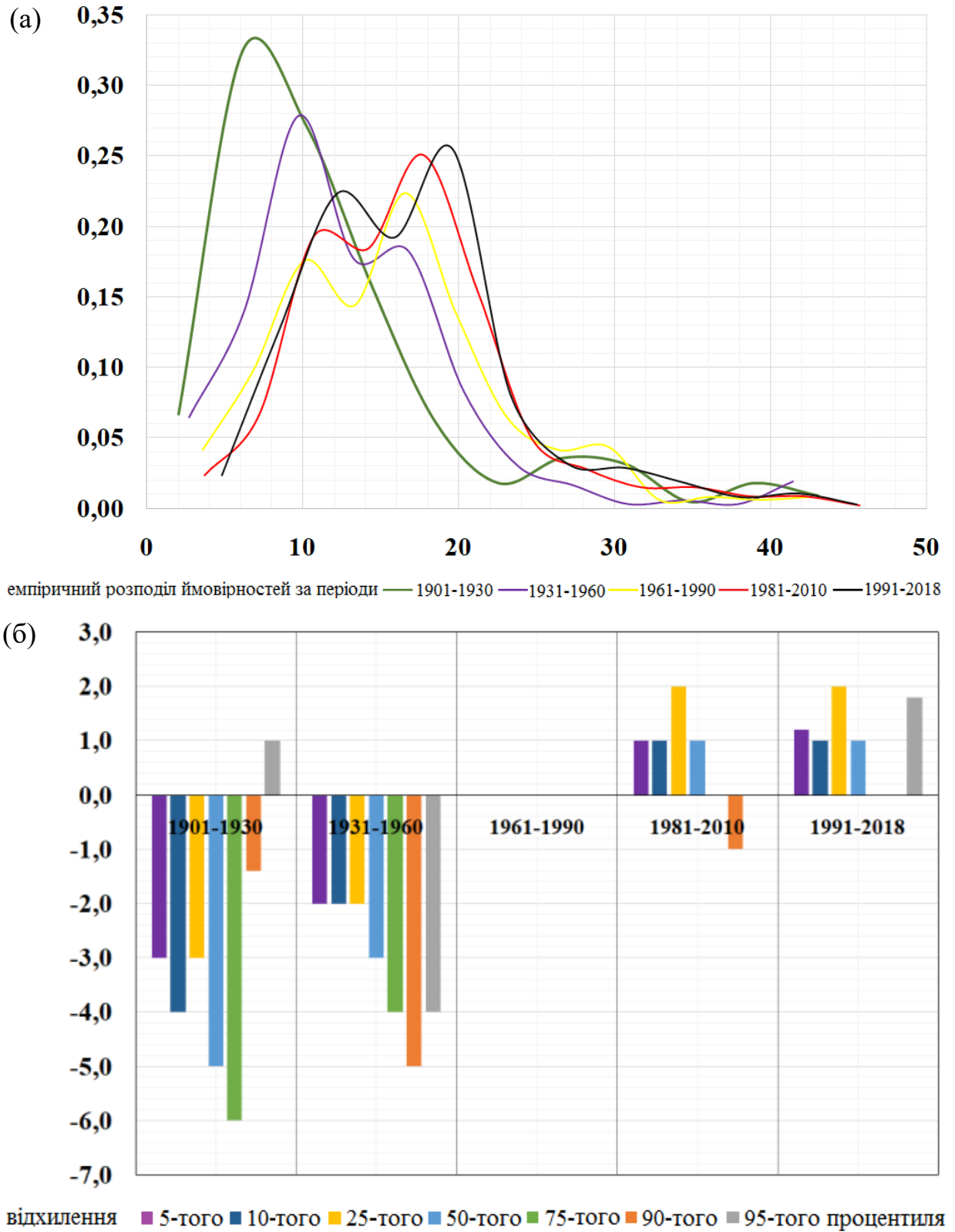


Рисунок 3.17 – Емпіричний розподіл ймовірностей річних значень індексу R10 mm (a) і відхилення процентилів індексу R10 mm (б) від відповідних процентилів за період 1961-1990 рр.

На рис. 3.18 представлено просторовий розподіл відхилень середніх значень індексу R10 mm за період 1981-2010 pp. від кліматичної норми.

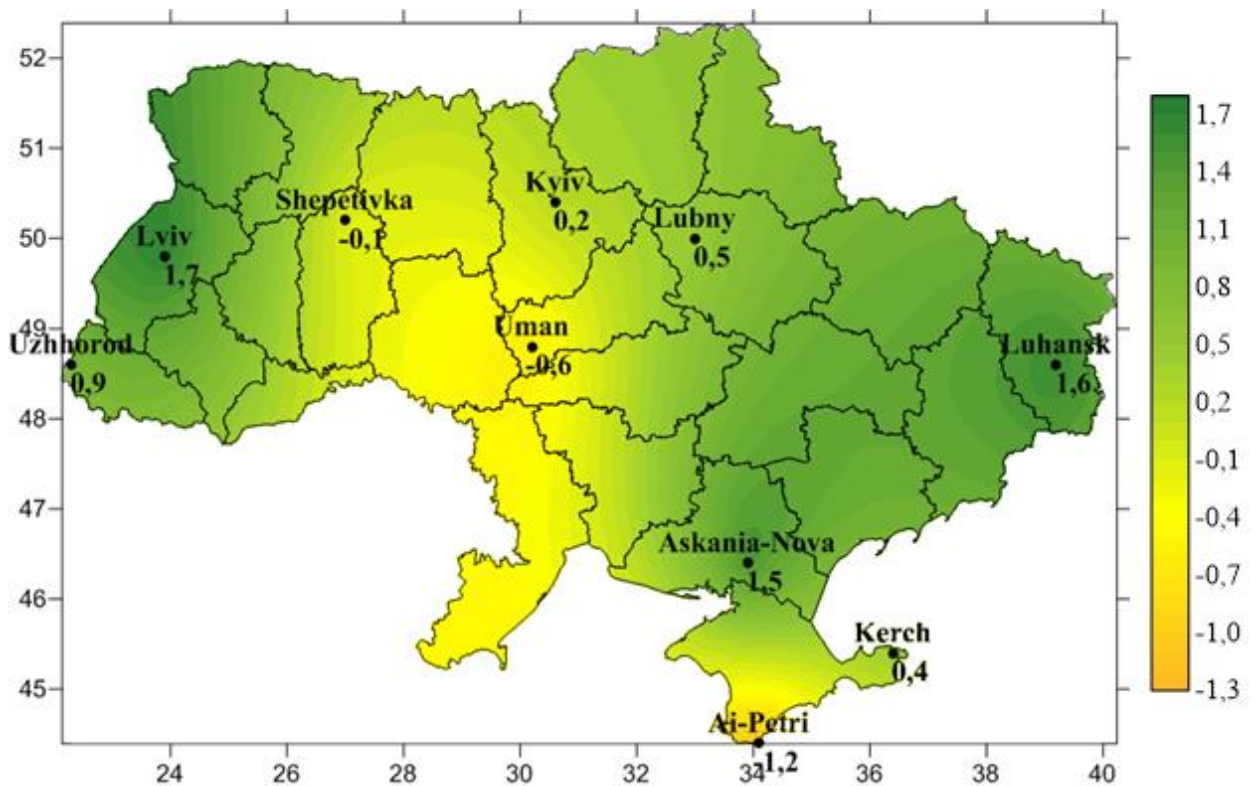


Рисунок 3.18 – Просторовий розподіл відхилення середніх значень кількості днів з кількістю опадів ≥ 10 мм (R10mm) за період 1981 – 2010 pp. від кліматичної норми

В просторовому розподілі різниці середніх значень індексу R10mm, отриманими за період 1981-2010 pp. і період 1961-1990 pp., яскраво вираженими є дві області зменшення річної кількості днів з опадами ≥ 10 мм на крайньому півдні Кримського півострова і Придніпровської височини. В інших регіонах України відбувається збільшення індексу R10mm.

Лінійні тренди, виявлені в часових рядах індексу R20mm за весь період спостережень, для восьми з 14 розглядуваних станцій є статистично значущими (табл. В.8, Додаток В). Отримані за весь період спостережень тренди є додатними на всіх станціях і їх кутовий коефіцієнт, який характеризує швидкість зростання величини за один рік, коливається в межах 0,03 ... 0,09 дні, що відповідає зміні в 0,3 ... 0,9 дні за десятиріччя, виключаючи

ст. Миколаїв, для якої тренд є практично нульовим (рис. Б.8, Додаток Б). Для періоду 1981-2010 рр. для дев'яти станцій України (ст. Асканія Нова, Ай Петрі, Керч, Чернівці, Одеса, Вінниця, Львів, Ужгород і Луганськ) лінійний тренд є також висхідним і швидкість зростання кількості днів з опадами ≥ 20 мм вже може сягати 2,7 дні за десятиліття. Для станцій, для яких в цей період має місце від'ємний тренд, швидкість зниження індексу R20mm є також досить суттєвою і може складати приблизно -1 день за десятиліття. В проміжні періоди лінійні тренди зазвичай були спадними.

Незважаючи на швидкість зростання індексу R20mm, яка є порівняна з швидкістю зміни індексу R10mm, тим не менш межі зміни відхилень річної кількості днів з дуже сильними опадами від їх кліматичної норми, більш вузькі і становлять для багатьох станцій -5 ... +5 днів, для деяких станцій, наприклад, ст. Ай-Петрі, відхилення змінюються в більш широкі межі від -12 до +14 днів (рис. Г.8, Додаток Г). Найчастіше найбільші значення є характерними для додатних відхилень, а не від'ємних. Для більшості станцій найбільші додатні відхилення спостерігались в період 1991-2018 рр., тобто для більшої території України має місце усталена тенденція до підвищення кількості днів з дуже сильними опадами.

Емпіричний розподіл індексу R20mm має модальне значення, яке становить 3 дні, тобто найчастіше на різних станціях України, дуже сильні опади спостерігаються три дні (рис. 3.19, а). Це модальне значення в період 1981-2010 рр. зміщувалось праворуч і становило 4,5 днів, але в період 1991-2018 рр. складає 3,5 днів. Найбільша кількість років дуже сильні опади реєструється не більше 10 днів. Розподіл має довгий хвіст, який вказує на те що в поодинокі роки кількість днів з опадами ≥ 20 мм може сягати і 25 днів.

Значення процентилів, отримані за різні кліматичні періоди, вказують на поступове зростання кількості днів з дуже сильними опадами для всієї території України (рис. 3.19, б).

На рис. 3.20 представлено просторовий розподіл відхилень середніх значень індексу R20 mm за період 1981-2010 рр. від кліматичної норми.

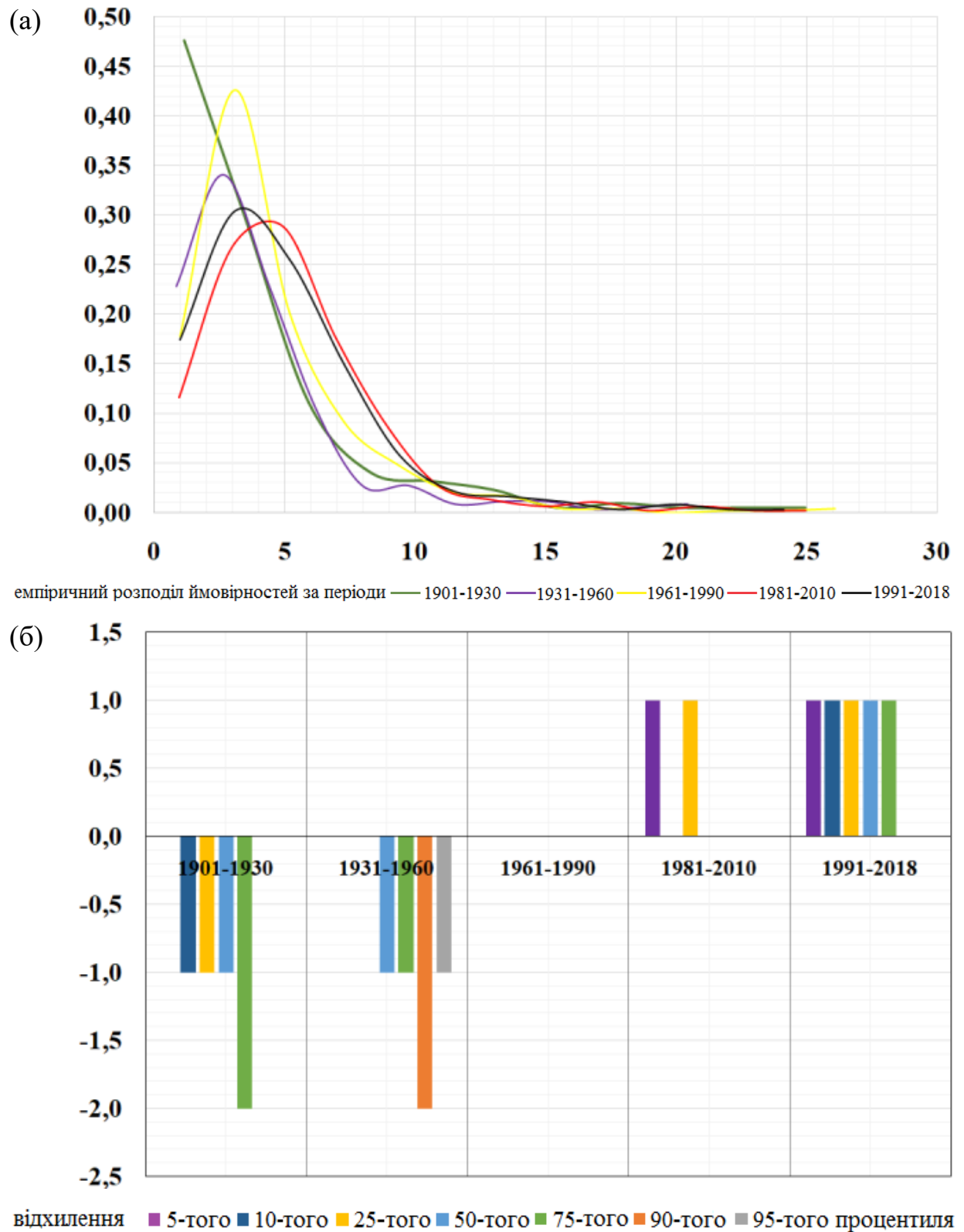


Рисунок 3.19 – Емпіричний розподіл ймовірностей річних значень індексу R20 mm (a) і відхилення процентилів індексу R20 mm від відповідних процентилів за період 1961-1990 pp. (б)

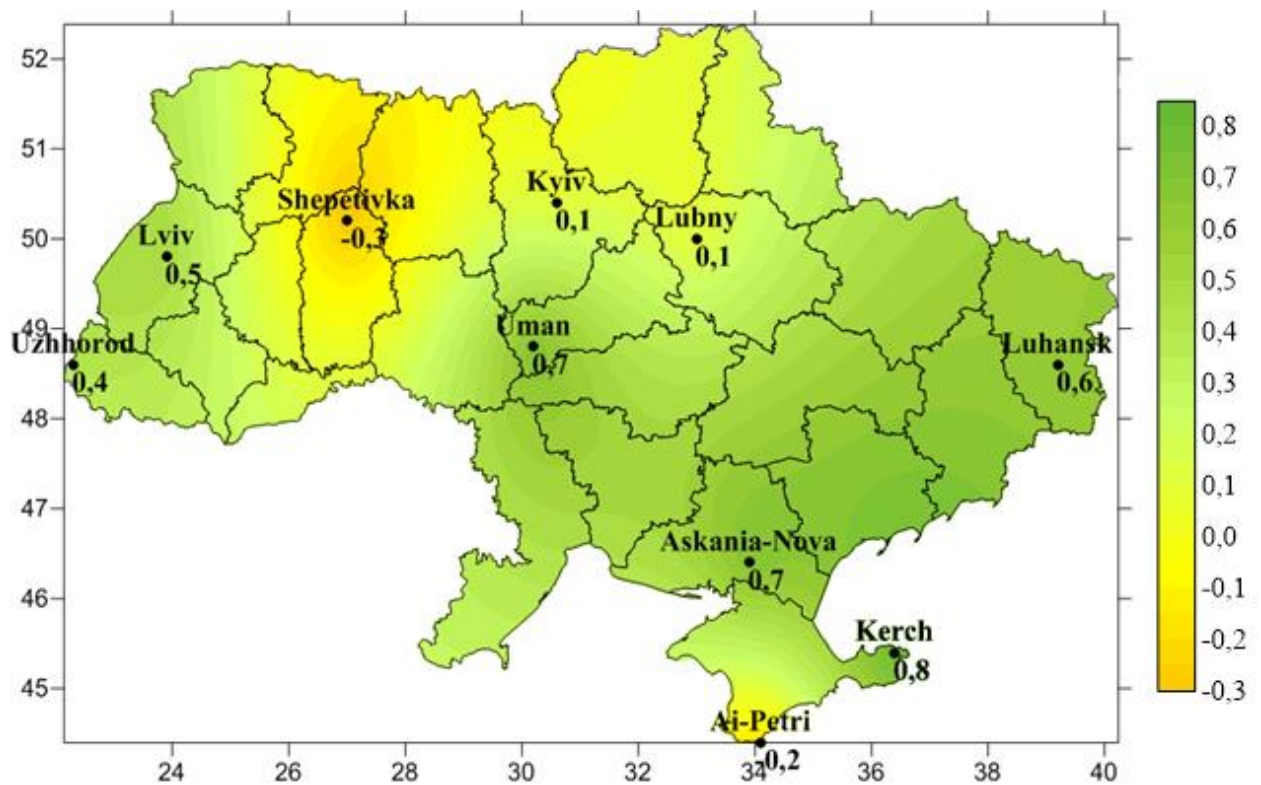


Рисунок 3.20 – Просторовий розподіл відхилення середніх значень кількості днів з кількістю опадів ≥ 20 мм (R20mm) за період 1981 – 2010 рр. від кліматичної норми

Просторовий розподіл різниці між середніми значеннями індексу R20mm, визначеними за періоди 1981-2010 рр. і 1961-1990 рр., показує зростання індексу для всієї території України, виключаючи південь Кримського півострову і північно-західну частину Придніпровської височини.

3.6 Сучасні зміни в просторово-часовому розподілі позакатегоріальних індексів, які характеризують режим опадів, на території України

До позакатегоріальних індексів, тобто індексів, які не увійшли в жодну з категорій, належать загальна кількість опадів у дощові дні (PRCPTOT) і простий індекс добової інтенсивності опадів (SDII).

Лінійні тренди, виявлені для індексу PRCPTOT за увесь період спостережень, є статистично значущими лише для восьми з чотирнадцяти розглядуваних станцій (табл. В.9, Додаток В).

Лінійні тренди, визначені за весь період спостережень, є висхідними для всіх станцій. Швидкість зростання кількості опадів у дощові дні коливається від 0,5 (ст. Миколаїв) до 29,1 (ст. Луганськ) мм за десятиліття. Незважаючи на такий великий розкид, для більшості станцій є характерним зростання опадів в дощові дні на 15 мм за десять років (рис. Б.9, Додаток Б).

Для періоду 1981-2010 рр. отримані тренди буди висхідними для одинадцяти станцій (ст. Асканія Нова, Ай-Петрі, Керч, Київ, Чернівці, Одеса, Вінниця, Львів, Ужгород, Лубни, Луганськ), причому швидкість зростання опадів значно збільшується і для деяких станцій може сягати 78,9 мм/десятиліття. Від'ємні тренди не характеризуються такими високими темпами змін: максимальна швидкість сягає 22,9 мм/десятиліття.

Відхилення річної кількості опадів в дощові дні від її кліматичної норми змінюються в досить широких межах від -500 до +800 мм (рис. Г.9, Додаток Г). Для деяких станцій спостерігаються усталені періоди, впродовж яких відхилення або є додатними, або, навпаки, від'ємними. Періоди усталених додатних відхилень є характерними після 1991 р. На багатьох станціях не виявляється якоїсь усталеної тенденції і короткі періоди з додатними відхиленнями чергуються з короткими періодами з від'ємними тенденціями.

Емпіричний розподіл індексу PRCPTOT з часом зсувається праворуч приблизно на 200 мм порівняно з періодом 1931-1960 рр., настільки же зростає середнє і модальне значення індексу, але слід зауважити, що, незважаючи на зсування емпіричного розподілу індексу праворуч, його правий хвіст суттєво зменшується порівняно з попередніми періодами, тобто максимальні суми опадів для України зменшились (рис. 3.21, а).

Цей результат підтверджується і середнім значеннями процентилів, визначеними за різні кліматичні періоди (рис. 3.22, б). Нижні процентилі суттєво збільшуються, а деякі верхні процентилі, навпаки, зменшуються.

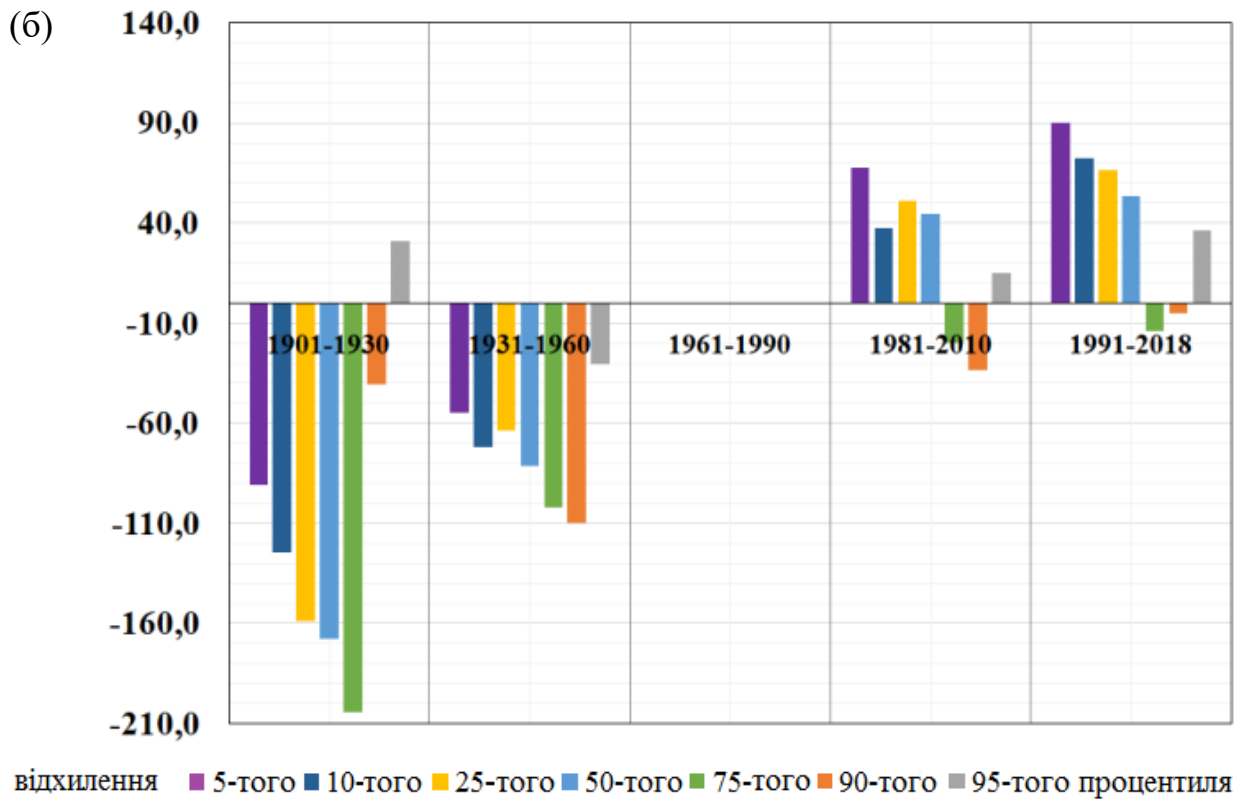
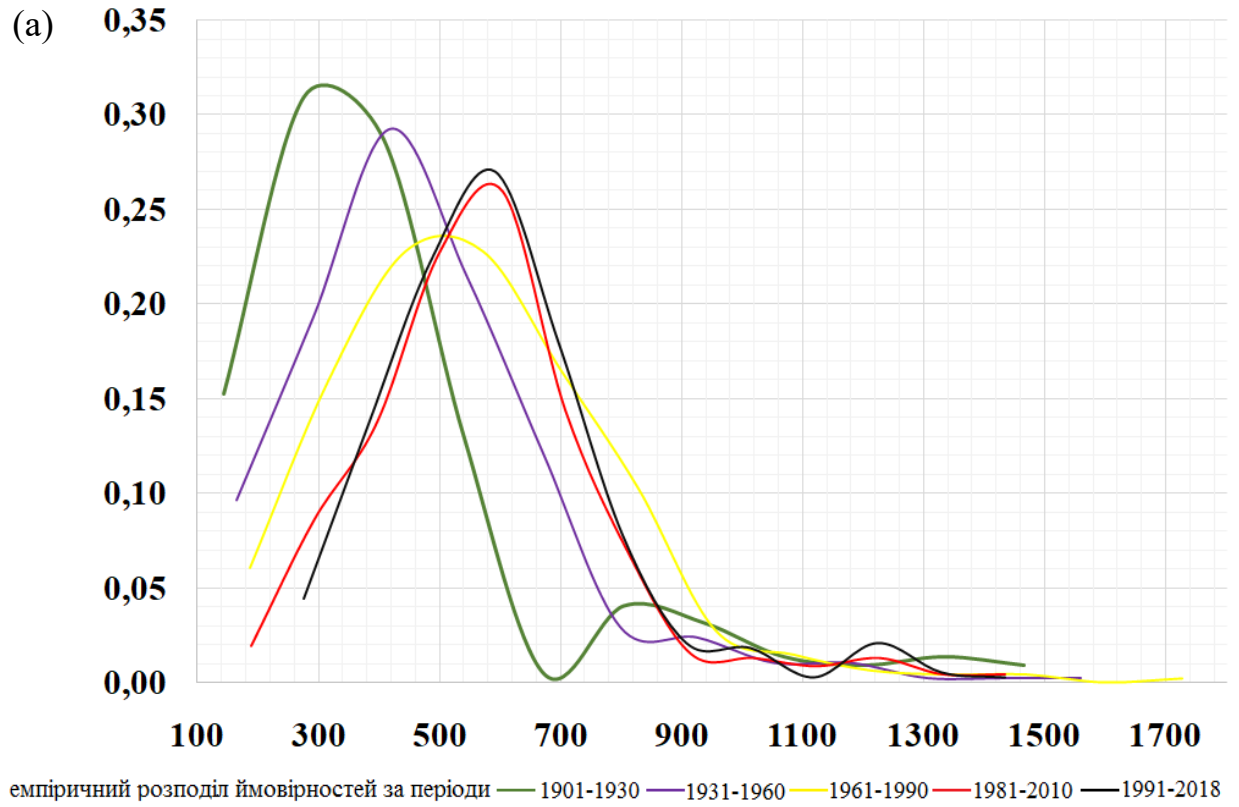


Рисунок 3.21 – Емпіричний розподіл ймовірностей річних значень індексу PRCPTOT (a) і відхилення процентилів індексу PRCPTOT від відповідних процентилів за період 1961-1990 рр. (б)

На рис. 3.22 представлено просторовий розподіл відхилень середніх значень індексу PRCPTOT за період 1981-2010 рр. від кліматичної норми.

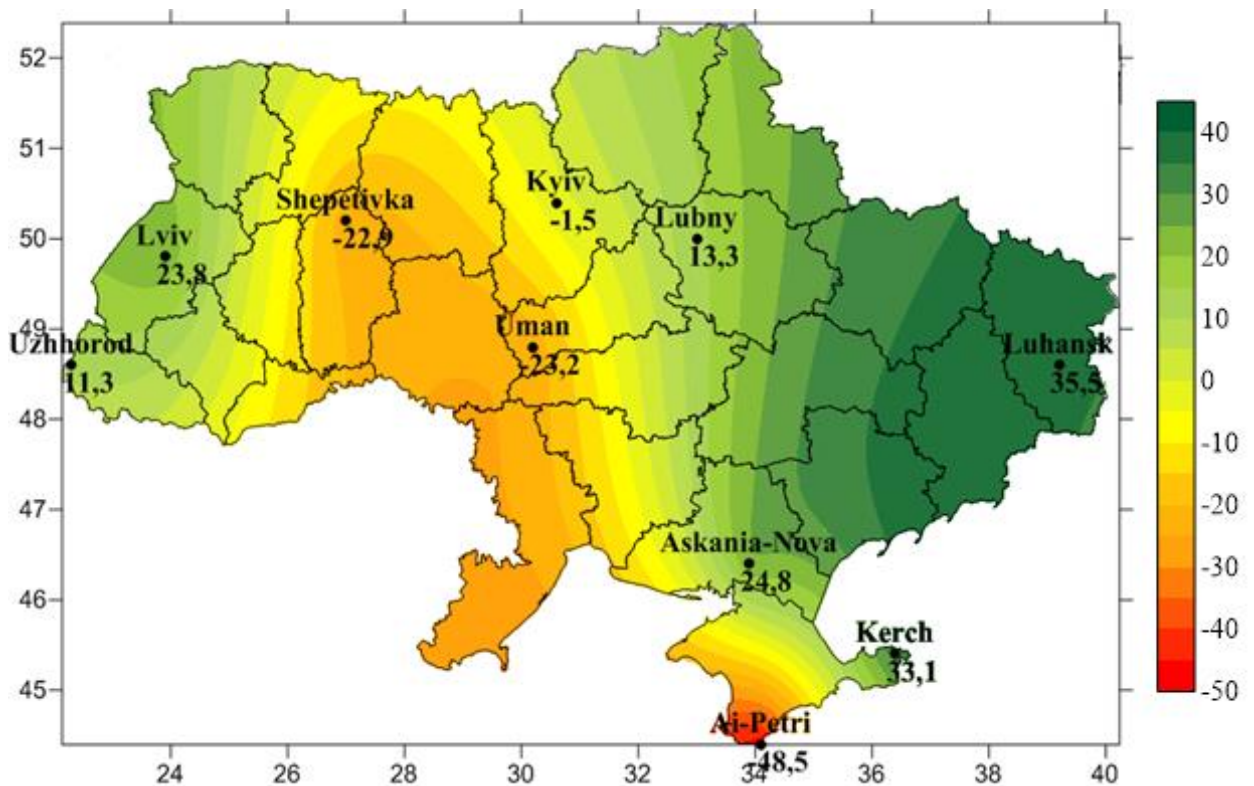


Рисунок 3.22 – Просторовий розподіл відхилення загальної кількості опадів у дощові дні (PRCPTOT) за період 1981 – 2010 рр. від кліматичної норми

В просторовому розподілі відхилення індексу PRCPTOT за період 1981 – 2010 рр. від кліматичної норми спостерігається смуга, яка проходить південно-західними областями України і простягається далі на північ, для якої характерним є зменшення кількості опадів у дощові дні. Для іншої території відбувається зростання кількості опадів. Це добре узгоджується з висновками, отриманими для індексу CDD.

Індекс SDII можна використовувати для характеристики рідких і інтенсивних опадів, чим є більшим цей індекс, тим більшою є ймовірність того, що опади розподілені нерівномірно в часі, що може дуже погано вплинути на умови, комфортні для розвитку рослин, а отже, і на сільське господарство.

Для більшості станцій тренди, які визначені за весь період спостережень, є статистично незначущими (табл. В.10, Додаток В), але для уявлення загальних змін, які відбуваються, проаналізуємо їх.

Для всіх станцій, виключаючи м. Луганськ, тренд, виявлений за весь період спостережень, є додатним (рис. Б.10, Додаток Б). Швидкість зростання індексу SDII коливається в межах від 0,02 (ст. Ай-Петрі) до 0,1 (ст. Одеса, Миколаїв) мм за десятиліття. Зростання індексу SDII означає, що на цих станціях збільшується інтенсивність опадів від 0,02 до 0,1 мм/доба. Для м. Луганськ швидкість зменшення індексу SDII становить 0,03 мм/десятиліття.

Для десяти з п'ятнадцяти розглядуваних станцій в період 1981-2010 рр. було виявлено додатний тренд, для інших п'яти станцій, а саме ст. Київ, Вінниця, Шепетівка, Умань, Лубни, – від'ємний. Темп зміни індексу SDII зростає і сягає 0,6 мм/десятиліття для станцій з додатним трендом і –0,2 мм/десятиліття для станцій з від'ємним трендом.

Відхилення річних значень простого індексу добової інтенсивності від його кліматичної норми, визначеної за період 1961-1990 рр., змінюються в межах від –4 до +6 мм (рис. Г.10, Додаток Г). Часовий розподіл відхилень є досить неоднорідним і не можна виділити періодів усталеного зростання або спаду відхилень.

Емпіричний розподіл індексу змінюється з часом, зсуваючись праворуч, але незважаючи на те, що даний розподіл характеризується довгим правим хвостом, повторюваність екстремальних значень простого індексу добової інтенсивності зменшуватиметься, оскільки права межа суттєво зсувається ліворуч (рис. 3.23, а).

Отримані висновки також підтверджуються аналізом зміни з часом середніх значень процентилів, визначених за різні кліматичні періоди. Хоча з рис. 3.23, б видно, що з часом зростають усі процентилі порівняно з періодом 1961-1990 рр., проте максимальні значення верхніх процентилів (90-того і 95-того) мають місце в період 1901-1930 рр.

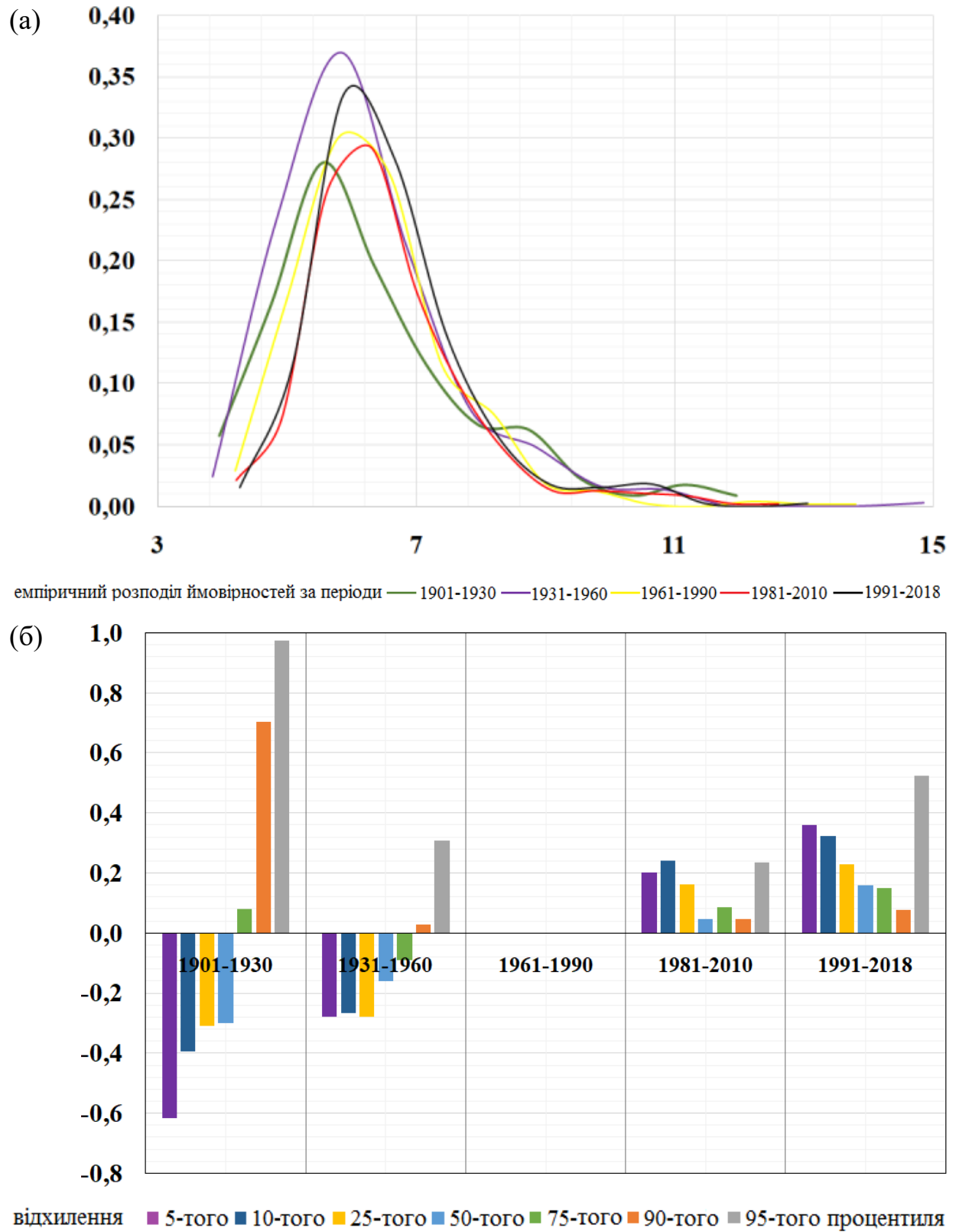


Рисунок 3.23 – Емпіричний розподіл ймовірностей річних значень індексу SDII (a) і відхилення процентилів індексу SDII від відповідних процентилів за період 1961-1990 рр. (б)

На рис. 3.44 представлено просторовий розподіл відхилень середніх значень індексу SDII за період 1981-2010 рр. від його кліматичної норми.

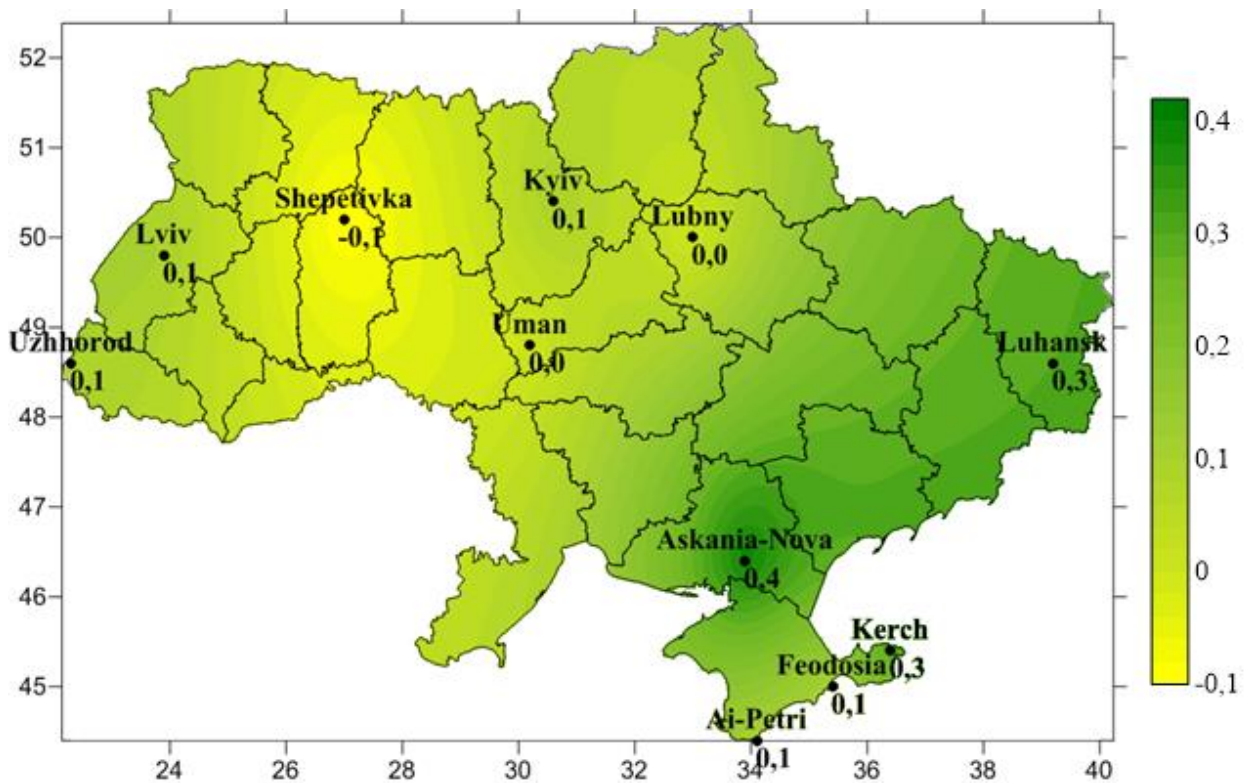


Рисунок 3.24 – Просторовий розподіл відхилення середніх значень простого індексу добової інтенсивності опадів (SDII) за період 1981 – 2010 рр. від кліматичної норми

Просторовий розподіл відхилення середніх значень індексу SDII за період 1981 – 2010 рр. від кліматичної норми виявляє досить незначні зміни в перерозподілі опадів: найбільші значення простого індексу добової інтенсивності є характерними для північного сходу і півдня країни, для всієї іншої території є характерним незначне зростання індексу SDII, а на ст. Шепетівка – навіть незначне зменшення.

