

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та  
аспірантської підготовки  
Кафедра метеорології та кліматології

**Магістерська кваліфікаційна робота**

на тему „Тенденції майбутніх змін у режимі опадів в Україні в теплий період  
2021-2050 рр.”

Виконав студент 2 курсу групи МНЗ-2М  
спеціальності 103 Науки про Землю  
Інтролігатор Олена Андріївна

Керівник д.геогр.н., професор  
Семенова Інна Георгіївна

Рецензент к.т.н., доцент  
Перелигін Борис Вікторович

Одеса - 2018

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет \_\_\_\_\_ магістерської та аспірантської підготовки \_\_\_\_\_  
Кафедра \_\_\_\_\_ метеорології та кліматології \_\_\_\_\_  
Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ магістр \_\_\_\_\_  
Спеціальність \_\_\_\_\_ 103 \_\_\_\_\_ Науки про Землю \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)  
Освітня програма \_\_\_\_\_ Метеорологія \_\_\_\_\_

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ Івус Г.П  
« 29 » жовтня 2018 року

**ЗАВДАННЯ**

**НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Інтролігатор Олені Андріївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Тенденції майбутніх змін у режимі опадів в Україні в теплий період 2021-2050 рр.

керівник роботи Семенова Інна Георгіївна, д.геогр.н., проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 05.10.2018 р. № 271"С"

2. Строк подання студентом роботи 10.12.2018 р.

3. Вихідні дані до роботи: дані кліматичного моделювання CORDEX для сценарію RTK8.5 - поля прогнозованої інтенсивності опадів, ряди прогнозованої інтенсивності опадів за період 2021-2050 рр. по станціях; ряди індексів екстремальності опадів, осереднені по районах.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Огляд наукової літератури за напрямком дослідження. 2) Розрахунок прогнозованих сезонних сум опадів за літній сезон (червень-серпень) по території України за даними кліматичного моделювання. 3) Аналіз просторово-часових змін у полях опадів літнього сезону по території України протягом 2021-2050 рр. 4) Аналіз часового ходу прогнозованих сезонних сум опадів по станціях України та оцінка трендів. 5) Аналіз часового ходу прогнозованих індексів екстремальності по опадах та виявлення трендів для чотирьох регіонів України.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) - графіки часового ходу прогнозованих сум опадів літнього сезону; графіки часового ходу прогнозованих індексів екстремальності по опадах; поля прогнозованої інтенсивності літніх опадів.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 29.10. 2018 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			У %	За 4-х бальною шкалою
1	Огляд наукової літератури за темою дослідження. Формування теоретичної частини роботи.	29.10-04.11.2018	100	Відмінно
2	Відбір та аналіз вихідних даних, розрахунки прогнозованих сезонних сум опадів.	05.11-15.11.2018	100	Відмінно
3	Побудова і аналіз графіків часового ходу прогнозованих сезонних сум опадів.	15.11-19.11.2018	100	Відмінно
4	<b>Рубіжна атестація</b>	19.11-24.11.2018		
5	Аналіз трендів сезонних та місячних сум прогнозованих опадів по станціях.	20.11-25.11.2018	100	Відмінно
6	Побудова і аналіз графіків часового ходу прогнозованих індексів екстремальності по опадах.	26.11-05.12.2018	100	Відмінно
8	Складання висновків. Оформлення тексту магістерської роботи.	06.12-09.12.2018	100	Відмінно
9	Підготовка доповіді до захисту матеріалів магістерської роботи.	08.12-09.12.2018	100	Відмінно
10	Здача магістерської роботи на кафедрі	10.12.2018		
11	Перевірка на плагіат	13.12-14.12.2018		
12	Рецензування магістерської роботи	15.12.2018		
<b>Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)</b>			<b>100</b>	<b>Відмінно</b>

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Інтролігатор О.А.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Семенова І.Г.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

**Тема магістерської кваліфікаційної роботи** «Тенденції майбутніх змін у режимі опадів в Україні в теплий період 2021-2050 рр.».

**Автор:** Інтролігатор Олена Андріївна.

**Актуальність** дослідження полягає у встановленні майбутнього просторово-часового розподілу опадів по території України для отримання вірогідних оцінок можливих регіональних кліматичних змін та їх подальшого врахування в довгостроковому плануванні діяльності різних галузей економіки.

**Мета роботи:** оцінка тенденцій майбутніх змін у режимі опадів в Україні в літній сезон року з використанням даних кліматичного моделювання в короткостроковій перспективі на період 2020-2050 рр. в рамках жорсткого сценарію РТК8.5.

Відповідно до поставленої мети розв'язано наступні **задачі:**

- проведено аналіз просторового розподілу опадів по території України;
- побудовані та проаналізовані тренди майбутніх змін місячних сум опадів;
- побудовані та проаналізовані тренди індексів екстремальності по опадах по регіонах України.

**Об'єкт дослідження:** режим опадів.

**Предмет дослідження:** просторово-часова мінливість опадів за 2020-2050 рр.

**Методи дослідження:** статистичний аналіз, просторово-часовий графічний аналіз даних.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Завдяки комбінації різних параметрів вперше отримана комплексна характеристика режиму опадів, яка дозволяє наочно оцінити можливі межі його коливань в Україні за умов найнесприятливішого кліматичного сценарію.

**Практичне значення отриманих результатів.** Отримані оцінки можливих регіональних змін у режимі опадів можуть використовуватися при довгостроковому плануванні діяльності різних галузей економіки.

Магістерська кваліфікаційна робота в обсязі 79 сторінок складається з 4 розділів, висновків, переліку посилань з 20 джерел, 2 додатків, містить 24 рисунків та 1 таблицю в основному тексті.

**Ключові слова:** кліматичний сценарій, режим опадів, кліматичний індекс екстремальності.

## SUMMARY

**Theme** of master's qualification works is "Trends for Future Changes in the Precipitation Regime in Ukraine for the Warm Period of 2021-2050".

**Author:** Introligator Olena Andriivna.

The **relevance** of the study is to determine the future spatiotemporal distribution of precipitation in Ukraine for obtaining probable estimates of possible regional climate changes and their subsequent consideration in the long-term planning of the various areas of the economy.

**Objective:** estimation of future trends in the Precipitation Regime in Ukraine in the Warm Period by using the data of climate modeling in the short term perspective of 2020-2050 within the severe scenario RCP8.5.

According to the stated objective the **following tasks** have been accomplished:

- the analysis of the spatial distribution of precipitation in the territory of Ukraine was performed;
- the trends of future changes in monthly precipitation sum were constructed and analyzed;
- the trends of climate extreme indices for precipitation in regions of Ukraine were constructed and analyzed.

**Object of study:** The Precipitation Regime.

**Subject of research:** Spatiotemporal variability of the precipitation for period of 2020-2050.

**Research methods:** statistical analysis, spatiotemporal graphical analysis of the data.

**The scientific novelty of the obtained results.** For the first time a comprehensive description of the Precipitation Regime has been obtained due to a combination of different parameters, which allows to simply estimating its possible fluctuations in Ukraine under the most adverse climate scenario.

**Practical significance of the obtained results.** These estimates of possible regional changes of the Precipitation Regime can be used for long-term planning of activities for different fields of economic.

Master's qualification work in volume 79 pages consists of 4 sections, conclusions, References from 20 sources, 2 annexs, contains 24 figures and 1 tables in the main text.

**Keywords:** climate scenario, precipitation regime, climate extreme index.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ПРИНЦИПИ МОДЕЛЮВАННЯ КЛІМАТУ І СЦЕНАРІЇ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН .....	9
1.1. Сценарії, що базуються на репрезентативних траєкторіях концентрацій .....	9
1.2. Сценарії , що базуються на оцінці антропогенного впливу.....	15
1.3    Проекції змін опадів в Україні за сценаріями СДСВ.....	22
2 КЛІМАТИЧНИЙ РОЗПОДІЛ ОПАДІВ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ТА ЇХ СУЧАСНІ ЗМІНИ .....	26
3 ОЦІНКА МАЙБУТНЬОГО РЕЖИМУ ОПАДІВ ПО СТАНЦІЯХ УКРАЇНИ В РАМКАХ СЦЕНАРІЮ РТК8.5 .....	33
3.1 Просторовий розподіл прогнозованих опадів .....	33
3.2 Тренди майбутніх змін місячних сум опадів .....	40
4 ОЦІНКА ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ МАЙБУТНЬОГО РЕЖИМУ ОПАДІВ В РАМКАХ СЦЕНАРІЮ РТК8.5 .....	54
4.1. Кліматичні індекси для оцінки екстремальності клімату .....	54
4.2. Аналіз трендів індексів екстремальності по опадах в регіонах України .....	55
ВИСНОВКИ .....	59
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	60
ДОДАТОК А .....	63
ДОДАТОК Б.....	65

## ВСТУП

Клімат є однією зі складових природних ресурсів, від якої залежить рівень соціально-економічного розвитку, стан навколишнього середовища, життєдіяльність людини [10].

Проблема зміни клімату та її наслідки є однією з головних проблем розвитку світового співтовариства, що стосується не тільки наукових, але й економічних та соціальних питань його розвитку. Одним із головних проявів регіональних кліматичних змін у глобальних процесах потепління є істотне підвищення температури повітря, зміна термічного режиму та структури опадів, збільшення кількості небезпечних метеорологічних явищ та екстремальних погодних ситуацій, а також збитків, які вони завдають різним галузям економіки та населенню країни [14].

Останні десятиліття характеризувалися більш високою температурою у поверхні Землі в порівнянні з будь-яким попереднім десятиліттям, починаючи з 1850 р., що, в свою чергу, відбилося у різноманітній зміні кількості опадів в різних регіонах. Також зросла й повторюваність екстремальних гідрометеорологічних явищ, пов'язаних з температурно-вологісним режимом, а саме, сильних опадів, хвиль тепла, посух та повеней, зокрема й в Україні.

Наразі існує велика кількість даних кліматичного моделювання як за глобальними, так й регіональними моделями в рамках нових кліматичних сценаріїв РТК (Репрезентативні траєкторії концентрацій). Проекції опадів в різних сценаріях є дуже різноманітними, що вимагає детального аналізу даних моделювання для певних регіонів, в тому числі й України, для отримання вірогідних оцінок можливих регіональних кліматичних змін та їх подальшого врахування в довгостроковому плануванні діяльності різних галузей економіки. Для території України оцінки майбутніх змін клімату отримані переважно в рамках сюжетних ліній СДСВ (Спеціальна доповідь про сценарії викидів), які використовувалися до 2014 р., і за окремими кліматичними моделями, а не за їх ансамблями. Тому використання нового набору сценаріїв є актуальним для отримання нових відомостей про очікувані зміни у регіональному режимі опадів.

Мета магістерської роботи – оцінка тенденцій майбутніх кліматичних змін у режимі опадів в Україні в літній сезон року з використанням даних кліматичного моделювання в короткостроковій перспективі на період 2020-2050 рр. в рамках жорсткого сценарію РТК8.5.

Методика дослідження включає в себе аналіз часових рядів характеристик опадів та кліматичних індексів, та статистичну оцінку їх мінливості для досліджуваного періоду.

Магістерська робота складається з 4 розділів, висновків, переліку посилань та двох додатків. В першому та другому розділах міститься огляд літературних джерел із загальних питань принципів моделювання клімату та сценаріїв кліматичних змін, а кліматичного розподілу опадів на території України та їх сучасні зміни. В третьому розділі представлені результати аналізу просторово-часових прогнозованих опадів і їх статистичні характеристики за досліджуваний період. В четвертому розділі представлено оцінку екстремальних показників майбутнього режиму опадів в рамках сценарію РТК8.5. Перелік посилань містить 20 літературних джерел.

Магістерська робота виконана на кафедрі метеорології та кліматології під науковим керівництвом д.геогр.н., професора Семенової І.Г.



# 1 ПРИНЦИПИ МОДЕЛЮВАННЯ КЛІМАТУ І СЦЕНАРІЇ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН

## 1.1 Сценарії, що базуються на репрезентативних траєкторіях концентрацій

Дослідження клімату та їх прогноз є однією з найактуальніших проблем науки. Зміна клімату, зумовлена зміною циркуляції атмосфери, по різному проявляється у регіонах планети. Дослідженням циркуляції атмосфери та синоптичних процесів, що зумовлюють виникнення небезпечних і стихійних опадів в Україні, займалось не одне покоління дослідників. Опису синоптичних умов утворення опадів присвячено багато робіт, в яких відмічається, що інтенсивність і тривалість явища залежить від типу синоптичної ситуації [1].

При розробці перспективних оцінок зміни клімату в кліматичних моделях використовується інформація, описана в сценаріях викидів парникових газів і забруднюючих повітря речовин, а також в сценаріях видів землекористування. Сценарії формуються на основі цілого ряду підходів - від простих ідеалізованих експериментів до моделей комплексної оцінки (МКО). Ключовими факторами, що визначають зміни антропогенних викидів парникових газів, є економічний розвиток і зростання чисельності населення, зміни укладу життя і поведінки, відповідні зміни у використанні енергії та землекористуванні, технології та кліматичної політикою, які представляють собою фундаментально невизначені фактори [9].

Об'єктивну оцінку спостережень за змінами, які відбуваються у кліматичній системі, регулярно надає для урядових та громадських організацій Міжурядова група експертів зі змін клімату (МГЕЗК) при ООН та Всесвітня Метеорологічна Організація (ВМО) [2].

Стандартний набір сценаріїв, використовуваних в П'ятій оціночній доповіді Міжурядової групи експертів, іменується репрезентативними траєкторіями концентрацій (РТК) [9]. Змодельовані майбутні дії, засновані, як правило, на перспективних оцінках по кліматичних моделях з використанням РТК і, в деяких випадках, сценаріїв з більш старого Спеціальної доповіді за сценаріями викидів (СДСВ).

Ризик пов'язаних з кліматом впливів є результатом взаємодії пов'язаних з кліматом небезпек (включаючи небезпечні явища і тренди) з уразливістю і схильністю антропогенних і природних систем. Альтернативні шляхи розвитку впливають на ризик за допомогою зміни ймовірності кліматичних явищ і трендів, і цей вплив виражається в вигляді їх впливів на парникові гази, забруднюючі речовини і землекористування, а також зміни уразливості і схильності.

Відомо, що сукупні викиди CO<sub>2</sub> в значній мірі визначають підвищення середньої глобальної приземної температури. Перспективні оцінки викидів парникових газів варіюються в широких межах в залежності як від соціально-економічного розвитку, так і від кліматичної політики.

Безперервний викид парникових газів викликатиме подальше потепління і довгострокові зміни в усіх компонентах кліматичної системи, підвищуючи ймовірність важких, всеосяжних і необоротних впливів на людей і екосистеми. Для обмеження зміни клімату буде потрібно істотне і стійке скорочення викидів парникових газів, які в поєднанні з адаптацією можуть обмежити ризики зміни клімату [9].

Антропогенні викиди парникових газів в основному залежать від чисельності населення, економічної діяльності, способу життя, використання енергії, моделей землекористування, технології та кліматичної політики. Репрезентативні траєкторії концентрацій (РТК), які використовуються для складання перспективних проєкцій на основі цих чинників, описують чотири різні траєкторії викидів парникових газів і атмосферних концентрацій, викидів забруднюючих атмосферу речовин і землекористування в ХХІ столітті [9].

Найекстремальніша траєкторія РТК8.5 представляє сценарій безперервного зростання радіаційного форсингу протягом ХХІ століття зі значенням майже 8,5 Вт·м<sup>-2</sup> у 2100 р. траєкторії РТК6.0 і РТК4.5 прогнозують стале зростання радіаційного форсингу протягом ХХІ століття зі значеннями у 2100 р. близько 6,0 і 4,5 Вт·м<sup>-2</sup> відповідно і подальшу стабілізацію цих значень після 2100 р. і остання траєкторія РТК3-RD (пік і зниження) передбачає, що радіаційний форсинг досягне максимуму близько 3,0 Вт·м<sup>-2</sup> перед 2100 р., а потім відбудеться його зниження. Таким чином, можна побачити, що конструктивно характерні траєкторії

вибрані так, щоб діапазон змін викидів покривав широкий спектр можливих сценаріїв [12].

Сценарії без додаткової діяльності щодо обмеження викидів («базові сценарії») ведуть до траєкторій в діапазоні між РТК6.0 і РТК.5 (рис. 1.1, а). РТК2.6 представляє сценарій, метою якого є утримання глобального потепління ймовірно на рівні, що не перевищує індустріальні температури більш ніж на 2°C.

Численні свідчення вказують на стійкий, послідовний, майже лінійний взаємозв'язок між сукупними викидами CO<sub>2</sub> і прогнозованим зміною глобальної температури до 2100 року як в РТК, так і в розширеному наборі сценаріїв щодо пом'якшення впливів (рис. 1.1, б). Кожен конкретний рівень потепління пов'язаний з діапазоном сукупних викидів CO<sub>2</sub>, і тому, наприклад, більш високі рівні викидів в більш ранні десятиліття мають на увазі більш низькі викиди в наступний період [9].

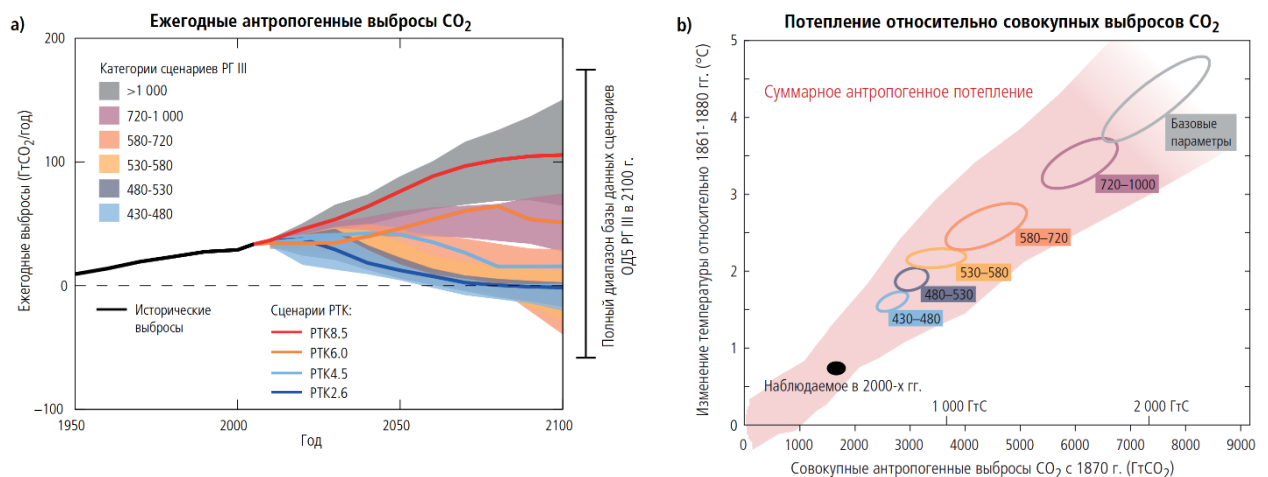


Рис. 1.1 – Оцінки в рамках РТК: а) викиди тільки діоксиду вуглецю в репрезентативних траєкторіях концентрацій (РТК) і відповідні категорії сценаріїв (зафарбовані місця показують діапазон від 5 до 95%); б) збільшення середньої глобальної приземної температури в період досягнення глобальними викидами CO<sub>2</sub> заданої чистої сукупної загальної величини, нанесеної на графік у вигляді функції цієї загальної величини на основі різних наборів даних [9]

Мультимодельні результати показують, що обмеження загального потепління, викликаного діяльністю людини до менш ніж 2°C щодо періоду 1861-1880 рр. з ймовірністю >66% потребувало б сукупних викидів CO<sub>2</sub> з

усіх антропогенних джерел, починаючи з 1870 р. і залишалося приблизно нижче 2900 Гт CO<sub>2</sub> (в діапазоні 2550-3150 Гт CO<sub>2</sub> в залежності від впливів, не пов'язаних з CO<sub>2</sub>). Приблизно 1900 Гт CO<sub>2</sub> вже було викинуто до 2011 р.[9]

Кожне з трьох останніх десятиліть характеризувалося більш високою температурою у поверхні Землі в порівнянні з будь-яким попереднім десятиліттям, починаючи з 1850 р. Період 1983-2012 рр. був, мабуть, найтеплішим 30-річним періодом за останні 800 років в Північній півкулі, де така оцінка можлива (висока ступінь достовірності), і, ймовірно, найтеплішим 30-річним періодом за останні 1 400 років (середній ступінь достовірності).

Глобально усереднені сукупні дані про температуру поверхні суші і океану, розраховані на основі лінійного тренду, свідчать про потепління на 0,85 [0,65-1,06] °C 20 за період з 1880 по 2012 рр., Для якого є численні незалежні масиви даних. Загальне збільшення середнього значення для періоду 2003-2012 рр. в порівнянні з періодом 1850-1900 рр. становить 0,78 [0,72-0,85] ° C, як впливає з одного, найдовшого з наявних рядів даних. Протягом найтривалішого періоду, за яким розрахунок регіональних трендів є досить адекватним (1901-2012 рр.), Потепління в приземному шарі мало місце майже у всьому світі (рис. 1.2).

У доповненні до стійкого потепління, що триває протягом багатьох десятиліть, середня глобальна приземна температура проявляє істотну декадну і міжрічну мінливість (рис. 1.2). Внаслідок природної мінливості клімату тренди, розраховані на основі коротких рядів спостережень, в значній мірі залежать від дат початку і закінчення періоду і в цілому не відображають довгострокові кліматичні тенденції.

Одним із прикладів є той факт, що темпи потепління за останній 15-річний період (1998-2012 рр .; 0,05 [від -0,05 до 0,15]°C за десятиліття), який починається з потужного прояву Ель-Ніньо, виявилися нижчими за темпи, розрахованих з 1951 р (1951-2012 рр.; 0,12 [0,08-0,14]°C за десятиліття) [9].

