

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий
гідрометеорологічний інститут
Кафедра метеорології та кліматології

Кваліфікаційна робота магістра

на тему: Особливості температурного режиму Антарктичного континенту

Виконала студентка 2 курсу групи МЗМ-22
Спеціальності 103 «Науки про Землю»
Освітня програма
«Метеорологія і кліматологія»
Чешкова Ірина Андріївна

Керівник канд. геогр. наук, доцент
Галич Єлизавета Анатоліївна

Рецензент канд. геогр. наук, доцент
Кирнасівська Наталія Василівна

Одеса 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий гідрометеорологічний інститут
Кафедра Метеорології та кліматології
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 103 “Науки про Землю”
(шифр і назва)
Освітня програма Метеорологія і кліматологія
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
метеорології та кліматології
Прокоф'єв О.М.
“ 23 ” жовтня 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

студентці Чешковій Ірині Андріївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Особливості температурного режиму Антарктичного континенту

Керівник роботи Галич Єлизавета Анатоліївна, канд. геогр. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ОДЕКУ від “16” жовтня 2023 року № 215-С

2. Строк подання студентом роботи 29 листопада 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Середньомісячні значення приземної температури повітря на антарктичних станціях Ротера, Сьова, Кейси та Мак-Мердо за період з 1960-2023 р.р.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Дослідити багаторічну динаміку температурного режиму на антарктичних станціях. Статистичний аналіз часових рядів температури приземної повітря. Визначити приховані періодичності в часових рядах температури повітря та провести процедуру згладжування.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Графіки багаторічних коливань температури повітря.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 23 жовтня 2023 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Огляд літературних джерел за темою кваліфікаційної роботи.	23.10.2023 р.	75	добре
2	Збір вихідних даних до роботи. Ознайомлення з літературними джерелами за темою кваліфікаційної роботи бакалавра.	23.10-30.10.2023 р.	80	добре
3	Обробка даних за допомогою графічно-розрахункового пакету «EXCEL».	30.10-5.11.2023 р.	85	добре
4	Розрахунок середньомісячних температур повітря Статистичний аналіз часових рядів температур повітря. Дослідити динаміку температур повітря на станціях Антарктиди.	6.11-10.11.2023 р.	85	добре
5	Визначити приховані періодичності в часових рядах температури повітря та провести процедуру згладжування.	10.11-12.11.2023 р.	80	добре
6	Аналіз отриманих результатів.	10.11-12.11.2023 р.	75	добре
7	Рубіжна атестація	13-17.11.2023 р.	75	добре
8	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату.	29.11.2023 р.	80	добре
9	Перевірка роботи на плагіат, складення протоколу і висновку керівника. Підписання авторського договору.	30.11-02.12.2023р	-	-
10	Підготовка презентаційного матеріалу	02-07.12.2023	80	добре
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)	-	80	добре

Студентка Чешкова І.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)Керівник роботи Галич Є.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема: «Особливості температурного режиму Антарктичного континенту»

Автор: Чешкова Ірина Андріївна.

Актуальність: Дослідження метеорологічного режиму Антарктиди та його динаміки в світлі сучасних кліматичних змін, починаючи з середини минулого століття, проводяться вченими багатьох країн під егідою Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО).

Метою даної роботи є дослідження особливостей статистичної структури та багаторічної динаміки приземної температури повітря на станціях Антарктиди.

Задачі, які були розв'язані відповідно до поставленої мети полягали у наступному:

провести статистичний аналіз приземних температури повітря.

дослідити динаміку температурного режиму.

визначити приховані періодичності в часових рядах температури повітря та провести процедуру їх згладжування.

Об'єкт дослідження – температурний режим Антарктиди.

Предмет дослідження – середньомісячні значення приземної температури повітря на антарктичних станціях.

Методи дослідження – фізико-статистичний та кліматичний аналіз.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у дослідженні динаміки кліматичних показників приземної температури повітря за даними багаторічних спостережень.

Практичне значення отриманих результатів. Розраховані статистичні характеристики температури повітря та динаміка температурного режиму можуть бути використані у вирішенні багатьох прикладних задач, а також при розробці фізико-статистичних моделей довгострокових прогнозів погоди для Південної полярної області.

Магістерська робота в обсязі 58 сторінки складається зі вступу, 3 розділів, висновків, переліку посилань з 14 джерел, а також містить 21 рисунок та 7 таблиць.

Ключові слова: приземна температура повітря, максимальні температури, мінімальні температури, статистичні оцінки, динаміка часових рядів температури, тренди, періодичності.

ANNOTATION

Theme of the master's qualification work: "Features of the temperature regime of the Antarctic continent"

Author: Cheshkova Iryna Andriivna.

Relevance: Studies of the meteorological regime of Antarctica and its dynamics in the light of modern climate changes, starting from the middle of the last century, have been conducted by scientists from many countries under the auspices of the World Meteorological Organization (WMO).

The purpose of this work is to study the peculiarities of the statistical structure and long-term dynamics of surface air temperature at stations in Antarctica.

The tasks that were solved in accordance with the set goal were as follows:

- conduct a statistical analysis of surface air temperatures.
- investigate the dynamics of the temperature regime.
- determine hidden periodicities in air temperature time series and carry out the procedure of their smoothing.

The object of research is the temperature regime of Antarctica.

The subject of the study is the average monthly values of surface air temperature at Antarctic stations.

The research methods are physical-statistical and climatic analysis.

The scientific novelty of the obtained results lies in the study of the dynamics of climatic indicators of surface air temperature based on the data of long-term observations.

Practical significance of the obtained results. The calculated statistical characteristics of the air temperature and the dynamics of the temperature regime can be used in solving many applied problems, as well as in the development of physical and statistical models of long-term weather forecasts for the South Polar region.

The 58-page master's thesis consists of an introduction, 3 chapters, conclusions, a list of references from 14 sources, and also contains 21 figures and 7 tables.

Keywords: surface air temperature, maximum temperatures, minimum temperatures, statistical estimates, dynamics of temperature time series, trends, periodicities.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ОСОБЛИВОСТІ МЕТЕОРОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ І КЛІМАТУ	
АНТАРКТИДИ.....	9
1.1 Загальні особливості атмосферних процесів. Центри дії атмосфери.....	9
1.2 Кліматичні зміни Південної полярної області.....	15
1.3 Сучасний регіональний клімат Антарктичного півострова.....	19
2 СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРИЗЕМНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ	
ПОВІТРЯ.....	21
2.1 Характеристика вихідної інформації.....	21
2.2 Алгоритм дослідження статистичної структури.....	23
2.3 Статистичний аналіз часових рядів температури повітря.....	25
3 ДИНАМІКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ АНТАРКТИЧНОГО	
КОНТИНЕНТУ.....	38
3.1 Динаміка приземної температури повітря.....	38
3.2 Приховані періодичності в часових рядах температури повітря..	44
3.3 Особливості структури згладжених рядів температури повітря	47
ВИСНОВКИ.....	54
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	57

ВСТУП

Кліматичні зміни, які відбуваються протягом минулого століття, були стимулом до значного зростання зусиль фахівців у вивченні процесів взаємодії різних ланок кліматичної системи, особливо найбільш енергоємних з них - атмосфери та океану. Незважаючи на значні успіхи, досягнуті світовим гідрометеорологічним науковим співтовариством, залишається ще багато нез'ясованих питань щодо особливостей структури великомасштабних циркуляційних атмосферних процесів, і чинників що їх визначають. Особливо це відноситься до Південної півкулі, більша частина якої охоплена Південним океаном і в якій розташовується найбільш значний за площею «холодильник» - Антарктида.

Дослідження гідрометеорологічного режиму Антарктиди і її впливу на циркуляційні атмосферні процеси, починаючи з середини минулого століття, проводяться вченими багатьох країн під егідою Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО). У ці дослідження активно підключилися і українські вчені, після того як Україна отримала у володіння антарктичну науково-дослідницьку станцію Академік Вернадський, яка розташовується в районі Антарктичного півострова.

У Резолюції Міжнародної конференції «Україна в Антарктиці – національні пріоритети та глобальна інтеграція (Київ, 23-25 травня 2008 р.)» вказується, що «...наукові дослідження в Антарктичному регіоні є серед головних пріоритетів світової науки... Продемонстрований на Конференції науковий потенціал українських дослідників та запропоновані учасниками з різних країн напрямки міжнародної кооперації, дозволяють з оптимізмом дивитися на перспективу участі України у майбутніх антарктичних дослідженнях».

Метою даної кваліфікаційної роботи є комплексне дослідження особливостей температурного режиму Антарктичного континенту, який відбивається на циркуляційних атмосферних процесах.

Актуальність теми проведеного дослідження визначається необхідністю постійного моніторингу метеорологічного режиму Південної полярної області, де розташована Українська антарктична станція «Академік Вернадський», та його динаміки в світі сучасних кліматичних змін.

Предмет дослідження – середньомісячні значення приземної температури повітря.

Об`єкт дослідження – температурний режим Антарктичного континенту.

Основними задачами наукового дослідження є:

- побудувати та проаналізувати часові ряди температури повітря;
- провести статистичний аналіз приземних температури повітря;
- дослідити динаміку температурного режиму;
- визначити приховані періодичності в часових рядах температури повітря та провести процедуру їх згладжування.

В якості вихідних даних використані середньомісячні значення приземної температури повітря чотирьох станцій Антарктичного континенту, отримані з бази даних Британського антарктичного центру

1 ОСОБЛИВОСТІ МЕТЕОРОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ І КЛІМАТУ АНТАРКТИДИ

1.1 Загальні особливості атмосферних процесів. Центри дії атмосфери

Кліматичні особливості в Південній півкулі більшою мірою формуються під впливом Антарктиди. Особливості цього континенту визначаються його навколо полюсним положенням, великими абсолютними висотами і властивостями сніжно-льодової поверхні. Сукупність цих умов призводить до неповторного ніде більше на земній кулі поєднань географічних умов, атмосферної циркуляції і сонячної радіації – чинників, під впливом яких формується клімат Антарктиди [1-4].

В результаті сильного вихолодження в центрі материка утворюється зона високого тиску - Антарктичний антициклон. Він визначає природні умови центральної Антарктиди.

