

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА  
ШЕВЧЕНКА  
ГЕОГРАФІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА МЕТЕОРОЛОГІЇ ТА КЛІМАТОЛОГІЇ**

На правах рукопису

УДК 551.524.3

**СУЧАСНІ ТА МАЙБУТНІ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ У  
ЦЕНТРАЛЬНОМУ РЕГІОНІ УКРАЇНИ**

Галузь знань *10 – Природничі науки*  
Спеціальність *103 – Науки про Землю*  
Освітня програма *Метеорологія*

Кваліфікаційна робота бакалавра  
студентки 4 курсу  
освітнього рівня бакалавр

*Колотухіної Анни Олександрівни*

Науковий керівник:

*д.геогр.н., проф. Сніжко С.І.*

Допустити до захисту:  
завідувач кафедри, проф. Сергій СНІЖКО  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

Київ – 2025

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
РОЗДІЛ 1. ОПИС ПРИРОДНИХ УМОВ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО РЕГІОНУ .....	6
1.1. Вибір регіону досліджень.....	6
1.2. Коротка характеристика клімату регіону .....	7
1.3. Радіаційний режим.....	12
1.4. Пряма сонячна радіація .....	12
1.5. Розсіяна сонячна радіація.....	13
1.6. Альbedo підстильної поверхні .....	14
РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ, ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ .....	16
2.1. Огляд попередніх досліджень.....	16
2.2. Характеристика вихідної інформації .....	19
2.2.1. Дані інструментальних спостережень .....	20
2.2.2. Дані кліматичних проєкцій .....	21
2.3. Методика досліджень .....	23
2.3.1. Розрахунок статистичних параметрів рядів спостережень.....	23
2.3.2. Перевірка статистичної однорідності рядів спостережень за температурою повітря за два кліматичні періоди .....	25
2.3.3. Виявлення часових трендів у багаторічних рядах спостережень з використанням методу найменших квадратів (МНК) .....	28
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БАГАТОРІЧНИХ РЯДІВ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА ТЕМПЕРАТУРОЮ ПОВІТРЯ У ЦЕНТРАЛЬНОМУ РЕГІОНІ УКРАЇНИ.....	32

3.1. Характеристика температури повітря за два останні кліматичні періоди 1961-1990 рр. та 1991-2020 рр. ....	32
3.2. Виявлення статистично значимих змін температури повітря шляхом перевірки статистичної однорідності рядів спостережень за температурою повітря за два кліматичні періоди. ....	38
4.1. Аналіз часової динаміки середньої річної температури повітря .....	41
4.2. Аналіз часової динаміки температури повітря теплого і холодного періодів року .....	44
<b>РОЗДІЛ 5. ПРОСТОРОВА ХАРАКТЕРИСТИКА ЧАСОВОЇ ДИНАМІКИ ТЕМПЕРАТУРИ НА МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СТАНЦІЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНУ .....</b>	<b>49</b>
<b>6. АНАЛІЗ МАЙБУТНЬОЇ ЗМІНИ TEMПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ У ЦЕНТРАЛЬНОМУ РЕГІОНІ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ ПРОЄКЦІЙ ТЕМПЕРАТУРИ ЗА ДВОМА СЦЕНАРІЯМИ РОЗВИТКУ ТРАЄКТОРІЙ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ RCP 2.6 ТА RCP 8.5 .....</b>	<b>52</b>
6.1. Аналіз змін середньої річної температури повітря за період з 1961 по 2080 рр. ....	52
6.2. Аналіз зміни кліматичної норми температури на основі порівняння 4 кліматичних періодів .....	61
6.3. Аналіз часової динаміки середньої річної температури повітря .....	63
6.4. Аналіз очікуваних сезонних змін температури повітря на основі аналізу кліматичних проєкцій .....	68
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>75</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>78</b>

## ВСТУП

Глобальна зміна клімату стала однією з найнагальніших екологічних проблем, до вирішення якої прикута увага людства. Її наслідками є небезпечні погодні катаклізми, різкі зміни погоди, паводки, повені, сильні вітри, зливи і дощі, град, посухи, що призводять до значних екологічних та економічних збитків у всьому світі.

Зміна клімату, яку тривалий час ігнорували та намагалися не визнавати її існування, кілька десятиліть тому увійшла до переліку глобальних екологічних проблем. Детальні дослідження кліматичної зміни показали [15, 27, 39], що на початку XXI ст. масштаби її прояву сягнули такого рівня, що перетворилися на потужний чинник впливу не лише на окремі галузі господарства чи економіки окремих країн, але й на глобальні економічні процеси, на соціально-економічний розвиток суспільства, продовольчу та енергетичну безпеку.

У Шостій оціночній доповіді МГЕЗК [15] зазначено, що сучасна зміна клімату є досить швидким процесом, який в останні десятиліття суттєво посилюється і може призвести до незворотні зміни в екосистемах.

*Актуальність роботи* полягає в тому, що у будь-яку історичну епоху, на будь-якому етапі розвитку людського життя кліматичні умови відіграють важливу роль у житті людей, а так як останнім часом набуває поширення тенденція зміни клімату, що може негативно вплинути на всі процеси життєдіяльності, то є необхідним дослідити сучасні особливості зміни температурного режиму в центральній частині України, традиційному районі сільськогосподарського виробництва, яке безпосередньо залежить від впливу погоди та зміни клімату.

*Метою роботи* є простеження закономірностей та тенденцій регіональних змін температури повітря як одного з основних індикаторів зміни клімату на прикладі Центрального району України (згідно районування Українського Гідрометцентру).

Згідно поставленої мети, поставлені наступні завдання:

- Дослідити тенденції зміни температури повітря в регіоні з 1961 по 2020 рр.;
- Оцінити інтенсивність зміни температури повітря за досліджуваний період;
- Порівняти два останні 30-річні кліматичні періоди та виконати статистичну оцінку достовірності зміни температури у 1991-2020 рр. у порівнянні з 1961-1990 рр.
- Здійснити просторовий аналіз тенденцій та інтенсивності зміни температури повітря.
- Виконати оцінку майбутніх змін температури повітря за кліматичними проєкціями до 2080 р.

*Об'єкт дослідження* – зміна клімату в Україні

*Предмет досліджень* - зміна температури повітря у Центральному регіоні України в сучасний та майбутній період.

## РОЗДІЛ 1. ОПИС ПРИРОДНИХ УМОВ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО РЕГІОНУ

### 1.1. Вибір регіону досліджень

Для досліджень було обрано Центральний регіон України згідно районування яке використовується Гідрометцентром України [49].



Рис. 1.1 Положення Центрального регіону на карті України

До цього району входять п'ять адміністративних областей України а саме Вінницька, Черкаська, Полтавська, Дніпропетровська та Кіровоградська області (рис.1.2).

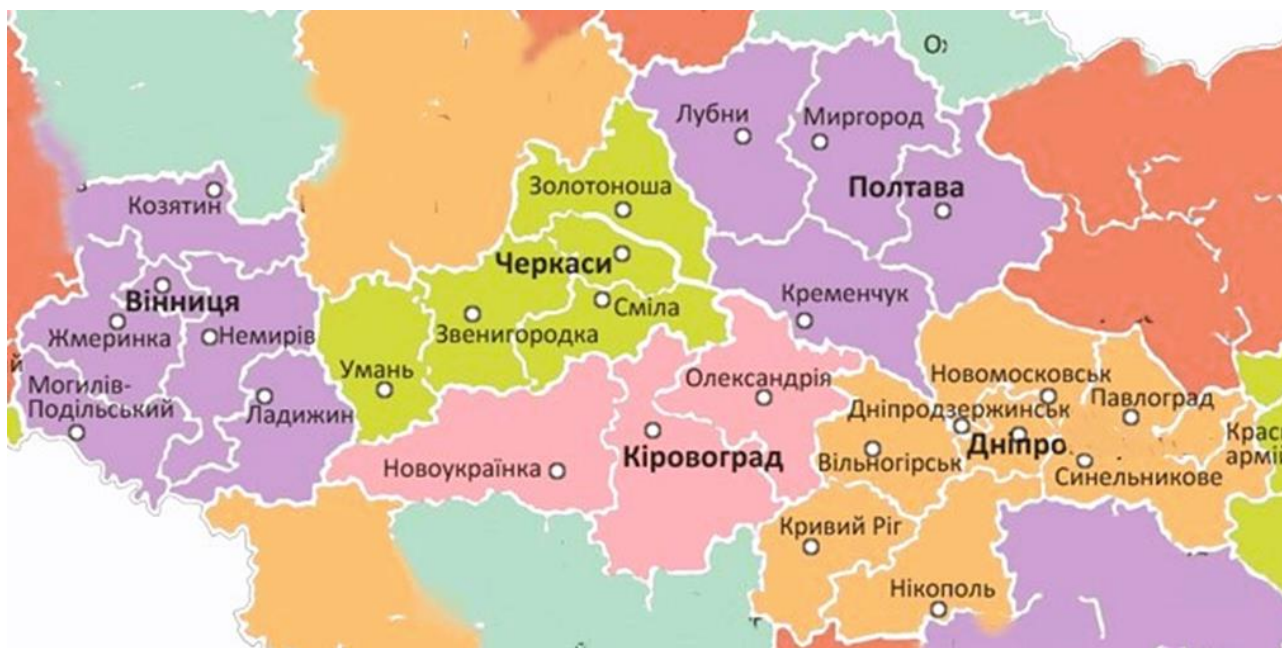


Рис.1.2. Адміністративна структура Центрального регіону України [41].

Згідно фізико-географічного районування України даний район охоплює частину лісостепової недостатньо зволоженої теплої зони (території Вінницької, Черкаської, Полтавської областей) та частину степової посушливої дуже теплої зони (території Кіровоградської та Дніпропетровської областей) [41].

## 1.2 Коротка характеристика клімату регіону

Центральний регіон України має різноманітний клімат, рельєф та ґрунтові умови. Клімат центрального регіону України є помірно-континентальним з певним впливом морських повітряних мас. Зими холодні та сніжні, а літа теплі та вологі.

Типові температури в січні коливаються від -6 до -8 градусів Цельсія, в липні - від +19 до +22 градусів Цельсія. Через регіон протікає Дніпро. Річкова мережа є важливою для економіки та транспорту. У центральному регіоні переважають чорноземи, які є одними з найродючіших ґрунтів у світі. Це дозволяє розвивати сільське господарство та забезпечує високу урожайність.

Рельєф центрального регіону включає в себе рівнини та невеликі пагорби. Загальний характер ландшафту полегшує сільське господарство та розвиток інфраструктури. Окрім степової рослинності, в регіоні можна зустріти лісисті масиви, водойми та великі луки[41].

Клімат лісостепової недостатньо зволоженої теплої зони (території Вінницької, Черкаської, Полтавської областей) можна охарактеризувати за даними метеорологічних станцій Вінниця(табл.1), Черкаси (табл.2) та Полтава (табл.3)

Таблиця 1.1 Характеристика клімату м.Вінниці [54].

Показник	Клімат Вінниці												
	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.	Рік
Абсолютний максимум, °С	11,6	17,3	22,3	29,4	32,2	35	37,8	36,5	31,5	28,6	19,9	15,4	37,8
Середній максимум, °С	-1,4	-0,3	5,2	13,4	20,1	22,7	24,8	24,3	18,7	12,4	4,7	-0,4	12
Середня температура, °С	-4,1	-3,3	1,2	8,3	14,5	17,4	19,2	18,6	13,4	7,8	1,7	-2,8	7,7
Середній мінімум, °С	-6,7	-6,1	-2,2	3,7	9,1	12,3	14,1	13,4	8,9	4	-0,8	-5,2	3,7
Абсолютний мінімум, °С	-35,5	-33,6	-24,2	-12,7	-2,8	2,5	5,2	1,5	-4,5	-11,4	-24,6	-27,2	-35,5
Годин сонячного сйва	58,9	70,6	114,7	171	248	255	266,6	260,4	195	133,3	57	40,3	1870,8
Норма опадів, мм	29	28	30	45	50	94	83	66	64	30	37	35	591
Днів з дощем	7	6	9	13	14	15	15	11	12	11	12	9	134
Днів зі снігом	13	12	8	1	0	0	0	0	0	1	5	10	50
Вологість повітря, %	85	83	78	68	66	72	72	71	76	80	86	88	77.1

Вінниця, як і решта Вінницької області, має помірно континентальний клімат з вираженими сезонними змінами. Зима зазвичай прохолодна з середніми температурами від -4 до -6 градусів Цельсія, але може бути періодично тепла. Літо спекотне, і середня температура може досягати +20-30 градусів Цельсія.

Вінниця не має виражених вітрових умов, але взимку можуть спостерігатися місцеві північно-східні вітри, які приносять прохолоду[54].

Опади рівномірно розподіляються протягом року, хоча в літні місяці може бути більше дощів і гроз. Середня річна кількість опадів становить близько 600-700 мм.

Вологість може бути високою, особливо влітку, коли відчувається велика кількість випаровування.



Таблиця 1.2 Характеристика клімату м.Умань [58].

Показник	Клімат Умань												
	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.	Рік
Абсолютний максимум, °С	12,8	18,3	23,6	30	34,3	36,4	37,6	37,6	36,5	28,1	21,2	15,8	37,6
Середній максимум, °С	-1,1	0,2	6,2	14,7	21,4	24,2	26,4	26	20,3	13,1	5,3	0,5	13,1
Середня температура, °С	-3,8	-3	2	9,3	15,2	18,5	20,5	19,7	14,6	8,5	2,4	-2,1	8,5
Середній мінімум, °С	-6,5	-6,3	-2,1	3,9	8,9	12,7	14,5	13,4	8,8	3,8	-0,5	-4,8	3,8
Абсолютний мінімум, °С	-31,1	-28,3	-23,8	-6,4	-3,8	2,9	6,4	3,2	-5,3	-9,7	-20	-26,3	-31,1
Норма опадів, мм	30.Вер	30.Вер	30.2	37.5	40.5	78.6	64.9	47.7	52.4	35.4	36.9	36.4	522.3

Клімат Черкас обумовлений розташуванням на березі Кременчуцького водосховища. Загалом клімат міста є помірно континентальним з м'якою зимою і теплим літом. На особливості мікроклімату впливає розташування Черкас поблизу великої водойми.

Середньорічна температура повітря в місті становить  $+7,7$  °С, мінімальна вона у січні ( $-5,9$  °С), максимальна — у липні ( $+19,8$  °С). Найнижча пересічна температура повітря в січні ( $-16,6$  °С) зафіксована в 1963 році, найвища ( $+1,6$  °С) — в 2007. Такі ж піки для липня становлять відповідно — найнижчий  $+17,6$  °С (1978 і 1979 роки), а найвищий  $+25,8$  °С (1936). Абсолютний мінімум температури повітря в Черкасах було зафіксовано в січні 1935 року і він склав  $-35,3$  °С, тоді як абсолютний максимум  $+37,4$  °С — 30 липня 1936 року та  $+38$  °С — 7 липня 2012 року.

У середньому за рік у Черкасах випадає 517 мм атмосферних опадів, найменше — у березні та жовтні, найбільше — у липні. Мінімальна річна кількість опадів — 303 мм — спостерігалась у 1975 році, а максимальна — 948 мм — у 1952 році. Максимальну ж кількість опадів — 121 мм — протягом однієї доби було зафіксовано 3 серпня 1959 року. Пересічна кількість днів з опадами в місті — 135 (найбільша їх кількість припадає на грудень), крім того, взимку в Черкасах зазвичай випадає сніг, однак значної висоти снігового покриву не буває майже ніколи.

Відносна вологість повітря в середньому за рік становить 76 %, мінімальна вона у травні (64 %), максимальна ж — у грудні (87 %). У Черкасах переважають вітри, що дмуть з північного заходу. Пересічна швидкість вітру в січні становить 4,5 м/с, у липні — 3,1 м/с.

Таблиця 1.3 Характеристика клімату м.Полтава [57].

Клімат Полтави													
Показник	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.	Рік
Абсолютний максимум, °С	9,4	16	22,4	29,9	34,2	35,7	39	39,4	32,2	29,6	20	13,5	39,4
Середній максимум, °С	-3	-2	3	12	20	23	24	23	18	11	3	-1	11
Середня температура, °С	-6,6	-5,3	-0,1	8,8	15,4	18,7	20,1	19,4	14,3	7,6	1,5	-3,1	7,6
Середній мінімум, °С	-8	-7	-2	5	10	13	15	13	10	3	-1	-5	3
Абсолютний мінімум, °С	-33,6	-29,1	-22,8	-11,1	-2,9	0	7,2	2,8	-3	-11,1	-21,5	-28,6	-33,6
Норма опадів, мм	43	37	35	40	51	60	71	46	44	42	49	51	569

В цілому клімат міста є помірно континентальним з м'якою зимою і теплим (інколи спекотним) літом. Середньорічна температура повітря становить 7,6 °С, найнижча в січні (мінус 6,6 °С), найвища — в липні (20,1 °С).

В середньому за рік в Полтаві випадає 569 мм атмосферних опадів, найменше їх у лютому-березні, найбільше — в липні. Щозими в Полтаві утворюється сніговий покрив, максимальна висота якого зазвичай спостерігається в лютому. Відносна вологість повітря в середньому становить 74 %, найменша вона у травні (61 %), найбільша — у грудні (88 %).

Найбільшу повторюваність у місті мають вітри із заходу, найменшу — з півночі та південного сходу. Найбільша швидкість вітру — в лютому, найменша — в серпні. У січні вона в середньому становить 4,6 м/с, у липні — 3,1 м/с. Кількість днів з грозами в середньому за рік дорівнює 13, з градом — 5, зі снігом — 59[57].

Клімат степової посушливої дуже теплої зони можна охарактеризувати за даними метеорологічної станції Кропивницький. (табл.4) та за даними метеорологічної станції Дніпро (табл.5).

Таблиця 1.4 Характеристика клімату м.Кропивницький [56].

Клімат Кропивницький													
Показник	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.	Рік
Абсолютний максимум, °С	19,3	18,7	22,4	30,5	34,2	35,5	38,1	39,4	37,1	28,9	21	12,6	39,4
Середній максимум, °С	-1,5	-0,4	5,8	15	21,7	24,7	27,1	26,8	21	13,4	5,6	0,6	13,3
Середня температура, °С	-4,2	-3,5	1,7	9,5	15,6	19	21,1	20,3	15,1	8,5	2,5	-2,1	8,6
Середній мінімум, °С	-6,9	-6,7	-2,4	4	9,4	13,2	15	13,9	9,1	3,6	-0,6	-4,8	3,9
Абсолютний мінімум, °С	-27,8	-28,7	-23,6	-8	-3,6	0,8	6,4	0	-4,5	-8,5	-21,2	-24	-28,7

У цілому клімат міста та прилеглої до нього території є помірно континентальним з м'якою зимою і теплим (інколи спекотним) літом. Середньорічна температура повітря становить 8,0 °С, найнижча вона у січні (мінус 5,7 °С), найвища – в липні (20,0 °С).

Найнижча середньомісячна температура повітря в січні (мінус 15,1 °С) зафіксована в 1963 р., найвища (1,6 °С) – в 2007 р. Найнижча середньомісячна температура в липні (17,6 °С) спостерігалась у 1912 р., найвища (25,6 °С) – в 1936 р.

Абсолютний мінімум температури повітря (мінус 35,3 °С) зафіксовано 9 січня 1935 р., абсолютний максимум (38,7 °С) – 27 липня 1909 р. і 20 серпня 1929 р.

В останні 100–120 років температура повітря в Кіровограді, так само як і в цілому на Землі, має тенденцію до підвищення. Протягом цього періоду середньорічна температура повітря підвищилася щонайменше на 1,0 °С. Найтеплішим за всю історію спостережень виявився 2007 р. Більшим у цілому є підвищення температури в першу половину року.

У середньому за рік у Кіровограді випадає 499 мм атмосферних опадів, найменше – у березні та жовтні, найбільше – у липні[56].

Таблиця 1.5 Характеристика клімату м.Дніпра [55].

Клімат Дніпра (1987-2016)													
Показник	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.	Рік
Абсолютний максимум, °С	12,3	17,5	24,1	31,8	36,1	37,8	39,8	40,9	36,5	32,6	20,6	16,3	40,9
Середній максимум, °С	-1	0	6	15,2	22,1	25,6	28	27,5	21,5	13,8	5,1	0,2	13,7
Середня температура, °С	-3,6	-3,4	1,8	9,7	16,2	19,9	22,1	21,4	15,6	8,9	2	-2,4	9
Середній мінімум, °С	-6,1	-6,3	-1,6	4,2	10,6	14,6	16,7	15,8	10,7	5	-0,8	-5,3	4,8
Абсолютний мінімум, °С	-34	-27,8	-19,2	-8,2	-2,4	3,9	5,9	3,9	-3	-8	-17,9	-27,8	-30
Годин сонячного сяйва	127,1	162,4	241,8	270	322,4	360	381,3	353,4	300	248	150	111,6	3028
Норма опадів, мм	78.5	52.6	41.4	32.3	33.3	24.Чер	14	09.Січ	13.Лип	28.Лют	74.2	100.8	502.7
Вологість повітря, %	83.3	76.8	71.6	64.5	58.9	55.0	53.2	55.7	57.0	63.1	75.6	82.9	66.5

Клімат Дніпра класифікують як м'який континентальний клімат із спекотним та сухим літом. Середньорічна температура повітря становить +9 °С. Найнижча — в січні: -3,6 °С, найвища — в липні: +22,1 °С. У році в середньому 260 сонячних днів. Найбільш вологий місяць — червень. Найбільш сухий — жовтень. Максимальна кількість опадів припадає на період з середини жовтня до середини квітня. Влітку будь-які опади в Дніпрі трапляються рідше, проте найчастіше набувають форми сильної зливи із грозою. Водночас зими супроводжуються

сильними снігопадами. Так, наприклад, сніговий покрив сягнув 33 см у січні 2015.

Середня температура взимку:  $-3-4$  °C. Мороз переноситься гірше через дніпровську вологість та вітер. Холоди починаються на початку грудня, коли температура опускається нижче нуля. Бувають ночі, коли мороз досягає температури нижче  $-25$  °C (хоча це буває рідко, раз в 10-15 років). Найважче переноситься грудень. В холодні роки можливі різкі перепади температури і сильні морози після теплих днів. Для нього також характерні: щільна хмарність, вологі вітри, ожеледь[55].

### **1.3. Радіаційний режим**

Основним джерелом енергії майже усіх природних процесів та явищ, що відбуваються на земній поверхні, в атмосфері, гідросфері і верхніх шарах літосфери, а ще одним із кліматоутворювальних факторів є сонячна радіація.

Надходження сонячної радіації визначається астрономічними чинниками – тривалістю дня і висотою сонця. Основна частина сонячної радіації надходить з травня по вересень, коли збільшується тривалість сонячного сяйва. Західні території України, де спостерігається більше хмарних днів, отримують протягом року менше сумарної сонячної радіації, ніж східні території на тих самих широтах[43].

Географічне розташування, кліматичні умови та метеорологічні явища можуть впливати на розподіл радіоактивних речовин у повітрі та воді, а також на їхню концентрацію в ґрунті та рослинах.

### **1.4. Пряма сонячна радіація**

Температурний режим земної поверхні залежить від надходження сонячної радіації, величини альбедо й ефективного випромінювання.

Енергетична освітленість, яка створюється випромінюванням, що надходить від диска Сонця у вигляді пучка паралельних променів, і значно послаблюється внаслідок розсіяння та поглинання називається прямою сонячною радіацією.

Добова амплітуда прямої радіації помітно зменшується з півночі на південь, внаслідок зростання у цьому напрямі мутності атмосфери. Максимальні добові суми прямої радіації на перпендикулярну поверхню спостерігаються у червні-липні.

Пряма радіація є наймінливішою характеристикою радіаційного режиму, оскільки вона особливо чутлива до коливань прозорості атмосфери як природного, так і антропогенного характеру (виверження вулканів, які спричиняють довготривалу оптичну аномалію в атмосфері, тривалі лісові пожежі, забруднення атмосфери промисловими викидами) [43]. Метеорологічні явища, такі як хмарність, аерозолі, туман та інші, можуть впливати на проникнення сонячної радіації до земної поверхні. Наприклад, у періоди зі значною хмарністю чи туманом інтенсивність сонячної радіації може бути значно знижена.

Області розташовані в центральній частині України, де переважно панує континентальний клімат. Це означає, що протягом більшої частини року можна очікувати високу інтенсивність прямої сонячної радіації, особливо влітку, коли небо ясне і безхмарне. Протягом року можна спостерігати сезонні зміни в інтенсивності прямої сонячної радіації. Наприклад, зимою інтенсивність може бути меншою через низьку сонячну висоту, тоді як влітку вона може бути найвищою.

## **1.5. Розсіяна сонячна радіація**

Сонячна радіація, що розсіюється в атмосфері і надходить на земну поверхню з усіх точок небосхилу є розсіяною радіацією. Надходження її

залежить від висоти Сонця, тривалості дня, хмарності і прозорості атмосфери. За умов ясного неба місячні і добові суми розсіяної сонячної радіації майже не залежать від широти і становлять 20-25% річної суми сумарної радіації.

Річний хід розсіяної радіації визначається особливостями зміни прозорості атмосфери і альbedo підстильної поверхні. Найбільше її зростання спостерігається від весни до літа. У березні розсіяна радіація зростає на 30-45%. Максимум її відмічається влітку, коли висота Сонця найбільша. Зменшення сум розсіяної радіації восени відбувається нерівномірно. На початку осені скорочення її суми відбувається повільніше, ніж в кінці сезону[43].

Місцевий ландшафт, такий як наявність рівнин, лісів або водних водойм, може впливати на розсіану сонячну радіацію. Наприклад, великі лісисті масиви можуть впливати на розсіання, роблячи його меншим у цих областях.