На основі численних незалежних аналітичних досліджень практично безумовно, що в глобальному масштабі з середини ХХ століття тропосфера потеплішала, а нижня стратосфера охолола. Ступінь достовірності зміни кількості опадів, усередненого по всіх районах суші в глобальному масштабі з 1901 р, є низькою за період до 1951 року та середньої - за наступний період. В середньому в середніх широтах в Північній півкулі кількість опадів,

ймовірно, збільшилася з 1901 р (середня ступінь достовірності до 1951 року та високий ступінь - після нього). Для інших широт осереднення по площі довгострокові позитивні і негативні тренди характеризуються низьким ступенем достовірності. (рис. 1.2).

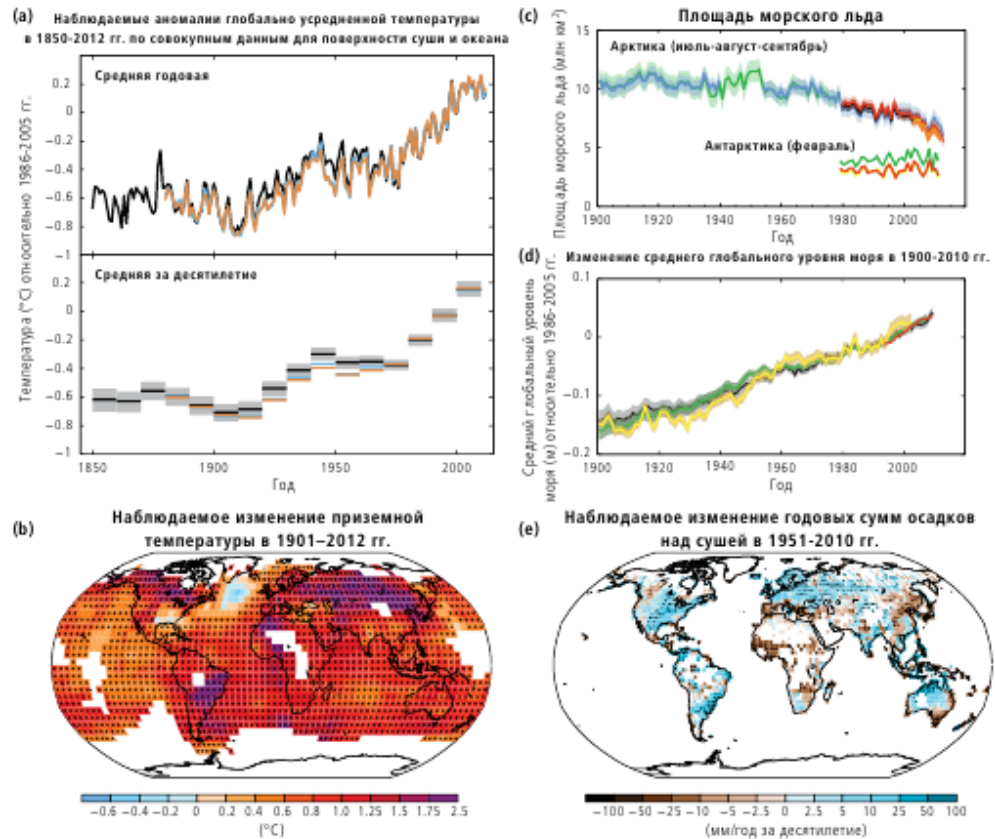


Рис. 1.2 – Чисельні показники зміни глобальної кліматичної системи, що спостерігаються [9]

У багатьох регіонах змінюється кількість опадів або танучий сніг і лід викликають зміни в гідрологічних системах, зачіпаючи водні ресурси в плані їх кількості та якості (середня ступінь достовірності). Льодовики продовжують скорочуватися практично у всьому світі внаслідок зміни клімату (висока ступінь достовірності), що негативно позначається на стоці і водних ресурсах в нижніх течіях водотоків (середня ступінь достовірності). Зміна клімату викликає підвищення температури і танення багаторічної мерзлоти в регіонах високих широт і в піднесених регіонах (висока ступінь достовірності).

Ймовірно, що є більше число регіонів суші, де число випадків випадання сильних опадів збільшилася, ніж регіонів, де кількість таких

випадків зменшилася. Повторюваність і інтенсивність сильних опадів у Північній Америці і Європі, ймовірно, збільшилися. На інших континентах достовірність трендів є, переважно, середньої. Досить імовірно, що з 1970-х років питома вологість повітря у земної поверхні і в тропосфері підвищилася в глобальному масштабі. У регіонах суші, де забезпеченість спостереженнями температури океану і площі сніжного покриву і морського льоду достатня для оцінки, існує середній ступінь достовірності того, що антропогенний вплив вклав внесок в глобальну інтенсифікацію сильних опадів у другій половині ХХ століття [9].

Протягом всієї історії люди та суспільство пристосовувалися до клімату, мінливості клімату і екстремальним явищам і справлялися з ними, досягаючи при цьому різних ступенів успіху. У сучасному мінливому кліматі, накопичення досвіду в області заходів адаптації та пом'якшення впливів може створити можливості для навчання і вдосконалення. Адаптація стає елементом, що входять до деяких процеси планування при більш обмеженому здійсненні заходів реагування (висока ступінь достовірності). Державні органи на різних рівнях починають розробляти плани і програми в області адаптації, а також включати міркування з приводу зміни клімату в більш широкому плані розвитку.

Зміни кількості опадів при світовому потепління не будуть однорідними. Згідно зі сценарієм РТК8.5 до кінця цього століття в високих широтах і екваторіальній частині Тихого океану матиме місце, ймовірно, збільшення середньорічної кількості опадів. За сценарієм РТК8.5 в багатьох посушливих регіонах в середніх широтах і в субтропіках середня кількість опадів, ймовірно, зменшиться, в той час як у багатьох вологих регіонах в середніх широтах до кінця цього століття воно, ймовірно, зросте (рис. 1.3).

До кінця цього століття в міру підвищення середньої глобальної приземної температури інтенсивність і повторюваність явищ екстремальних опадів над більшою частиною суші в середніх широтах і над вологими тропічними регіонами, досить імовірно, збільшиться.

В цілому, згідно з усіма сценаріями РТК, ймовірно, що область, охоплена мусонними системами, розшириться, а мусонні опади, ймовірно, посиляться, і пов'язана з Ель-Ніньо / Південне коливання мінливість опадів на регіональних масштабах, ймовірно, збільшиться.

Ризик пов'язаних з кліматом впливів є результатом взаємодії пов'язаних з кліматом небезпек (включаючи небезпечні явища і тренди) з уразливістю і схильністю антропогенних і природних систем, включаючи їх здатність до адаптації. Зростаючі темпи і величина потепління і інші зміни кліматичної системи, супроводжувані закисненням океану, збільшують ризик важких, повсюдних і, в деяких випадках, необоротних згубних впливів. Майбутня зміна клімату збільшить існуючі пов'язані з кліматом ризики і створить нові ризики.

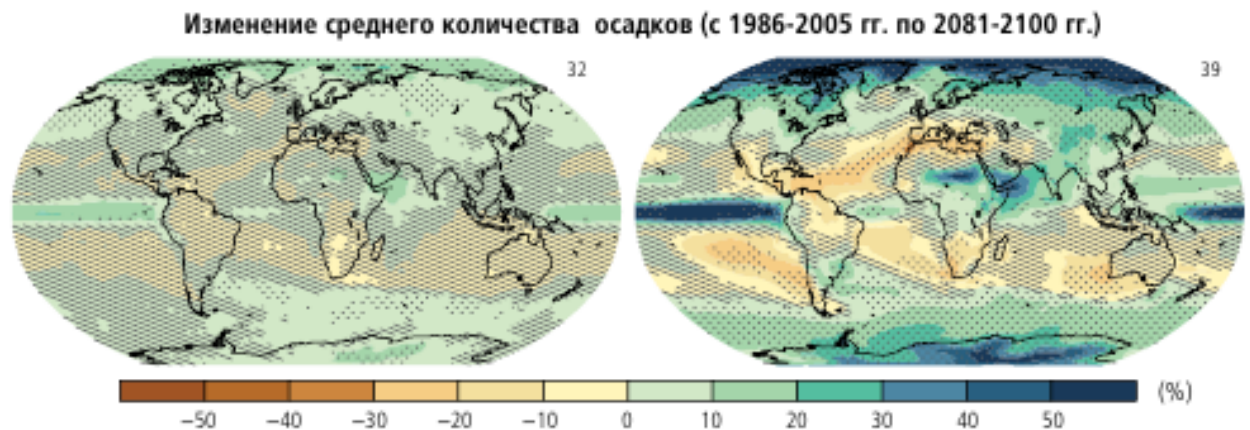


Рис. 1.3 – Перспективні оцінки мультимодельного середнього для періоду 2081-2100 рр. згідно сценаріям РТК2.6 (ліворуч) і РТК8.5 (праворуч) для зміни середньорічної кількості опадів, в процентах [9]

За останніми даними, отриманими Міжурядовою Групою Експертів зі зміни клімату, за умов ігнорування антропогенного підсилення парникового ефекту до 2100 року очікується підвищення концентрації CO<sub>2</sub> на 90–250 % у порівнянні з до-індустріальними рівнями, значне підвищення концентрацій метану та N<sub>2</sub>O, підвищення середньої температури повітря на 1,4–5,8 °С.[11].

## 1.2 Сценарії, що базуються на оцінці антропогенного впливу

Одною з найважливіших особливостей клімату є його значна часова мінливість. З точки зору системного аналізу ця мінливість є проявом як

внутрішніх властивостей кліматичної системи, так і мінливості зовнішнього впливу на неї. Кліматична система є дуже складною динамічною системою. При незмінних зовнішніх чинниках кліматична система знаходиться у стані динамічної рівноваги. Але стан динамічної рівноваги зовсім не передбачає незмінності стану внутрішніх складових системи, зокрема атмосфери, тобто їй властиві вільні коливання різного періоду. В той же час коливання зовнішніх кліматоутворювальних чинників генерують змушені коливання внутрішніх характеристик кліматичної системи. Таким же чином коливання та зміни характеристик одної з внутрішніх складових системи призводять до коливань та змін характеристик інших складових кліматичної системи. Накладаючись одне на одне, ці коливання формують в атмосфері дуже складну хвильову картину, в якій присутні часові коливання – від міжрічних до мільйонів років [3].

В Четвертій оціночній доповіді робочою групою Міжурядової групи експертів зі змін клімату були розроблені чотири основних описових сюжетних лінії (рис. 1.4) для послідовного викладення зв'язків між визначальними факторами викидів та їх розвитком, а також додатковий контекст для кількісного визначення сценарію. Кожна сюжетна лінія зображує різні демографічні, соціальні, економічні, технологічні та екологічні події, які одними особами можуть розглядатися позитивно, а іншими – негативно [11].

Сценарії містять широкий перелік основних демографічних, економічних та технологічних визначальних факторів парникових газів та викидів сірки. Кожен сценарій являє собою конкретне кількісне тлумачення однієї з чотирьох сюжетних ліній. Усі сценарії, що ґрунтуються на одній сюжетній лінії, являють собою сценарну «родину». Треба відзначити, що сценарії не містять додаткові ініціативи у галузі клімату, тобто немає сценарію, який би припускав здійснення Рамкової конвенції ООН про зміни клімату або Кіотського протоколу. В той же час, на викиди парникових газів безпосередньо впливає політика у галузі некліматичних змін, спрямована на досягнення інших цілей.



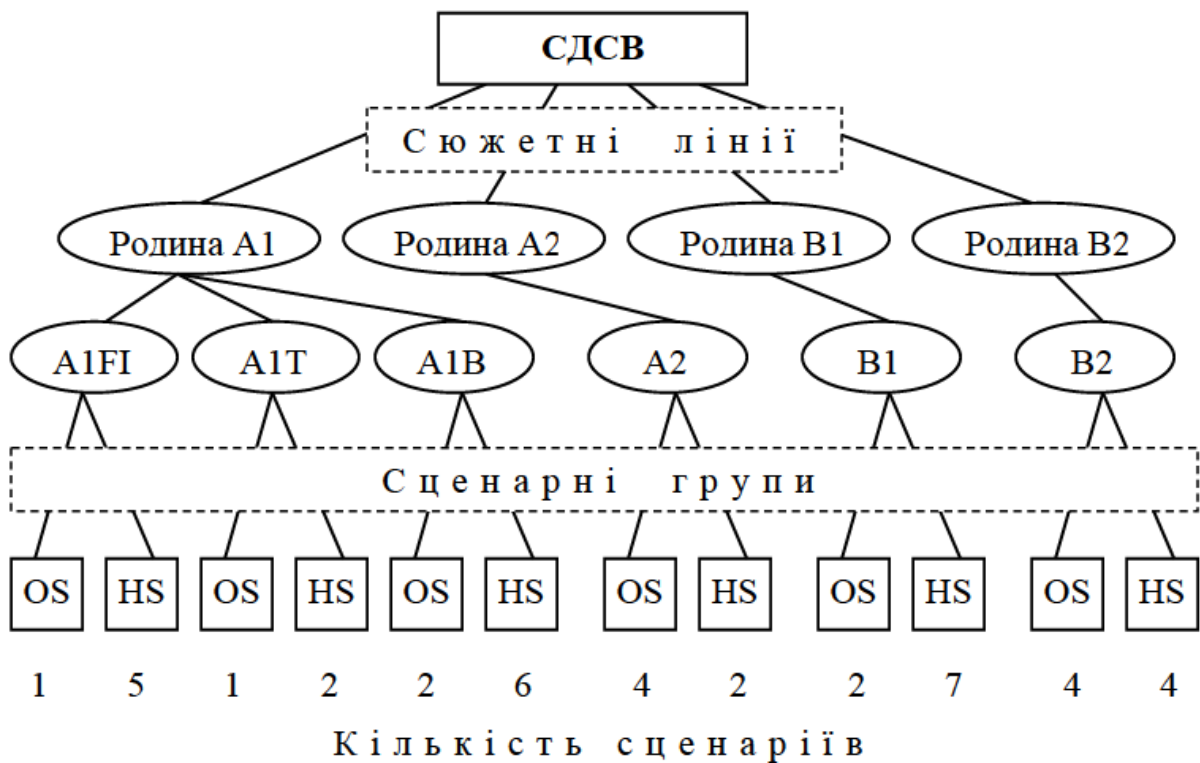


Рис. 1.4 - Схематична ілюстрація сценаріїв СДСВ [11]

До того ж, урядова політика може у різній мірі впливати на фактори викиду парникових газів, а саме на демографічні зміни, соціально-економічний розвиток, технологічні зміни, використання ресурсів та регулювання забрудненням. Саме цей вплив відображується у сюжетних лініях та підсумкових сценаріях.

Для кожної сюжетної лінії було розроблено декілька різних сценаріїв з використанням різних концепцій моделювання з метою розглядання низки результатів, пов'язаних з моделями, що використовують аналогічні припущення стосовно визначальних факторів.

У межах кожної групи і родини «HS» позначає сценарії з узгодженими припущеннями щодо розвитку загального населення та сукупного національного продукту, а «OS» – сценарії, в яких розглядаються невизначеності стосовно визначальних факторів.

Однією з переваг багатомодельного підходу є те, що підсумкові 40 сценаріїв СДСВ у своїй сукупності охоплюють існуючий діапазон невизначеностей стосовно майбутніх викидів парникових газів, які виникають внаслідок різних характеристик цих моделей, окрім існуючих невизначеностей, що мають місце через визначальні фактори сценарію,

зокрема демографічні, соціально-економічні та технологічні події, які визначають ці моделі, про що йде мова у сюжетних лініях. Тринадцять з цих сорока сценаріїв розглядають зміни, пов'язані з припущеннями стосовно енергетичних технологій [11].

У межах кожної сценарної родини були розроблені два основних види сценаріїв – сценарії з узгодженими припущеннями стосовно глобального населення, економічного росту і кінцевого використання енергії та сценарії з альтернативним кількісним визначенням сюжетної лінії. У своїй сукупності 26 сценаріїв були узгоджені через прийняття припущень стосовно розвитку загального населення та сукупного національного продукту. Таким чином, узгоджені сценарії у кожній родині не є незалежними один від іншого. Решта 14 сценаріїв прийняли альтернативні тлумачення чотирьох сюжетних ліній для вивчення додаткових сценарних невизначеностей. Вони також пов'язані між собою у межах кожної родини, навіть не зважаючи на те, що не містять загальних припущень стосовно деяких визначальних факторів.

Отже, є шість сценарних груп, які слід вважати у рівній мірі обґрунтованими і які охоплюють широке коло невизначеностей. Вони містять чотири комбінації демографічних змін, соціально-економічного розвитку та технологічних подій, які відповідають чотирьом родинам (A1, A2, B1, B2), кожна з яких має ілюстративний сценарій (рис. 1.4).

У цілому, кожна сюжетна лінія передбачає зовсім інший напрямок майбутніх подій, у результаті чого чотири сюжетні лінії відрізняються все більш незворотним чином. Разом вони надають опис різноманітних варіантів майбутнього, які охоплюють значну частку основних невизначеностей у чотирьох визначальних факторах. Вони також охоплюють широкий діапазон ключових «майбутніх» характеристик, зокрема, демографічні зміни, економічний розвиток і технологічні зміни. З огляду на це їх правдоподібність або здійсненність не слід розглядати, виключно ґрунтуючись на екстраполяції поточних економічних, технологічних та соціальних тенденцій [8].

Сюжетна лінія та сценарна родина A1 містить опис майбутнього світу, що характеризується швидким економічним ростом, збільшенням населення, показники якого сягають пікових значень у середині сторіччя з подальшим зменшенням, а також швидким упровадженням нових та ефективніших технологій. Сценарна родина A1 розбивається на три групи,

які надають опис альтернативних варіантів технологічних змін в енергетичній системі, а саме відрізняються своїм центральним технологічним елементом: істотна частина викопних видів палива (A1FI), невикопні види палива (A1T) і рівновага між усіма джерелами (A1B), яка визначається як не дуже велика залежність від одного конкретного джерела енергії. У сюжетній лінії A2 надається опис дуже неоднорідного світу. Спостерігатиметься сталий ріст загальної кількості населення. Економічний розвиток буде мати головним чином регіональну спрямованість, а економічне зростання у розрахунку на душу населення і технологічні зміни будуть більш фрагментарними та повільними у порівняннях з іншими сюжетними лініями [16].

Існує високий ступінь згоди і багато доказів того, що при нинішній політиці пом'якшення впливу на зміну клімату і яка відповідає методу стійкого розвитку глобальні викиди парникових газів будуть продовжувати рости протягом наступних кількох десятиліть.

Спеціальна доповідь МГЕЗК про сценарії викидів (СДСВ, 2000 г.) містить проєкції збільшення глобальних викидів парникових газів на 25-90% (CO<sub>2</sub>-екв.) Між 2000 і 2030 роками (рис. 1.5) при збереженні за викопними видами палива їх домінуючої позиції в глобальній структурі енергетики до 2030 року і далі. Більш недавні сценарії без додаткових заходів щодо пом'якшення впливів за рахунок викидів порівнюються з розкиду величин.

Продовження викидів парникових газів існуючими або більш високими темпами спричинило б подальше потепління і привело б в ХХІ столітті до багатьох змін у глобальній кліматичній системі, які, цілком можливо, були б значніше тих, що спостерігалися в ХХ-му столітті. (табл. 1.1, рис. 1.5) [8].

На наступні два десятиліття набір сценаріїв викидів СДСВ дає проєкцію потепління приблизно в 0,2°C за десятиріччя. Навіть якби концентрації всіх парникових газів і аерозолів стабілізувати на рівнях 2000 року, очікувалося б подальше потепління приблизно в 0,1°C за десятиліття. Після цього періоду проєкції температури все більше залежать від конкретних сценаріїв викидів [8].

Потепління скорочує поглинання атмосферного CO<sub>2</sub> сушею і океанами, збільшуючи частку антропогенних викидів, залишається в атмосфері. Сила цього ефекту зворотного зв'язку значно варіюється серед моделей.

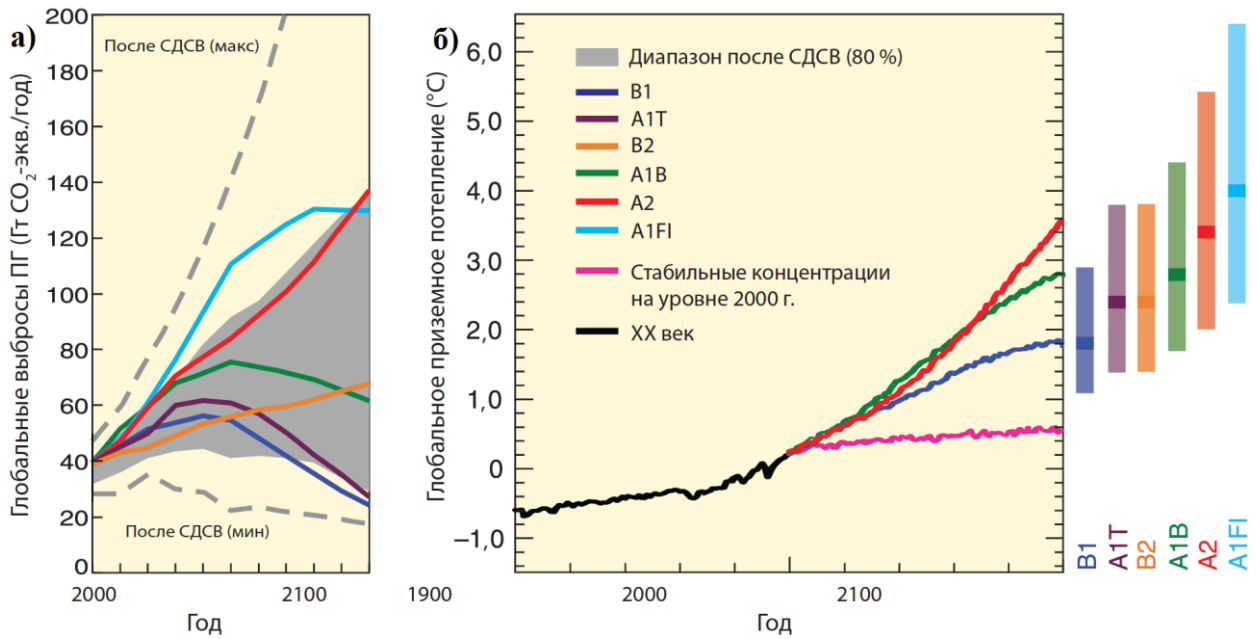


Рис. 1.5 – Сценарії викидів парникових газів з 2000 по 2100 рік за відсутності додаткової кліматичної політики (а) і проєкції приземних температур (б) (всі температури подані по відношенню до періоду 1980-1999 рр.) [8]

Коли розглядаються зміни клімату, як критерії таких змін найчастіше використовуються тренди глобальних температури та опадів. Наприклад, перша за останні 100 років збільшилася на  $0,74 \pm 0,18^\circ\text{C}$ , причому найімовірніше більша частина цього потепління пов'язана з антропогенним впливом. Це потепління, в свою чергу, пов'язане з підвищенням рівня моря та зменшенням площі снігового покриву у Північній півкулі.