ВИСНОВКИ

В результаті проведеного дослідження було складено каталог кліматичних індексів режиму зволоження України за період 1881–2018 рр.

Було проаналізовано 10 екстремальних кліматичних індексів, які були запропоновані Експертною групою моніторингу і індексів змін клімату для характеристики режиму опадів, для 16 станцій України за весь доступний для кожної зі станцій період спостережень.

В даній роботі було застосовано модель лінійної регресії, тест Манна-Кендалла, методи спектрального і гармонічного аналізу до часових рядів річної суми опадів, річного максимуму одноденної кількості опадів і річного індексу посушливості для виявлення просторово-часових трендів в вологістному режимі України і здійснення висновків щодо змін кількості опадів у майбутньому.

Теоретичні розподіли річної суми опадів, отримані за допомогою непараметричних методів, показали в останні 75 років зростання кількості опадів на 40-50 мм для більшості міст України. Лише в м. Умань і Ужгород кількість опадів лишається незмінною.

Починаючи з 1945 р. річна сума опадів зростає з часом на 50-200 мм, хоча для індексу RX1day вже не виявляється такої узгодженої тенденції, оскільки для м. Керч, Ужгород, Умань і Шепетівка тренд або незмінний, або спадний, хоча і незначно. В усіх інших містах в наступні 22 роки можна очікувати зміни екстремальних одноденних опадів на 5-10 мм порівняно з теперішнім часом.

Просторовий розподіл відхилень середніх значень максимальної за рік одноденної суми опадів за 1981-2010 рр. від їх кліматичної норми виявили смугу зменшення екстремальних опадів, яка простягається з південних районів України на Придніпровську височину, і області збільшення – на заході і північному сході країни.

На відміну від попереднього індексу для максимальної за рік п'ятиденної кількості опадів практично для всієї території України, за виключенням

південно-західних районів відбувається зростання таких опадів, хоча абсолютний максимум, який був зареєстрований в 1901-1930 рр. не був перевищений.

Індекс посушливості характеризується від'ємними лінійними трендами для всіх станцій України, окрім м. Лубни, які вказують на зменшення максимальної кількості послідовних днів з опадами < 1 мм з часом на 8-10 днів. В майбутні 22 роки продовжуватиметься зменшення індексу посушливості на цих станціях і тенденції посилюватимуться. В м. Лубни, навпаки, індекс посушливості має зрости до 2050 р., але лише на 2 дні. Ці результати досить добре узгоджуються і зі зміною емпіричного розподілу з часом.

Просторово-часовий розподіл індексу посушливості характеризуються смугою зростання посушливих періодів, яка поширюється з півдня на північ України через центральні регіони. У східних і західних областях відбувається незначне зменшення тривалості посушливих періодів.

Поряд з індексом посушливості було проаналізовано і дощовий індекс, який демонструє суттєве зсунення емпіричного розподілу в бік зростання кількості днів з опадами ≥ 1 мм і зростання екстремальної кількості днів до 31 в період 1991-2018 рр. Зміни, які відбуваються в просторовому розподілі дощових днів за період 1961-2010 рр., досить незначні і є виразними лише для м. Умань і ст. Ай-Петрі, де відбувається зменшення кількості дощових днів.

До процентильних індексів, що характеризують режим опадів, належать частка опадів завдяки дням з сильним і надзвичайним зволоженням. Обидва індекси характеризуються зсуненням емпіричних розподілів з часом праворуч, особливо в період 1991-2018 рр. Для частки опадів більших за 95-тий процентиль зростають і нижні, і верхні процентилі, що вказує на зростання частки екстремальної кількості опадів. Просторово-часові розподіли обох індексів демонструють досить різні тенденції: зменшення частки опадів завдяки дням з сильним зволоженням спостерігається на Придніпровській височині і Кримських горах, в інших регіонах відбувається

збільшення, а частка опадів завдяки дням з надзвичайним зволоженням навпаки зменшується в південно-західних областях України.

Фіксовані порогові індекси, до яких належить кількість днів з сумою опадів ≥ 10 мм і 20 мм, для всієї території України характеризуються зростанням. Цікава тенденція простежується в просторово-часовому розподілі цих індексів: тенденції в зміні кількості днів з опадами ≥ 10 мм співпадають зі змінами, які відбуваються для кількості днів з надзвичайним зволоженням, а зміна кількості днів з опадами ≥ 20 мм добре узгоджується зі змінами для кількості днів з сильним зволоженням. Це вказує на те, що в м. Умань в 5% випадків спостерігаються опади 20 мм і більше, а в інших розглянутих містах, цей поріг набагато нижчий і в 5% випадків мають місце опади лише 10 мм і більше.

Загальна кількість опадів в дощові дні з часом також суттєво збільшується, що простежується і в зсуненні емпіричного розподілу, і в зростанні процентилів. В полі змін загальної кількості опадів в дощові дні за період 1961-2010 рр. простежується суттєве зменшення опадів в смузі, яка поширюється з Кримських гір на регіони Придніпровської височини. На заході і сході країни відбувається збільшення опадів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гнатюк Н.В., Краковська С.В., Шпиталь Т.М., Білозерова А.К. Проекції змін клімату в південному регіоні// тези доповідей міжнародної наукової конференції молодих вчених «Сучасна гідрометеорологія: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення». – Одеса. – ТЕС. – 2014. – С. 162–163.
2. Клімат України. За редакцією В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко /Видавництво Раєвського. – Київ, 2003. – 343 с.
3. Кошкин Д.А., Кочугова Е.А. Индикация изменения климата в терминах индексов экстремальности температуры воздуха и их связь с изменениями атмосферной циркуляции на территории Предбайкалья. Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. 2011.
4. Пространственно-временные изменения климатических индексов увлажнения на территории Грузии в условиях глобального потепления / Элизбарашвили [и др.] // Метеорология и гидрология .— 2016 .— №4 .— С. 47-55
5. Руководство по гидрологической практике. Том II Управление водными ресурсами и практика применения гидрологических методов. – ВМО - № 168. Часть II. – 2012. – 324 с.
6. Alexander, L.V., X. Zhang, T.C. Peterson, J. Caesar, B. Gleason, A.M.G. Klein Tank, M. Haylock, D. Collins, B. Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, P. Ambenje, K. Rupa Kumar, J. Revadekar and G. Griffiths, 2006: Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. J. Geophys. Res., 111 (D05109), DOI:10.1029/2005JD006290.
7. Coles S (2001) An introduction to the statistical modeling of extreme values. Springer, London, 208 pp. ISBN ISBN 1-85233-459-2
8. Frich P, Alexander LV, Della-Marta P, Gleason B, Haylock M, Klein Tank AMG, Peterson T (2002) Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. Clim Res 19:193–212
9. Hanlon H, Hegerl GC, Tett SFB, Smith DM (2012a) Can a decadal forecasting system predict temperature extreme indices? J Clim, in press. doi [10.1175/JCLI-D-12-00512.1](https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00512.1)
10. Hegerl GC, Hanlon H, Beierkuhnlein C (2011) Elusive extremes. Nat Geosci 4:142–143

11. Hegerl GC, Zwiers FW, Stott PA, Kharin VV (2004) Detectability of anthropogenic changes in annual temperature and precipitation extremes. *J Clim* 17:3683–3700
12. <http://cran.r-project.org/web/packages/extRemes/>
13. IPCC (2012) Summary for policymakers. In: Field CB, Barros V, Stocker TF, Qin D, Dokken DJ, Ebi KL, Mastrandrea MD, Mach KJ, Plattner G-K, Allen SK, Tignor M, Midgley PM (eds) Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A special report of working groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge/New York, pp 1–19
14. Katz R, Parlange M, Naveau P (2002) Extremes in hydrology. *Adv Water Resour* 25:1287–1304
15. Kharin VV, Zwiers FW, Zhang X, Hegerl GC (2007) Changes in temperature and precipitation extremes in the IPCC ensemble of global coupled model simulations. *J Clim* 20:1419–1444
16. Kiktev, D., D. M. H. Sexton, L. Alexander, and C. K. Folland (2003), Comparison of modeled and observed trends in indices of daily climate extremes, *J. Clim.*, 16, 3560–3571
17. Klawe M, Ulbrich U (2003) A model for the estimation of storm losses and the identification of severe winter storms in Germany. *Nat Hazard Earth Syst Sci* 3:725–732.
18. Klein Tank AMG, Zwiers FW, Zhang X (2009), Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation (WCDMP-72, WMO-TD/No.1500), 56 pp
19. Klein Tank, A.M.G., F.W. Zwiers, X.Zhang, 2009: Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of Informed decisions for adaptation., WCDMP-72, WMO-TD/No. 1500.
20. Knutson TR, McBride JL, Chan J, Emanuel K, Holland G, Landsea C, Held I, Kossin JP, Srivastava AK, Sugi M (2010) Tropical cyclones and climate change. *Nat Geosci* 3:157–163
21. Mahmood, R., Jia, S. & Zhu, W. Analysis of climate variability, trends, and prediction in the most active parts of the Lake Chad basin, Africa. *Sci Rep* 9, 6317 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42811-9>
22. Peterson, T.C. and M.J. Manton, 2008: Monitoring changes in climate extremes – A tale of international collaboration. *BAMS*, DOI:10.1175/2008BAMS2501.1
23. Peterson, T.C. Climate Change Indices. // *WMO Bulletin*, 2005, 54 (2), 83-86 p

24. Seneviratne SI, Nicholls N, Easterling D, Goodess CM, Kanae S, Kossin J, Luo Y, Marengo J, McInnes K, Rahimi M, Reichstein M, Sorteberg A, Vera C, Zhang X (2012) Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: Field CB, Barros V, Stocker TF, Qin D, Dokken D, Ebi KL, Mastrandrea MD, Mach KJ, Plattner G-K, Allen SK, Tignor M, Midgley PM (eds) Intergovernmental Panel on Climate Change special report on managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. Cambridge University Press, Cambridge/New York.
25. van Oldenborgh GJ, van Urk A, Allen M (2012) The absence of a role of climate change in the 2011 Thailand floods. In: Peterson TC et al (eds) Explaining extreme events of 2011 from a climate perspective. Bull Am Meteor Soc 93:1041–1067. doi: [10.1175/BAMS-D-12-00021.1](https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00021.1)
26. Watson CC, Johnson ME (2004) Hurricane loss estimation models: opportunities for improving the State of the Art. Bull Am Meteorol Soc 85:1713
27. Wehner MF (2013) Very extreme seasonal precipitation in the NARCCAP ensemble: model performance and projections. Clim Dyn 40(1–2):59–80. doi: [10.1007/s00382-012-1393-1](https://doi.org/10.1007/s00382-012-1393-1)
28. www.ecad.eu
29. Yan Z., Jones P.D., Davies T.D., Moberg A., Bergström, H., Camuffo D., Cocheo C., Maugeri M., Demarée, G.R., Verhoeve T., Thoen E., Barriendos M., Rodríguez, R., Martín-Vide J., Yang C. (2002) Trends of extreme temperatures in Europe and China based on daily observations, Climatic Change 53, 355–392.
30. Zhang X, Alexander LV, Hegerl GC, Klein Tank A, Peterson TC, Trewin B, Zwiers FW (2011) Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. Wiley Interdiscip Rev Clim Change 2:851–870. doi: [10.1002/wcc.147](https://doi.org/10.1002/wcc.147)
31. Zwiers F.W. et al. (2013) Climate Extremes: Challenges in Estimating and Understanding Recent Changes in the Frequency and Intensity of Extreme Climate and Weather Events. In: Asrar G., Hurrell J. (eds) Climate Science for Serving Society. Springer, Dordrecht.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Роки, в які були відсутні дані для індексу RX1Day

Назва	Перший рік спостережень	Останній рік спостережень	Роки без даних
Ай Петрі	1896	2018	1922-1924,1941-1944,2013-2015
Ай Петрі	1896	2018	1922-1924,1941-1944,2013-2015
Асканія Нова	1910	2015	1917-1934,1941,1943-1944, 2013-2014,2016-2018
Вінниця	1936	2008	1881-1935,1941,1944
Керч	1936	2018	1941-1943,2017
Київ	1881	2018	1884,1941,1943
Лубни	1936	2018	1943
Луганськ	1900	2013	1907-1908,1920,1942-1943
Львів	1921	2018	1922-1935,1939-1944
Миколаїв	1900	2015	1904,1917-1923,1941-1944, 1991-1995,2013-2014
Одеса	1894	2008	1904,1941-1944
Полтава	1900	2018	1941-1943,1963
Ужгород	1947	2018	-
Умань	1886	2018	1917,1922-1925,1927-1929,1941-1944
Феодосія	1881	2012	1886-1896,1898,1941-1944,1995
Чернівці	1945	2008	1993,1995
Шепетівка	1936	2018	1941-1942,1944

Таблиця А.2 – Роки, в які були відсутні дані для індексу RX5Day

Назва	Перший рік спостережень	Останній рік спостережень	Роки без даних
Ай Петрі	1896	2018	1922-1924,1941-1944,2013-2015
Асканія Нова	1910	2015	1917-1934,1941,1943-1944,2013-2014
Вінниця	1936	2008	1941,1944
Керч	1936	2018	1941-1943,2017
Київ	1881	2018	1884,1941,1943
Лубни	1936	2018	1943
Луганськ	1900	2013	1907-1908,1920,1942-1943
Львів	1921	2018	1922-1935,1939-1944
Миколаїв	1900	2015	1904,1917-1923,1941-1944, 1991-1995,2013-2014
Одеса	1894	2008	1904,1941-1944
Полтава	1900	2018	1941-1943
Ужгород	1947	2018	-
Умань	1886	2018	1917,1922-1925,1927-1929,1941-1944
Феодосія	1881	2012	1886-1896,1898,1941-1944
Чернівці	1945	2008	1993,1995
Шепетівка	1936	2018	1941-1942,1944

Таблиця А.3 – Роки, в які були відсутні дані для індексу CDD

Назва	Перший рік спостережень	Останній рік спостережень	Роки без даних
Ай Петрі	1896	2018	1881-1895, 1922-1924, 1941-1944, 2013-2015
Ай Петрі	1896	2018	1922-1924,1941-1944,2013-2015
Асканія Нова	1910	2015	1917-1934,1941,1943-1944,2013-2014
Вінниця	1936	2008	1941,1944
Керч	1936	2018	1941-1944,2017
Київ	1881	2018	1884,1941,1943
Лубни	1936	2018	1943
Луганськ	1900	2013	1907-1908,1920,1942-1943
Львів	1921	2018	1922-1935,1939-1944
Миколаїв	1900	2015	1904,1917-1923,1941-1944,1991-1995, 2013-2014
Одеса	1894	2008	1904,1941-1944
Полтава	1900	2018	1941-1943,1963
Ужгород	1947	2018	-
Умань	1886	2018	1917,1922-1925,1927-1929,1933-1934, 1941-1944
Феодосія	1897	2012	1886-1896,1898,1941-1944,1995
Чернівці	1945	2008	1993,1995
Шепетівка	1936	2018	1941-1942,1944

Таблиця А.4 – Роки, в які були відсутні дані для індексу CWD

Назва	Перший рік спостережень	Останній рік спостережень	Роки без даних
Ай Петрі	1896	2018	1881-1895, 1922-1924, 1941-1944, 2013-2015
АйПетрі	1896	2018	1922-1924,1941-1944,2013-2015
Асканія Нова	1910	2015	1917-1934,1941,1943-1944,2013-2014
Вінниця	1936	2008	1941,1944
Керч	1936	2018	1941-1943,2017
Київ	1881	2018	1884,1941,1943
Лубни	1936	2018	1943
Луганськ	1900	2013	1907-1908,1920,1942-1943
Львів	1921	2018	1922-1935,1939-1944
Миколаїв	1900	2015	1904,1917-1923,1941-1944,1991-1995, 2013-2014
Одеса	1894	2008	1904,1941-1944
Полтава	1900	2018	1941-1943,1963
Ужгород	1947	2018	1881-1946
Умань	1886	2018	1917,1922-1925,1927-1929,1941-1944
Феодосія	1881	2012	1896,1898,1941-1945,1995
Чернівці	1945	2008	1993,1995
Шепетівка	1936	2018	1941-1942,1944

Таблиця А.5 – Роки, в які були відсутні дані для індексу R95pTOT

Назва	Перший рік спостережень	Останній рік спостережень	Роки без даних
Ай Петрі	1896	2018	1881-1895, 1922-1924, 1941-1944, 2013-2015
Ай Петрі	1896	2018	1922-1924,1941-1944,2013-2015
Асканія Нова	1910	2015	1917-1934,1941,1943-1944,2013-2014
Вінниця	1936	2008	1941,1944
Керч	1936	2018	1941-1943,2017
Київ	1881	2018	1884,1941,1943
Лубни	1936	2018	1943
Луганськ	1900	2013	1907-1908,1920,1942-1943
Львів	1921	2018	1922-1935,1939-1944
Миколаїв	1900	2015	1904,1917-1923,1941-1944,1991-1995, 2013-2014
Одеса	1894	2008	1904,1941-1944
Полтава	1900	2018	1941-1943
Ужгород	1947	2018	-
Умань	1886	2018	1917,1922-1925,1927-1929,1941-1944
Феодосія	1881	2012	1886-1896,1898,1941-1944
Чернівці	1945	2008	1993,1995
Шепетівка	1936	2018	1941-1942,1944

Таблиця А.6 – Роки, в які були відсутні дані для індексу R99pTOT

Назва	Перший рік спостережень	Останній рік спостережень	Роки без даних
Ай Петрі	1896	2018	1881-1895, 1922-1924, 1941-1944, 2013-2015
Ай Петрі	1896	2018	1922-1924,1941-1944,2013-2015
Асканія Нова	1910	2015	1917-1934,1941,1943-1944,2013-2014
Вінниця	1936	2008	1941,1944
Керч	1936	2018	1941-1943,2017
Київ	1881	2018	1884,1941,1943
Лубни	1936	2018	1943
Луганськ	1900	2013	1907-1908,1920,1942-1943
Львів	1921	2018	1922-1935,1939-1944
Миколаїв	1900	2015	1904,1917-1923,1941-1944,1991-1995, 2013-2014
Одеса	1894	2008	1904,1941-1944
Полтава	1900	2018	1941-1943
Ужгород	1947	2018	-
Умань	1886	2018	1917,1922-1925,1927-1929,1941-1944
Феодосія	1881	2012	1886-1896,1898,1941-1944
Чернівці	1945	2008	1993,1995
Шепетівка	1936	2018	1941-1942,1944

Таблиця А.7 – Роки, в які були відсутні дані для індексу R10mm

Назва	Перший рік спостережень	Останній рік спостережень	Роки без даних
Ай Петрі	1896	2018	1881-1895, 1922-1924, 1941-1944, 2013-2015
Ай Петрі	1896	2018	1922-1924,1941-1944,2013-2015
Асканія Нова	1910	2015	1917-1934,1941,1943-1944,2013-2014
Вінниця	1936	2008	1941,1944
Керч	1936	2018	1941-1943,2017
Київ	1881	2018	1884,1941,1943
Лубни	1936	2018	1943
Луганськ	1900	2013	1907-1908,1920,1942-1943
Львів	1921	2018	1922-1935,1939-1944
Миколаїв	1900	2015	1904,1917-1923,1941-1944,1991-1995, 2013-2014
Одеса	1894	2008	1904,1941-1944
Полтава	1900	2018	1941-1943,1963
Ужгород	1947	2018	-
Умань	1886	2018	1917,1922-1925,1927-1929,1941-1944
Феодосія	1881	2012	1886-1896,1898,1941-1944,1995
Чернівці	1945	2008	1993,1995
Шепетівка	1936	2018	1941-1942,1944

Таблиця А.8 – Роки, в які були відсутні дані для індексу R20mm

Назва	Перший рік спостережень	Останній рік спостережень	Роки без даних
Ай Петрі	1896	2018	1881-1895, 1922-1924, 1941-1944, 2013-2015
Ай Петрі	1896	2018	1922-1924,1941-1944,2013-2015
Асканія Нова	1910	2015	1917-1934,1941,1943-1944,2013-2014
Вінниця	1936	2008	1941,1944
Керч	1936	2018	1941-1943,2017
Київ	1881	2018	1884,1941,1943
Лубни	1936	2018	1943
Луганськ	1900	2013	1907-1908,1920,1942-1943
Львів	1921	2018	1922-1935,1939-1944
Миколаїв	1900	2015	1904,1917-1923,1941-1944,1991-1995, 2013-2014
Одеса	1894	2008	1904,1941-1944
Полтава	1900	2018	1941-1943,1963
Ужгород	1947	2018	-
Умань	1886	2018	1917,1922-1925,1927-1929,1941-1944
Феодосія	1881	2012	1886-1896,1898,1941-1944,1995
Чернівці	1945	2008	1993,1995
Шепетівка	1936	2018	1941-1942,1944

Таблиця А.9 – Роки, в які були відсутні дані для індексу PRCPTOT

Назва	Перший рік спостережень	Останній рік спостережень	Роки без даних
Ай Петрі	1896	2018	1881-1895, 1922-1924, 1941-1944, 2013-2015
Ай Петрі	1896	2018	1911,1922-1924,1941-1944,2013-2015
Асканія Нова	1910	2015	1917-1934,1941,1943-1944,2013-2014
Вінниця	1936	2008	1941,1944
Керч	1936	2018	1941-1943,2017
Київ	1881	2018	1884,1941,1943
Лубни	1936	2018	1941,1943
Луганськ	1900	2013	1907-1908,1910-1911,1920,1942-1943
Львів	1921	2018	1922-1935,1939-1944
Миколаїв	1900	2015	1904,1917-1923,1941-1944,1991-1995, 2013-2014
Одеса	1894	2008	1904,1941-1944
Полтава	1900	2018	1941-1943,1963
Ужгород	1947	2018	-
Умань	1886	2018	1917,1922-1925,1927-1929,1941-1944
Феодосія	1881	2012	1886-1896,1898,1941-1944,1995
Чернівці	1945	2008	1993,1995
Шепетівка	1936	2018	1941-1942,1944

Таблиця А.10 – Роки, в які були відсутні дані для індексу SDII

Назва	Перший рік спостережень	Останній рік спостережень	Роки без даних
Ай Петрі	1896	2018	1881-1895, 1922-1924, 1941-1944, 2013-2015
Ай Петрі	1896	2018	1922-1924,1941-1944,2013-2015
Асканія Нова	1910	2015	1917-1934,1941,1943-1944,2013-2014
Вінниця	1936	2008	1941,1944
Керч	1936	2018	1941-1943,2017
Київ	1881	2018	1884,1941,1943
Лубни	1936	2018	1943
Луганськ	1900	2013	1907-1908,1920,1942-1943
Львів	1921	2018	1922-1935,1939-1944
Миколаїв	1900	2015	1904,1917-1923,1941-1944,1991-1995, 2013-2014
Одеса	1894	2008	1904,1941-1944
Полтава	1900	2018	1941-1943,1963
Ужгород	1947	2018	-
Умань	1886	2018	1917,1922-1925,1927-1929,1941-1944
Феодосія	1881	2012	1886-1896,1898,1941-1944
Чернівці	1945	2008	1993,1995
Шепетівка	1936	2018	1941-1942,1944

ДОДАТОК Б

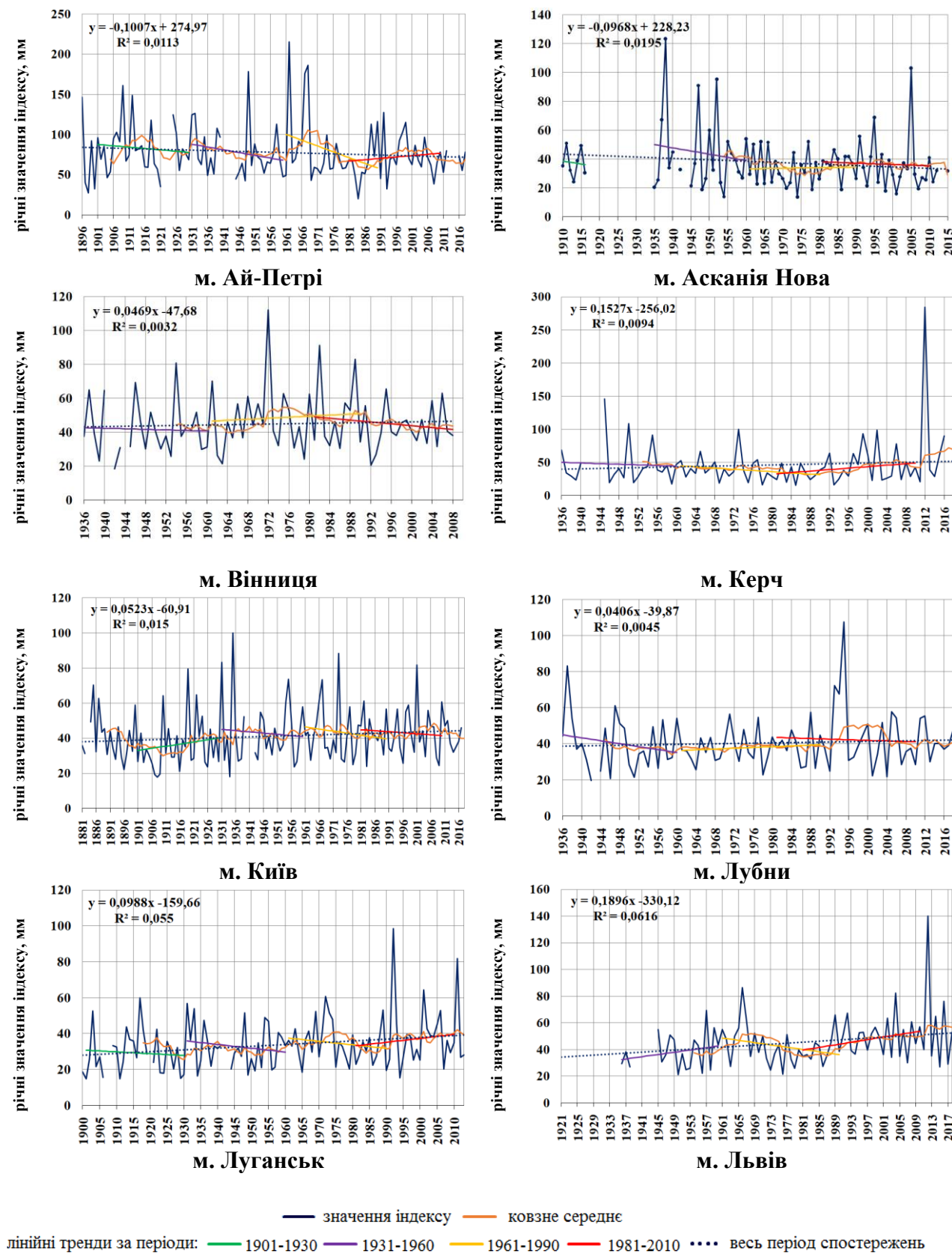
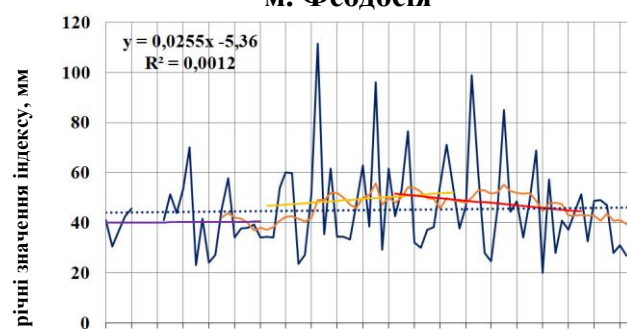
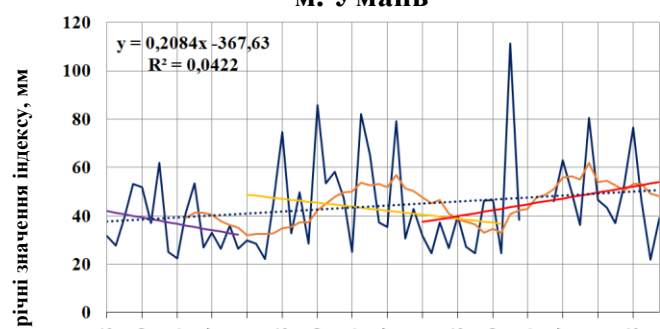
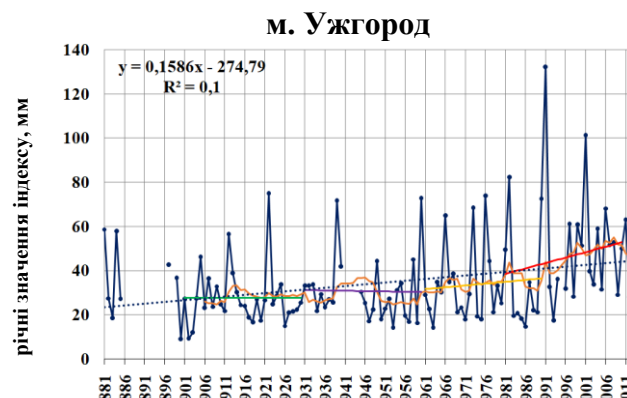
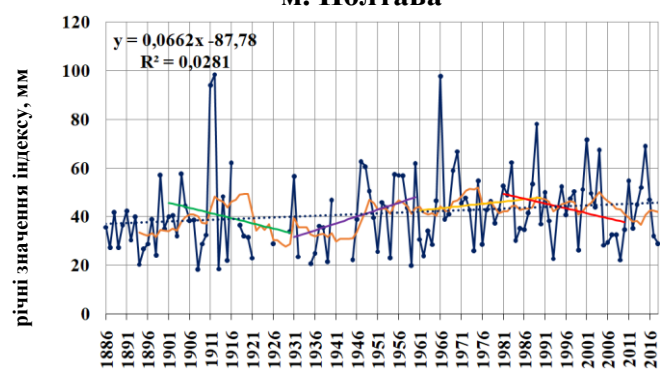
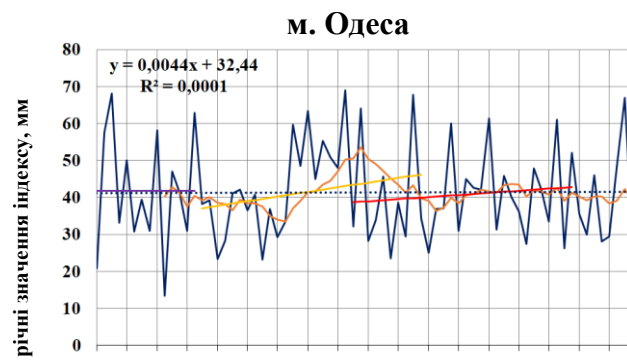
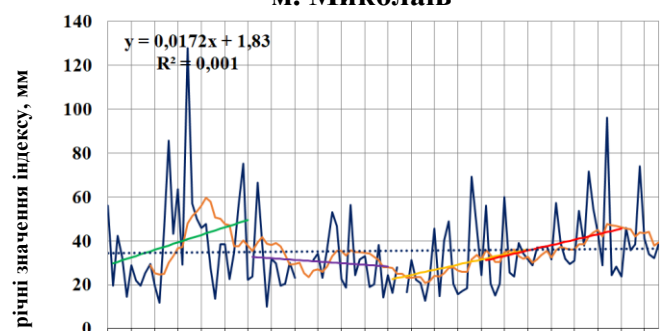
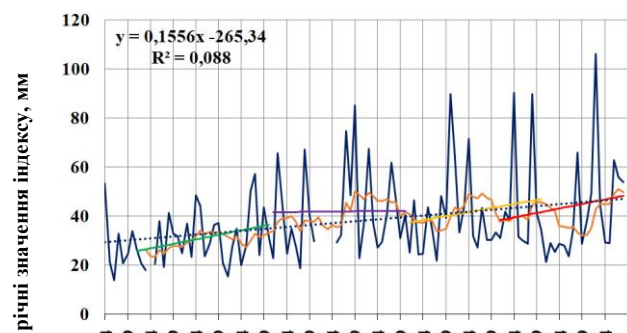
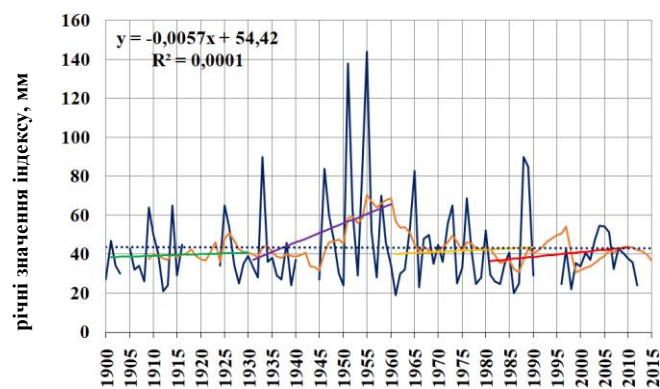


Рисунок Б.1 – Часовий хід річного одноденного максимуму опадів (RX1Day).



м. Шепетівка

— значення індексу — ковзне середнє

лінійні тренди за періоди: — 1901-1930 — 1931-1960 — 1961-1990 — 1981-2010 весь період спостережень

Продовження рис. Б.1

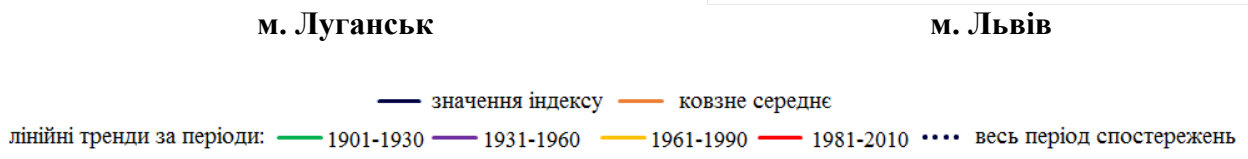
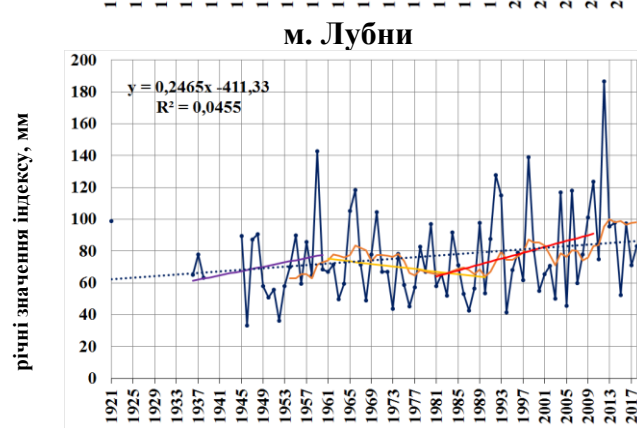
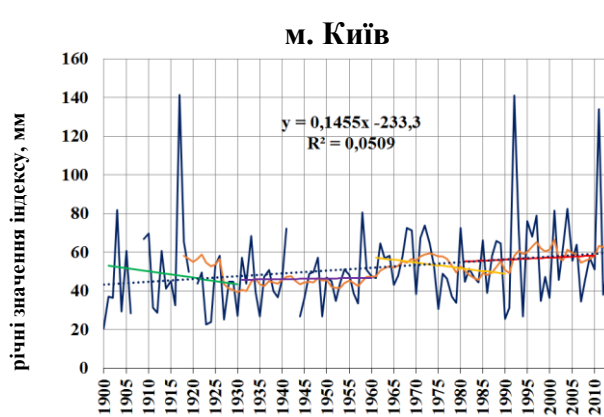
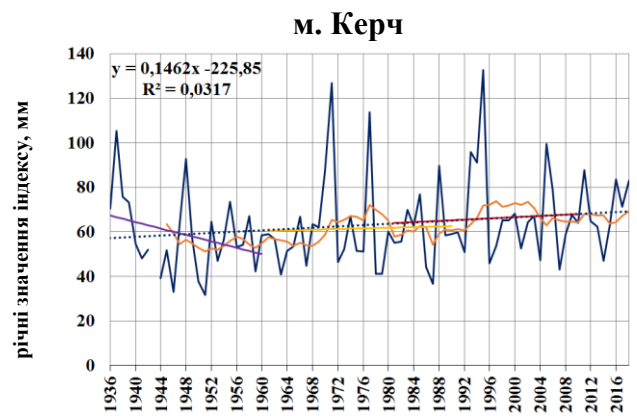
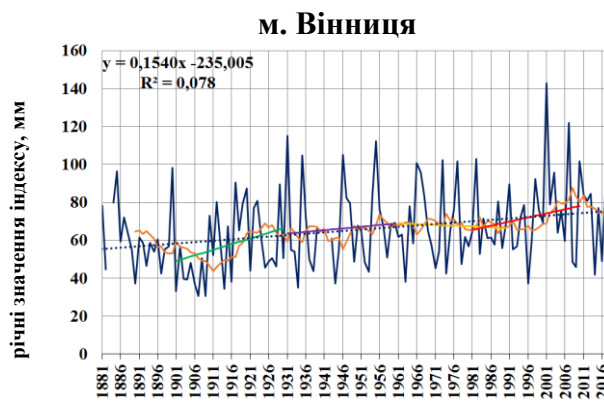
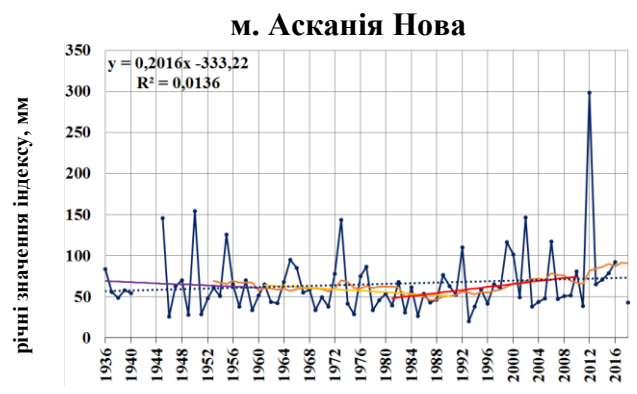
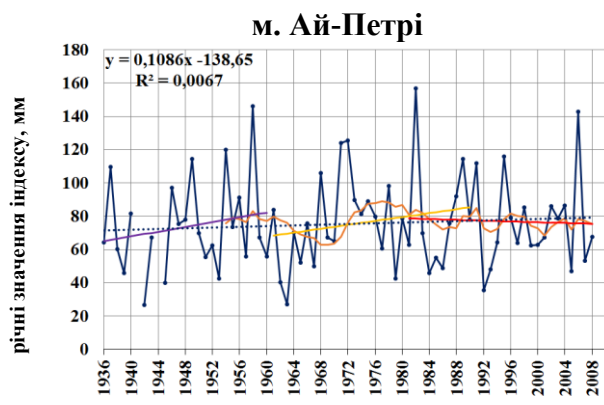
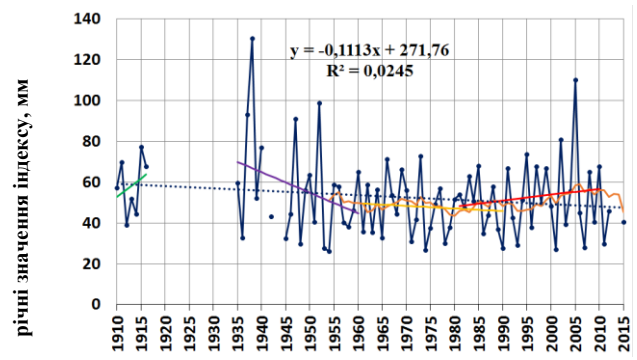
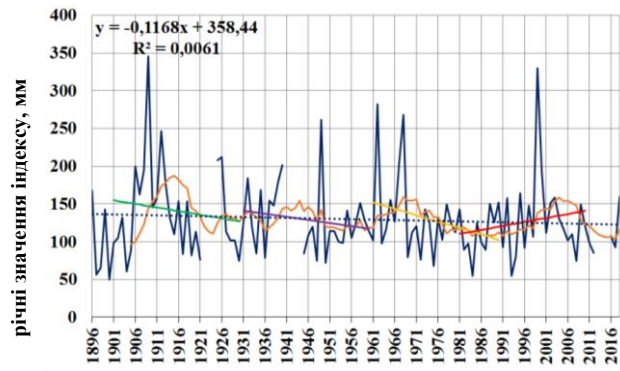
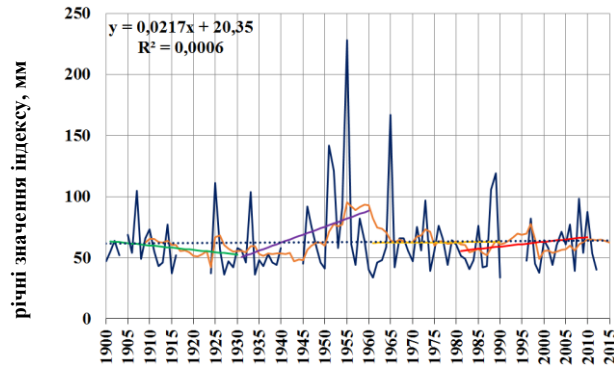
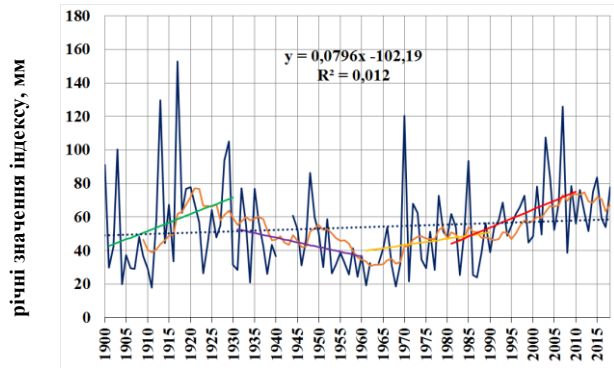


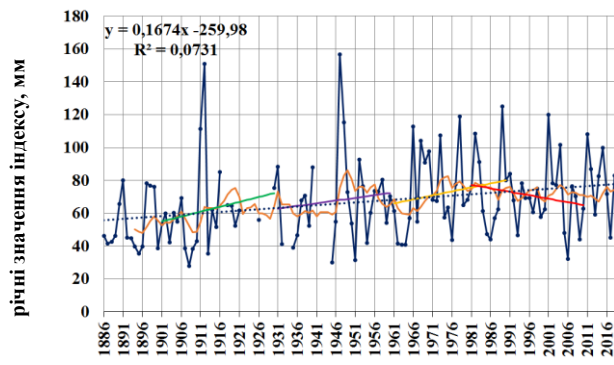
Рисунок Б.2 – Часовий хід річного максимуму опадів 5-ти послідовних днів (RX5Day).