До теперішнього часу основні риси великомасштабної атмосферної циркуляції Південної полярної області вивчені досить добре, відомо, що вона в цілому простіша, ніж в Північній півкулі. Західно-східне перенесення в помірних широтах Південної півкулі інтенсивніше, з наявністю поясу низького тиску в Південній полярній області (ППО), що обумовлює меншу інтенсивність антициклонального блокування. Практично усі баричні утворення переміщуються тут над океанською поверхнею, обмеженою з крайнього півдня льодовиковим бар'єром або гірськими системами Антарктиди. Як правило, кліматичні улоговини (циклони) розташовані вздовж увігнутостей берегової лінії Антарктиди (моря Роса, Беллінсгаузена, Уедделла), а гребні - вздовж Антарктичного півострову, Землі Елсуорта, Землі Мері Берд, Землі Королеви Мод.

Зміну клімату в Південній полярній області пов'язують передусім зі зміною в атмосферній циркуляції. Детальне вивчення регіонального клімату стало можливим з другої половини 1950-х років, коли за час МГГ 1957-1959 рр. сформувалася мережа постійно діючих антарктичних станцій. За результатами досліджень Г.М. Таубер який уперше охарактеризував центри дії атмосфери (ЦДА) в поясі зниженого тиску навколо Антарктиди, С.С. Гайгеров уперше описав вертикальну будову тропосфери і нижньої стратосфери, а також були встановлені умови формування стокових вітрів (Атлас Антарктики, 1969).

Деталізація атмосферних процесів з порівнянням особливостей в обох півкулях землі була проведена Б.Л. Дзердзеевським у 1977 р. Він встановив зв'язок атмосферних процесів Північної та Південної півкуль, а також обґрунтував гляціолостичні ефективні "елементарні циркуляційні механізми", які сприяють акумуляції і абляції твердих опадів, що актуально для полярних і гірських районів. Одним з перших він вказав, що у "зв'язку з багаторічними коливаннями ЗЦА треба мати показники середніх кліматичних даних по циркуляційним епохам, оскільки одна середня багаторічна величина за увесь період спостережень будь-якої метеорологічної величини, приведена в довідниках, не цілком характеризує особливості сучасного клімату". Це положення особливо актуально зараз, коли циркуляційні процеси в епоху потепління значно змінилися в порівнянні з серединою ХХ століття. На їх фоні у ряді регіонів неодноразово повторювалися рідкісні погодні явища, вірогідність виникнення яких в середньому дуже мала. У типізації Б.Л. Дзердзеевського виділений тип меридіональної південної циркуляції з незвичайним положенням циклону на полюсі, відсутністю блокуючих процесів-прообраз циркумполярній циркуляції, яка властива атмосфері Південної півкулі. Узагальнення форм циркуляції склало одну з перших типізацій синоптичних процесів в Антарктиці, виконана Г.Я. Рижаким по традиційних методиках Г.Я. Вангенгейма. Усі атмосферні процеси Південної півкулі узагальнені в три

форми циркуляції: зональну і дві меридіональні. На відміну від Північної півкулі, на середньому рівні в Південній півкулі переважає синоптична хвиля з хвилевим числом 4 за кількістю улоговин і гребенів. Вже на сучасному етапі дослідження це було підтверджено, причому відзначається зміна переважаючої хвилевої структури між різними кліматичними епохами.

Впродовж багатьох років вчені дотримувалися теорії льодовикового антициклону за В. Хоббсом [5]. Ця теорія припускала розвиток в нижніх шарах атмосфери стійкого антициклону, що супроводжується стоком холодного повітря від центру, а над ним - полярного циклону, в якому вітри спрямовані до центру. В. Мейнардус [6] представляв собі антициклон як розподіл тиску, характерний лише для нижніх шарів атмосфери. Він визначив межу між антициклоном і полярним циклоном на висоті 2 км над рівнем моря. Оскільки внутрішні області Антарктиди значно вищі за цей рівень, високий тиск не поширюється на увесь материк, і, отже, антарктичний антициклон існує у вигляді кільця лише в низьких приберегових районах материка.

Сучасні дослідження показують, що антициклон над Антарктидою займає шар невеликої потужності, і перехід льодовикового антициклону у вище розміщений циклон відбувається на висоті близько 2-3 км.

В області антарктичного антициклону спостерігаються вітри східної складової, а в циклоні – західною. Південний полярний антициклон - це явище, що періодично повторюється, підкоряється більшій частині закономірностей, властивих системам високого тиску. Антициклони в 60-70% випадків зосереджені над східною Антарктидою. Антарктичний антициклон – це мінлива і нестійка особливість циркуляції атмосфери Антарктики.

Дослідження тропосферної циркуляції стали пріоритетними впродовж останніх десятиліть у зв'язку з тим, що вона в цілому пояснює сучасну мінливість клімату на різних часових масштабах (в межах століття і окремих десятиліть). Потепління у ряді районів помірних і полярних широт північної

півкулі, включаючи Атлантико-Європейський сектор, Арктику і центральний Сибір, пов'язане зі змінами положення та інтенсивністю центрів дії атмосфери (ЦДА). Найбільш інтенсивне потепління в Південній півкулі зареєстроване в районі Антарктичного півострова, де розташовано найбільша кількість працюючих станцій в межах Південної полярної області (ППО).

Цікаві результати зіставлення середніх полів тиску і їх аномалій за даними реаналіза NCEP/NCAR і ВНИГМИ-МЦД [7-11]. Визначено, що в помірних широтах Південної півкулі існує більше виражене західно-східне перенесення, ніж в північній півкулі, з поясом низького тиску уздовж 60-70° півд.ш., причому північна частина Антарктичного півострова (Земля Грейама) розташовується в зоні його впливу. За даними реаналіза, усередненим за 1960-1990 рр., у січні в тропічній зоні південної півкулі виражені три центри підвищеного тиску з центральною ізобарою 1020 гПа, а в червні Атлантичний максимум з'єднується з Індійським, причому якщо середній тиск залишається тим же, то площа максимумів значно зменшується (рис. 1.1).

Згідно з середніми даними ВНИГМИ-МЦД за аналогічний період, впродовж обох сезонів чітко проявляються чотири тропічні центри дії [9]. Найбільш стабільний ЦДА в східній частині Тихого океану, оскільки "західний" ЦДА над Тихим океаном може не проявлятися в окремі сезони. У січні атмосферний тиск в ЦДА над океанами однаковий - 1020 гПа, а в зимовий період найбільш інтенсивним стає Індійський ЦДА, середні значення тиску досягають 1027 гПа, які на 7 гПа вище, ніж за даними реаналіза. Другим за інтенсивністю в червні являється Південно-Атлантичний ЦДА (1024 гПа), значення якого перевищує на 4 гПа, визначеного за даними реаналіза. Відповідно зональні градієнти на північ від 40° півд.ш. різкіше виражені, ніж за даними реаналіза. Найбільш активний циклогенез спостерігається в поясі між 40-70° півд.ш. [10].

В середньому, в червні, за даними реаналіза 1960-1990 рр., відмічені дві великі області низького тиску: над морем Роса і в східному секторі ППО,

а в січні виділяються кліматичні циклони над морями Беллінгаузена і Роса, з центральними ізобарами 990 гПа.

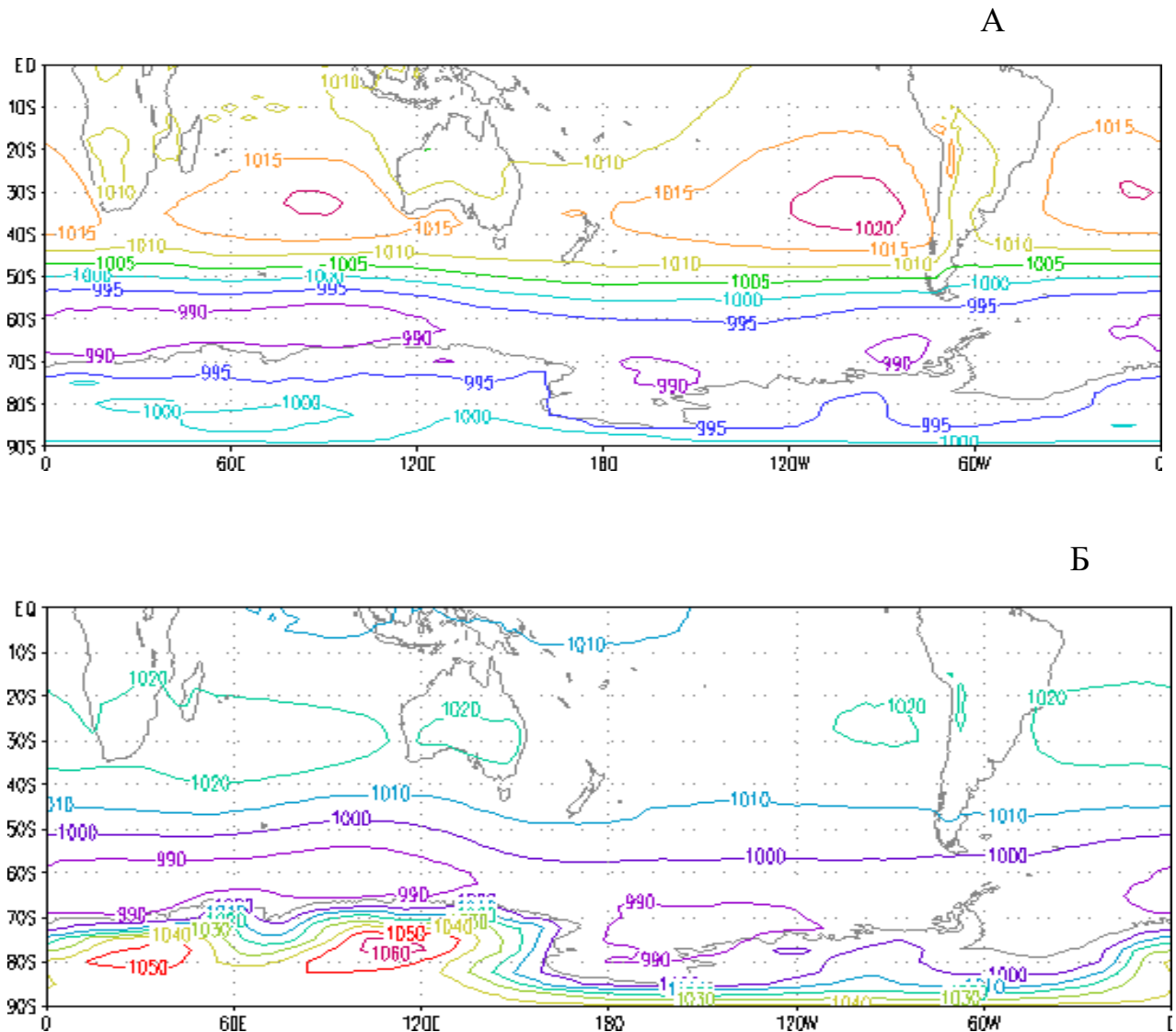


Рис. 1.1 – Середні поля атмосферного тиску поверхні 1000 гПа в південній півкулі за період 1960 - 1990 (А - січень, Б - липень) [12]

Взимку і влітку, в районі Антарктичного півострова формується барична улоговина або мало виражений гребінь. На картах ВНИГМИ-МЦД кліматичні циклони над приантарктичними морями добре виражені в обидва сезони, з центральною ізобарою 985 гПа в червні і 987 гПа в січні. За результатами робіт Разанової І.В. були визначені положення трьох циклонних ЦДА за 44 роки спостережень (1957-2000): Південно-

Атлантичний (69° півд.ш., 30° зах.д.), середнє значення якого 982 гПа, Південно-Тихоокеанський з середнім значенням 982 гПа (71° півд.ш., 160° зах.д.) і Індooкеанський ЦДА з середнім значенням 981 гПа (64° півд.ш., 99° сх.д.).