З іншого боку, навіть протягом останніх 30 років, коли темпи підвищення були особливо великими, в деяких регіонах земної кулі (наприклад, Південна Атлантика, Аляска тощо) спостерігалось похолодання. Більше того, підвищення температури не в усіх регіонах добре корелюється зі змінами режиму опадів. Тобто зміни цих двох показників клімату не пов'язані між собою на регіональному рівні і мають розглядатися окремо один від іншого.

Отже, зміни у глобальній кліматичній системі можуть розглядатися на сьогодні як незаперечний факт, що доводиться метеорологічними даними за останні 150 років за глобальною середньою температурою повітря та океану, підвищенням глобального середнього рівня моря і таненням снігу та льоду. Є дуже ймовірним, що підвищення глобальних середніх температур, яке

спостерігається з середини 20 століття, здебільшого викликано підвищенням концентрацій антропогенних парникових газів.

Зміни регіонального масштабу включають [8]:

- найбільш сильне потепління на суші, причому найбільше в найвищих північних широтах, а найменше - по Південному океану і північним районам Атлантичного океану, що продовжить останні спостерігаються тенденції (рис. 1.6);
- площа снігового покриву зменшиться, збільшиться глибина відтаювання в більшості районів вічної мерзлоти і зменшиться протяжність морського льоду; в деяких проєкціях з використанням сценаріїв СДСВ арктичний морський лід в кінці літа зникає майже повністю до кінця ХХІ століття;
- досить імовірно, що повторюваність екстремально високих температур, хвиль тепла і сильних опадів буде зростати;
- ймовірно, що інтенсивність тропічних циклонів підвищиться; менше впевненість в глобальному зменшенні кількості виникаючих тропічних циклонів;
- зміщення в напрямку до полюсів траєкторій позатропічних циклонів з наступними змінами режиму вітрів, опадів і температури;
- вельми вірогідне збільшення кількості опадів у високих широтах і, ймовірно, зменшення їх кількості в більшості субтропічних х районів суші, що підтверджується на спостережливим характером змін в останні тенденції.

На рис. 1.6 наведена карта з осередненням проєкцій кількох моделей МЗЦАО для сценарію А1В СДСВ. Всі температури показані по відношенню до періоду 1980-1999 рр.

Є висока ступінь достовірності того, що в середині століття щорічний річковий стік і водозабезпеченість, згідно проєкція, збільшаться в високих широтах (і в деяких вологих тропічних районах) і зменшаться в деяких посушливих регіонах в середніх широтах і тропіках. Існує також висока ступінь достовірності того, що багато напівпосушливіших районів (наприклад, Середземноморський басейн, західна частина Сполучених Штатів, Південна Африка і північно-східна Бразилія) будуть страждати від скорочення водних ресурсів внаслідок зміни клімату.

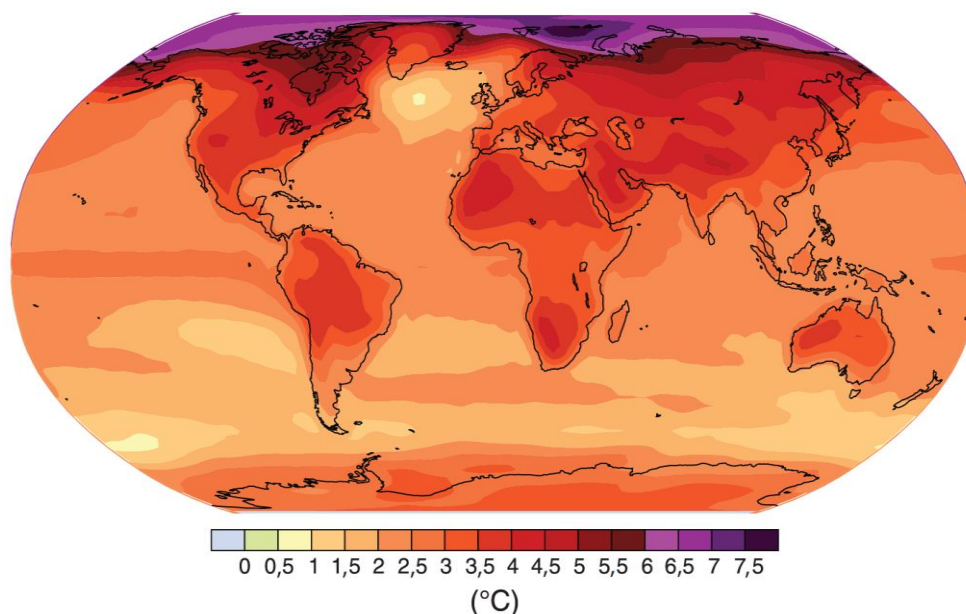


Рис. 1.6 – Проекції змін приземної температури на кінець ХХІ століття (2090-2099 рр.) для сценарію А1В СДСВ. (всі температури показані по відношенню до періоду 1980-1999 рр.) [8]

### 1.3 Проекції змін опадів в Україні за сценаріями СДСВ

У зв'язку з глобальним потеплінням клімату Землі, як відзначалося на конференціях Сторін Конвенції ООН з питань боротьби з опустелюванням (грудень 2000 р. та вересень 2001 р.), в теперішній час у глобальному масштабі домінують дві проблеми. Перша – глобальне потепління, з яким пов'язані значні кліматичні аномалії, які викликали зміну частоти таких небезпечних та стихійних явищ погоди, як зливи, паводки, шквали. Друга – розповсюдження засух, особливо у країнах, розміщених південніше 40о пн.ш., де експерти Всесвітньої метеорологічної Організації (ВМО) передбачають у найближчому майбутньому зменшення кількості опадів.

Подальший розвиток глобального та регіонального потепління клімату може викликати незворотні зміни клімату і порушення кліматичної рівноваги. На фоні економічних та екологічних порушень природного середовища наслідки небезпечних стихійних гідрометеорологічних явищ можуть набувати катастрофічного характеру, що може призвести до зміни умов життєдіяльності людства [13].

Одним з найпростіших способів відображення можливих змін у кліматичному режимі метеорологічної величини є порівняння з минулими даними. Наприклад, Всесвітня метеорологічна організація пропонує використовувати для порівняння як базовий період 1961-1990 рр., а кліматичні підрозділи NOAA вже зараз використовують базовий період 1971-2000 рр.

На рис. 1.7 наведені зміни річних сум опадів у 2011-2025 рр. відносно 1986-2000 рр. для трьох зазначених вище сценаріїв. Як можна бачити, зміни режиму опадів за сюжетними лініями A1B і A2 (рис. 1.7a і 1.7б) є схожими – майже над усією Україною опади будуть збільшуватися, особливо над південним заходом, а відрізняються одна від іншої тільки тим, що за сценарієм A2 над сходом України буде мати місце невелике зменшення річних сум опадів. Що ж стосується сценарію B1 (рис. 1.7, в), то зміни у режимі опадів можна вважати неістотними (максимум 40 мм на рік, коли у теперішній час їх величина перевищує у середньому 600 мм на рік).

Таким чином, в Україні відбуватимуться достатньо нерівномірні зміни режиму опадів, причому найменш істотними вони будуть за «м'яким» сценарієм B1, коли майже для всієї України річна сума опадів зміниться у середньому не більше ніж на 7 відсотків від сьогоденної. За іншими двома сценаріями найістотніших змін зазнає режим опадів на південному заході України, де річна сума може збільшитися на 10–15 відсотків від тієї, що спостерігається у теперішній час [11].

Дослідження індикаторів для трьох сценаріїв СДСВ показує, що кількість аномально сухих літ залишиться майже незмінною, за винятком сценарію B1 для південного заходу України, де вона неістотно збільшиться; також для цього сценарію буде мати місце й незначне зростання літ з аномально великою кількістю опадів. Більше вологіших літ буде на правобережній Україні за сценарієм A2, але найбільше зростання аномально вологих літ буде мати місце за сценарієм A1B [17].

Незначною мірою збільшиться кількість аномально сухих років; тільки в окремих областях, як, наприклад, в Одеській для сценарію буде мати місце зростання їх кількості до більш-менш істотної величини. Також неістотно збільшиться кількість років з аномально великою кількістю опадів за сценарієм B1 та сценарієм A2 за винятком південної частини України.

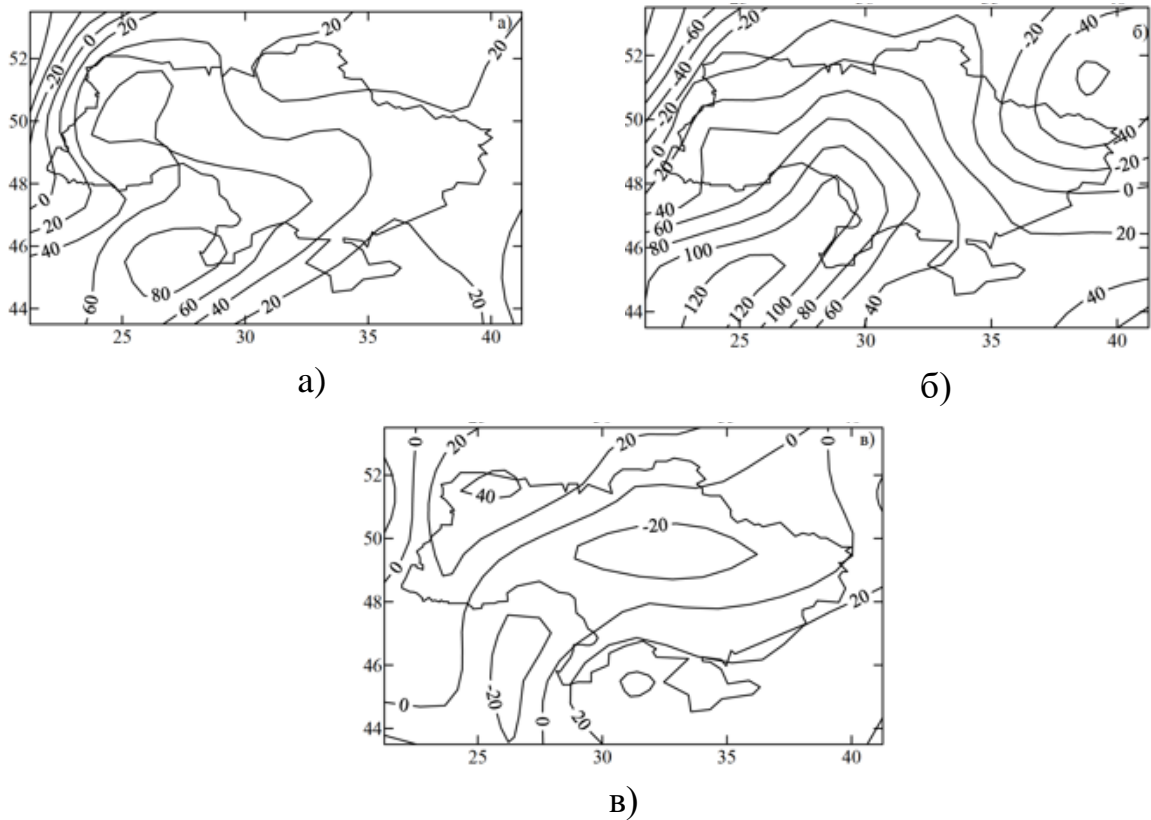


Рис. 1.7 – Зміни середньої для 2011-2025 рр. річної суми опадів в Україні відносно базового періоду 1986-2000 рр. для сценаріїв А1В (а), А2 (б) і В1 (в) [11]

З іншого боку, для сценарію А1В буде характерною велика «плямистість» у змінах кількості аномально вологих років, причому їх кількість може досягати у деяких областях України значних величин, наприклад, майже кожен другий рік буде аномально вологим на півдні Одеської області, кожен третій – у Волинській області.

Найменших змін в Україні режим опадів зазнає за «м'якого» сценарію В1: у середньому тільки два роки з п'ятнадцяти будуть характеризуватися аномальними подіями, причому тільки на півдні України. Як випливає з аналізу попередніх рисунків, це можуть бути не тільки аномально вологі, а й аномально сухі події. Також варто уваги те, що за цим сценарієм, а також сценарієм А2, найменшого впливу змін клімату зазнає західна частина України, а найбільшого – південна [17].

Що стосується аномально сухих зим, то їх кількість не зміниться майже для усієї території України для сценарію В1, а для решти сценаріїв збільшення кількості зим з аномально малою кількістю опадів матиме місце переважно над лівобережною Україною, причому на крайньому сході



України аномально сухою може бути кожна третя зима за сценарієм А1В. Найбільших змін режим опадів узимку зазнає за сценарієм А2 для правобережної, коли майже кожна 3-4 зима буде аномально вологою, тоді як для сценаріїв А1В і кількість аномально вологих зим зміниться неістотно над більшістю областей України.

Отже, за сценарієм А1В у кількісному вигляді опади зростуть на південному заході України, але збільшена кількість аномальних проявів у режимі опадів буде спостерігатися над сходом України. Тобто у порівнянні з кінцем ХХ століття кількість аномальних проявів режиму опадів у 2011-2025 рр. збільшиться. Цікавим є те, що сценарій А2, який вважається «жорстким», у 2011-2025 рр. не спричинить будь-яких істотних змін режиму опадів України, причому це стосується, насамперед, аномальних проявів. З іншого боку, з точки зору розробки стратегії щодо пом'якшення наслідків глобального потепління найсприятливішим є «м'який» сценарій В1, за якого розподіл змін опадів та їх аномалій над Україною буде найбільш гомогенним та незначним [17].

## 2 КЛІМАТИЧНИЙ РОЗПОДІЛ ОПАДІВ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ТА ЇХ СУЧАСНІ ЗМІНИ

Опади відносяться до важливої характеристики зволоження. На Земній кулі річна кількість опадів дорівнює випаровуванню і становить 1130 мм. Вони є головним джерелом поновлення водних запасів і вологи у ґрунті.

Випадання опадів тісно пов'язане з вологообігом. Останній зазвичай характеризується коефіцієнтом вологообігу, який представляє собою відношення загальної кількості опадів, що випали на даній території, до кількості опадів, що утворилися з водяної пари, яка надходить ззовні. Для України він становить 1,0-1,1, тобто тут опади в основному адвективні і лише близько 3-4 % їх утворюється з водяної пари місцевого походження.

Утворення і випадання опадів в Україні — наслідок складних макроциркуляційних процесів, що визначають тепло і вологообмін в атмосфері. Суть цих процесів полягає у перенесенні на значну відстань тепла і вологи з Атлантики і Середземного моря, а також розвитку під впливом циклонічної діяльності крупномасштабних вертикальних рухів, що призводять до піднімання вологи у тропосфері [5].

Перенесення повітряних мас тісно пов'язане з циклонічною діяльністю. Основна кількість опадів випадає з фронтальних хмар. Зимою випадання їх найчастіше пов'язано з Середземноморськими циклонами, що переміщуються з Чорного моря у північному та північно-східному напрямках. Вплив Середземноморських циклонів відмічається майже на всій території країни. Більшість Атлантичних циклонів переміщуються північніше і рухаються за зональними траєкторіями із заходу на схід. Південні ділянки фронтів цих циклонів охоплюють всю Україну і зволожують її.

Влітку лише невелика частина опадів випадає у тилу циклонів безпосередньо з морських повітряних мас у вигляді так званих опадів конвективної нестійкості. Важливе значення мають опади із тропічного повітря. Останнє, переміщуючись з південного сходу через південну і південно-західну периферію антициклону, зволожується і, зустрічаючись з полярним повітрям, дає велику кількість опадів зливого характеру [5].

Також необхідно відмітити, що в окремі роки найбільша і найменша кількість опадів може зміщуватись на інші місяці. При цьому на території України місячні та річні суми опадів мають значні регіональні відмінності. Особливою неоднорідністю відзначається режим опадів у теплий період року, коли вагомий вплив на утворення опадів мають як макро-, так і мезомасштабні процеси (мезоциклони, конвективні комірки) [6].

Певну роль у збільшенні літніх опадів має місцевий циклогенез. На східноєвропейській гілці полярного фронту виникають циклони, що супроводжуються випаданням опадів з континентального повітря. Оподи у різних районах України істотно відрізняються за кількістю, характером розподілу, річним ходом, інтенсивністю, тривалістю і т. ін. Географічне положення та рельєф Українських Карпат і Криму створюють особливі умови формування опадів [5].

Необхідно зазначити, що у кліматологічних дослідженнях розглядають три групи характеристик опадів: з кількості, частоти випадіння та тривалості. На відміну від інших метеорологічних величин кількість опадів не розглядається по строках, а тільки в добовому розрізі. До того ж кількість надається не середніми значеннями, а сумами за добу, місяць, теплий чи холодний періоди, рік. У різних районах України опади суттєво різняться за кількістю, характером розподілу по території і річним ходом, інтенсивністю, тривалістю та ін. [4].

Основною закономірністю просторового розподілу опадів на території України, зумовленою загальними циркуляційними факторами, є їх зменшення з півночі і північного заходу у напрямі на південь і південний схід (рис. 2.1). Такий розподіл властивий для рівнинної території. Рельєф, що визначає регіональні особливості циркуляції, вносить істотні зміни у поле опадів. У гірських районах виникає вимушене упорядковане піднімання повітряних потоків, що сприяє посиленню термічної і динамічної турбулентності, розвитку циклогенезу. Тому найбільша кількість опадів випадає в Українських Карпатах і Кримських горах. Вплив Донецької, Волинської, Подільської, Придніпровської та Приазовської височин не такий істотний внаслідок їх незначної висоти [5].

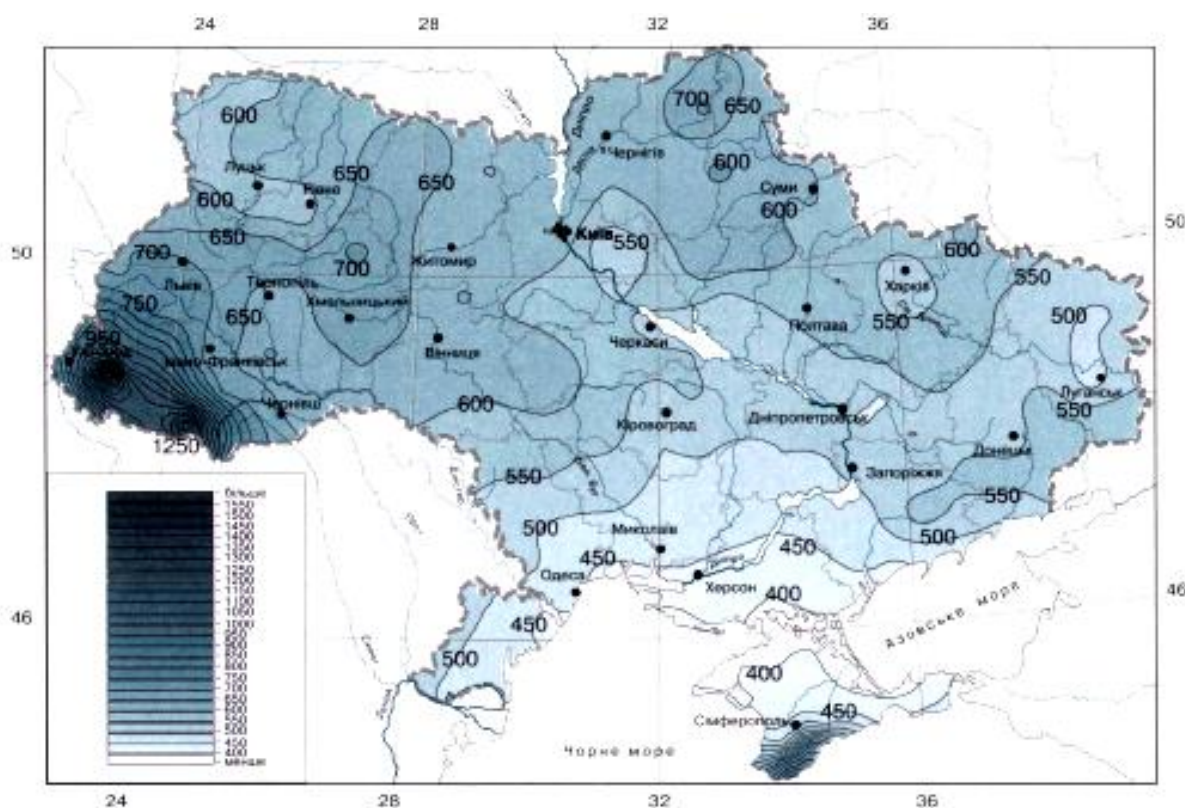


Рис. 2.1 – Середня кількість опадів (мм). Рік [5]

Використовуючи розрахунок опадів за даними місячних сум 25 областей, які показані на рис. 2.2 у відсотках від середньої багаторічної кількості опадів (1961-1990 рр.) за літній сезон, можна сказати що в довгостроковому прогнозі опади мають три основні градації - нижче норми, тобто нижче 80% від норми, вказує на дефіцит, в межах норми, тобто 80-120% від норми і вище норми, тобто вище 120% від норми - вказує на надлишок опадів. Характер зміни опадів в літній сезон протягом обраного періоду показав, що опади нижче норми були в червні 8 років, близько норми - 15 років і понад норми тільки 2 роки, в липні опадів нижче норми відзначено 13 років, близько норми - 5 років і вище норми - 7 років, в серпні нижче норми - 11 років, близько норми - 7 років і вище норми - 7 років. Такий характер опадів протягом літнього періоду в цілому отримав тенденцію до сухих атмосферних процесів на території України, так як нижче норми склало 32 місяці, близько норми - 27 місяців і вище норми - 16 місяців [7].