## **1.6. Альbedo підстильної поверхні**

Альbedo характеризує відбивну спроможність підстильної поверхні і визначається процентним відношенням відбитої сонячної радіації до сумарної. Для більшості видів підстильної поверхні збільшення висоти Сонця зумовлює зменшення альbedo. Протягом року альbedo відзначається стабільністю у теплий період року і значною мінливістю у холодний. У зимовий сезон альbedo великих територій істотно залежить від тривалості залягання та стійкості снігового покриву і коливається у широких межах [43].

У цих областях домінує сільськогосподарська діяльність, тому більша частина підстильної поверхні складається з поля, лугів та інших сільськогосподарських угідь. Такі поверхні, як правило, мають високе альbedo, оскільки сільськогосподарські культури зазвичай відбивають більше сонячного світла.

З урахуванням річок та водосховищ, які присутні у цих регіонах, деякі частини підстильної поверхні можуть бути водяними. Водні поверхні мають низьке альbedo, оскільки вода поглинає більшу частину сонячної радіації.

У містах можуть бути покриті асфальтові, бетонні та інші штучні поверхні, які можуть мати високе альbedo, особливо на відкритих ділянках без рослинності.

Деякі частини областей можуть мати природні ландшафти, такі як ліси чи степи, де альbedo буде залежати від типу ґрунту та рослинності.

У цілому, альbedo підстильної поверхні для вказаних областей буде варіювати від високого до помірного, залежно від типу поверхні та метеорологічних умов[43].

## РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ, ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1. Огляд попередніх досліджень

З початку промислової революції глобальна температура приземного шару атмосфери зросла в період 2001–2020 років на 0,99 °С порівняно з 1850–1900 роками [15].

Згідно з різними модельними прогнозами, Африка переживатиме більше сильних спекотних явищ до кінця століття [22] і загальний негативний вплив екстремальних температур буде вищим [17]. За оцінками, приблизно 90 мільйонів людей переживуть нові рекордно високі літні температури в Європі, навіть якщо підвищення температури приземного шару атмосфери буде утримуватися на порозі 1,5 °С. Підвищення на 2 °С, найімовірніше, подвоїть кількість людей, які постраждають від спекотного літа в південній та східній Європі [17]. Ймовірно, що темпи рекордно високих кліматичних екстремумів зростатимуть у майбутньому внаслідок прискореного потепління за сценаріями викидів [11].

За останні чотири десятиліття частота рекордно високих температур повітря зросла, особливо у східній Африці, Індії або басейні Амазонки [7]. Зростаючі тенденції до екстремальної спеки також були виявлені в Гренландії, де поріг у 30 надзвичайно теплих днів був перевищений на значній частині поверхні суші [26].

Найвища температура, будь-коли зареєстрована у Франції в червні 2019 року, становила 46,0 °С [10], тоді як на Сицилії (Італія) 11 серпня 2021 року було зафіксовано новий рекорд температури – 48,8 °С [36]. В середньому 2020 рік був найспекотнішим роком за всю історію спостережень у Європі з позитивною аномалією на 1,6 °С вище середнього показника за 1981–2010



роки [6], і був визнаний Національними центрами екологічної інформації NOAA другим найспекотнішим роком, приблизно на 1,0 °C теплішим за середній показник базового періоду 1880–2020 років [24]. У 2020 році в Долині Смерті (Каліфорнія, США) було зафіксовано найвищу температуру повітря з 1931 року – 54,4 °C [3]. Через рік, у лютому 2021 року, було зафіксовано нову високу температуру в Антарктиці (18,3 °C). Підсумовуючи, можна побачити, що за останнє десятиліття глобальна температура зросла, таким чином у всьому світі було зафіксовано нові температурні рекорди.

Очікується, що доки викиди викопного палива продовжуватимуть зростати, температура приземного шару атмосфери також продовжуватиме зростати, оскільки вплив людини є основною причиною постійного зростання температури приземного шару атмосфери протягом останнього століття (МГЕЗК, 2021). Викиди викопного палива зросли у 2011–2019 роках, досягнувши рекордних 35 Гт CO<sub>2</sub> у 2019 році [8]. Хоча природні причини можуть визначати короткострокові коливання в еволюції температури приземного шару атмосфери [20] очікується, що температура продовжуватиме зростати в довгостроковій перспективі.

Глобальне підвищення температури та його тенденція широко розглядалися раніше. Jones та ін. (1982) відзначили мінливість температури повітря протягом 20 століття в Північній півкулі та раптове підвищення приблизно наприкінці 70-х років. Подібні результати були отримані в іншому дослідженні глобальної температури повітря на поверхні, і було зазначено про збільшення на 0,5 °C - 0,7 °C за період 1880–1985 років [14]. Easterling та ін. (1997) оцінили глобальну тенденцію максимальної температури повітря як 0,88 °C/століття та 1,86 °C/століття для тенденції мінімальної температури. Пізніше Hansen та ін. (2006) оцінили збільшення глобальної температури поверхні приблизно на 0,2 °C/десятиліття після 70-х років і наголосили на постійному зростанні темпів потепління після 1980 року. Cavanaugh та Shen (2014) також досліджували тенденції потепління в глобальному масштабі, використовуючи дані метеостанцій; вони вказали на найсильніші тенденції в

Євразії протягом весняного та зимового сезонів зі швидкістю майже  $0,4$   $^{\circ}\text{C}/\text{десятиліття}$  за період 1950–2010 років. Sun та ін. (2017) виявили, що глобальна лінійна тенденція становить  $0,104$   $^{\circ}\text{C}/\text{десятиліття}$  протягом 1910–2014 років, згідно з кліматичним набором даних CMA GLSAT. Щодо сезонної тенденції, Xu та ін. (2018) виявили, що найбільш значні тенденції спостерігаються у весняний сезон ( $0,112$   $^{\circ}\text{C}/\text{десятиліття}$  протягом 1901–2014 років), що також підкреслює безпрецедентне потепління з 1979 по 2014 рік у тому ж наборі даних. Водночас, тема екстремальних рекордів температури або опадів також розглядалася: для північної Європи [2], Сполучених Штатів [21, 25] або в глобальному масштабі [2, 5, 7, 12] з використанням кліматичного реаналізу або наборів даних спостережень для кількісної оцінки масштабів кліматичних тенденцій для Арктичного регіону [28, 29, 33, 37].

У контексті глобального потепління територія України також демонструє чіткі ознаки кліматичних змін. Згідно з дослідженнями Українського гідрометеорологічного центру, середньорічна температура повітря в Україні за останні 30 років зросла в середньому на  $1,2$ – $1,5$   $^{\circ}\text{C}$ , причому найшвидше потепління спостерігається у північних, центральних та південно-східних регіонах країни. Особливо різко зросли температури у літній період, що спричиняє збільшення тривалості та інтенсивності теплових хвиль.

За результатами проєкцій, побудованих у рамках ініціативи ISIMIP з використанням кліматичних сценаріїв РТК 2.6 та РТК 8.5, до кінця XXI століття в Україні очікується зростання середньорічної температури на  $1,5$ – $2,0$   $^{\circ}\text{C}$  за оптимістичним сценарієм (РТК 2.6) та до  $4,0$ – $4,5$   $^{\circ}\text{C}$  за інерційним сценарієм (РТК 8.5). Найбільше зростання прогнозується взимку та влітку, що може суттєво вплинути на сільське господарство, водні ресурси та енергетику країни.

Дослідження клімату України свідчать про те, що в останні десятиліття температура повітря та деякі інші метеорологічні параметри відрізняються від багаторічних середніх значень (середні значення за період 1961–1990 років).

Наразі в Україні відзначається найдовший період потепління за весь період метеорологічних спостережень.

У період 1989–2015 років середньорічна температура повітря перевищувала кліматичну норму (1961–1990 роки) на 1°C, а в останнє десятиліття (2006–2015 роки) – на 1,5°C, що випереджає середньосвітові темпи потепління. Згідно з повідомленнями українських дослідників, середньорічна температура повітря зросте до кінця XXI століття на всій території України за різними (низьким, середнім, високим) сценаріями RCP на 2-5 °C [30] та SRES-сценаріями: B1 від 0,7 до 3,0 °C, A1B від 2,4 до 4,2 °C, A2 від 2,6 до 4,6 °C [44]. Ці кліматичні прогнози не показують суттєвих змін річної кількості опадів, але є свідчення зростання кількості опадів у холодну пору року та зменшення їх кількості влітку.

Разом із високою невизначеністю тенденції зміни опадів, інтенсивне потепління посилює ризики та збільшує загрозу, пов'язану з [38]:

- посиленням кліматичних екстремумів через збільшення максимуму температури повітря на 1–4°C та кількості спекотних днів у 2–3 рази. Зростання кількості та інтенсивності суворих погодних явищ (екстремальні температури, хвилі спеки, сильні дощі, шквали, вихори, град, заморозки, посухи, повені та раптові зміни погоди, що впливають на здоров'я населення та ефективність різних секторів економіки [30];

- посилення посушливості клімату, про що свідчать три сильні посухи, що спостерігалися протягом останнього десятиліття (2007, 2010, 2015) та торкнулися 50–80% території країни. Хвиля спеки, зафіксована наприкінці липня-серпня 2010 року, була найпотужнішою та найтривалішою, зафіксованою протягом літнього сезону в період 1911–2010 років для східних та південних регіонів України [27, 52].

## **2.2. Характеристика вихідної інформації**

### 2.2.1. Дані інструментальних спостережень

Всі дані спостережень за тривалий багаторічний період з 1961р. по 2020 р. були отримані в Центральній геофізичній обсерваторії ДСНС України.

Для отримання достовірних та об'єктивних результатів досліджень було обрано 28 станцій метеорологічних спостережень, розміщених у межах Центрального району з наступними географічними координатами:

Таблиця 2.1. Метеорологічні станції, дані спостережень з яких використані в роботі.

Назва станції	Широта	Довгота
Хмільник	49,56765747	27,94795609
Вінниця	49,24769211	28,6040287
Жмеринка	49,0309906	28,1362381
Білопілля	49,83803177	28,88461876
Гайсин	48,80030441	29,3955822
Могилів-Подільський	48,45244598	27,77971077
Жашків	49,23558426	30,11371994
Умань	48,76702881	30,23282814
Сміла	49,18457794	31,86483383
Канів	49,76983261	31,42804909
Золотоноша	49,66716766	32,01733398
Черкаси	49,40916824	32,00299835
Лубни	50,01578903	32,9865303
Полтава	49,60944366	34,54459763
Гадяч	50,36879349	33,9801712
Веселий Поділ	49,61479568	33,25192642
Кобеляки	49,15392685	34,20765686
Кривий Ріг	48,05371475	33,21113968
Дніпро	48,36003113	35,08507156
Павлоград	48,55305481	35,88774872
Чаплине	48,12602997	36,23781586
Нікополь	47,59227753	34,40188217
Знам'янка	48,73934937	32,69068146
Бобринець	48,06911469	32,16754532
Гайворон	48,34488297	29,84484291
Кропивницький	48,54352951	32,28340149
Помічна	48,23246384	31,3959198
Світловодськ	49,07123184	33,2495079

Використання даних з цих станцій упродовж понад півстоліття надає можливість здійснити аналіз метеорологічних змін протягом тривалого періоду. Достатньо великий часовий проміжок дозволяє виявити тенденції та циклічність явищ, що спостерігалися протягом цього періоду.

Інформація з метеорологічних станцій є ключовою для вивчення кліматичних змін та їх впливу на навколишнє середовище. Вона становить основу для подальших аналізів та моделювання кліматичних процесів, що дозволяє прогнозувати майбутні зміни та вживати відповідні заходи для адаптації до них.

### **2.2.2. Дані кліматичних проєкцій**

Для оцінки зміни температури повітря у Центральному регіоні України було використано дані міжнародного проєкту ISIMIP (Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project) фази 2b[13], які нам були надані Потсдамським інститутом дослідження впливу клімату. Результати проєкту є основою звіту IPCC 2018 “Special Report on Global Warming of 1.5 °C”.

Основна мета проєкту ISIMIP полягає в створенні міжгалузевого та різномасштабного моделювання наслідків змін клімату як має сприяти всебічному розумінню впливу різних сценаріїв. Проєкт покриває наступні напрямки: глобальні води, регіональні води, рибальство та морські екосистеми, енергетика, регіональні ліси, глобальні біоми, сільське господарство, агроекономічне моделювання, біорізноманіття, багаторічна мерзлота, прибережні системи, здоров'я, озера [16, 34].

Часовий період симуляцій розділений на історичний та майбутній періоди. Історичний період представлений симуляціями з 1861 по 2005 роки, а майбутній період з 2006 по 2099. Всі симуляції були підготовлені на основі

моделей загальної циркуляції атмосфери та океанів (МЗЦАО) з залученням корекції відхилень на основі даних EWEMBI Lange, S. (2019).

Дані EWEMBI також мають середньодобові значення з просторовим розширенням в  $0.5^\circ$  градуси для періоду з 1979 по 2013 рік [18]. Джерелами даних EWEMBI є дані реаналізу ERA-Interim [9], методики WATCH з застосуванням до ERA-Interim даних [35], earth2Observe [4], та NASA/GEWEX [31].

Версія ISIMIP2b включає наступні МЗЦАО: PSL-CM5A-LR, HadGEM2-ES, GFDL-ESM2M та MIROC5. А самі дані походять з проекту CMIP5 (Coupled Model Intercomparison project) [32].

Майбутній період включає в себе різні репрезентативні траєкторії концентрацій парникових газів (РТК), такі як РТК 2.6, РТК 4.5, РТК 6.0 та РТК 8.5. В даному дослідженні застосовувалися РТК 2.6 та РТК 8.5 [16]. Для нашого дослідження було обрано два сценарії РТК (RCP): «м'який» сценарій РТК 2.6, який відповідно до Паризької угоди, передбачає зменшення викидів парникових газів та повернення до радіаційного впливу  $2,6 \text{ Вт/м}^2$  до 2100 р. та «жорсткий» сценарій РТК 8.5, який не враховує жодних заходів з адаптації чи пом'якшення клімату.

Кліматичні дані в проекті представлені у вигляді середньодобових значень які покривають земну кулю умовною розрахунковою сіткою з комірками  $50 \times 50$  кілометрів, приблизно  $0.5^\circ$  градуса широти і довготи. Для території України доступні кліматичні дані приблизно з 400 вузлів розрахункової сітки з цього проекту (рис.2.1).

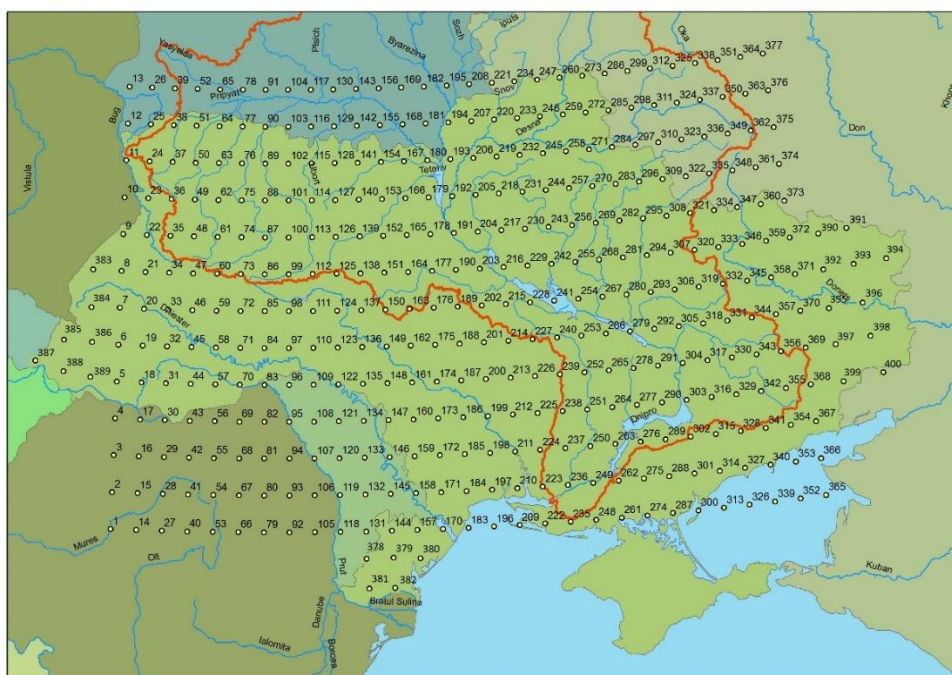


Рис. 2.1 – Доступність кліматичних даних з вузлів розрахункової сітки проекту ISIMIP для території України

## 2.3. Методика досліджень

### 2.3.1. Розрахунок статистичних параметрів рядів спостережень

Для аналізу часових рядів температури необхідно отримати їх найпростіші статистичні характеристики. До них відносяться, перш за все, середні величини і показники варіації.

Середньою величиною у статистиці називають узагальнюючий показник, який характеризує типовий розмір ознаки в якісно однорідній сукупності.

Середнє значення акумулює і врівноважує усі індивідуальні відхилення членів статистичного ряду, в результаті чого проявляються найбільш стійкі і типові ознаки ряду, які характеризують індивідуальність варіаційного ряду і дають можливість відрізнити його від інших варіаційних рядів.

В метеорології найчастіше застосовуються середні арифметичні значення, тому що вони містять найбільш вагому інформацію про режим метеорологічних елементів і зручні для співставлення у часі і просторі. Крім того, середнє арифметичне – це один з основних параметрів, який апроксимує (описує) теоретичні і емпіричні закони розподілу. Середнє арифметичне являє собою суму значень ряду спостережень  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , що ділиться на їх загальне число  $n$ :

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.1)$$

В метеорології використовується середнє арифметичне спеціального типу, яке називається *нормою*. Вона являє собою багаторічне середнє значення для даного дня (*середня добова норма*), місяця (*місячна норма*), року (*річна норма*). Для розрахунку метеорологічної норми для певної обмеженої території намагаються використовувати дані за однакові періоди та по близько розташованих станціях. Слід мати на увазі, що не завжди норма, яка розраховується за найдовший період є найкращою.

Середні величини не є універсальними характеристиками варіаційних рядів. При однакових середніх значення рядів можуть значно відрізнятися за величиною і характером варіювання.

Найпростіший показник варіації ряду є варіаційний розмах або *амплітуда* значень ряду –  $R$

$$R = X_{\max} - X_{\min}. \quad (2.2)$$

Найбільш характерними показниками варіації ряду є величини, які характеризують варіацію (розсіяння) значень ряду навколо його середньої величини. Міру відхилення значень випадкової величини від середнього значення називають *дисперсією*  $S^2$ .



Щоб розрахувати  $S^2$  спочатку розраховуємо квадрати різниць між середнім значенням ряду та всіма випадковими значеннями змінної, які потім додають та ділять на об'єм вибірки.

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.3)$$

Щоб розрахувати середнє *квадратичне* або *стандартне відхилення* потрібно обчислити квадратний корінь з величини дисперсії:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.4)$$

Середнє квадратичне відхилення є критерієм надійності середнього арифметичного значення ряду. Чим воно менше, тим точніше середнє характеризує даний ряд.

Дисперсія і середнє квадратичне відхилення широко застосовуються на практиці. Пояснюється це тим, що воно входить в більшість теорем, які складають фундамент статистики.

При порівнянні різнотипних рядів особливо у випадках, якщо вони мають різні одиниці виміру, то зручніше користуватися при порівнянні варіабельності рядів *коефіцієнтом варіації* (безрозмірною величиною)

$$v = \frac{\delta}{\bar{x}} 100\% \quad (2.5)$$

### 2.3.2. Перевірка статистичної однорідності рядів спостережень за температурою повітря за два кліматичні періоди

Найпростішим способом підтвердження статистично значимих змін температури повітря (підтвердження значимих змін клімату) є використання статистичного аналізу однорідності метеорологічних рядів. Він полягає у встановленні нульової гіпотези, тобто в підтвердженні того, чи належать аналізовані вибірки з двох кліматичних періодів 1961-1990 рр. та 1991-2020

рр. до однієї генеральної сукупності і чи погоджується розподіл фактичних даних з теоретичним. Перевірка нульової гіпотези здійснюється за допомогою параметричних статистичних критеріїв, які дозволяють зробити висновок про її прийняття або спростування.

Параметричні критерії застосовуються зазвичай в тих випадках, коли передбачається нормальний розподіл досліджуваних метеорологічних рядів.

Найчастіше використовуються доволі прості, але добре апробовані в метеорологічній практиці критерії – t-критерій Стьюдента (для перевірки однорідності шляхом порівняння середніх значень вибірок) та F-критерій Фішера (порівнюються дисперсії вибірок).

***T - критерій (Стьюдента)*** застосовується для перевірки рівності (однорідності) двох середніх при близькості дисперсій порівнювальних рядів. Значення  $t$  - критерію розраховується за формулою:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{\delta_1^2}{N_1} + \frac{\delta_2^2}{N_2}}} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\delta_{\bar{x}_1} - \delta_{\bar{x}_2}}, \quad (2.6)$$

де  $\bar{x}_1, \bar{x}_2$  - оцінки вибірових середніх;

$\delta_1, \delta_2$  - оцінки середніх квадратичних відхилень;

$N_1, N_2$  - об'єми порівняльних вибірок.

Величина  $t$  порівнюється з табличним значенням з Додатку [20], що визначається в залежності від довірчого рівня (95% або 99%) і числа ступенів свободи:  $f = N_1 + N_2 - 2$ .

***Гіпотеза про рівність середніх відхиляється, якщо розраховане значення  $t$  більше табличного при заданому довірчому рівні – звичайно 99%.***

Якщо немає таблиць допустимих значень  $t$ , можна використовувати спрощений спосіб перевірки рівності середніх значень (І.П. Шарпов, 1965).

Розходження між їх середніми значеннями вважають випадковим та несуттєвим, якщо  $t < 3\delta_t$  та суттєвим, якщо  $t > 3\delta_t$ .

Величина  $\delta_t$  обчислюється за наступною формулою:

$$\delta_t = \sqrt{\frac{N_1 + N_2 - 2}{N_1 + N_2 - 4}} \quad (2.7)$$

***F* - критерій Фішера.** Іноді порівняльні вибірки не розрізняючись суттєво за середніми значеннями, можуть розрізнятися за стандартними відхиленнями (дисперсіями). Тому, доводячи однорідність порівнюваних вибірок, наприклад, з метою об'єднання їх в одну, слід оцінити чи однакова ступінь розсіювання окремих значень рядів навколо середніх значень.

Найпростішим статистичним інструментом для цього є критерій Фішера (*F* - критерій), що залежить від числа степенів свободи  $f_1 = N_1 - 1$  та  $f_2 = N_2 - 1$  і розраховується за формулою:

$$F = \frac{\delta_1^2}{\delta_2^2} \quad (2.8)$$

$\delta_1$  - більше вибірконе стандартне відхилення;

$\delta_2$  - менше вибірконе стандартне відхилення.

В числівнику повинно бути більше з двох спостерігаючи стандартних відхилень.

Величина *F* порівнюється з табличним значення (дод.5), що визначається в залежності від довірчого рівня та числа степенів свободи  $f_1$  та  $f_2$ .

В дод. 5 [20] наведені граничні значення  $F_{\beta} \left( \frac{f_1}{f_2} \right)$  для 1% та 5% - ного рівня значимості (при 95% та 99% - них довірчих рівнях).

Гіпотеза про рівність порівнюваних дисперсій приймається (вибірki вважаються однорідними), якщо розраховане значення  $F$  менше табличного при заданому рівні значимості.

### 2.3.3. Виявлення часових трендів у багаторічних рядах спостережень з використанням методу найменших квадратів (МНК)

Для виявлення однонаправлених змін у часових рядах було використано метод регресійного аналізу. Для кожного багаторічного ряду спостережень було розраховано рівняння регресії першого порядку на основі методу найменших квадратів з використанням стандартних статистичних програм бібліотеки Excel

$$\bar{y}_x = a + bx, \quad (2.9)$$

де  $a$  - вільний член рівняння,  $b$  - коефіцієнт регресії, що визначає нахил лінії регресії по відношенню до осей координат.

Метод найменших квадратів був запропонований ще на початку XIX століття математиком А. Лежандром та незалежно від нього К. Гаусом у 1806 р. Він базується на положенні, що сума квадратів відхилень емпіричних спостережень  $y_i$  від теоретичної лінії регресії  $\bar{y}_x$  була мінімальною [20]

$$Q = \sum (y_i - \bar{y}_x)^2 = Q_{\min}. \quad (2.10)$$

Звідси походить і назва методу. Його суть полягає в тому, щоб розрахувати такі значення коефіцієнтів  $a$  і  $b$ , при яких сума квадратів відхилень вимірених величин від передбачуваних (за рівнянням) була б мінімальною.

Суть методу найменших квадратів (МНК) можна пояснити, використовуючи рис. 2.1.

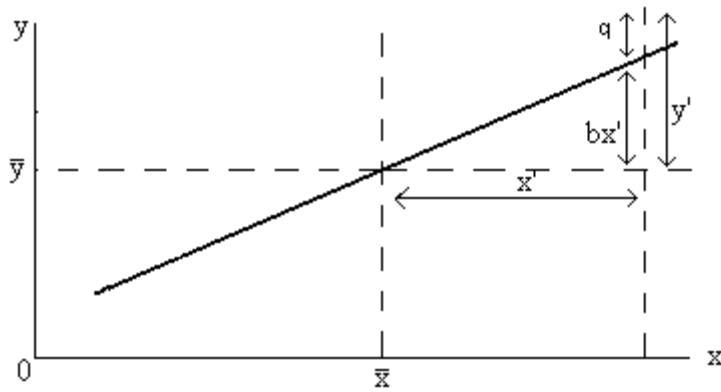


Рис. 2.2 . Оцінка параметрів рівняння лінійної регресії методом найменших квадратів

Через кореляційне поле на графіку проведена пряма  $y(\bar{y}_x) = a + bx$ . Відхилення якої-небудь точки з координатами  $x_i, y_i$  складе величину  $q_i$ :

$$q_i = y_i - \bar{y}_x = y_i - (a + bx_i), \quad (2.11)$$

де  $y_i$  – фактичне значення;  $y_i$  – розрахункове значення залежної змінної  $y$ .