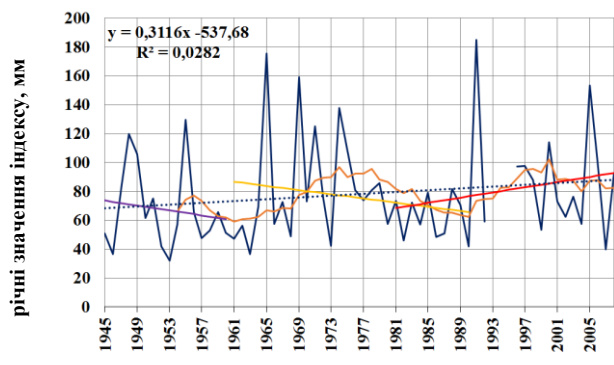
м. Миколаїв



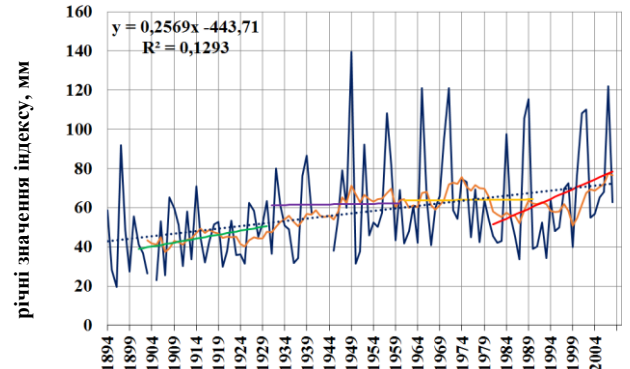
м. Полтава



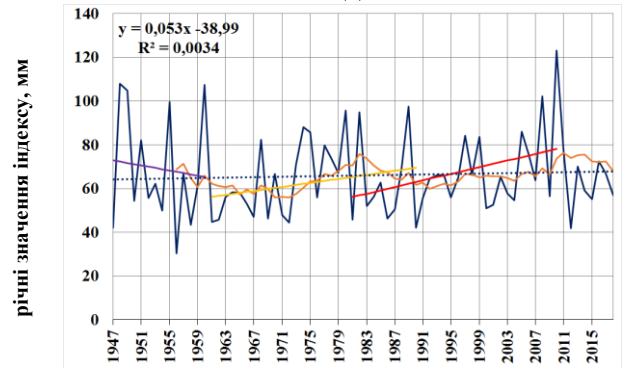
м. Умань



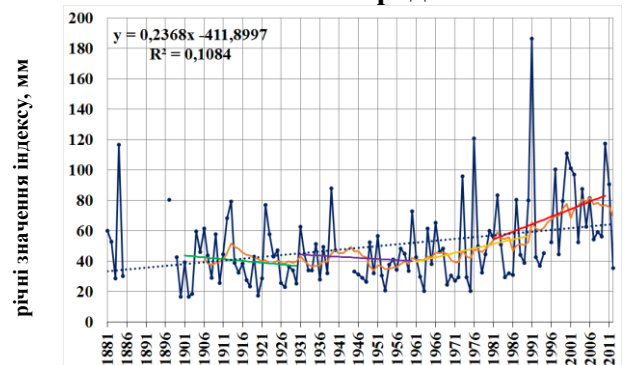
м. Чернівці



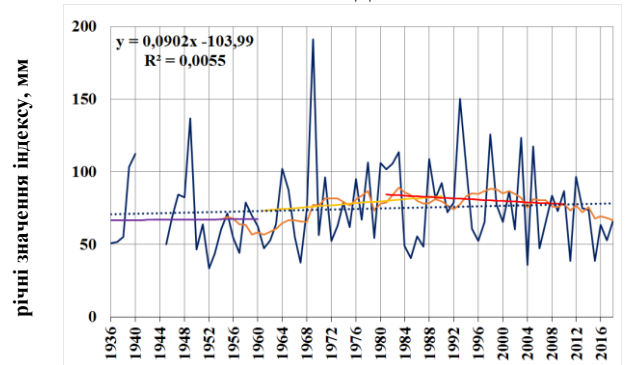
м. Одеса



м. Ужгород



м. Феодосія



м. Шепетівка

— значення індексу — ковзне середнє
лінійні тренди за періоди: — 1901-1930 — 1931-1960 — 1961-1990 — 1981-2010 весь період спостережень

Продовження рис. Б.2

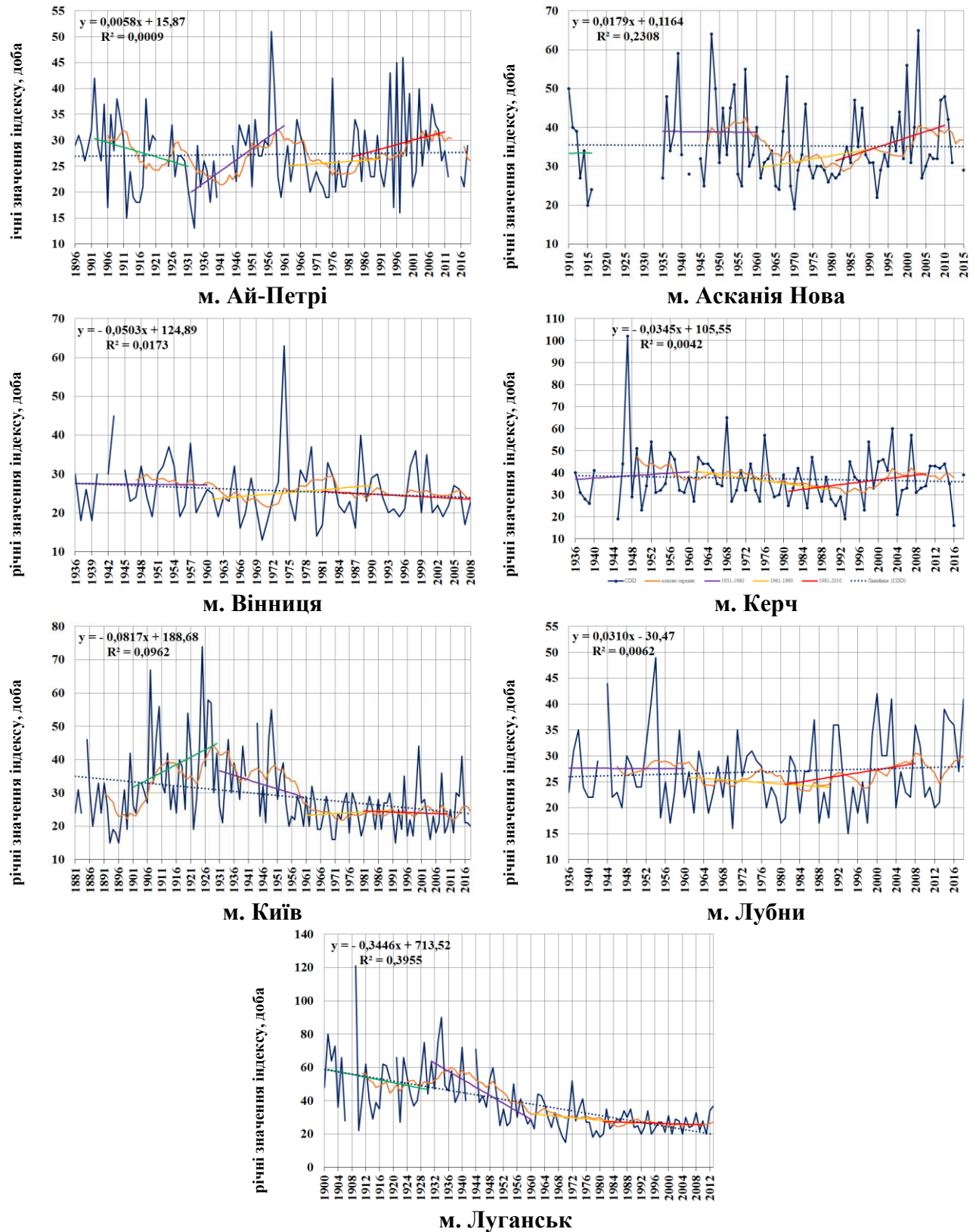
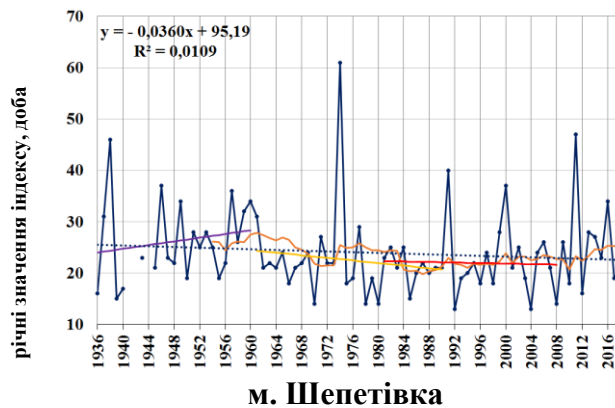
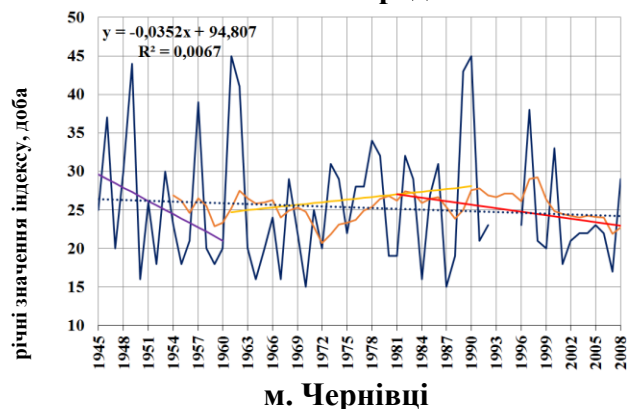
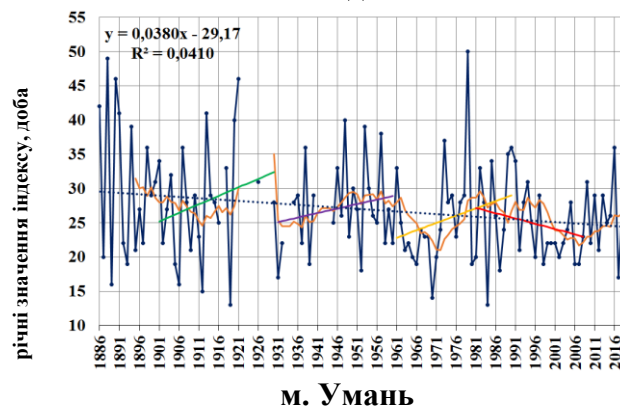
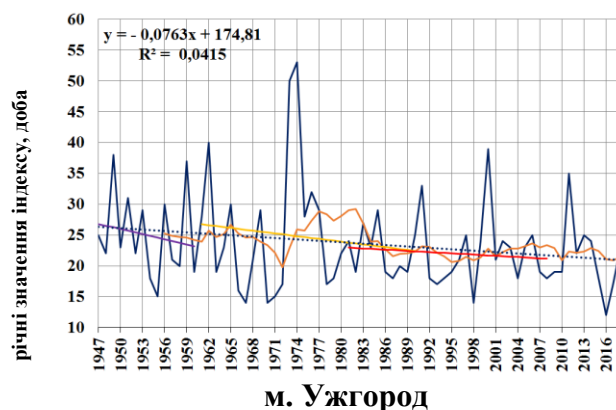
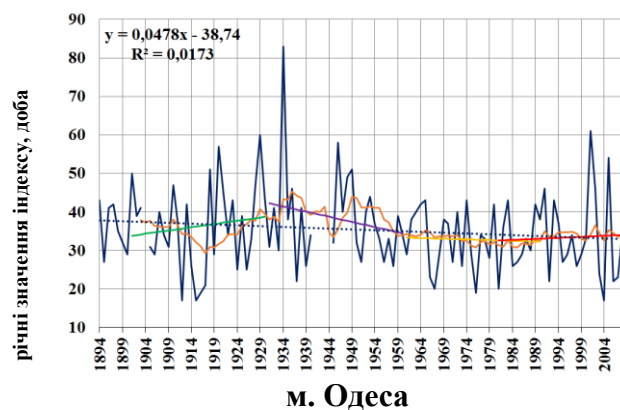
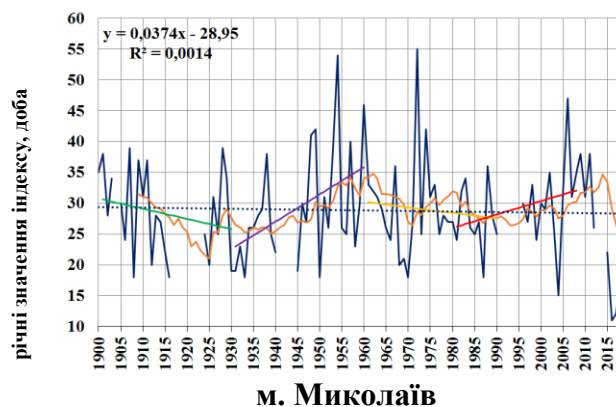
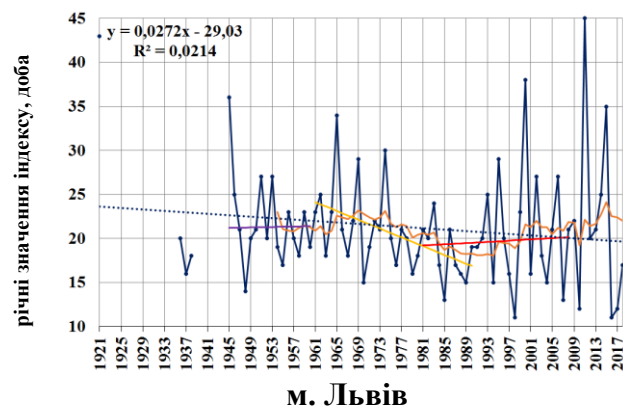


Рисунок Б.3 – Часовий хід річної індексу посушливості (CDD).



— значення індексу — ковзне середнє
лінійні тренди за періоди: — 1901-1930 — 1931-1960 — 1961-1990 — 1981-2010 весь період спостережень

Продовження рис. Б.3

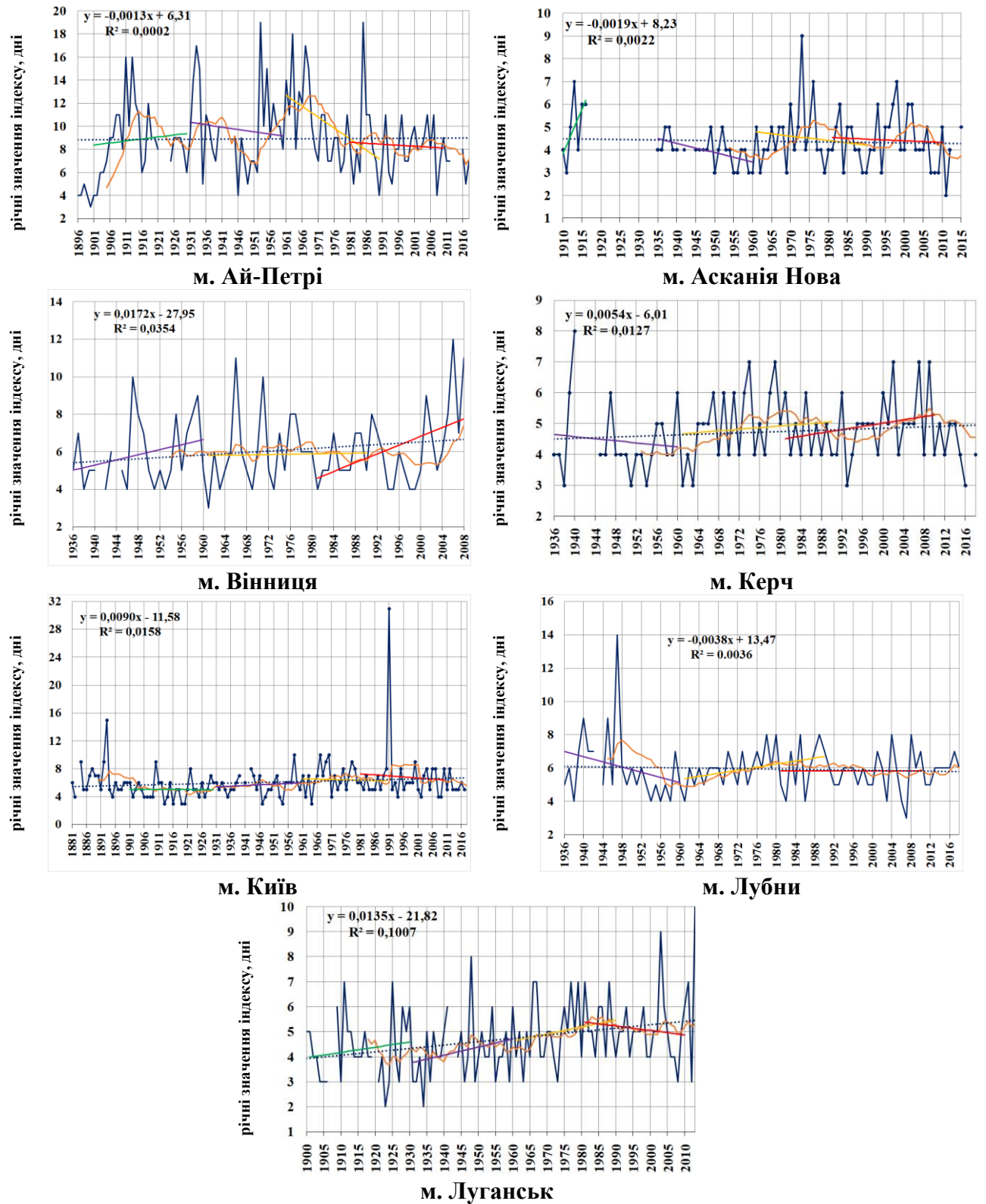
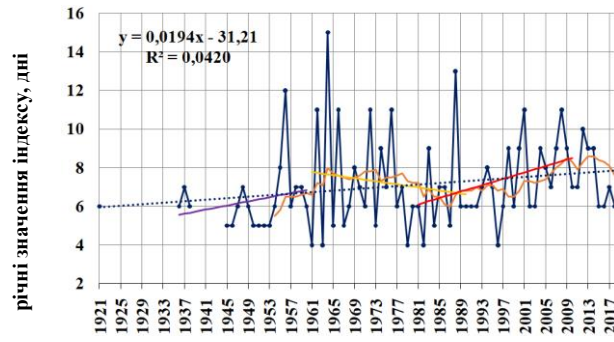
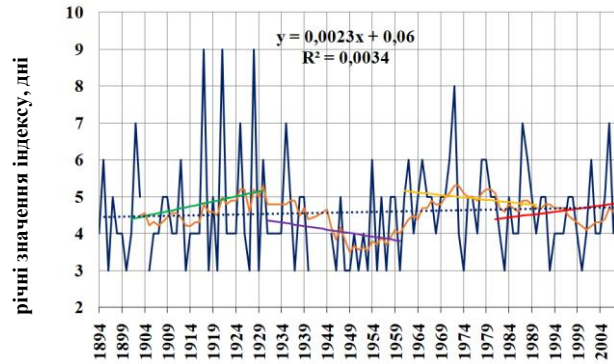


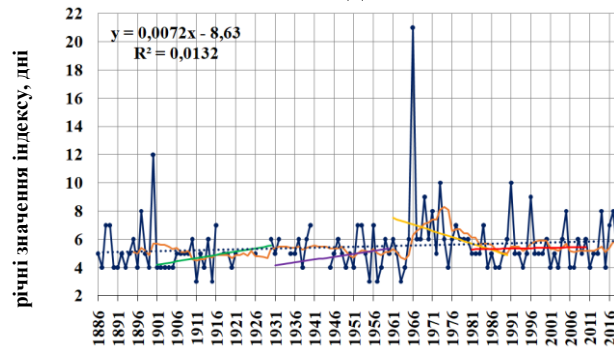
Рисунок Б.4 — Часовий хід дощового індексу (CWD).



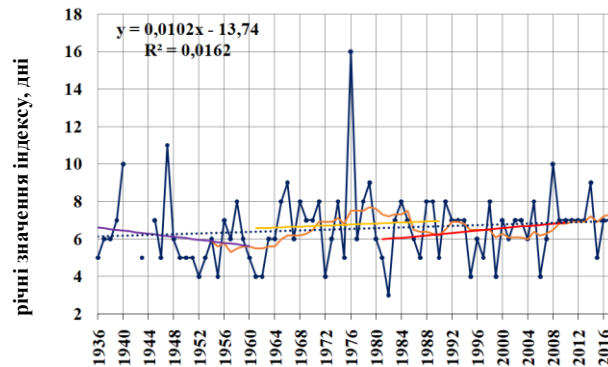
м. Львів



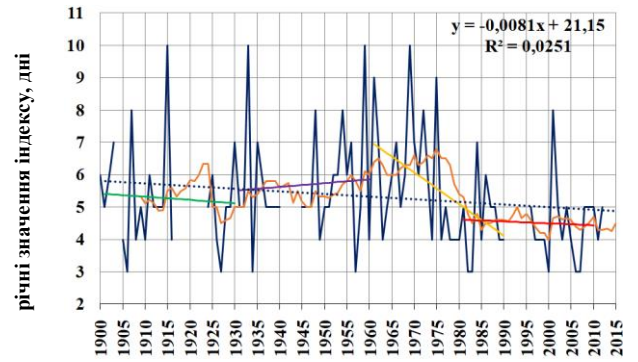
м. Одеса



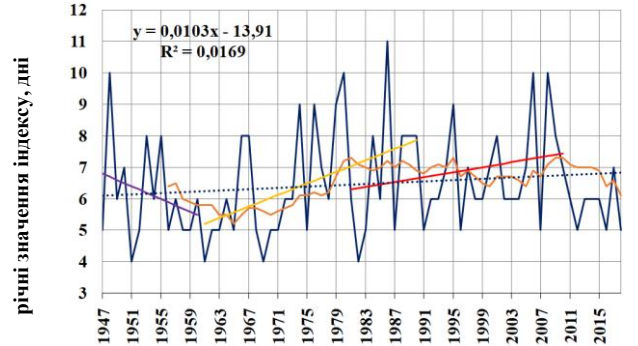
м. Умань



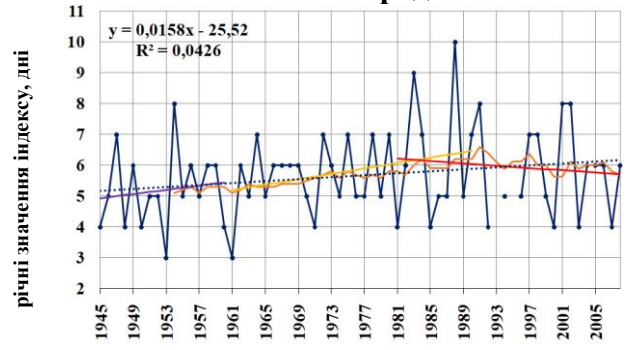
м. Шепетівка



м. Миколаїв



м. Ужгород



м. Чернівці

— значення індексу — ковзне середнє

лінійні тренди за періоди: — 1901-1930 — 1931-1960 — 1961-1990 — 1981-2010 весь період спостережень

Продовження рис. Б.4

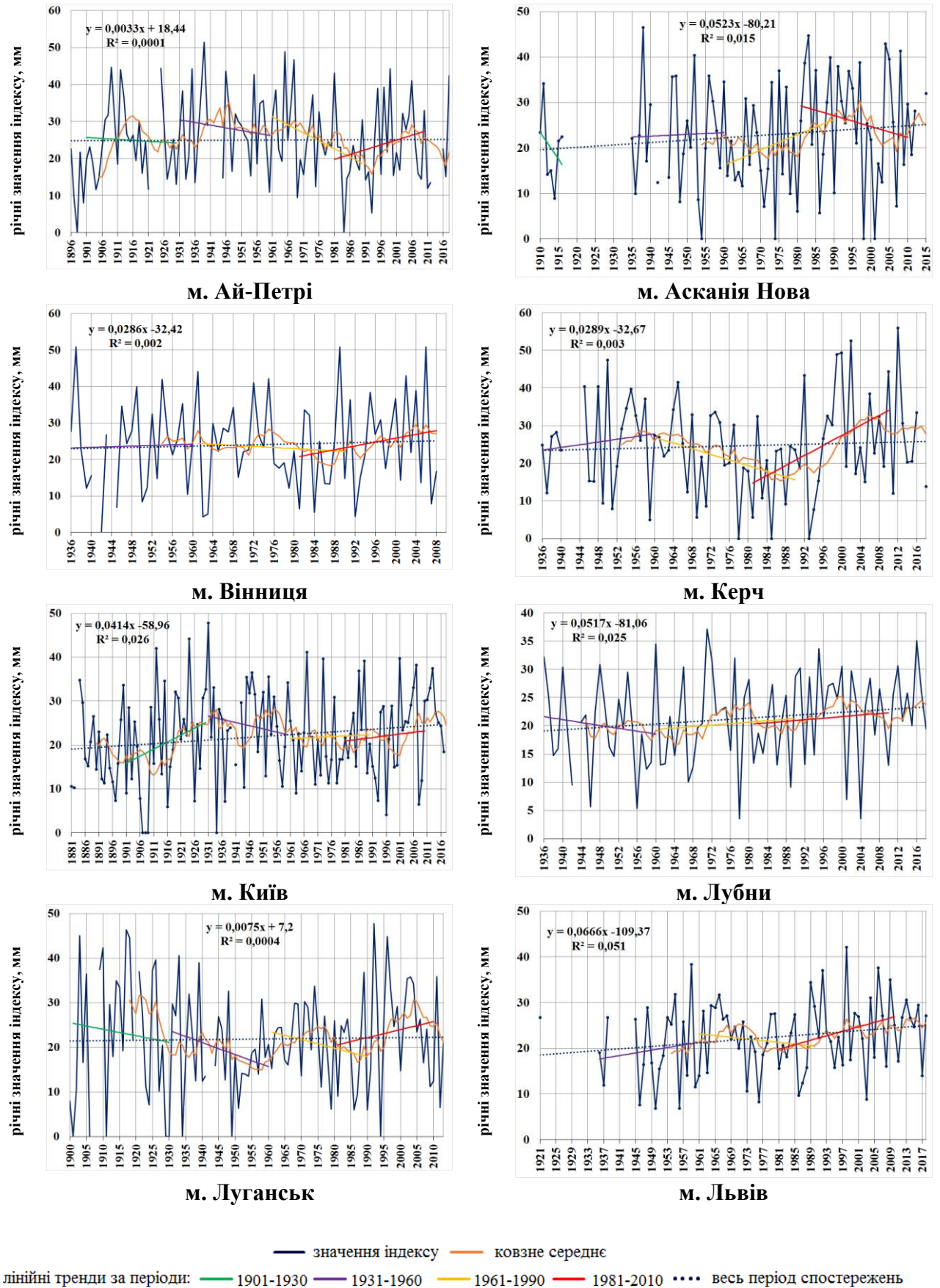
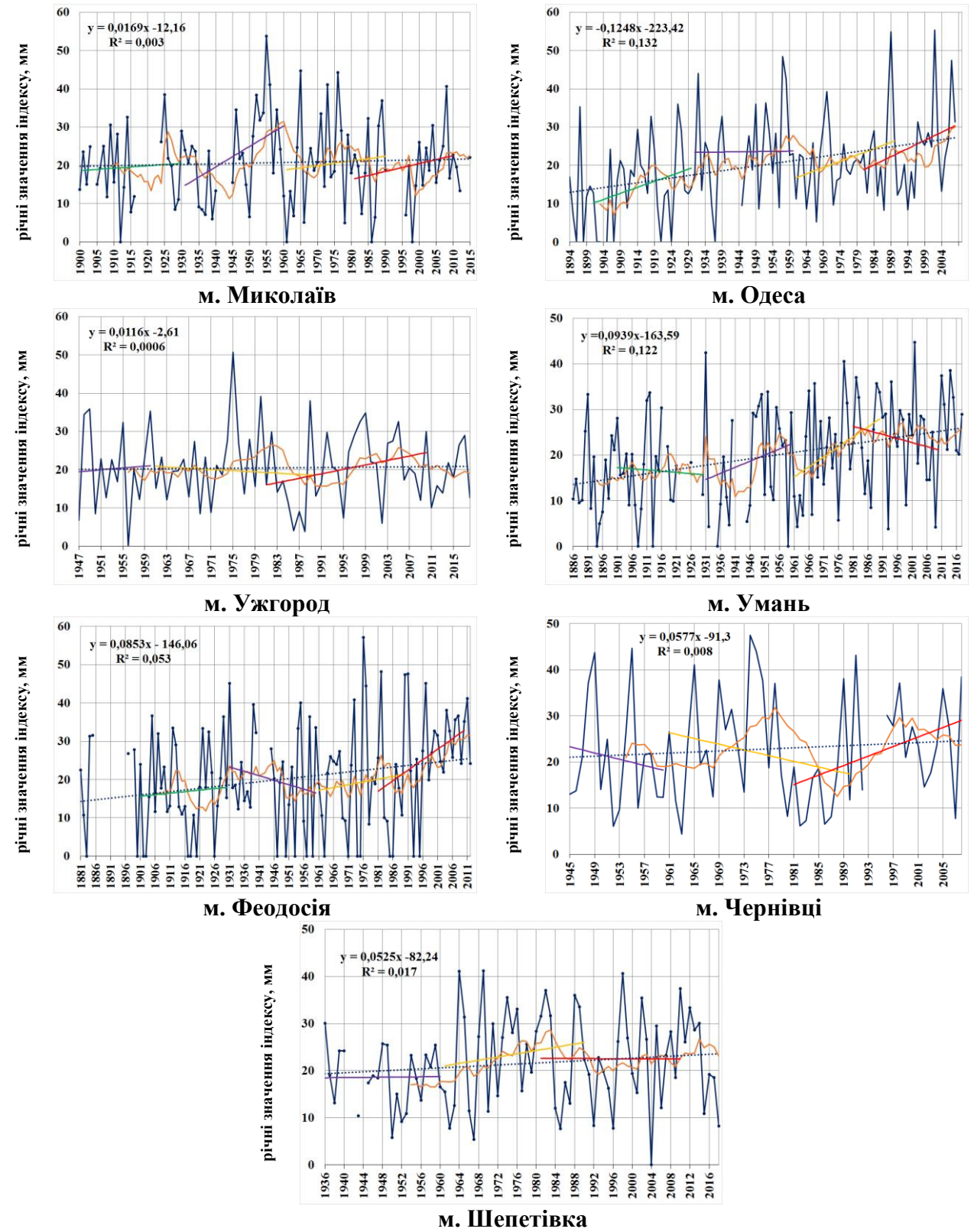


Рисунок Б.5 — Часовий хід річної кількості днів з сильною зволоженістю (R95pTOT).



Продовження рис. Б.5

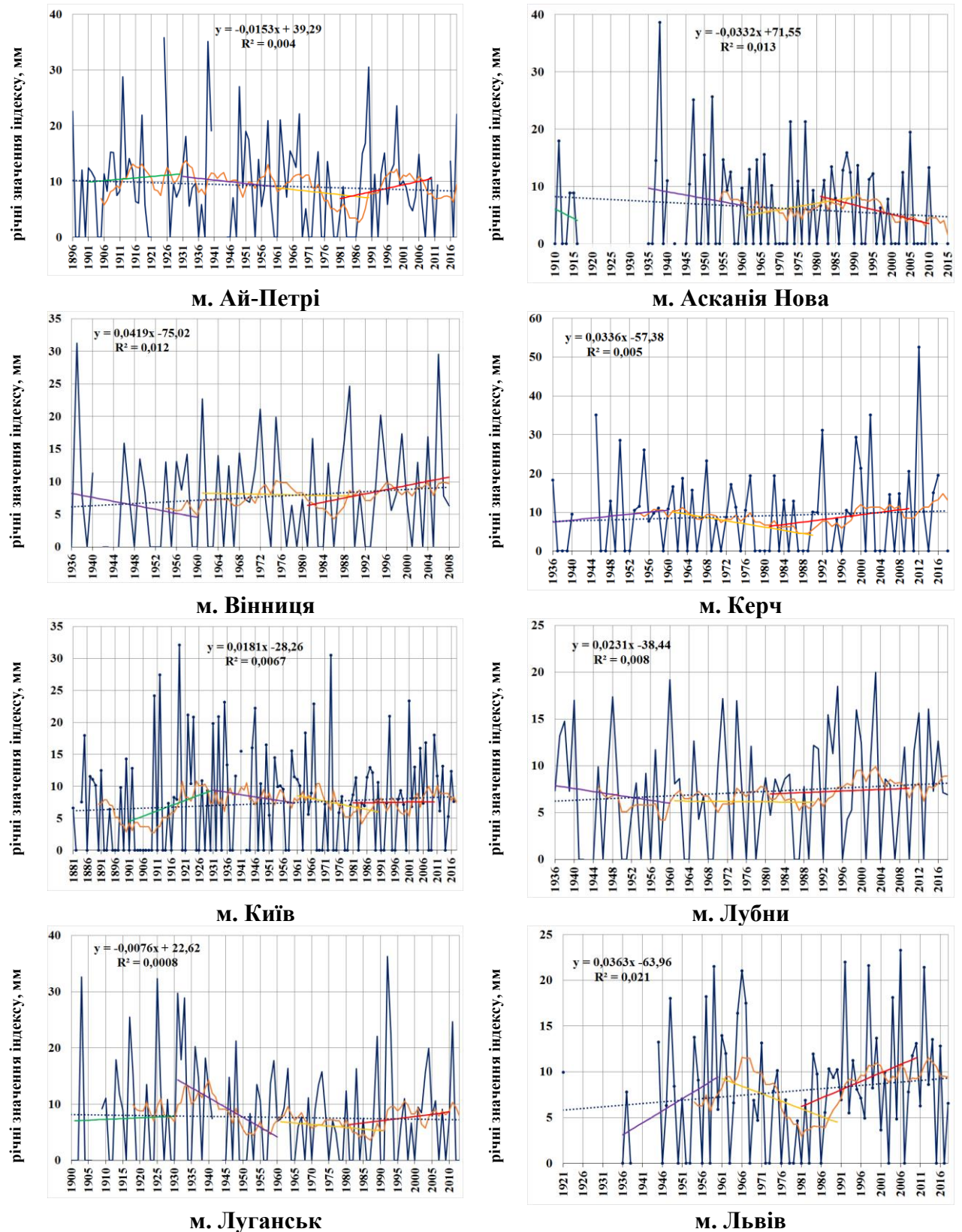
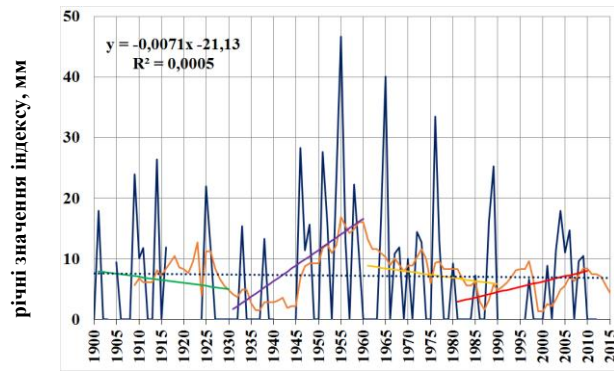
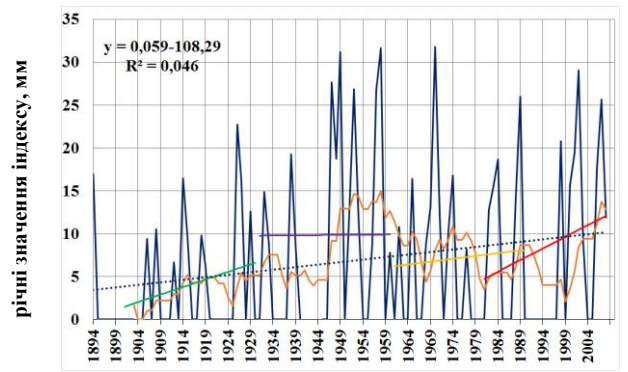


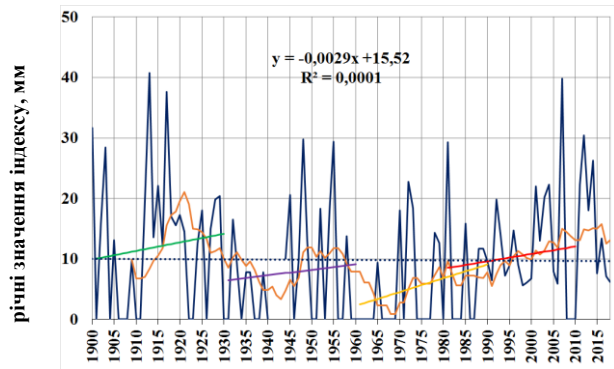
Рисунок Б.6 – Часовий хід річної кількості днів з надзвичайною зволоженістю (R99pTOT).