Наведений рис. 2.2 демонструє зміну опадів в літній сезон від року до року протягом 1991-2015 рр. в середньому по території України, але просторовий розподіл змін за цими даними визначити не можна. Тому, щоб

доповнити аналіз зміни температури і опадів в середньому по території України, були використані графіки просторового розподілу зміни місячної кількості опадів по областях України.

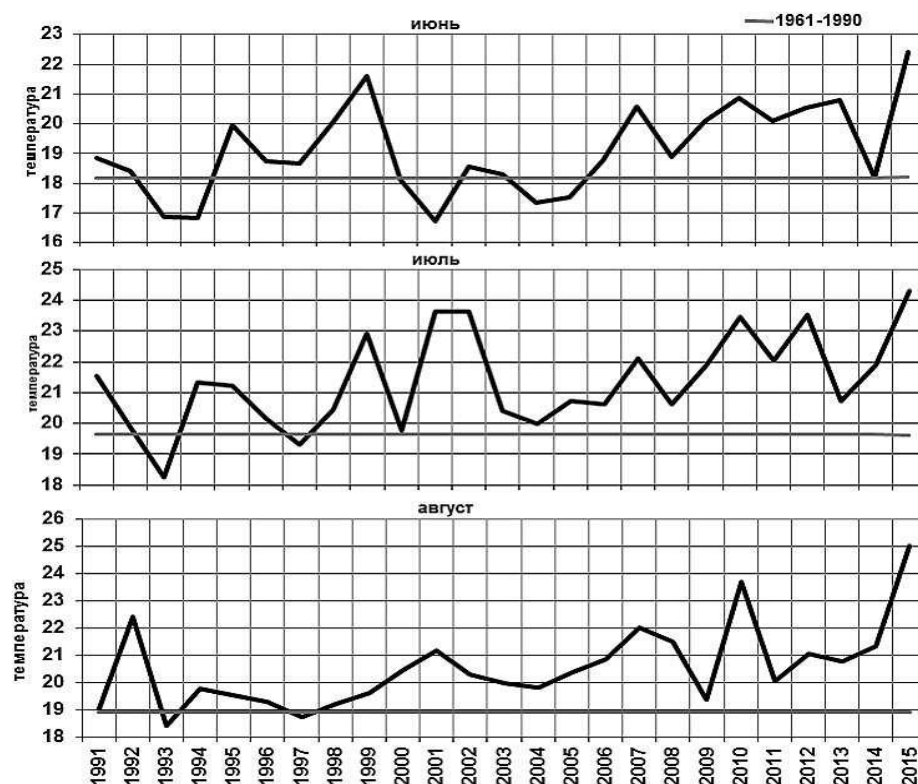


Рис. 2.2 – Зміна місячної кількості опадів в середньому по території України влітку протягом 1991-2015 рр. [7]

На рис. 2.3 показана зміна опадів в останні десятиліття щодо стандартної норми 1961-1990 рр. для всіх областей України.

Зміна кількості опадів літнього сезону 1991-2000 рр. і 2001-2010 рр. відбувалася незначно, в більшості областей вони збігалися зі стандартною нормою кількості опадів 1961-1990 рр. Відмінності від стандартної норми стали проявлятися практично у всіх областях і особливо помітно в поточному десятилітті в Закарпатській, Івано-Франківській, Чернівецькій, Хмельницькій, Вінницькій областях.

В цілому на території України відбувається зменшення опадів за літній сезон в останні 2011-2015 рр. Якщо розглянути зміни опадів для кожного літнього місяця окремо, то можна побачити, що відбувається конкретно в якому місяці з опадами на території України. Кількість опадів червня та липня незначно зменшується від декади до декади до теперішнього часу.

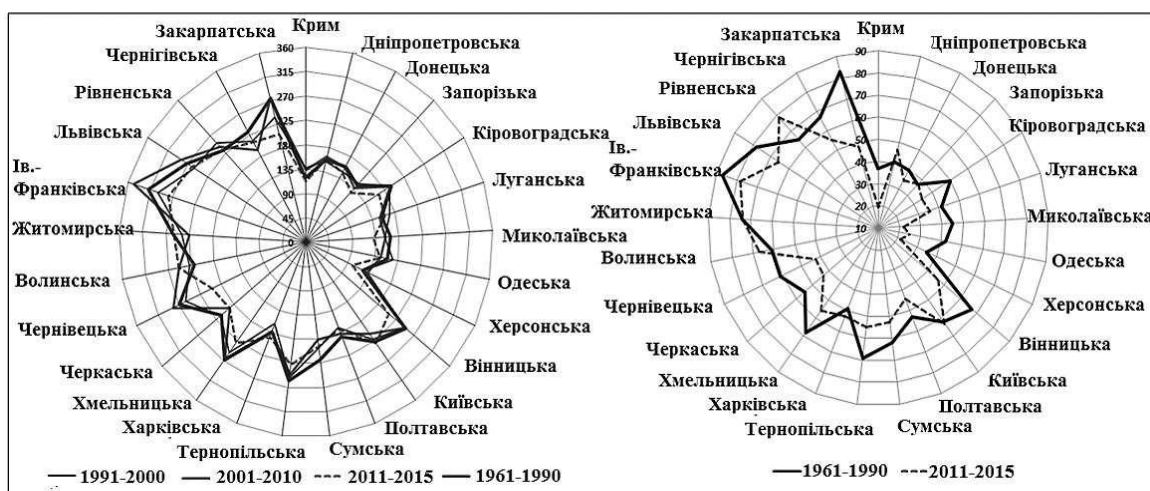


Рис. 2.3 – Кількість опадів літнього сезону 1991-2000 рр., 2001-2010 рр., 2011-2015 рр. і норма 1961-1990 рр., мм [7]

Районування території за кількістю опадів виконано на підставі кластерного аналізу, який дозволяє виділити райони з однотиповим розподілом і структурою метеорологічної величини, які визначаються особливостями синоптичних процесів та підстильної поверхні.

В наслідок кластеризації безліч векторів кількості опадів за окремі місяці та за рік на метеорологічних станціях України розділено на ряд кластерів або районів з подібною внутрішньою структурою режиму зволоження. Аналіз результатів просторово-часової кластеризації свідчить, що виділені кластери (райони) характеризуються, з одного боку, подібною морфологічною структурою, а з іншого розвитком синоптичних процесів, які визначають режим зволоження території України. Отже, кластерний аналіз дозволяє провести об'єктивне районування території за режимом зволоження за допомогою такої важливої кліматичної характеристики, як місячна та річна кількість опадів [5].

Для підтвердження результатів районування проведеного на підставі кластерного аналізу застосовано також метод головних компонент.

Аномалії кількості опадів зазвичай не охоплюють всю територію, а лиши окремі її регіони. Аномалії з опадами понад норму найчастіше спостерігається у західних районах, а аномалії з опадами менше норми – у східних і південно-східних. Внаслідок проведеного кластерного аналізу із застосуванням статистичних методів і врахування розподілу кількості опадів за рік виділено райони (рис. 2.4):



- Район з достатнім зволоженням, де кількість опадів досягає найбільших значень, до нього відносяться Українські Карпати, включаючи Передкарпаття і Закарпаття, а також західну і південно-західну частини України. В Українських Карпатах кількість опадів за рік перевищує 1000 мм, а у високогірній частині – навіть 1500 мм, у західних і південно-західних районах вона коливається у межах 600-700 мм. Тут часто бувають аномально вологі роки [5].
- Район із нестійким зволоженням. До нього входить північно-східно і центральна частина країни з річною кількістю опадів у межах 500-600 мм. У цьому районі збільшується ймовірність посушливих років, особливо у центральній частині.
- Район з недостатнім зволоженням де найбільша ймовірність посушливих років. Він включає східну та південну частину країни. Тут випадає найменша кількість опадів (400-500 мм), а на узбережжі – менше 400мм [5].

Окремо виділяється Донецька височина, де кількість опадів збільшується до 500 мм, а також Кримські гори, де випадає понад 1000 мм.

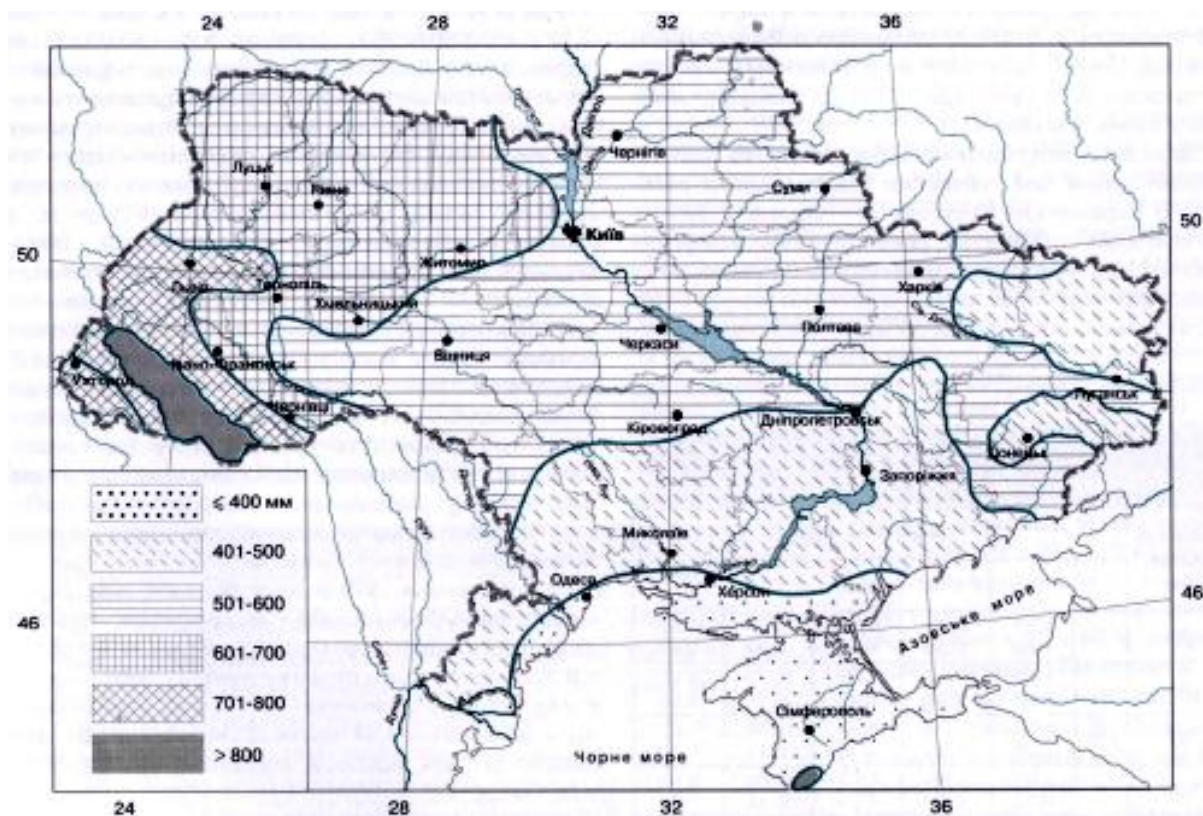


Рис. 2.4 – Райони з різною кількістю опадів (мм) [5]

У кожному із вказаних районів виділено підрайони (мезокліматичні), де утворення та повторюваність опадів значно залежить від місцевих факторів [5]. Аналіз ареалів кількості опадів для окремих місяців та сезонів показав, що число ареалів в усі місяці майже однакове, але площа охоплення не завжди має однакові розміри і різну спрямованість залежно від синоптичних процесів певного місяця.

Для січня властивий міжширотний обмін повітря, що зумовлює меридіональне розміщення ареалів. У квітні напрям ареалів змінюється. У західних областях вони розташовуються з півночі на південь, а на півдні та південному-сході – переходять на широтний. У липні ареали переважно мають широтний напрям, за винятком західних районів, де протягом року зберігають меридіональний напрям. У жовтні ареали знову направлені меридіонально, крім південних районів, де їх розміщення залишається широтним.

Наведені результати розподілу кількості опадів у різних районах вказують на значну неоднорідність поля опадів, зумовлену неоднаковими умовами опадоутворення.



### 3 ОЦІНКА МАЙБУТНЬОГО РЕЖИМУ ОПАДІВ ПО СТАНЦІЯХ УКРАЇНИ В РАМКАХ СЦЕНАРІЮ РТК8.5

Для оцінки прогнозованих змін у режимі опадів був обраний кліматичний сценарій РТК8.5, що описує проєкцію змін з найбільшими викидами шкідливих речовин. Для аналізу використані дані кліматичного моделювання проєкту CORDEX EUR-44, які були отримані та попередньо оброблені за допомогою веб-сервісу Climate Explorer (<http://climexp.knmi.nl>).

Побудовані в дослідженні карти прогнозованої інтенсивності опадів за літній сезон (червень-серпень) в окремі роки ґрунтуються на середніх значеннях інтенсивності опадів по ансамблю прогностичних моделей. Для оцінки тенденцій змін опадів по окремим пунктам і місяцям використані дані моделі MPI-CSC-REMO2009 (експеримент MPI-M-MPI-ESM-LR r2i1p1) із зазначеного проєкту.

#### 3.1 Просторовий розподіл прогнозованих опадів

Проаналізовані прогностичні карти інтенсивності опадів за окремі роки, через кожні 5 років, починаючи з 2020 по 2050 рр.

На кожній карті зображено поле інтенсивності (мм/день) опадів за літній сезон (JJА – це червень, липень та серпень). Дані були отримані за допомогою веб-сервісу Climate Explorer. З метою подальшого аналізу за цими картами були розраховані прогностичні карти опадів (рис.3.1-3.7).

Розглядаючи прогностичну карту опадів за 2020 рік (рис. 3.1), можна виділити декілька осередків максимальних опадів, які будуть спостерігатися на територію Українських Карпат і складатимуть 414 мм/сезон, на решті країни кількість опадів буде коливається від 276 мм/сезон і до 92 мм/сезон. Таким чином, над Тернопільською областю прогнозується 276 мм за сезон, у північних та центральних областях та над південним узбережжям Криму – 184 мм/сезон, у південних, східних областях та решті території Криму – 92 мм/сезон.

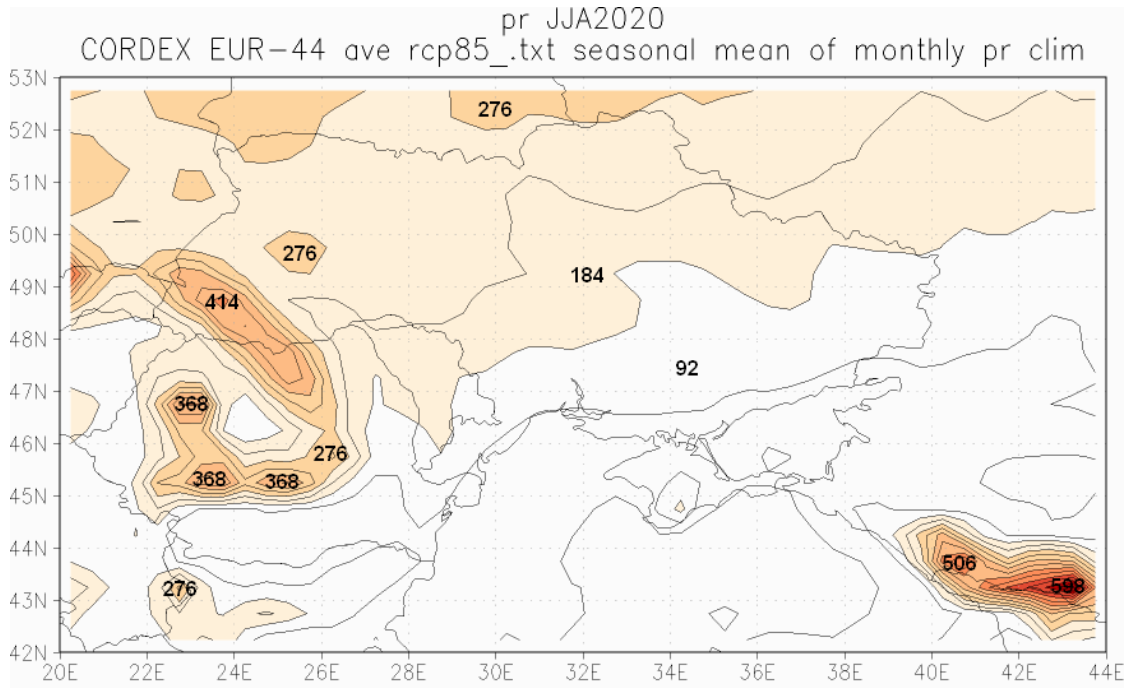


Рис. 3.1 – Прогностична карта кількості опадів (мм/сезон) за 2020 р.

На прогностичній карті опадів за 2025 рік (рис. 3.2) максимум прогностичних опадів буде спостерігатися на території Українських Карпат і складе 414 мм/сезон, на решті західних областей, а також у південних та центральних областях та південній частині східних областей складе 230 мм/сезон, на решті території країни кількість опадів буде близькою до нуля.

На прогностичній карті опадів за 2030 рік (рис. 3.3) максимум прогностичних опадів буде спостерігатися на території Українських Карпат та Тернопільської області і складатиме відповідно 391 мм/сезон та 276 мм/сезон, на решті західних областей, північних та центральних областей кількість опадів дорівнюватиме 184 мм/сезон, у східних та південних областях складе 115 мм/сезон.

На прогностичній карті опадів за 2035 рік (рис. 3.4) максимум прогностичних опадів буде спостерігатися на території західних областей і складає 276 мм/сезон, на решті території кількість опадів дорівнюватиме 92 мм/сезон.

На прогностичній карті опадів за 2040 рік (рис. 3.5) максимум прогностичних опадів буде спостерігатися на території Українських Карпат і складає 348 мм/сезон, на решті західних областей – 184 мм/сезон.