Як видно із рис.2.10, величина  $q_i$  є функцією параметрів  $a$  і  $b$ . Точно так функцією цих параметрів є узагальнений показник розсіяння точок навколо прямої, а саме  $\sum q_i^2$ , тобто  $\sum q_i^2 = f(a, b)$ . Намагання знайти пряму, яка б найкращим чином описувала розміщення точок у координатах  $x, y$ , або, інакше кажучи, пряму, до якої б найтісніше прилягали окремі точки, приводить до вироблення критерію, відповідно до якого параметри  $a$  і  $b$  повинні бути підібрані так, щоб сума квадратів величини  $q_i$  була мінімальною, тобто  $\sum q_i^2 = \min$ .

Необхідною умовою існування мінімуму в точках  $a$  і  $b$  є рівність нулю часткових добутків за невідомими параметрами  $a$  і  $b$ . Для функції

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 \quad (2.12)$$

часткові добутки становлять

$$\frac{dQ}{da} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i) = 0; \quad (2.13)$$

$$\frac{dQ}{da} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)x_i = 0. \quad (2.14)$$

Перетворивши цю систему рівнянь, отримаємо стандартну форму нормальних рівнянь

$$\sum y_i = na + b \sum x_i, \quad (2.15)$$

$$\sum x_i y_i = a \sum x_i + b \sum x_i^2. \quad (2.16)$$

Таким чином, визначивши за спостереженнями суми  $\sum y_i$ ,  $\sum x_i y_i$  та  $\sum x_i^2$  і розв'язавши систему рівнянь (2.15) і (2.16) відносно невідомих  $a$  і  $b$ , можна отримати оцінки  $a$  і  $b$ .

Розділивши перше рівняння системи (2.15) на  $n$ , отримуємо

$$y = a + bx. \quad (2.17)$$

Таким чином, метод найменших квадратів дає такі оцінки  $a$  і  $b$ , що знайдена пряма проходить через точку з координатами  $x$ ,  $y$ , тобто через точку, що відповідає середнім двох змінних.

Значення змінних  $x_i$  і  $y_i$  можуть бути виміряні у відхиленнях від середньої, тобто як  $x_i - x$  і  $y_i - y$ . Позначимо ці різниці  $x'_i$  і  $y'_i$  відповідно. Початок координат при цьому переміститься в точку  $x$ ,  $y$ , а система нормальних рівнянь спрощується, тому що  $\sum y'_i$  і  $\sum x'_i$  дорівнюють нулю. В цьому випадку вирішення другого рівняння системи (2.16) відносно  $b$  дає

$$b = \frac{\sum x'_i y'_i}{\sum (x'_i)^2}, \quad (2.18)$$

а із рівняння (2.17) отримуємо

$$a = y - bx. \quad (2.19)$$

Необхідні для розрахунку суми відхилень можуть бути отримані по вихідних даних так:

$$\sum(x'_i)^2 = \sum x_i^2 - nx^2, \quad (2.20)$$

$$\sum x'_i y'_i = \sum x_i y_i - nxy. \quad (2.21)$$

Визначивши параметри  $a$  і  $b$ , ми отримаємо рівняння регресії, на основі якого можна прогнозувати значення  $y$  залежно від значень  $x$ . Слід мати на увазі, що дійсні значення залежної змінної (метеорологічного показника, у нашому випадку – температури повітря) не завжди співпадатимуть з розрахунковими (прогнозними), оскільки сама лінія регресії описує взаємозв'язки лише в середньому, взагалі. Окремі спостереження розсіяні навколо неї.

### РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БАГАТОРІЧНИХ РЯДІВ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА ТЕМПЕРАТУРОЮ ПОВІТРЯ У ЦЕНТРАЛЬНОМУ РЕГІОНІ УКРАЇНИ

#### 3.1. Характеристика температури повітря за два останні кліматичні періоди 1961-1990 рр. та 1991-2020 рр.

З використанням статистичної програми “Statistica», було розраховано основні статистичні параметри рядів середніх річних значень температури повітря двох кліматичних періодів 1961-1990 рр. (табл.3.1) та 1991-2020 рр. (табл.3.2).

Таблиця 3.1. Основні статистичні параметри рядів середніх річних значень температури повітря першого кліматичного періоду (1961-1990 рр.).

Variable	Descriptive Statistics (Аркуш1 in 2 клім періоди_ для стат перевірки однорідності)				
	Mean	Minimum	Maximum	Std.Dev.	Coef.Var.
Хмільник 1	6,87	5,03	8,88	0,91	13,29
Вінниця 1	6,81	5,03	9,48	0,90	13,21
Жмеринка 1	6,93	5,59	8,87	0,85	12,23
Білопілля 1	7,09	5,23	8,82	1,09	15,33
Гайсин 1	7,49	5,93	9,47	1,02	13,57
Могилів-Подільський 1	8,11	6,03	10,47	1,17	14,42
Жашків 1	7,35	5,47	9,22	1,06	14,37
Умань 1	7,39	5,57	9,36	1,03	13,93
Сміла 1	7,59	5,53	9,64	1,04	13,68
Канів 1	7,56	5,53	9,59	1,05	13,92
Золотоноша 1	7,54	5,49	9,61	1,06	14,08
Черкаси 1	7,57	5,53	9,64	1,02	13,47
Лубни 1	7,47	5,23	9,33	0,96	12,89
Полтава 1	7,34	5,24	9,38	1,12	15,31
Гадяч 1	6,93	4,80	8,98	1,11	16,07
Веселий Поділ 1	7,45	5,41	9,63	1,18	15,85
Кобеляки 1	8,04	5,79	9,93	1,14	14,20
Кривий Ріг 1	8,40	6,26	10,08	0,97	11,57



Дніпро 1	8,31	6,27	10,13	1,01	12,19
Павлоград 1	8,36	6,07	10,09	1,03	12,36
Чаплине 1	8,15	5,81	9,66	1,04	12,72
Губиниха 1	8,01	5,55	9,63	1,12	14,02
Нікополь 1	9,26	7,30	11,03	1,06	11,48
Знамянка 1	8,15	5,65	10,99	1,41	17,25
Бобринець 1	8,50	6,33	11,05	1,26	14,78
Гайворон 1	8,01	5,85	9,84	1,08	13,49
Кропивницький1	7,97	5,88	9,78	1,04	12,98
Помічна 1	7,81	6,00	9,57	1,01	12,98
Світловодськ 1	8,53	6,23	10,20	1,09	12,82

Таблиця 3.2. Основні статистичні параметри рядів середніх річних значень температури повітря другого кліматичного періоду (1990-2020 рр.).

Variable	Descriptive Statistics (Аркуш1 in 2 клім періоди_ для стат перевірки однорідності)				
	Mean	Minimum	Maximum	Std.Dev.	Coef.Var.
Хмільник 2	8,36	6,51	9,93	0,80	9,62
Вінниця 2	8,39	6,17	9,91	0,89	10,58
Жмеринка 2	8,30	6,52	9,88	0,79	9,47
Білопілля 2	8,27	6,32	10,42	0,92	11,11
Гайсин 2	8,86	7,11	10,45	0,87	9,82
Могилів-Подільський 2	9,79	8,08	11,24	0,75	7,67
Жашків 2	8,59	6,81	9,93	0,88	10,20
Умань 2	8,71	7,18	10,05	0,77	8,84
Сміла 2	8,87	7,29	10,07	0,71	8,06
Канів 2	8,93	7,20	10,11	0,78	8,69
Золотоноша 2	8,94	7,27	10,15	0,76	8,55
Черкаси 2	8,72	7,08	9,89	0,76	8,68
Лубни 2	8,59	6,76	9,75	0,81	9,48
Полтава 2	8,70	6,76	9,88	0,83	9,50
Гадяч 2	8,35	6,38	9,50	0,86	10,25
Веселий Поділ 2	8,82	6,95	10,06	0,83	9,38
Кобеляки 2	9,16	7,39	10,44	0,75	8,23
Кривий Ріг 2	9,44	7,59	10,86	0,80	8,51
Дніпро 2	9,45	7,41	10,80	0,85	9,04
Павлоград 2	9,42	7,43	10,54	0,83	8,82
Чаплине 2	9,16	7,18	10,44	0,93	10,10
Губиниха 2	9,11	7,06	10,23	0,88	9,67
Нікополь 2	10,33	8,53	11,79	0,81	7,81
Знам'янка 2	8,84	7,03	10,37	0,90	10,22
Бобринець 2	9,46	7,70	10,78	0,82	8,66
Гайворон 2	9,32	7,73	10,76	0,77	8,25
Кропивницький 2	9,24	7,39	10,50	0,81	8,72

Помічна 2	9,07	7,38	10,53	0,81	8,96
Світловодськ 2	9,49	7,71	10,83	0,79	8,32

Для зручності аналізу отриманих даних на основі цих розрахунків було побудовано діаграми діапазонів коливань температури повітря по окремих метеорологічних станціях за обидва періоди (рис.3.1 та рис.3.2).

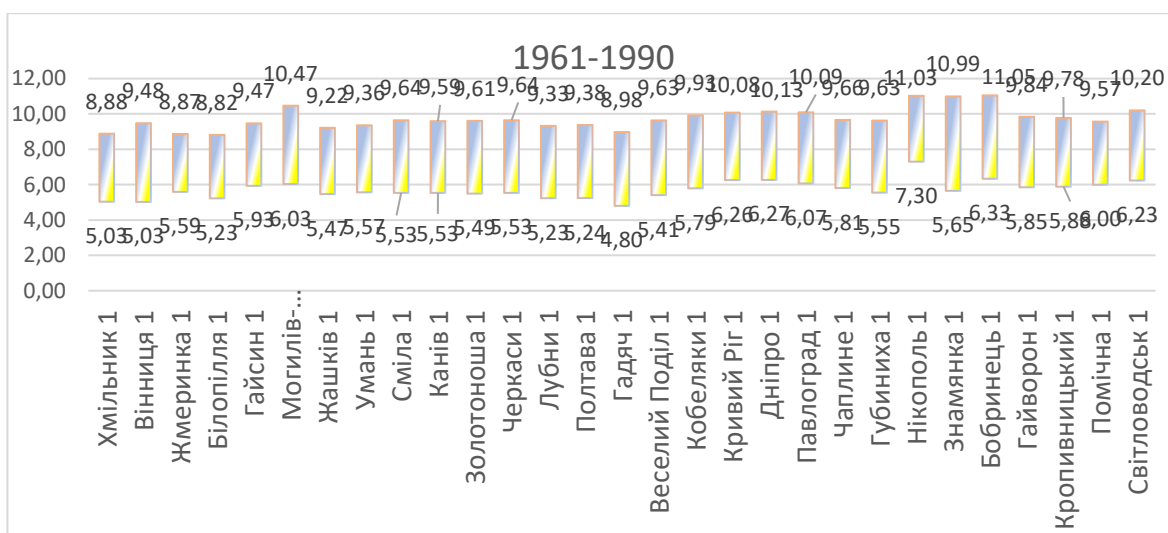


Рис.3.1. Діаграма діапазонів коливань температури повітря по окремих метеорологічних станціях за період з 1961 по 1990рр

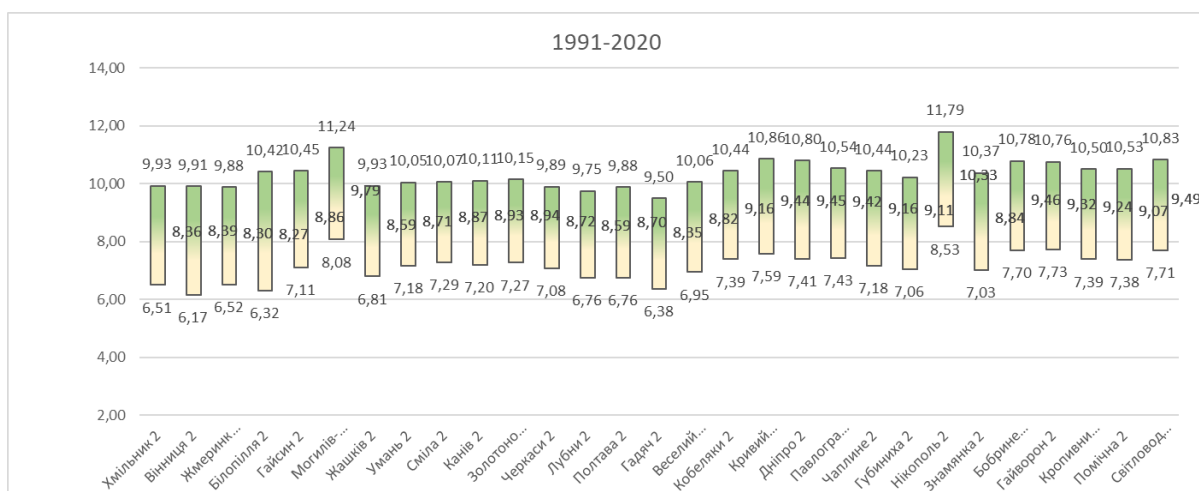


Рис.3.2. Діаграма діапазонів коливань температури повітря по окремих метеорологічних станціях за період з 1991 по 2020рр

Аналізуючи отримані вище результати можна зробити висновок, що в першому періоді діапазон коливань осереднених значень температури коливався в інтервалі від 5 до 10 $^{\circ}$ C, а в другому періоді вже від 6-7 $^{\circ}$ C і до 12 $^{\circ}$ C.

Помітно збільшилася середня річна температура у другому періоді (рис.3.3).

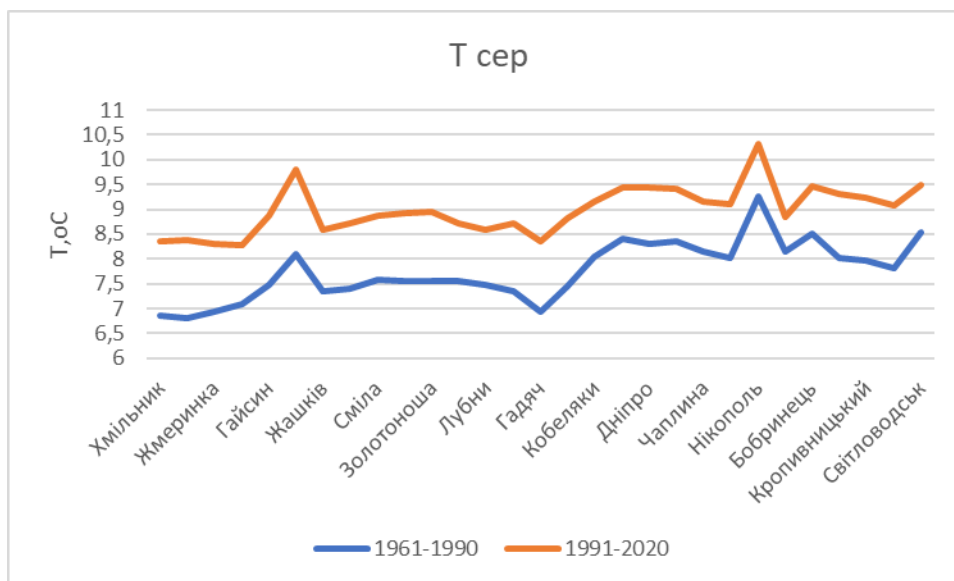


Рис. 3.3. Порівняння середніх річних температур повітря у двох кліматичних періодах

Порівняння мінімальних і максимальних річних температур повітря у двох кліматичних періодах (рис.3.4) показує, що мінімальні температури збільшилися набагато більше, ніж максимальні. Тобто потепління клімату більш відчутне в холодний період року.

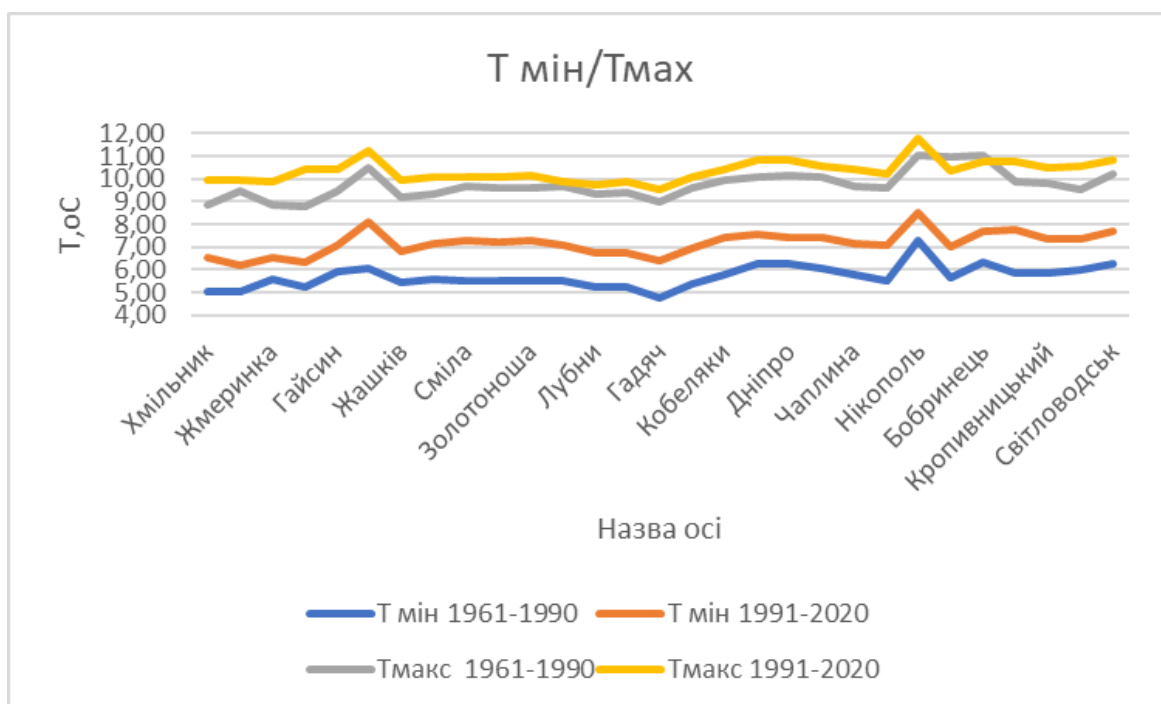


Рис.3.4. Порівняння мінімальних і максимальних річних температур повітря у двох кліматичних періодах

Звуження амплітуди коливань температур, через ефективніше потепління в холодний період року (збільшення мінімальних температур) зменшилася і варіація значень температури повітря у другому кліматичному періоді.

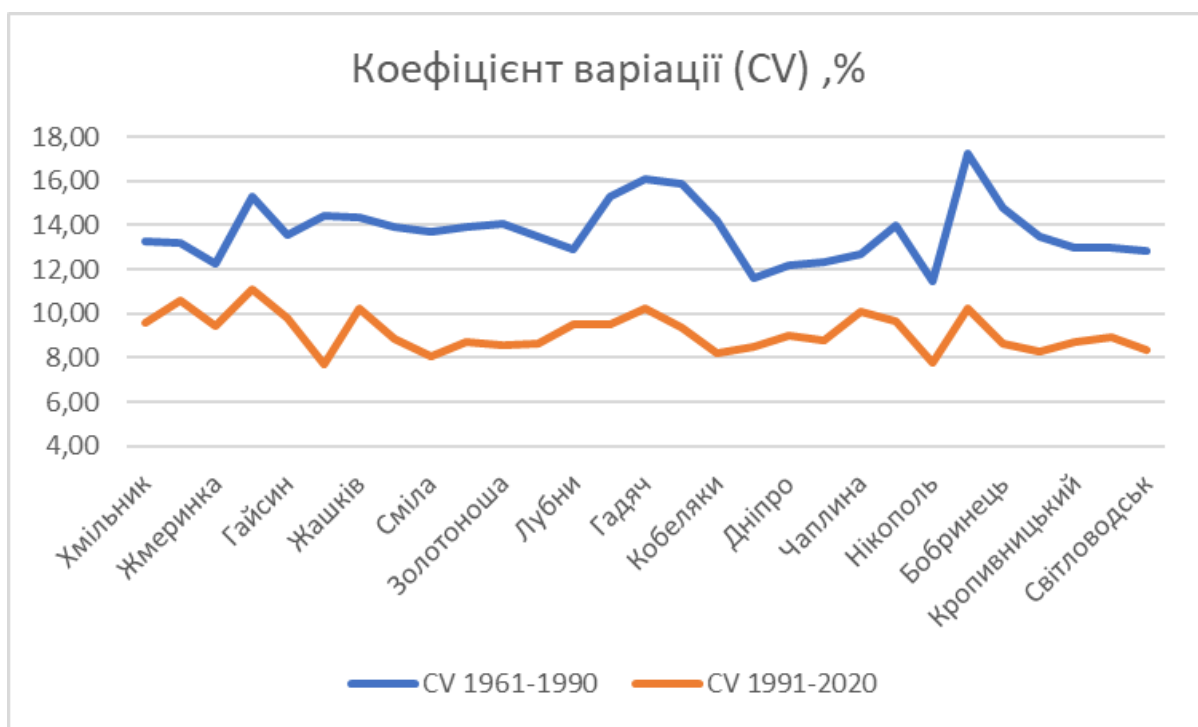


Рис.3.5. Зменшення варіації значень температури повітря у другому кліматичному періоді

Якщо порівняти температурні норми 1 і 2 кліматичних періодів, то можна помітити суттєве підвищення температури повітря на метеорологічних станціях району (рис.3.6). Найбільше потепління спостерігається на МС Нікополь і МС Могилів -Подільський, відповідно на 2,0 і 2,5 оС. Найменші значення на МС Жмеринка і Білопілля.

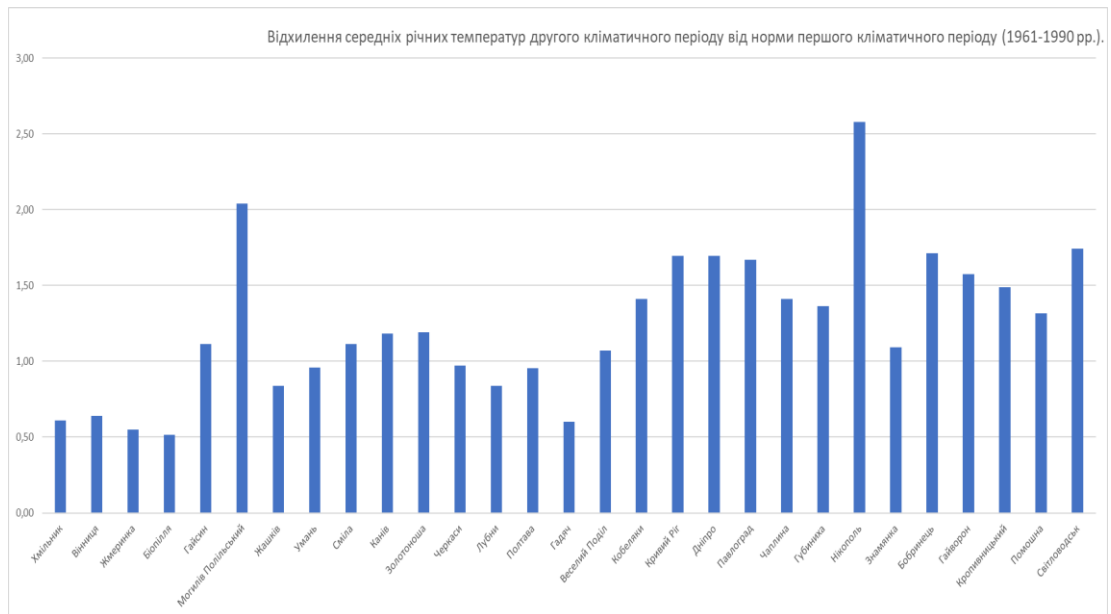


Рис. 3.6. Відхилення середніх річних температур другого кліматичного періоду (1991-2020 рр.) від норми першого кліматичного періоду (1961-1990 рр.)

### 3.2. Виявлення статистично значимих змін температури повітря шляхом перевірки статистичної однорідності рядів спостережень за температурою повітря за два кліматичні періоди.

Для підтвердження статистичної значимості зміни температури у другому кліматичному періоді (1991-2020 рр.) з першим кліматичним періодом (1961-1990 рр.) було виконано порівняння статистичних характеристик температурних рядів обох періодів з використанням параметричних критеріїв. Суть цього порівняння полягає у встановленні нульової гіпотези, тобто в підтвердженні того, чи належать аналізовані вибірки з двох кліматичних періодів 1961-1990 рр. та 1991-2020 рр. до однієї генеральної сукупності і чи погоджується розподіл фактичних даних з теоретичним.

Середні значення (кліматичні норми) рядів спостережень за температурою повітря порівнювались за критерієм Стюдента, а варіаційні характеристики рядів за критерієм Фішера, описаних в розділі 2.

Розрахунки виконувалися з використанням статистичної програми “Statistica”.

Результати розрахунків наведені в таблиці 3.3.

В усіх досліджених випадках не було підтверджено статистичну однорідність аналізованих вибірок з двох кліматичних періодів 1961-1990 рр. та 1991-2020 рр. Тобто статистично доведено, що температурний режим змінився досить суттєво, що є підтвердженням протікання процесів глобального потепління на території Центрального регіону України.

Таблиця 3.3. Статистична оцінка однорідності середніх арифметичних значень за тестом Стьюдента та середніх квадратичних відхилень за тестом Ф середніх річних значень температури повітря за два порівняльні періоди (1961-1990 рр. та 1991-2020 рр.).