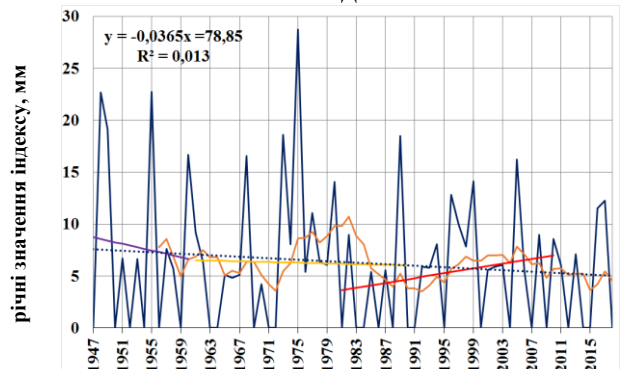
м. Миколаїв



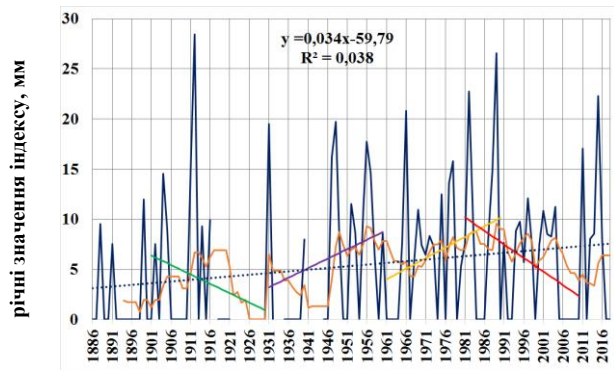
м. Одеса



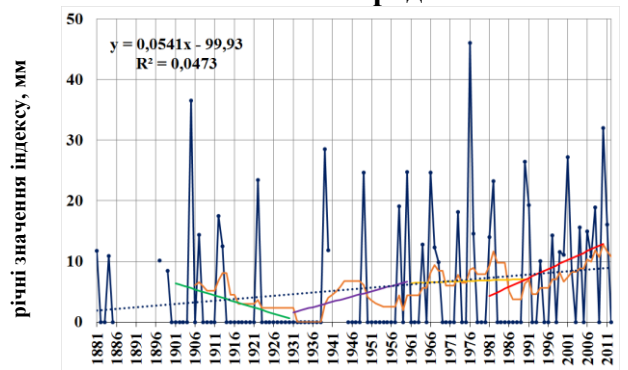
м. Полтава



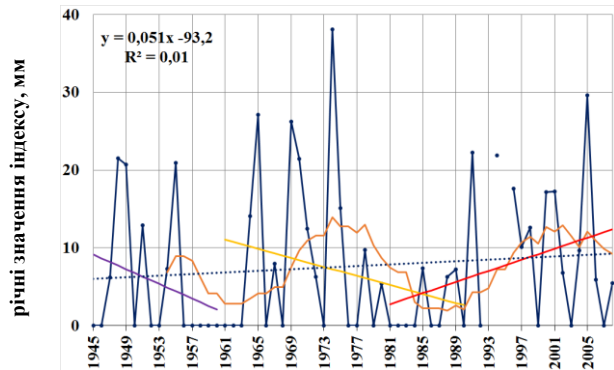
м. Ужгород



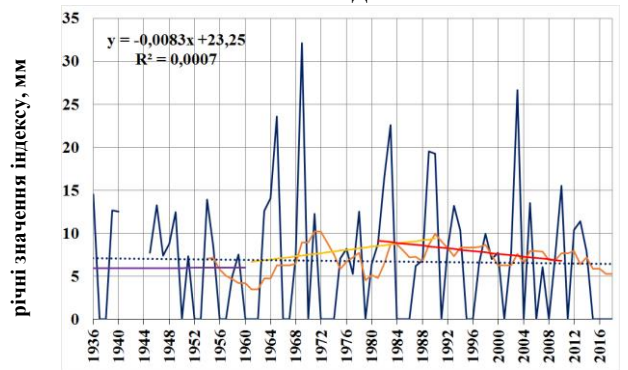
м. Умань



м. Феодосія



м. Чернівці



м. Шепетівка

— значення індексу — ковзне середнє
лінійні тренди за періоди: — 1901-1930 — 1931-1960 — 1961-1990 — 1981-2010 весь період спостережень

Продовження рис. Б.6

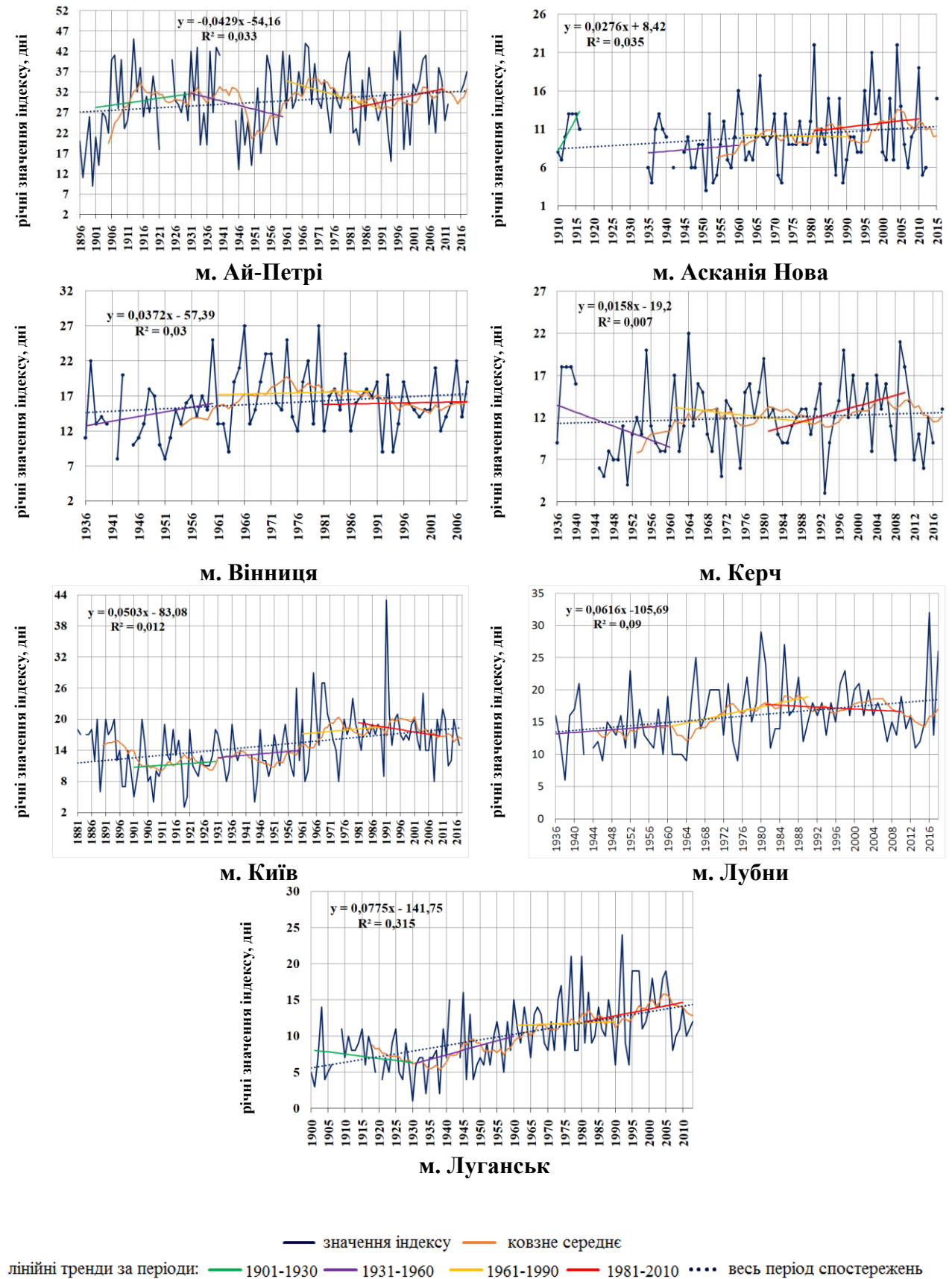
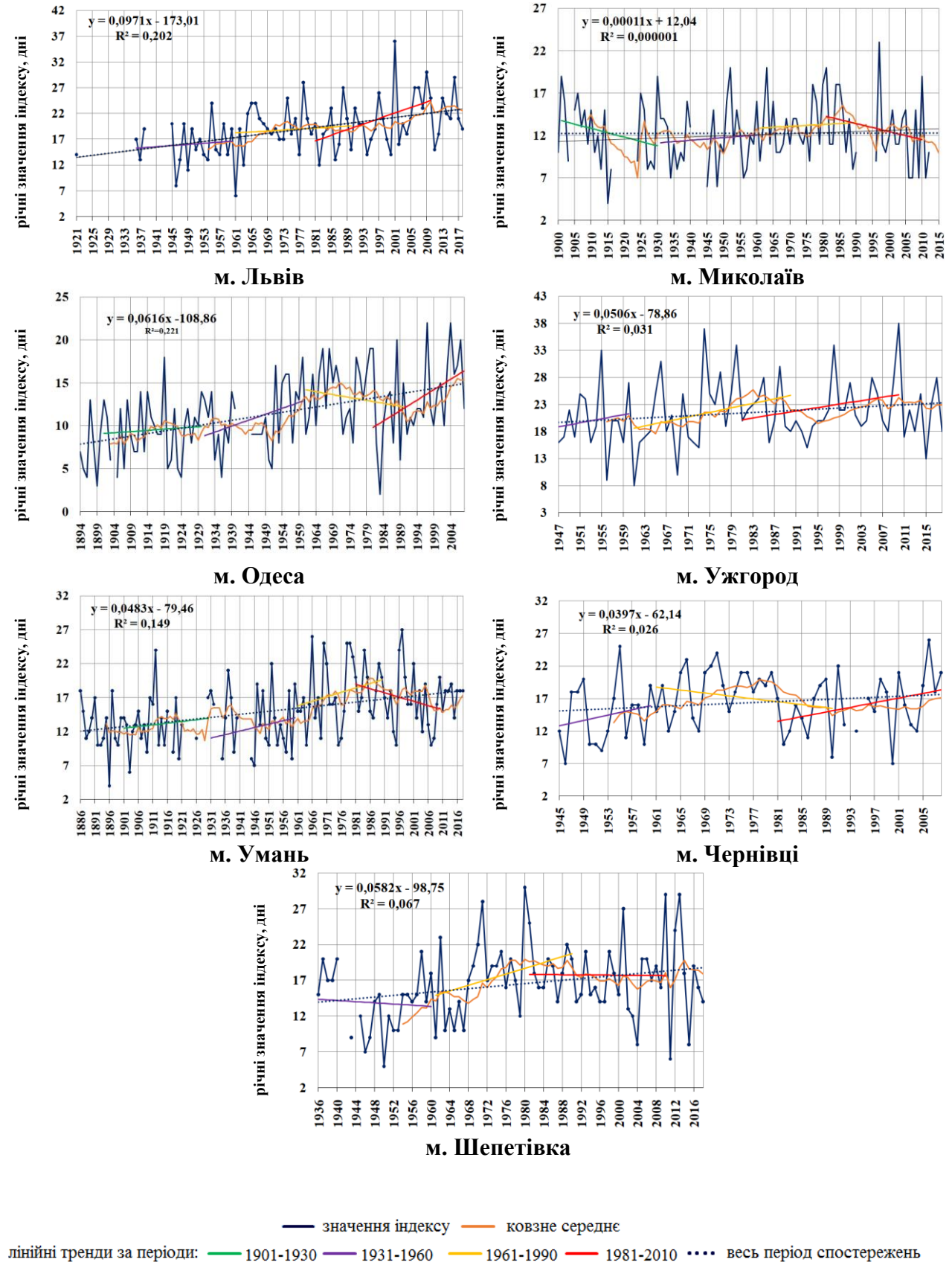


Рисунок Б.7 – Часовий хід річної кількості днів з опадами ≥ 10 мм (R10mm).



Продовження рис. Б.7

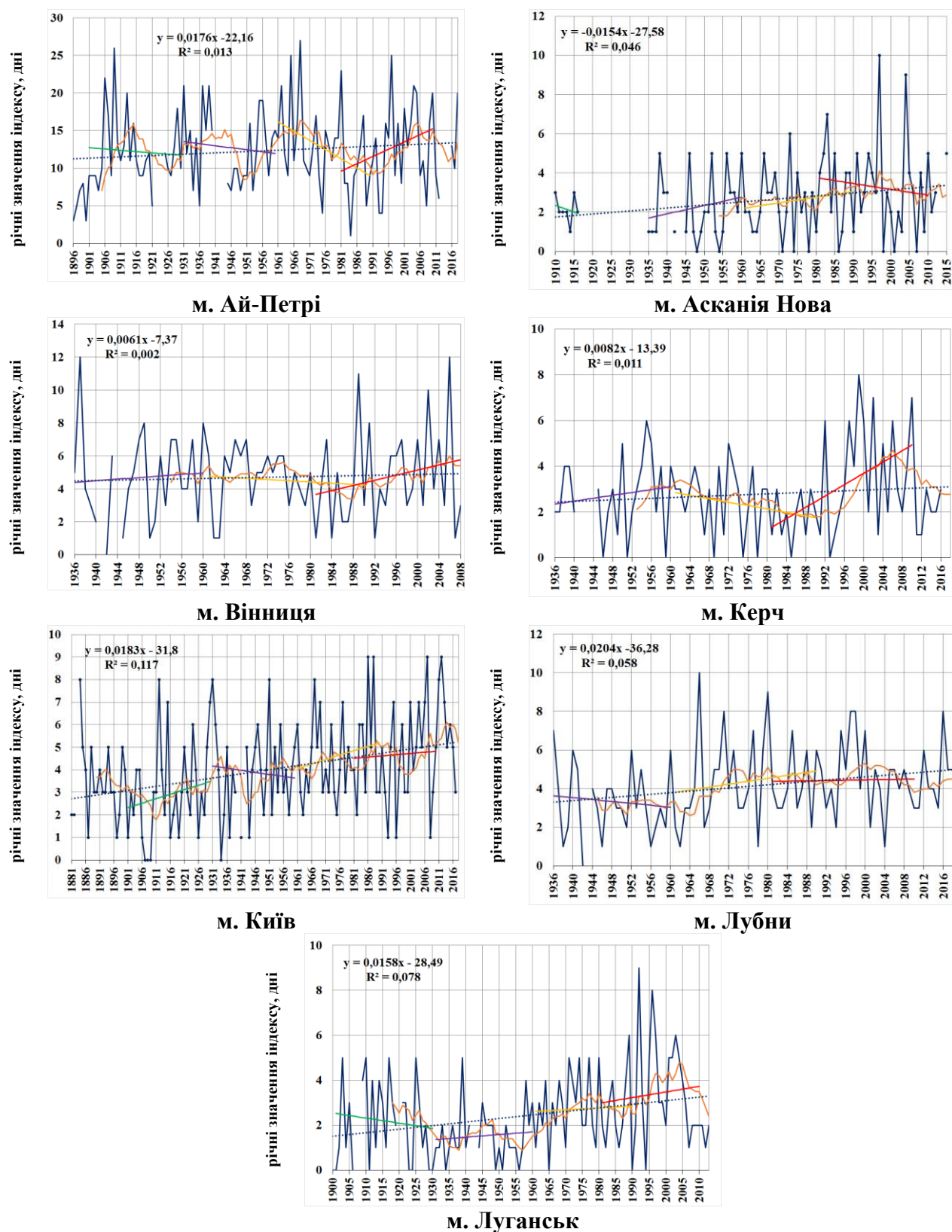
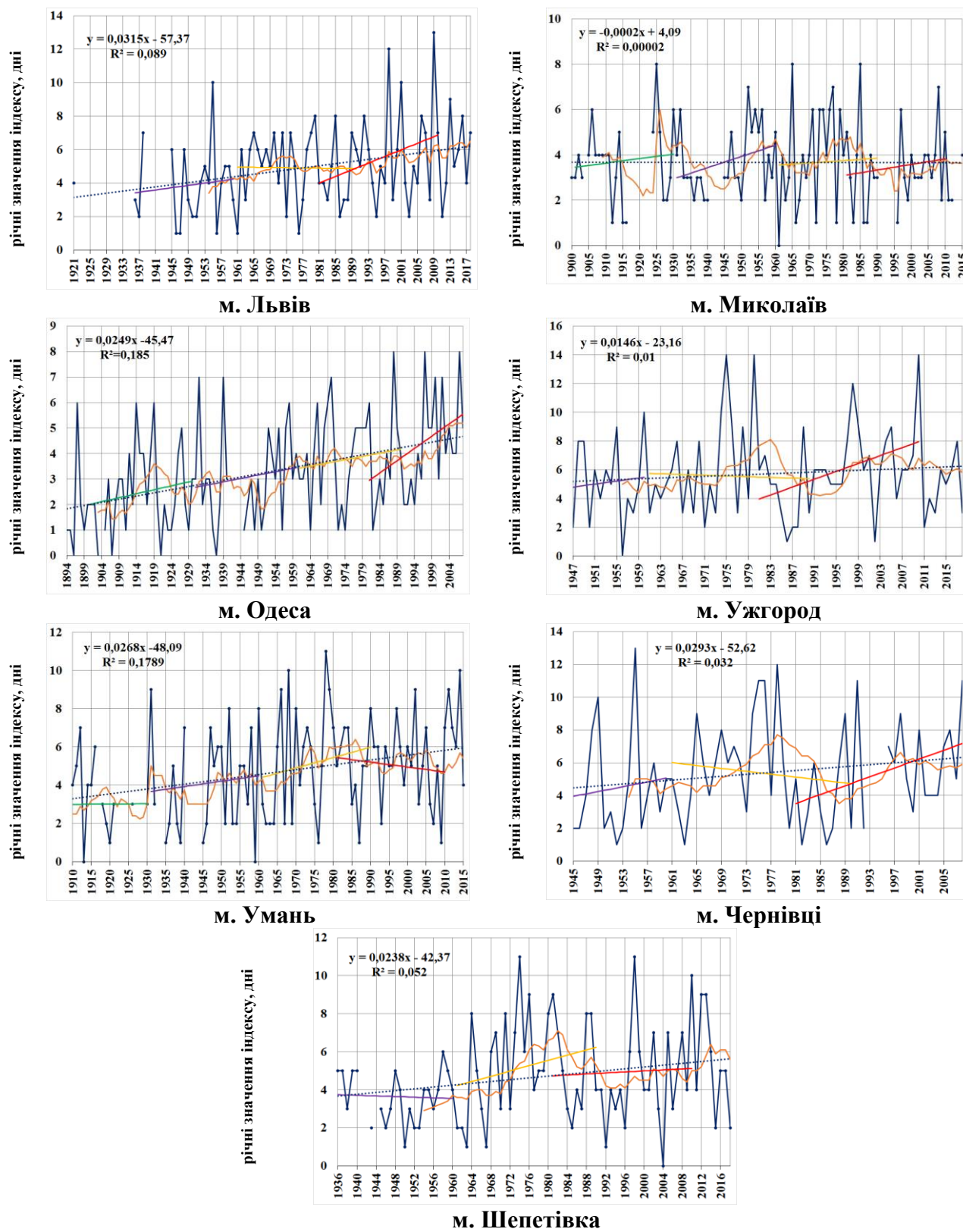


Рисунок Б.8 – Часовий хід річної кількості днів з опадами ≥ 20 мм (R20mm).



Продовження рис. Б.8

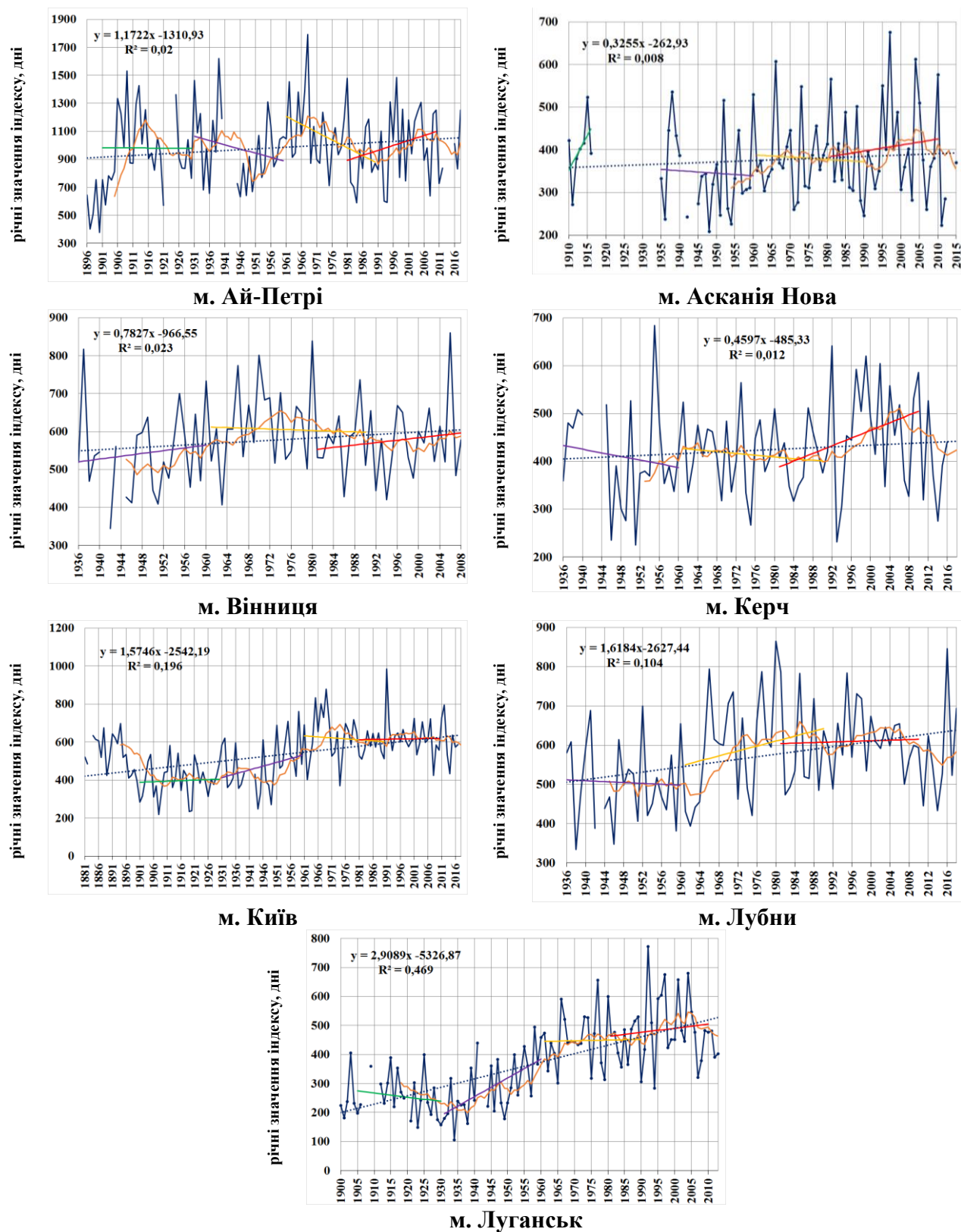
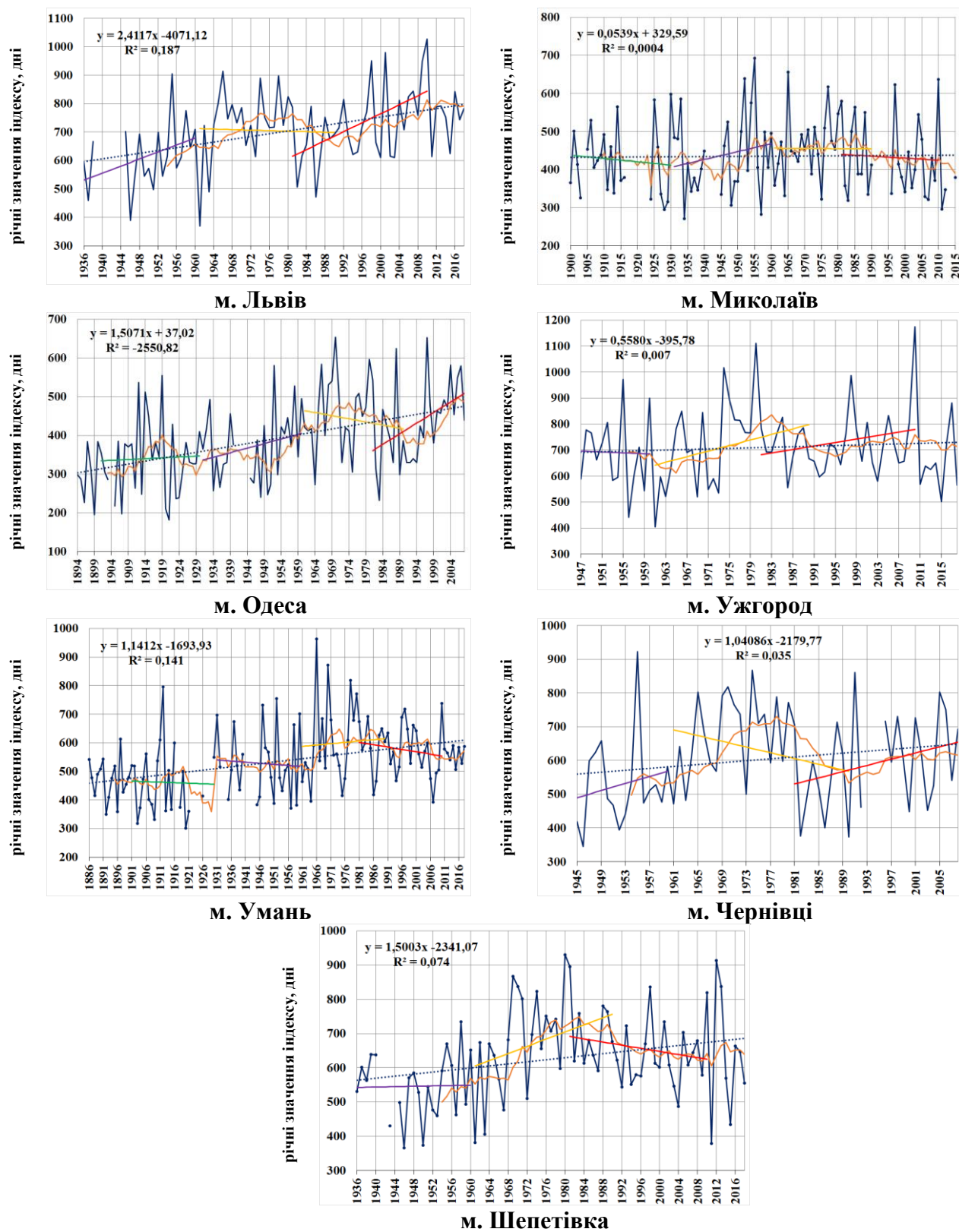


Рисунок Б.9 – Часовий хід загальної кількості опадів у дощові дні (PRCPTOT).



— значення індексу — ковзне середнє
 лінійні тренди за періоди: — 1901-1930 — 1931-1960 — 1961-1990 — 1981-2010 весь період спостережень

Продовження рис. Б.9

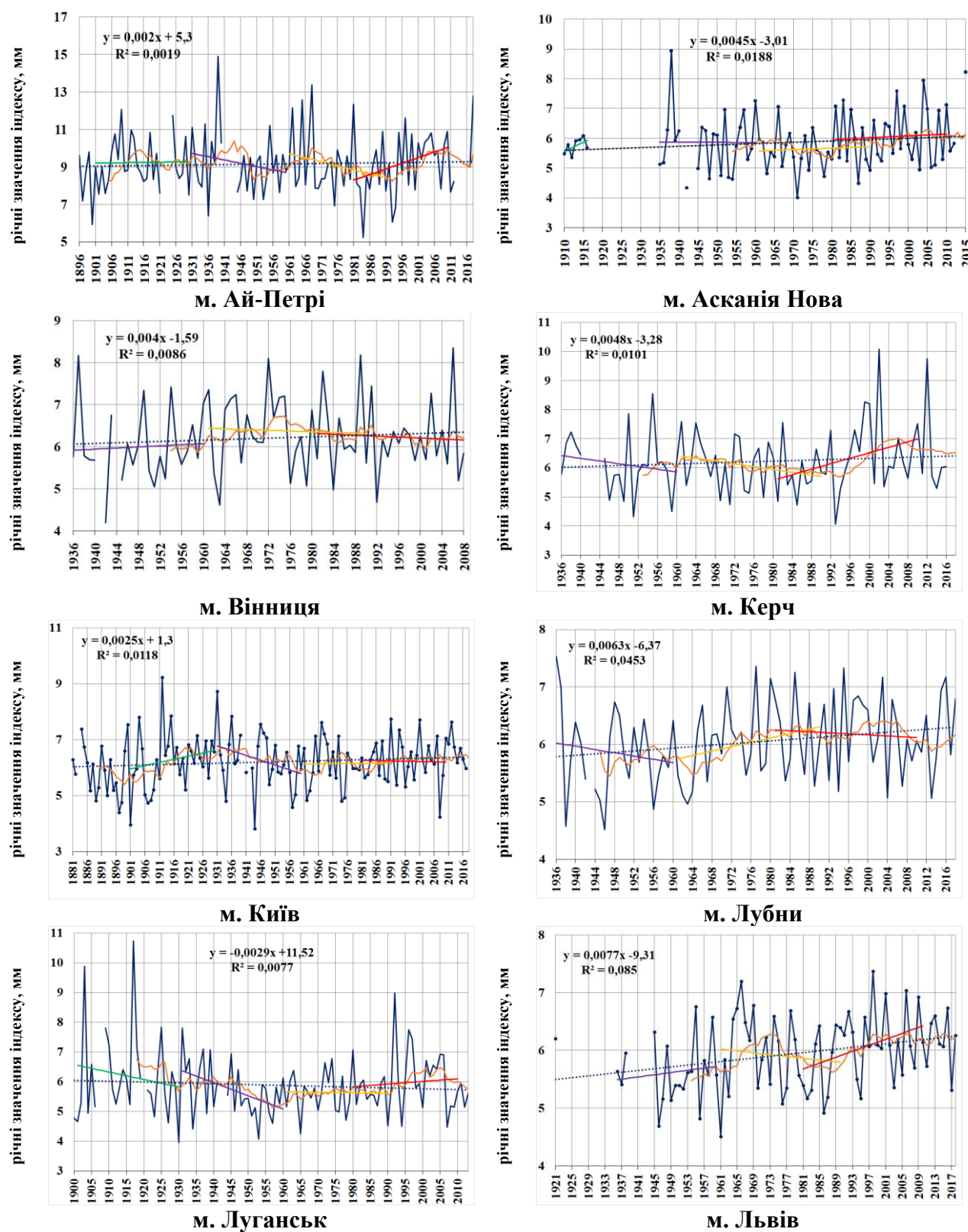
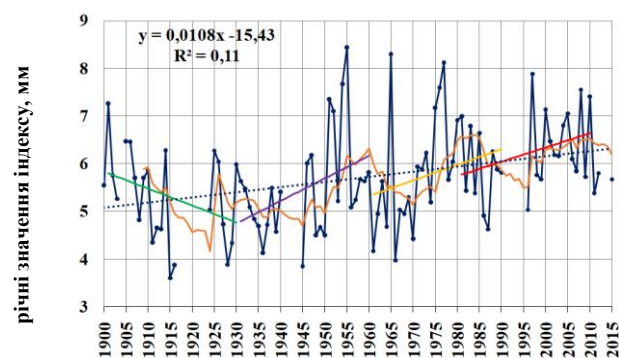
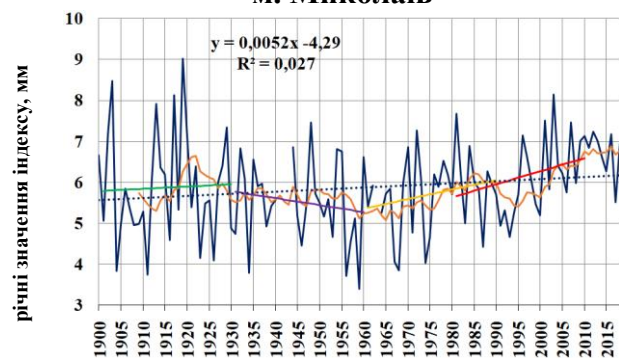


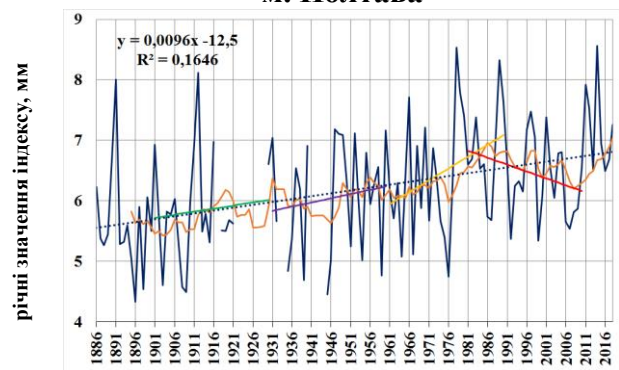
Рисунок Б.10 – Часовий хід простого індексу добової інтенсивності (SDII).



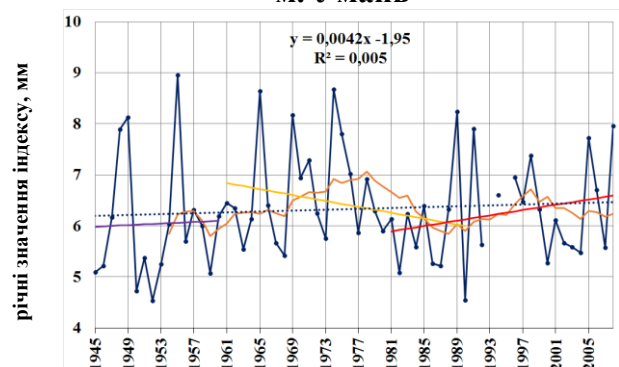
м. Миколаїв



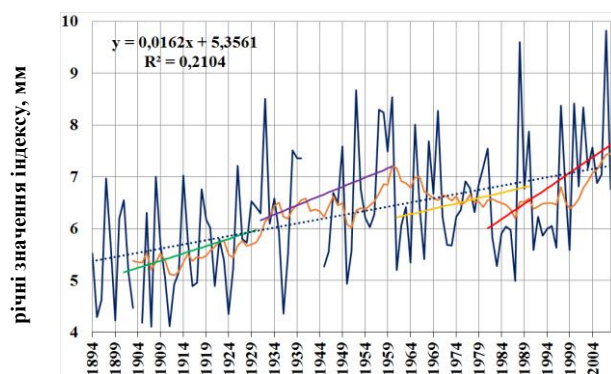
м. Полтава



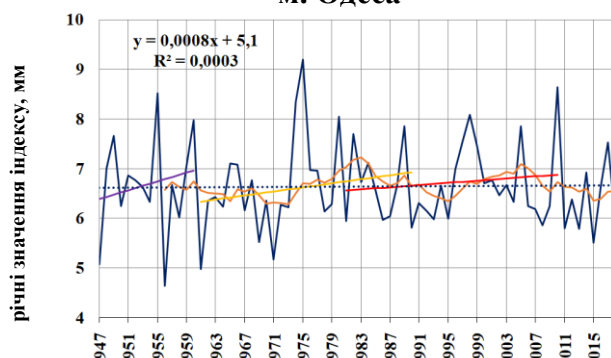
м. Умань



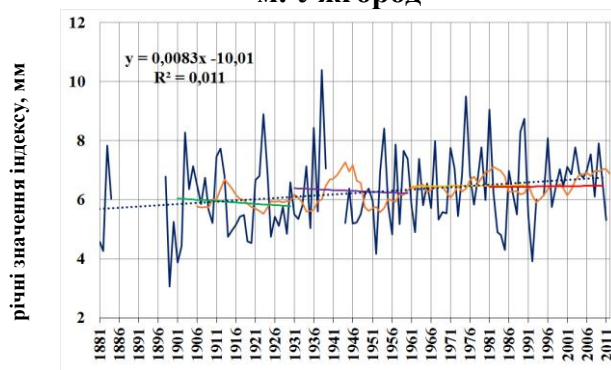
м. Чернівці



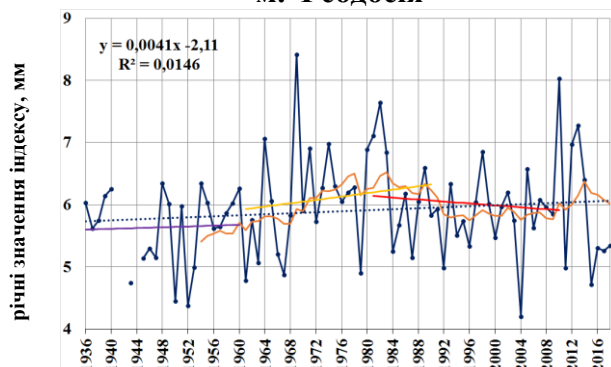
м. Одеса



м. Ужгород



м. Феодосія



м. Шепетівка

— значення індексу — ковзне середнє
 лінійні тренди за періоди: — 1901-1930 — 1931-1960 — 1961-1990 — 1981-2010 весь період спостережень

Продовження рис. Б.10

ДОДАТОК В

Таблиця В.1 Рівняння лінії трендів для індексу RX1day, отримані за допомогою методу найменших квадратів

№ п/п	Період, для якого розраховується тренд	Рівняння лінії тренду	Коефіцієнт кореляції	Критичне значення коефіцієнту кореляції		Відмітка про надійність тренду
				$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,001$	
1	2	3	4	5	6	7
Ай-Петрі						
1	1896– 2018	$y = -0,1007x + 274,9732$	- 0,1061	0,1857	0,2419	--
2	1901 – 1930	$y = -0,3365x + 727,2644$	- 0,1013	0,381	0,487	--
3	1931 – 1960	$y = -0,6872x + 1414,8618$	- 0,2041	0,388	0,496	--
4	1961 – 1990	$y = -1,4442x + 2932,4582$	- 0,2915	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,3413x - 609,1948$	0,1181	0,361	0,463	--
Асканія Нова						
1	1910 – 2015	$y = -0,0968x + 228,2279$	- 0,1398	0,2158	0,2814	--
2	1901 – 1930	$y = -0,4107x + 823,0107$	- 0,09	0,403	0,496	--
3	1931 – 1960	$y = -0,443x + 907,2431$	- 0,1274	0,413	0,526	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0409x - 47,0186$	0,0329	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = -0,0926x + 221,4212$	- 0,048	0,361	0,463	--
Вінниця						
1	1936– 2008	$y = 0,0469x - 47,6848$	0,0565	0,2338	0,3043	--
2						
3	1931 – 1960	$y = -0,0812x + 199,9681$	- 0,0383	0,413	0,526	--
4	1961 – 1990	$y = 0,1526x - 252,7556$	0,0654	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = -0,2699x + 583,6739$	- 0,1373	0,374	0,478	--
Керч						
1	1936– 2018	$y = 0,1527x - 256,0197$	0,0968	0,2230	0,2906	--
2						
3	1931 – 1960	$y = -0,238x + 511,059$	- 0,0562	0,433	0,549	--
4	1961 – 1990	$y = -0,4576x + 942,1535$	- 0,2352	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,5509x - 258,154$	0,2245	0,361	0,463	--