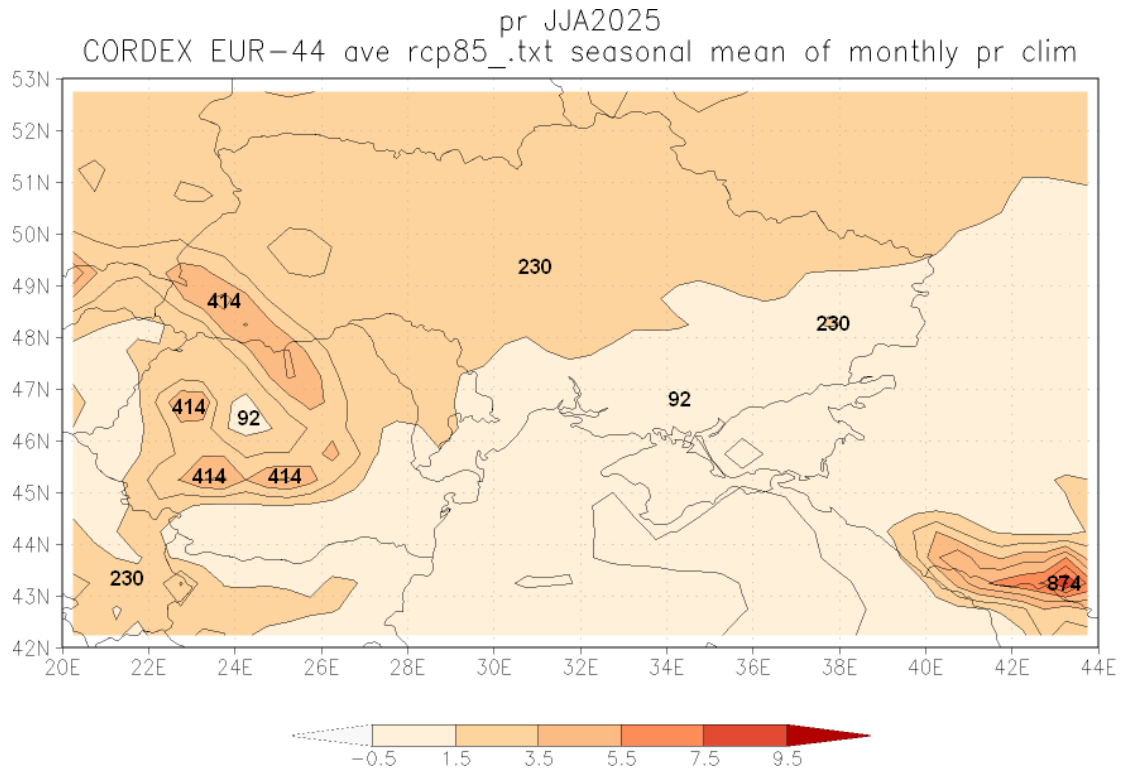


Рис. 3.2 – Прогностична карта опадів (мм/сезон) за 2025 рік

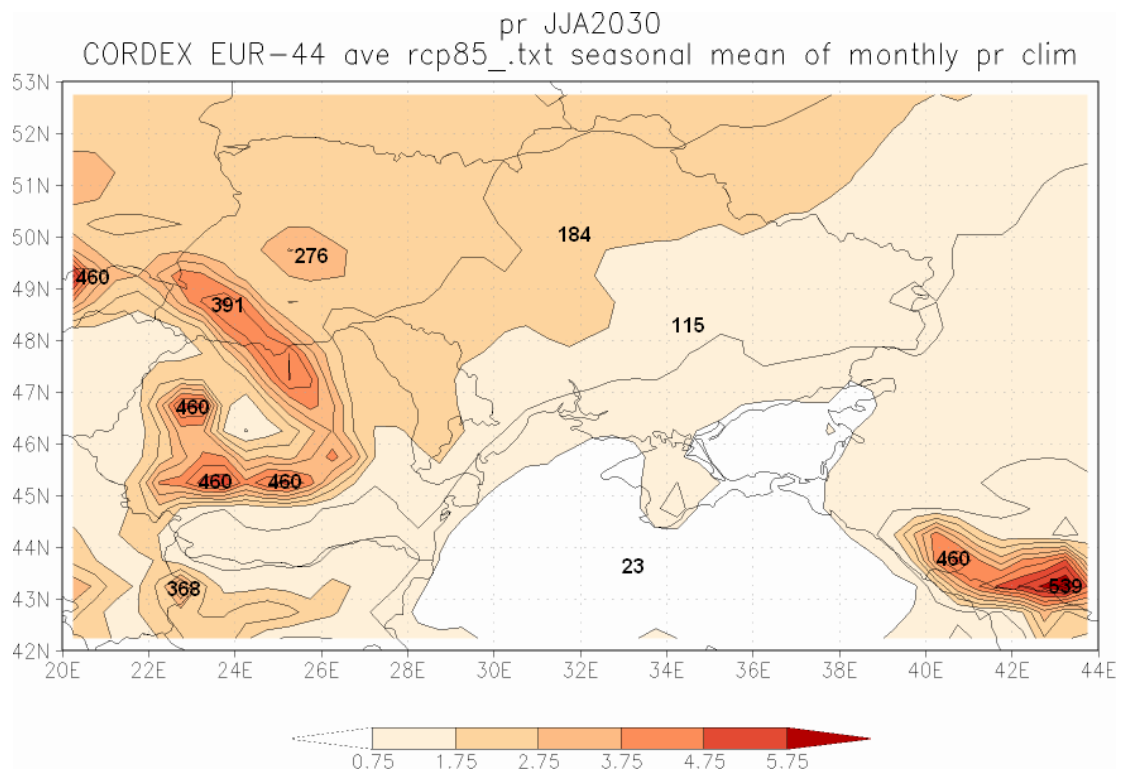


Рис. 3.3 – Прогностична карта опадів (мм/сезон) за 2030 рік

На решті території України окрім Криму кількість опадів складе 92 мм/сезон, на районі Сімферополя буде спостерігатися 92 мм/сезон, по усьому узбережжі Чорного моря та по усьому узбережжі Криму спостерігається 46 мм/сезон.

На прогностичній карті опадів за 2045 рік (рис. 3.6) максимум прогностичних опадів буде спостерігатися на території Українських Карпат і складе 414 мм/сезон, на решті західних областей, а також у центральних та північних областях кількість опадів складе 230 мм/сезон, у східних та південних областях - 92 мм/сезон, у Ялті – 230 мм/сезон.

На прогностичній карті опадів за 2050 рік (рис.3.7) максимум прогностичних опадів буде спостерігатися на території Українських Карпат та Тернопільської області і складе відповідно 299 мм/сезон та 207 мм/сезон, а також буде спостерігатися осередок на кордоні у Житомирській області, де кількість опадів складе 207 мм/сезон, у північних, центральних областях, Ялті та центральній частині Луганської області буде спостерігатися 115 мм/сезон, на решті території України кількість опадів складе 69 мм/сезон.

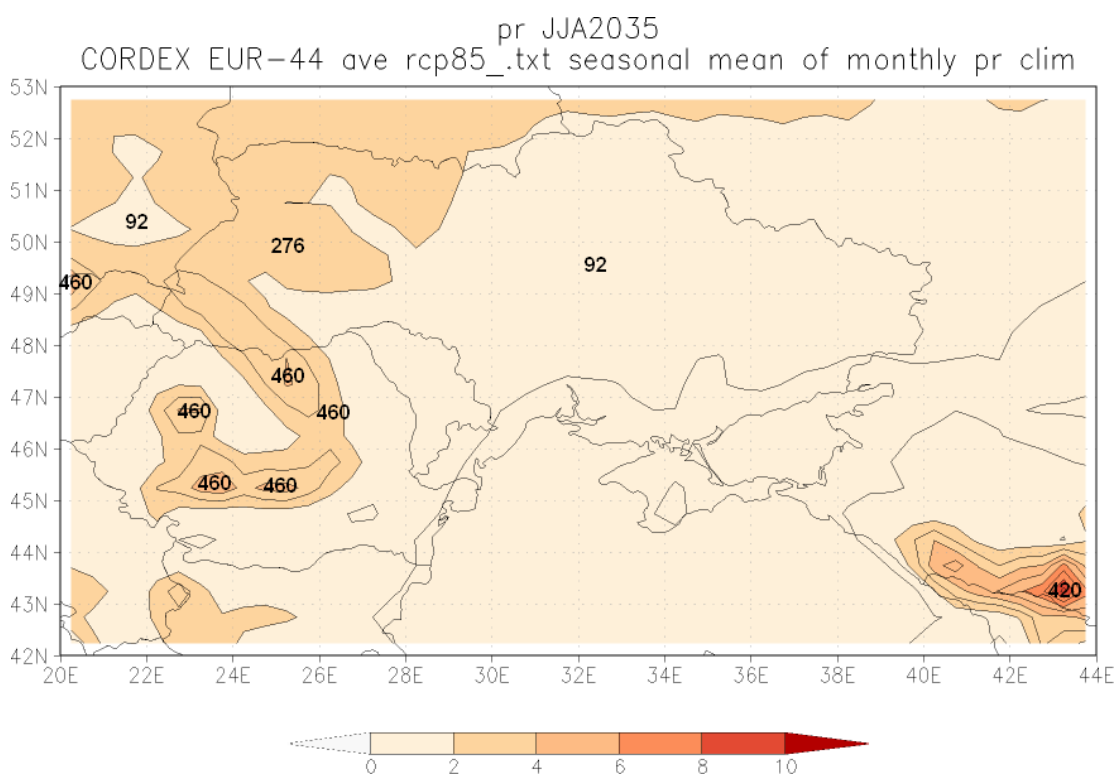


Рис. 3.4 – Прогностична карта опадів (мм/сезон) за 2035 рік

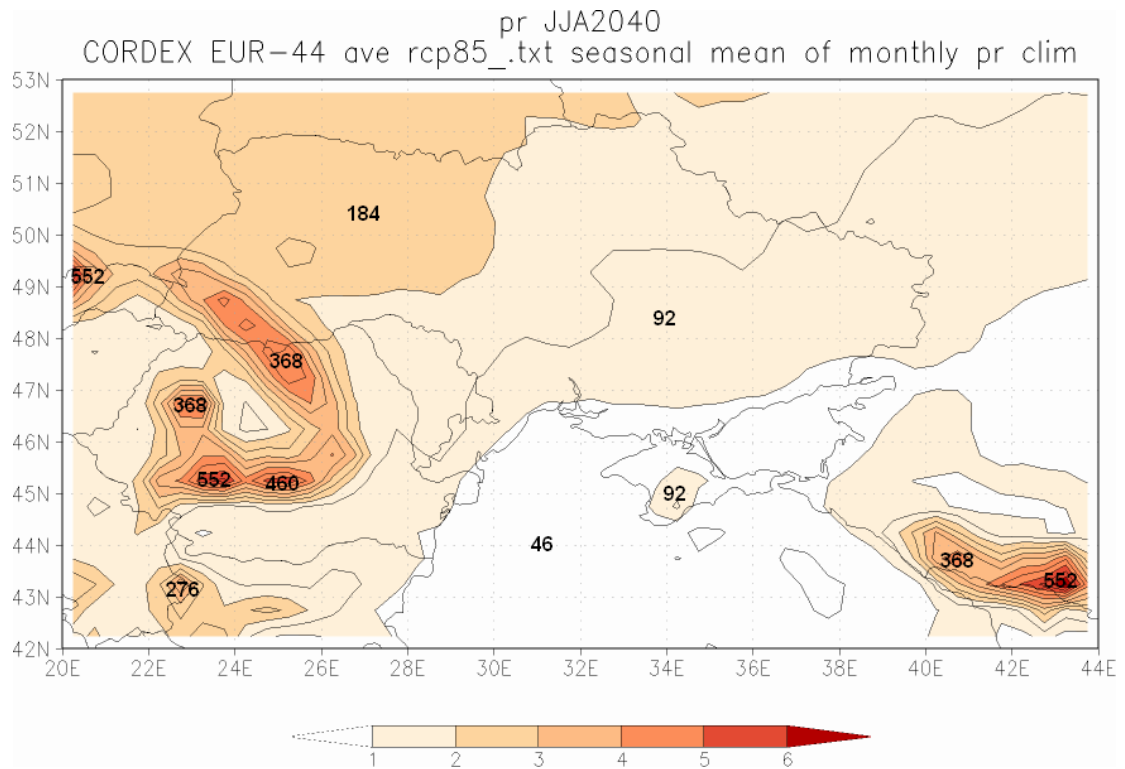


Рис. 3.5 – Прогностична карта опадів (мм/сезон) за 2040 рік

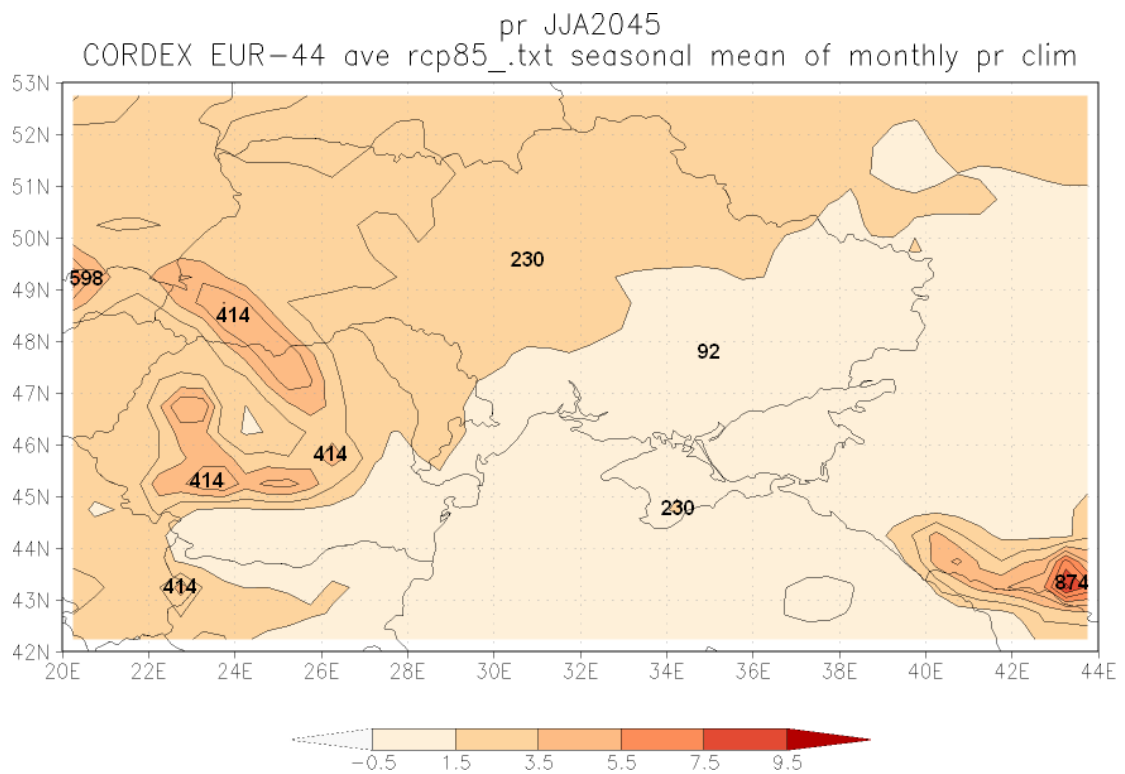


Рис. 3.6 – Прогностична карта опадів (мм/сезон) за 2045 рік

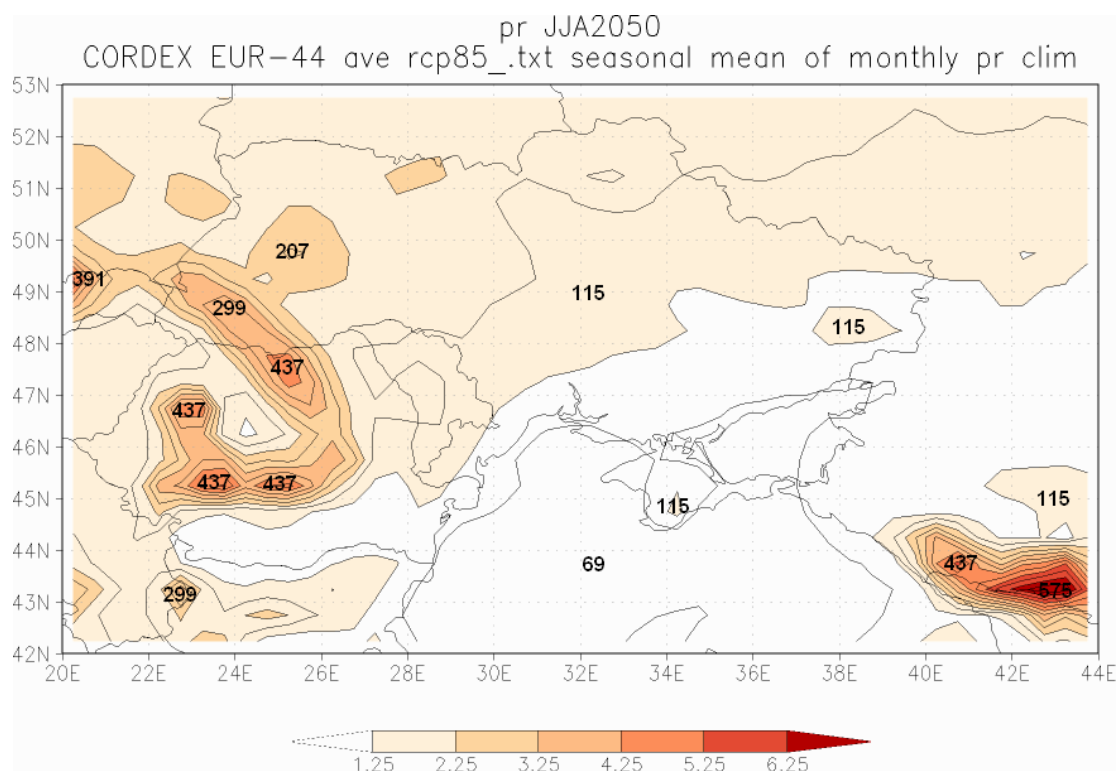


Рис. 3.7 – Прогностична карта опадів (мм/сезон) за 2050 рік

Якщо порівнювати розподіл опадів з розподілом опадів для теплого періоду представлено у Кліматі України (рис. 3.8), то можна побачити, що у майбутньому розподіл опадів суттєво не зміниться, в той час як кількість опадів зменшиться.

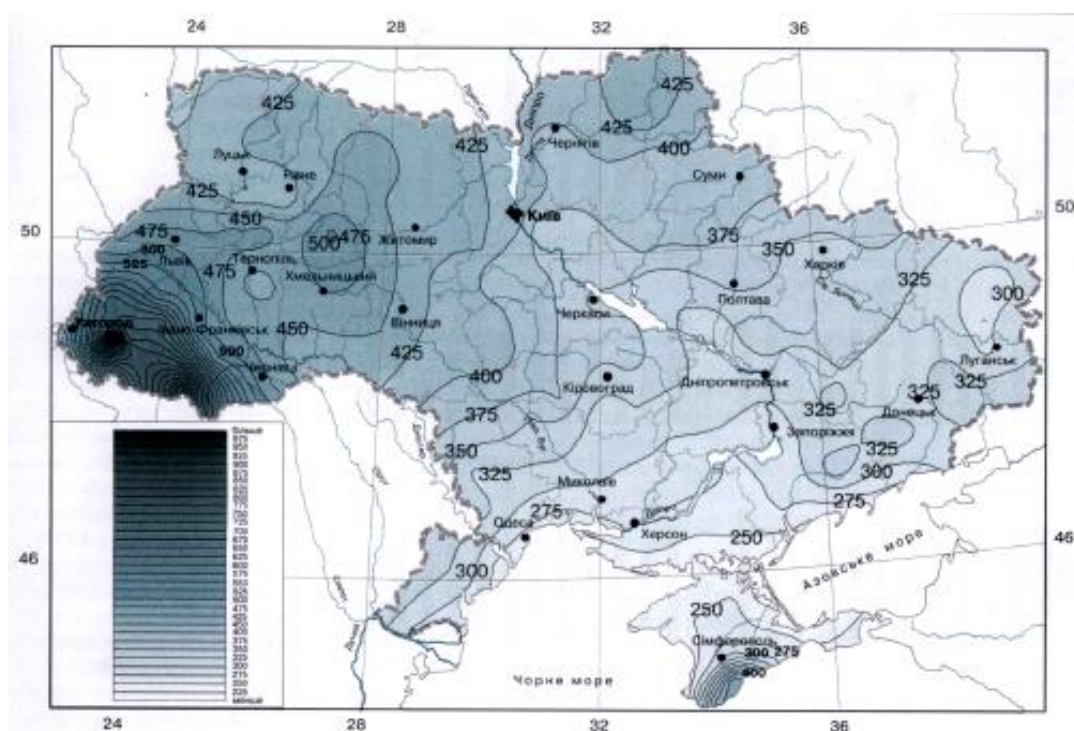


Рис. 3.8 – Середня кількість опадів за теплий період, мм [5]

Максимальна кількість опадів спостерігалася і буде спостерігатися на Західній Україні, особливо над територією Карпатських, а також Кримських гір. Східна, центральна та північна частини країни відносяться до середнього рівня зволоження, а південь в свою чергу відноситься до районів з недостатнім зволоженням.

Провівши дослідження можна зробити висновок про те, що кількість опадів в теплий період зменшалася и продовжує зменшуватися. Так, у Карпатах кількість опадів зменшилася більш ніж удвічі, з 900 мм за теплий період може знизитися к 2020 року до 414 мм. У північній і південній частині країни також знизиться удвічі до 2020 року (з 400 мм до 200 мм), у південній та східній кількість опадів знизиться з 300 мм до 100 мм. У подальшому, опираючись на дані кліматичного сценарію РТК8.5 кількість опадів буде збільшуватись, а потім знов зменшуватися.

Таким чином, з 2020 року по 2025 рік кількість опадів у центральній частині збільшиться на 25%, у Кримських горах та східних областях кількість опадів зменшиться у середньому на 45%, а у Карпатських горах та південних, західних областях кількість опадів майже не зміниться. З 2025 року по 2030 рік кількість опадів у центральних, східних областях та Карпатських горах кількість опадів знизиться на 20% та 5% відповідно, а південних, східних, західних областях та Кримських горах зросте на 25%. З 2030 року по 2035 рік кількість опадів знизиться на усій території України у середньому на 30%. З 2035 року по 2040 рік кількість опадів у Кримських горах та південних областях збільшиться на 40%, у західних областях зменшиться на 30%, а у північних, центральних та східних областях кількість опадів не зміниться. З 2040 року по 2045 рік у західних областях кількість опадів збільшиться на 20%, у північних та центральних областях збільшиться на 150%, а у південних та східних областях кількість опадів не зміниться. З 2045 року по 2050 рік по усій території України, окрім східних областей кількість опадів зменшиться: у Карпатських горах збільшиться на 75%, західних – 10%, північних та центральних – 50%, південних – 25%, а у східних збільшиться на 25%.



### 3.2 Тренди майбутніх змін місячних сум опадів

Для оцінки тенденцій змін опадів по окремим пунктам і місяцям відібрані дані інтенсивності опадів за кожний місяць досліджуваного періоду. Джерелом були дані кліматичного прогнозування проекту CORDEX EUR-44, які були отримані за допомогою веб-сервісу Climate Explorer (<http://climexp.knmi.nl>). Далі ці дані були переведені у суми кількості опадів за місяці теплого сезону та теплий сезон у цілому. На основі цих даних були побудовані графіки часового ходу кількості опадів (Додаток Б, рис. Б.1-Б.40), таким чином були виявлені тенденції до зміни кількості опадів.