Group 1 vs. Group 2	T-test for Independent Samples (Аркуш1 in 2 клім періоди _ для стат перевірки однорідності) Note: Variables were treated as independent samples										
	Mean	Mean	t-value	df	p	Valid N	Valid N	Std.Dev.	Std.Dev.	F-ratio	p
Хмільник 1 vs. Хмільник 2	6,9	8,4	-6,7	58	0,000000	30	30	0,913	0,804	1,290	0,497
Вінниця 1 vs. Вінниця 2	6,8	8,4	-6,9	58	0,000000	30	30	0,899	0,888	1,026	0,945
Жмеринка 1 vs. Жмеринка 2	6,9	8,3	-6,5	58	0,000000	30	30	0,847	0,785	1,164	0,685
Білопілля 1 vs. Білопілля 2	7,1	8,3	-4,5	58	0,000030	30	30	1,087	0,918	1,400	0,370
Гайсин 1 vs. Гайсин 2	7,5	8,9	-5,6	58	0,000001	30	30	1,016	0,870	1,365	0,407
Могилів-Подільський 1 vs. Могилів-Подільський 2	8,1	9,8	-6,6	58	0,000000	30	30	1,169	0,751	2,421	0,020
Жашків 1 vs. Жашків 2	7,4	8,6	-4,9	58	0,000007	30	30	1,056	0,876	1,455	0,319
Умань 1 vs. Умань 2	7,4	8,7	-5,6	58	0,000001	30	30	1,030	0,770	1,790	0,123
Сміла 1 vs. Сміла 2	7,6	8,9	-5,6	58	0,000001	30	30	1,038	0,714	2,111	0,049
Канів 1 vs. Канів 2	7,6	8,9	-5,7	58	0,000000	30	30	1,053	0,776	1,840	0,106
Золотоноша 1 vs. Золотоноша 2	7,5	8,9	-5,8	58	0,000000	30	30	1,063	0,764	1,935	0,081
Черкаси 1 vs. Черкаси 2	7,6	8,7	-5,0	58	0,000006	30	30	1,019	0,757	1,813	0,115
Дубни 1 vs. Дубни 2	7,5	8,6	-4,8	58	0,000010	30	30	0,963	0,814	1,398	0,372
Полтава 1 vs. Полтава 2	7,3	8,7	-5,3	58	0,000002	30	30	1,125	0,827	1,849	0,103
Гадяч 1 vs. Гадяч 2	6,9	8,3	-5,6	58	0,000001	30	30	1,113	0,856	1,693	0,162
Веселий Поділ 1 vs. Веселий Поділ 2	7,4	8,8	-5,2	58	0,000002	30	30	1,180	0,827	2,036	0,060
Кобеляки 1 vs. Кобеляки 2	8,0	9,2	-4,5	58	0,000033	30	30	1,141	0,754	2,288	0,029
Кривий Ріг 1 vs. Кривий Ріг 2	8,4	9,4	-4,5	58	0,000031	30	30	0,972	0,803	1,464	0,310
Дніпро 1 vs. Дніпро 2	8,3	9,4	-4,7	58	0,000017	30	30	1,013	0,854	1,409	0,361
Павлоград 1 vs. Павлоград 2	8,4	9,4	-4,4	58	0,000055	30	30	1,034	0,830	1,550	0,244
Чаплине 1 vs. Чаплине 2	8,2	9,2	-4,0	58	0,000194	30	30	1,037	0,926	1,256	0,544
Губиниха 1 vs. Губиниха 2	8,0	9,1	-4,2	58	0,000086	30	30	1,123	0,881	1,626	0,197
Нікополь 1 vs. Нікополь 2	9,3	10,3	-4,4	58	0,000049	30	30	1,063	0,806	1,738	0,142
Знамянка 1 vs. Знамянка 2	8,2	8,8	-2,3	58	0,027632	30	30	1,407	0,904	2,423	0,020
Бобринець 1 vs. Бобринець 2	8,5	9,5	-3,5	57	0,001027	30	29	1,257	0,819	2,352	0,026
Гайворон 1 vs. Гайворон 2	8,0	9,3	-5,4	58	0,000001	30	30	1,081	0,770	1,974	0,072
Кропивницький 1 vs. Кропивницький 2	8,0	9,2	-5,3	58	0,000002	30	30	1,035	0,806	1,650	0,183
Помічна 1 vs. Помічна 2	7,8	9,1	-5,3	58	0,000002	30	30	1,014	0,812	1,557	0,239
Світловодськ 1 vs. Світловодськ 2	8,5	9,5	-3,9	58	0,000247	30	30	1,093	0,790	1,917	0,085



## РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ЧАСОВОЇ ДИНАМІКИ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ

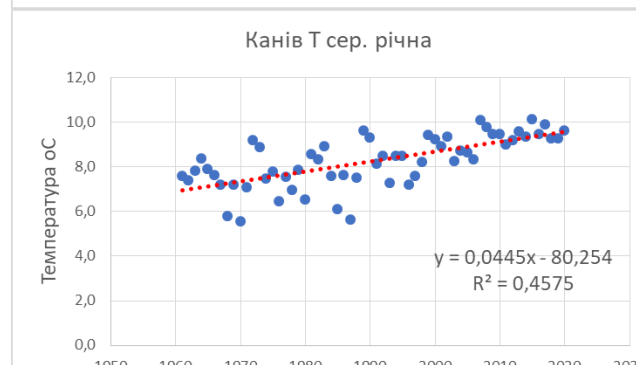
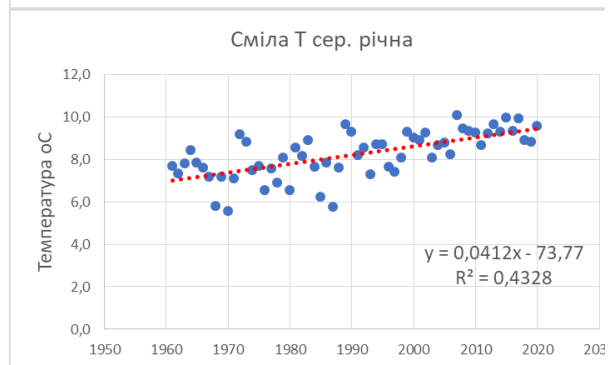
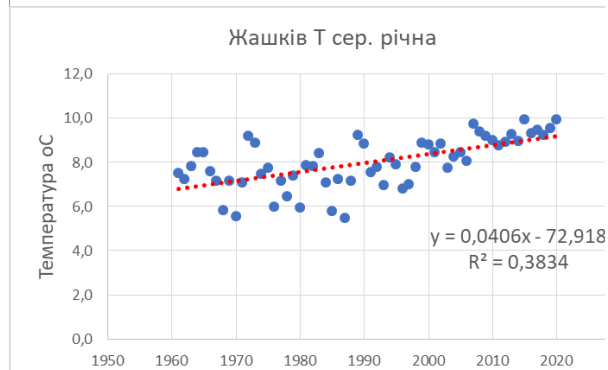
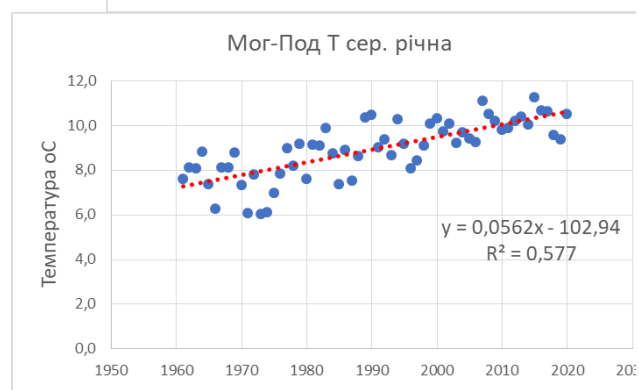
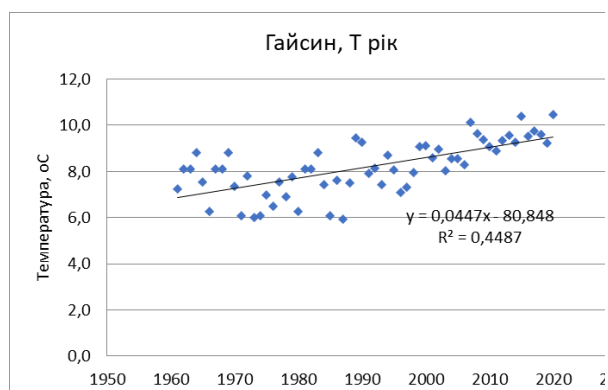
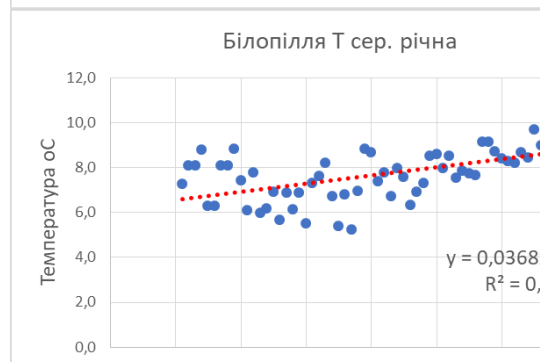
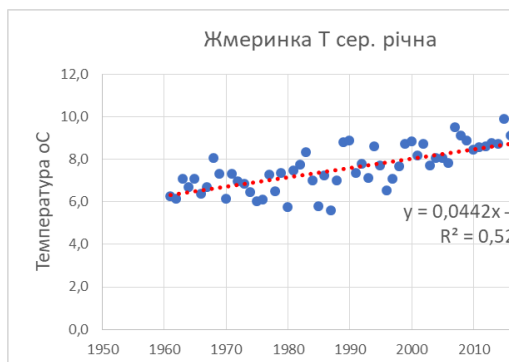
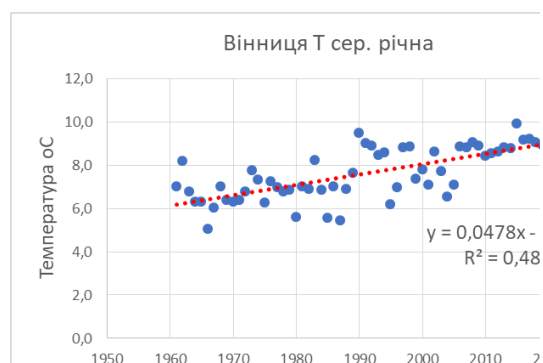
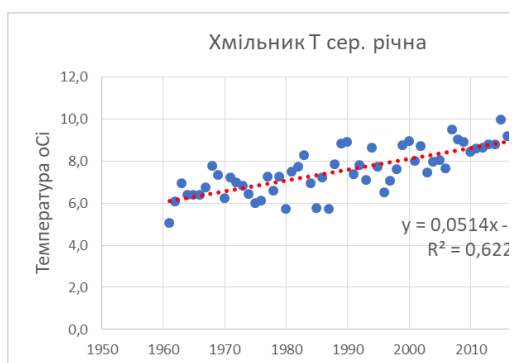
### 4.1. Аналіз часової динаміки середньої річної температури повітря

З метою встановлення сучасних тенденцій зміни температури повітря протягом 1961-2020 рр. в Центральному регіоні України було розраховано часові тренди температури повітря за методом найменших квадратів (МНК) [20], який дозволяє апроксимувати емпіричну залежність  $T=f(t)$  будь-якою теоретичною лінійною чи криволінійною залежністю ( $T$  – значення температури повітря,  $t$  – час (роки)). Суть МНК описана в розділі 2.2.3 даної роботи.

У якості теоретичної апроксимуючої моделі було використано рівняння лінійної регресії, тому що лінійний тренд має властивість характеризувати собою деякий осереднений динамічний рівень протікання процесу у часі. Його використання дає змогу достатньо об'єктивно описати середній рівень температури повітря у будь-який момент часу  $t$ , особливо на початку та в кінці досліджуваного періоду, що має певний практичний і теоретичний інтерес.

Результати дослідження трендів наведені нижче на рисунках 4.1 та 4.2 та в таблицях 4.1 та 4.2.

Рисунок 4.1 та таблиця 4.1 містять результати досліджень рядів температури на метеорологічних станціях лісостепової недостатньо зволоженої теплої зони, а рисунок 4.2 та таблиця 4.2. – на метеорологічних станціях степової посушливої дуже теплої зони.



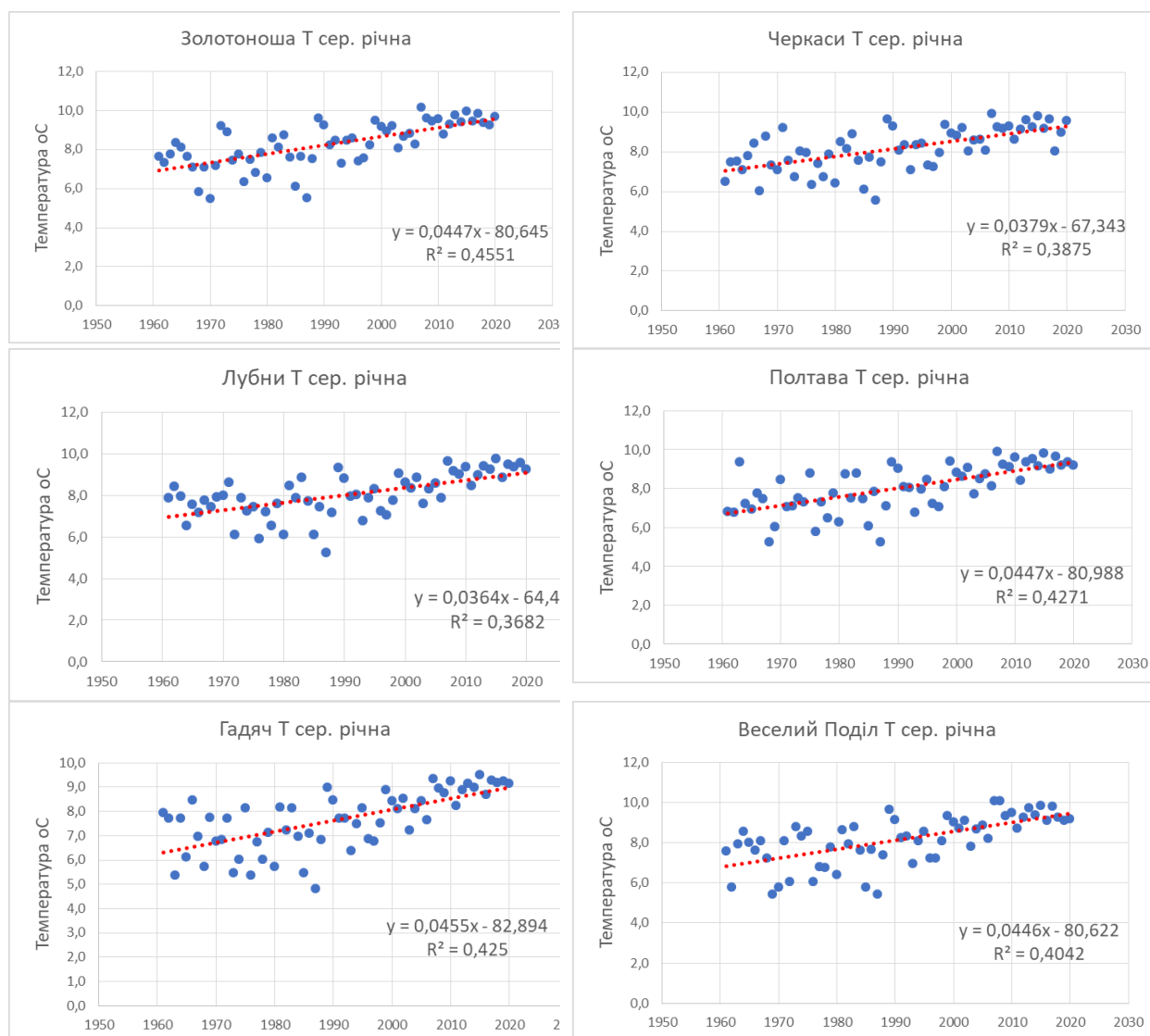


Рис. 4.1. Лінійні тренди часових рядів середньої річної температури повітря на метеорологічних станціях Центрального регіону в межах лісостепової недостатньо зволоженої теплої зони

Для аналізу отриманих результатів аналізу складено таблицю 4.1., яка є зведенням основних характеристик трендів часових рядів температури.

Таблиця 4.1. Параметри трендів рядів середньої річної температури на метеорологічних станціях Центрального регіону в межах лісостепової недостатньо зволоженої теплої зони

МС	Коеф регресії	Т середня на початку періоду	Т середня в кінці періоду	Різниця температур	Середня зміна температури, оС/рік
Хмільник	0,0541	6,2	9,2	3	0,051
Вінниця	0,0707	6,3	9,0	3,3	0,056
Жмеринка	0,0442	6,4	9	2,6	0,044
Білопільля	0,0368	6,7	8,8	2,1	0,036
Гайсин	0,0447	6,8	9,4	2,6	0,044
Могилів-Поліський	0,0562	7,3	10,6	3,3	0,056
Жашків	0,0406	6,7	9,1	2,8	0,047
Умань	0,0417	6,9	9,4	2,5	0,042
Сміла	0,0412	7	9,5	2,5	0,042
Канів	0,0445	7	9,6	2,6	0,044
Золотоноша	0,0447	7	9,6	2,6	0,044
Черкаси	0,0379	7	9,2	2,2	0,037
Лубни	0,0364	7	9,1	2,1	0,036
Полтава	0,0447	6,7	9,3	2,6	0,044
Гадяч	0,0455	6,3	9	3,3	0,056
Веселий Поділ	0,0446	6,8	9,4	2,6	0,044
<b>Середнє</b>	<b>0,0455</b>	<b>6,8</b>	<b>9,3</b>	<b>2,7</b>	<b>0,045</b>

#### 4.2. Аналіз часової динаміки температури повітря теплої і холодної періодів року

На основі таблиці 4.2 побудовано ранжовану діаграму середніх величин щорічного приросту температури повітря на метеорологічних станціях Центрального регіону в межах лісостепової недостатньо зволоженої теплої зони

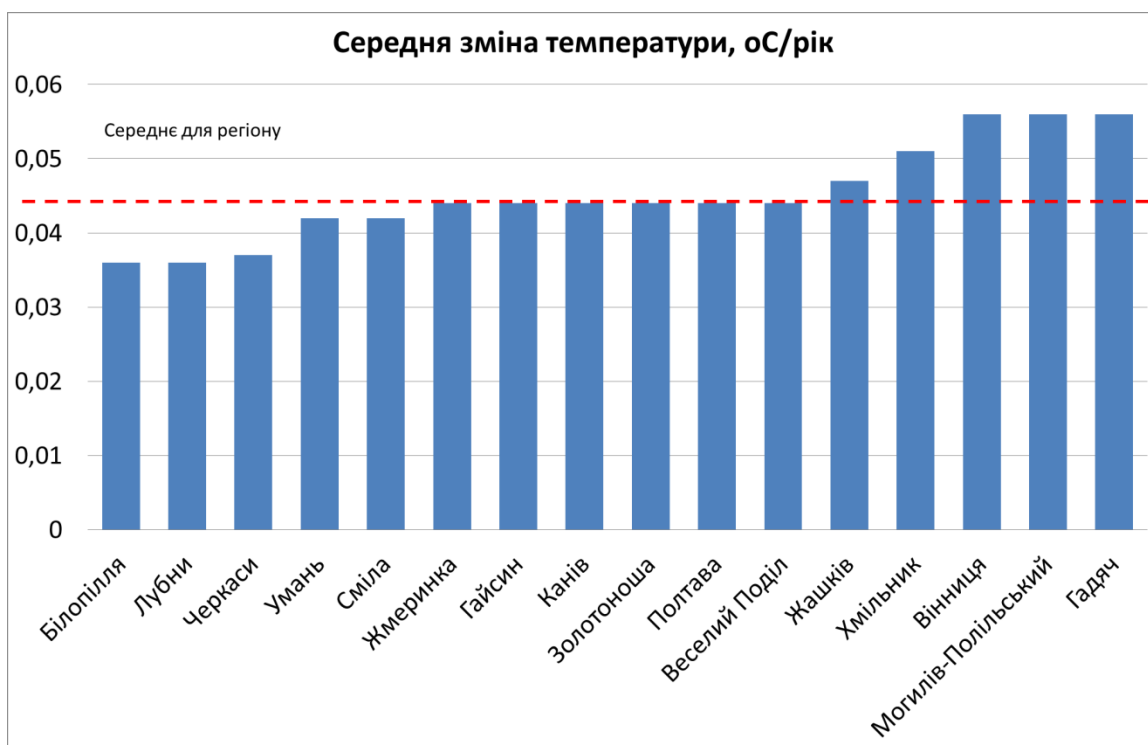
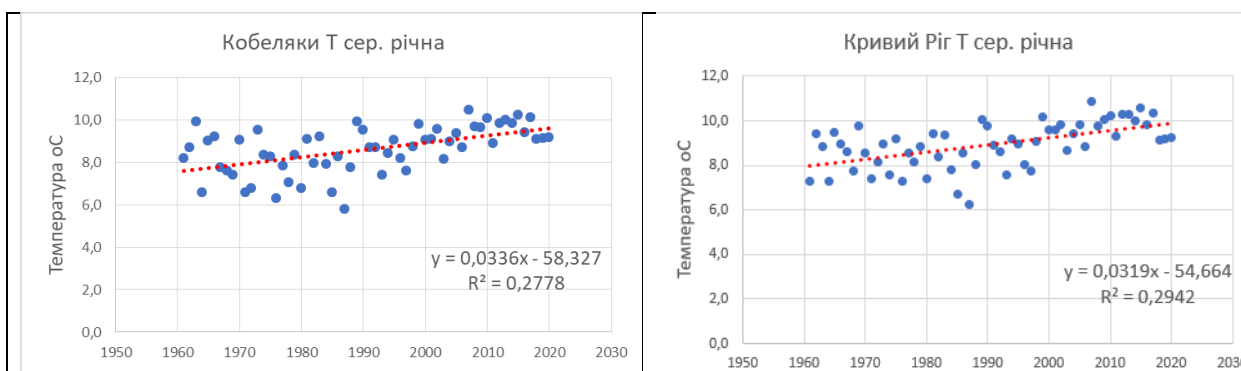
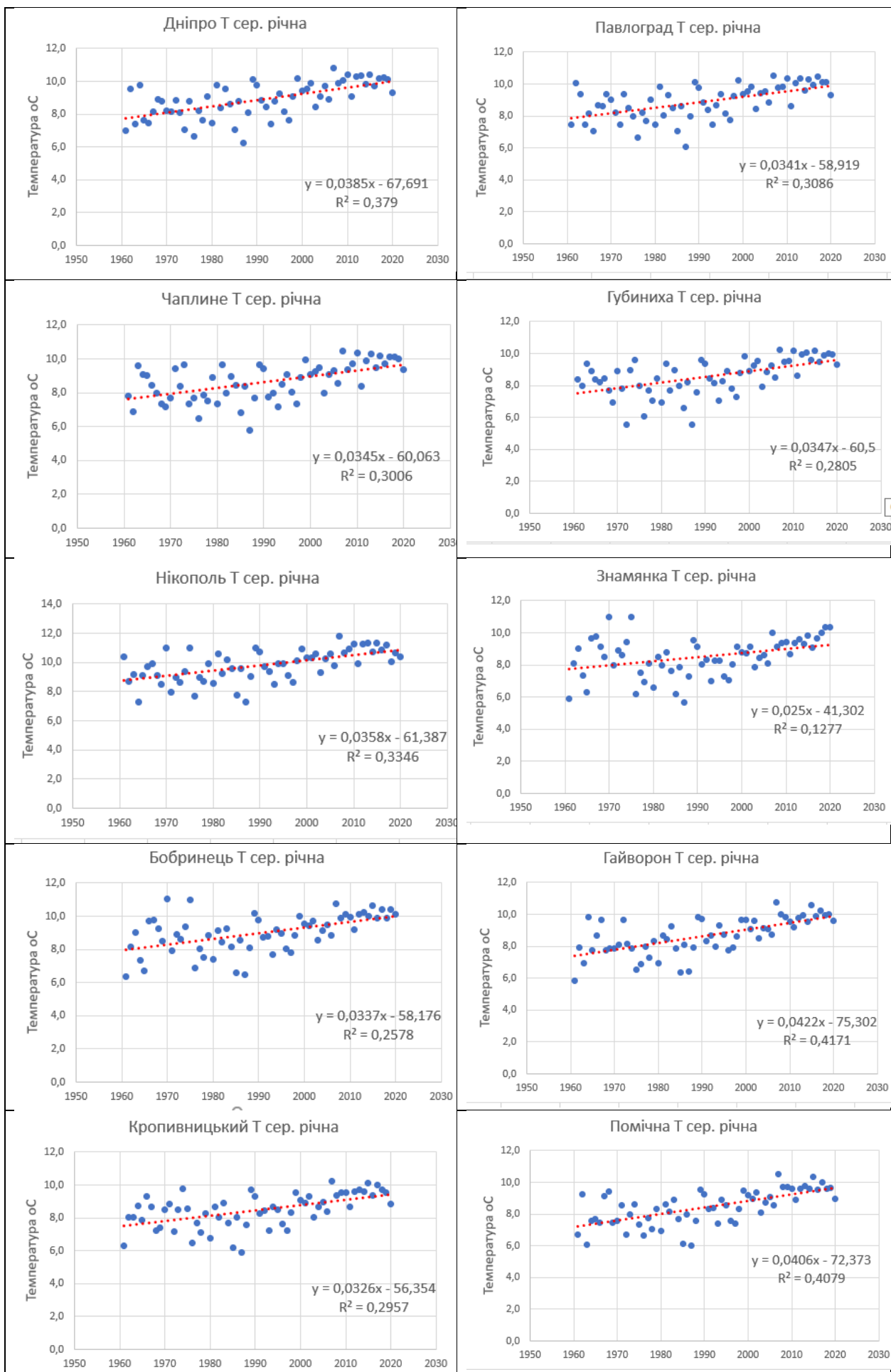


Рис.4.3. Ранжована діаграма середніх величин щорічного приросту температури повітря на метеорологічних станціях Центрального регіону в межах лісостепової недостатньо зволоженої теплої зони

На ранжованій діаграмі середніх величин щорічного приросту температури повітря на метеорологічних станціях Центрального регіону в межах лісостепової недостатньо зволоженої теплої зони видно, що існує загальна тенденція до зростання середньої температури. Можна відзначити, що найменша середня зміна температури виявлена на станції Білопілля, тоді як найбільша середня зміна спостерігається на станції Гадяч.