Значне зростання баричних градієнтів у береговій зоні Антарктиди і позитивні аномалії над східною частиною Антарктиди, що проявляються в червні за даними реаналіза, не відображають реальної картини циркуляції. Це пов'язано з неадекватністю первинного відновлення поля тиску у зв'язку зі значними висотами цього району і помилками в процедурі приведення тиску до рівня моря в умовах інверсії температури, інтенсивність якої максимальна взимку. Дані реаналіза, усереднені за період 1977-1998 рр. і за 1957-1977 рр. [11], показали деяке зниження середніх значень тиску в ППО, який найбільш інтенсивно проявляється в районах кліматичних циклонів над морями Роса (4 гПа) і Уедделла (рис. 1.2), що повинне свідчити про деяке посилення циклонної активності в цьому районі.

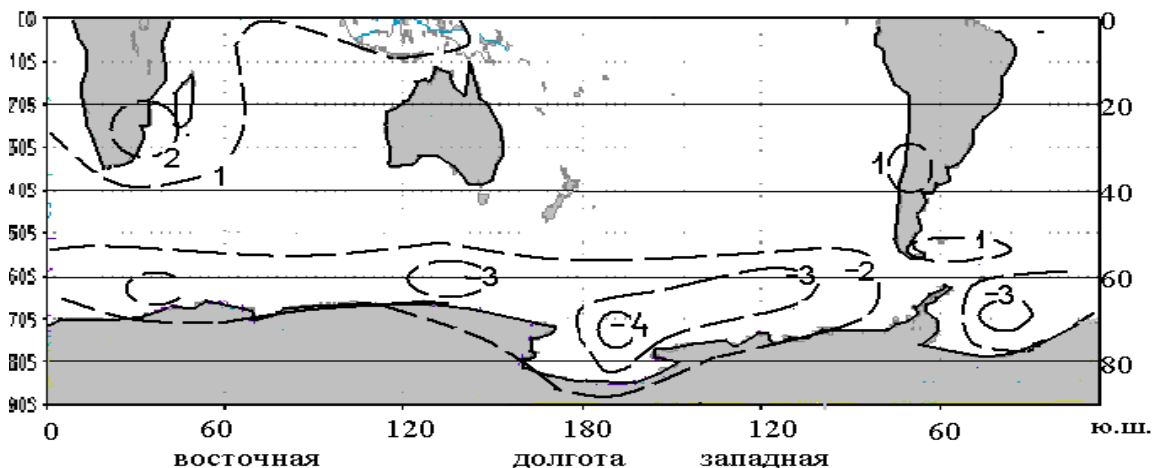


Рис. 1.2 – Аномалії атмосферного тиску в Південній півкулі, 1977-1998 рр., порівняно з періодом 1957-1977 рр. [12]

Позитивні аномалії тиску відмічені тільки для Південної Африки і окремих районів Південної Америки. У низьких широтах Тихого океану, де розвивається явище Ель-Ніньо, відсутні які-небудь аномалії в полі тиску. На

жаль, це виведення неможливо порівняти з даними ВНИГМИ-МЦД у зв'язку з їх відсутністю. Проте ці результати узгоджуються із загальним результатом про перехід до негативної тенденції тиску в ППО з початку 1980 рр., як за даними інструментальних вимірів, так і інших масивів реаналіза ERA - 40 і ECMWF, у тому числі і за даними геопотенціальних висот середньої тропосфери.

1.2 Кліматичні зміни Південної полярної області

В останній час, детально досліджуються та прогнозуються зміни стану льодового покриву Антарктики, які відбуваються. Останні дані відносно змін розміру та об'єму льодового покриву Антарктиди (рис. 1.3) свідчать про те, що тільки льодяний покрив Антарктичного півострова в сучасний час відображає зміни клімату. Найбільше суттєве скорочення льодяного покриву фіксується у Західній Антарктиці, особливо в районі моря Амундсена. Дослідження, які ґрунтуються на дистанційному зондуванні, не представляють однозначного свідчення відносно балансу маси Східноантарктичного льодяного щита. Результати дослідників щодо скорочення крайової зони зледеніння різняться.

Льодовиковий щит Антарктиди залишається одним з найбільших та найунікальніших скупчень природного льоду на Землі, яке зародилося в результаті стійкого похолодання 25-26 млн. років тому. За минулий геологічний час утворився могутній льодовиковий купол з максимальною товщиною в центральній частині – 4800 м та об'ємом – від 25 до 30 млн.км³. Не зменшуючись в розмірах після утворення, за час свого існування антарктичний льодовиковий покрив завдяки своїм розмірам та запасам холоду є могутнім кліматоутворювальним фактором, який визначає радіаційні, метеорологічні, циркулярно-синоптичні умови не тільки в межах Південної полярної області Південної півкулі, але й всієї Планети, оскільки

являється зоною інтенсивного стоку енергії (де альbedo сягає 90-95%) у Світовий простір.



Рис. 1.3 – Знімок Антарктиди з космосу ((NASA)

Науково доведено, що Антарктичний льодовиковий купол являється планетарним холодильником та могутнім центром дії атмосфери, який визначає багато рис баричної топографії, циркуляції повітряних мас у Південній полярній області. Відбуваються зміни температурно-вологісного режиму не тільки тропосфери, а й нижньої стратосфери з характерним інверсійним розподілом температури в шарі до 80 км. За таких умов, над Антарктидою протягом усього року формується стійкий антициклонльний вихор, де переважають низхідні вертикальні рухи вихолодженого сухого та щільного повітря. В приземному шарі це повітря набуває горизонтальної складової та визначає утворення стокових вітрів, які розповсюджуються від району Південного полярного полюса до узбережжя континенту.

Враховуючи риси природи Антарктиди, вона являє собою важливу структурну ланку загальнопланетарної кліматичної системи та сама по собі визначає регіональну кліматичну систему з усіма особливостями балансу

тепла та вологи, масоенергообміну з океанічними просторами та безпосереднього впливу на них.

Умови існування Антарктичного льодовикового щита забезпечують в напрямку від центру льодяного покриву до його кромки: зменшення прямої та сумарної радіації, збільшення поглиненої радіації, зростання значень радіаційного балансу (від від'ємних значень), збільшення температури повітря, підвищення вологовмісту повітря та зростання випаровування та конденсації.

Умови акумуляції визначаються режимом твердих гравітаційних опадів, які на більшій частині Антарктиди дорівнюють акумуляції. Крім того в суму акумуляції входять наростаючі опади, кількість яких коливається в значних межах (від 6-10 до 50%) від загальної суми, в залежності від ступеня океанічності клімату та вологовмісту повітряних мас.

Доведено, що зміни річного балансу маси Антарктичного льодовика пов'язані з кліматом та змінами атмосферної циркуляції, аномаліями опадів і температури повітря. Враховуючи цей факт, не завжди вдається виділити чіткі закономірності. Наприклад, зростання середньорічної температури повітря підвищує абляцію та зменшує річний баланс маси. Відповідно до цього може зростати кількість твердих опадів, що в свою чергу призведе до збільшення балансу.

Можна бачити, що існує взаємозв'язок між зледенінням та атмосферою, сушею і океаном. Атмосфера являється найбільш мінливою, з нею напряду пов'язані сезонні зміни об'єму льодовиків, коливання з різною мінливістю льодовиків. Існує велика кількість факторів, які вказують на періодичний характер коливань льодовиків, який пов'язаний з сонячною активністю. Цикли сонячної активності, а також пов'язані з ними коливання клімату впливають на інтенсивність переміщення льодовиків, однак простежується досить яскрава інерція в прояві впливу атмосфери на коливання льодовиків, яка чинить труднощі у виявленні зв'язку поведінки льодовиків з

коливаннями клімату. А також, перешкоди виникають внаслідок накладення коливань з різними кліматичними періодами.

Беручи до уваги той факт, що, головним джерелом насичення льодовикового щиту Антарктиди є опади, одним з найважливіших являється питання за спостереженням кількості опадів в Південній полярній зоні. Наростаючі опади за своєю абсолютною величиною наближаються до випаровування снігу при різних за знаком температур повітря (без переходу через рідку фазу). При розрахунках водно-льодового балансу, вони врівноважуються.

Просторовий розподіл опадів, майже дорівнює акумуляції, представлений на рис. 1.2. Аналіз швидкості акумуляції снігу показав, плямистість в розподілі даної характеристики [11].