Графік часового ходу кількості опадів у **червні** (рис. Б.1) у місті **Дніпро** матиме декілька максимумів кількості опадів у 2022, 2024 та 2036 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 109,8 мм, 99,6 мм, 103,6 мм та 119,1 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2021 та 2026 роках та складатимуть 12,5 мм та 14,9 мм. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 50,7 мм, а наприкінці 43,4 мм, таким чином очікується загальне зменшення кількості опадів у Дніпрі у червні на 7,3 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **липні** (рис. Б.2) у місті Дніпро матиме декілька максимумів кількості опадів у 2031 та 2040 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 107,5 мм та 138,2 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2023, 2029, 2034, 2037, 2039 та 2048 роках та складатимуть 18,3 мм, 22,5 мм, 13,1 мм, 21,6 мм, 20,9 мм та 27,0 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 32,4 мм, а наприкінці 48,1 мм, таким чином очікується загальне збільшення кількості опадів у Дніпрі у липні на 15,7 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **серпні** (рис. Б.3) у місті Дніпро матиме декілька максимумів кількості опадів у 2025, 2027, 2032, 2042 та 2046 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 92,6 мм, 107,5 мм, 86,8 мм, 72,2 мм та 72,0 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2021, 2023, 2029, 2031, 2040, 2047, 2048 та 2050 роках та складатимуть 6,7 мм, 1,8 мм, 13,8 мм, 8,8 мм, 7,0 мм, 11,3 мм, 9,3 мм та 6,5 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду



становитиме 32,3, а наприкінці 18,0, таким очікується загальне зменшення кількості опадів у Дніпрі у серпні на 14,3 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **теплий період** (рис. Б.4) у місті Дніпро матиме декілька максимумів кількості опадів у 2024, 2027, 2032, 2036, 2040, 2044 та 2046 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 199,5 мм, 225,3 мм, 248,4 мм, 210,8 мм, 191,4 мм, 221,2 мм та 175,7 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2021 та 2026 роках та складатимуть 92,3 мм та 100,1 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 115,3 мм, а наприкінці 109,3 мм, таким чином очікується загальне зменшення кількості опадів у Дніпрі за теплий період на 6,0 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **червні** (рис. Б.5) у місті **Донецьк** матиме декілька максимумів кількості опадів у 2033, 2036, 2038 та 2049 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 117,9 мм, 199,1 мм, 131,7 мм та 131,4 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2021, 2026, 2046 та 2050 роках та складатимуть 36,5 мм, 31,4 мм, 34,1 мм та 23,8 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 59,6 мм, а наприкінці 60,8 мм, таким чином очікується загальне збільшення кількості опадів у Донецьку на 1,2 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **липні** (рис. Б.6) у місті **Донецьк** матиме декілька максимумів кількості опадів у 2021, 2030, 2032, 2036, 2040 та 2044 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 100,9 мм, 109,5 мм, 164,5 мм, 110,1 мм, 175,7 мм та 133,5 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2022, 2039 та 2046 роках та складатимуть 17,3 мм, 15,4 мм та 14,3 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 50,3 мм, а наприкінці 56,4 мм, таким чином очікується загальне збільшення кількості опадів у Донецьку у липні на 6,1 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **серпні** (рис. Б.7) у місті **Донецьку** матиме декілька максимумів кількості опадів у 2025, 2032, 2041 та 2044 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 117,6 мм, 71,5 мм, 69,1 мм та 87,0 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2021, 2023, 2029, 2038, 2040 та 2048 роках та складатимуть 8,5 мм, 12,4 мм, 7,1 мм, 4,6 мм, 12,7 мм та 11,6 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 37,0

мм, а наприкінці 34,1 мм, таким чином очікується загальне зменшення кількості опадів у Донецьку у серпні на 2,9 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **теплий період** (рис. Б.8) у місті Донецьк матиме декілька максимумів кількості опадів у 2024, 2027, 2032, 2036 та 2044 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 204,3 мм, 246,5 мм, 285,1 мм, 334,2 мм та 303,6 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2020, 2026, 2034, 2039, 2046, 2048 та 2050 роках та складатимуть 129,9 мм, 121,4 мм, 114,1 мм, 103,5 мм, 91,4 мм та 107,2 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 147,0 мм, а наприкінці 151,3 мм, таким чином очікується загальне збільшення кількості опадів у Донецьку у теплий період на 4,3 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **червні** (рис. Б.9) у місті **Вінниця** матиме декілька максимумів кількості опадів у 2023, 2036, 2043 та 2048 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 135,3 мм, 142,7 мм, 138,9 мм та 159,6 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2020, 2026, 2029, 2037 та 2046 роках та складатимуть 80,7 мм, 50,3 мм, 53,9 мм, 43,6 мм та 29,2 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 88,1 мм, а наприкінці 71,9 мм, таким чином очікується загальне зменшення кількості опадів у Вінниці у червні на 16,2 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **липні** (рис. Б.10) у місті Вінниця матиме декілька максимумів кількості опадів у 2024, 2025, 2032 та 2041 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 144,7 мм, 145,9 мм, 153,6 мм та 121,2 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2026, 2034 та 2039 роках та складатимуть 27,4 мм, 25,0 мм та 11,4 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 100,9 мм, а наприкінці 87,4 мм, таким чином очікується загальне зменшення кількості опадів у Вінниці у липні на 13,5 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **серпні** (рис. Б.11) у місті Вінниця матиме декілька максимумів кількості опадів у 2024, 2026, 2032 та 2042 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 104,9 мм, 118,1 мм, 119,8 мм та 105,8 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2023, 2036, 2038 та 2045 роках та складатимуть 23,3 мм, 25,8 мм, 7,7 мм та 13,0 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів

на початку періоду становитиме 59,8 мм, а наприкінці 27,2 мм, таким чином очікується загальне зменшення кількості опадів у Вінниці у серпні на 32,6 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **теплий період** (рис. Б.12) у місті Вінниця матиме декілька максимумів кількості опадів у 2024, 2032 та 2043 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 372,9 мм, 373,9 мм та 298,0 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2034, 2037, 203з, 2045 та 2049 роках та складатимуть 169,9 мм, 160,2 мм, 158,5 мм, 143,0 мм та 153,6 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 248,6 мм, а наприкінці 177,2 мм, таким чином очікується загальне зменшення кількості опадів у Вінниці у теплий період на 71,4 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **червні** (рис. Б.13) у місті **Запоріжжі** матиме декілька максимумів кількості опадів у 2025, 2036, 2038, 2041 та 2047 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 52,4 мм, 51,3 мм, 87,2 мм, 63,2 мм та 39,2 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2021, 2026, 2028, 2040, 2046 та 2050 роках та складатимуть 10,6 мм, 16,4 мм, 18,0 мм, 10,5 мм, 5,9 мм та 6,7 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 23,5 мм, а наприкінці 17,6 мм, таким чином очікується загальне зменшення кількості опадів у Запоріжжі у червні на 5,9 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **липні** (рис. Б.14) у місті Запоріжжя матиме декілька максимумів кількості опадів у 2021, 2030, 2040 та 2044 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 69,2 мм, 85,6 мм, 70,0 мм та 198,3 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2020, 2022, 2034 та 2037 роках та складатимуть 6,5 мм, 5,5 мм, 2,9 мм та 2,6 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 31,3 мм, а наприкінці 35,2 мм, таким чином очікується загальне збільшення кількості опадів у Запоріжжі у липні на 13,9 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **серпні** (рис. Б.15) у місті Запоріжжя матиме декілька максимумів кількості опадів у 2025, 2032, 2042 та 2045 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 59,5 мм, 45,8 мм, 50,3 мм та 99,8 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2021, 2023, 2031, 2038 та 2047 роках та складатимуть 2,4 мм,

0,8 мм, 2,0 мм, 0,6 мм та 6,8 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 15,7 мм, а наприкінці 24,0 мм, таким чином очікується загальне збільшення кількості опадів у Запоріжжі у серпні на 8,3 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **теплий період** (рис. Б.16) у місті Запоріжжя матиме лише один максимум кількості опадів у 2044 році та йому чисельно дорівнює 278,4 мм. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2026, 2034, 2037, 2046 та 2048 роках та складатимуть 49,2 мм, 48,7 мм, 44, 6 мм, 40,0 мм та 35,6 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 60,6 мм, а наприкінці 76,9 мм, таким чином очікується загальне збільшення кількості опадів у Запоріжжі у теплий період на 16,3 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **червні** (рис. Б.17) у місті **Кропивницький** матиме декілька максимумів кількості опадів у 2022, 2024, 2027, 2033, 2036, 2041, 2043 та 2048 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 141,6 мм, 124,7 мм, 130,6 мм, 127,5 мм, 154,8 мм, 102,7 мм, 103,4 мм та 93,4 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2021, 2026, 2031, 2042 та 2049 роках та складатимуть 7,1 мм, 23,9 мм, 48,6 мм, 47,8 мм та 46,2 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 71,7 мм, а наприкінці 57,7 мм, таким чином очікується загальне зменшення кількості опадів у Кропивницькому у червні на 14,0 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **липні** (рис. Б.18) у місті Кропивницькому матиме декілька максимумів кількості опадів у 2031, 2036 та 2038 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 131,3 мм, 101,1 мм та 149,6 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2039, 2034 та 2037 роках та складатимуть 22,9 мм, 12,3 мм та 27,7 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 53,2 мм, а наприкінці 76,9 мм, таким чином очікується загальне збільшення кількості опадів у Кропивницькому у липні на 23,7 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **серпні** (рис. Б.19) у місті Кропивницькому матиме декілька максимумів кількості опадів у 2025, 2027, 2032, 2039 2042 та 2046 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 116,9 мм, 109,1 мм, 91,0 мм, 107,7 мм, 76,9 мм та 76,3 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2023, 2031, 2036, 2038 та

2045 роках та складатимуть 10,4 мм, 12,9 мм, 15,1 мм, 16,3 мм та 3,0 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 49,4 мм, а наприкінці 19,2 мм, таким чином очікується загальне зменшення кількості опадів у Кропивницькому у серпні на 30,2 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **теплий період** (рис. Б.20) у місті Кропивницький матиме декілька максимумів кількості опадів у 2024, 2027, 2032, 2036 та 2038 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 288,8 мм, 272,8 мм, 288,4 мм, 270,9 мм та 235,0 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2021, 2030, 2034, 2037 та 2050 роках та складатимуть 90,3 мм, 153,2 мм, 139,0 мм, 132,2 мм та 122,0 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 174,3 мм, а наприкінці 153,8 мм, таким чином очікується загальне зменшення кількості опадів у Кропивницькому у теплий період на 20,5 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **червні** (рис. Б.21) у місті **Одеса** матиме декілька максимумів кількості опадів у 2022, 2034 та 2041 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 84,0 мм, 60,8 мм та 70,4 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2020, 2031, 2039, 2048 та 2050 роках та складатимуть 4,8 мм, 6,2 мм, 7,9 мм, 6,5 мм та 5,9 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 23,1 мм, а наприкінці 23,8 мм, таким чином очікується загальне збільшення кількості опадів у Одесі у червні на 0,7 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **липні** (рис. Б.22) у місті Одеса матиме декілька максимумів кількості опадів у 2021, 2031, 2038, 2040, 2043 та 2047 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 41,1 мм, 47,2 мм, 43,5 мм, 56,7 мм, 57,7 мм та 54,8 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2026, 2030, 2034, 2037, 2039 та 2048 роках та складатимуть 4,7 мм, 4,5 мм, 1,3 мм, 3,4 мм, 9,1 мм та 3,7 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 20,4 мм, а наприкінці 30,9 мм, таким чином очікується загальне збільшення кількості опадів у Одесі і липні на 10,5 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **серпні** (рис. Б.23) у місті Одеса матиме декілька максимумів кількості опадів у 2025, 2027, 2032, 2039, 2042 та 2049 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 125,0 мм, 74,2 мм, 82,0 мм, 69,1 мм, 72,4 мм та 73,6 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів

будуть спостерігатися у 2021, 2023, 2028, 2031, 2038 та 2045 роках та складатимуть 1,3 мм, 4,0 мм, 8,5 мм, 9,2 мм, 8,6 мм та 3,0 відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 33,8 мм, а наприкінці 36,9 мм, таким чином очікується загальне збільшення кількості опадів у Одесі у серпні на 3,1 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **теплий період** (рис. Б.24) у місті Одеса матиме декілька максимумів кількості опадів у 2025, 2027, 2032, 2042, 2047 та 2049 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 199,8 мм, 133,3 мм, 117,4 мм, 133,9 мм, 130,6 мм та 139,1 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2023, 2026, 2028, 2045 та 2050 роках та складатимуть 38,7 мм, 38,3 мм, 34,6 мм, 46,6 мм та 45,4 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 77,4 мм, а наприкінці 91,6 мм, таким чином очікується загальне збільшення кількості опадів у Одесі у теплий період на 14,2 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **червні** (рис. Б.25) у місті **Миколаїв** матиме декілька максимумів кількості опадів у 2022, 2033, 2038, 2041 та 2047 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 104,6 мм, 65,2 мм, 66,8 мм, 64,2 мм та 63,8 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2021, 2026, 2028, 2039, 2048 та 2050 роках та складатимуть 9,2 мм, 10,8 мм, 12,2 мм, 12,4 мм, 9,6 мм та 6,7 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 30,5 мм, а наприкінці 25,3 мм, таким чином очікується загальне зменшення кількості опадів у Миколаєві у червні на 5,2 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **липні** (рис. Б.26) у місті Миколаїв матиме декілька максимумів кількості опадів у 2031, 2040, 2043 та 2047 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 59,9 мм, 56,4 мм, 64,8 мм та 48,4 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2030, 2034 та 2037 роках та складатимуть 7,2 мм, 2,5 мм та 11,0 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 22,9 мм, а наприкінці 34,0 мм, таким чином очікується загальне збільшення кількості опадів у Миколаєві у липні на 10,9 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **серпні** (рис. Б.27) у місті Миколаїв матиме декілька максимумів кількості опадів у 2025, 2027, 2032, 2039 та 2042 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 107,2 мм, 92,7 мм, 109,1 мм, 62,2 мм та 73,6 мм відповідно. Мінімальні значення кількості

опадів будуть спостерігатися у 2023, 2028, 2031, 2038 та 2045 роках та складатимуть 6,9 мм, 15,0 мм, 13,6 мм, 1,4 мм та 1,1 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 34,2 мм, а наприкінці 15,4 мм, таким чином очікується загальне збільшення кількості опадів у Миколаєві у серпні на 18,8 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **теплий період** (рис. Б.28) у місті Миколаїв матиме декілька максимумів кількості опадів у 2022, 2025, 2027, 2032 та 2040 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 123,8 мм, 184,5 мм, 182,1 мм та 153,2 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2021, 2023, 2026, 2028, 2048 та 2050 роках та складатимуть 54,4 мм, 62,7 мм, 49,7 мм та 38,2 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 87,7 мм, а наприкінці 74,6 мм, таким чином очікується загальне зменшення кількості опадів у Миколаєві у теплий період на 13,1 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **червні** (рис. Б.29) у місті **Сімферополь** матиме декілька максимумів кількості опадів у 2029, 2037, 2041 та 2047 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 43,6 мм, 69,7 мм, 98,4 мм та 52,4 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2024, 2028, 2032, 2035, 2046 та 2050 роках та складатимуть 2,0 мм, 6,8 мм, 6,3 мм, 3,7 мм, 7,8 мм та 3,1 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 3,8 мм, а наприкінці 23,2 мм, таким чином очікується загальне збільшення кількості опадів у Сімферополі у червні на 19,4 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **липні** (рис. Б.30) у місті Сімферополь матиме декілька максимумів кількості опадів у 2027, 2031, 2040, 2044 та 2047 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 35,4 мм, 49,0 мм, 59,7 мм, 45,3 мм та 60,8 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2023, 2033, 2037, 2039, 2042 та 2048 роках та складатимуть 0,2 мм, 2,4 мм, 0,4 мм, 3,4 мм, 5,0 мм та 0,8 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 12,3 мм, а наприкінці 22,0 мм, таким чином очікується загальне збільшення кількості опадів у Сімферополі у липні на 9,7 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **серпні** (рис. Б.31) у місті Сімферополь матиме декілька максимумів кількості опадів у 2025, 2027, 2035, 2039, 2042, 2045 та 2049 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 41,0

мм, 52,3 мм, 47,8 мм, 56,6 мм, 46,7 мм, 55,2 мм та 68,1 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2021, 2028, 2033, 2036 та 2038 роках та складатимуть 0,4 мм, 1,7 мм, 2,8 мм, 4,3 мм та 2,3 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 10,4 мм, а наприкінці 33,0 мм, таким чином очікується загальне збільшення кількості опадів у Сімферополі у серпні на 22,6 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **теплий період** (рис. Б.32) у місті Сімферополь матиме декілька максимумів кількості опадів у 2027, 2037, 2041, 2047 та 2049 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 115,6 мм, 103,7 мм, 137,4 мм, 129,6 мм та 119,2 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2023, 2033, 2046 та 2048 роках та складатимуть 15,9 мм, 28,5 мм, 38,3 мм та 35,3 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 26,6 мм, а наприкінці 79,1 мм, таким чином очікується загальне збільшення кількості опадів у Сімферополі у теплий період на 52,5 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **червні** (рис. Б.33) у місті **Херсон** матиме декілька максимумів кількості опадів у 2022, 2034 та 2041 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 86,8 мм, 62,9 мм та 72,7 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2020, 2028, 2031, 2036, 2039, 2046, 2048 та 2050 роках та складатимуть 5,0 мм, 9,7 мм, 6,4 мм, 12,8 мм, 8,2 мм, 11,9 мм, 6,7 мм та 6,1 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 23,9 мм, а наприкінці 24,6 мм, таким чином очікується загальне зменшення кількості опадів у Херсоні у червні на 0,7 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **липні** (рис. Б.34) у місті Херсон матиме декілька максимумів кількості опадів у 2021, 2031, 2038, 2040, 2043 та 2047 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 41,1 мм, 47,2 мм, 43,5 мм, 56,7 мм, 57,7 мм та 54,8 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2026, 2030, 2034, 2037 та 2048 роках та складатимуть 4,7 мм, 4,5 мм, 1,3 мм, 3,4 мм та 3,7 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 20,4 мм, а наприкінці 30,9 мм, таким чином очікується загальне збільшення кількості опадів у Херсоні у липні на 10,5 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **серпні** (рис. Б.35) у місті Херсон матиме декілька максимумів кількості опадів у 2025, 2027, 2032,



2039, 2042 та 2049 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 125,0 мм, 134,3 мм, 69,1 мм, 72,4 мм та 73,6 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2021, 2023, 2028, 2031, 2038 та 2045 роках та складатимуть 51,3 мм, 39,5 мм, 34,9 мм, 62,8 мм, 87,3 мм та 47,5 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 33,8 мм, а наприкінці 36,9 мм, таким чином очікується загальне збільшення кількості опадів у Херсоні у серпні на 3,1 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **теплий період** (рис. Б.36) у місті Херсон матиме декілька максимумів кількості опадів у 2025, 2027, 2042, 2047 та 2049 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 201,4 мм, 134,3 мм, 134,9 мм, 132,2 мм та 140,4 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2023, 2026, 2028, 2045 та 2050 роках та складатимуть 39,5 мм, 38,7 мм, 34,9 мм, 47,5 мм та 45,6 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 78,2 мм, а наприкінці 92,4 мм, таким чином очікується загальне збільшення кількості опадів у Херсоні у теплий період на 14,2 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **червні** (рис. Б.37) у місті **Черкаси** матиме декілька максимумів кількості опадів у 2022, 2027, 2036 та 2044 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 101,9 мм, 75,9 мм, 94,5 мм та 73,7 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2021, 2028 та 2031 та складатимуть 11,5 мм, 14,1 мм та 6,9 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 49,6 мм, а наприкінці 43,5 мм, таким чином очікується загальне зменшення кількості опадів у Черкасах у червні на 6,1 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **липні** (рис. Б.38) у місті Черкасах матиме декілька максимумів кількості опадів у 2025, 2038 та 2043 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 128,1 мм, 83,8 мм та 86,1 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2026, 2034, 2037, 2048 та 2050 роках та складатимуть 7,8 мм, 7,1 мм, 12,4 мм, 5,9 мм та 14,9 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 48,8 мм, а наприкінці 53,3 мм, таким чином очікується загальне збільшення кількості опадів у Черкасах у липні на 4,5 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **серпні** (рис. Б.39) у місті Черкаси матиме декілька максимумів кількості опадів у 2025 та 2039 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 163,9 мм та 144,6 мм відповідно.

Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2023, 2038, 2045 та 2050 роках та складатимуть 2,5 мм, 0,8 мм, 5,0 мм та 4,3 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 44,1 мм, а наприкінці 23,7 мм, таким чином очікується загальне зменшення кількості опадів у Черкасах у серпні на 20,4 мм.

Графік часового ходу кількості опадів у **теплий період** (рис. Б.40) у місті Черкаси матиме декілька максимумів кількості опадів у 2025, 2027 та 2039 роках та вони чисельно дорівнюватимуть 313,2 мм, 203,9 мм та 245,6 мм відповідно. Мінімальні значення кількості опадів будуть спостерігатися у 2021, 2031, 2037, 2048 та 2050 роках та складатимуть 55,2 мм, 66,9 мм 78,3 мм, 78,4 мм та 81,9 мм відповідно. За поліміальним трендом кількість опадів на початку періоду становитиме 142,5 мм, а наприкінці 120,6 мм, таким чином очікується загальне зменшення кількості опадів у Черкасах у теплий період на 21,9 мм.

Аналіз графіків часового ходу і поліноміальних трендів кількості опадів за теплий період по окремих обласних центрах України показав, що в період з 2020 по 2050 рр. у Вінниці, Дніпрі, Кропивницькому, Миколаєві та Черкасах прогнозується зниження кількості опадів на 71 мм, 6 мм, 21 мм, 13 мм та 22 мм відповідно.

Навпаки, у Донецьку, Запоріжжі, Одесі, Сімферополі та Херсоні очікується збільшення кількості опадів на 4 мм, 16 мм, 15 мм, 53 мм та 14 мм відповідно. Також з поліміальних трендів видно, кількість опадів майже по усім пунктам у середині досліджуваного періоду (2030-2038рр.) спостерігається ріст кількості опадів, після ж цього періоду кількість опадів знов знижується до 2050 року.

На протязі досліджуваного періоду кількість опадів у досліджуваних змінюється нерівномірно у часі та просторі. Таким чином, у Дніпрі, Вінниці, Кропивницькому, Миколаєві та Черкасах кількість опадів за теплий період зросте на 5%, 29%, 12%,15% та 15% відповідно, в порівнянні з початком досліджуваного періоду. А у Донецьку, Запоріжжі, Одесі, Сімферополі та Херсоні кількість опадів у теплий період зменшиться на 3%, 27%, 18%, 197% та 18% відповідно, порівнюючи з початком періоду.