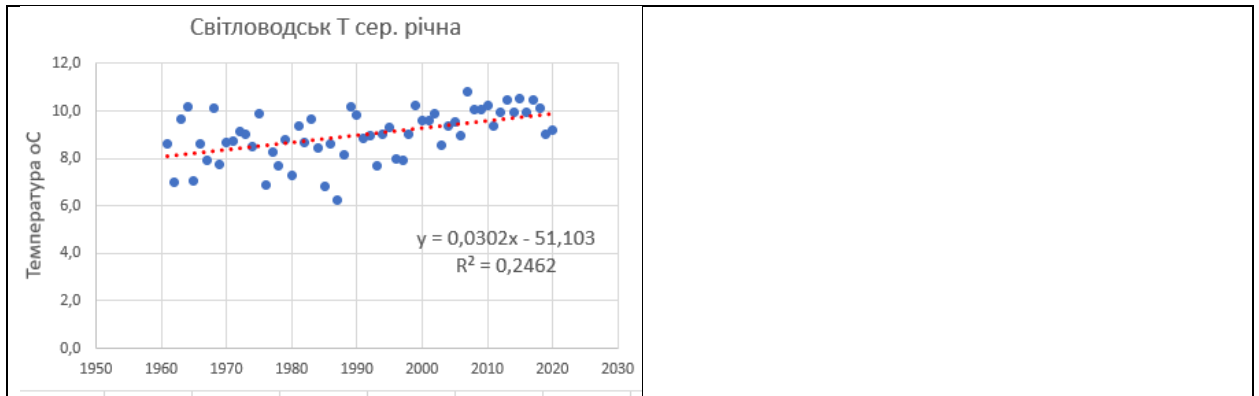


Рис. 4.4. Лінійні тренди часових рядів середньої річної температури повітря на метеорологічних станціях Центрального регіону в межах степової посушливої дуже теплої зони

Для аналізу отриманих результатів аналізу складено таблицю 4.2., яка є зведенням основних характеристик трендів часових рядів температури.

Таблиця 4.2. Параметри трендів рядів середньої річної температури на метеорологічних станціях Центрального регіону в межах регіону в межах степової посушливої дуже теплої зони

МС	Коефіцієнт регресії	Т середня на початку періоду	Т середня в кінці періоду	Різниця температур	Середня зміна температури, оС/рік
Кобеляки	0,0336	7,6	9,6	2,0	0,034
Кривий Ріг	0,0319	7,9	9,8	2,9	0,049
Дніпро	0,0385	7,8	10,1	2,3	0,039
Павлоград	0,0341	8	10	2	0,034
Чаплине	0,0345	7,6	9,6	2	0,034
Губиниха	0,0347	7,5	9,6	2,1	0,036
Нікополь	0,0358	8,8	11	2,2	0,037
Знамянка	0,025	7,7	9,1	1,4	0,024
Бобринець	0,0337	7,9	9,9	2	0,034
Гайворон	0,0422	7,5	10	2,5	0,042
Кропивницький	0,0326	7,6	9,5	1,9	0,032
Помічна	0,0406	7,2	9,6	2,4	0,041
Світловодськ	0,0302	8,1	9,9	1,8	0,031
<b>Середнє</b>	<b>0,0344</b>	<b>7,8</b>	<b>9,8</b>	<b>2,1</b>	<b>0,035</b>

На основі таблиці 4.2 побудовано ранжовану діаграму середніх величин щорічного приросту температури повітря на метеорологічних станціях регіону

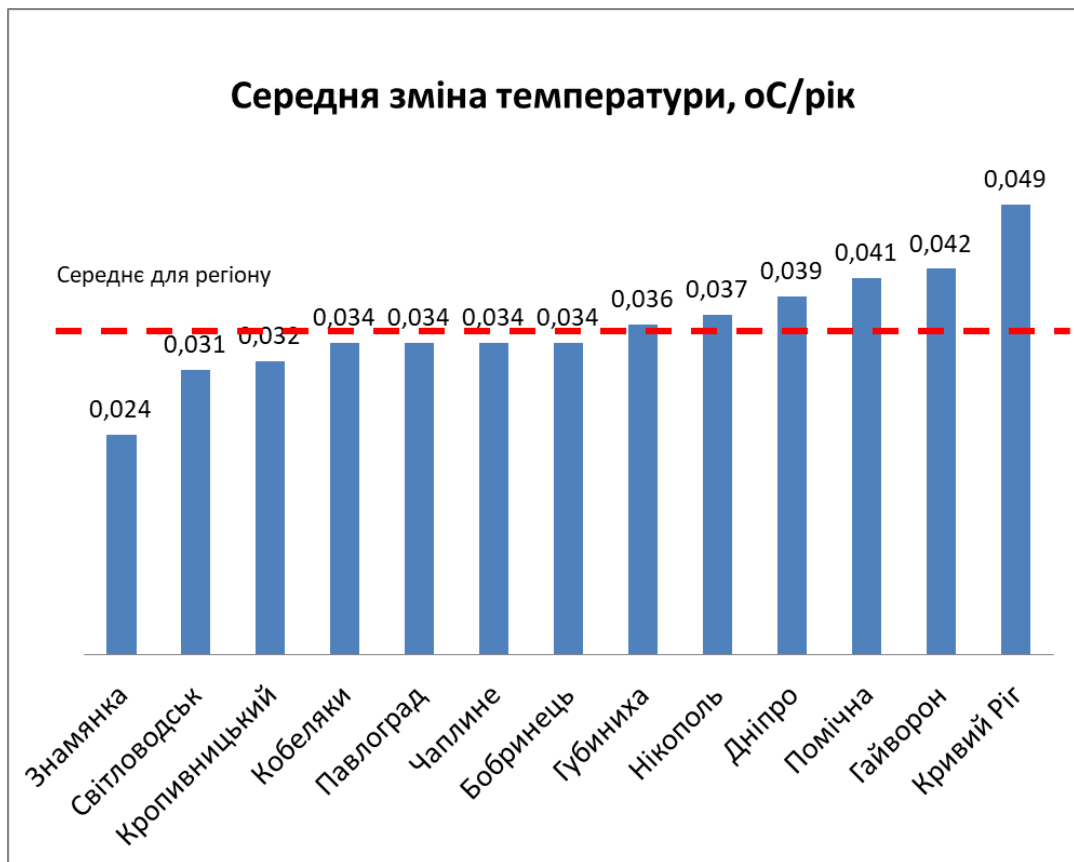


Рис.4.4. Ранжована діаграма середніх величин щорічного приросту температури повітря на метеорологічних станціях Центрального регіону в межах степової посушливої дуже теплої зони

Роблячи висновок із даної діаграми, можна сказати, що в межах степової посушливої дуже теплої зони Центрального регіону, спостерігається помірний, але стабільний приріст температури повітря щорічно. Приріст спостерігається від метеостанції Знам'янка до станції Кривий Ріг. За даними, представленими у таблиці, можна побачити, що найменший приріст середньої температури виявлена на станції Знам'янка з величиною 0.024 градусів за рік, тоді як найбільша середня зміна спостерігається на станції Кривий Ріг, де приріст становить 0.049 градусів.



## РОЗДІЛ 5. ПРОСТОРОВА ХАРАКТЕРИСТИКА ЧАСОВОЇ ДИНАМІКИ ТЕМПЕРАТУРИ НА МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СТАНЦІЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНУ

Для просторового аналізу часової динаміки температури на метеорологічних станціях Центрального району було побудовано 3D-діаграми залежності температури від географічних координат метеорологічної станції (широти та довготи).

Результати представлені на рис. 5.1 – 5.3.

З технічної точки зору ці діаграми досить об'єктивно відображають реальну картину просторового розподілу температури, за виключенням крайових областей діаграми, де автоматично завищено, чи занижено реальні значення показників.

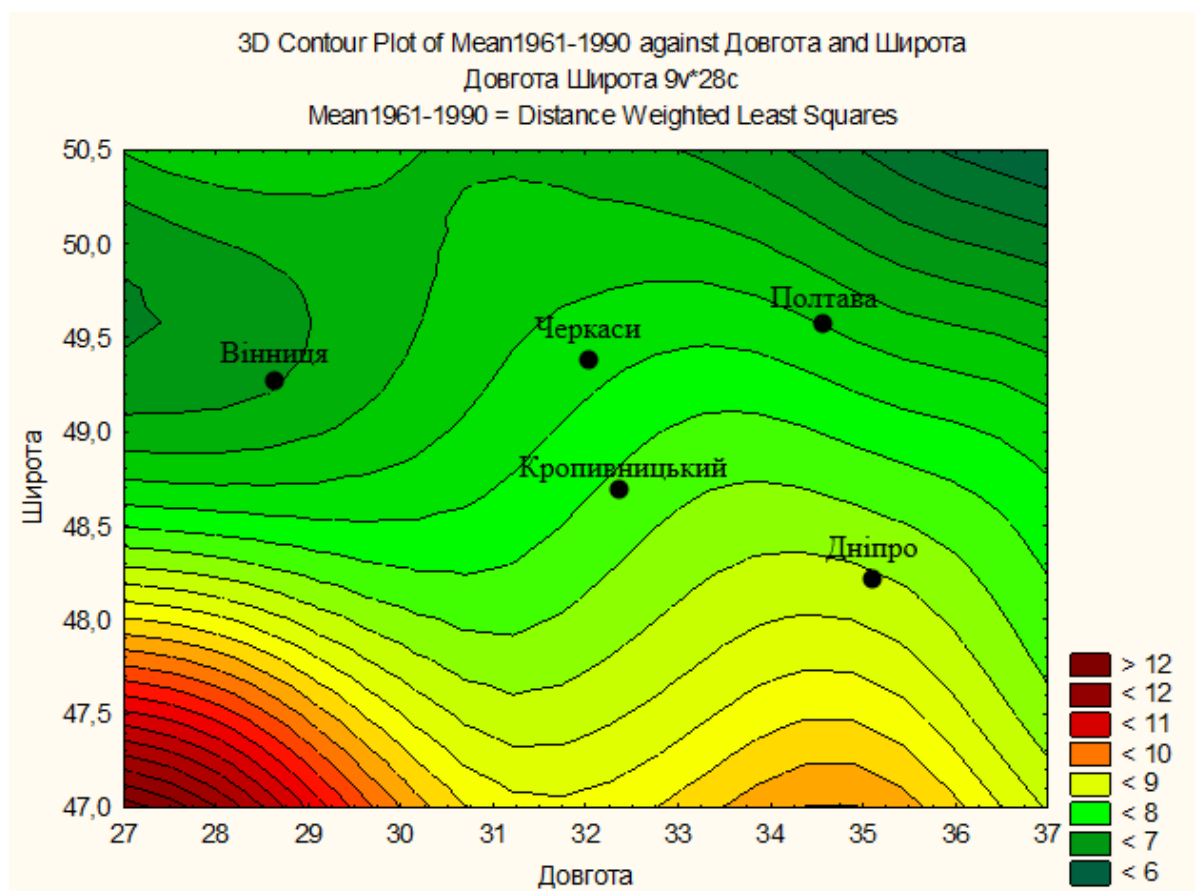


Рис. 5.1 Просторовий розподіл середньої річної температури повітря у першому кліматичному періоді (1961-1990 рр.)

Аналізуючи вихідні дані найбільший приріст середньої річної температури повітря у першому кліматичному періоді спостерігається в районі станції Дніпро, в свою чергу, найменший приріст у Вінниці.

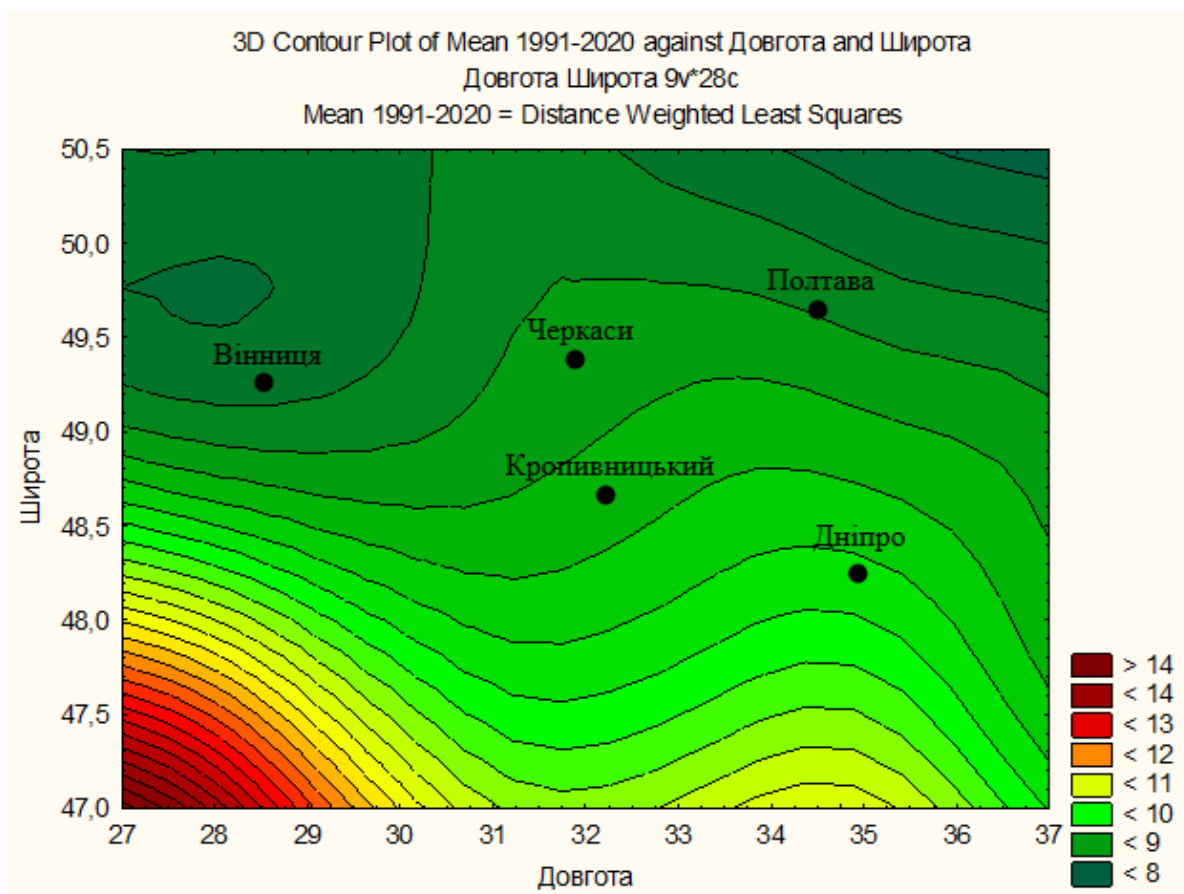


Рис.5.2 Просторовий розподіл середньої річної температури повітря у другому кліматичному періоді (1991-2020 рр.)

Найбільший приріст середньої річної температури повітря у другому кліматичному періоді спостерігається поблизу станції Дніпро, найменший приріст у Вінниці, що спостерігається і у першому періоді.

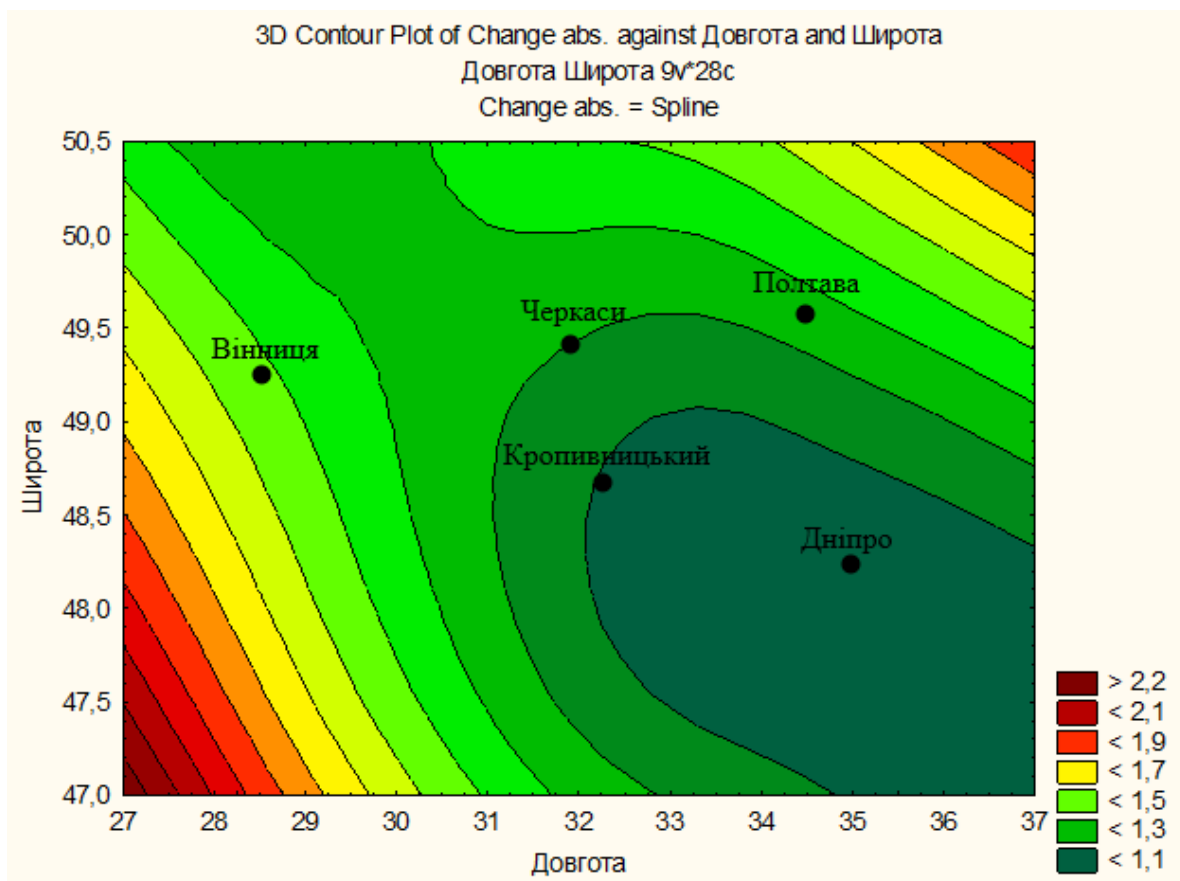


Рис.5.3 Просторова характеристика нерівномірності потепління у Центральному регіоні України (різниці температурних норм 1961-1990 і 1991-2020 рр.)

Аналізуючи просторову характеристику нерівномірності потепління у Центральному регіоні України у період з 1961 по 2020, можна зазначити, в районі Дніпра – найменше потепління, в районі Вінниці – найбільше.

## **6. АНАЛІЗ МАЙБУТНЬОЇ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ У ЦЕНТРАЛЬНОМУ РЕГІОНІ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ ПРОЄКЦІЙ ТЕМПЕРАТУРИ ЗА ДВОМА СЦЕНАРІЯМИ РОЗВИТКУ ТРАЄКТОРІЙ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ RCP 2.6 ТА RCP 8.5**

### **6.1. Аналіз змін середньої річної температури повітря за період з 1961 по 2080 рр.**

У даному розділі представлено результати дослідження проєкцій температури повітря у Центральному районі України як у межах лісостепової недостатньо зволоженої теплої зони (далі – лісостеп) так і в межах степової посушливої дуже теплої зони (далі -степ) за різними сценаріями для двох майбутніх 30-річних кліматичних періодів 2021-2050 рр. та 2051-2080 рр.

На даному графіку (рис.6.1) відображено динаміку температури повітря на метеорологічних станціях Центрального регіону в межах лісостепової недостатньо зволоженої теплої зони за період 1961-2080 на основі RCP 2.6. У першій частині графіку (до початку XXI століття) можна побачити відносну стабільність температур із невеликим, але поступовим зростанням.

Як було встановлено раніше в розділі 4, протягом 1961-2020 рр. в межах лісостепової недостатньо зволоженої теплої зони температура зросла у середньому на 2,70 оС, а щорічний темп росту температури склав 0,045 оС.

Температури в більшості регіонів коливаються в межах 5–10°С, але уже починають простежуватись тенденції до збільшення. У цей період абсолютні мінімуми можна спостерігати на станціях Гайсин, Жмеринка, Білопілля, Кобеляки із температурами близько 6-7°С, натомість абсолютні максимуми 10-11°С на станціях у Кривому Розі, Черкасах, Могилеві-Подільському.

Починаючи приблизно із 2000х років спостерігається чітке зростання середньорічної температури, особливо після 2010 року. Саме 2010 р. був одним із найгарячіших років у історії метеорологічних спостережень за даними NASA[23]. В Україні він увійшов до переліку найспекотніших років з початку регулярних спостережень, а також став знаковим через масштабні теплові хвилі, посуху та лісові пожежі. Усі станції демонструють рівномірне підвищення температури. Якщо у 1990-х роках середні температури коливалися у межах 8–9°C, то вже до 2020 року ціпоказники досягли 10–11°C, а в окремих регіонах — навіть понад 11°C.

Проекції температури, починаючи з 2020р зберігають тенденцію до значногопідвищення температури, з найвищими значеннями приблизно 14°C у деяких регіонах. Варто відзначити, що найвищі температури спостерігаються на станціях Черкаси, Могилів-Подільський, в той час, як найменщі значення на станціях Хмільник, Гадяч, Білопілля [27, 51].

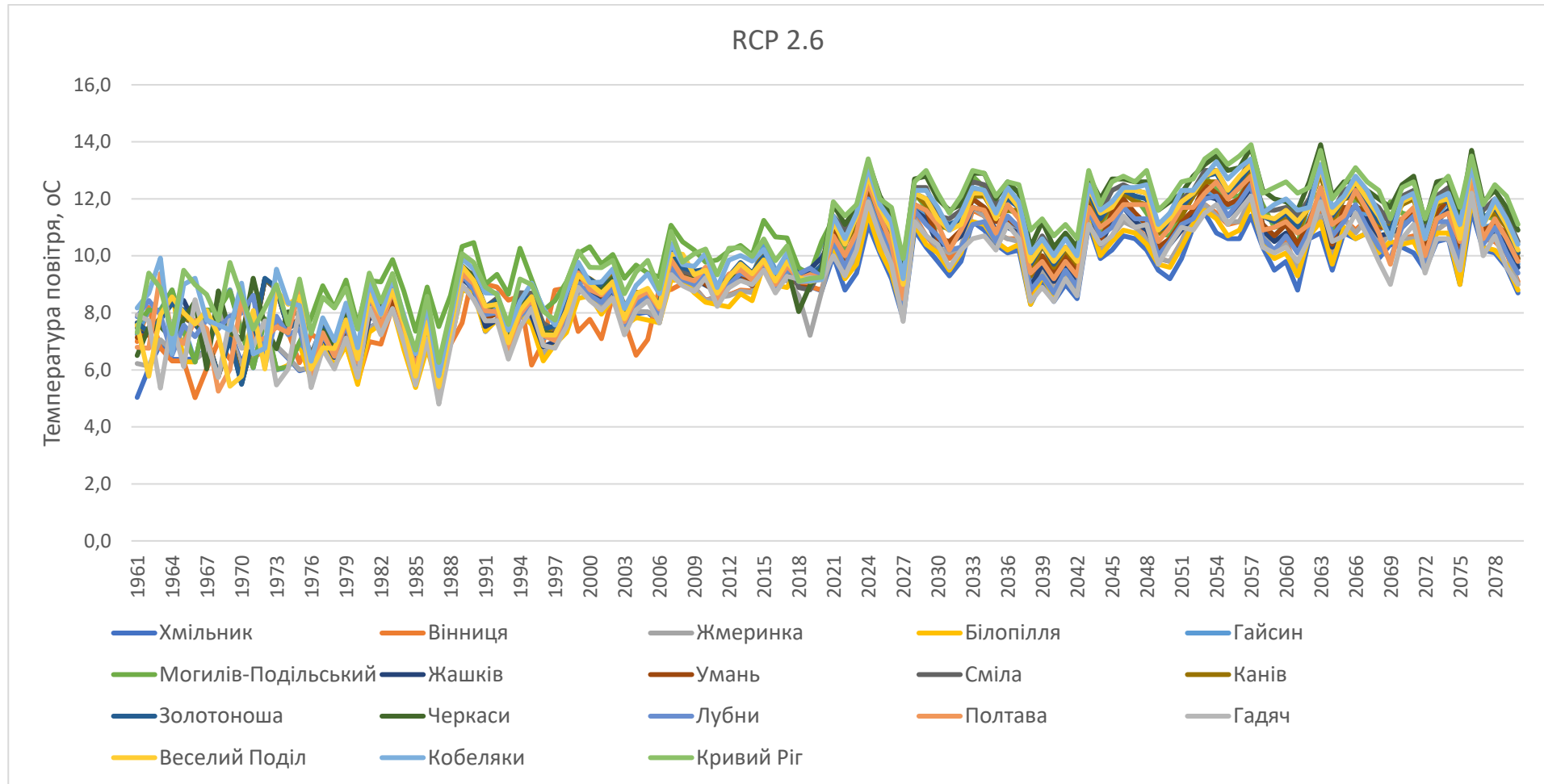


Рис.6.1. Багаторічна динаміка температури повітря на метеорологічних станціях Центрального регіону в межах лісостепової недостатньо зволоженої теплої зони (1961-2020 рр. – дані інструментальних спостережень, 2021-2080 рр. – проєкції температури повітря на основі RCP 2.6)

На даному графіку (рис. 6.2) відображено динаміку температури повітря на метеорологічних станціях Центрального регіону в межах лісостепової недостатньо зволоженої теплої зони за період 1961-2080 на основі RCP 8.5.

У перші десятиліття аналізованого періоду (1961–1990pp) середньорічна температура повітря коливалася в межах від 5,0 °C до 10 °C залежно від станції. Найнижчі температурні показники спостерігались на станціях Хмільник, Вінниця, Веселий Поділ, тоді як найтеплішими були Кривий Ріг, Кобеляки.