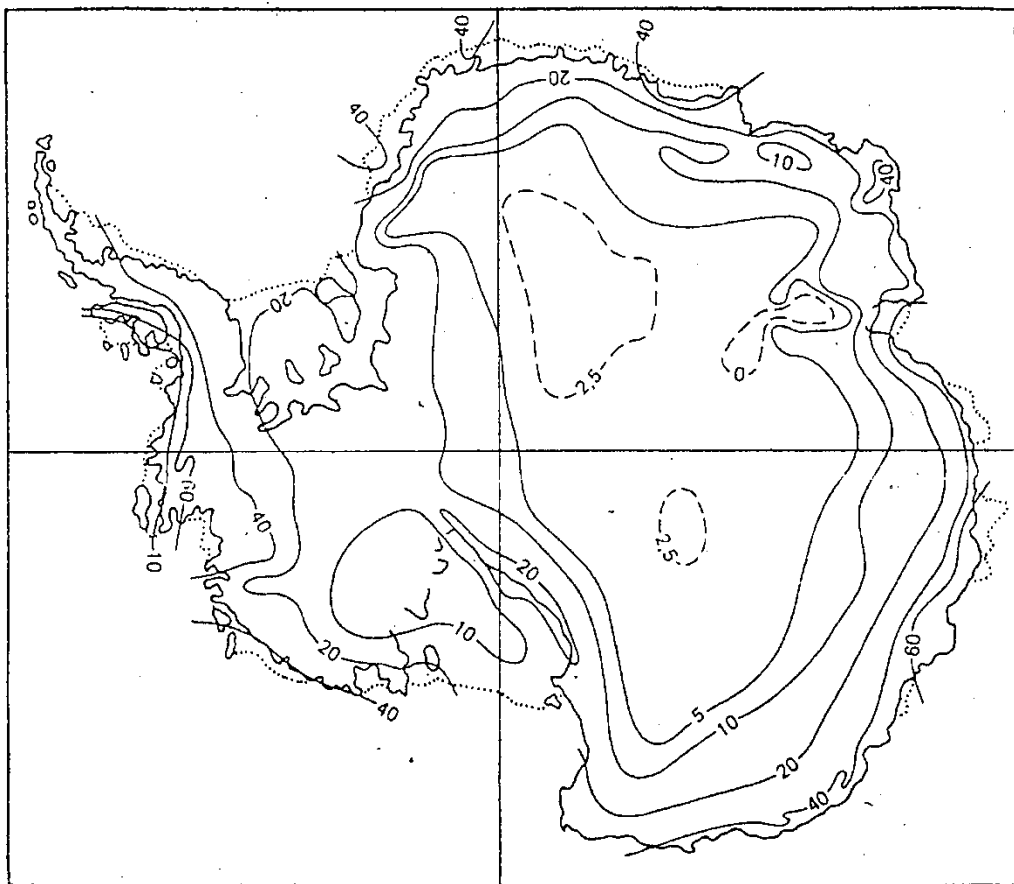


Рис. 1.4 – Швидкість акумуляції снігу, г/см^2 за рік [2]

На півночі Антарктичного півострова випадає близько 2000 до 3000 мм, в центральній частині материка – до 35-50 мм, у прибереговій зоні опадів випадає від 500-600 до 900-1000 мм за рік, на шельфових льодовиках – від 250 до 400 мм за рік.

1.3 Сучасний регіональний клімат Антарктичного півострова

Орографічний контраст регіону Антарктичного півострову посилюється неоднорідністю зледеніння, особливо наявністю шельфового льодовика Ларсена на східному узбережжі. Багатогранність орографічних умов в даному районі призводить до того, що досліджуванні дані конкретної станції репрезентативні тільки для відповідного району. Внаслідок цього перед дослідниками виникають деякі перешкоди у аналізі та порівнянні даних навіть з тих станцій які розташовані відносно недалеко одна від одної. В районі станції «Академік Вернадський», яка розташована майже (8-10 км) на західному узбережжі Антарктичного півострова, меридіональна орієнтація берегової лінії має вплив на формування режиму повітряних потоків (уздовж берегової лінії). Однак, наявність гірської системи (середня висота плато до 2000 м в районі станції «Академік Вернадський», а висоти окремих гір – до 2800 м) формує мезомасштабну циркуляцію, яка має вигляд фенових вітрів, а близьке розташування покривного зледеніння на півострові призводить до утворення стокових вітрів місцевого масштабу.

Також важливою кліматичною рисою Антарктичного півострову є наявність озонної діри, яка постійно активізується на протязі весняного сезону (вересень-листопад).

На багатьох архіпелагах та островах прибережної зони Антарктичного півострова знаходяться численні земні та морські екосистеми, умови життєдіяльності яких в значній мірі залежать від кліматичного режиму [19].

Кліматологічні умови Антарктичного півострова характеризуються взаємозв'язком між теплою і вологою тихоокеанською та холодною сухою повітряними масами материка Антарктиди, та умовами зледеніння і наявністю гірської системи на Антарктичному півострові та специфічністю океанічної циркуляції, яка визначальний вплив на коливання морського льоду. Північна частина Антарктичного півострова (Земля Грейама) має відношення до кліматичного району з помірним кліматом (в межах Антарктики), з помірним вітром і високою вологістю [19].

Найголовнішим чинником при формуванні полів температури повітря та опадів слід враховувати великомасштабну циркуляцію, однак вплив регіональних умов (гірська система півострова, контраст океан-лід-континент) вносить досить важливий внесок до погодних умов. Існування зледеніння на східному узбережжі і дефіцит на західному сприяє відхиленню регіональних ізотерм від квазізональної орієнтації, зі зростанням градієнтів у вузькій смузі, майже паралельно гірській системі Антарктичного півострова. Достатня кількість морського льоду взимку, як правило, посилює цей контраст [19].

Слід зазначити, що в плані зміни клімату Антарктичний півострів контрастує з даними материкової та Східної Антарктиди: там середні річні температури практично не змінюються, або є наявність слабких негативних трендів в окремі місяці. Це можна трактувати, як специфічне фізико-географічне положення Антарктичного півострова, а саме з його географічною ознакою, наявністю гірської системи, зледеніння та морів з різними термічними характеристиками. За умовами відносно м'яких кліматичних умов на архіпелагах та островах берегової зони Антарктичного півострова існують досить багато екосистем, які являються чутливими до кліматичних змін.

2 СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРИЗЕМНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ

2.1 Характеристика вихідної інформації

В якості вихідних даних для дослідження використано середньомісячні значення приземної температури повітря на чотирьох станціях Антарктичного континенту, отримані з бази даних Британського Антарктичного центру (табл. 2.1, рис 2.1).

У таблиці 2.1 представлені чотири станції, що використовувались при дослідженні динаміки термічного режиму Антарктичного континенту, також вказані основні характеристики цих станцій: дата заснування, широта, довгота та період спостережень.

Таблиця 2.1 – Параметри досліджуваних станцій Антарктичного континента

№	Назва станції	Дата заснування	Широта	Довгота	Період спостережень
1	<u>Ротера</u> Rothera	<u>1975</u>	67°34' пд. ш.	68°07' зх. д.	1976-2023
2	<u>Сьова</u> Syowa	1957	69°00' пд. ш. .	39°35' сх. д	1966-2023
3	<u>Кейсі</u> Casey	<u>1959</u>	66°17' пд. ш..	110°31' сх. д	1959-2023
4	<u>Мак-Мердо</u> McMurdo	<u>1955</u>	<u>77°51' пд. ш. .</u>	166°40' сх. д	1955-2023

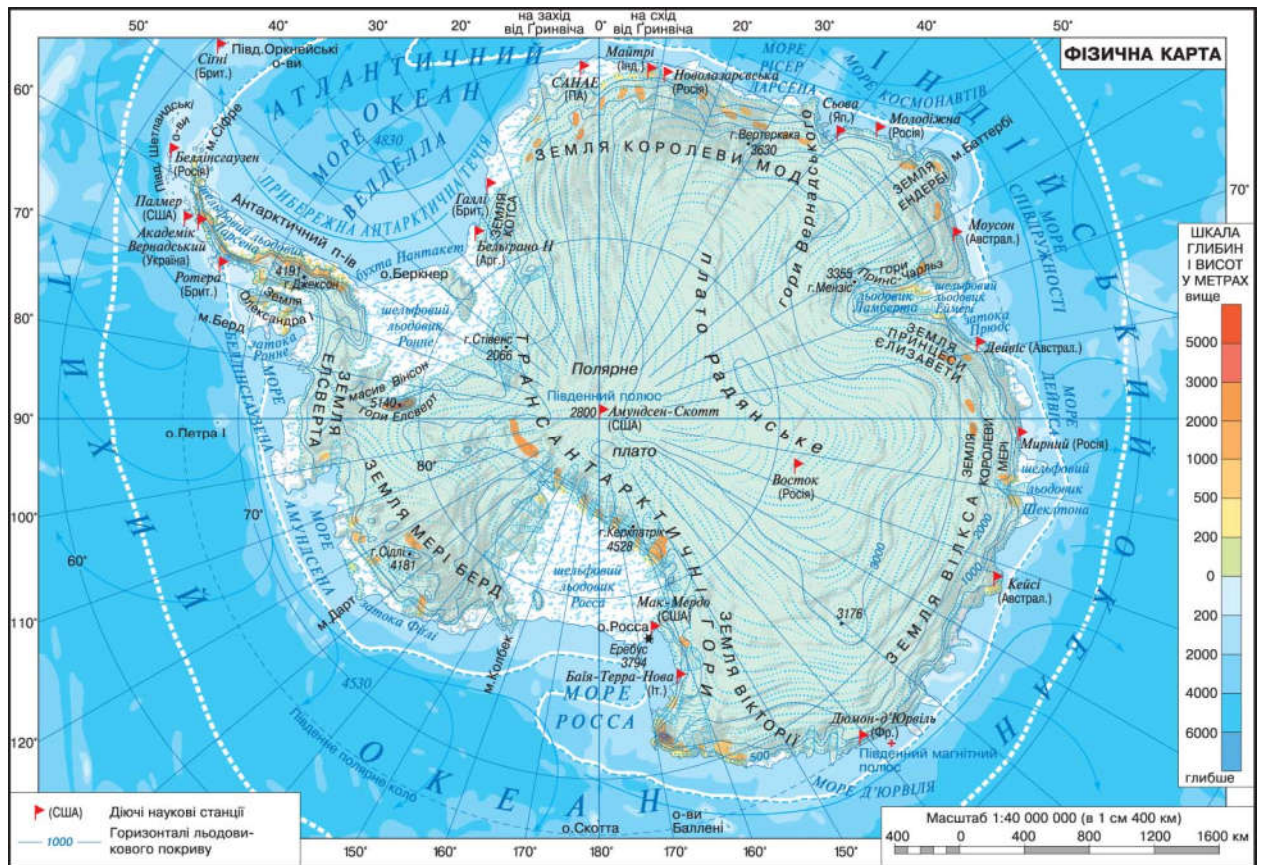


Рис. 2.1 – Карта Антарктиди

Дослідницька станція Ротера – британська науково-дослідна станція в Антарктиці. Станція відіграє стратегічну роль в антарктичній логістиці та авіації, оперуючи однойменним аеродромом та продовольчо-матеріальними складами. Вигідне географічне положення дозволяє приймати морські судна та літаки тривалий період протягом року.

Сьова японська цілорічна науково – дослідна станція в Антарктиді. На Сьові з моменту відкриття постійно ведуться метеорологічні спостереження, крім того, проводиться ряд спостережень з геофізики, гляціології, океанології, біології і запуск геофізичних ракет.