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7
Київ						
1	1881– 2018	$y = 0,0523x - 60,9065$	0,1226	0,1698	0,2216	--
2	1901– 1930	$y = -0,2425x - 428,0706$	0,1419	0,361	0,463	--
3	1931 – 1960	$y = -0,1434x + 322,0992$	- 0,0711	0,374	0,478	--
4	1961 – 1990	$y = -0,2364x + 509,9863$	- 0,1395	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = -0,1132x + 269,0078$	- 0,0769	0,361	0,463	--
Лубни						
1	1900– 2018	$y = 0,0406x - 39,8677$	0,0671	0,217	0,283	--
2						
3	1931 – 1960	$y = -0,4067x + 832,406$	- 0,1978	0,404	0,515	--
4	1961 – 1990	$y = 0,1105x + 180,4311$	0,1069	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = -0,0839x + 209,7199$	- 0,0413	0,361	0,463	--
Луганськ						
1	1900– 2013	$y = 0,0987x - 159,6582$	0,2337	0,1891	0,2463	+-
2	1901– 1930	$y = -0,1009x + 222,5293$	- 0,0766	0,381	0,487	--
3	1931 – 1960	$y = -0,2085x + 438,6499$	- 0,1609	0,374	0,478	--
4	1961 – 1990	$y = -0,1943x + 418,6109$	- 0,1562	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,2183x - 399,2594$	0,1195	0,361	0,463	--
Львів						
1	1921– 2018	$y = 0,1896x - 330,1157$	0,2863	0,2230	0,2906	+-
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,4214x - 783,5087$	0,2259	0,456	0,575	--
4	1961 – 1990	$y = -0,4293x + 890,5518$	- 0,2728	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,4844x - 920,1198$	0,3284	0,361	0,463	--
Миколаїв						
1	1921– 2018	$y = -0,0057x + 54,4192$	- 0,0085	0,2000	0,2605	--
2	1901– 1930	$y = 0,0795x - 112,7148$	0,0575	0,423	0,537	--
3	1931 – 1960	$y = 0,9767x - 1848,9176$	0,2798	0,388	0,496	--
4	1961 – 1990	$y = 0,1183x - 191,9411$	0,0525	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,2426x - 444,1981$	0,1347	0,396	0,505	--

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7
Одеса						
1	1904– 2008	$y = 0,1556x - 265,345$	0,2971	0,1882	0,2452	++
2	1901– 1930	$y = 0,3708x - 679,1044$	0,3007	0,367	0,47	--
3	1931 – 1960	$y = 0,0214x + 0,2359$	0,1206	0,396	0,505	--
4	1961 – 1990	$y = 0,3273x - 604,4164$	0,1477	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,3656x - 685,973$	0,1377	0,374	0,478	--
Полтава						
1	1900– 2018	$y = 0,0172x + 1,8283$	0,0324	0,1840	0,2397	--
2	1901– 1930	$y = 0,6828x - 1268,4265$	0,2447	0,361	0,463	--
3	1931 – 1960	$y = - 0,1467x + 317,6054$	0,1036	0,381	0,487	--
4	1961 – 1990	$y = 0,4661x - 891,4446$	0,2672	0,367	0,47	--
5	1981 – 2010	$y = 0,4946x - 948,8678$	0,2499	0,361	0,463	--
Ужгород						
1	1921– 2018	$y = 0,0044x + 32,4416$	0,0071	0,232	0,302	--
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,0046x + 32,6909$	0,0012	0,532	0,661	--
4	1961 – 1990	$y = 0,3141x - 578,9714$	0,2081	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,1422x - 243,1814$	0,1016	0,361	0,463	--
Умань						
1	1936– 2018	$y = 0,0661x - 87,777$	0,1677	0,1806	0,2353	--
2	1901– 1930	$y = - 0,4231x + 850,1533$	- 0,158	0,423	0,537	--
3	1931 – 1960	$y = 0,5655x - 1060,4871$	0,3375	0,404	0,515	--
4	1961 – 1990	$y = 0,1828x - 315,9988$	0,1008	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,4005x + 842,871$	- 0,2505	0,361	0,463	--
Феодосія						
1	1881– 2012	$y = 0,1585x - 274,7908$	0,3167	0,1840	0,2397	++
2	1901– 1930	$y = - 0,0011x + 29,904$	- 0,0007	0,361	0,463	--
3	1931 – 1960	$y = - 0,0293x + 87,8195$	- 0,0186	0,388	0,496	--
4	1961 – 1990	$y = 0,167x - 295,9751$	0,0752	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,4899x - 932,0211$	0,1623	0,367	0,47	--

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7
Чернівці						
1	1881– 2012	$y = 0,2084x - 367,6355$	0,2054	0,25	0,325	--
2						
3	1931 – 1960	$y = - 0,6597x + 1325,1257$	– 0,2531	0,497	0,623	--
4	1961 – 1990	$y = - 0,4112x + 855,1035$	– 0,1948	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,6129x - 1176,8949$	0,2537	0,388	0,496	--
Шепетівка						
1	1936– 2018	$y = 0,0255x - 5,361$	0,0341	0,2200	0,2868	--
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,0206x - 0,0359$	– 0,0256	0,433	0,549	--
4	1961 – 1990	$y = 0,1876x - 321,2171$	0,0809	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = - 0,2399x + 526,7624$	– 0,1162	0,361	0,463	--

Таблиця В.2 Рівняння лінії трендів для індексу RX5day, отримані за допомогою методу найменших квадратів

№ п/п	Період, для якого розраховується тренд	Рівняння лінії тренду	Коефіцієнт кореляції	Критичне значення коефіцієнту кореляції		Відмітка про надійність тренду
				$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,001$	
1	2	3	4	5	6	7
Ай-Петрі						
1	1896– 2018	$y = -0,1168x + 358,4413$	- 0,0779	0,1857	0,2419	--
2	1901 – 1930	$y = -0,9526x + 1965,8674$	- 0,1335	0,381	0,487	--
3	1931 – 1960	$y = -0,8x + 1685,6977$	- 0,172	0,388	0,496	--
4	1961 – 1990	$y = -1,6929x + 3471,8182$	- 0,2966	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 1,0535x - 1976,5893$	0,1816	0,361	0,463	--
Асканія Нова						
1	1910 – 2015	$y = -0,1113x + 271,7583$	- 0,1565	0,2158	0,2814	--
2	1901 – 1930	$y = 1,8428x - 3467,2285$	0,2834	0,403	0,496	--
3	1931 – 1960	$y = -1,0077x + 2019,984$	- 0,3022	0,413	0,526	--
4	1961 – 1990	$y = -0,128x + 300,6567$	- 0,0837	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,289x - 524,2993$	0,1385	0,361	0,463	--
Вінниця						
1	1936– 2008	$y = 0,1085x - 138,6541$	0,0819	0,2338	0,3043	--
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,7157x - 1320,6566$	0,1878	0,413	0,526	--
4	1961 – 1990	$y = 0,5851x - 279,0421$	0,1803	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = -0,1188x + 314,1772$	- 0,0337	0,374	0,478	--
Керч						
1	1936– 2018	$y = 0,2016x - 333,2167$	0,1167	0,2230	0,2906	--
2						
3	1931 – 1960	$y = -0,3406x + 728,7751$	- 0,072	0,433	0,549	--
4	1961 – 1990	$y = -0,4548x + 956,2372$	- 0,1634	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,9123x - 1759,0496$	0,2707	0,361	0,463	--

Продовження табл. В.2

1	2	3	4	5	6	7
Київ						
1	1881– 2018	$y = 0,154x - 235,005$	0,2789	0,1698	0,2216	++
2	1901– 1930	$y = 0,5948x - 281,8054$	0,2605	0,361	0,463	--
3	1931 – 1960	$y = 0,1805x - 284,9689$	0,0759	0,374	0,478	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0849x + 235,5226$	– 0,041	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,4359x + 798,0803$	0,1709	0,361	0,463	--
Лубни						
1	1900– 2018	$y = 0,1461x - 225,8484$	0,1781	0,217	0,283	--
2						
3	1931 – 1960	$y = - 0,7218x + 1464,8758$	– 0,3031	0,404	0,515	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0730x - 82,8079$	0,0315	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,1377x - 208,975$	0,0608	0,361	0,463	--
Луганськ						
1	1900– 2013	$y = 0,1455x - 233,3039$	0,2255	0,1891	0,2463	+–
2	1901– 1930	$y = - 0,3249x + 670,6642$	– 0,1192	0,381	0,487	--
3	1931 – 1960	$y = 0,0341x - 20,1525$	0,0241	0,374	0,478	--
4	1961 – 1990	$y = - 0,2895x + 624,9834$	– 0,1894	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,1045x - 151,924$	0,0406	0,361	0,463	--
Львів						
1	1921– 2018	$y = 0,2465x - 411,3273$	0,2133	0,2230	0,2906	--
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,6766x - 1248,6888$	0,2023	0,456	0,575	--
4	1961 – 1990	$y = - 0,4042x + 867,9787$	– 0,1783	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,9235x - 1765,443$	– 0,1578	0,361	0,463	--
Миколаїв						
1	1921– 2018	$y = 0,0217x + 20,3472$	0,0243	0,2000	0,2605	--
2	1901– 1930	$y = - 0,3711x + 769,0035$	– 0,1808	0,423	0,537	--
3	1931 – 1960	$y = 1,3108x - 2480,7349$	0,2938	0,388	0,496	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0236x + 11,8376$	0,008	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,3856x - 708,3649$	0,1613	0,396	0,505	--

Продовження табл. В.2

1	2	3	4	5	6	7
Одеса						
1	1904– 2008	$y = 0,2569x - 443,7153$	0,3596	0,1882	0,2452	++
2	1901– 1930	$y = 0,4042x - 729,5083$	0,2614	0,367	0,47	--
3	1931 – 1960	$y = 0,0314x + 0,5704$	0,1955	0,396	0,505	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0192x + 25,9615$	0,0066	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 1,0028x - 1935,2267$	0,3093	0,374	0,478	--
Полтава						
1	1900– 2018	$y = 0,0782x - 99,9388$	0,1054	0,1831	0,2386	--
2	1901– 1930	$y = 1,0046x - 1867,1829$	0,2716	0,361	0,463	--
3	1931 – 1960	$y = - 0,5574x + 1129,1949$	- 0,2915	0,381	0,487	--
4	1961 – 1990	$y = 0,6005x - 1142,3414$	0,2186	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 1,0697x - 2075,0277$	0,4116	0,361	0,463	+–
Ужгород						
1	1921– 2018	$y = 0,0529x - 38,9901$	0,0581	0,232	0,302	--
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,581x + 1204,3338$	- 0,0918	0,532	0,661	--
4	1961 – 1990	$y = 0,4585x - 843,0133$	0,2341	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,7579x - 1445,4312$	0,3537	0,361	0,463	--
Умань						
1	1936– 2018	$y = 0,1674x - 259,9761$	0,2704	0,1806	0,2353	++
2	1901– 1930	$y = 0,5916x - 1069,636$	0,1741	0,423	0,537	--
3	1931 – 1960	$y = 0,329x - 572,5922$	0,1054	0,404	0,515	--
4	1961 – 1990	$y = 0,4863x - 887,6548$	0,1705	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = - 0,4224x + 914,2187$	- 0,1694	0,361	0,463	--
Феодосія						
1	1881– 2012	$y = 0,2197x - 379,108$	0,3035	0,1831	0,2386	++
2	1901– 1930	$y = - 0,2335x + 487,7359$	- 0,1195	0,361	0,463	--
3	1931 – 1960	$y = - 0,1468x + 328,0523$	- 0,0899	0,388	0,496	--
4	1961 – 1990	$y = 0,5845x + 1106,4916$	0,2137	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 1,0084x - 1945,7152$	0,2496	0,361	0,463	--

Продовження табл. В.2

1	2	3	4	5	6	7
Чернівці						
1	1881– 2012	$y = 0,3116x - 537,6838$	0,168	0,25	0,325	--
2						
3	1931 – 1960	$y = - 0,8573x + 1741,2816$	- 0,1509	0,497	0,623	--
4	1961 – 1990	$y = - 0,7235x + 1505,5572$	- 0,1876	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,895x - 1704,5144$	0,2226	0,388	0,496	--
Шепетівка						
1	1936– 2018	$y = 0,0902x - 103,9883$	0,0742	0,2200	0,2868	--
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,0345x - 0,2953$	- 0,1362	0,433	0,549	--
4	1961 – 1990	$y = 0,336x - 585,6371$	0,093	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = - 0,2274x + 534,8085$	- 0,0702	0,361	0,463	--

Таблиця В.3. Рівняння лінії трендів для індексу CDD, отримані за допомогою методу найменших квадратів

№ п/п	Період, для якого розраховується тренд	Рівняння лінії тренду	Коефіцієнт кореляції	Критичне значення коефіцієнту кореляції		Відмітка про надійність тренду
				$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,001$	
1	2	3	4	5	6	7
Ай-Петрі						
1	1896 – 2018	$y = 0,0058x + 15,87$	0,0292	0,186	0,242	–
2	1901 – 1930	$y = -0,1835x + 379,18$	-0,2309	0,381	0,487	–
3	1931 – 1960	$y = 0,4428x - 835,08$	0,5246	0,388	0,496	+
4	1961 – 1990	$y = 0,0422x - 57,77$	0,0683	0,361	0,463	–
5	1981 – 2010	$y = 0,1680x - 305,94$	0,1885	0,361	0,463	–
Асканія Нова						
1	1910 – 2015	$y = 0,0179x + 0,1164$	0,4804	0,216	0,281	–
2	1901 – 1930	$y = 0,0175x - 0,0092$	0,4433			
3	1931 – 1960	$y = -0,0084x + 55,27$	-0,0059	0,413	0,526	–
4	1961 – 1990	$y = 0,1595x - 283,08$	0,1884	0,361	0,463	–
5	1981 – 2010	$y = 0,3137x - 589,95$	0,2948	0,361	0,463	–
Вінниця						
1	1936 – 2008	$y = -0,0503x + 124,89$	-0,1314	0,234	0,304	–
2	1901 – 1930					
3	1931 – 1960	$y = -0,0129x + 52,42$	-0,0137	0,413	0,526	–
4	1961 – 1990	$y = 0,1195x - 210,71$	0,1082	0,361	0,463	–
5	1981 – 2010	$y = -0,0733x + 170,79$	-0,0960	0,374	0,478	–
Керч						
1	1936 – 2018	$y = -0,0345x + 105,55$	-0,0647	0,223	0,291	–
2	1901 – 1930					
3	1931 – 1960	$y = 0,1435x - 240,80$	0,0634	0,433	0,549	–
4	1961 – 1990	$y = -0,2990x + 627,21$	-0,2774	0,361	0,463	–
5	1981 – 2010	$y = 0,2719x - 506,89$	0,2301	0,361	0,463	–

Продовження табл. В.3

1	2	3	4	5	6	7
Київ						
1	1881 – 2018	$y = -0,0817x + 188,68$	-0,3102	0,170	0,222	+
2	1901 – 1930	$y = 0,4512x - 825,95$	0,2913	0,361	0,463	–
3	1931 – 1960	$y = -0,2724x + 562,64$	-0,2519	0,374	0,478	–
4	1961 – 1990	$y = 0,0503x - 75,32$	0,0926	0,361	0,463	–
5	1981 – 2010	$y = -0,0305x + 84,92$	-0,0410	0,361	0,463	–
Лубни						
1	1936 – 2018	$y = 0,0310x - 30,47$	0,0785	0,217	0,283	–
2	1901 – 1930					–
3	1931 – 1960	$y = -0,0039x + 35,10$	-0,0035	0,404	0,515	–
4	1961 – 1990	$y = -0,0670x + 157,19$	-0,1050	0,361	0,463	–
5	1981 – 2010	$y = 0,1499x - 272,55$	0,1753	0,361	0,463	–
Луганськ						
1	1900 – 2013	$y = -0,3446x + 713,52$	-0,6289	0,189	0,246	+
2	1901 – 1930	$y = -0,4140x + 845,78$	-0,1757	0,381	0,487	–
3	1931 – 1960	$y = -1,20x + 2396,14$	-0,6555	0,374	0,478	+
4	1961 – 1990	$y = -0,1935x + 411,56$	-0,1979	0,361	0,463	–
5	1981 – 2010	$y = -0,0647x + 155,69$	-0,1183	0,361	0,463	–
Львів						
1	1921 – 2018	$y = 0,0272x - 29,03$	-0,1463	0,229	0,298	–
2	1901 – 1930					
3	1931 – 1960	$y = 0,0124x - 2,86$	0,0182	0,456	0,575	–
4	1961 – 1990	$y = -0,2498x + 514,05$	-0,1050	0,361	0,463	–
5	1981 – 2010	$y = 0,0345x - 49,11$	0,0531	0,361	0,463	–
Миколаїв						
1	1900 – 2015	$y = 0,0374x - 28,95$	-0,0379	0,197	0,257	–
2	1901 – 1930	$y = -0,1654x + 344,99$	-0,2214	0,423	0,537	–
3	1931 – 1960	$y = 0,4437x - 833,85$	0,3031	0,388	0,496	–
4	1961 – 1990	$y = -0,0910x + 208,58$	-0,1091	0,361	0,463	–
5	1981 – 2010	$y = 0,2177x - 405,10$	0,3194	0,361	0,463	–

Продовження табл. В.3

1	2	3	4	5	6	7
Одеса						
1	1894 – 2008	$y = 0,0478x - 38,74$	-0,1315	0,188	0,245	–
2	1901 – 1930	$y = 0,1692x - 287,74$	0,1275	0,367	0,470	–
3	1931 – 1960	$y = -0,2661x + 556,13$	-0,2651	0,388	0,496	–
4	1961 – 1990	$y = -0,0352x + 102,24$	-0,0411	0,361	0,463	–
5	1981 – 2010	$y = 0,0536x - 73,70$	0,0421	0,374	0,478	–
Ужгород						
1	1947 – 2018	$y = -0,0763x + 174,81$	-0,2038	0,232	0,302	–
2	1901 – 1930					
3	1931 – 1960	$y = -0,2769x + 565,97$	-0,1654	0,532	0,661	–
4	1961 – 1990	$y = -0,1486x + 318,18$	-0,1375	0,361	0,463	–
5	1981 – 2010	$y = -0,0667x + 155,18$	-0,1145	0,361	0,463	–
Умань						
1	1886 – 2018	$y = 0,0380x - 29,17$	-0,2026	0,181	0,235	+–
2	1901 – 1930	$y = 0,2476x - 445,47$	0,2270	0,423	0,537	–
3	1931 – 1960	$y = 0,1309x - 227,66$	-0,0763	0,404	0,515	–
4	1961 – 1990	$y = 0,2140x - 396,85$	0,2437	0,361	0,463	–
5	1981 – 2010	$y = -0,1544x + 333,03$	-0,2308	0,361	0,463	–
Чернівці						
1	1945 – 2008	$y = -0,0352x + 94,81$	-0,0819	0,250	0,325	–
2	1901 – 1930					
3	1931 – 1960	$y = -0,5721x + 1142,26$	-0,3220	0,497	0,623	–
4	1961 – 1990	$y = 0,1148x - 200,38$	0,1138	0,361	0,463	–
5	1981 – 2010	$y = -0,1510x + 326,10$	-0,1622	0,388	0,496	–
Шепетівка						
1	1936 – 2018	$y = -0,0360x + 95,19$	-0,1045	0,220	0,287	–
2	1901 – 1930					
3	1931 – 1960	$y = 0,1793x - 323,04$	0,1717	0,423	0,537	–
4	1961 – 1990	$y = -0,1259x + 271,28$	-0,1335	0,361	0,463	–
5	1981 – 2010	$y = -0,0251x + 72,13$	-0,0375	0,361	0,463	–

Таблиця В.4 Рівняння лінії трендів для індексу CWD, отримані за допомогою методу найменших квадратів

№ п/п	Період, для якого розраховується тренд	Рівняння лінії тренду	Коефіцієнт кореляції	Критичне значення коефіцієнту кореляції		Відмітка про надійність тренду
				$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,001$	
1	2	3	4	5	6	7
Ай-Петрі						
1	1896– 2018	$y = -0,0013x + 6,31$	0,0140	0,186	0,242	--
2	1901 – 1930	$y = 0,0343x - 56,8931$	0,1028	0,381	0,487	--
3	1931 – 1960	$y = -0,0410x + 89,5415$	- 0,1030	0,388	0,496	--
4	1961 – 1990	$y = -0,1900x + 385,2564$	- 0,4427	0,361	0,463	+-
5	1981 – 2010	$y = -0,0167x + 41,6620$	- 0,0510	0,361	0,463	--
Асканія Нова						
1	1910 – 2015	$y = -0,020x + 8,2286$	- 0,0465	0,216	0,281	--
2	1901 – 1930	$y = 0,3929x - 746,5357$	0,6001	0,403	0,496	++
3	1931 – 1960	$y = -0,0405x + 82,9066$	- 0,5028	0,413	0,526	+-
4	1961 – 1990	$y = -0,0202x + 44,4934$	- 0,1364	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = -0,0073x + 19,0833$	- 0,0569	0,361	0,463	--
Вінниця						
1	1936– 2008	$y = 0,0172x - 27,95$	0,1881	0,234	0,304	--
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,0678x - 126,3299$	0,2872	0,413	0,526	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0044x - 2,9231$	0,0226	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,1169x - 226,8952$	0,4718	0,374	0,478	+-
Керч						
1	1936– 2018	$y = 0,0054x - 6,0$	0,1128	0,223	0,291	--
2						
3	1931 – 1960	$y = -0,0169x + 37,3293$	- 0,1061	0,413	0,526	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0133x - 21,5026$	0,1094	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0265x - 47,9286$	0,2265	0,361	0,463	--

Продовження табл. В.4

1	2	3	4	5	6	7
Київ						
1	1881– 2018	$y = 0,0090x - 11,58$	0,1258	0,170	0,226	--
2	1901– 1930	$y = -0,0004x + 5,8523$	- 0,0027	0.361	0.463	--
3	1931 – 1960	$y = 0,0197x - 32,6797$	0,1218	0.374	0.478	--
4	1961 – 1990	$y = -0,0102x + 26,6165$	- 0,0520	0.361	0.463	--
5	1981 – 2010	$y = -0,0296x + 65,8770$	- 0,0545	0.361	0.463	--
Лубни						
1	1900– 2018	$y = - 0,0038x + 13,47$	- 0,0601	0.217	0.283	--
2						
3	1931 – 1960	$y = -0,0779x + 157,7566$	- 0,2639	0.404	0.515	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0456x - 84,0618$	0,3378	0.361	0.463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0002x + 5,3894$	0,0015	0.361	0.463	--
Луганськ						
1	1900– 2013	$y = 0,0135x - 21,82$	0,3174	0,189	0,246	++
2	1901– 1930	$y = 0,0208x - 35,5920$	0,0926	0.381	0.487	--
3	1931 – 1960	$y = 0,0323x - 58,6357$	0,1066	0.374	0.478	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0280x - 50,3089$	0,2112	0.361	0.463	--
5	1981 – 2010	$y = -0,0174x + 39,7605$	- 0,1278	0.361	0.463	--
Львів						
1	1921– 2018	$y = 0,0194x - 31,21$	0,2049	0,223	0,291	--
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,0534x - 97,8384$	0,2372	0.456	0.575	--
4	1961 – 1990	$y = -0,0396x + 85,4289$	- 0,1225	0.361	0.463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0825x - 157,4009$	0,3482	0.361	0.463	--
Миколаїв						
1	1921– 2018	$y = - 0,0081x + 21,15$	- 0,1584	0,200	0,261	--
2	1901– 1930	$y = - 0,0096x + 23,6957$	- 0,0563	0.423	0.537	--
3	1931 – 1960	$y = 0,0117x - 17,0233$	0,0622	0.388	0.496	--
4	1961 – 1990	$y = -0,0979x + 198,9082$	- 0,4749	0.361	0.463	++
5	1981 – 2010	$y = -0,0059x + 16,3145$	- 0,0460	0.396	0.505	--

Продовження табл. В.4

1	2	3	4	5	6	7
Одеса						
1	1904– 2008	$y = 0,0023x + 0,06$	0,0583	0,188	0,245	--
2	1901– 1930	$y = 0,0267x - 46,3830$	0,1274	0,367	0,470	--
3	1931 – 1960	$y = -0,0190x + 41,1429$	- 0,1636	0,388	0,496	--
4	1961 – 1990	$y = -0,0131x + 30,8965$	- 0,1052	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0161x - 27,5974$	0,1246	0,374	0,478	--
Ужгород						
1	1921– 2018	$y = 0,0103x - 13,91$	0,1301	0,232	0,302	--
2						
3	1931 – 1960	$y = -0,1011x + 203,6396$	- 0,2626	0,532	0,661	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0917x - 174,5359$	0,4231	0,361	0,463	+-
5	1981 – 2010	$y = 0,0392x - 71,2664$	0,2057	0,361	0,463	--
Умань						
1	1936– 2018	$y = 0,0072x - 8,63$	0,1148	0,179	0,233	--
2	1901– 1930	$y = 0,0464x - 84,0646$	0,3688	0,423	0,537	--
3	1931 – 1960	$y = 0,0417x - 76,3678$	- 0,1484	0,388	0,496	--
4	1961 – 1990	$y = -0,0903x + 184,6323$	- 0,2511	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0056x - 5,7318$	0,0332	0,361	0,463	--
Чернівці						
1	1881– 2012	$y = 0,0158x - 25,52$	0,2065	0,250	0,325	--
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,0338x - 60,8529$	0,1262	0,497	0,623	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0438x - 80,7459$	0,2635	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = -0,0189x + 43,6356$	- 0,0958	0,388	0,496	--
Шепетівка						
1	1936– 2018	$y = 0,0102x - 13,74$	0,1272	0,220	0,287	--
2						
3	1931 – 1960	$y = -0,0409x + 85,8674$	- 0,2054	0,423	0,537	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0136x - 20,0421$	0,0506	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0314x - 56,1619$	0,1786	0,361	0,463	--

Таблиця В.5 Рівняння лінії трендів для індексу R95pTOT, отримані за допомогою методу найменших квадратів

№ п/п	Період, для якого розраховується тренд	Рівняння лінії тренду	Коефіцієнт кореляції	Критичне значення коефіцієнту кореляції		Відмітка про надійність тренду
				$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,001$	
1	2	3	4	5	6	7
Ай-Петрі						
1	1896– 2018	$y = 0,0033x + 18,4364$	0,0109	0,1857	0,2419	--
2	1901 – 1930	$y = -0,0529x + 126,3079$	- 0,0488	0,381	0,487	--
3	1931 – 1960	$y = -0,1444x + 309,3416$	- 0,1244	0,388	0,496	--
4	1961 – 1990	$y = -0,4324x + 879,3078$	- 0,3499	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,2597x - 494,7161$	0,21	0,361	0,463	--
Асканія Нова						
1	1910 – 2015	$y = 0,0523x - 80,2145$	0,1242	0,2158	0,2814	--
2	1901 – 1930	$y = -1,1875x + 2291,6189$	- 0,5045	0,403	0,496	++
3	1931 – 1960	$y = 0,0396x - 54,2241$	0,0267	0,413	0,526	--
4	1961 – 1990	$y = 0,3369x - 644,1244$	0,2502	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = -0,2372x + 499,2034$	- 0,1605	0,361	0,463	--
Вінниця						
1	1936– 2008	$y = 0,0286x - 32,4192$	0,0489	0,2338	0,3043	--
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,043x - 60,0901$	0,0259	0,413	0,526	--
4	1961 – 1990	$y = -0,0758x + 173,0904$	0,056	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,2635x - 501,2596$	0,163	0,374	0,478	--
Керч						
1	1936– 2018	$y = 0,0289x - 32,674$	0,0531	0,2230	0,2906	--
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,181x - 326,9172$	0,1151	0,433	0,549	--
4	1961 – 1990	$y = -0,3747x + 761,3657$	0,3103	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,666x - 1304,7075$	0,416	0,361	0,463	+–

Продовження табл. В.5

1	2	3	4	5	6	7
Київ						
1	1881– 2018	$y = 0,0414x - 58,966$	0,1626	0,1698	0,2216	--
2	1901– 1930	$y = 0,3197x - 592,0071$	0,2356	0,361	0,463	--
3	1931 – 1960	$y = 0,1448x + 306,2561$	– 0,1216	0,374	0,478	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0309x - 39,2083$	0,0301	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0798x - 137,263$	0,0726	0,361	0,463	--
Лубни						
1	1900– 2018	$y = 0,0517x - 81,0654$	0,1583	0,217	0,283	--
2						
3	1931 – 1960	$y = - 0,1272x + 268,008$	– 0,1184	0,404	0,515	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0643x - 106,7067$	0,0727	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,069x - 116,4044$	0,078	0,361	0,463	--
Луганськ						
1	1900– 2013	$y = 0,0074x + 7,2012$	0,0207	0,1891	0,2463	--
2	1901– 1930	$y = - 0,1455x + 302,1177$	– 0,0815	0,381	0,487	--
3	1931 – 1960	$y = - 0,2717x + 548,3093$	– 0,243	0,374	0,478	--
4	1961 – 1990	$y = - 0,1922x + 400,4457$	– 0,2013	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,1801x - 336,2323$	0,1369	0,361	0,463	--
Львів						
1	1921– 2018	$y = 0,0665x - 109,3671$	0,2261	0,2230	0,2906	+-
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,1462x - 265,4437$	0,1178	0,456	0,575	--
4	1961 – 1990	$y = - 0,0961x + 211,6251$	– 0,1216	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,2437x - 463,1071$	0,2547	0,361	0,463	--
Миколаїв						
1	1921– 2018	$y = 0,0169x - 12,5192$	0,0512	0,2000	0,2605	--
2	1901– 1930	$y = 0,0632x - 101,5252$	0,0646	0,423	0,537	--
3	1931 – 1960	$y = 0,5354x - 1019,2785$	0,4198	0,388	0,496	+-
4	1961 – 1990	$y = 0,1217x - 219,8764$	0,0868	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,2073x - 3094,0659$	0,1913	0,396	0,505	--

Продовження табл. В.5

1	2	3	4	5	6	7
Одеса						
1	1904– 2008	$y = 0,1248x - 223,4157$	0,363	0,1882	0,2452	++
2	1901– 1930	$y = 0,314x - 586,765$	0,2683	0,367	0,47	--
3	1931 – 1960	$y = 0,0119x + 0,3022$	0,2219	0,396	0,505	--
4	1961 – 1990	$y = 0,3289x - 628,2132$	0,2858	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,4261x - 825,2113$	0,2849	0,374	0,478	--
Ужгород						
1	1921– 2018	$y = 0,0116x - 2,6128$	0,0251	0,232	0,302	--
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,1237x - 221,4051$	0,0452	0,532	0,661	--
4	1961 – 1990	$y = -0,0805x + 178,6581$	- 0,0668	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,2909x - 560,3906$	0,2695	0,361	0,463	--
Умань						
1	1936– 2018	$y = 0,0939x - 163,6953$	0,3494	0,1806	0,2353	++
2	1901– 1930	$y = -0,0529x + 117,9336$	- 0,0529	0,423	0,537	--
3	1931 – 1960	$y = 0,2674x - 501,8064$	0,1963	0,404	0,515	--
4	1961 – 1990	$y = 0,4375x - 842,8751$	0,363	0,361	0,463	+-
5	1981 – 2010	$y = -0,1771x + 377,1642$	- 0,1566	0,361	0,463	--
Феодосія						
1	1881– 2012	$y = 0,0852x - 146,0649$	0,2309	0,1831	0,2386	+-
2	1901– 1930	$y = 0,0809x - 138,3339$	0,061	0,361	0,463	--
3	1931 – 1960	$y = -0,2344x + 476,0735$	- 0,1615	0,388	0,496	--
4	1961 – 1990	$y = 0,144x - 265,2897$	0,08	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,5474x - 1067,4603$	0,3371	0,361	0,463	--
Чернівці						
1	1881– 2012	$y = 0,0577x - 91,3013$	0,0914	0,25	0,325	--
2						
3	1931 – 1960	$y = -0,0339x + 682,685$	- 0,1299	0,497	0,623	--
4	1961 – 1990	$y = -0,3083x + 630,9108$	- 0,2178	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,5167x - 1008,5122$	0,3934	0,388	0,496	+-

Продовження табл. В.5

1	2	3	4	5	6	7
Шепетівка						
1	1936– 2018	$y = 0,0524x - 82,237$	0,1306	0,2200	0,2868	--
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,0096x - 0,0786$	– 0,1422	0,433	0,549	--
4	1961 – 1990	$y = 0,172x - 316,3523$	0,141	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = - 0,0031x + 28,8911$	– 0,0027	0,361	0,463	--

Таблиця В.6 Рівняння лінії трендів для індексу R99pTOT, отримані за допомогою методу найменших квадратів

№ п/п	Період, для якого розраховується тренд	Рівняння лінії тренду	Коефіцієнт кореляції	Критичне значення коефіцієнту кореляції		Відмітка про надійність тренду
				$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,001$	
1	2	3	4	5	6	7
Ай-Петрі						
1	1896– 2018	$y = -0,0153x + 39,2921$	- 0,0662	0,1857	0,2419	--
2	1901 – 1930	$y = 0,0492x - 83,6906$	0,0516	0,381	0,487	--
3	1931 – 1960	$y = -0,0621x + 130,9043$	- 0,0631	0,388	0,496	--
4	1961 – 1990	$y = -0,0614x + 129,4381$	- 0,0645	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,1231x - 237,0706$	0,149	0,361	0,463	--
Асканія Нова						
1	1910 – 2015	$y = -0,0331x + 71,5534$	- 0,1133	0,2158	0,2814	--
2	1901 – 1930	$y = -0,3314x + 639,1243$	- 0,1016	0,403	0,496	--
3	1931 – 1960	$y = -0,1184x + 238,9738$	- 0,088	0,413	0,526	--
4	1961 – 1990	$y = 0,1119x - 214,5189$	0,1351	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = -0,165x + 335,1454$	- 0,2241	0,361	0,463	--
Вінниця						
1	1936– 2008	$y = 0,0419x - 75,0183$	0,1093	0,2338	0,3043	--
2						
3	1931 – 1960	$y = -0,1534x + 305,2103$	- 0,1418	0,413	0,526	--
4	1961 – 1990	$y = -0,0162x + 40,0513$	- 0,0178	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,1603x - 311,2162$	0,1572	0,374	0,478	--
Керч						
1	1936– 2018	$y = 0,0335x - 57,3759$	0,0714	0,2230	0,2906	--
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,1306x - 245,5575$	0,0944	0,433	0,549	--
4	1961 – 1990	$y = -0,2074x + 416,8712$	- 0,2295	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,1579x - 306,4903$	0,1304	0,361	0,463	--

Продовження табл. В.6

1	2	3	4	5	6	7
Київ						
1	1881– 2018	$y = 0,0182x - 28,2618$	0,082	0,1698	0,2216	--
2	1901– 1930	$y = 0,164x - 307,3022$	0,1499	0,361	0,463	--
3	1931 – 1960	$y = - 0,0703x + 145,2306$	- 0,0802	0,374	0,478	--
4	1961 – 1990	$y = - 0,087x + 179,297$	- 0,1022	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0058x - 4,1542$	0,0077	0,361	0,463	--
Лубни						
1	1900– 2018	$y = 0,0231x - 38,4437$	0,0923	0,217	0,283	--
2						
3	1931 – 1960	$y = - 0,0783x + 159,4938$	- 0,0908	0,404	0,515	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0049x - 15,9855$	- 0,0083	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0204x - 33,557$	0,0298	0,361	0,463	--
Луганськ						
1	1900– 2013	$y = - 0,0076x + 22,6209$	- 0,0281	0,1891	0,2463	--
2	1901– 1930	$y = 0,0274x - 45,1398$	0,0242	0,381	0,487	--
3	1931 – 1960	$y = - 0,3504x + 691,0507$	- 0,3346	0,374	0,478	--
4	1961 – 1990	$y = - 0,0545x + 113,8067$	- 0,0747	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0779x - 148,0387$	0,0766	0,361	0,463	--
Львів						
1	1921– 2018	$y = 0,0363x - 63,9593$	0,1439	0,2230	0,2906	--
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,2637x - 507,4467$	0,2645	0,456	0,575	--
4	1961 – 1990	$y = - 0,1648x + 332,5917$	- 0,2377	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,1839x - 358,2555$	0,2531	0,361	0,463	--
Миколаїв						
1	1921– 2018	$y = - 0,007x + 21,1281$	- 0,0231	0,2000	0,2605	--
2	1901– 1930	$y = - 0,1006x + 199,2141$	- 0,1074	0,423	0,537	--
3	1931 – 1960	$y = 0,5139x - 990,8206$	0,3895	0,388	0,496	+-
4	1961 – 1990	$y = - 0,1045x + 213,9675$	- 0,0862	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,1752x - 344,2087$	0,2286	0,396	0,505	--

Продовження табл. В.6

1	2	3	4	5	6	7
Одеса						
1	1904– 2008	$y = 0,059x - 108,2904$	0,214	0,1882	0,2452	+–
2	1901– 1930	$y = 0,1761x - 333,2282$	0,2356	0,367	0,47	--
3	1931 – 1960	$y = 0,0448x + 0,4115$	0,3056	0,396	0,505	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0646x - 120,4717$	0,0635	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,271x - 532,1644$	0,2219	0,374	0,478	--
Полтава						
1	1900– 2018	$y = -0,0028x + 15,516$	– 0,0098	0,1831	0,2386	--
2	1901– 1930	$y = 0,1415x - 259,0214$	0,1093	0,361	0,463	--
3	1931 – 1960	$y = 0,0936x - 174,3068$	0,0923	0,381	0,487	--
4	1961 – 1990	$y = 0,2282x - 445,1081$	0,2358	0,367	0,47	--
5	1981 – 2010	$y = 0,1216x - 232,3997$	0,1095	0,361	0,463	--
Ужгород						
1	1921– 2018	$y = -0,0365x + 78,8534$	– 0,1139	0,232	0,302	--
2						
3	1931 – 1960	$y = -0,159x + 318,4667$	– 0,0749	0,532	0,661	--
4	1961 – 1990	$y = -0,0172x + 40,289$	– 0,0214	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,116x - 226,2334$	0,1896	0,361	0,463	--
Умань						
1	1936– 2018	$y = 0,0333x - 59,791$	0,1948	0,1806	0,2353	+–
2	1901– 1930	$y = -0,1872x + 362,43$	– 0,1937	0,423	0,537	--
3	1931 – 1960	$y = 0,1893x - 362,4144$	0,2364	0,404	0,515	--
4	1961 – 1990	$y = 0,2114x - 410,5718$	0,2462	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = -0,2698x + 544,8147$	– 0,3416	0,361	0,463	--
Феодосія						
1	1881– 2012	$y = 0,0541x - 99,9323$	0,2174	0,1831	0,2386	+–
2	1901– 1930	$y = -0,1987x + 384,1451$	– 0,2011	0,361	0,463	--
3	1931 – 1960	$y = 0,1739x - 334,3834$	0,1788	0,388	0,496	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0227x - 38,1912$	0,0176	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,2963x - 582,6955$	0,2595	0,361	0,463	--

Продовження табл. В.6

1	2	3	4	5	6	7
Чернівці						
1	1881– 2012	$y = 0,051x - 93,2016$	0,0999	0,25	0,325	--
2						
3	1931 – 1960	$y = - 0,4691x + 921,5228$	– 0,2549	0,497	0,623	--
4	1961 – 1990	$y = - 0,2898x + 579,4197$	– 0,2554	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,3566x - 703,8001$	0,3525	0,388	0,496	--
Шепетівка						
1	1936– 2018	$y = - 0,0083x + 23,2499$	– 0,0271	0,2200	0,2868	--
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,0031x - 0,1237$	– 0,267	0,433	0,549	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0928x - 175,4072$	0,0928	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = - 0,08x + 167,8155$	– 0,0929	0,361	0,463	--

Таблиця В.7 Рівняння лінії трендів для індексу R10mm, отримані за допомогою методу найменших квадратів