У 1990-х – 2010-х роках спостерігається поступове зростання температури. У період до 2020 року середньорічні температури в більшості регіонів досягли рівня 10–11,0 °C. Найнижчі температури були зафіксовані на станціях Вінниця та Білопілля, а найвищі на станціях Кривий Ріг та Могилів-Подільський.

У відповідності до сценарію RCP 8.5, у 2020-х роках відбувається стрімке зростання температури повітря. До 2050 року середньорічна температура по всіх досліджуваних станціях зростає до 13–15,0 °C, а до кінця періоду досягає значень у 17,0–18 °C. Відтак, мінімальне значення температури на станції Гадяч, а максимальне на станції Кривий Ріг.

Максимальні значення температури повітря за даними проєкцій отримані для станцій Могилів-Подільського, Кривого Рогу, де середня температура може перевищити 18 °C. Найменше потепління зафіксоване у Гадячі, Хмільнику та Гайсині, проте навіть тут температура зростає на 9–10 °C порівняно з 1960-ми роками.

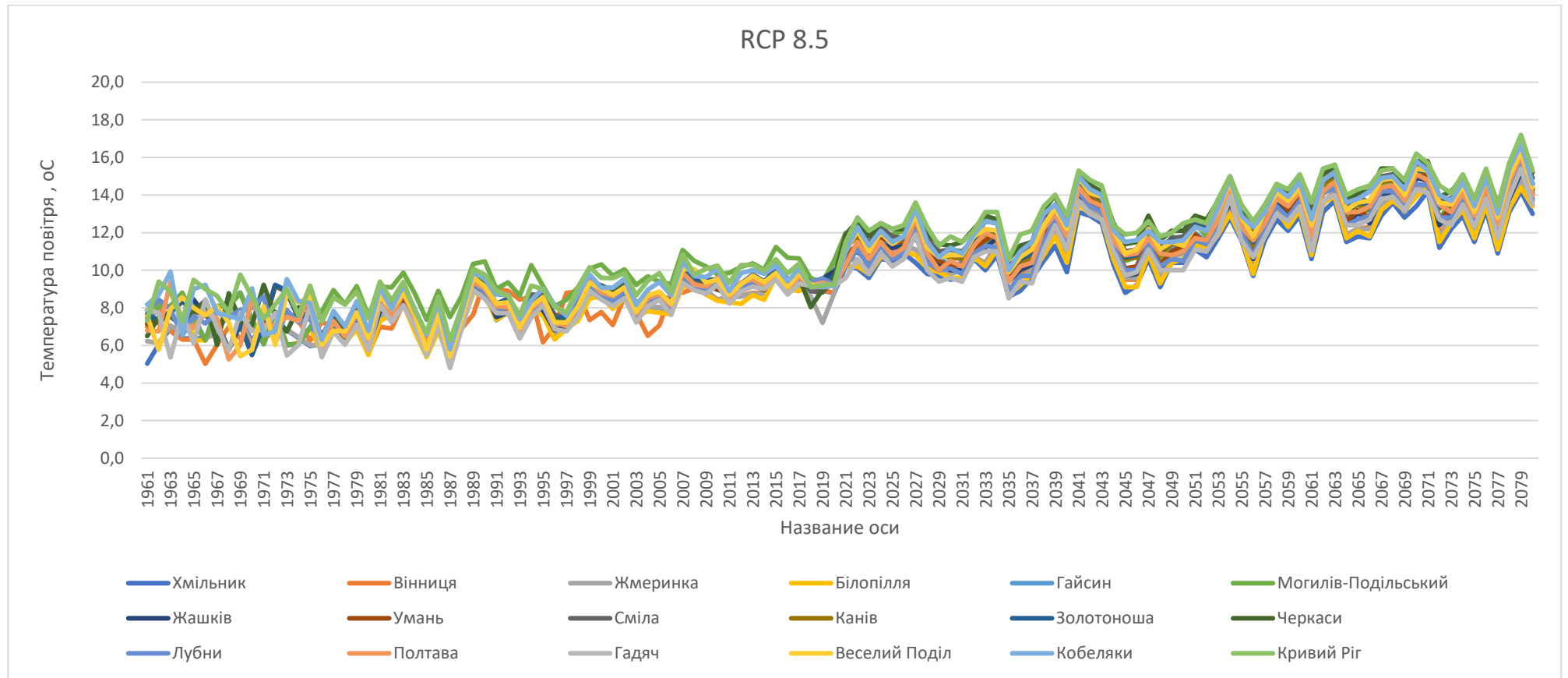


Рис.6.2. Багаторічна динаміка температури повітря на метеорологічних станціях Центрального регіону в межах лісостепової недостатньо зволоженої теплої зони (1961-2020 рр. – дані інструментальних спостережень, 2021-2080 рр. – проєкції температури повітря на основі RCP 8.5)



На даному графіку (рис.6.3) відображено динаміку температури повітря на метеорологічних станціях Центрального регіону в межах степової посушливої дуже теплої зони за період 1961-2080рр.. на основі RCP 2.6.

Як видно із графіку середнорічні температури здебільшого знаходяться у межах 6-13°C. До початку XXI століття температура коливається у межах 6-10 °C та має відносну стабільність. Цей період знаменує перехід від відносно стабільного клімату XX століття до чітко вираженого потепління. На станціях Нікополь та Бобринець можемо спостерігати абсолютні максимуми температури, в той час, як на станціях Помічна та Знам'янка абсолютні мінімуми.

Починаючи приблизно із 2000х років уже можемо спостерігати тенденцію до збільшення температури. Середнорічні температури на більшості станціях уже дійшли до позначки 10°C і продовжують зростати. Як і раніше, абсолютний максимум можемо спостерігати на станції Нікополь (близько 12°C), мінімум на станції Помічна (близько 6°C).

Як було встановлено раніше в розділі 4 протягом 1961-2020 рр. на метеорологічних станціях Центрального регіону в межах степової посушливої дуже теплої зони середня величина зміни температури повітря 2,1 оС, а середній щорічний приріст температури 0,035 °C.

Починаючи із 2020 р. згідно використаних даних проєкцій спостерігається підвищення температури на усіх станціях. Середнорічна температура на більшості станцій досягає 12 °C, а на окремих наближається до 14 °C. Темп підвищення температури відчутний. Абсолютний максимум, як і раніше, можемо спостерігати на станції Нікополь, в той час, як мінімум на станціях Помічна, Чаплине та Гайворон.

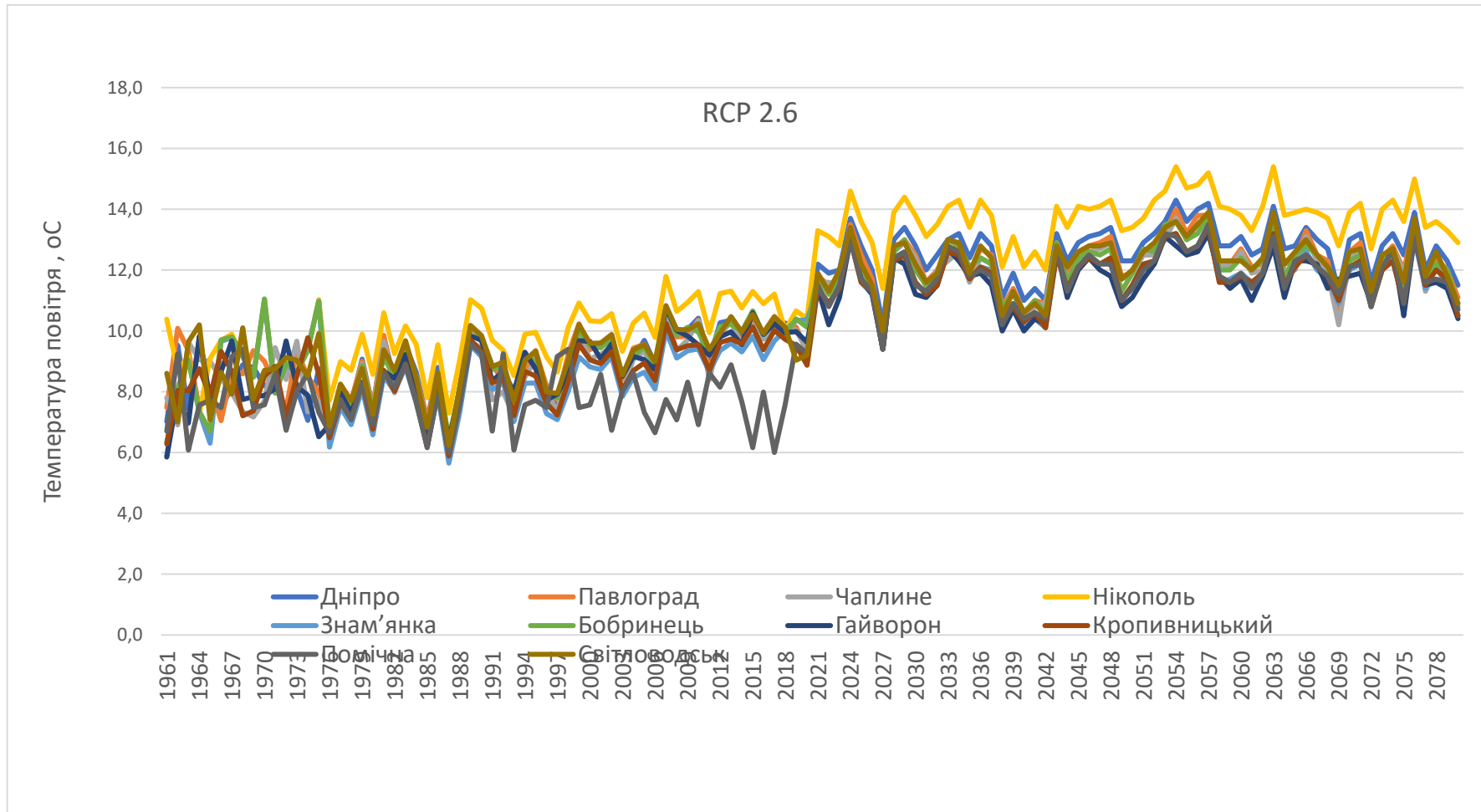


Рис. 6.3. Багаторічна динаміка температури повітря на метеорологічних станціях Центрального регіону в межах степової посушливої дуже теплої зони (1961-2020 рр. – дані інструментальних спостережень, 2021-2080 рр. – проєкції температури повітря на основі RCP 2.6)

На даному графіку (рис.6.4) відображено динаміку температури повітря на метеорологічних станціях Центрального регіону в межах степової посушливої дуже теплої зони за період 1961-2080рр.. на основі RCP 8.5.

У період 1961–1990рр. температурний режим був відносно стабільним. Спостерігається значна міжрічна варіативність, проте без тривалих трендів. Температура перевищує 10 °С. Найменші значення можемо спостерігати на станціях Гайворон та Помічна, а найбільші на станціях Нікополь та Бобринець.

З 2021 року розпочинається найбільш стрімке підвищення температур, яке триває до кінця прогнозованого періоду. Температура демонструє синхронне та сильне зростання. Якщо у 1980–1990-х роках температури коливалися у межах 6–11°С, то вже після 2020 року вони стабільно зростають і в багатьох випадках перевищують 14°С. А після 2050 року уже можемо спостерігати максимальні значення понад 18 °С.

Нікополь займає перше місце за рівнем температур упродовж усього періоду, особливо в період з 2020-х років до кінця аналізованого періоду. Помічна, навпаки, характеризується найнижчими температурами.

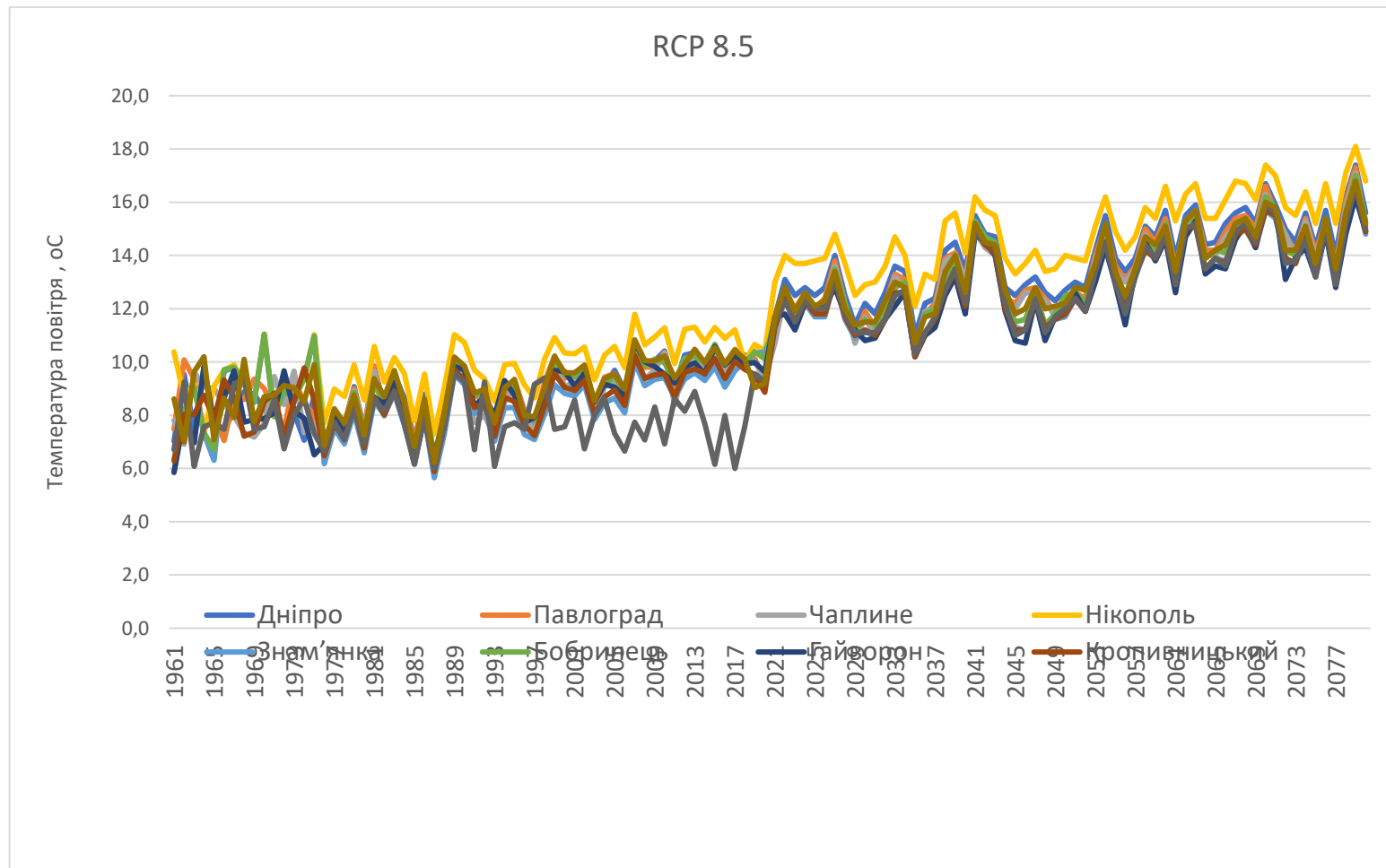


Рис. 6.4. Багаторічна динаміка температури повітря на метеорологічних станціях Центрального регіону в межах степової посушливої дуже теплої зони (1961-2020 рр. – дані інструментальних спостережень, 2021-2080 рр. – проєкції температури повітря на основі RCP 8.5)

## 6.2. Аналіз зміни кліматичної норми температури на основі порівняння 4 кліматичних періодів

На основі узагальнення даних фактичних спостережень на 28 метеорологічних станціях Центрального району з 1961 по 2020 рр. та даних проєкцій отриманих для вузлів регулярної мережі з координатами максимально наближеними до цих метеорологічних станцій було розраховані кліматичні норми температури повітря для 4 кліматичних періодів (табл.6.1).

Таблиця 6.1 Кліматичні норми температури повітря для лісостепової та степової частини території Центрального району для різних кліматичних періодів

Variable	Descriptive Statistics (Розр кліматичних норм для 4 періодів з 1961 по 2080)					
	Mean	Median	Minimum	Maximum	Std.Dev.	Coef.Var.
1961-1990 Лісостеп_факт	7,4	7,5	5,7	9,4	0,8	11,0
1961-1990 Степ_факт	8,3	8,4	6,2	10,0	0,9	10,6
1991-2020 Лісостеп_факт	8,8	9,0	7,2	10,0	0,7	8,5
1991-2020 Степ_факт	9,2	9,4	7,4	10,4	0,7	7,8
2021-2050 Лісостеп RCP 2.6	10,6	10,7	9,3	11,7	0,6	5,8
2021-2050 Лісостеп RCP 8.5	10,9	10,8	9,7	12,9	0,8	7,4
2021-2050 Степ_RCP 2.6	11,4	11,4	10,0	13,8	0,9	7,9
2021-2050 Степ_RCP 8.5	11,0	11,0	9,5	12,3	0,7	6,4
2051-2080 Лісостеп_RCP 2.6	11,3	11,3	10,1	12,4	0,6	5,4
2051-2080 Лісостеп_RCP 8.5	12,6	12,6	10,8	14,3	0,9	7,2
2051-2080 Степ - RCP 2.6	13,2	13,3	11,0	15,1	1,0	7,7
2051_2080 Степ_RCP 8.5	11,6	11,6	10,4	12,7	0,6	5,5

Для візуалізації цих даних побудовано графіки (рис.6.5-6.7) аналізу використовуємо дані таких 30 річних кліматичних періодів: 1961 -1990, 1991-2020, 2021—2050, 2051-2080.

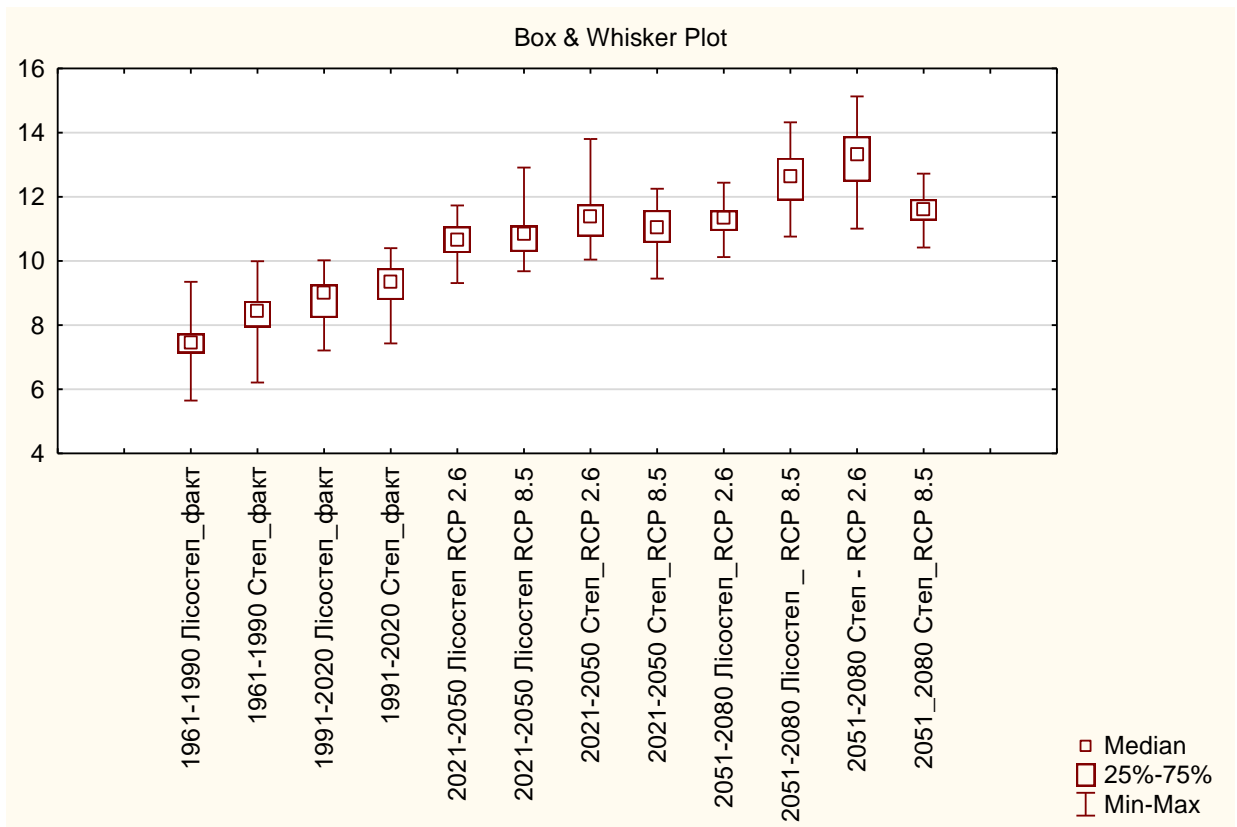


Рис.6.5. Графіки Box-Whisker для відображення кліматичних норм температури повітря та діапазону їх найбільш імовірних змін у різні кліматичні періоди

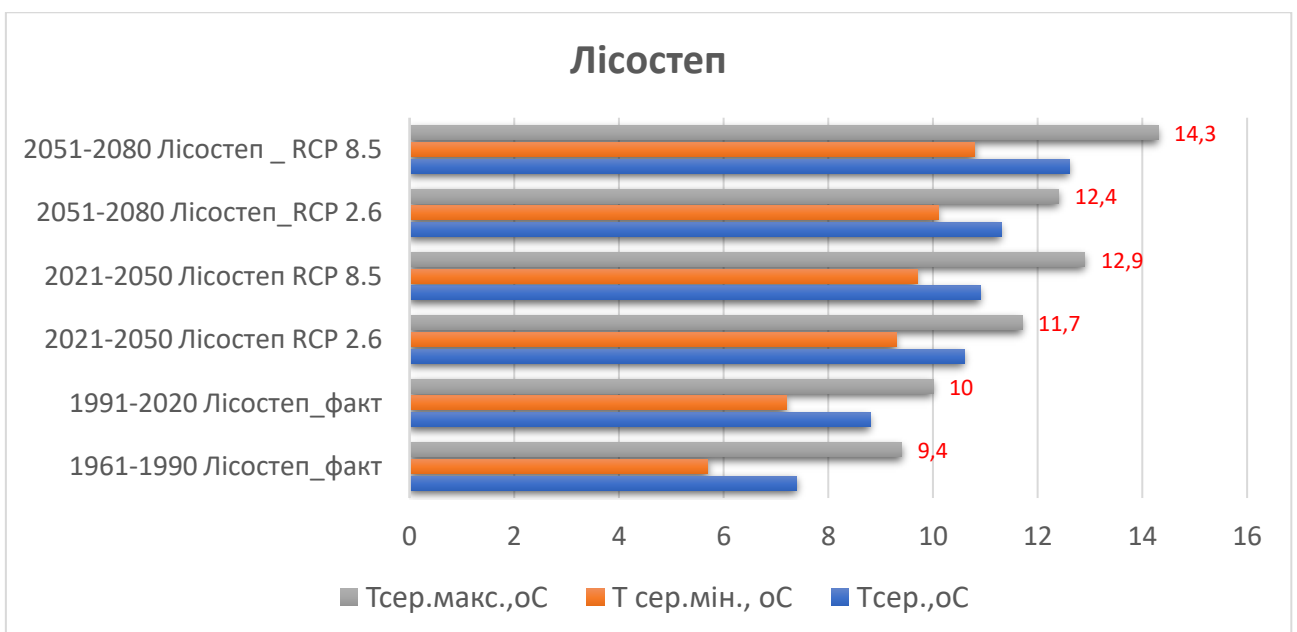


Рис. 6.6. Графічна візуалізація співвідношення норми температури повітря з її статистично розрахованими мінімальними і максимальними значеннями в межах лісостепової частини Центрального району

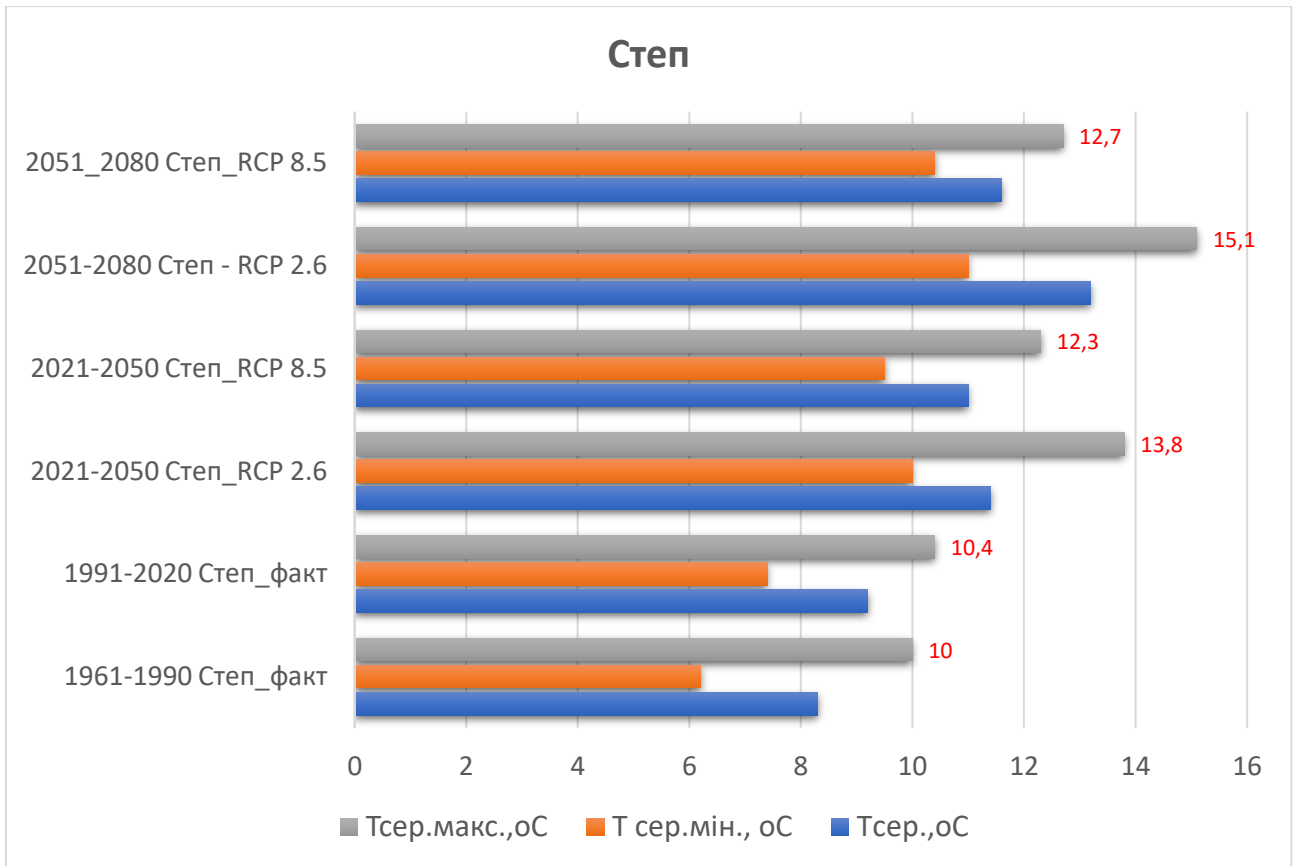


Рис. 6.7. Графічна візуалізація співвідношення норми температури повітря з її статистично розрахованими мінімальними і максимальними значеннями в межах степової частина Центрального району

### 6.3. Аналіз часової динаміки середньої річної температури повітря

Базуючись на фактичних даних спостережень (до 2020 р.) та даних проєкцій з 2021 р. по 2080 р. методом найменших квадратів [48] було побудовано регресійні моделі зміни температури повітря протягом багаторічного періоду з 1961 р. по 2080 р. На рис. 6.8. представлено регресійні моделі багаторічної динаміки температури повітря в межах лісостепової частини Центрального району та її зміни протягом 1961-2080 рр. з урахуванням двох розглянутих у роботі варіантів майбутніх змін (за сценарієм RCP 2.6 та сценарієм\_RCP 8.5).