Кейсі – діюча постійна (цілорічна) науково-дослідна антарктична станція Австралії, що була створена у 1964–1969 роках. Розташована у затоці Вінсенеса, разом із двома іншими австралійськими станціями на Землі Вілкса.

Мак-Мердо – діюча постійна (цілорічна) науково-дослідна антарктична станція США, що була створена 1955 року.

Це найбільша антарктична станція, розташована на півострові Хат-Поїнт, що на Острові Росса, на березі протоки Мак-Мердо. За 32 км від станції знаходиться вулкан Еребус. Керується Антарктичною програмою США та є логістичним центром програми.

2.2 Алгоритм дослідження статистичної структури

В подальших наших дослідженнях були отримані основні значення статистичних оцінок моментів розподілу приземної температури повітря.

Методами дослідження є загальні статистичні методи обробки вибірових статистичних сукупностей випадкових величин.

На основі статистичних сукупностей можна знайти статистичні оцінки. Відомо, що властивості випадкових величин можуть характеризуватися початковими (ν), центральними (μ) та основними (r) моментами [14].

Оцінкою першого початкового моменту є середнє значення

$$\hat{\nu}_1 = \hat{m}_x = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i m_i; \quad (2.1)$$

або

$$\hat{\nu}_1 = \hat{m}_x = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i p_i; \quad (2.2)$$

Оцінкою центрального моменту є середнє квадратичне відхилення

$$\mu_2 = \hat{\sigma}_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^2 m_i. \quad (2.3)$$

Оцінку дисперсії випадкової величини X (це вимоги, яким повинні задовольняти статистичні оцінки параметрів) розраховують за формулою і позначають S_x^2 [14]:

$$S_x^2 = \frac{n}{n-1} \mu_2. \quad (2.4)$$

Статистичну оцінку середнього квадратичного відхилу цієї величини можна визначити, як

$$S_x = \sqrt{S_x^2}. \quad (2.5)$$

Статистична оцінка основного моменту для випадкової величини X розраховується за формулою:

$$r_l = \frac{\hat{\mu}_l}{S_x^l}. \quad (2.6)$$

Очевидно, що $r_1 = 0$, та $r_2 = 1$.

Тому обчислюються тільки статистичні оцінки третього та четвертого моменту:

$$r_3 = \frac{\hat{\mu}_3}{S_x^3}; \quad (2.7)$$

$$r_4 = \frac{\hat{\mu}_4}{S_x^4}. \quad (2.8)$$

Оцінка третього основного моменту характеризує асиметрію кривої розподілу інтервальних частот і має сенс коефіцієнта асиметрії

$$r_3 = As. \quad (2.9)$$

Як відомо, крива розподілу має правосторонню асиметрію за умови $As > 0$, і лівосторонню – за умови $As < 0$. Крива розподілу є симетричною відносно центру розподілу, якщо $As = 0$ [14].

Крім асиметрії, крива розподілу, порівняно з кривою, може бути витягнутою або сплюсненою. Мірою цього є коефіцієнт ексцесу E [14]:

$$E = r_4 - 3. \quad (2.10)$$

У першому випадку коефіцієнт ексцесу $E > 0$, у другому – $E < 0$.

За умов нормального розподілу коефіцієнти $r_3 = 0$; $E = 0$.

Інколи при статистичних дослідженнях метеорологічних рядів необхідно визначити їх модальне значення M_o та медіану M_e . нормального розподілу

Медіану розраховують за формулою [9]:

$$M_e = x_e + \frac{c \left(\frac{n}{2} - m \right)}{m_e}, \quad (2.11)$$

де

n – об'єм вибірки.

m - накопичена частота до медіанного інтервалу;

x_e, c, m_e – відповідно початок, довжина та частота медіанного інтервалу.

Модальне значення випадкової величини, що трапляється найчастіше в сукупності спостережень. Це таке значення x , в якому функція мас ймовірностей набуває максимального значення.

2.3 Статистичний аналіз часових рядів температури повітря

У ході дослідження були розраховані значення статистичних оцінок моментів розподілу середньої місячної температури повітря на антарктичних станціях Ротера, Сьова, Кейсі та Мак-Мердо

В таблицях 2.2 – 2.5 представлені результати розрахунків та значення статистичних оцінок моментів розподілу середньої місячної температури повітря на антарктичних станціях.

В таблиці 2.2 представлені результати розрахунків та значення статистичних оцінок моментів розподілу середньої місячної температури повітря на станції Ротера за період 1976-2023 р.р.

Як видно з табл. 2.2, в середньому за рік найтеплішим місяцем на станції є січень, середня багаторічна температура досягає $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, а як показує модальне значення, то найчастішою температурою є $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Найхолоднішим місяцем на станції Ротера є липень та серпень з температурою $-10,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, і найбільш повторювальною температурою в серпні $-12,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Максимальна середньомісячна температура відмічалась в лютому $2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, а мінімальна – в липні $-20,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Щодо значень середньоквадратичних відхилень середньомісячних температур повітря, то треба відмітити, що взимку вони досягають найбільших значень і в липня досягають $4,14\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Стосовно коефіцієнта асиметрії, треба відмітити, що впродовж всього року він має від'ємні значення, а значить крива розподілу має лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу.

Коефіцієнт ексцесу навпаки, впродовж всього року, окрім січня, має додатні значення, тому крива розподілу є витягнутою відносно нормального розподілу.

В таблиці 2.3 наводяться значення статистичних оцінок моментів розподілу середньої місячної температури повітря на станції Сьова за період 1966-2023 р.р.

Таблиця 2.2 – Значення статистичних оцінок моментів розподілу середньої місячної температури повітря на станції Ротера за період 1976-2023 р.р.

Місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
\bar{x} , °C	1,3	0,7	-1,0	-3,0	-4,7	-7,8	-10,0	-10,0	-8,3	-5,4	-2,4	0,2
X_{\max} , °C	2,5	2,7	1,2	-0,5	-1,1	-2,8	-2,7	-3,3	-2,0	-1,9	-0,1	1,9
X_{\min} , °C	0,0	-1,3	-4,2	-10,6	-11,3	-17,1	-20,5	-18,1	-17,7	-10,5	-6,5	-1,7
S_x , °C	0,64	0,85	1,03	1,53	2,41	3,27	4,14	2,93	3,32	2,08	1,35	0,71
M_0 , °C	1,1	0,9	-0,9	-2,6	-2,6	-5,7	-5,1	-12,7	-11,8	-6	-1,3	0
M_e , °C	1,3	0,9	-0,95	-2,6	-4,05	-7,1	-9,5	-10,05	-8,15	-5,35	-2,3	0,1
$As=r_3$	-0,11	-0,21	-0,50	-2,74	-1,10	-0,81	-0,75	-0,13	-0,43	-0,69	-0,71	-0,25
E	-0,66	0,08	1,02	12,31	0,49	0,32	0,38	0,35	0,34	0,39	0,57	0,28

Таблиця 2.3 – Значення статистичних оцінок моментів розподілу середньої місячної температури повітря на станції Сьова за період 1966-2023 р.р.

Місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
\bar{x} , °C	-0,7	-3,0	-6,5	-10,1	-13,3	-15,4	-17,5	-19,0	-18,2	-13,3	-6,4	-1,5
X_{\max} , °C	1,1	-1,0	-4,0	-6,2	-9,9	-11,6	-11,1	-13,8	-11,8	-8,0	-3,9	0,2
X_{\min} , °C	-2,4	-4,7	-11,7	-13,6	-21,1	-21,0	-21,8	-23,3	-23,6	-17,5	-9,4	-3,5
S_x , °C	0,87	0,87	1,39	1,42	2,11	2,49	2,43	2,41	2,51	1,83	1,09	0,86
M_0 , °C	-1,2	-3,2	-6,7	-9,8	-12,7	-13,8	-16,3	-22,2	-20,4	-12,8	-6,7	-1,2
M_c , °C	-0,8	-3,15	-6,45	-10,35	-12,85	-14,9	-17,9	-19	-18,05	-13,2	-6,5	-1,5
$As=r_3$	-0,01	0,09	-0,87	0,33	-0,76	-0,32	0,33	0,00	-0,15	0,07	-0,06	-0,29
E	-0,83	-0,61	2,06	0,41	1,37	-0,87	-0,46	-0,98	-0,14	0,30	0,47	-0,25

Таблиця 2.4 – Значення статистичних оцінок моментів розподілу середньої місячної температури повітря на станції Кейси за період 1959-2023 р.р.

Місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
\bar{x} , °C	-0,1	-2,5	-6,9	-11,4	-14,1	-14,4	-14,7	-15,0	-14,2	-11,2	-5,5	-1,0
X_{\max} , °C	1,8	0,4	-3,1	-6,6	-8,1	-9,7	-7,1	-8,9	-8,2	-6,8	-3,0	1,2
X_{\min} , °C	-2,0	-4,5	-10,2	-19,3	-20,0	-19,4	-21,7	-22,3	-22,1	-15,7	-8,2	-2,9
S_x , °C	0,85	0,91	1,65	2,60	2,66	2,51	3,08	2,88	2,64	1,84	1,15	0,85
M_0 , °C	-0,1	-2,6	-8	-10,8	-14,9	-15	-13	-17,3	-15,6	-11,9	-4,8	-1,2
M_e , °C	-0,1	-2,5	-6,8	-11,1	-14	-14,4	-14,3	-14,6	-14,2	-11,5	-5,45	-1,1
$As=r_3$	-0,19	0,33	0,09	-0,38	-0,06	-0,09	-0,08	-0,53	-0,25	0,20	-0,16	0,20
E	-0,55	0,98	-0,49	0,09	-0,77	-0,80	-0,46	0,06	0,27	0,01	-0,50	0,18

Таблиця 2.5 – Значення статистичних оцінок моментів розподілу середньої місячної температури повітря на станції Мак-Мердо за період 1959-2023 р.р.

Місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
\bar{x} , °C	-2,9	-9,0	-17,5	-21,0	-22,6	-22,9	-25,2	-26,2	-23,9	-18,0	-8,9	-3,0	
X_{\max} , °C	0,9	-5,3	-11,2	-16,2	-16,9	-17,8	-19,2	-17,5	-16,6	-12,6	-5,2	-0,1	
X_{\min} , °C	-6,2	-13,7	-23,1	-25,7	-28,7	-28,6	-32,7	-35,8	-33,1	-25,9	-11,9	-5,8	
S_x , °C	1,22	1,71	2,20	2,42	3,04	2,23	3,11	3,53	3,12	2,40	1,52	1,28	
M_0 , °C	-3,1	-7,9	-17,6	-21,5	-22,5	-22,8	-23,3	-23,0	-22,8	-17,2	-8,8	-2,4	
M_e , °C	-2,9	-9	-17,6	-20,85	-22,6	-22,8	-24,8	-25,85	-24,1	-	17,95	-8,8	-2,7
$As=r_3$	0,06	-0,33	0,18	-0,03	-0,02	-0,18	-0,41	-0,01	-0,37	-0,71	0,10	-0,31	
E	1,54	-0,15	0,50	-0,73	-0,80	-0,02	-0,40	-0,06	0,70	1,43	-0,18	-0,36	

Як видно з табл. 2.3, в середньому за рік найтеплішим місяцем на станції є січень, середня багаторічна температура досягає $-0,7^{\circ}\text{C}$, а як показує модальне значення, то найчастішою температурою є $-1,2^{\circ}\text{C}$. Найхолоднішим місяцем на станції Сьова є серпень з температурою $-19,0^{\circ}\text{C}$, і найбільш повторювальною температурою в серпні $-22,2^{\circ}\text{C}$. Максимальна середньомісячна температура відмічалась в січні $1,1^{\circ}\text{C}$, а мінімальна – в вересні $-23,6^{\circ}\text{C}$.

Значення середньоквадратичних відхилень середньомісячних температур повітря також взимку досягають найбільших значень, але найбільше в вересні і досягає $2,51^{\circ}\text{C}$.

Стосовно коефіцієнта асиметрії, треба відмітити, що впродовж всього року він має, як додатні, так і від'ємні значення, а значить крива розподілу має правосторонню, або лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу.

Коефіцієнт ексцесу також, впродовж року має, як додатні, так і від'ємні значення, тому крива розподілу є або витягнутою, або сплющеною відносно нормального розподілу.

В таблиці 2.4 представленні значення статистичних оцінок моментів розподілу середньої місячної температури повітря на станції Кейси за період 1959-2023 р.р.

Як видно з табл. 2.4, в середньому за рік найтеплішим місяцем на станції Кейсі є також січень, середня багаторічна температура досягає $-0,1^{\circ}\text{C}$, а як показує модальне значення, то найчастішою температурою є $-0,1^{\circ}\text{C}$. Найхолоднішим місяцем на станції є серпень з температурою $-15,0^{\circ}\text{C}$, і найбільш повторювальною температурою в серпні $-17,3^{\circ}\text{C}$. Максимальна середньомісячна температура відмічалась в січні $1,8^{\circ}\text{C}$, а мінімальна – в серпні $-22,3^{\circ}\text{C}$.

Значення середньоквадратичних відхилень середньомісячних температур повітря також взимку досягають найбільших значень, і найбільше в липні і досягає $3,08^{\circ}\text{C}$.

Стосовно коефіцієнта асиметрії, треба відмітити, що впродовж всього року він має, як додатні, так і від'ємні значення, а значить крива розподілу має або правосторонню, або лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу.

Коефіцієнт ексцесу також, впродовж року має, як додатні, так і від'ємні значення, тому крива розподілу є або витягнутою, або є сплющеною відносно нормального розподілу.

В таблиці 2.5 представленні значення статистичних оцінок моментів розподілу середньої місячної температури повітря на станції Мак-Мердо за період 1959-2023 р.р.

Як видно з табл. 2.5, в середньому за рік найтеплішим місяцем на станції є також січень, середня багаторічна температура досягає $-2,9^{\circ}\text{C}$, а як показує модальне значення, то найчастішою температурою є $-3,1^{\circ}\text{C}$. Найхолоднішим місяцем на станції є серпень з температурою $-26,2^{\circ}\text{C}$, і найбільш повторювальною температурою в серпні $-23,7^{\circ}\text{C}$. Максимальна середньомісячна температура відмічалась в січні $0,9^{\circ}\text{C}$, а мінімальна – в серпні $-35,8^{\circ}\text{C}$.

Значення середньоквадратичних відхилень середньомісячних температур повітря також взимку досягають найбільших значень, і найбільше в серпні і досягає $3,53^{\circ}\text{C}$.

Стосовно коефіцієнта асиметрії, треба відмітити, що впродовж всього року він також має, як додатні, так і від'ємні значення, а значить крива розподілу має або правосторонню, або лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу.

Коефіцієнт ексцесу також, впродовж року має, як додатні, так і від'ємні значення, тому крива розподілу є або витягнутою, або є сплющеною відносно нормального розподілу.

Для кращого візуального аналізу коливань осереднених та екстремальних приземних середньомісячних температур у річному ході на станціях Ротера, Сьова, Кейсі та Мак-Мердо, було побудовані графіки, які представлені на рис. 2.2-2.5.

Також для порівняльного аналізу на рис. 2.6 представлений річний розподіл по чотирьох станціях середніх багаторічних значень температури повітря.

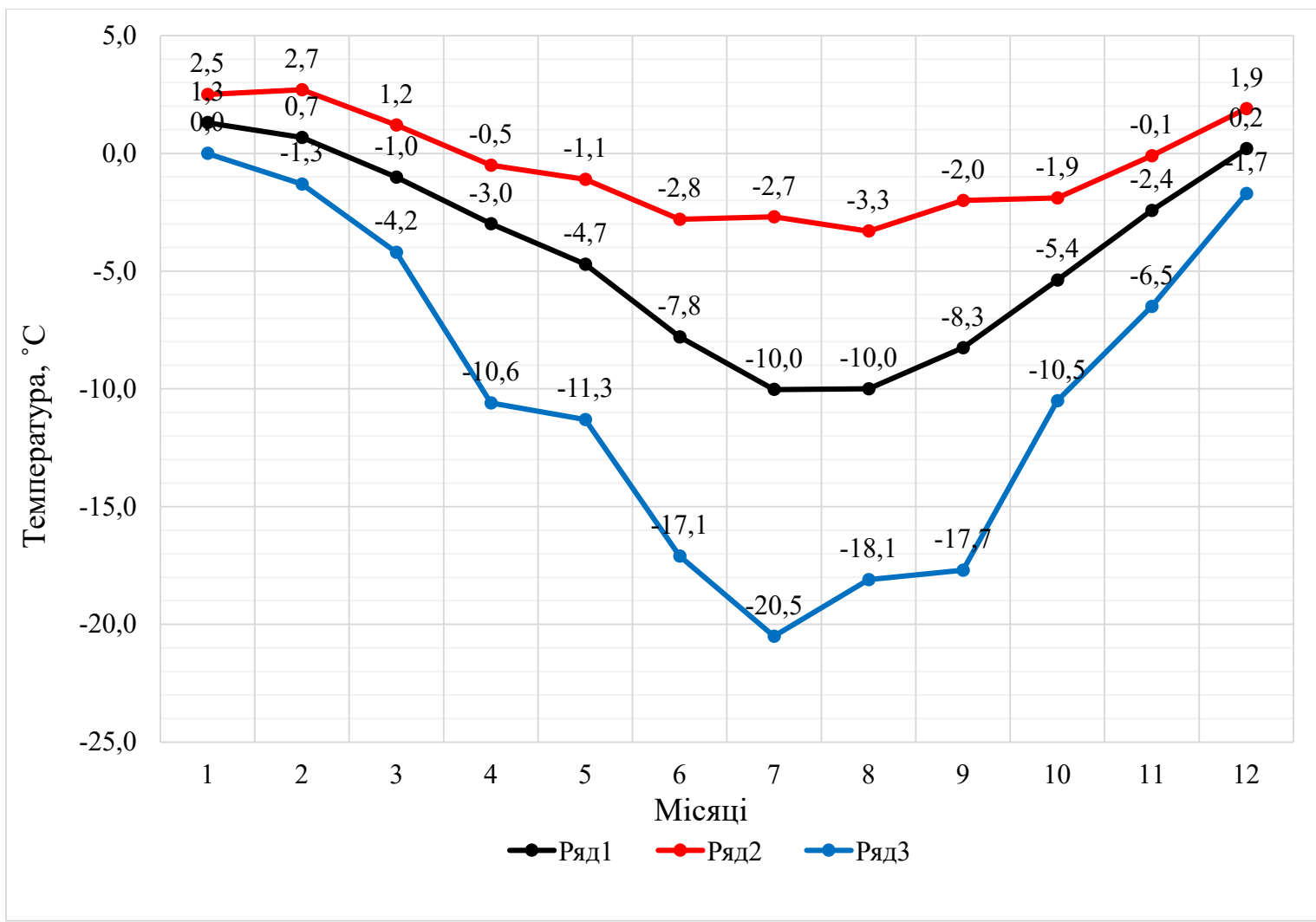


Рис. 2.2 – Річний хід багаторічних середньомісячних значень приземної температури повітря на станції Ротера