В порівнянні з кліматичною нормою кількість опадів у теплий період наприкінці досліджуваного періоду зменшиться лише у Дніпрі на 85%, а у Донецьку, Вінниці, Запоріжжі, Кропивницькому, Одесі, Миколаєві,

Сімферополі, Херсоні та Черкасах кількість опадів у теплий період збільшиться на 1%, 27%, 48%, 17%, 31%, 51%, 50%, 29% та 40% відповідно.

Підсумовуючи аналіз трендів кількості опадів по всіх розглянутих пунктах (рис. 3.9), зазначимо, що найменші зміни виражені у червні (1-16 мм), за винятком Вінниці, Сімферополя та Черкас, де найменші зміни очікуються у липні (5-13 мм).

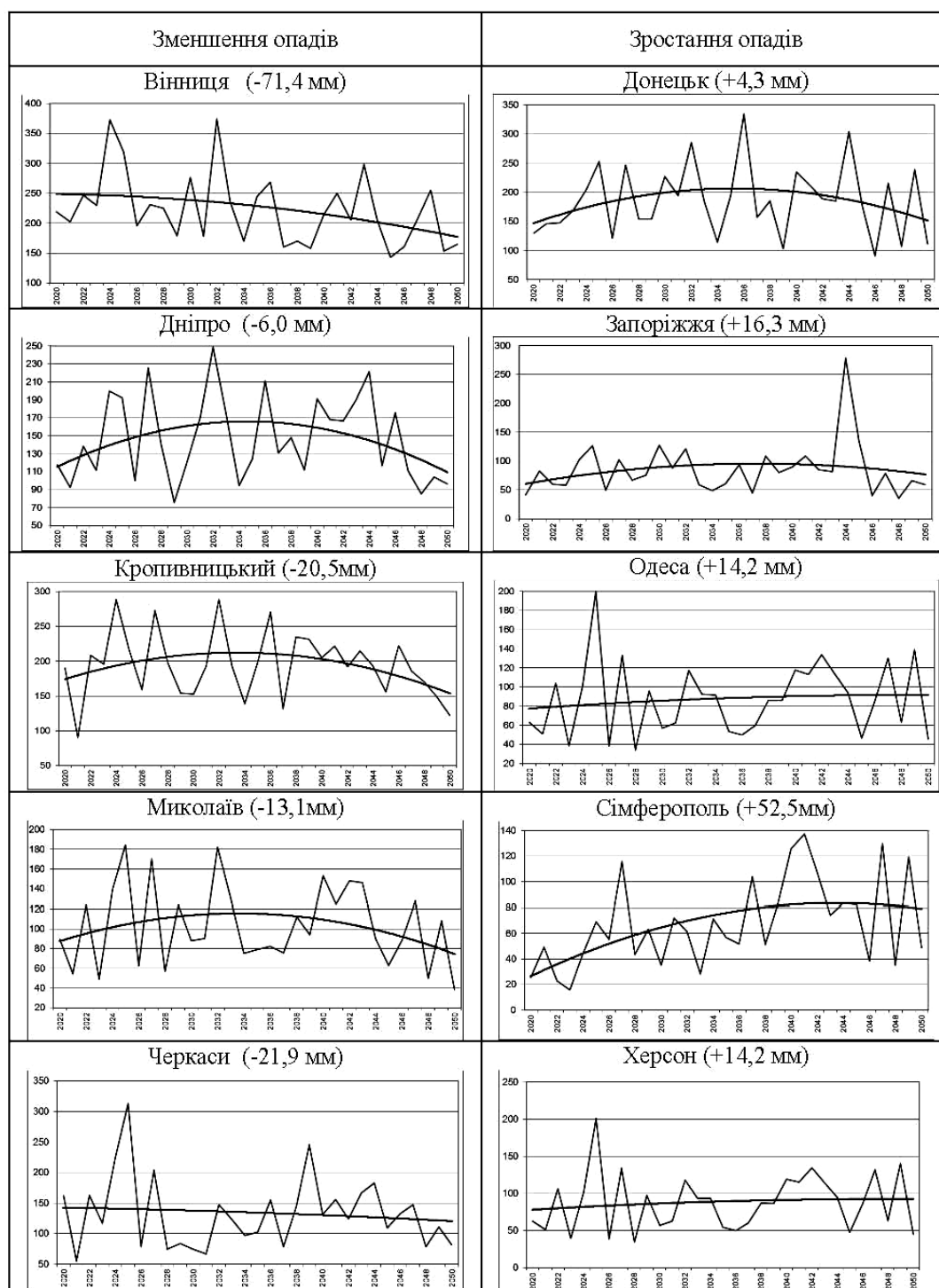


Рис. 3.9 – Графіки часового ходу кількості сум опадів по станціях України в літній період 2020-2050 рр. (з поліноміальним трендом)

Найбільш виражені тенденції у опадах очікуються у Дніпрі, Донецьку, Запоріжжі, Одесі та Херсоні у липні (6-16 мм), а у Вінниці, Кропивницькому, Миколаєві, Сімферополі та Черкасах - у серпні (19-33 мм). Максимальні зміни кількості опадів протягом періоду дослідження очікуються у Вінниці та Сімферополі.

Далі була проведена оцінка значущості трендів, за для виявлення достовірних графіків часового ходу кількості опадів. При оцінці тренду найбільш важливим є оцінка його значущості, тобто наскільки важливим є його внесок в мінливість випадкового процесу. Будемо для цієї мети використовувати критерій Стьюдента. Так, при оцінці значущості лінійного тренду записується нульова гіпотеза стосовно коефіцієнта регресії і коефіцієнта кореляції  $r$ . Для перевірки гіпотез значущості коефіцієнта лінійного тренду розраховується критерій Стьюдента  $t$  [18]:

$$t = \frac{|r|\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (3.1)$$

де  $r$  – коефіцієнт кореляції;

$n$  – об'єм вибірки;

$n-2$  – кількість ступенів свободи при заданому рівні значущості.

Тренд вважається значущим, якщо оцінки критерію Стьюдента перевищують його критичне значення при заданому рівні значущості, тобто  $t > t_{кр}(\alpha, \nu=n-2)$ . В нашому дослідженні використаний рівень значущості  $\alpha=0,05$ . При оцінці значущості нелінійного тренду розраховується кореляційне відношення  $r$ , а потім здійснюється перевірка нульової гіпотези як коефіцієнта кореляції. За величиною коефіцієнта кореляції і кореляційного відношення легко визначити коефіцієнт детермінації  $R^2$ , що показує внесок тренду в опис дисперсії функції відгуку [15].

Результати розрахунків представлені у табл. 3.1, де зеленим кольором виділені випадки, коли тренд є значущим, а червоним – коли незначущим. Можна бачити, що з проаналізованих 40 трендів кількості опадів значущими

виявлено лише п'ять, тобто в перспективі до 2050 р. по Україні не очікується значної зміни кількості опадів.

Таблиця 3.1 – Оцінка трендів часового ходу прогнозованих опадів в літній сезон по станціях України за період 2020-2050 рр.

Місто	Період	n	R <sup>2</sup>	r	t	t <sub>кр</sub>	t-t <sub>кр</sub>
Дніпро	червень	30	0,1021	0,3195	1,78	2,05	-0,27
	липень		0,0578	0,2404	1,31		-0,74
	серпень		0,047	0,2168	1,18		-0,87
	червень-серпень		0,1373	0,3705	2,11		0,06
Донецьк	червень		0,0682	0,2612	1,43		-0,62
	липень		0,0363	0,1905	1,03		-1,02
	серпень		0,005	0,0707	0,38		-1,67
	червень-серпень		0,0951	0,3084	1,72		-0,33
Вінниця	червень		0,0321	0,1792	0,96		-1,09
	липень		0,0572	0,2392	1,30		-0,75
	серпень		0,1464	0,3826	2,19		0,14
	червень-серпень		0,1393	0,3732	2,13		0,08
Запоріжжя	червень		0,1019	0,3192	1,78		-0,27
	липень		0,016	0,1265	0,67		-1,38
	серпень		0,0153	0,1237	0,66		-1,39
	червень-серпень		0,0471	0,2170	1,18		-0,87
Кропивницький	червень		0,0681	0,2610	1,43		-0,62
	липень		0,0524	0,2289	1,24		-0,81
	серпень		0,1045	0,3233	1,81		-0,24
	червень-серпень		0,1236	0,3516	1,99		-0,06
Одеса	червень	0,0123	0,1109	0,59	-1,46		
	липень	0,0363	0,1905	1,03	-1,02		
	серпень	0,0011	0,0332	0,18	-1,87		
	червень-серпень	0,0138	0,1175	0,63	-1,42		
Миколаїв	червень	0,0558	0,2362	1,29	-0,76		
	липень	0,0495	0,2225	1,21	-0,84		
	серпень	0,0667	0,2583	1,41	-0,64		
	червень-серпень	0,0843	0,2903	1,61	-0,44		
Сімферополь	червень	0,1557	0,3946	2,27	0,22		
	липень	0,0342	0,1849	1,00	-1,05		
	серпень	0,1272	0,3567	2,02	-0,03		
	червень-серпень	0,2707	0,5203	3,22	1,17		
Херсон	червень	0,0123	0,1109	0,59	-1,46		
	липень	0,0363	0,1905	1,03	-1,02		
	серпень	0,0011	0,0332	0,18	-1,87		
	червень-серпень	0,0137	0,1170	0,62	-1,43		
Черкаси	червень	0,008	0,0894	0,48	-1,57		
	липень	0,007	0,0837	0,44	-1,61		
	серпень	0,0296	0,1720	0,92	-1,13		
	червень-серпень	0,0135	0,1162	0,62	-1,43		

## 4 ОЦІНКА ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ МАЙБУТНЬОГО РЕЖИМУ ОПАДІВ В РАМКАХ СЦЕНАРІЮ РТК8.5

### 4.1. Кліматичні індекси для оцінки екстремальності клімату

Для деталізації режиму майбутніх опадів в дослідженні проведений аналіз так званих кліматичних індексів екстремальності [19-20], які ґрунтуються на прогнозованих даних по опадах і надаються сервісом Climate Explorer.

а) Індекс *ALTCDD* (Maximum Number of Consecutive Days Per Year with Less Than 1 mm of Precipitation) – максимальна кількість послідовних днів у році з кількістю опадів менш ніж 1 мм ( $RR < 1$  мм). В загальному сенсі, цей індекс близькій до поняття бездошових періодів та їх тривалості [5].

б) Індекс *SDII* (Simple Precipitation Intensity Index) – простий індекс інтенсивності опадів

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W} \quad (4.1)$$

де  $RR_{wj}$  – денна кількість опадів у вологі дні  $w$  ( $RR \geq 1$  мм) у періоді  $j$ ;  
 $W$  – кількість вологих днів у періоді  $j$ .

в) Індекс *R95pTOT* (Annual total precipitation when daily precipitation is greater than the 95<sup>th</sup> percentile) – річна загальна сума опадів у дні, коли кількість опадів перевищувала 95-у процентіль. Порівняння в даному випадку ведеться з використанням даних кліматичного періоду 1961-1990 рр., за який обчислені значення 95-ї процентілі по опадах ( $R95p_j$ ) у дні з опадами ( $RR \geq 1$  мм). 95-а процентіль звичайно характеризує екстремальні значення тих чи інших метеорологічних величин, тому дослідження цього параметру дає змогу оцінити очікувані зміни у повторюваності небезпечних явищ, в даному випадку пов'язаних з опадами. Враховуючи, що найбільша інтенсивність притаманна конвективним опадам, які характерні переважно для теплого періоду року в Україні [5], можна вважати з високим ступенем

вірогідності, що річний індекс  $R95pTOT$  буде містити інформацію головним чином для літнього сезону, який розглядається в даному дослідженні.

#### 4.2. Аналіз трендів індексів екстремальності по опадах в регіонах України

Розглянемо часовий розподіл прогностичних індексів екстремальності по опадах, осереднених за чотирма районами, кожний з яких включав три області: район 1 – Одеська-Миколаївська-Кіровоградська; район 2 – Херсонська-Запорізька-Дніпропетровська; район 3 – Донецька-Луганська-Харківська; район 4 – Вінницька-Черкаська-Київська (південна половина) (рис. 4.1).



Рис. 4.1 – Райони України, на яких проводилися дослідження кліматичних індексів пов'язаних з опадами

Аналіз часового ходу індексу  $ALTCDD$  показує (рис. 4.2), що у районі 1 очікується максимальне значення індексу у 2044 р. (47 днів), а мінімальне – у 2039 р. (36 днів). У районі 2 максимальна тривалість сухого періоду буде

спостерігатися у 2045 р. (51 день), а мінімальна у 2025 р. (37 днів). У районі 3 індекс досягне максимуму у 2045 р. (37 днів), а мінімуму у 2026 році (29 днів). У районі 4 найбільша кількість послідовних сухих днів буде спостерігатися у 2045 р. (30 днів), а мінімальна – у 2025 р. (24 дні).

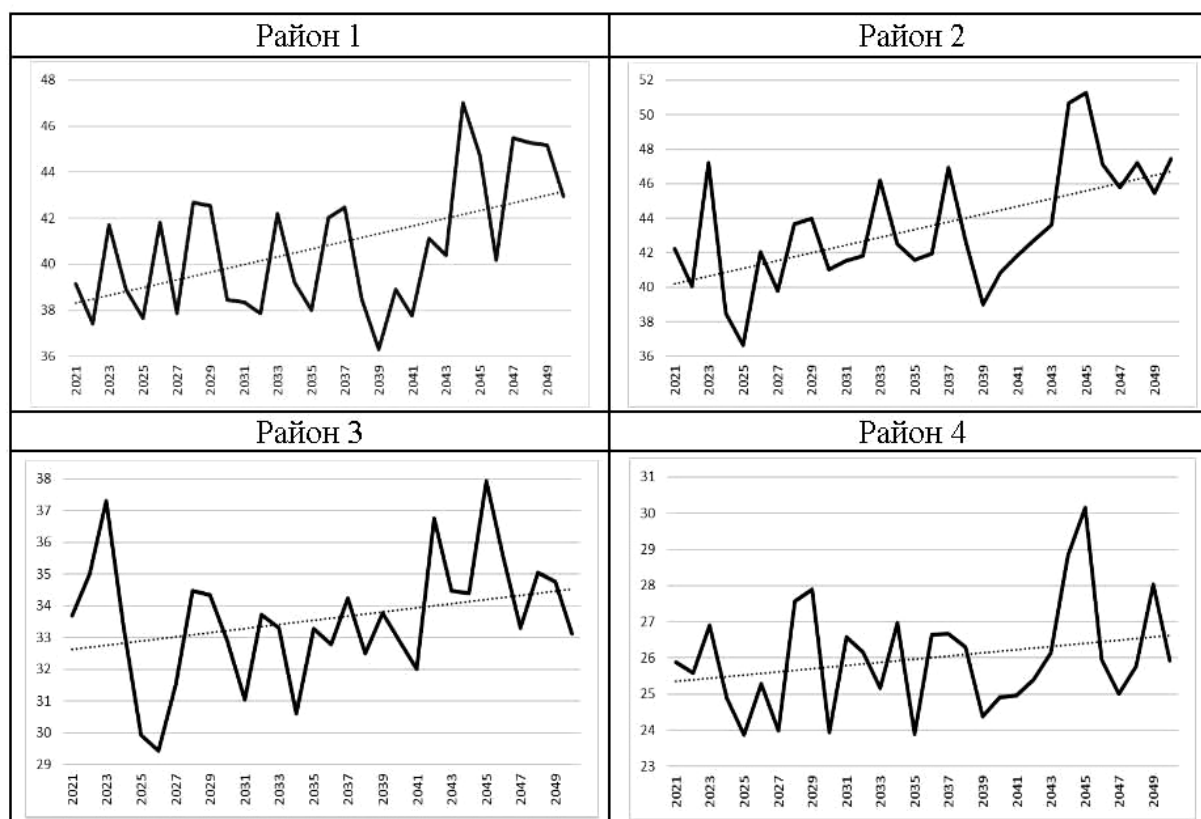


Рис. 4.2 – Часовий хід індексу *ALTCDD* (кількість днів на рік) за період 2021-2050 рр. (пряма – лінія тренду)

Загалом, найбільша середня тривалість безперервних сухих періодів прогнозується в районі 2 (43 дні) та 1 (41 день), а найменша у районі 4 (26 днів). Таким чином, у середині 2040-х років, коли очікується майже усюди зниження кількості опадів, безперервні посушливі періоди прогноуються найбільш тривалими.

Цей висновок також підтверджується даними лінійних трендів індексу *ALTCDD*, який демонструє зростання значень індексу по всіх районах, при цьому протягом 30 років прогнозована середня кількість днів в сухих періодах зросте від 1-2 днів в районах 1, 3 і 4 до 5 днів в районі 2.

Аналіз часового ходу інтенсивності прогнозованих опадів за допомогою індексу *SDII* показав (рис. 4.3), що по всіх районах інтенсивність



опадів коливається в невеликих межах і буде мати тенденцію до зростання протягом 30-річного періоду на 0,1-0,2 мм/день.

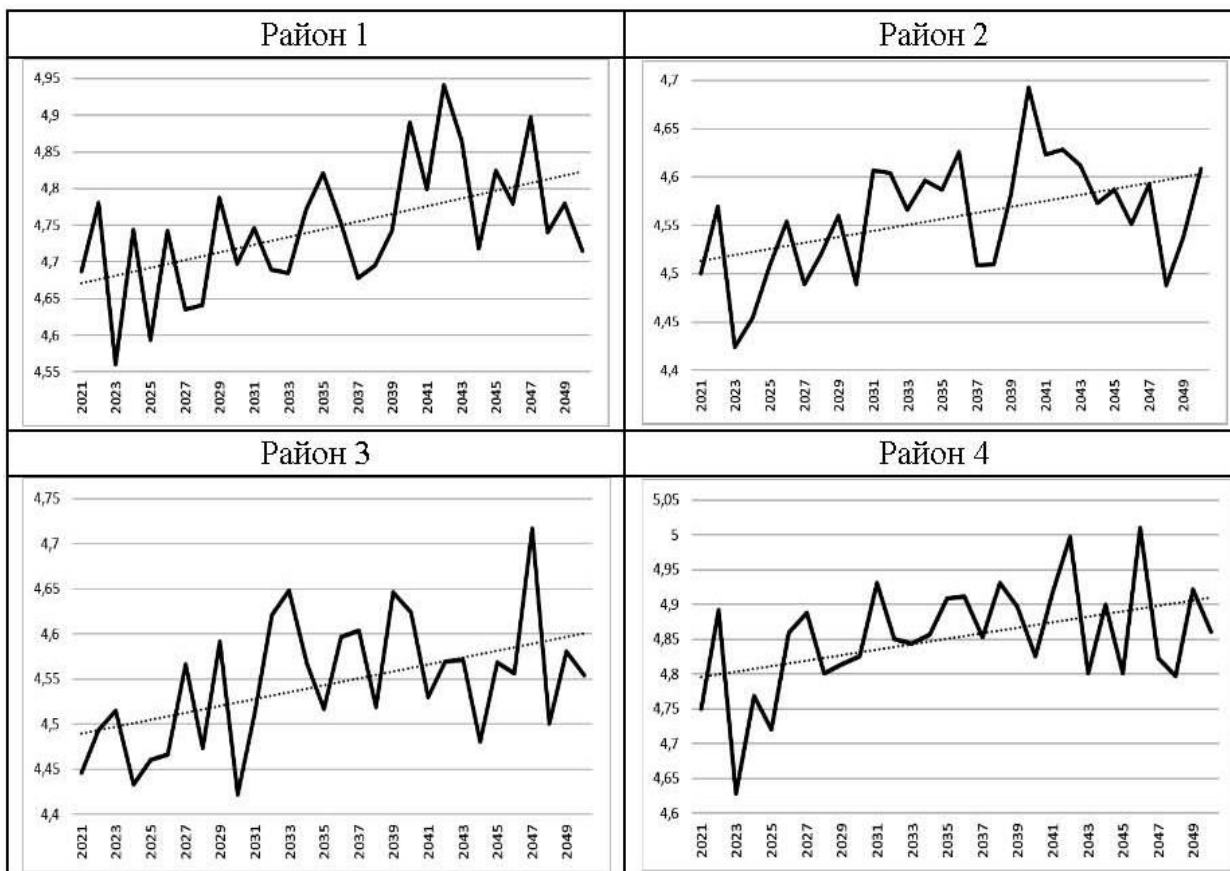


Рис. 4.3 – Часовий хід індексу *SDII* (мм/день) за період 2021-2050 рр. (пряма – лінія тренду)

Найбільша інтенсивність опадів спостерігатиметься у північних областях (район 4) – до 5 мм/день наприкінці періоду. Найменша інтенсивність опадів припадатиме на східні та південні області, з мінімальними показниками у районі 2 (до 4,7 мм/день). Слід зазначити, що в усіх районах максимум індексу *SDII* спостерігатиметься в 2040-х роках, в яких загалом, очікується зниження кількості опадів. Тобто, опади спостерігатимуться рідше, але з більшою інтенсивністю, що знижує їх ефективність.

Внаслідок зростання інтенсивності опадів, вочевидь, частіше спостерігатимуться й випадки екстремальних опадів, про що свідчать графіки часового ходу індексу *R95pTOT* (рис. 4.4). Можна бачити, що сумарна річна кількість екстремальних опадів прогнозується найбільшою в районах 1 та 4,

де вона коливатиметься в межах від 115 мм/рік на початку досліджуваного періоду до 150 мм/рік у період 2038-2039 рр.