Аналогічні результати на рис. 6.9. представлені для характеристики динаміки температури повітря в межах степової частини Центрального району. Зокрема графіки зміни температури у майбутньому згідно розрахованих регресійних моделей для періоду 1961-2080 рр.

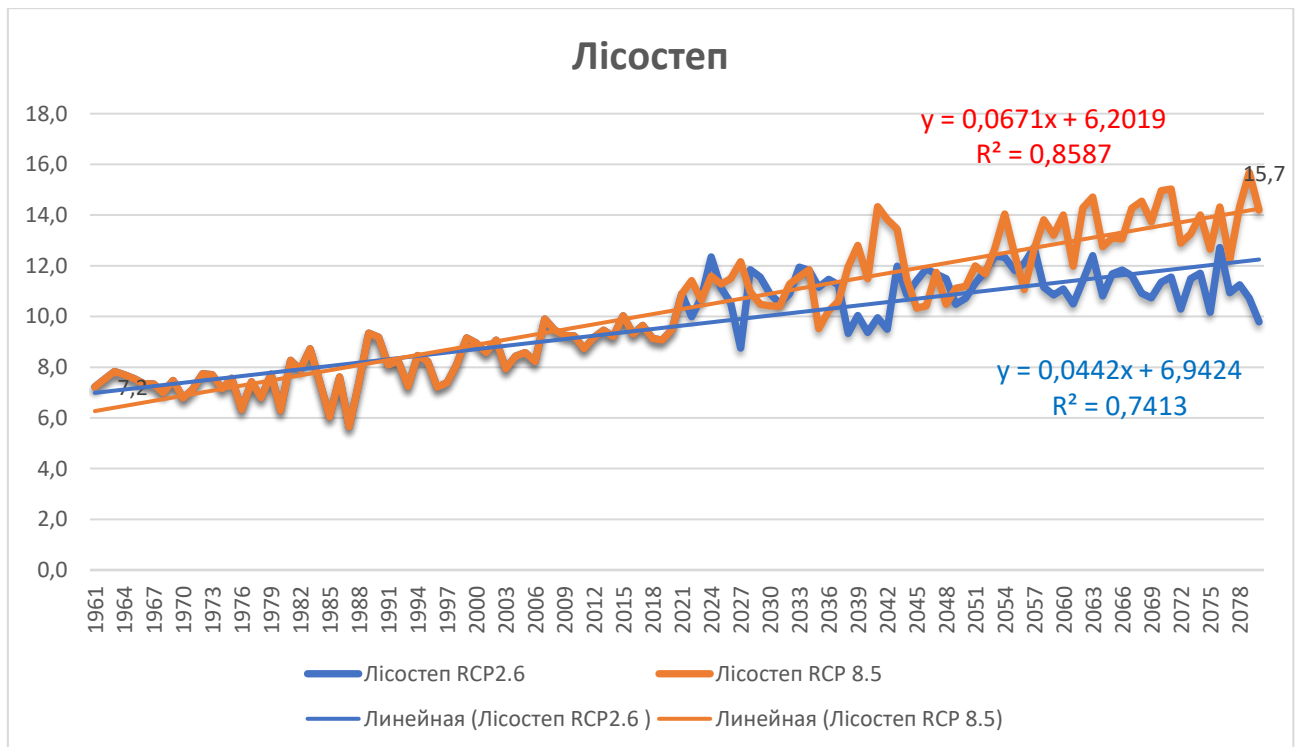


Рис. 6.8. Динаміка температури повітря в межах лісостепової частини Центрального району та регресійні моделі її зміни протягом 1961-2080 рр.



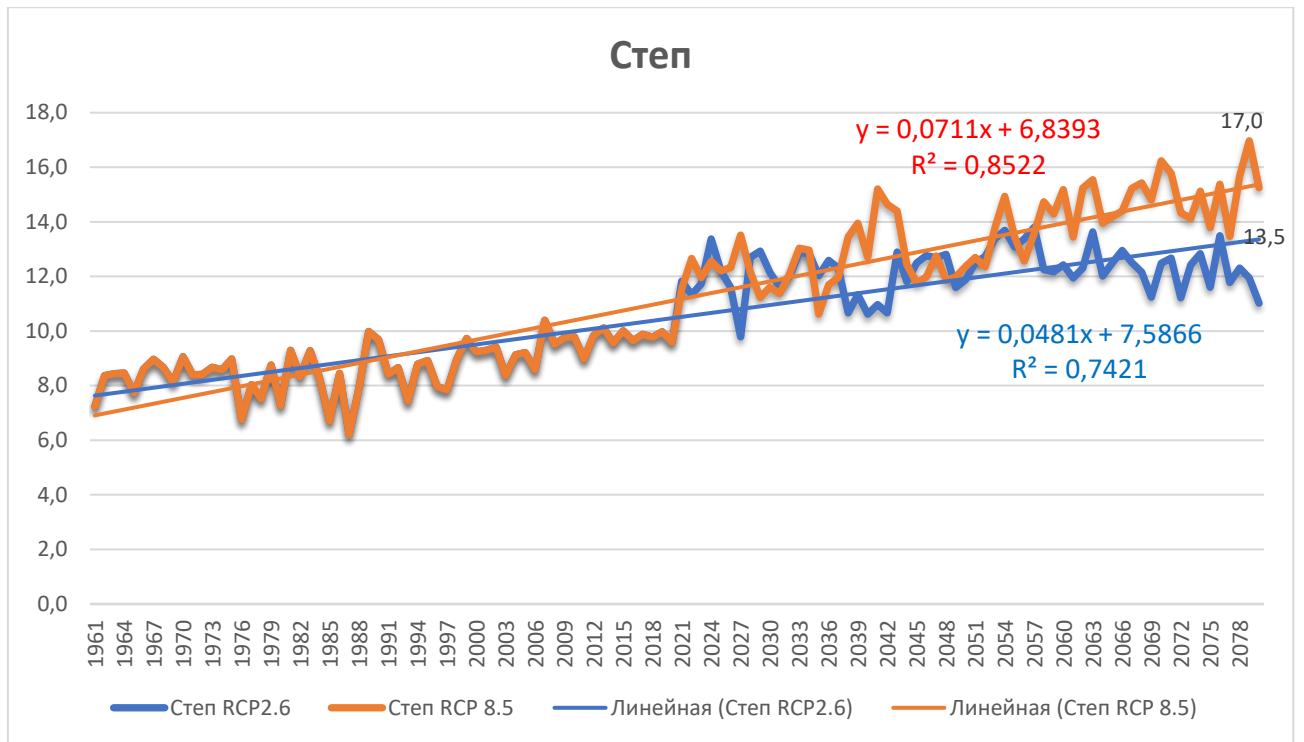


Рис. 6.9. Динаміка температури повітря в межах степової частини Центрального району та регресійні моделі її зміни протягом 1961-2080 рр.

На рис. 6.10. розглянуто очікувану динаміку температури повітря в межах лісостепової частини Центрального району та представлено регресійні моделі її зміни протягом 2021-2080 рр. за даними обробки кліматичних проєкцій, а на рис. 6.11 аналогічні результати для степової частини Центрального району.

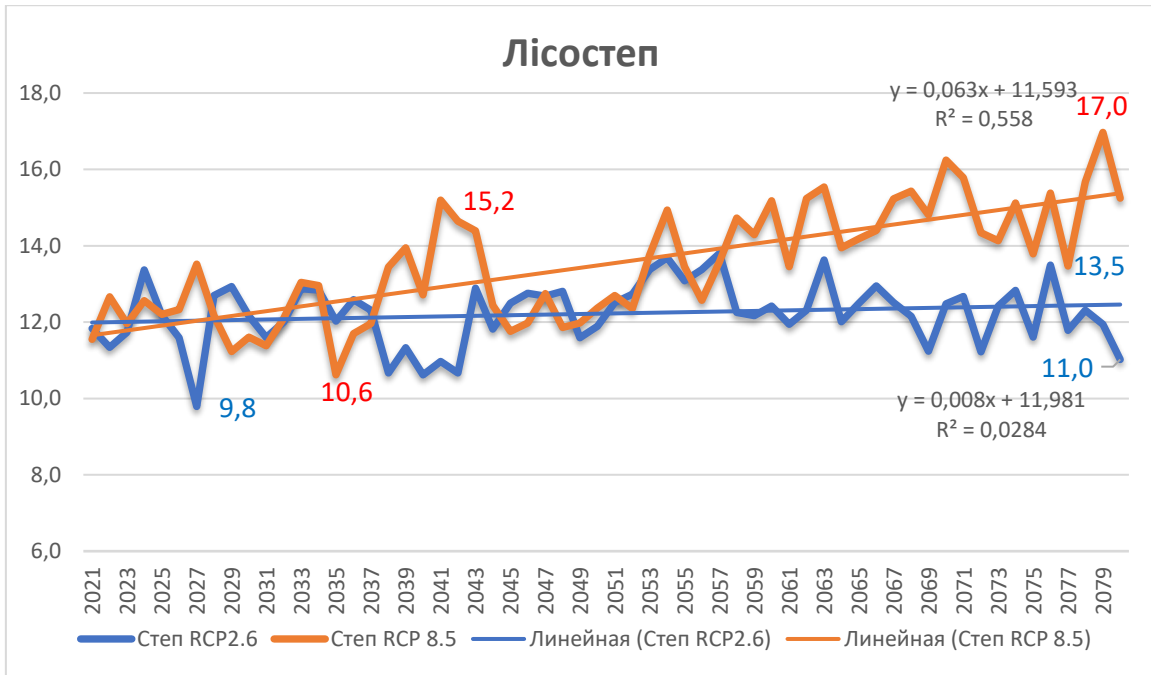


Рис. 6.10. Очікувана динаміка температури повітря в межах лісостепової частини Центрального району та регресійні моделі її зміни протягом 2021-2080 рр. за даними обробки кліматичних проєкцій

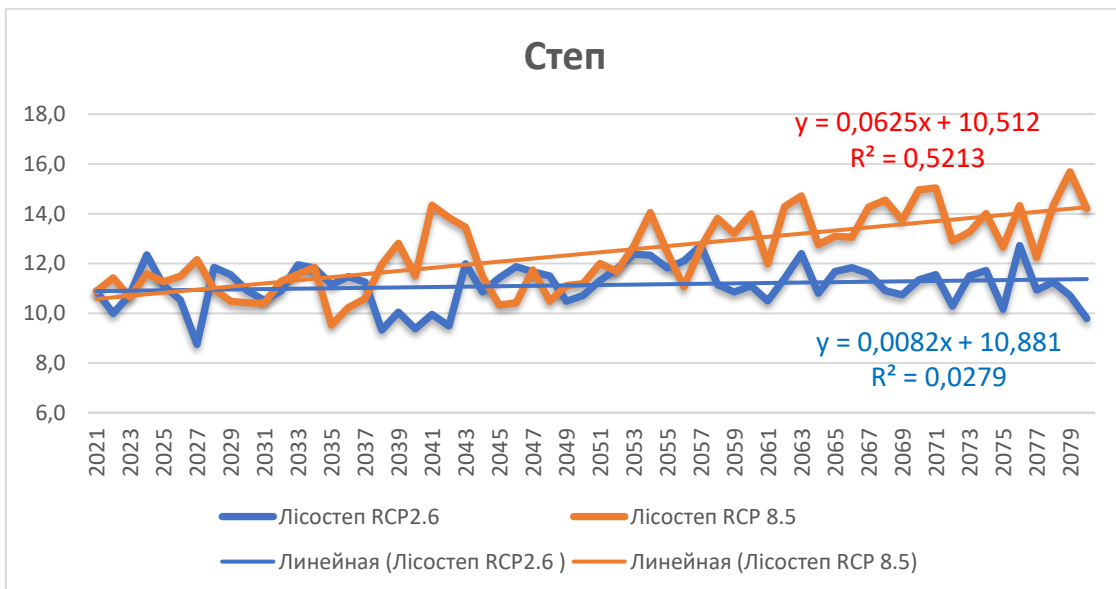


Рис. 6.11. Очікувана динаміка температури повітря в межах степової частини Центрального району та регресійні моделі її зміни протягом 2021-2080 рр. за даними обробки кліматичних проєкцій

На наступному рис. 6.12 представлено узагальнену картину динаміки температури повітря в межах Центрального району та регресійні моделі її зміни протягом 1961-2080 рр. за сукупністю фактичних даних спостережень (1961-2020 рр.) та даними обробки кліматичних проєкцій (2021-2080 рр.).

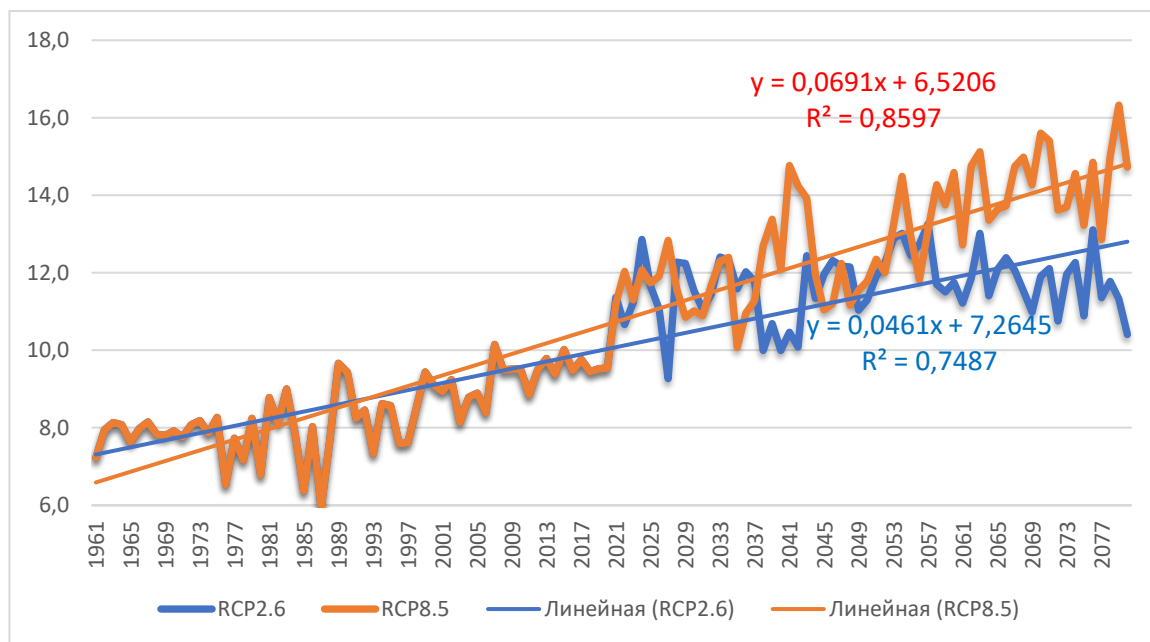


Рис. 6.12. Узагальнена картина динаміки температури повітря в межах Центрального району та регресійні моделі її зміни протягом 1961-2080 рр. за сукупністю фактичних даних спостережень (1961-2020 рр.) та даними обробки кліматичних проєкцій (2021-2080 рр.)

Отримані розрахунки та статистичні регресійні моделі дозволяють оцінити темпи глобального потепління у Центральному районі України. Для сценарію RCP 2.6 середня швидкість потепління протягом 1961-2080 рр. оцінюється величиною 0,038 °C на рік. А для сценарію RCP 8.5 середня швидкість потепління протягом 1961-2080 рр. оцінюється величиною 0,053 °C на рік.

Згідно «Глобального кліматичного огляду NOAA» 2019 р., з 1880 року загальна температура суші і океану підвищилась в середньому на 0,07 °C за десятиріччя; проте середня швидкість підвищення її з 1981 р. (0,18°C) зросла, більше, ніж удвічі [19]. За даними Л. Малицької та В.Балабух в Україні за період

1960-2010 рр. швидкість зміни середньої, мінімальної та максимальної температури за рік становила приблизно  $0,3^{\circ}\text{C}/10$  років, то протягом 1981-2010 рр. вона прискорила і дорівнювала вже в середньому  $0,5^{\circ}\text{C}$  за 10 років [39]. Виходячи з цього, можна стверджувати, що отримані нами дані на прикладі Центрального району співпадають з даними інших долідників і свідчать про збереження існуючого темпу потепління клімату в Україні.

#### **6.4. Аналіз очікуваних сезонних змін температури повітря на основі аналізу кліматичних проєкцій**

Для аналіз очікуваних сезонних змін температури повітря на основі аналізу кліматичних проєкцій було використано проєкції середніх місячних значень температури повітря з проєкту ISIMIP (Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project) фази 2b [16]. Для кожного 30-річного кліматичного періоду, починаючи з 1961 р. було виконано розрахунки річного ходу температури +повітря на кількох індикативних метеорологічних станціях Центрального району (середні місячні температури: фактичні дані (1961-2020 рр.) та проєкції (2021- 2080 рр.)), щоб виконати порівняння майбутніх змін з базовим кліматичним періодом 1961-1990 рр.

Зміна річного ходу температури повітря на метеорологічних станціях степової частини Центрального району (середні місячні температури: фактичні дані (1961-2020 рр.) та проєкції (2021- 2080 рр.) та аномалії температури відносно базового кліматичного періоду для різних проєкцій представлено на рис.6.13.

Річний хід температури повітря	Аномалії температури відносно 1961-1990 рр.
--------------------------------	---



Рис. 6.13. Зміна річного ходу температури повітря та аномалії температури відносно базового кліматичного періоду для різних проєкцій на метеорологічних станціях Центрального району (середні місячні температури: фактичні дані (1961-2020 рр.) та проєкції (2021- 2080 рр.). Степ

На рис.6.14. представлено зміну річного ходу температури повітря та аномалії температури відносно базового кліматичного періоду для різних проєкцій на метеорологічних станціях степової частини Центрального району (середні місячні температури: фактичні дані (1961-2020 рр.) та проєкції (2021- 2080 рр.) представлено на рис.6.13.

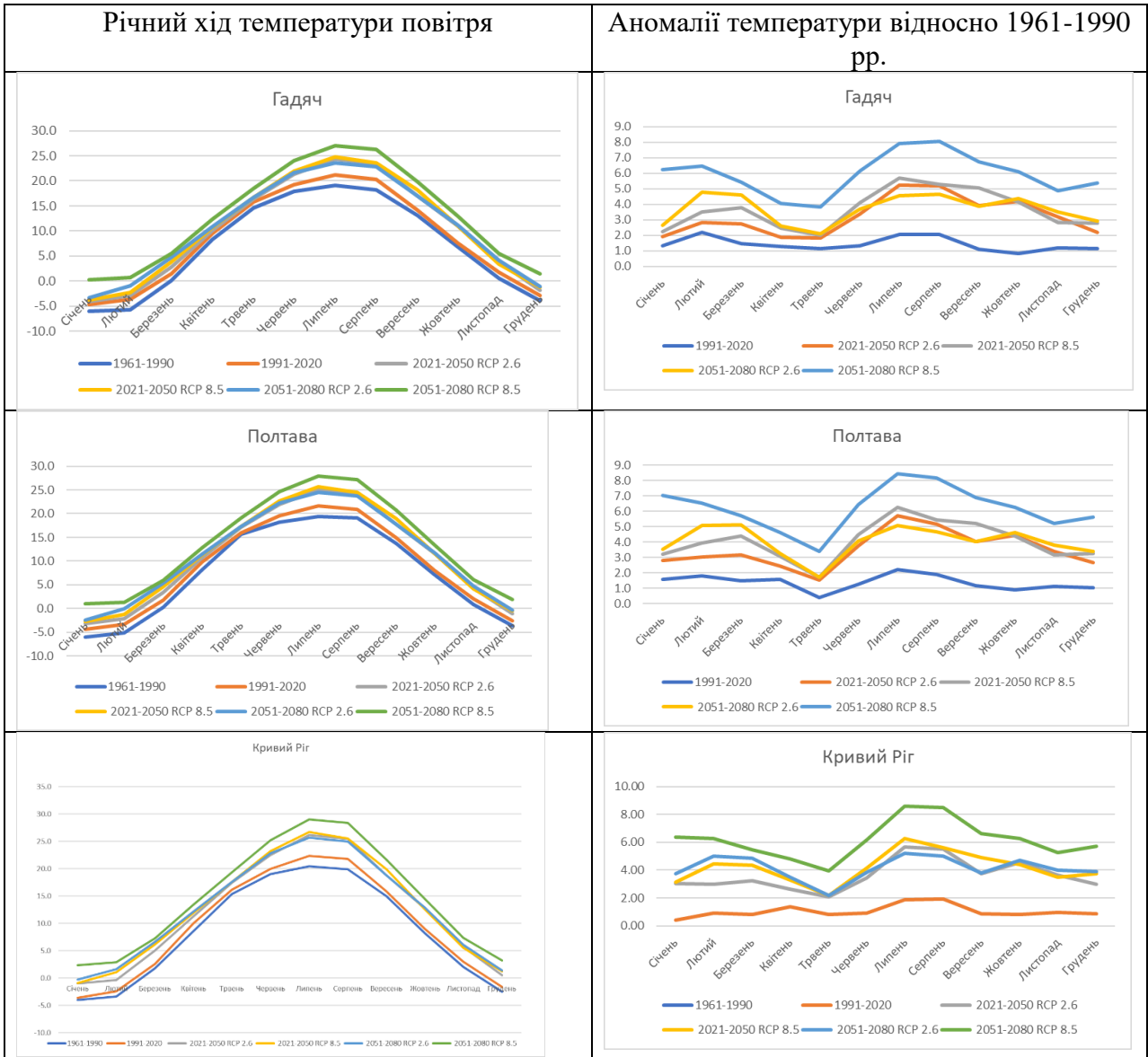


Рис. 6.14.Зміна річного ходу температури повітря та аномалії температури відносно базового кліматичного періоду для різних проєкцій на метеорологічних станціях Центрального району (середні місячні температури: фактичні дані (1961-2020 рр.) та проєкції (2021- 2080 рр.). Лісостеп

Аналогічні узагальнені дані для всього Центрального району представлено на рис.6.15

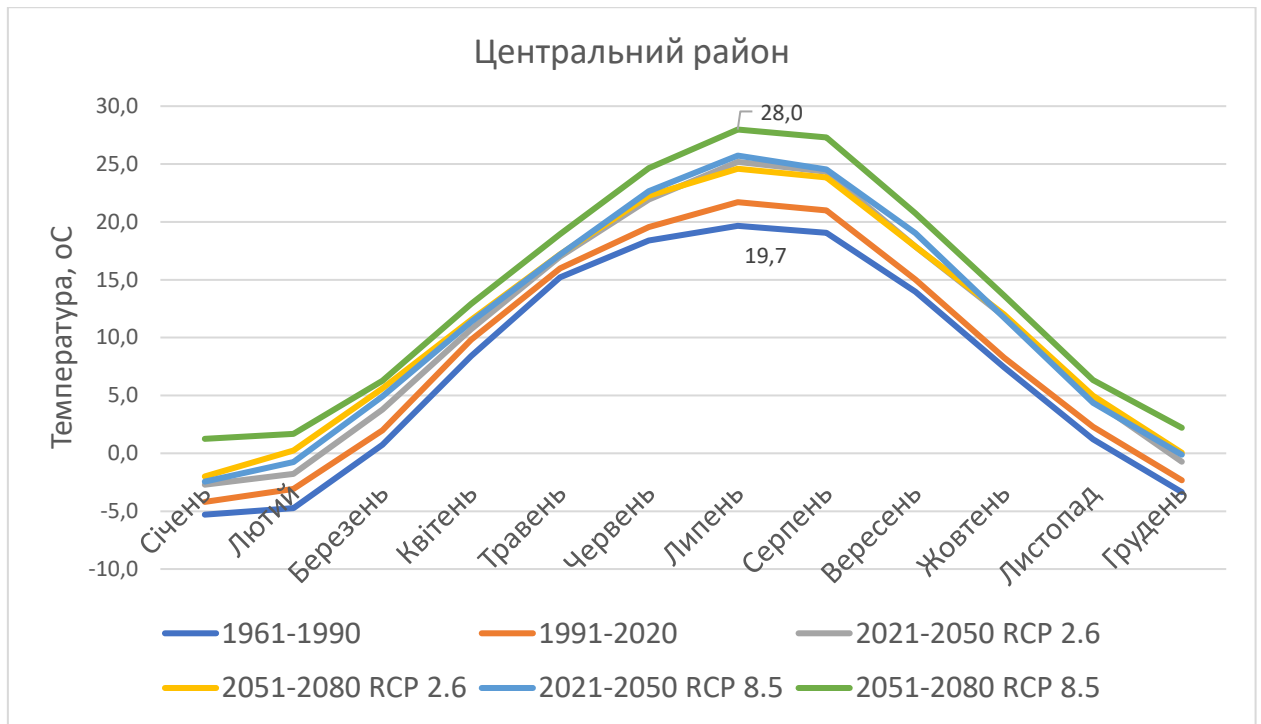


Рис.6.15. Узагальнений графік зміни річного ходу температури повітря на метеорологічних станціях Центрального району (середні місячні температури: фактичні дані (1961-2020 рр.) та проєкції (2021- 2080 рр.)