№ п/п	Період, для якого розраховується тренд	Рівняння лінії тренду	Коефіцієнт кореляції	Критичне значення коефіцієнту кореляції		Відмітка про надійність тренду
				$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,001$	
1	2	3	4	5	6	7
Ай-Петрі						
1	1896– 2018	$y = 0,0429x - 54,1671$	0,1817	0,1857	0,2419	--
2	1901 – 1930	$y = 0,1122x - 185,1338$	0,1331	0,381	0,487	--
3	1931 – 1960	$y = -0,1959x + 410,0383$	- 0,1877	0,388	0,496	--
4	1961 – 1990	$y = -0,2269x + 479,7448$	- 0,3012	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,1689x - 306,6487$	0,1793	0,361	0,463	--
Асканія Нова						
1	1910 – 2015	$y = 0,0276x - 44,3217$	0,1865	0,2158	0,2814	--
2	1901 – 1930	$y = 0,8571x - 1629,0$	0,6001	0,403	0,496	++
3	1931 – 1960	$y = 0,0397x - 68,8564$	0,0940	0,413	0,526	--
4	1961 – 1990	$y = -0,0069x + 23,7241$	- 0,0153	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0545x - 97,1981$	0,0967	0,361	0,463	--
Вінниця						
1	1936– 2008	$y = 0,0372x - 57,39$	0,1732	0,2338	0,3043	--
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,1315x - 241,8098$	0,2301	0,413	0,526	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0176x - 17,2862$	0,0327	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0145x - 12,9652$	0,0339	0,374	0,478	--
Керч						
1	1936– 2018	$y = 0,0157x - 19,2002$	0,0869	0,2230	0,2906	--
2						
3	1931 – 1960	$y = -0,2074x + 415,0865$	- 0,3387	0,433	0,549	--
4	1961 – 1990	$y = -0,0616x + 134,0383$	- 0,1479	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,1571x - 300,7534$	0,3571	0,361	0,463	--

Продовження табл. В.7

1	2	3	4	5	6	7
Київ						
1	1881– 2018	$y = 0,0502x - 83,0809$	0,3542	0,1698	0,2216	++
2	1901– 1930	$y = 0,0374x - 60,3249$	0,0779	0,361	0,463	--
3	1931 – 1960	$y = 0,0487x - 81,4044$	0,0994	0,374	0,478	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0481x - 77,0628$	0,0858	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = - 0,0883x + 194,2766$	- 0,1335	0,361	0,463	--
Лубни						
1	1900– 2018	$y = 0,0615x - 105,6907$	0,3	0,217	0,283	++
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,0532x - 89,9012$	0,0994	0,404	0,515	--
4	1961 – 1990	$y = 0,1557x - 290,9752$	0,2514	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = - 0,0378x + 92,6694$	- 0,0874	0,361	0,463	--
Луганськ						
1	1900– 2013	$y = 0,0775x - 141,7571$	0,5612	0,1891	0,2463	++
2	1901– 1930	$y = - 0,0596x + 121,2551$	- 0,1807	0,381	0,487	--
3	1931 – 1960	$y = 0,1289x - 242,6514$	0,3165	0,374	0,478	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0174x - 22,5468$	0,0401	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0923x - 170,9341$	0,1873	0,361	0,463	--
Львів						
1	1921– 2018	$y = 0,0971x - 173,0116$	0,4492	0,2230	0,2906	++
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,0568x + 94,8073$	0,1064	0,456	0,575	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0474x - 74,711$	0,0889	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,2696x - 517,4525$	0,4376	0,361	0,463	+–
Миколаїв						
1	1921– 2018	$y = 0,0001x + 12,0451$	0,001	0,2000	0,2605	--
2	1901– 1930	$y = - 0,1021x + 207,7918$	- 0,2339	0,423	0,537	--
3	1931 – 1960	$y = 0,0307x - 48,1662$	0,0816	0,388	0,496	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0222x - 30,7488$	0,0568	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = - 0,0941x + 200,6455$	- 0,2082	0,396	0,505	--

Продовження табл. В.7

1	2	3	4	5	6	7
Одеса						
1	1904– 2008	$y = 0,0616x - 108,8575$	0,4700	0,1882	0,2452	++
2	1901– 1930	$y = 0,0277x - 43,6308$	0,068	0,367	0,47	--
3	1931 – 1960	$y = 0,1381x - 257,7879$	0,3369	0,388	0,496	--
4	1961 – 1990	$y = - 0,0676x + 146,8044$	- 0,1324	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,2438x - 473,2365$	0,415	0,374	0,478	+–
Ужгород						
1	1921– 2018	$y = 0,0506x - 78,8606$	0,1769	0,232	0,302	--
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,1868x - 344,8681$	0,1327	0,532	0,661	--
4	1961 – 1990	$y = 0,2089x - 391,0462$	0,2791	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,1591x - 294,9155$	0,2698	0,361	0,463	++
Умань						
1	1936– 2018	$y = 0,0483x - 79,4636$	0,3862	0,1789	0,2331	++
2	1901– 1930	$y = 0,0504x - 83,3262$	0,1008	0,423	0,537	--
3	1931 – 1960	$y = 0,1025x - 186,865$	- 0,1206	0,388	0,496	--
4	1961 – 1990	$y = 0,1324x - 243,7956$	0,2496	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = - 0,1241x + 264,8506$	- 0,2539	0,361	0,463	--
Чернівці						
1	1881– 2012	$y = 0,0397x - 62,1412$	0,1611	0,25	0,325	--
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,2059x - 387,6103$	0,198	0,497	0,623	--
4	1961 – 1990	$y = - 0,1117x + 237,7565$	- 0,2374	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,1782x - 339,4576$	0,3325	0,388	0,496	--
Шепетівка						
1	1936– 2018	$y = 0,0582x - 98,7504$	0,2587	0,2200	0,2868	+–
2						
3	1931 – 1960	$y = - 0,0412x + 94,1923$	- 0,1219	0,423	0,537	--
4	1961 – 1990	$y = 0,1993x - 375,9815$	0,344	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = - 0,0062x + 30,1636$	- 0,0124	0,361	0,463	--

Таблиця В.8 Рівняння лінії трендів для індексу RR20mm, отримані за допомогою методу найменших квадратів

№ п/п	Період, для якого розраховується тренд	Рівняння лінії тренду	Коефіцієнт кореляції	Критичне значення коефіцієнту кореляції		Відмітка про надійність тренду
				$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,001$	
1	2	3	4	5	6	7
Ай-Петрі						
1	1896– 2018	$y = 0,0176x - 22,1631$	0,1160	0,1857	0,2419	--
2	1901 – 1930	$y = -0,0343x + 78,0042$	- 0,0641	0,381	0,487	--
3	1931 – 1960	$y = -0,0542x + 118,1817$	- 0,1046	0,388	0,496	--
4	1961 – 1990	$y = -0,2456x + 497,7951$	- 0,3687	0,361	0,463	+ -
5	1981 – 2010	$y = 0,1938x - 374,2364$	0,2814	0,361	0,463	--
Асканія Нова						
1	1910 – 2015	$y = 0,0154x - 27,5833$	0,2142	0,2158	0,2814	--
2	1901 – 1930	$y = -0,0714x + 138,7857$	- 0,2236	0,403	0,496	--
3	1931 – 1960	$y = 0,0422x - 80,0069$	0,1953	0,413	0,526	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0287x - 54,0607$	0,1354	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = -0,0296x - 62,3437$	- 0,1045	0,361	0,463	--
Вінниця						
1	1936– 2008	$y = 0,0061x - 7,3707$	0,0488	0,2338	0,3043	--
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,0239x - 41,8049$	0,0626	0,413	0,526	--
4	1961 – 1990	$y = -0,0185x + 40,9775$	- 0,0721	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0777x - 150,3043$	0,2119	0,374	0,478	--
Керч						
1	1936– 2018	$y = 0,0082 - 13,3870$	0,1030	0,2230	0,2906	--
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,0315x - 58,6045$	0,1405	0,433	0,549	--
4	1961 – 1990	$y = -0,0380x + 77,4525$	- 0,2447	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,1237x - 243,6960$	0,4829	0,361	0,463	++

Продовження табл. В.8

1	2	3	4	5	6	7
Київ						
1	1881– 2018	$y = 0,0183x - 31,8015$	0,3420	0,1698	0,2216	++
2	1901– 1930	$y = 0,0398x - 73,3791$	0,1763	0,361	0,463	--
3	1931 – 1960	$y = -0,0184x + 39,6208$	- 0,0794	0,374	0,478	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0389x - 72,2771$	0,1737	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0107x - 16,6423$	0,0410	0,361	0,463	--
Лубни						
1	1900– 2018	$y = 0,0204x - 36,2779$	0,2403	0,217	0,283	++
2						
3	1931 – 1960	$y = -0,0249x + 51,7598$	- 0,1009	0,404	0,515	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0380x - 70,7858$	0,1488	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0042x - 4,0015$	0,0207	0,361	0,463	--
Луганськ						
1	1900– 2013	$y = 0,0158x - 28,4856$	0,2801	0,1891	0,2463	++
2	1901– 1930	$y = -0,0227x + 45,7675$	- 0,1122	0,381	0,487	--
3	1931 – 1960	$y = 0,0118x - 21,4226$	0,0916	0,374	0,478	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0080x - 13,0882$	0,0442	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0251x - 46,7983$	0,1004	0,361	0,463	--
Львів						
1	1921– 2018	$y = 0,0315x - 57,3743$	0,2978	0,2230	0,2906	++
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,0338x - 62,0804$	0,1054	0,456	0,575	--
4	1961 – 1990	$y = -0,0033x + 11,4923$	- 0,0144	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0990x - 192,1189$	0,3113	0,361	0,463	--
Миколаїв						
1	1921– 2018	$y = -0,0002x + 4,0952$	- 0,0041	0,2000	0,2605	--
2	1901– 1930	$y = 0,02x - 34,5636$	0,1094	0,423	0,537	--
3	1931 – 1960	$y = 0,0494x - 92,4026$	0,3180	0,388	0,496	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0105x - 16,9560$	0,0416	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0245x - 45,5127$	0,1319	0,396	0,505	--

Продовження табл. В.8

1	2	3	4	5	6	7
Одеса						
1	1904– 2008	$y = 0,0250x - 45,4692$	0,4305	0,1882	0,2452	++
2	1901– 1930	$y = 0,0310 - 56,9254$	0,1642	0,367	0,47	--
3	1931 – 1960	$y = 0,0264x - 48,2713$	0,1321	0,388	0,496	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0254x - 46,3017$	0,1210	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0961x - 187,3399$	0,3965	0,374	0,478	+–
Ужгород						
1	1921– 2018	$y = 0,0146x - 23,1566$	0,1010	0,232	0,302	--
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,0527x - 97,8989$	0,0760	0,532	0,661	--
4	1961 – 1990	$y = - 0,0127x + 30,6175$	– 0,0334	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,1368x - 267,055$	0,4127	0,361	0,463	--
Умань						
1	1936– 2018	$y = 0,0268x - 48,0906$	0,4230	0,1789	0,2331	++
2	1901– 1930	$y = 0,0016x + 0,0004$	0,0227	0,423	0,537	--
3	1931 – 1960	$y = 0,0284x - 51,2350$	0,3710	0,388	0,496	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0543x - 102,0352$	0,1732	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = - 0,0258x + 56,5634$	– 0,1117	0,361	0,463	--
Чернівці						
1	1881– 2012	$y = 0,0294x - 52,6215$	0,1776	0,25	0,325	--
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,0735x - 139,0662$	0,1052	0,497	0,623	--
4	1961 – 1990	$y = - 0,0443x + 92,8248$	– 0,1257	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,1355x - 264,8475$	0,4003	0,388	0,496	+–
Шепетівка						
1	1936– 2018	$y = 0,0238x - 42,3660$	0,2289	0,2200	0,2868	+–
2						
3	1931 – 1960	$y = - 0,0083x + 19,7709$	– 0,0991	0,423	0,537	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0692x - 131,4475$	0,2278	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0133x - 21,7029$	0,0448	0,361	0,463	--

Таблиця В. Рівняння лінії трендів для індексу PRCPTOT, отримані за допомогою методу найменших квадратів

№ п/п	Період, для якого розраховується тренд	Рівняння лінії тренду	Коефіцієнт кореляції	Критичне значення коефіцієнту кореляції		Відмітка про надійність тренду
				$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,001$	
1	2	3	4	5	6	7
Ай-Петрі						
1	1896– 2018	$y = 1,1722x - 1310,93$	0,1405	0,1857	0,2419	--
2	1901 – 1930	$y = -0,13x + 1229,63$	0,0450	0,381	0,487	--
3	1931 – 1960	$y = -5,96x + 12579,64$	- 0,2163	0,388	0,496	--
4	1961 – 1990	$y = -11,19x + 23155,18$	- 0,3717	0,361	0,463	+-
5	1981 – 2010	$y = 7,09x - 13143,64$	0,2349	0,361	0,463	--
Асканія Нова						
1	1910 – 2015	$y = 0,3255x - 262,93$	0,0900	0,2158	0,2814	--
2	1901 – 1930	$y = 16,01x - 30227,40$	0,6357	0,403	0,496	++
3	1931 – 1960	$y = -0,60x + 1506,35$	- 0,0620	0,413	0,526	--
4	1961 – 1990	$y = -0,53x + 1427,74$	- 0,0512	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 1,40x - 2398,86$	0,1106	0,361	0,463	--
Вінниця						
1	1936– 2008	$y = 0,7827x - 966,55$	0,1509	0,2338	0,3043	--
2						
3	1931 – 1960	$y = 1,83x - 3028,91$	0,1270	0,413	0,526	--
4	1961 – 1990	$y = - 0,48x + 1546,95$	- 0,0408	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 1,58x - 2577,26$	0,1373	0,374	0,478	--
Керч						
1	1936– 2018	$y = 0,4597x - 485,33$	0,1080	0,2230	0,2906	--
2						
3	1931 – 1960	$y = - 1,91x + 4124,54$	- 0,1316	0,433	0,549	--
4	1961 – 1990	$y = - 0,91 x + 2203,06$	- 0,1108	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 4,01x - 7550,18$	0,3369	0,361	0,463	--

Продовження табл. В.9

1	2	3	4	5	6	7
Київ						
1	1881– 2018	$y = 1,5746x - 2542,19$	0,4423	0,1698	0,2216	++
2	1901– 1930	$y = 0,55x + - 659,69$	0,0530	0,361	0,463	--
3	1931 – 1960	$y = 4,00x - 7305,25$	0,2737	0,374	0,478	--
4	1961 – 1990	$y = - 1,05x + 2684,78$	- 0,0798	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,22x + 174,64$	0,0202	0,361	0,463	--
Лубни						
1	1900– 2018	$y = 1,6184x + - 2627,44$	0,3238	0,217	0,283	++
2						
3	1931 – 1960	$y = - 0,56x + 1589,53$	- 0,0396	0,404	0,515	--
4	1961 – 1990	$y = 3,16x - 5637,86$	0,2106	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,37x - 121,61$	0,0347	0,361	0,463	--
Луганськ						
1	1900– 2013	$y = 2,9089x - 5326,87$	0,6848	0,1908	0,2485	++
2	1901– 1930	$y = - 1,47x + 3084,43$	- 0,1778	0,396	0,505	--
3	1931 – 1960	$y = 6,50x - 12354,84$	0,5865	0,374	0,478	++
4	1961 – 1990	$y = 0,23x - 8,58$	0,0226	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 1,45x - 2410,70$	- 0,2788	0,361	0,463	--
Львів						
1	1921– 2018	$y = 2,4117x - 4071,12$	0,4328	0,2230	0,2906	++
2						
3	1931 – 1960	$y = 6,15x - 11373,89$	0,3777	0,456	0,575	--
4	1961 – 1990	$y = - 0,47x + 1631,86$	- 0,0328	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 7,89x - 15020,43$	0,5206	0,361	0,463	++
Миколаїв						
1	1921– 2018	$y = 0,0539x + 329,59$	0,0197	0,2000	0,2605	--
2	1901– 1930	$y = - 0,87x + 2093,46$	- 0,0914	0,423	0,537	--
3	1931 – 1960	$y = 2,08x - - 3605,95$	0,1830	0,388	0,496	--
4	1961 – 1990	$y = - 0,08x + 610,58$	- 0,0078	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = - 0,53x + 1480,54$	- 0,0506	0,396	0,505	--

Продовження табл. В.9

1	2	3	4	5	6	7
Одеса						
1	1904– 2008	$y = 1,5071x + 37,02$	0,4701	0,1882	0,2452	++
2	1901– 1930	$y = 0,43x - 487,79$	0,0385	0,388	0,496	--
3	1931 – 1960	$y = 2,37x - 4233,63$	0,2406	0,367	0,47	--
4	1961 – 1990	$y = - 1,62x + 3642,54$	- 0,1342	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 5,48x - 10501,93$	0,4307	0,374	0,478	+–
Ужгород						
1	1921– 2018	$y = 0,5580x - 395,78$	0,0809	0,232	0,302	--
2						
3	1931 – 1960	$y = - 0,87x + 2383,12$	0,0154	0,532	0,661	--
4	1961 – 1990	$y = 5,36x - 9859,88$	- 0,5095	0,361	0,463	++
5	1981 – 2010	$y = 3,34x - 5938,10$	0,6708	0,361	0,463	++
Умань						
1	1936– 2018	$y = 1,1412x - 1693,93$	0,3751	0,1806	0,2353	++
2	1901– 1930	$y = - 0,37x + 1174,58$	- 0,0242	0,423	0,537	--
3	1931 – 1960	$y = - 0,79x + 2057,34$	- 0,0584	0,404	0,515	--
4	1961 – 1990	$y = 0,93x - 1233,40$	0,0613	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = - 1,63x + 3839,22$	- 0,1620	0,361	0,463	--
Чернівці						
1	1881– 2012	$y = 1,04086x - 2179,77$	0,1876	0,25	0,325	--
2						
3	1931 – 1960	$y = 5,18x - 9577,19$	0,1830	0,497	0,623	--
4	1961 – 1990	$y = - 4,25x + 9023,05$	- 0,2708	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 4,61x - 8604,85$	0,2932	0,388	0,496	--
Шепетівка						
1	1936– 2018	$y = 1,5003x - 2341,07$	0,2729	0,2200	0,2868	+–
2						
3	1931 – 1960	$y = 0,28x - 0,06$	0,0840	0,361	0,463	--
4	1961 – 1990	$y = 5,19x - 9573,25$	0,3441	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = - 2,29x + 5226,86$	- 0,2090	0,361	0,463	--

Таблиця В.10 Рівняння лінії трендів для індексу SDII, отримані за допомогою методу найменших квадратів

№ п/п	Період, для якого розраховується тренд	Рівняння лінії тренду	Коефіцієнт кореляції	Критичне значення коефіцієнту кореляції		Відмітка про надійність тренду
				$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,001$	
1	2	3	4	5	6	7
Ай-Петрі						
1	1900 – 2018	$y = 0,002x + 5,3036$	0,0439	0,1908	0,2485	--
2	1901 – 1930	$y = 0,0022x + 4,94$	0,0155	0,388	0,496	--
3	1931 – 1960	$y = -0,0351x + 77,5606$	-0,191	0,388	0,496	--
4	1961 – 1990	$y = -0,0428x + 93,6531$	-0,2142	0,367	0,47	--
5	1981 – 2010	$y = 0,06x - 110,6246$	0,3173	0,361	0,463	--
Асканія Нова						
1	1910 – 2015	$y = 0,0045x - 3,0118$	0,137	0,2158	0,2814	--
2	1901 – 1930	$y = 0,0643x - 117,2300$	0,5271	0,403	0,496	++
3	1931 – 1960	$y = -0,0004x + 6,608$	-0,0028	0,413	0,526	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0049x - 4,0295$	0,0548	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,006x - 6,0143$	0,0571	0,361	0,463	--
Вінниця						
1	1936 – 2008	$y = 0,0039x - 1,5942$	0,0927	0,2338	0,3043	--
2	1901 – 1930					
3	1931 – 1960	$y = 0,0065x - 6,7398$	0,0557	0,413	0,526	--
4	1961 – 1990	$y = -0,0041x + 14,4869$	-0,0392	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = -0,0056x + 17,3824$	-0,0517	0,374	0,478	--
Керч						
1	1936 – 2018	$y = 0,0048x - 3,2833$	0,1005	0,2230	0,2906	--
2	1901 – 1930					
3	1931 – 1960	$y = -0,0233x + 51,5963$	-0,1735	0,433	0,549	--
4	1961 – 1990	$y = -0,0242x + 53,9177$	-0,243	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,047x - 87,5725$	0,3374	0,361	0,463	--

Продовження табл. В.10

1	2	3	4	5	6	7
Київ						
1	1882 – 2018	$y = 0,0025x + 1,3053$	0,1085	0,1698	0,2216	--
2	1901 – 1930	$y = 0,0224x - 36,6557$	0,1846	0,361	0,463	--
3	1931 – 1960	$y = -0,0342x + 72,7421$	-0,3032	0,374	0,478	--
4	1961 – 1990	$y = 0,001x + 4,2088$	0,0119	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = -0,0025x + 11,129$	-0,0286	0,361	0,463	--
Лубни						
1	1936 – 2018	$y = 0,0063x - 6,3745$	0,2199	0,217	0,283	+-
2	1901 – 1930					
3	1931 – 1960	$y = -0,0143x + 33,713$	-0,1428	0,404	0,515	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0192x - 31,866$	0,2528	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = -0,0045x + 15,2191$	-0,0589	0,361	0,463	--
Луганськ						
1	1905 – 2013	$y = -0,0028x + 11,5199$	-0,0876	0,1891	0,2463	--
2	1901 – 1930	$y = -0,0251x + 54,3061$	-0,1481	0,381	0,487	--
3	1931 – 1960	$y = -0,0439x + 91,1585$	-0,4411	0,374	0,478	+-
4	1961 – 1990	$y = 0,0019x + 9,3305$	-0,0255	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0089x - 11,767$	0,0798	0,361	0,463	--
Львів						
1	1936 – 2018	$y = 0,0077x - 9,3102$	0,2912	0,2230	0,2906	++
2	1901 – 1930					
3	1931 – 1960	$y = 0,0096x - 13,0939$	0,1291	0,456	0,575	--
4	1961 – 1990	$y = -0,0077x + 21,2049$	-0,1023	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0257x - 45,2583$	0,3626	0,361	0,463	+-
Миколаїв						
1	1900 – 2015	$y = 0,0107x - 15,4349$	0,3318	0,2000	0,2605	++
2	1901 – 1930	$y = -0,0355x + 73,3116$	-0,3436	0,423	0,537	--
3	1931 – 1960	$y = 0,0473x + 86,61$	0,4016	0,388	0,496	+-
4	1961 – 1990	$y = 0,0326x - 58,5266$	0,2578	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0299x - 53,4348$	0,3381	0,396	0,505	--

Продовження табл. В.10

1	2	3	4	5	6	7
Одеса						
1	1894 – 2008	$y = 0,0161x - 25,2434$	0,4586	0,1882	0,2452	++
2	1901 – 1930	$y = 0,0281x - 48,3177$	0,2666	0,367	0,47	--
3	1931 – 1960	$y = 0,0358x - 62,9265$	0,2838	0,396	0,505	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0208x - 34,5187$	0,1759	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0598x - 112,4029$	0,3933	0,374	0,478	+-
Полтава						
1	1900 – 2018	$y = 0,0052x - 4,2951$	0,1644	0,1840	0,2397	--
2	1901 – 1930	$y = 0,0055x - 4,6569$	0,0334	0,361	0,463	--
3	1931 – 1960	$y = -0,0169x + 38,4157$	-0,046	0,381	0,487	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0234x - 40,4119$	0,335	0,367	0,47	--
5	1981 – 2010	$y = 0,2318x - 57,3779$	0,2987	0,361	0,463	--
Ужгород						
1	1947 – 2018	$y = 0,0008x + 5,1395$	0,0182	0,232	0,302	--
2	1901 – 1930					
3	1931 – 1960	$y = 0,0443x - 79,923$	0,18	0,532	0,661	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0204x - 33,7042$	0,196	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,011x - 15,274$	0,1293	0,361	0,463	--
Умань						
1	1887 – 2018	$y = 0,0096x - 12,5054$	0,4057	0,1806	0,2353	++
2	1901 – 1930	$y = 0,0101x - 13,4655$	0,0918	0,423	0,537	--
3	1931 – 1960	$y = 0,0139x - 20,9122$	0,1348	0,404	0,515	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0391x - 70,7981$	0,3593	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = -0,0229x + 52,1867$	-0,2769	0,361	0,463	--
Феодосія						
1	1882 – 2012	$y = 0,0083x - 10,0098$	0,1044	0,1840	0,2397	--
2	1901 – 1930	$y = -0,0091x + 23,3883$	-0,0655	0,361	0,463	--
3	1931 – 1960	$y = -0,006x + 18,0205$	-0,0406	0,388	0,496	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0011x + 4,2468$	0,0078	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,0016x + 3,2461$	0,2812	0,367	0,47	--

Продовження табл. В.10

1	2	3	4	5	6	7
Чернівці						
1	1945 – 2008	$y = 0,0042x - 1,9495$	0,0726	0,25	0,325	--
2	1901 – 1930					
3	1931 – 1960	$y = 0,0076x - 8,7477$	0,0284	0,497	0,623	--
4	1961 – 1990	$y = -0,029x + 63,7658$	-0,2422	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = 0,026x - 45,5955$	0,2271	0,388	0,496	--
Шепетівка						
1	1938 – 2018	$y = 0,004x - 2,1154$	0,1208	0,2200	0,2868	--
2	1901 – 1930					
3	1931 – 1960	$y = 0,0032x - 0,5882$	-0,0187	0,433	0,549	--
4	1961 – 1990	$y = 0,0136x - 20,7403$	0,1392	0,361	0,463	--
5	1981 – 2010	$y = -0,0078x + 21,6431$	-0,0892	0,361	0,463	--

ДОДАТОК Г

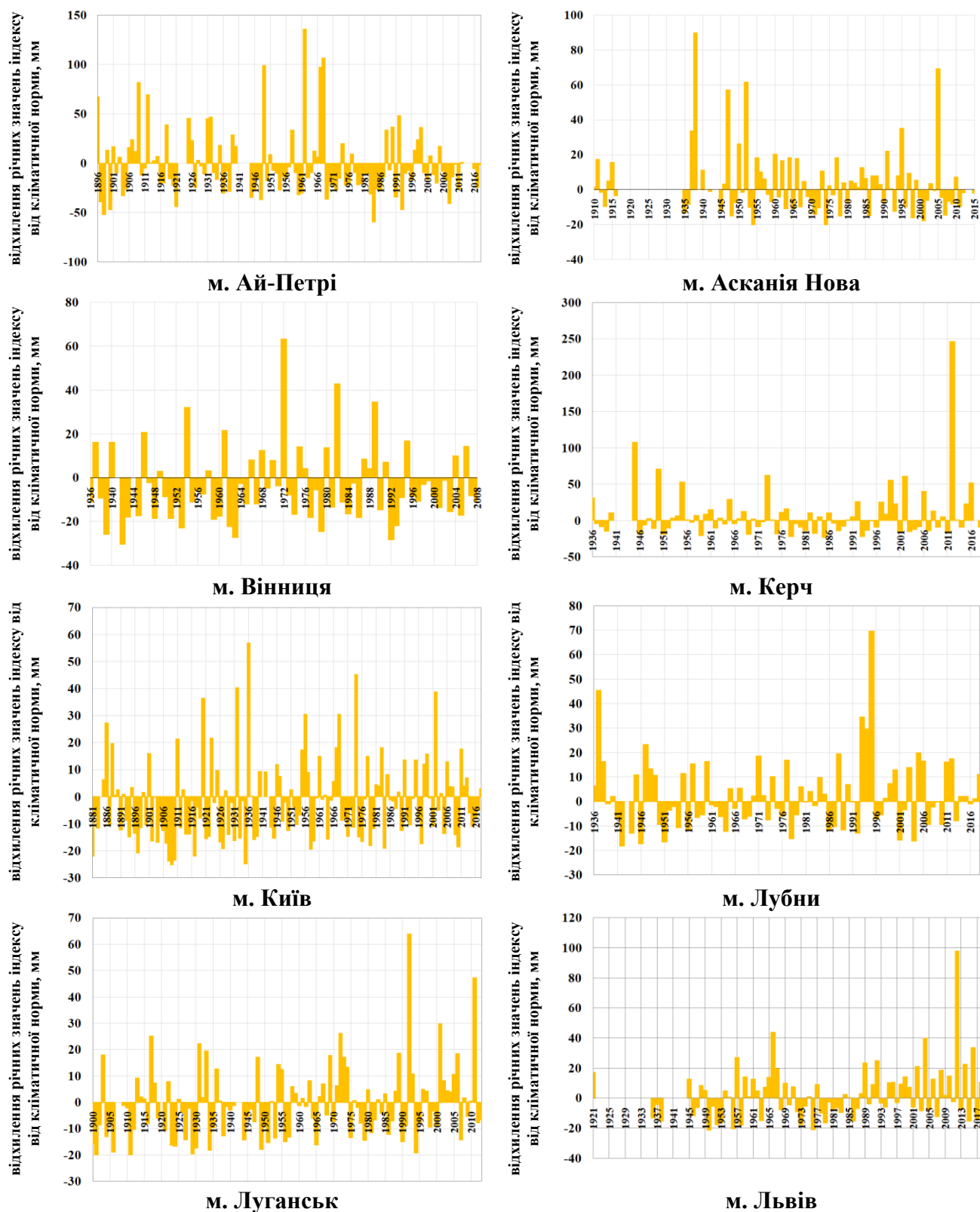
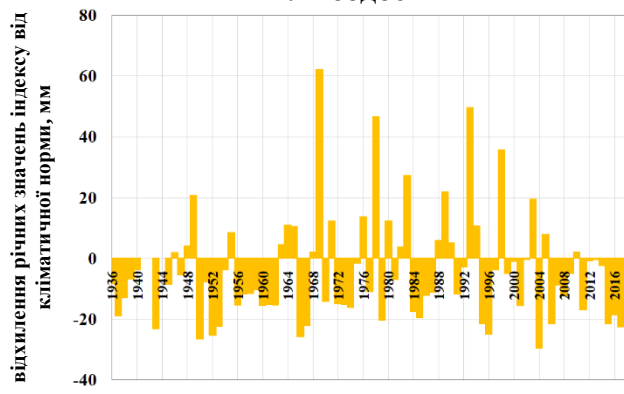
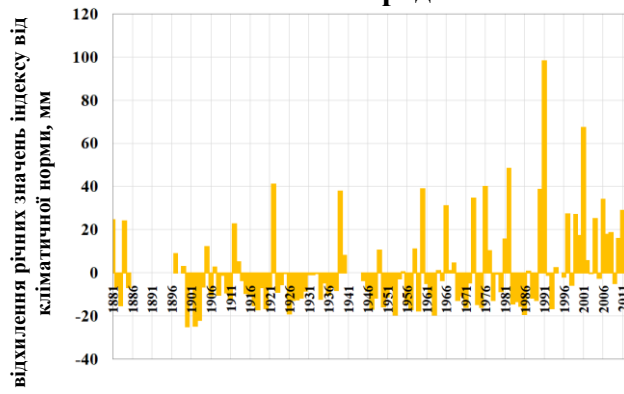
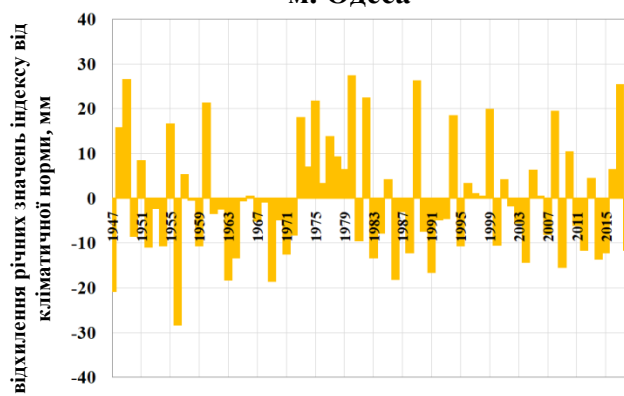
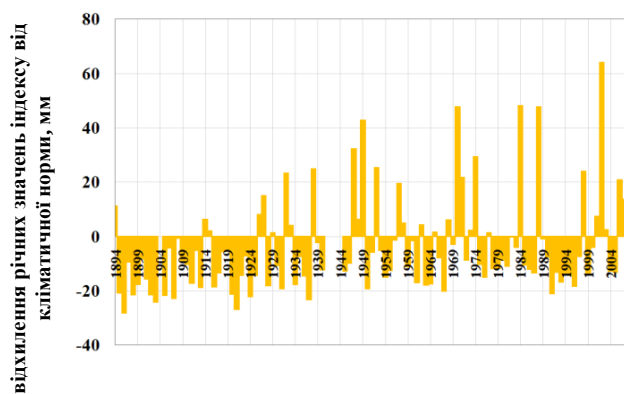
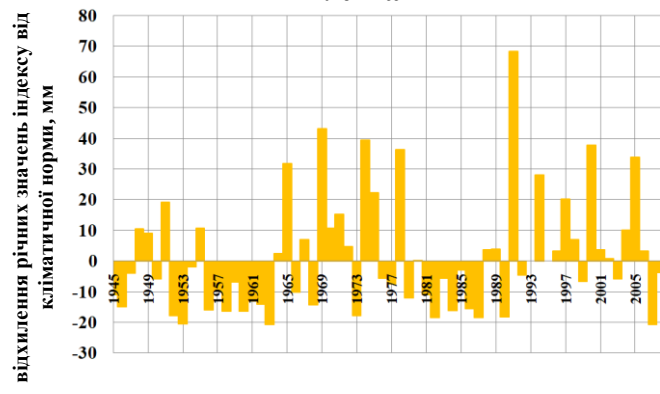
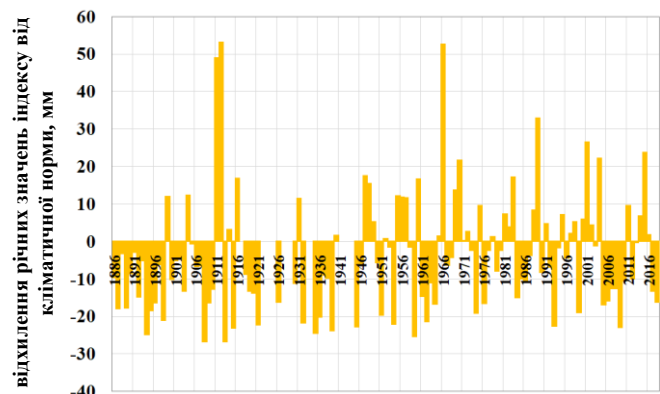
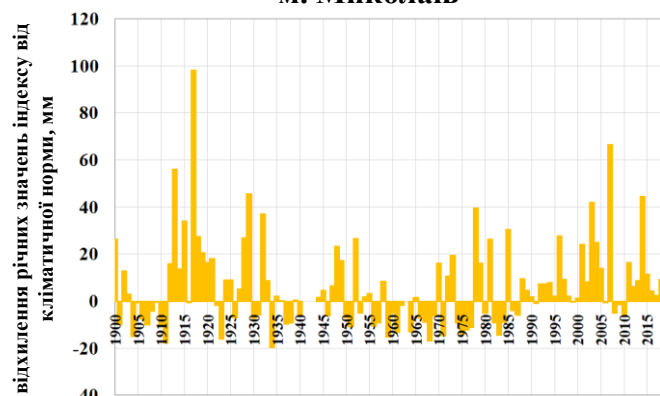
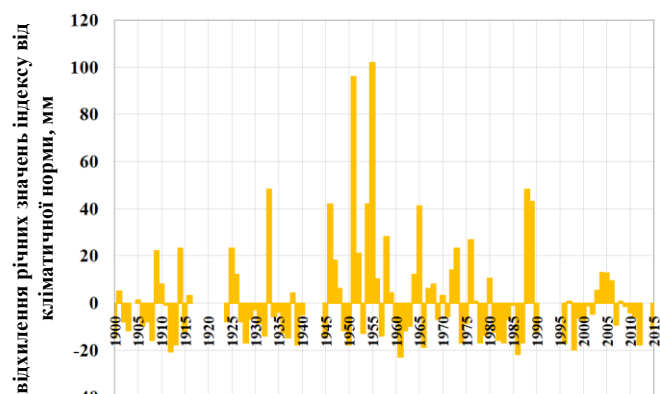


Рисунок Г.1 – Часовий хід відхилень річного одностороннього максимуму опадів (RX1Day) від кліматичної норми



Продовження рис. Г.1

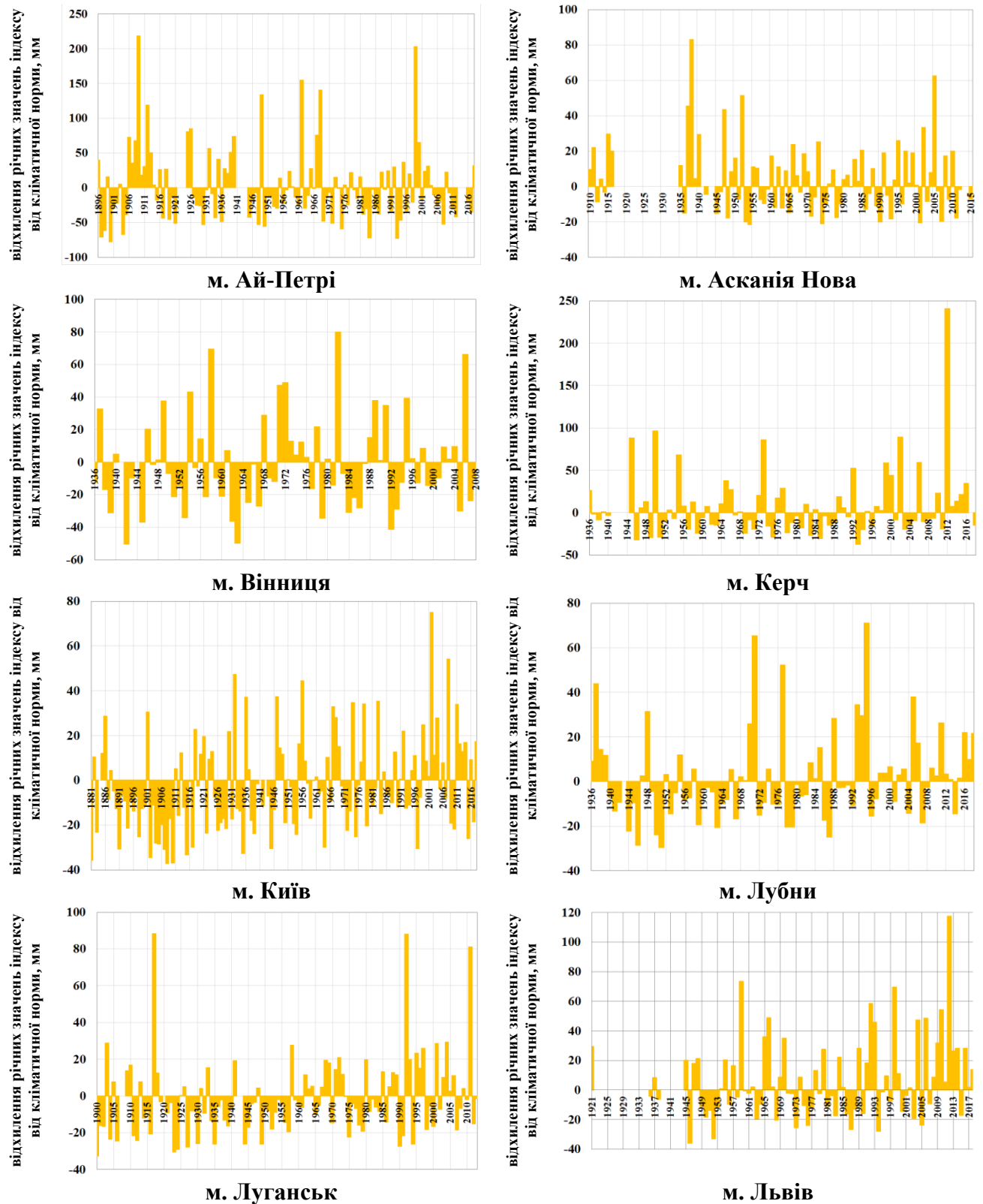
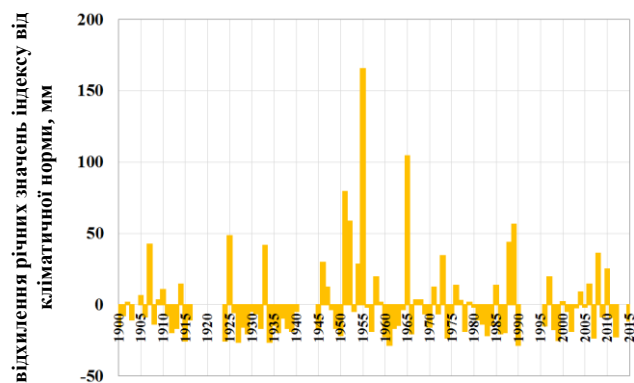
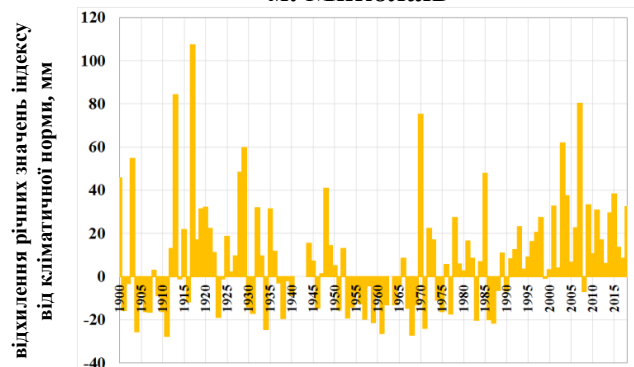


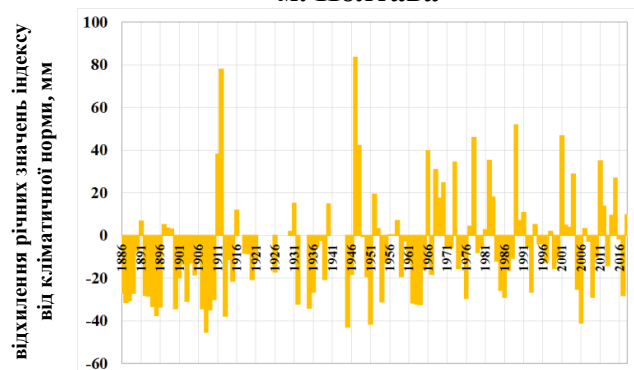
Рисунок Г.2 – Часовий хід відхилень річного максимуму опадів впродовж п'яти послідовних днів (RX5Day) від кліматичної норми.