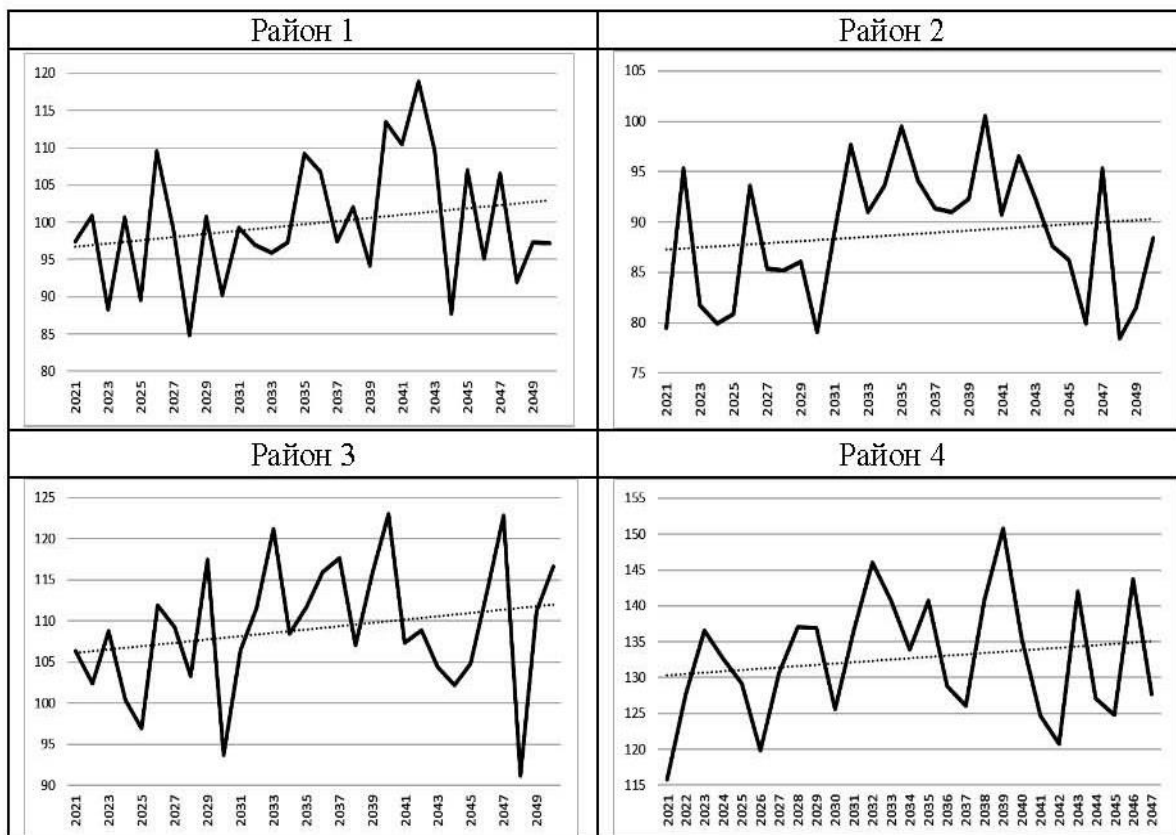


Рис. 4.4 – Часовий хід індексу  $R95pTOT$  (мм/рік) за період 2021-2050 рр. (пряма – лінія тренду)

Найменші показники індексу  $R95pTOT$  прогнозуються у районі 2, де сумарна річна кількість опадів коливатиметься в межах 80-100 мм/рік. На сході країни (район 3) значення індексу  $R95pTOT$  прогнозуються на рівні 91-124 мм/рік. В усіх районах спостерігатимуться досить різкі міжрічні коливання показників  $R95pTOT$ , при цьому за значеннями лінійного тренду зростання річних сум опадів становить від 3 до 5 мм за тридцятирічний період.

## ВИСНОВКИ

В даній магістерській кваліфікаційній роботі було виконано дослідження майбутньої просторово-часової мінливості опадів за 2020-2050 рр. за даними кліматичного моделювання в рамках жорсткого сценарію РТК8.5. Отримані такі основні результати.

1. Аналіз полів прогнозованих опадів за досліджуваний період показав, що кількість опадів в літній сезон буде зменшуватися майже по всій території України, але нерівномірно у часі та просторі. Так, від 2020 р. до 2030 р. кількість опадів у північних, центральних та західних майже не зміниться, у Криму та Карпатському регіоні зменшиться, а на півдні та сході зросте. Від 2030 р. до 2040 р. прогнозується зменшення кількості опадів на території усєї країни, окрім заходу, де вона майже не зміниться. Від 2040 р. до 2050 р. кількість опадів зростатиме на півночі, у центрі країни та на Кримському півострові. На півдні, заході, сході та в Карпатському регіоні очікується зниження кількості опадів.

2. Аналіз просторово-часового розподілу кількості прогнозованих опадів по території України показав, що в літній сезон очікуються різноманітні тенденції у кількості опадів в різних регіонах. Загалом, спостерігатиметься зростання кількості опадів в першій половині досліджуваного періоду і поступове її зниження наприкінці періоду. Але по окремих пунктах може спостерігатися як зменшення, так і зростання кількості опадів, хоча тренди виявилися переважно не значимими.

3. Структура кількості та інтенсивності опадів зберігатиметься неоднорідною, що відображають міжрічні коливання кліматичних індексів екстремальності опадів. В розглянутих районах України очікується зростання максимальної тривалості сухих періодів, при цьому інтенсивність опадів буде також зростати, що, в свою чергу, підвищує ймовірність виникнення значних опадів.

Таким чином, виконане дослідження показало, що в умовах жорсткого сценарію РТК8.5 клімат в Україні буде характеризуватися зростанням екстремальності у показниках опадів, наслідком чого може бути збільшення інтенсивності як посух, так й явищ, пов'язаних з надлишковими опадами.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Балабух В. О. Особливості синоптичних процесів, що зумовлюють небезпечні і стихійні опади у теплий період на території України [Текст] : дис... канд. геогр. наук: 11.00.09 / Укр. н.-д. гідрометеорол. ін-т. К., 2007. 270 с.
2. Барабаш М.Б., Корж Т.В., Татарчук О.Г. Дослідження змін та коливань опадів на рубежі ХХ і ХХІ ст. в умовах потепління глобального клімату // Наук. пр. УкрНДГМІ. 2004. Вип. 253. С. 92-102.
3. Врублевська О.О., Катеруша Г.П., Гончарова Л.Д. Климатология: підручник. Одеса: Вид-во "ТЭС", 2013. 332 с.
4. Врублевська О.О., Катеруша Г.П. Навчальний посібник з дисципліни «Клімат України та прикладні аспекти його використання». Одеса: ОДЕКУ, 2012. 180 с.
5. Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ: Видавництво Раєвського, 2003. 343 с.
6. Кульбіда М.І., Олійник З.Я., Паламарчук Л.В., Галицька Є.І. Аналіз режиму опадів на території України за десятиріччя 2002-2011 рр. / // Фізична географія та геоморфологія. 2013. Вип. 1. С. 127-138. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/fiz\\_geo\\_2013\\_1\\_17](http://nbuv.gov.ua/UJRN/fiz_geo_2013_1_17) (дата звернення 30.11.18).
7. Мартазинова В.Ф., Иванова Е.К., Щеглов К.К. Тенденции современного температурно-влажностного режима Украины к аномальности за счет атмосферных процессов в летний сезон // Наукові праці УкрНДГМІ, Вип. 268, 2016, С. 15-26. URL: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/index.shtml>. [http://uhmi.org.ua/pub/np/268/martazinova\\_ivanova\\_shcheghlov.pdf](http://uhmi.org.ua/pub/np/268/martazinova_ivanova_shcheghlov.pdf) (дата звернення: 27.09.2017).
8. МГЭИК, 2007: Изменение климата, 2007 г.: Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II и III в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата [Пачаури, Р.К., Райзингер, А., и основная группа авторов (ред.)]. МГЭИК, Женева, Швейцария, 104 с. URL: [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_ru.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_ru.pdf) (дата звернення 29.03.18).

9. МГЭИК, 2014 г. [Электронный ресурс]: Изменение климата, 2014 г.: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата / По ред. Т.Ф. Стокер и др. URL: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/index.shtml> (дата звернення: 27.09.2017).
10. Осадчий В. І., Бабіченко В. М. Динаміка стихійних метеорологічних явищ в Україні // Укр. геогр. журн. 2012. № 4. С. 8-14
11. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України // за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса: Екологія, 2011. 696 с. URL: [http://foodstuff.osenu.org.ua/wp-content/uploads/2014/04/04/Stepanenko\\_book.pdf](http://foodstuff.osenu.org.ua/wp-content/uploads/2014/04/04/Stepanenko_book.pdf) (дата звернення 10.09.18).
12. Степаненко С. М. Динаміка та моделювання клімату [Текст] : підруч. для студентів ВНЗ. Одеса: Екологія, 2013. 202 с.
13. Татарчук О.Г., Барабаш М.Б. Дослідження просторово-часового розподілу суховіїв на території України за умов сучасного клімату // Наук. пр. Укр. н.-д. гідрометеоролог. ін-ту. 2007. Вип. 256. С. 140-154.
14. Тенденції змін клімату України на початок XXI століття. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2000 році. Міністерство екології та природних ресурсів Київ: Видавництво Раєвського, 2001. 92 с.
15. Учебно-методический комплекс «Исторические и современные изменения климата» / М.А. Волкова, И.В. Кужевская. URL: [http://ggf.tsu.ru/content/faculty/structure/chair/meteorology/publications/Истор\\_и\\_совр\\_изменения\\_климата/index.html](http://ggf.tsu.ru/content/faculty/structure/chair/meteorology/publications/Истор_и_совр_изменения_климата/index.html) (дата звернення: 05.06.18).
16. Хохлов В.М., Єрмоленко Н.С. Майбутні зміни клімату та їх вплив на режим опадів та температури в Україні // Український гідрометеорологічний журнал. 2015. № 16. С. 76-82. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Uggj\\_2015\\_16\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Uggj_2015_16_12) (дата звернення 30.11.18).
17. Хохлов В.М., Бондаренко В.М., Латиш Л.Г. Просторовий розподіл аномалій опадів в Україні у 2011-2025 роках // Український гідрометеорологічний журнал. 2009. Вип. 5. С. 54–62. URL: <http://uhmj.odeku.edu.ua/uk/prostorovij-rozpodil-anomalij-opadiv-v-ukrayini-u-2011-2025-rokah/> (дата звернення 30.11.18).
18. Школьний Є. П. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: підручник. Одеса: ТЕС, 1999. 600 с.

19. Definitions of the core climate extreme indices. URL: <http://climate-scenarios.canada.ca/?page=climdex-indices> (дата звернення 03.10.2018 р.).
20. Sillmann, J., Kharin V.V., Zwiers F.W., Zhang X., Bronaugh D. Climate extremes indices in the CMIP5 multi-model ensemble. Part 2: Future projections // J. Geophys. Res., 2013. doi:10.1002/jgrd.50188.

## ДОДАТОК А

### ДОВІДКА

про апробацію результатів наукового дослідження  
Інтролігатор Олени Андріївни

на тему „Тенденції майбутніх змін у режимі опадів в Україні в теплий період  
2021-2050 рр.”

1. Результати магістерської кваліфікаційної роботи отримані в рамках науково-дослідної роботи кафедри метеорології та кліматології “Просторово-часова динаміка екстремальних погодних явищ в Україні за умови змін клімату” (2016-2019 рр., № ДР 0116U002403). Зроблений в роботі аналіз просторово-часового розподілу прогнозованих опадів та динаміки прогнозованих індексів екстремальності по опадах теплового сезону по Україні за період 2020-2050 рр. увійшли до звіту з НДР за 2018 рр.

2. Отримані в магістерській роботі результати були опубліковані в наукових статтях і тезисах конференцій:

- Інтролігатор О.А. Тенденції майбутніх змін у режимі опадів в Україні в теплий період 2020-2050 рр. // Тези доповіді наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ. 2018. С. 310
- Семенова І. Г., Інтролігатор О.А. Тенденції майбутніх змін у режимі опадів в Україні в літній період 2020-2050 рр. // Науковий збірник "Географія та туризм". 2018. Вип. 42 (у друці).
- Інтролігатор О.А. Майбутні тенденції екстремумів опадів в Україні на період до 2050 р. // Збірник наукових праць "Молоді науковці – географічній науці" 2018. С. 33

3. Наукова робота за тематикою магістерського дослідження була представлена на XIV Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених у 2018 р.

4. Наукова робота за тематикою магістерського дослідження була представлена у II турі Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт за спеціальністю Науки про Землю (гідрометеорологія) у 2018 р., де Інтролігатор О.А. посіла 7 місце.

Науковий керівник,  
д.геогр.н., професор

І.Г. Семенова





## ДОДАТОК Б

**Графіки часового ходу прогнозованої кількості опадів літнього сезону по станціях України за період 2020-2050 рр. в рамках кліматичного сценарію РТК8.5**

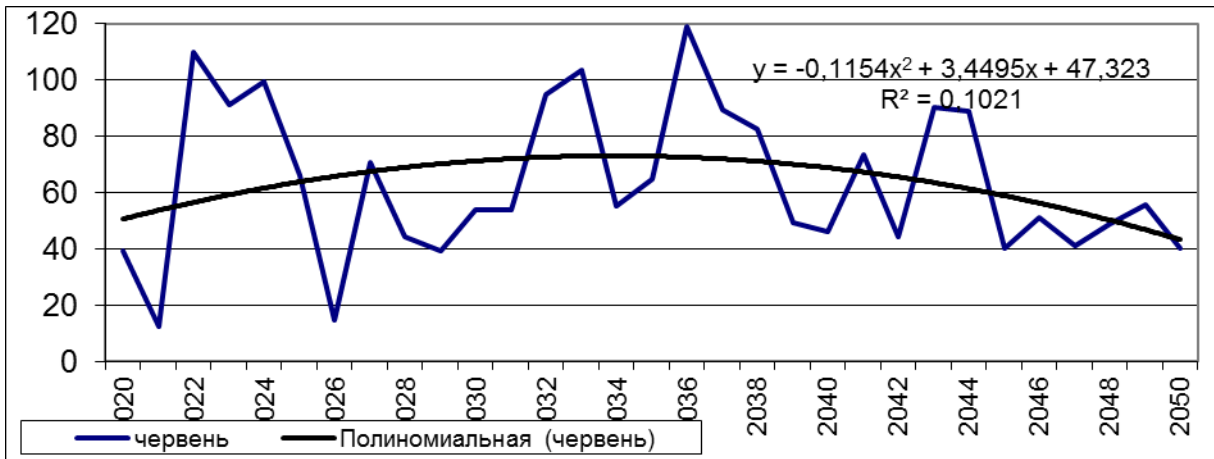


Рис. Б.1 - Графік часового ходу кількості опадів у червні у місті Дніпро



Рис. Б.2 - Графік часового ходу кількості опадів у липні у місті Дніпро



Рис. Б.3 - Графік часового ходу кількості опадів у серпні у місті Дніпро



Рис. Б.4 - Графік часового ходу кількості опадів у теплий період у місті Дніпро



Рис. Б.5 - Графік часового ходу кількості опадів у червні у місті Донецьк



Рис. Б.6 - Графік часового ходу кількості опадів у липні у місті Донецьк



Рис. Б.7 - Графік часового ходу кількості опадів у серпні у місті Донецьк



Рис. Б.8 - Графік часового ходу кількості опадів у теплий період у місті Донецьк



Рис. Б.9 - Графік часового ходу кількості опадів у червні у місті Вінниця



Рис. Б.10 - Графік часового ходу кількості опадів у липні у місті Вінниця



Рис. Б.11 - Графік часового ходу кількості опадів у серпні у місті Вінниця



Рис. Б.12 - Графік часового ходу кількості опадів у теплий період у місті Вінниця



Рис. Б.13 - Графік часового ходу кількості опадів у червні у місті Запоріжжя



Рис. Б.14 - Графік часового ходу кількості опадів у липні у місті Запоріжжя



Рис. Б.15 - Графік часового ходу кількості опадів у серпні у місті Запоріжжя



Рис. Б.16 - Графік часового ходу кількості опадів у теплий період у місті Запоріжжя



Рис. Б.17 - Графік часового ходу кількості опадів у червні у місті Кропивницький



Рис. Б.18 - Графік часового ходу кількості опадів у липні у місті Кропивницький



Рис. Б.19 - Графік часового ходу кількості опадів у серпні у місті Кропивницький



Рис. Б.20 - Графік часового ходу кількості опадів у теплий період у місті Кропивницький

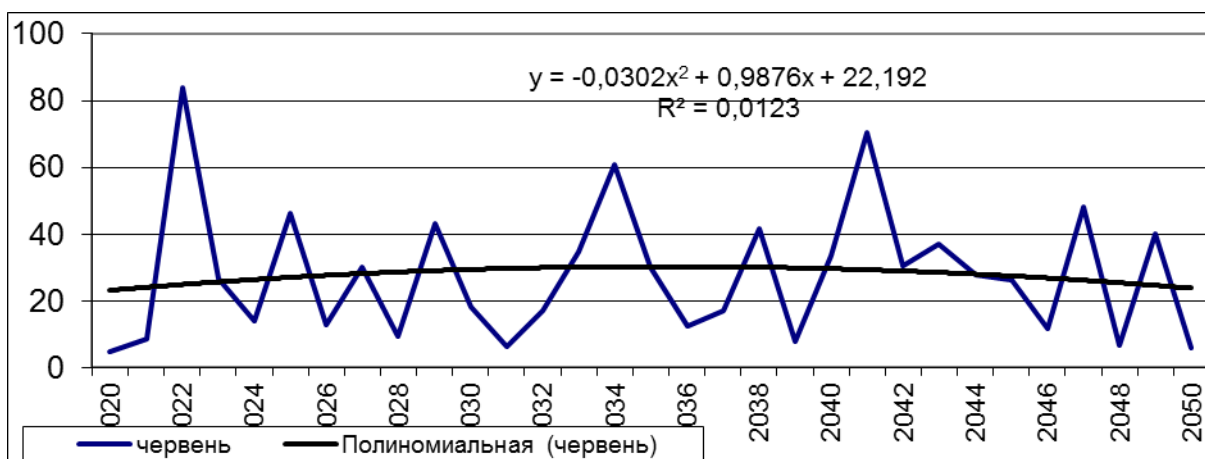


Рис. Б.21 - Графік часового ходу кількості опадів у червні у місті Одеса





Рис. Б.22 - Графік часового ходу кількості опадів у липні у місті Одеса



Рис. Б.23 - Графік часового ходу кількості опадів у серпні у місті Одеса



Рис. Б.24 - Графік часового ходу кількості опадів у теплий період у місті Одеса



Рис. Б.25 - Графік часового ходу кількості опадів у червні у місті Миколаїв



Рис. Б.26 - Графік часового ходу кількості опадів у липні у місті Миколаїв



Рис. Б.27- Графік часового ходу кількості опадів у серпні у місті Миколаїв



Рис. Б.28 - Графік часового ходу кількості опадів у теплий період у місті Миколаїв

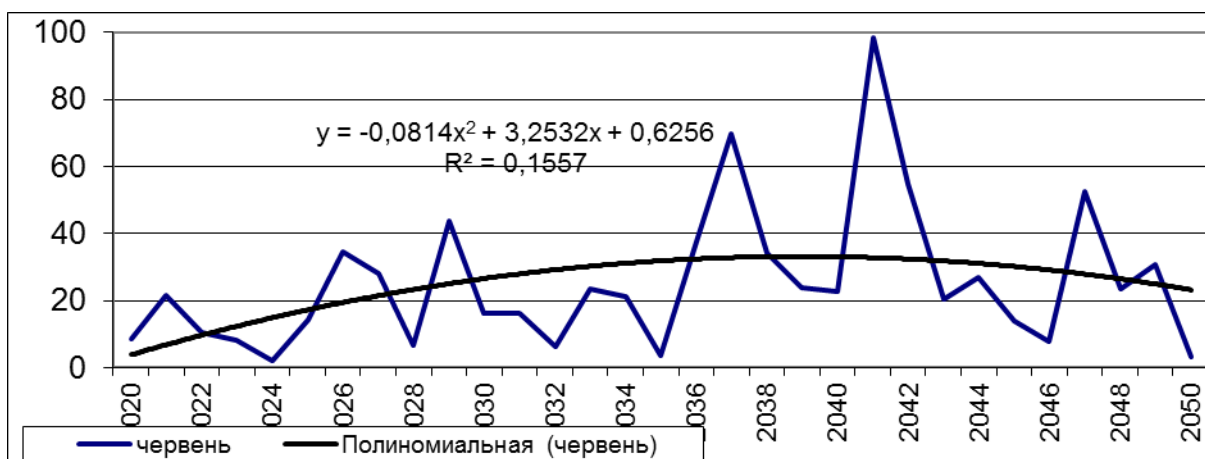


Рис. Б.29 - Графік часового ходу кількості опадів у червні у місті Сімферополь



Рис. Б.30 - Графік часового ходу кількості опадів у липні у місті Сімферополь



Рис. Б.31 - Графік часового ходу кількості опадів у серпні у місті Сімферополь



Рис. Б.32 - Графік часового ходу кількості опадів у теплий період у місті Сімферополь



Рис. Б.33 - Графік часового ходу кількості опадів у червні у місті Херсон



Рис. Б.34 - Графік часового ходу кількості опадів у липні у місті Херсон



Рис. Б.35 - Графік часового ходу кількості опадів у серпні у місті Херсон



Рис. Б.36 - Графік часового ходу кількості опадів у теплий період у місті Херсон



Рис. Б.37 - Графік часового ходу кількості опадів у червні у місті Черкаси



Рис. Б.38 - Графік часового ходу кількості опадів у липні у місті Черкаси



Рис. Б.39 - Графік часового ходу кількості опадів у серпні у місті Черкаси



Рис. Б.40 - Графік часового ходу кількості опадів у теплий період у місті Черкаси