Аналізуючи рис.6.15 розраховано аномалії температури у різні кліматичні періоди, тобто відхилення температур від середніх місячних температур базового кліматичного періоду 1961-1990 рр.(табл.6.2)

Таблиця 6.2. Аномалії середніх місячних температур у різні кліматичні періоди, відносно базового кліматичного періоду 1961-1990 рр.

	1991-2020	2021-2050 RCP 2.6	2051-2080 RCP 2.6	2021-2050 RCP 8.5	2051-2080 RCP 8.5
Січень	1.1	2.6	3.3	2.9	6.6
Лютий	1.6	3.0	5.0	4.0	6.4
Березень	1.2	3.0	4.9	4.2	5.5
Квітень	1.4	2.3	3.1	2.9	4.5
Травень	0.8	1.8	2.0	2.0	3.7
Червень	1.2	3.5	3.9	4.3	6.3
Липень	2.0	5.5	4.9	6.1	8.3
Серпень	1.9	5.3	4.8	5.5	8.2
Вересень	1.0	3.9	3.9	5.1	6.8

Жовтень	0.8	4.4	4.6	4.3	6.2
Листопад	1.1	3.4	3.8	3.2	5.1
Грудень	1.0	2.6	3.4	3.2	5.6

Дані табл.6.2 візуалізовані на рис.6.16.

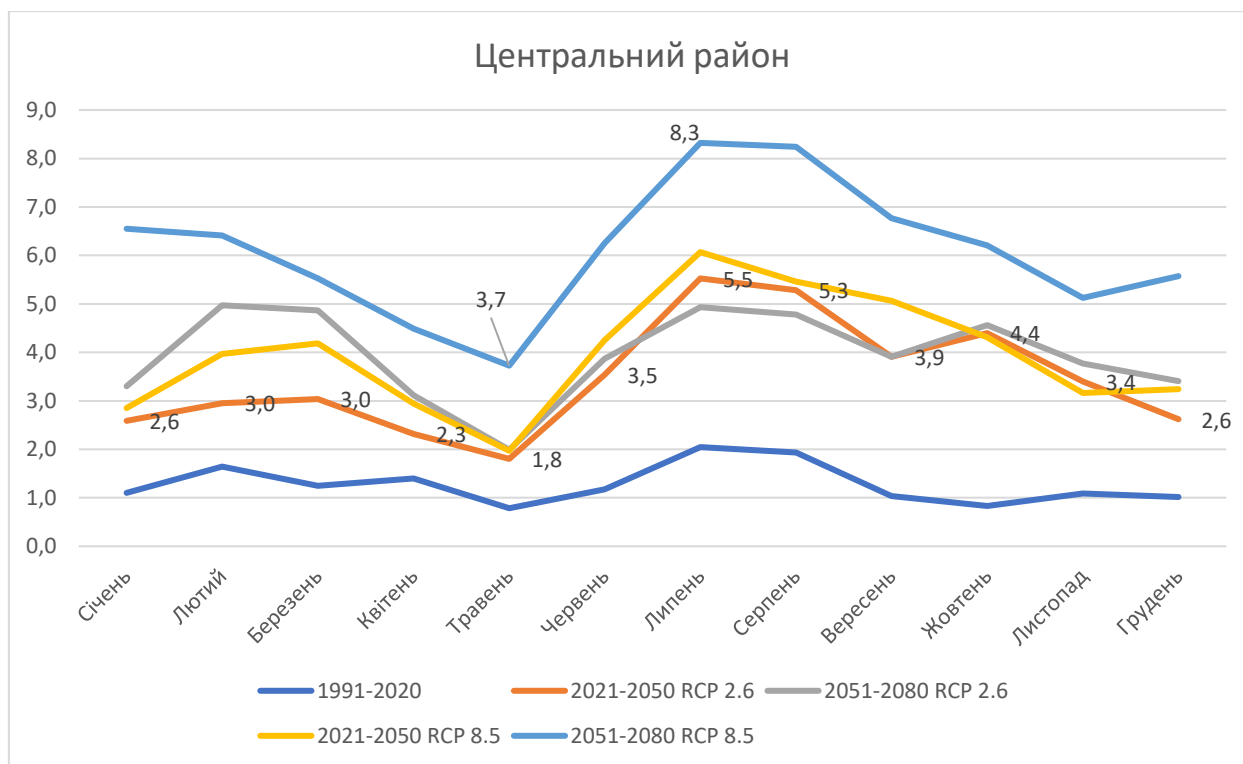


Рис.6.16. Аномалії середніх місячних температур у різні кліматичні періоди, відносно базового кліматичного періоду 1961-1990 рр.

Згідно з графіком (рис.6.16), що ілюструє зміну середньомісячної температури повітря в Центральному районі України за різними кліматичними сценаріями (RCP 2.6 та RCP 8.5), у порівнянні з періодом 1991–2020 рр. найбільш інтенсивне зростання температури спостерігається в літній період, зокрема в липні та серпні. За сценарієм RCP 8.5 на період 2051–2080 рр., температура в ці місяці зросте майже на 3 °C порівняно з сучасним кліматом. Також помітне потепління прогнозується взимку, особливо у січні та лютому, де зростання температури може перевищувати 2–2,5 °C. Весняні місяці демонструють менш значне потепління. У березні та квітні приріст температури буде нижчим (1,5–2 °C), а у травні найменшим серед усіх місяців, близько 1,5 °C.



В табл. 6.3 представлені статистичні характеристики узагальнених рядів значень середньої місячної температури повітря для різних кліматичних періодів.

Таблиця 6.3. Статистичні характеристики узагальнених рядів значень середньої місячної температури повітря для різних кліматичних періодів

Variable	Descriptive Statistics (Spreadsheet6)			
	Mean	Minimum	Maximum	Variance
1961-1990	7,6	-5,3	19,7	92,9
1991-2020	8,8	-4,2	21,7	95,1
2021-2050 RCP 2.6	11,0	-2,7	25,2	106,0
2051-2080 RCP 2.6	11,5	-2,0	24,6	93,7
2021-2050 RCP 8.5	11,5	-2,4	25,7	105,1
2051-2080 RCP 8.5	13,7	1,3	28,0	102,2

А на рис. 6.17 виконана візуалізація цих даних у вигляді графіка Box-Whisker.

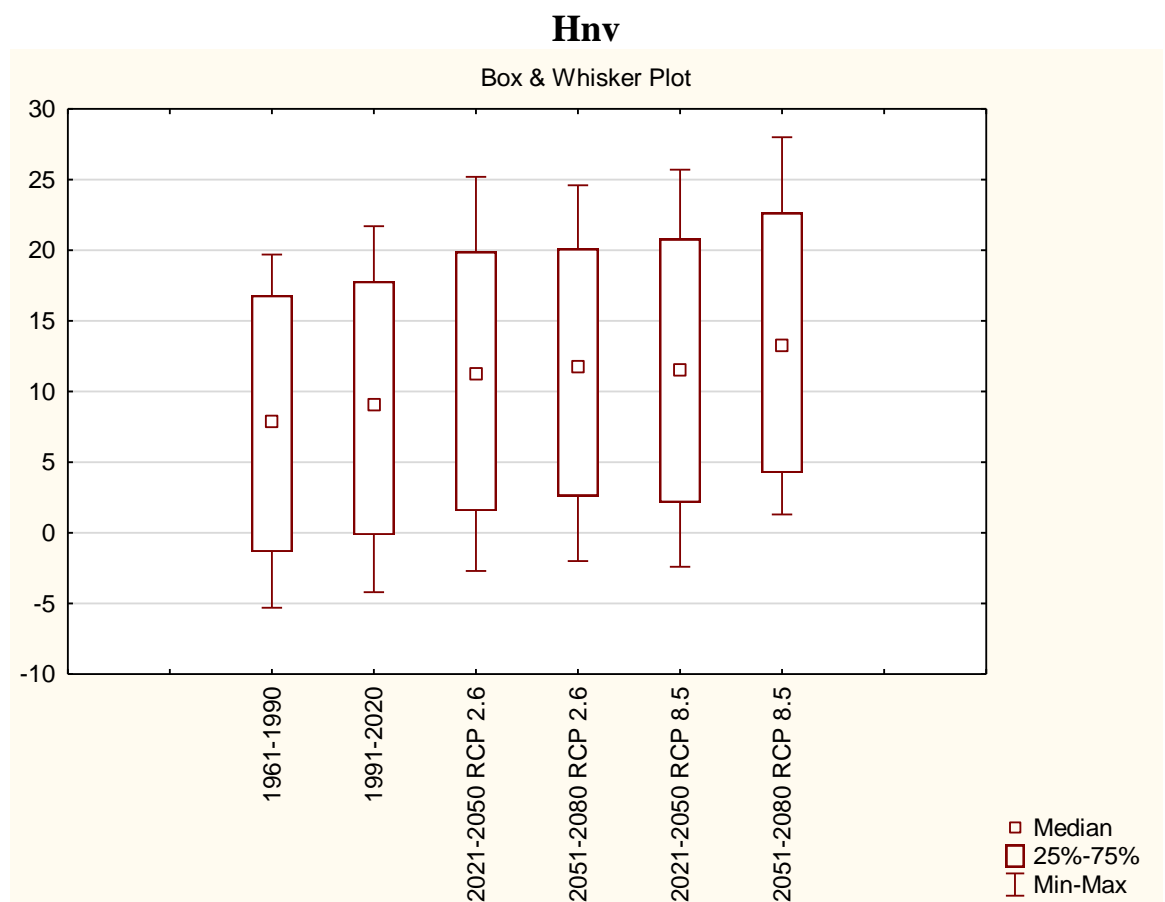


Рис. 6.17 виконана візуалізація цих даних у вигляді графіка Box-Whisker

Наведені дані свідчать про стале зростання середніх місячних температур повітря. Збільшення показника дисперсії в окремі кліматичні періоди, особливо для сценарію RCP8.5, свідчить про можливе збільшення повторюваності естремальних значень температури, що узгоджується з даними інших дослідників [15].

## ВИСНОВКИ

Простеження закономірностей та тенденцій регіональних змін температури повітря на прикладі Центрального району України (згідно районування Українського Гідрометцентру) свідчать про помітне підвищення температури повітря.

В результаті проведених досліджень було отримано наступні висновки:

1. Виконаний порівняльний аналіз статистичних параметрів рядів спостережень за температурою повітря, отриманих для двох 30-річних кліматичних періодів (1961-1990 рр. та 1991-2020 рр.) на 28 метеорологічних станціях регіону показує, що середньорічна температура повітря в останньому періоді помітно зросла вища порівняно з попереднім. Перевірка статистичної значимості зміни температури у другому кліматичному періоді (1991-2020 рр.) з першим кліматичним періодом (1961-1990 рр.) з використанням параметричних критеріїв Стьюдента (середні значення) та Фішера (варіація) не підтвердила належність статистичних вибірок до однієї генеральної сукупності. Тобто наявність суттєвих змін у формуванні температурного режиму регіону була підтверджена статистично.

2. Аналізуючи отримані результати, в першому періоді діапазон коливань осереднених значень температури коливався в інтервалі від 5 до 10°C, а в другому періоді вже від 6-7°C і до 12°C. Помітно збільшилася середня річна температура у другому періоді. Порівняння мінімальних і максимальних річних температур повітря у двох кліматичних періодах показує, що мінімальні температури збільшилися набагато більше, ніж максимальні. Тобто потепління клімату більш відчутне в холодний період року.

3. Для встановлення сучасних тенденцій зміни температури повітря протягом 1961-2020 рр. в Центральному регіоні України було розраховано часові тренди температури повітря за методом найменших квадратів (МНК). У якості теоретичної апроксимуючої моделі було використано рівняння лінійної регресії. Було встановлено, що на усіх метеорологічних станціях Центрального

регіону у часових рядах спостережень наявні позитивні часові тренди, що свідчить про постійний процес зростання температури повітря. В межах лісостепової недостатньо зволоженої теплої зони температура зросла у середньому на  $2,70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а щорічний темп росту температури склав  $0,045\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

На метеорологічних станціях Центрального регіону в межах степової посушливої дуже теплої зони спостерігається аналогічна тенденція. Середня величина зміни температури повітря для цієї зони становить  $2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а середній щорічний приріст температури  $0,035\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Найменший приріст середньої температури виявлена на станції Знамянка з величиною  $0.024\text{ }^{\circ}\text{C}$  за рік, тоді як найбільший спостерігається на станції Кривий Ріг, де приріст становить  $0.049\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Отримані дані свідчать про більший вплив зміни клімату на формування температурного режиму північної частини Центрального регіону України, ніж південного.

4. Візуалізація просторового розподілу зміни температури у Центральному регіоні України у період з 1961 по 2020 з використанням методу 3D-діаграм засвідчила про нерівномірність регіонального потепління. Найменше потепління відбулося на півдні регіону (метеорологічні станції навколо Дніпра і південніше), а найбільше - в районі Вінниці. Тобто просторовий умовний тренд зростання показників потепління пролягає з південного-сходу на північний захід досліджуваного регіону.

5. Динаміка температури повітря у майбутньому досліджуваному періоді демонструє інтенсивне зростання. Якщо у 1980–1990-х роках температури коливалися у межах  $6\text{--}11\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то вже після 2020 року вони стабільно зростають і в багатьох випадках перевищують  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ . А після 2050 року уже можемо спостерігати максимальні значення понад  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

6. Кліматичні норми температури повітря можуть змінитися у лісостеповій частині Центрального району від  $7,4$  (1961-1990 рр.) до  $11,3\text{--}12,6$  (2051-2080 рр.), а у степовій частині - від  $8,3$  (1961-1990 рр.) до  $11,6\text{--}13,2$  (2051-2080 рр.).

7. Темпи глобального потепління у Центральному районі України оцінюються величинами від 0,038 °C на рік (RCP 2.6) до 0,053 °C на рік (RCP 8.5).

8. Найбільш інтенсивне зростання температури очікується в літній період, зокрема в липні та серпні. За сценарієм RCP 8.5 на період 2051–2080 рр., температура в ці місяці зросте майже на 3 °C порівняно з сучасним кліматом. Також помітне потепління прогнозується взимку, особливо у січні та лютому, де зростання температури може перевищувати 2–2,5 °C. Весняні місяці демонструють менш значне потепління. У березні та квітні приріст температури буде нижчим (1,5–2 °C), а у травні найменшим серед усіх місяців, близько 1,5 °C.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Anderson A., Kostinski A. Evolution and distribution of record-breaking high and low monthly mean temperatures. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 2011. Vol. 50(9). P. 1859–1871.
2. Benestad R. E. Record-values, nonstationarity tests and extreme value distributions. *Global and Planetary Change*. 2004. Vol. 44(1–4). P. 11–26. DOI: [10.1016/j.gloplacha.2004.06.002](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2004.06.002).
3. Blunden J., Boyer T. (Eds.). State of the Climate in 2020. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2021. Vol. 102(8). DOI: [10.1175/2021BAMSStateoftheClimate.1](https://doi.org/10.1175/2021BAMSStateoftheClimate.1).
4. Calton B., Schellekens J., Martinez-de la Torre A. Water Re-source Reanalysis v1: Data Access and Model Verification Re-sults. 2016. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.57760>.
5. Compo G. P. et al. Independent confirmation of global land warming without the use of station temperatures. *Geophysical Research Letters*. 2013. Vol. 40(14).
6. Copernicus Climate Change Service (C3S). European State of the Climate 2020. Copernicus Climate Change Service, 2021. URL: <https://climate.copernicus.eu/esotc/2020> (дата звернення: 04.10.2023).
7. Coumou D., Rahmstorf S. A decade of weather extremes. *Nature Climate Change*. 2012. Vol. 2(7). P. 491–496. DOI: [10.1038/nclimate1452](https://doi.org/10.1038/nclimate1452).
8. Davis S. J. et al. Monitoring global carbon emissions in 2022. *Nature Reviews Earth & Environment*. 2023. Vol. 4. DOI: [10.1038/s43017-023-00406-z](https://doi.org/10.1038/s43017-023-00406-z).
9. Dee D. P. et al. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1002/qj.828>.

10. European heatwaves in summer 2019. 2019. URL: <https://user.eumetsat.int/resources/case-studies/european-heatwaves-in-summer-2019> (дата звернення: 04.10.2023).
11. Fischer E. M., Sippel S., Knutti R. Increasing probability of record-shattering climate extremes. *Nature Climate Change*. 2021. Vol. 11. DOI: 10.1038/s41558-021-01092-9.
12. Foster G., Rahmstorf S. Global temperature evolution 1979–2010. *Environmental Research Letters*. 2011. Vol. 6(4).
13. Frieler K. et al. Scenario setup and forcing data for impact model evaluation and impact attribution within the third round of the Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project (ISIMIP3a). *Geoscientific Model Development*. 2024. Vol. 17. P. 1–51.
14. Hansen J. E., Lebedeff S. Global trends of measured surface air temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 1987. Vol. 92(D11). P. 13345–13372.
15. IPCC. Synthesis Report of the Sixth Assessment Report: Climate Change 2023. URL: <https://www.ipcc.ch/ar6-syr> (дата звернення: 04.10.2023).
16. ISIMIP. The Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project. 2019. DOI: <https://www.isimip.org/>.
17. King A. D., Karoly D. J., Henley B. J. Climate extremes in Europe at 1.5 and 2 degrees of global warming. *Environmental Research Letters*. 2017. Vol. 12(11).
18. Lange S. Earth2Observe, WFDEI and ERA-Interim data Merged and Bias-corrected for ISIMIP (EWEMBI). GFZ Data Services. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5880/pik.2019.004>.
19. Lindsey R., Dahlman L. Climate Change: Global Temperature. Climate Watch. 2020. URL: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change> (дата звернення: 04.10.2023).
20. Mann M. E. et al. Influence of Anthropogenic Climate Change on Planetary Wave Resonance and Extreme Weather Events. *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. DOI: 10.1038/srep45242.

21. Meehl G. A., Arblaster J. M., Tebaldi C. Relative increase of record high maximum temperatures compared to record low minimum temperatures in the U.S. *Geophysical Research Letters*. 2009. Vol. 36(23).
22. Nangombe S. et al. Record-breaking climate extremes in Africa under stabilized 1.5 °C and 2 °C global warming scenarios. *Nature Climate Change*. 2018. Vol. 8(5). P. 375–380.
23. NASA. Climate Change: Global Temperature URL://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change (дата звернення 19.05.2025).
24. National Centers for Environmental Information (NCEI), NOAA. Assessing the Global Climate in 2020. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/news/global-climate-202012>.
25. Rowe M. D., Derry L. A. Reversible record breaking and variability: Temperature distributions across the globe. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 2012. Vol. 51(9). P. 1681–1691.
26. Seneviratne S. I. et al. No pause in the increase of hot temperature extremes. *Nature Climate Change*. 2014. Vol. 4(3). P. 161–163.
27. Shevchenko O., Lee H., Snizhko S., Mayer H. Long-term analysis of heat waves in Ukraine. *International Journal of Climatology*. 2014. Vol. 34(5). P. 1642–1650. DOI: 10.1002/joc.3792.
28. Simmons A. J., Poli P. Arctic warming in ERA-Interim and other analyses. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2015. Vol. 141(689). P. 1147–1162.
29. Simmons A. J. et al. A reassessment of temperature variations and trends from global reanalyses and monthly surface climatological datasets. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2017. Vol. 143(702). P. 101–119.
30. Snizhko S., Bronstert A., Didovets I. Ukraine's Water Security Under Pressure: Climate Change and Wartime. DOI: 10.2139/ssrn.4776649.
31. Stackhouse P. W. Jr. et al. The NASA/GEWEX surface radiation budget release 3.0: 24.5-year dataset. *Gewex news*. 2011. Vol. 21. P. 10–12.



32. Taylor K. E. et al. An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>.
33. Vose R. S., Easterling D. R., Gleason B. Maximum and minimum temperature trends for the globe: An update through 2004. *Geophysical Research Letters*. 2005. Vol. 32(23).
34. Warszawski L. та ін. The Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project (ISI-MIP): Project framework // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. – 2014. – Vol. 111(9). – P. 3228–3232.)
35. Weedon G. P. et al. The WFDEI meteorological forcing data set: WATCH Forcing Data methodology applied to ERA-Interim reanalysis data. *Water Resources Research*. 2014. Vol. 50. P. 7505–7514. DOI: 10.1002/2014WR015638.
36. World Meteorological Organization (WMO). Mediterranean gripped by extreme heat, with new reported temperature record. 13 August 2021. URL: <https://wmo.int/media/news/mediterranean-gripped-extreme-heat-new-reported-temperature-record>.
37. Yang Q. et al. Reconstructing climate trends adds skills to seasonal reference crop evapotranspiration forecasting. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2022. Vol. 26.
38. Адаменко Т. І., Кульбіда М. І., Єлістратова Л. О. Зміна параметрів опалювального періоду на території України в результаті глобального потепління. *Доповіді Національної академії наук України*. 2016. № 11. С. 66–70.
39. Балабух В. О., Малицька Л. В. Оцінювання сучасних змін термічного режиму України. *Геоінформатика*. 2017. № 4(64). С. 34–49.
40. Динаміка температури повітря в Україні за період інструментальних метеорологічних спостережень: кол. монографія. К. : Ніка-Центр, 2013. 308 с.

41. Загальногеографічний атлас України. К. : ДНВП «Картографія», 2004. 220 с.
42. Герасимчук Л. О., Валерко Р. А., Пацева І. Г. Прояв зміни температури повітря на території м. Житомир. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія». 2023. Вип. 29. С. 6–16. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-29-01>.
43. Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. К. : Видавництво Раєвського, 2003. 343 с.
44. Краковська С. В., Гнатюк Н. В., Шпиталь Т. М., Паламарчук Л. В. Проекції змін приземної температури повітря за даними ансамблю регіональних кліматичних моделей у регіонах України в ХХІ столітті. Наукові праці Українського гідрометеорологічного інституту. 2016. Вип. 268. С. 33–44.
45. Краковська С. В. та ін. Верифікація даних світового кліматичного центру (CRU) та регіональної моделі клімату (REMO) щодо прогнозу приземної температури повітря за контрольний період 1961–1990 рр. Наукові праці УкрНДГМІ. 2008. № 257. С. 42–60.
46. Малицька Л. В., Балабух В. А. Оцінка зміни параметрів термічного режиму кліматичної системи України. Збірник наук. праць міжнар. наук. конф. (Мінськ, 5–8 травня 2015 р.). С. 135–136.
47. Наслідки зміни клімату: Україна. Національна метеорологічна служба Великої Британії. Міністерство закордонних справ та у справах Співдружності. 2010. 20 с.
48. Прусов В. А., Сніжко С. І. Методи прикладного системного аналізу в гідрометеорології. К. : Принт-Сервіс, 2017. 760 с.
49. Розпорядження Державного комітету України з гідрометеорології від 20.03.1997 № 14 «Про термінологію територіального поділу України в прогнозах і попередженнях».
50. Сніжко С. І., Бронстерт А., Дідовець І. Ukraine's Water Security Under Pressure: Climate Change and Wartime. DOI: 10.2139/ssrn.4776649.

51. Шевченко О. Г. Характеристика хвилі тепла літнього сезону 2010 р. на території України. URL: [https://old.uhmi.org.ua/pub/np/262/Shevchenko\\_262.pdf](https://old.uhmi.org.ua/pub/np/262/Shevchenko_262.pdf) (дата звернення: 04.10.2023).
52. Шевченко О. Г., Самчук Є. В., Сніжко С. І. Особливості термічного режиму граничного шару атмосфери над Києвом. Наукові праці УкрНДГМІ. 2012. № 3–4. С. 7–13.
53. Шевченко О., Сніжко С. Зміна клімату та українські міста: прояви та проєкції до кінця XXI століття на основі RCP-сценаріїв. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Географія. 2019. № 2(75). С. 11–18. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2721.2019..75.224>.
54. Характеристика клімату м. Вінниця. URL: <https://www.meteoprog.com/ua/weather/Vinnitsa> (дата звернення: 04.10.2023).
55. Характеристика клімату м. Дніпро. URL: <https://www.meteoprog.com/ua/weather/Dnipropetrovsk/> (дата звернення: 04.10.2023).
56. Характеристика клімату м. Кіровоград. URL: <http://www.meteoprog.ua/ua/climate/Kirovohrad> (дата звернення: 04.10.2023).
57. Характеристика клімату м. Полтава. URL: <https://www.meteoprog.com/ua/weather/Poltava> (дата звернення: 04.10.2023).
58. Характеристика клімату м. Умань. URL: <https://meteolabs.com.ua/укр/клімат/умань> (дата звернення: 04.10.2023).
59. Фізична географія України. Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2012. 364 с.