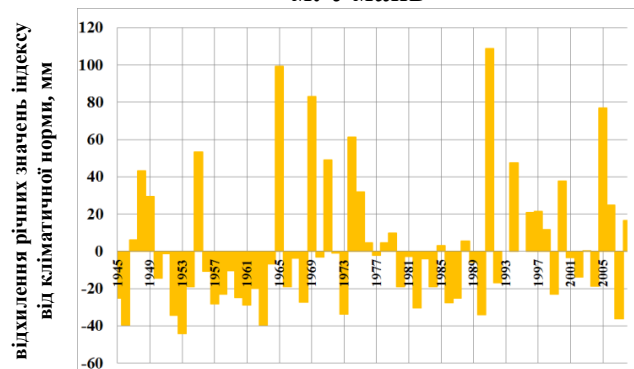
м. Миколаїв



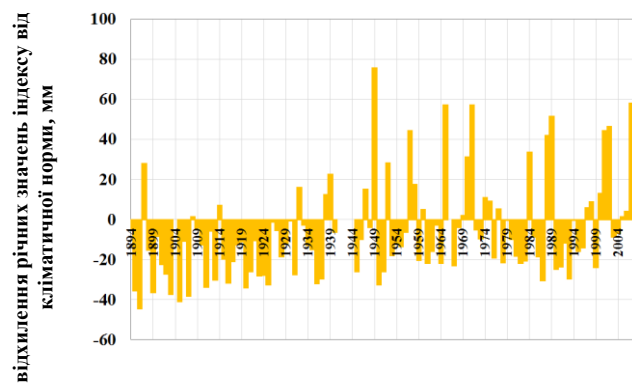
м. Полтава



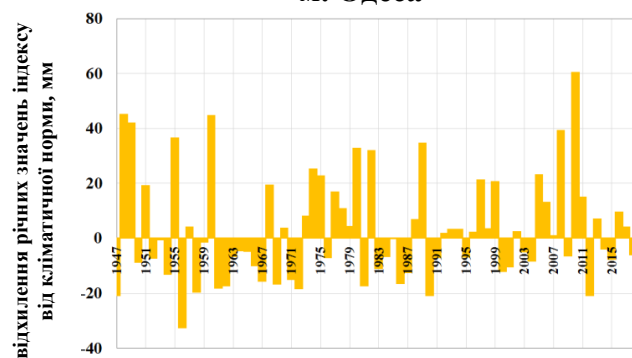
м. Умань



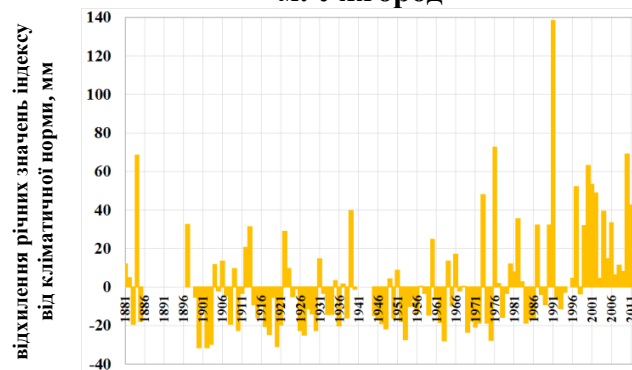
м. Чернівці



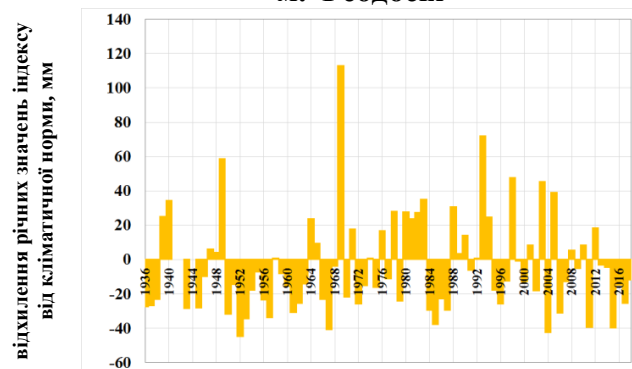
м. Одеса



м. Ужгород



м. Феодосія



м. Шепетівка

Продовження рис. Г.2

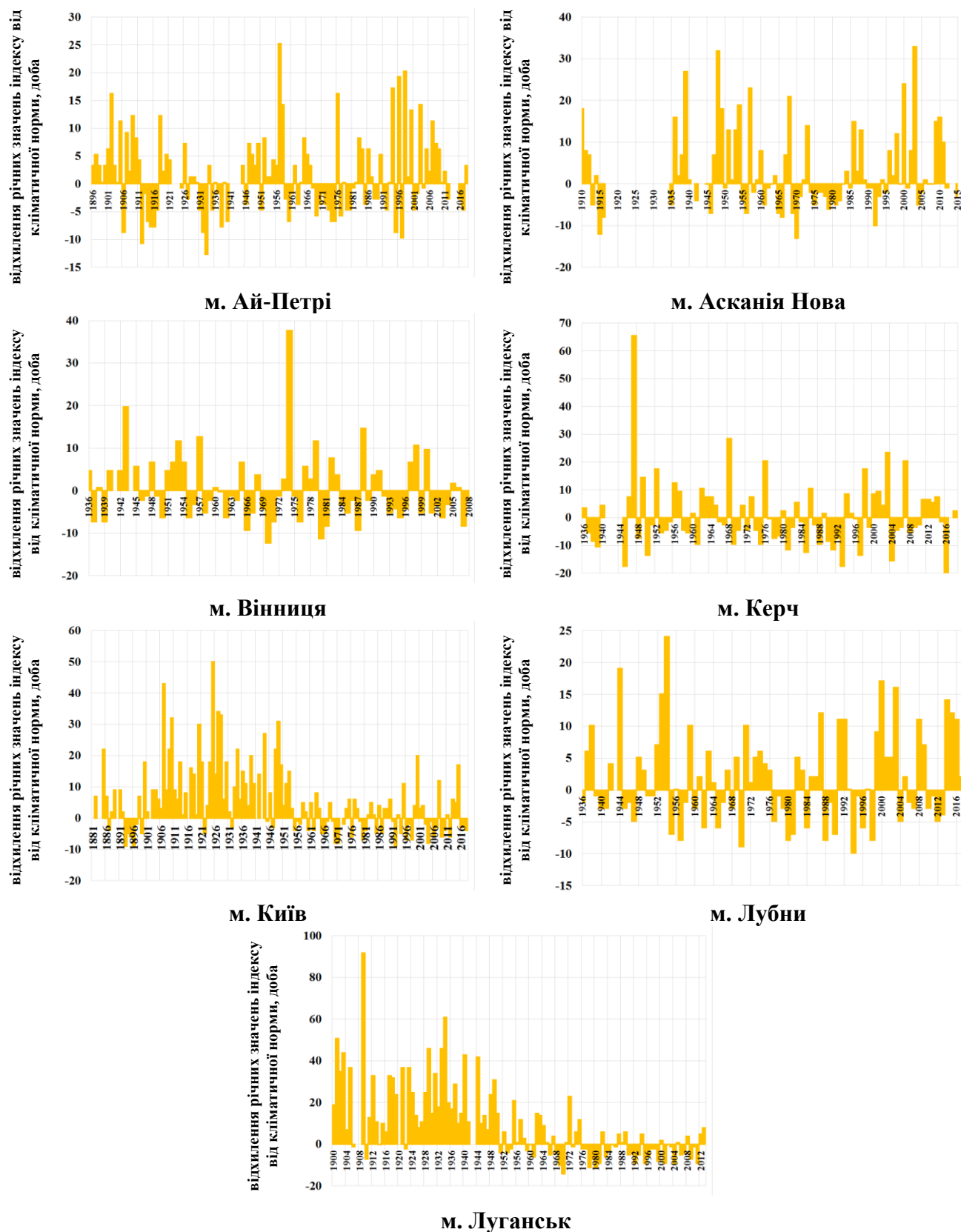
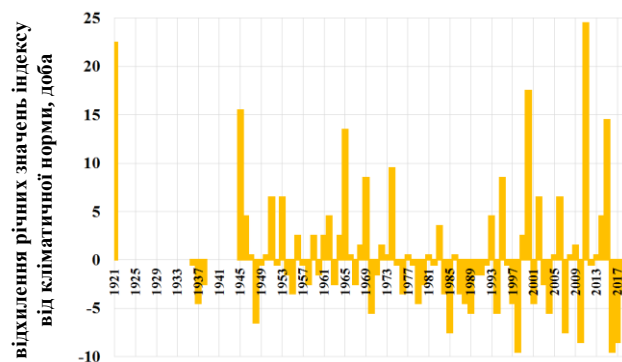
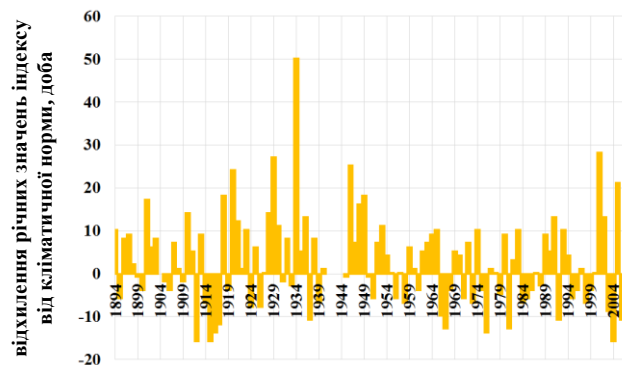


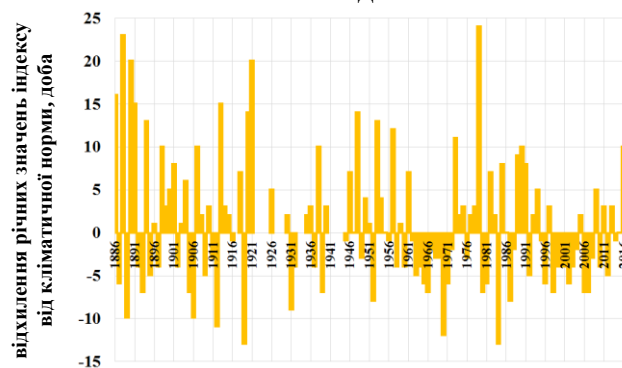
Рисунок Г.3 – Часовий хід відхилень індексу посушливості (CDD) від кліматичної норми.



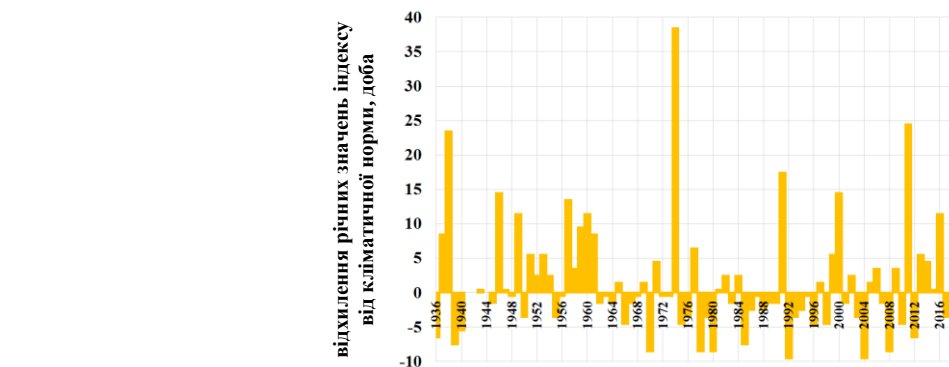
м. Львів



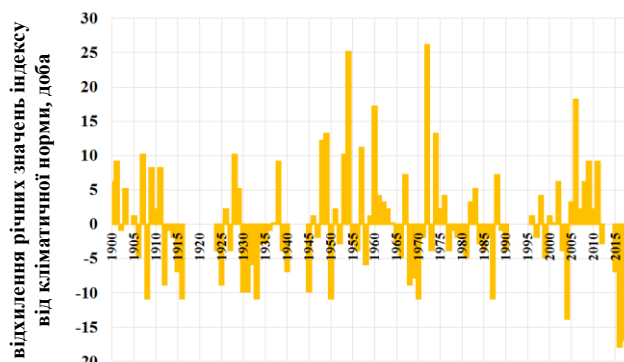
м. Одеса



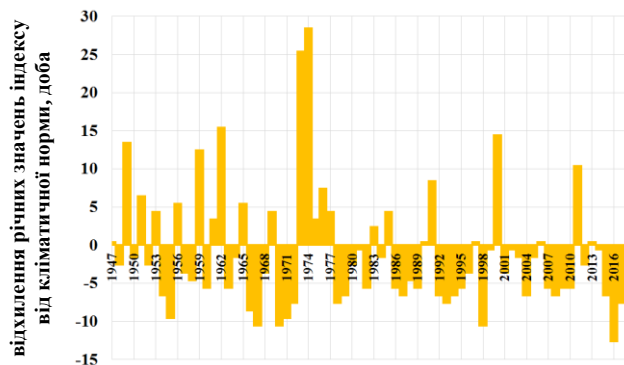
м. Умань



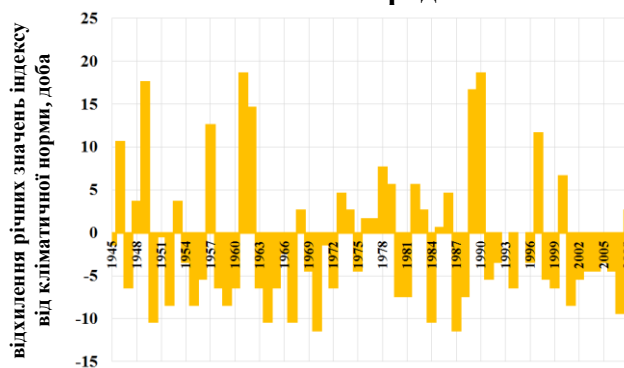
м. Шепетівка



м. Миколаїв



м. Ужгород



м. Чернівці

Продовження рис. Г.3

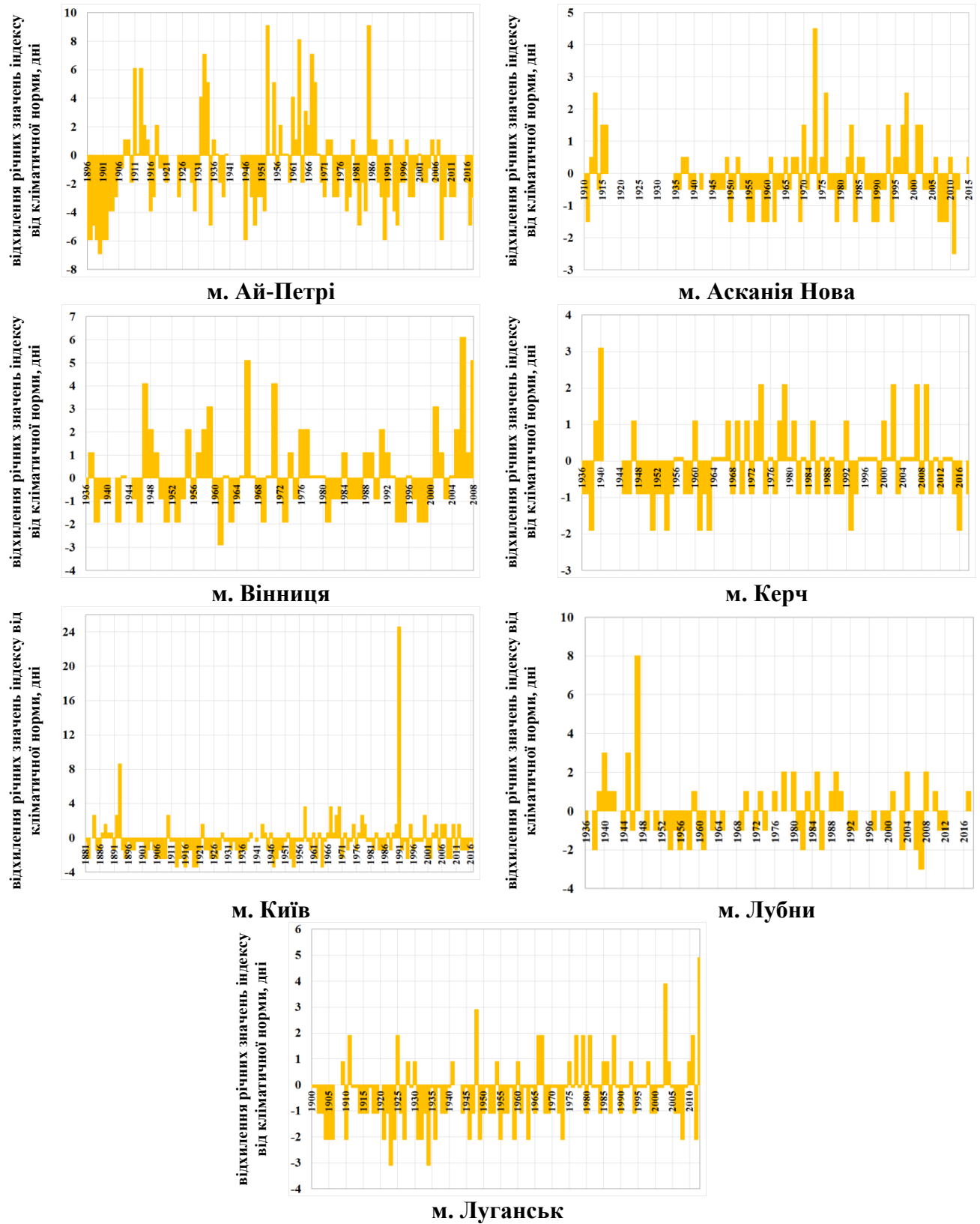
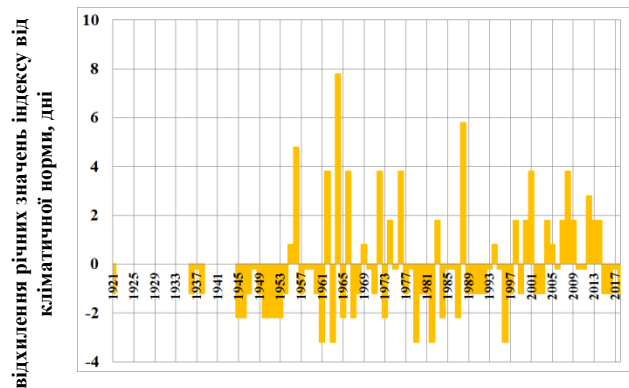
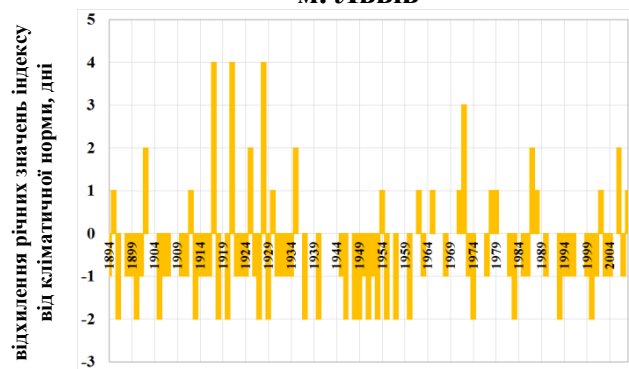


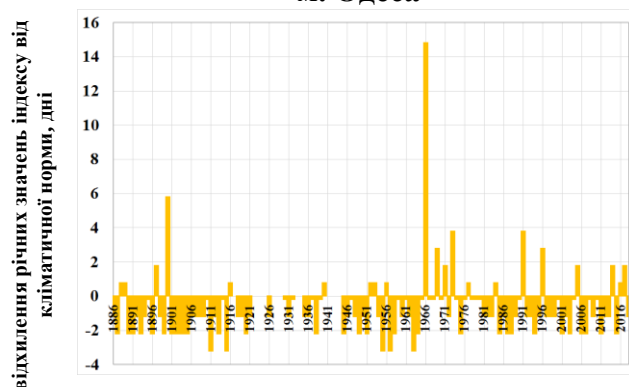
Рисунок Г.4 – Часовий хід відхилень дощового індексу (CWD) від кліматичної норми



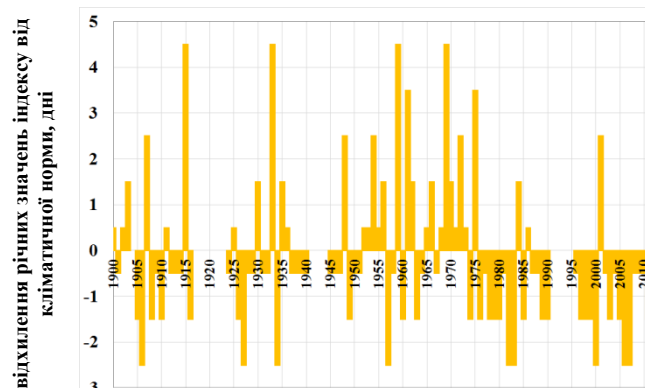
м. Львів



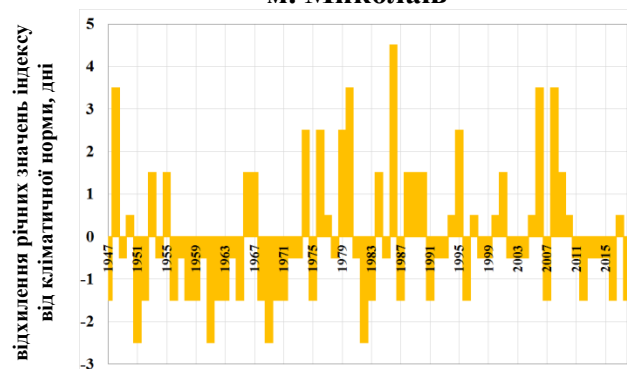
м. Одеса



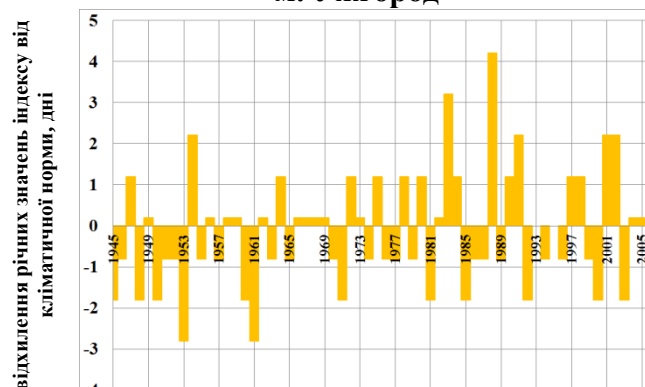
м. Умань



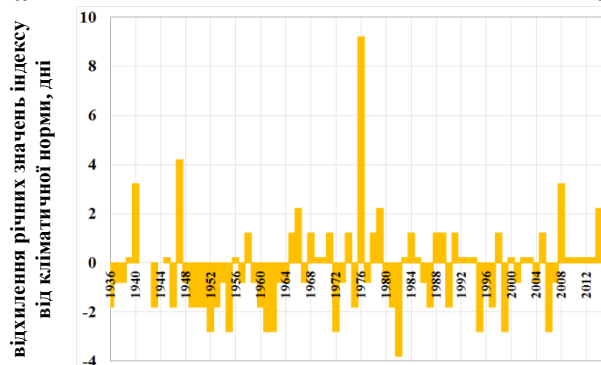
м. Миколаїв



м. Ужгород



м. Чернівці



м. Шепетівка

Продовження рис. Г.4

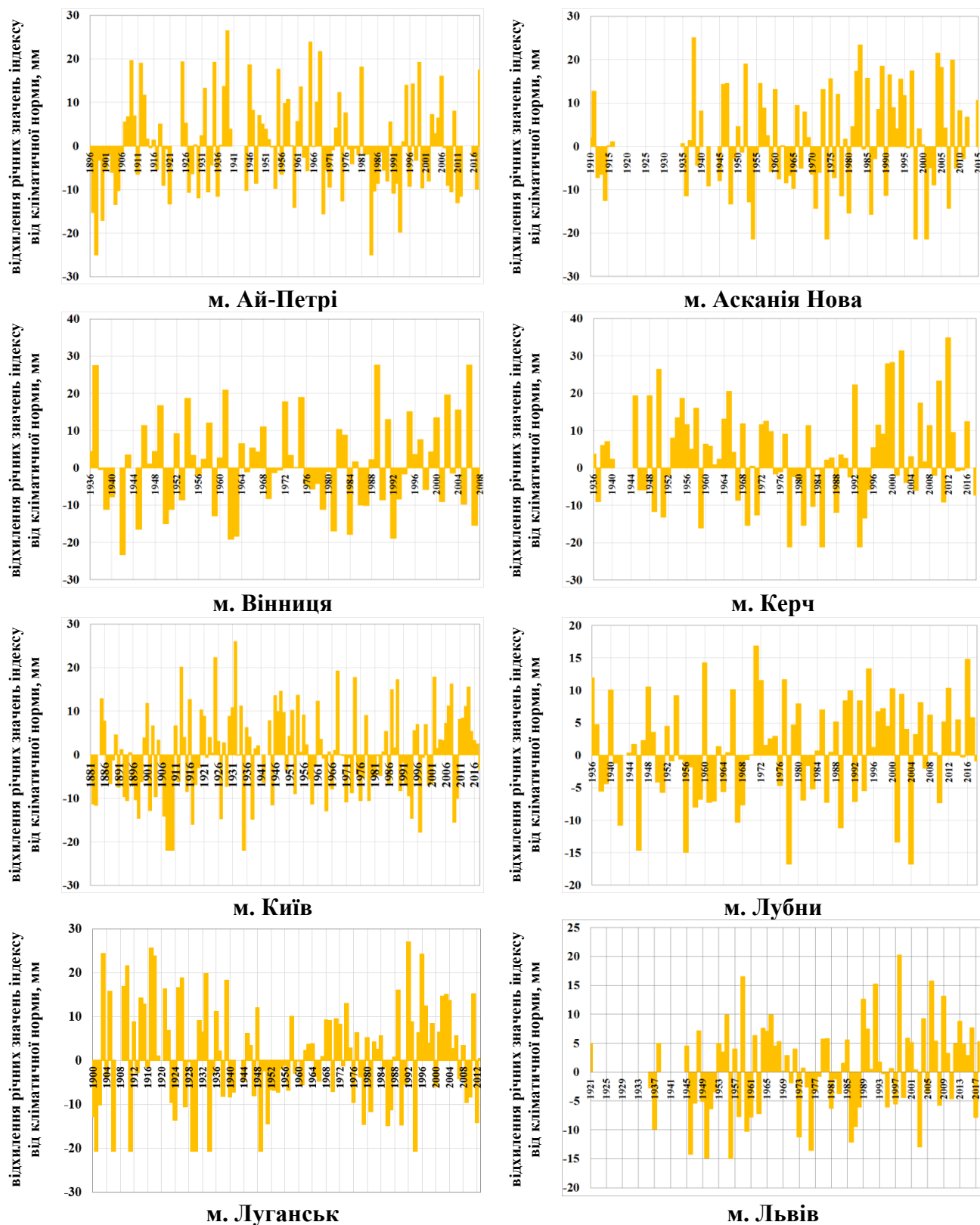
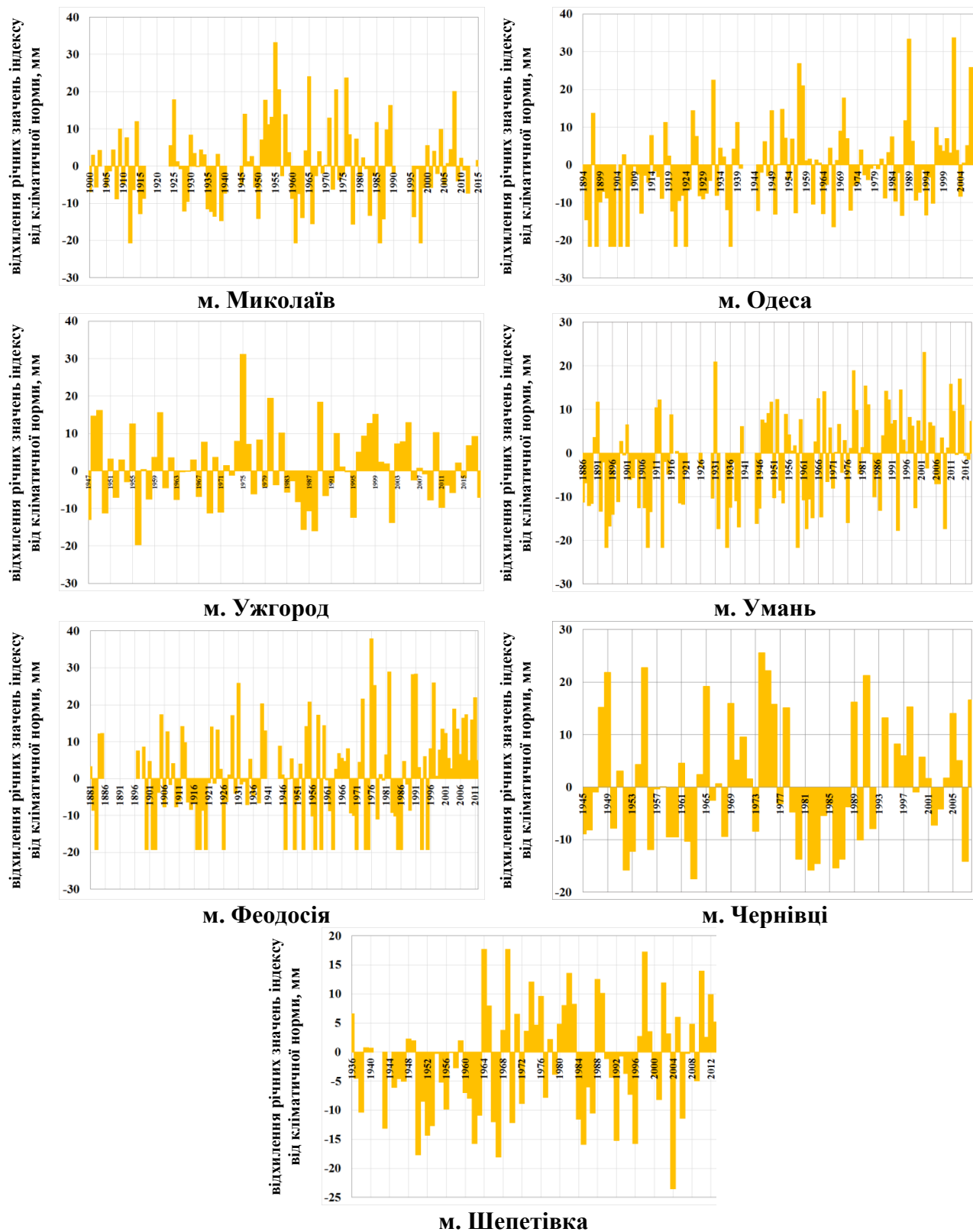


Рисунок Г.5 – Часовий хід відхилень річної кількості днів з сильною зволоженістю (R95pTOT). від кліматичної норми.



Продовження рис. Г.5

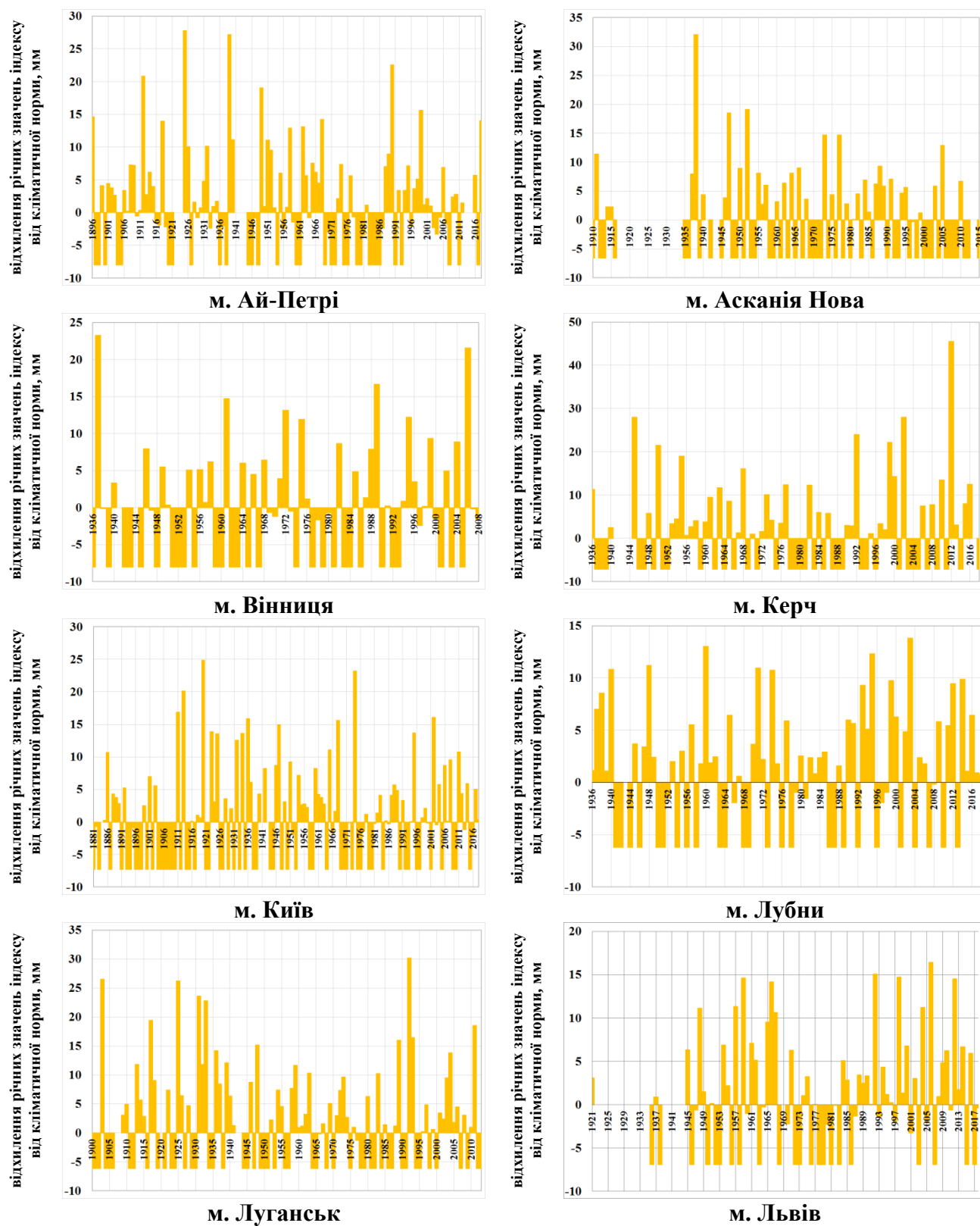
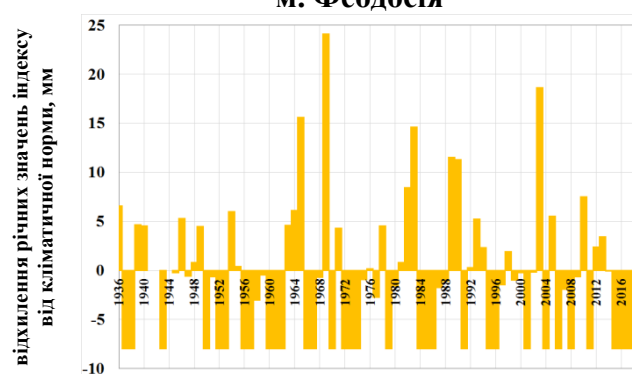
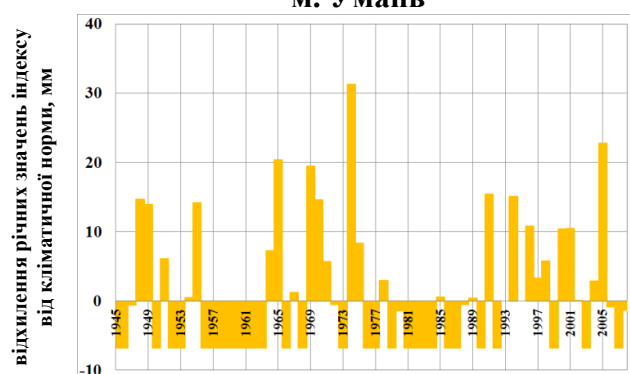
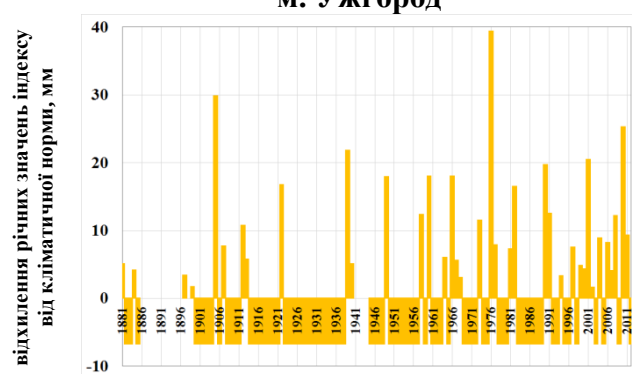
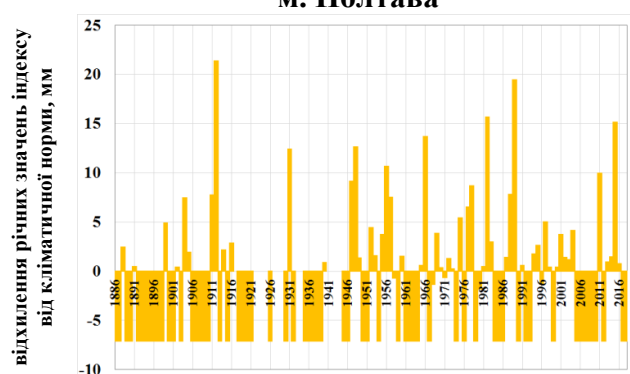
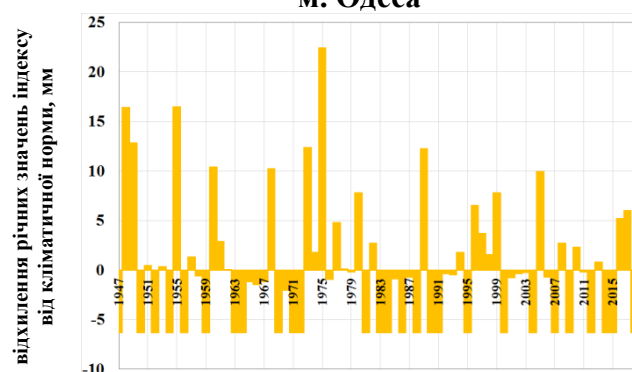
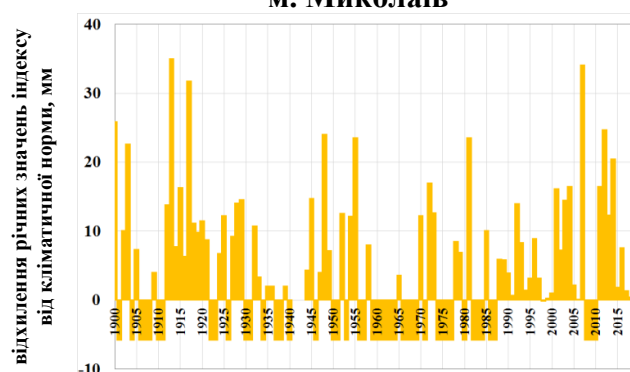
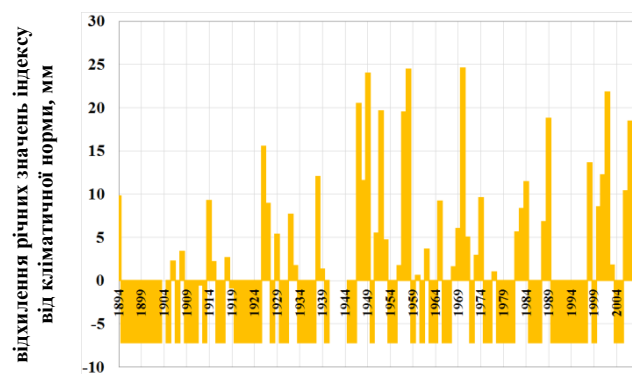
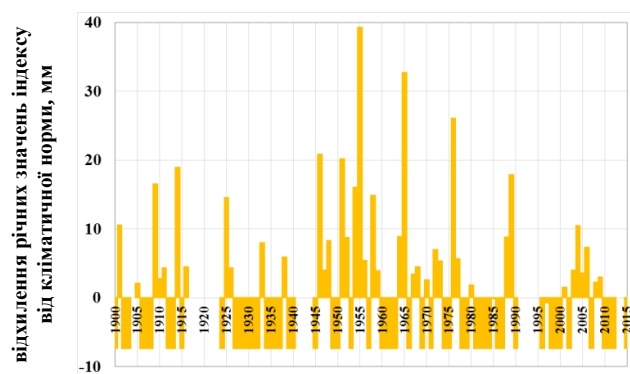