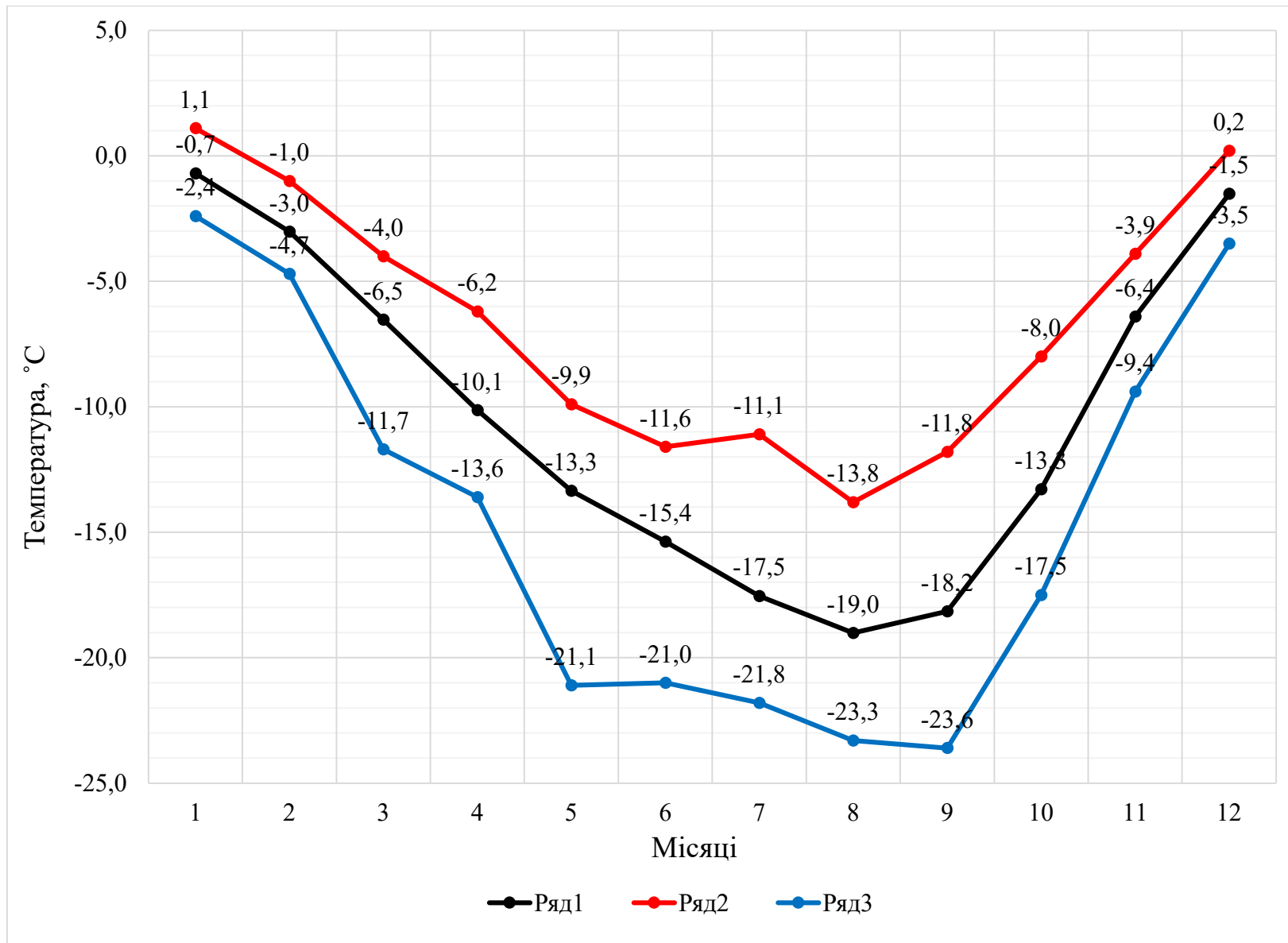


Рис. 2.3 – Річний хід багаторічних середньомісячних значень приземної температури повітря на станції Сьова

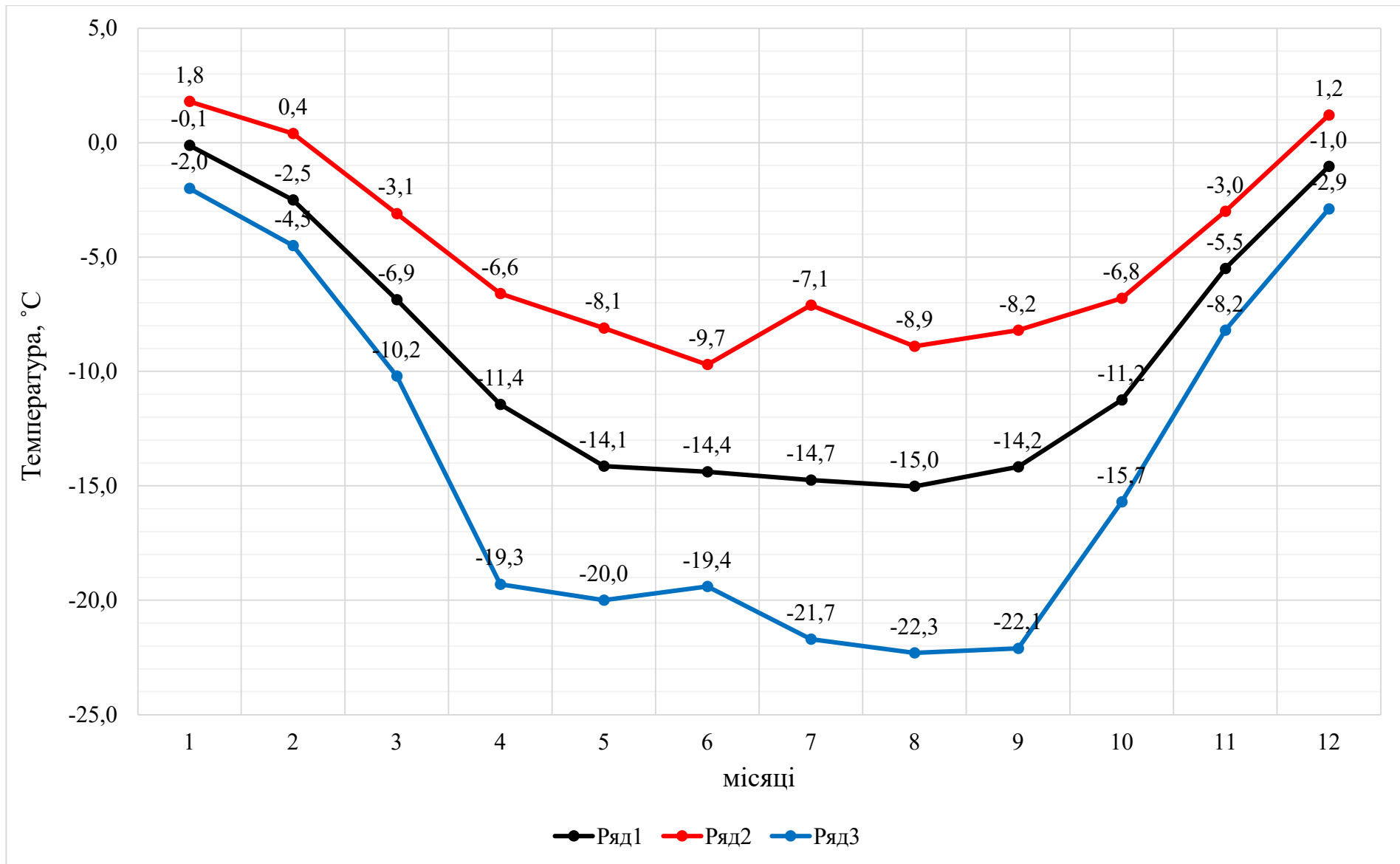


Рис. 2.4 – Річний хід багаторічних середньомісячних значень приземної температури повітря на станції Кейси

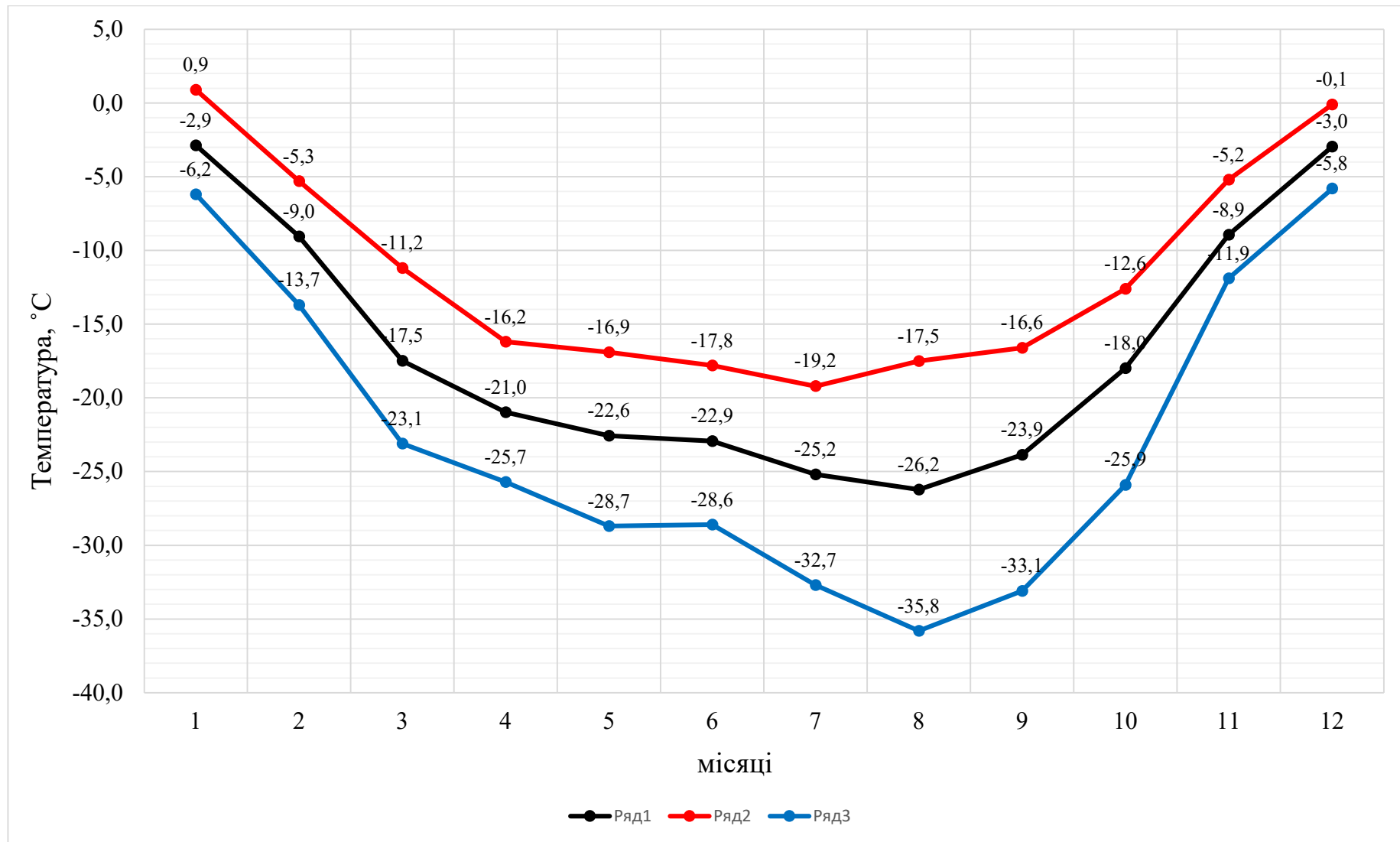
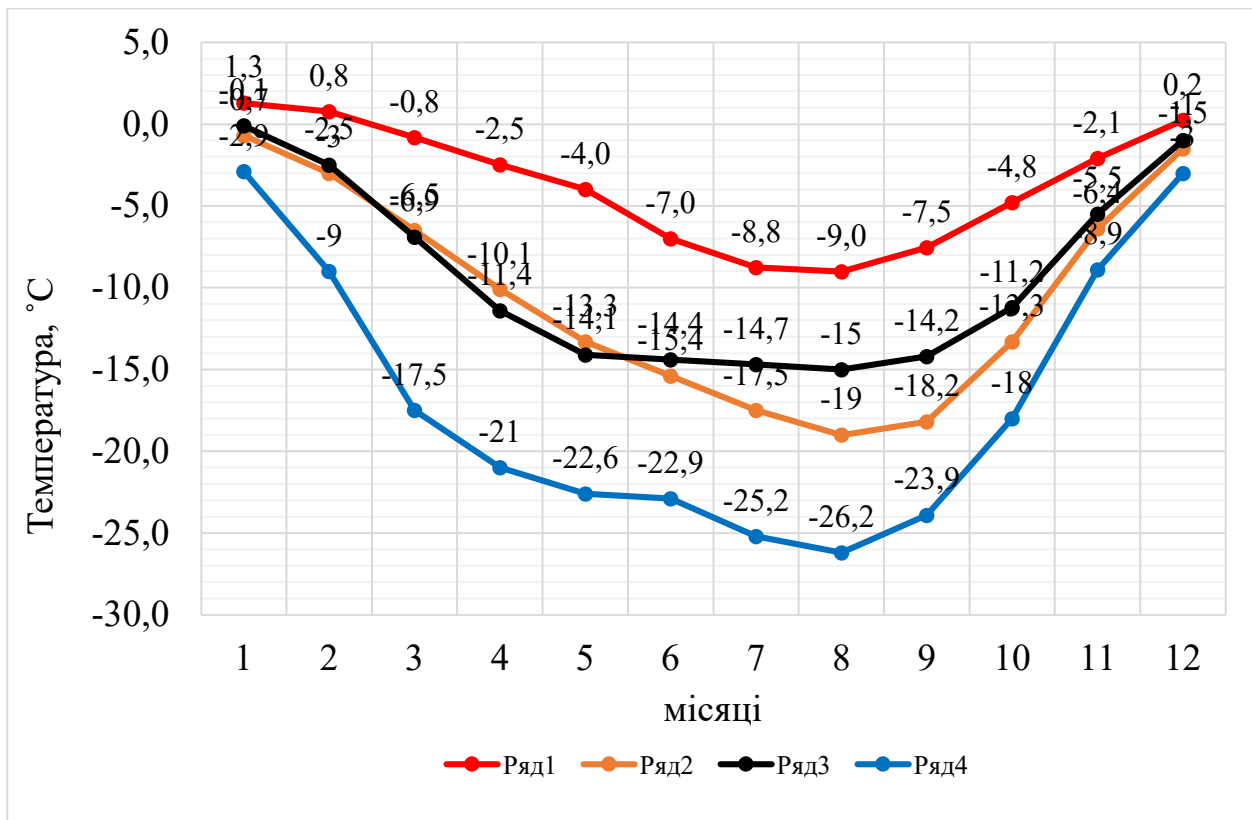