Рисунок Г.6 – Часовий хід відхилень річної кількості днів з надзвичайним зволоженням (R99pTOT) від кліматичної норми



Продовження рис. Г.6

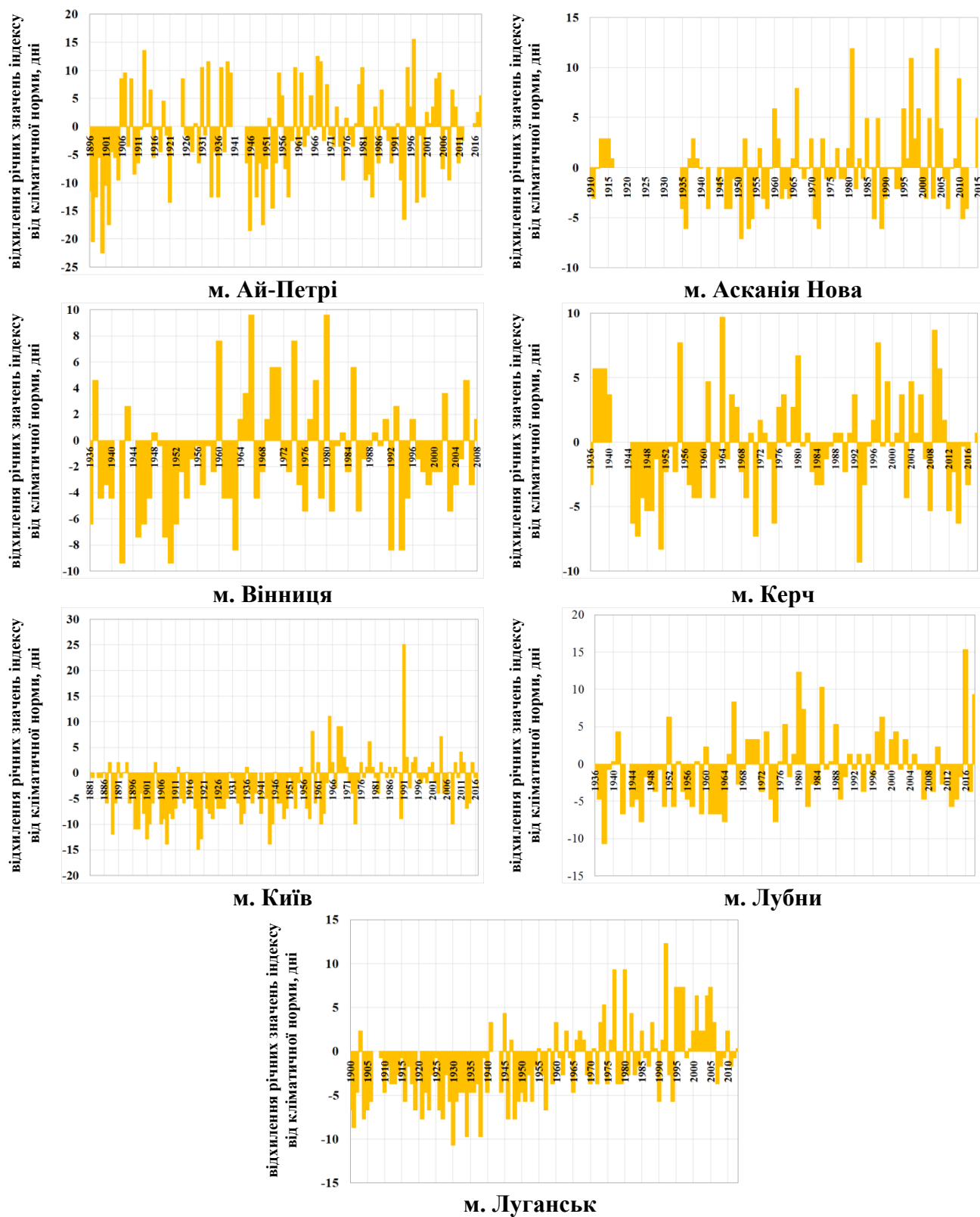
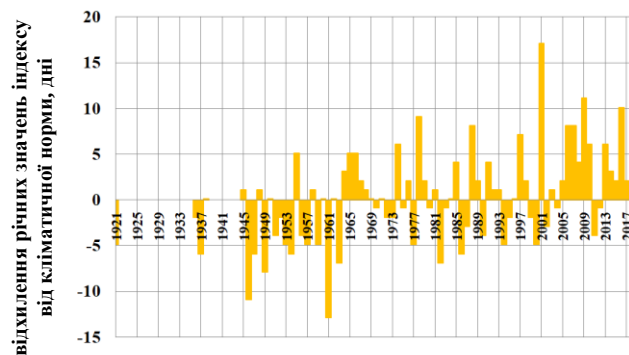
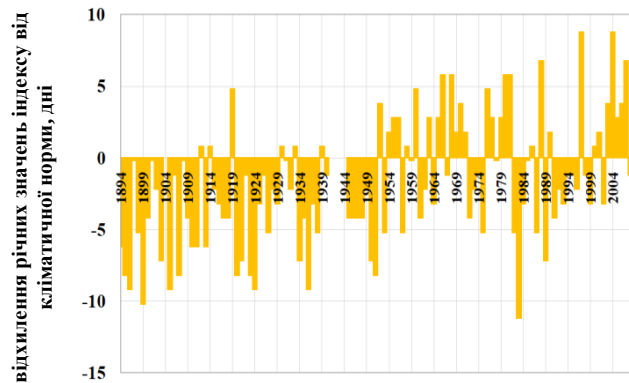


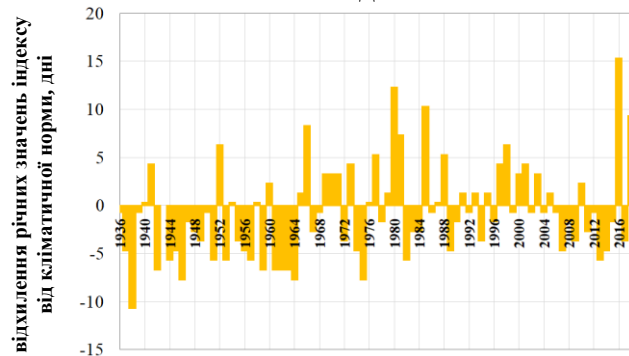
Рисунок Г.7 – Часовий хід відхилень річної кількості днів з опадами ≥ 10 мм від кліматичної норми.



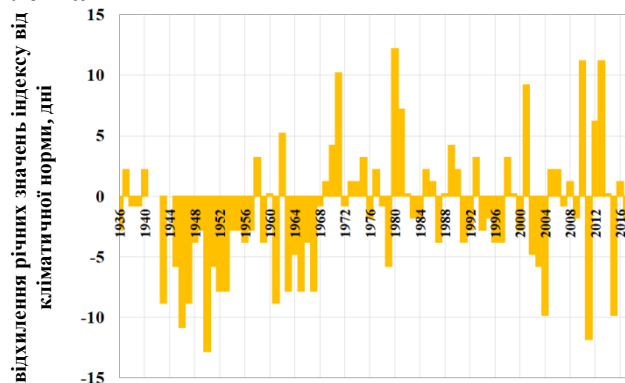
м. Львів



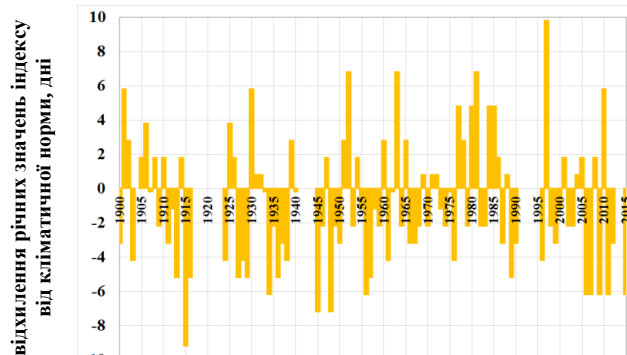
м. Одеса



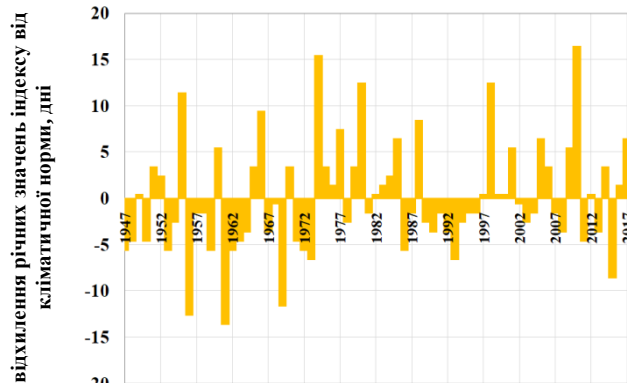
м. Умань



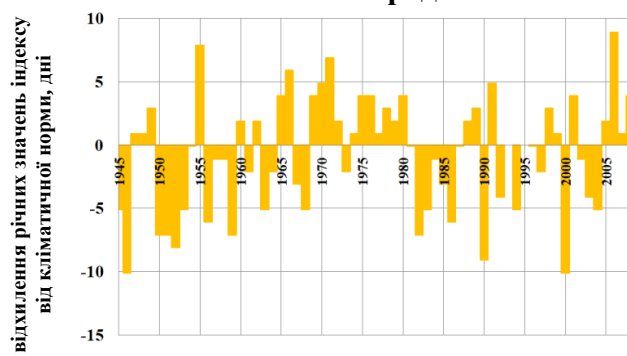
м. Шепетівка



м. Миколаїв



м. Ужгород



м. Чернівці

Продовження рис. Г.7

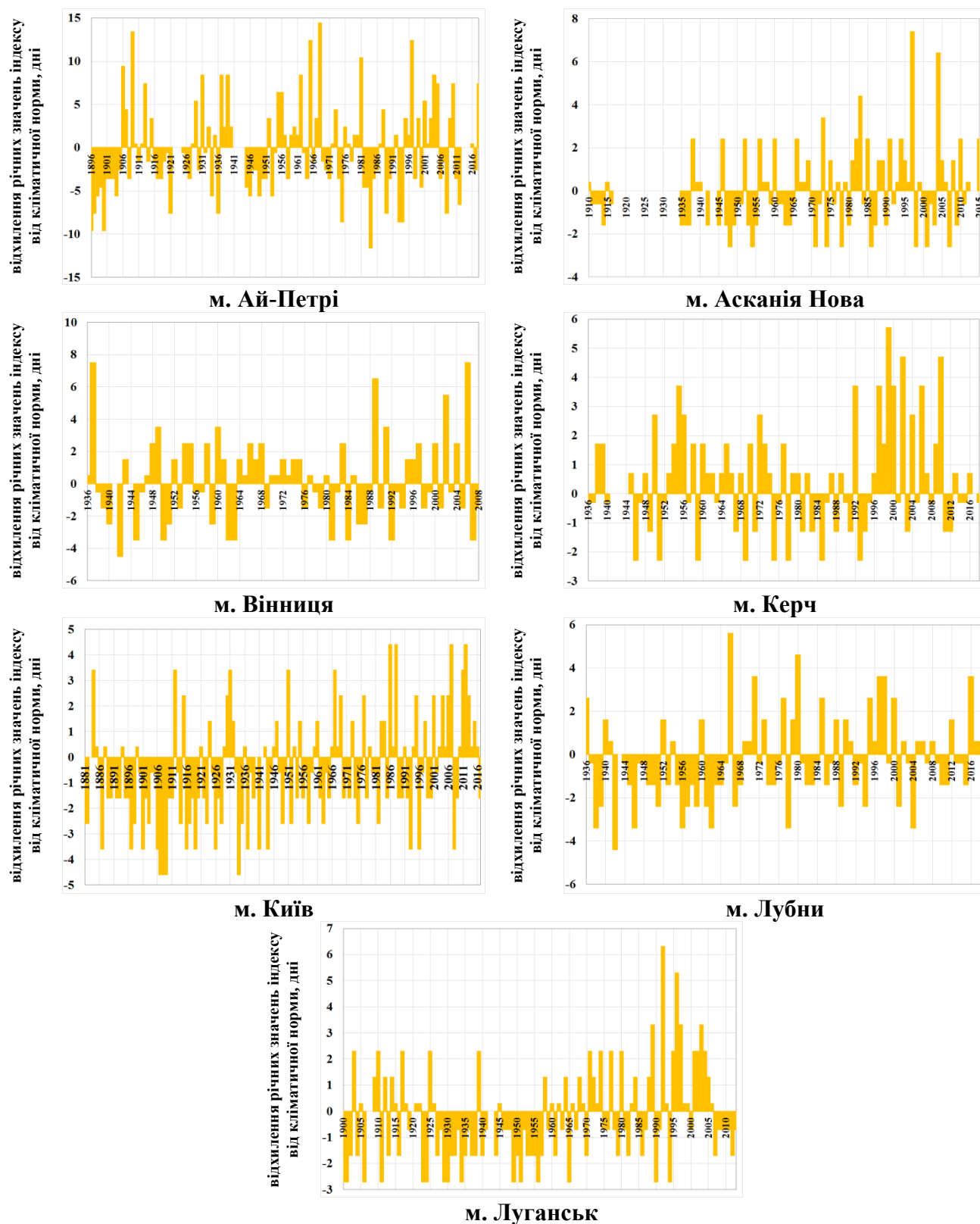
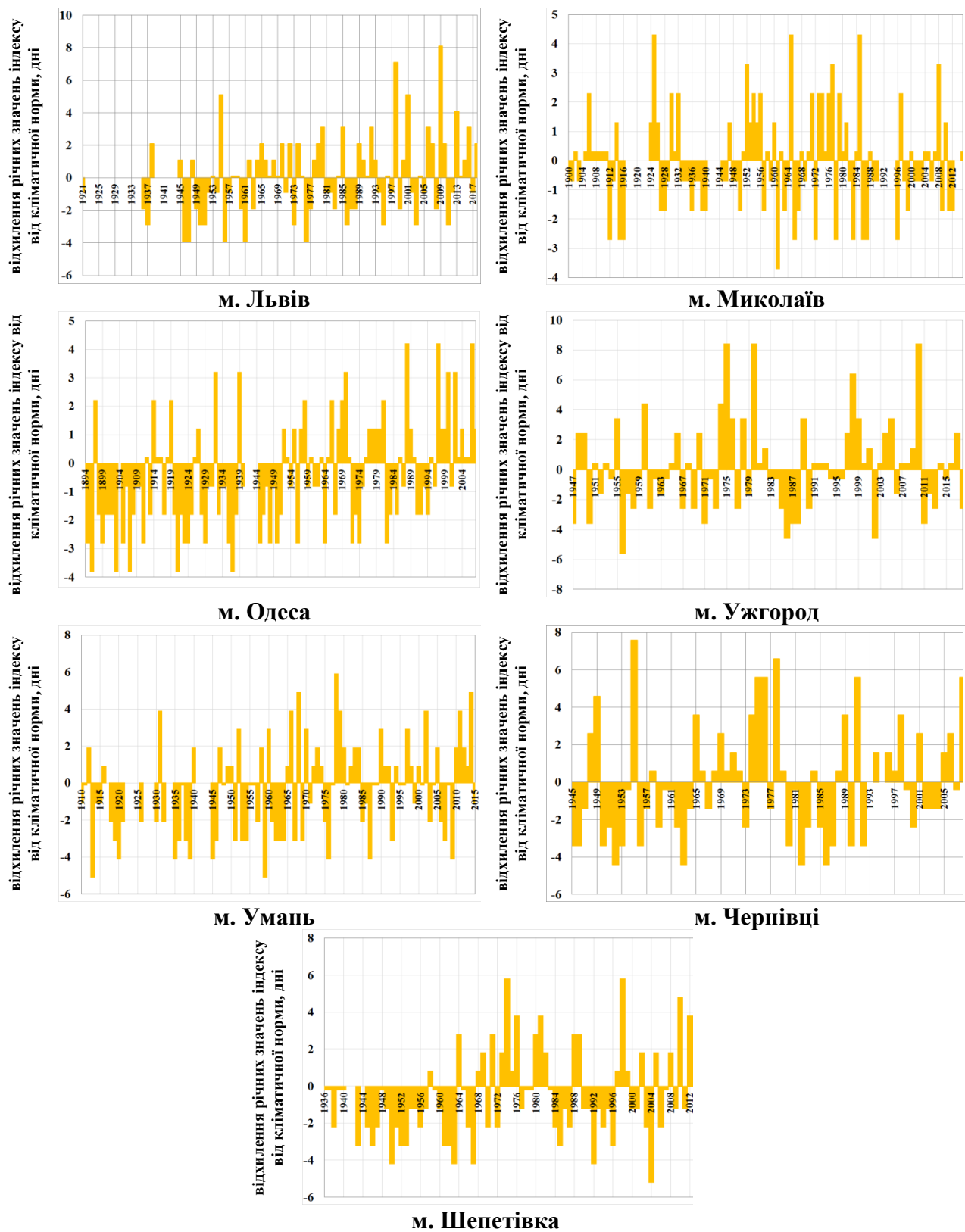


Рисунок Г.8 – Часовий хід відхилень річної кількості днів з опадами ≥ 20 мм від кліматичної норми.



Продовження рис. Г.8

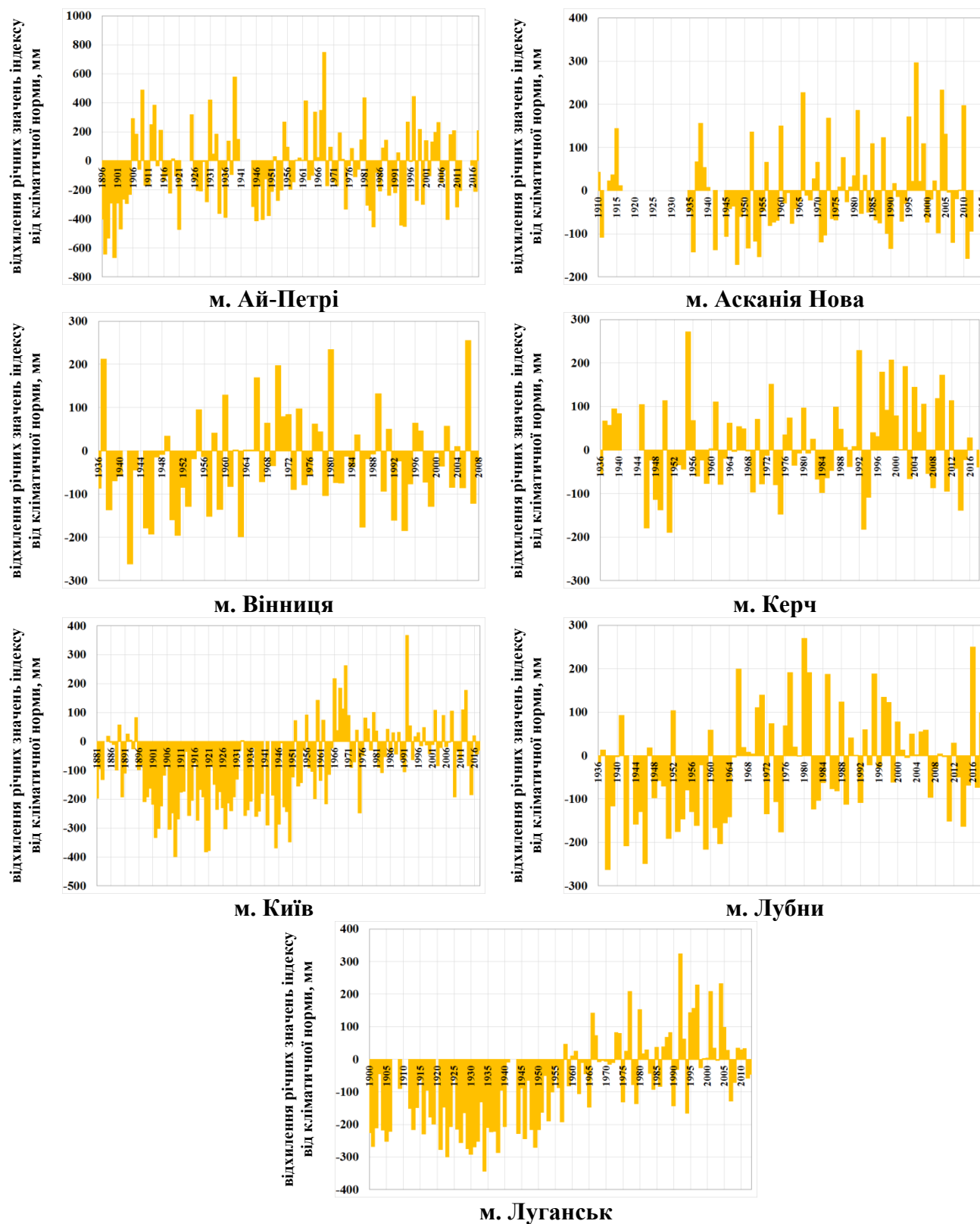
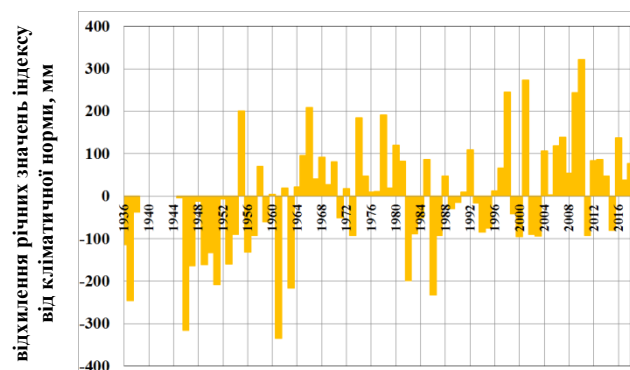
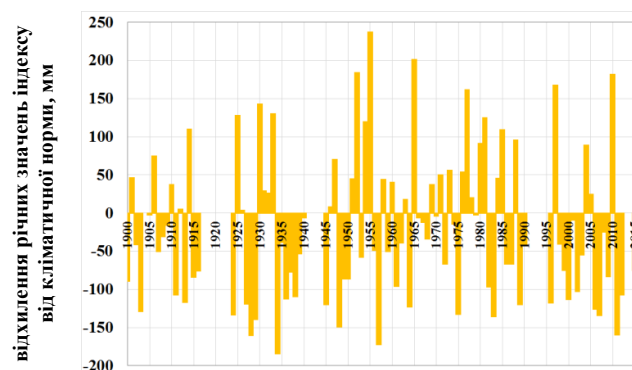


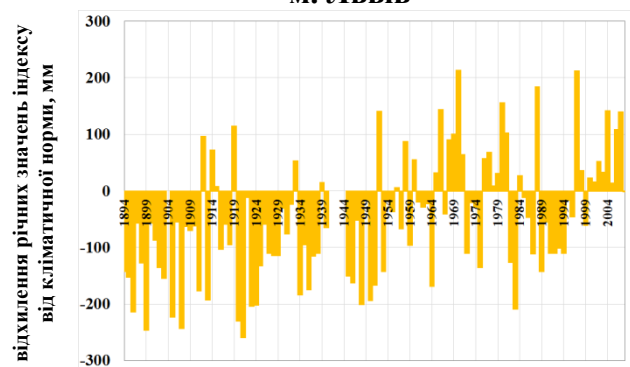
Рисунок Г.9 – Часовий хід відхилень загальної кількості опадів у дощові дні (PRCPTOT) від кліматичної норми.



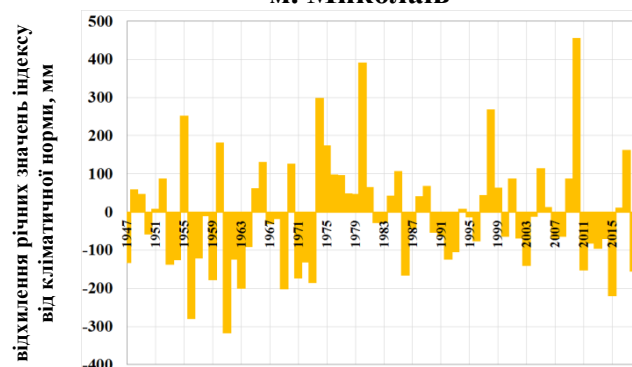
м. Львів



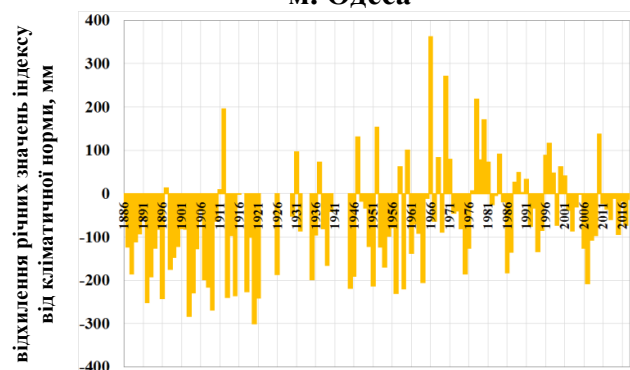
м. Миколаїв



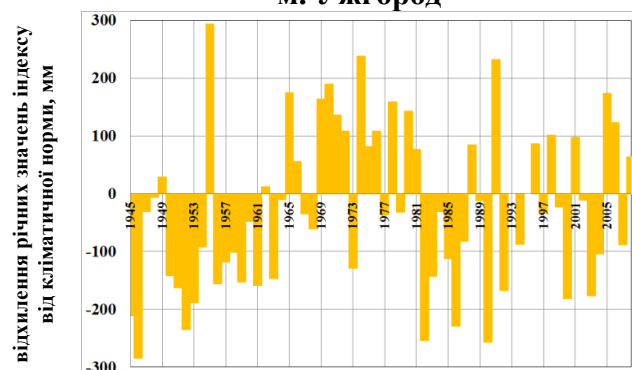
м. Одеса



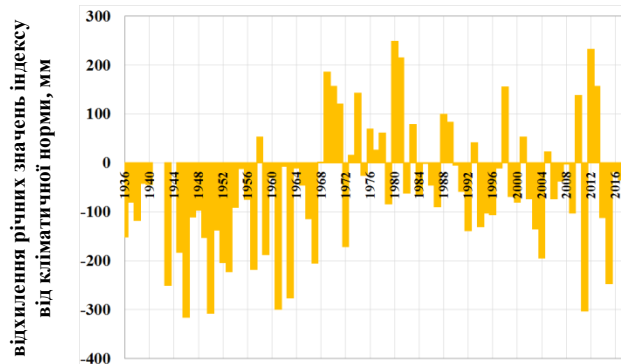
м. Ужгород



м. Умань



м. Чернівці



м. Шепетівка

Продовження рис. Г.9

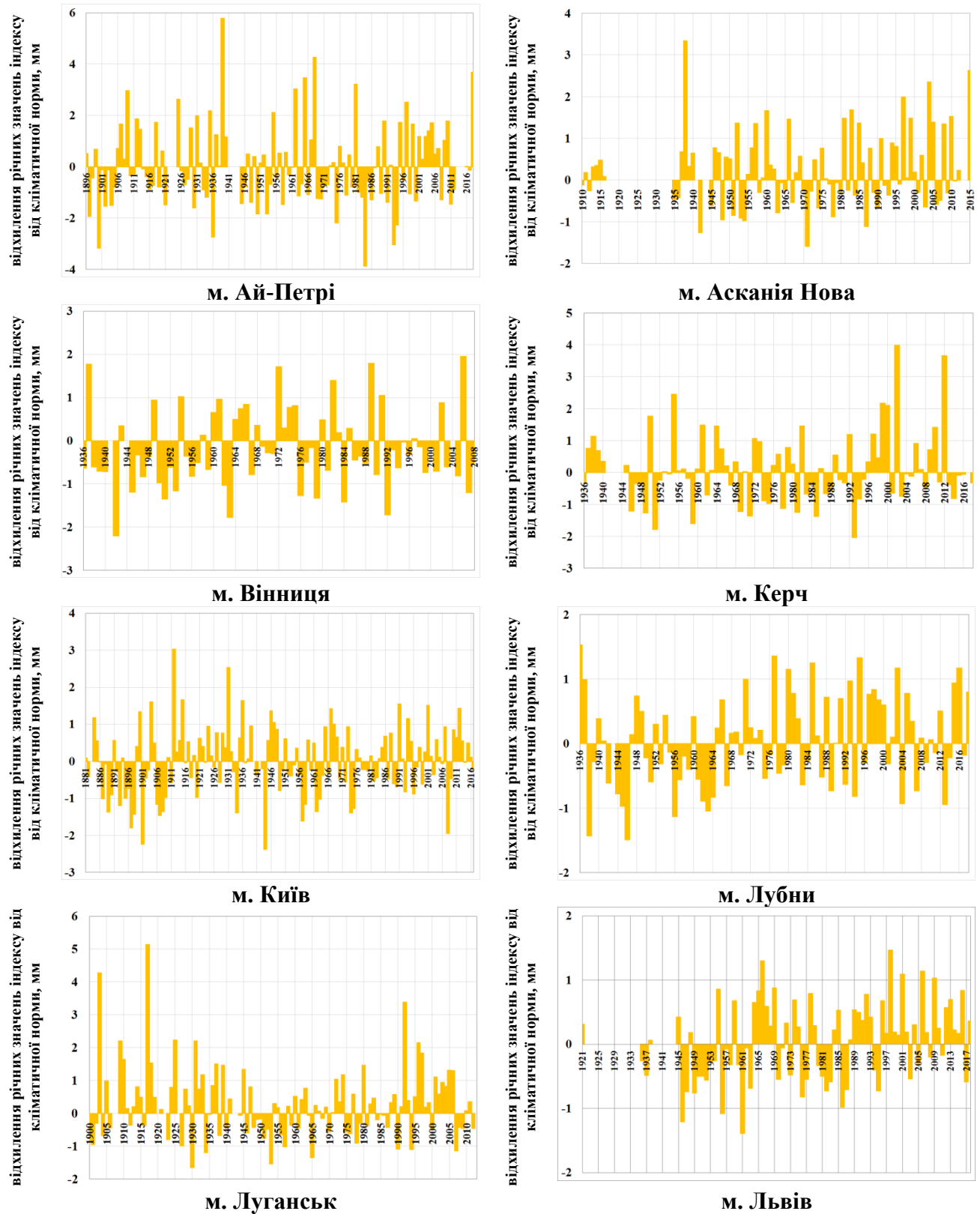
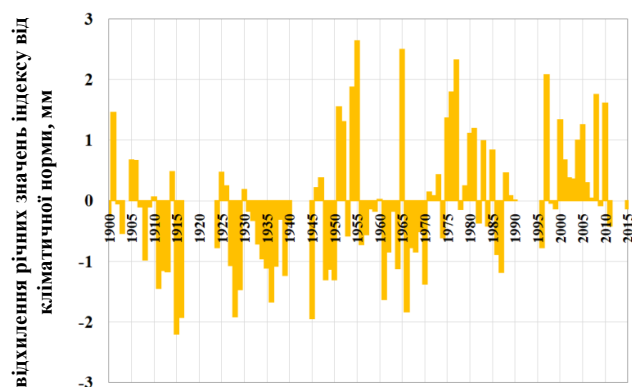
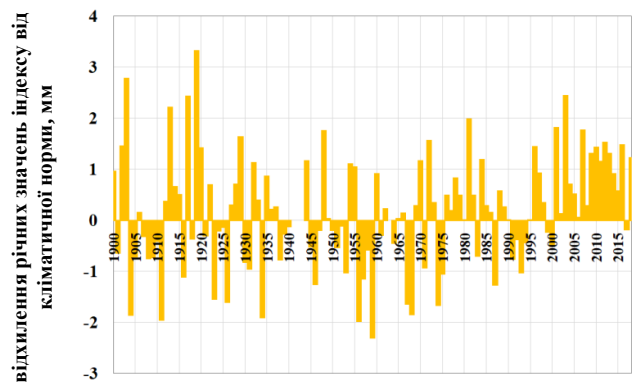


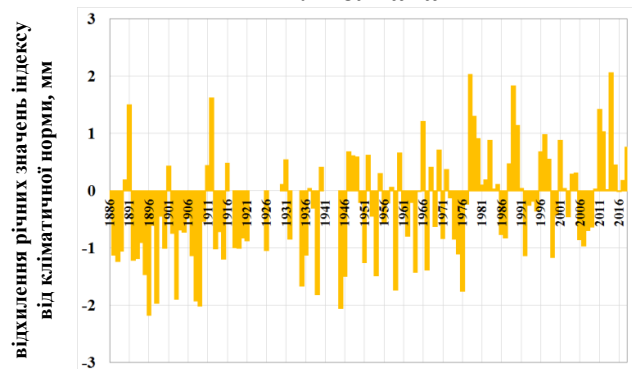
Рисунок Г.10 – Часовий хід відхилень простого індексу добової інтенсивності (SDII) від кліматичної норми.



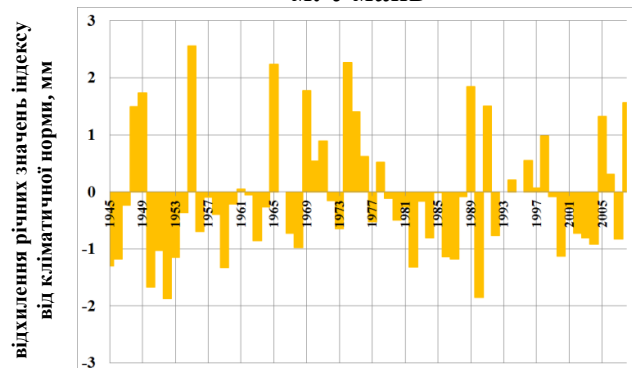
м. Миколаїв



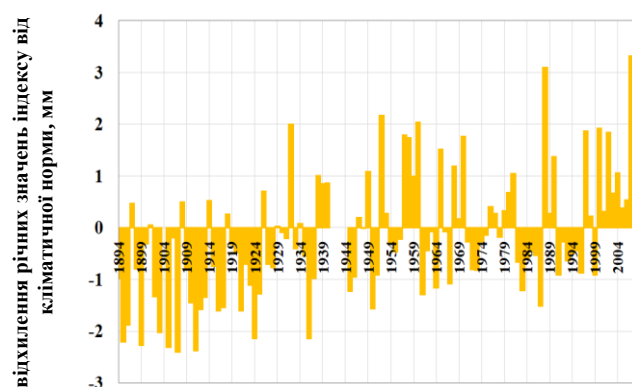
м. Полтава



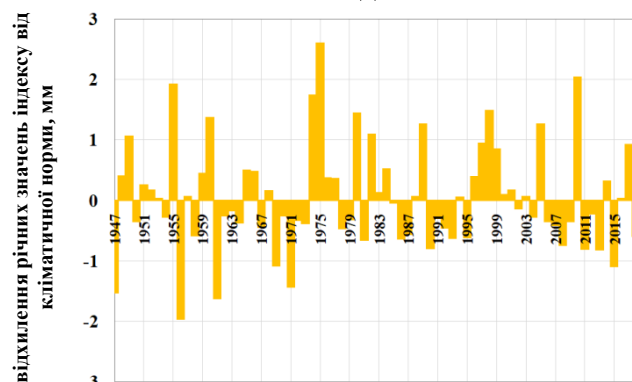
м. Умань



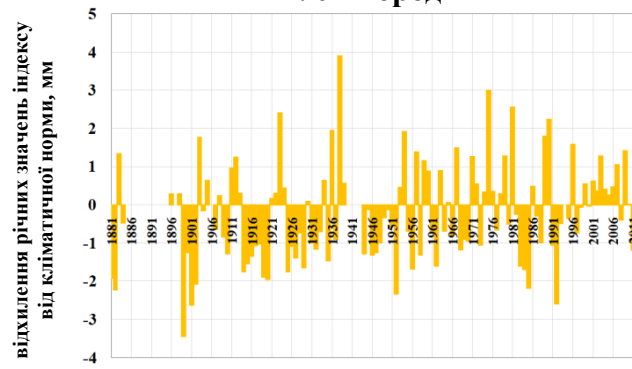
м. Чернівці



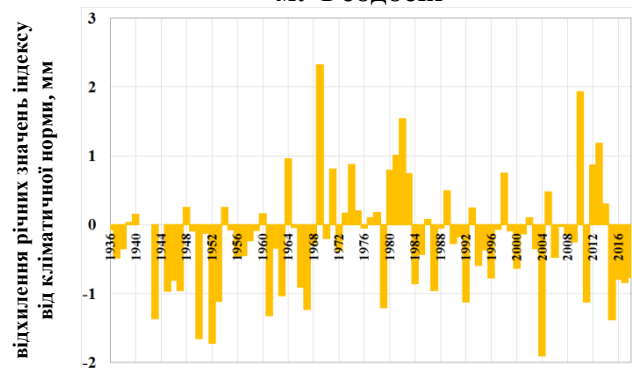
м. Одеса



м. Ужгород



м. Феодосія



м. Шепетівка

Продовження рис. Г.10