Рис. 2.5 – Річний хід багаторічних середньомісячних значень приземної температури повітря на станції Мак-Мердо



Ряд1- станція Ротера; Ряд2 – Сьова; Ряд3 – Кейсі; Ряд4 – Мак-Мердо

Рис. 2.6 – Річний розподіл по станціях багаторічних середньомісячних температур повітря

Як видно з рис. 2.6, найтеплішою є станція Ротера, а найхолоднішою впродовж всього року – станція Мак-Мердо, яка розташована південніше за інші. Холодні навколополюсні течії зменшують потік теплих вод Південного і Тихого океанів, що досягають протоки Мак-Мердо та інших антарктичних прибережних вод. Взимку протока Мак-Мердо покривається льодом, товщина якого коливається не більше 3 метрів. Влітку ж паковий лід відколюється, тоді вітер і сильні течії можуть усунути його далі на північ, створюючи холодні глибинні течії, що проникають у басейни океанів світу. Протягом полярної ночі температура на станції Мак-Мердо може знизитися до -51°C . Грудень та січень – найтепліші місяці, середній температурний максимум знаходиться в районі -1°C .

3 ДИНАМІКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ АНТАРКТИЧНОГО КОНТИНЕНТУ

3.1 Динаміка приземної температури повітря

Проаналізуємо багаторічні середні значення приземної температури повітря за тридцятирічні періоди 1961-1990 рр. та 1991-2020 рр. на досліджуємих станціях. В таблиці 3.1 представлені відповідні багаторічні середньомісячні значення. На станції Ротера відмічається підвищення багаторічної середньомісячної температури повітря: в період 1976-1990 рр. середнє значення досягало -5.0°C , а 1991-2020 рр. збільшилося і досягло -4.0°C (рис.3.1). Як видно з табл. 3.1, багаторічні середньомісячні температури на станціях Сьова та Кейсі майже не змінюються з часом, порівнюючи тридцятирічні періоди. На станції Мак-Мердо відмічається підвищення багаторічної середньомісячної температури повітря на один градус: в період 1961-1990 рр. середнє значення досягало -17.2°C , а 1991-2020 рр. збільшилося до -16.2°C (рис.3.2).

На рис. 3.3-3.6 представлені часові ряди середньомісячних значень температури повітря на станціях Ротера, Сьова, Кейсі та Мак-Мердо.

Таблиця 3.1 – Багаторічні середньомісячні значення температури повітря за періодами

	Станції	\bar{x} , $^{\circ}\text{C}$	
		1976-1990	1991-2020
1	Ротера	-5,0	-4,0
		1961-1990	1991-2020
2	Сьова	-10,5	-10,5
3	Кейсі	-9,7	-9,3
4	Мак-Мердо	-17,2	-16,2

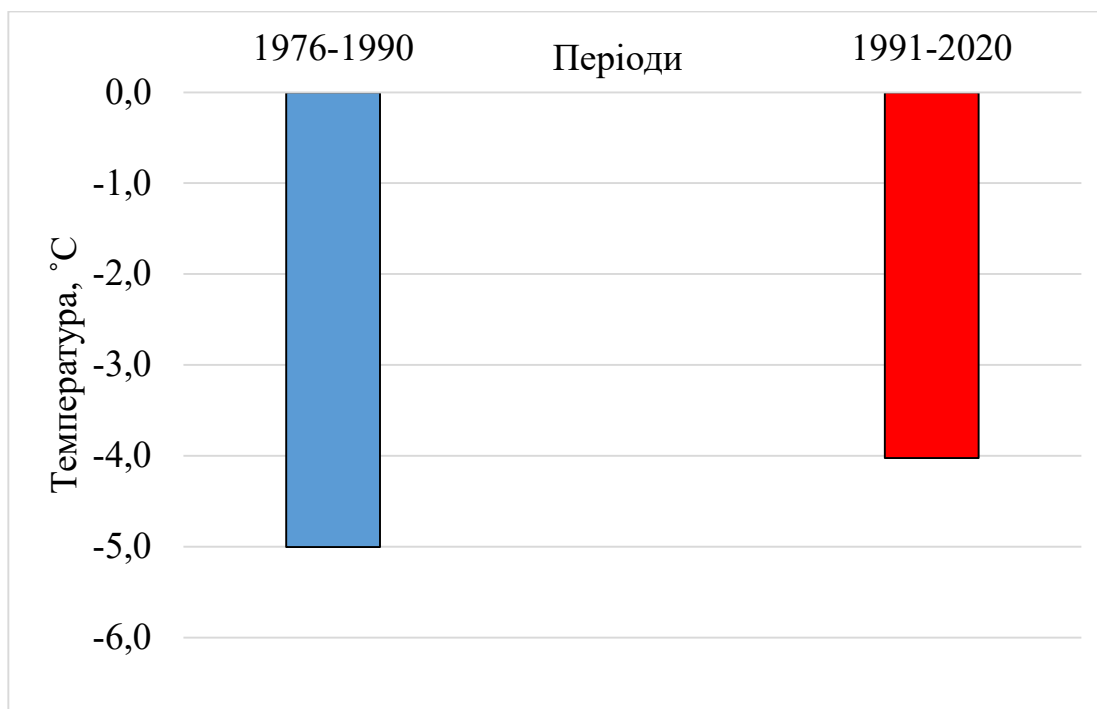


Рис. 3.1 – Багаторічні середньомісячні значення температури повітря на станції Ротера за періодами

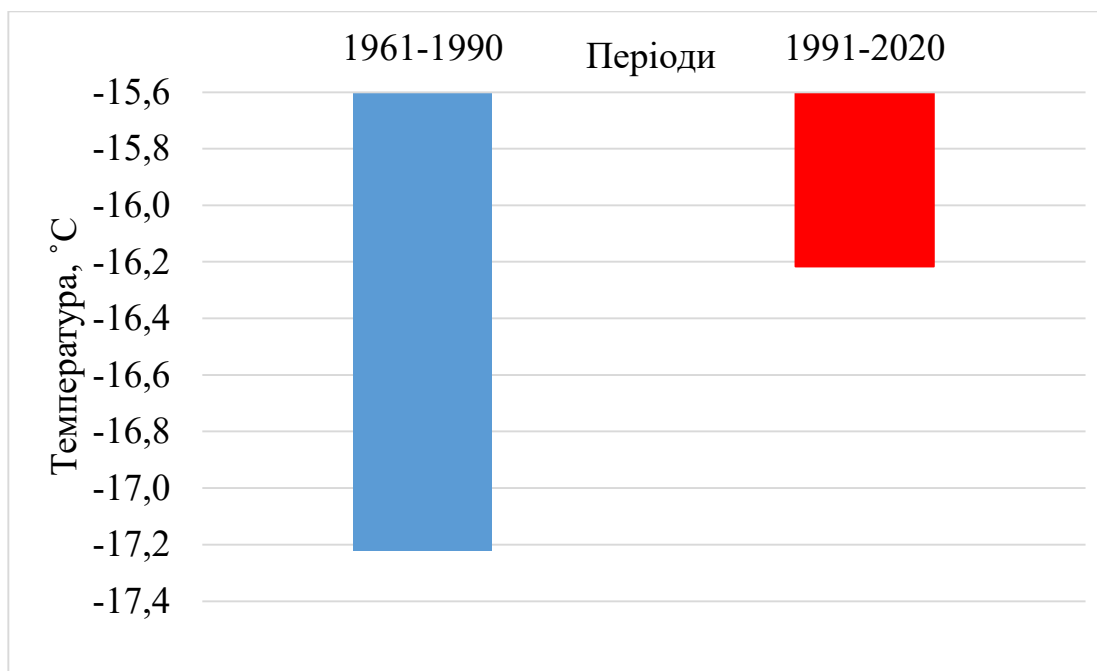


Рис. 3.2 – Багаторічні середньомісячні значення температури повітря на станції Мак-Мердо за періодами

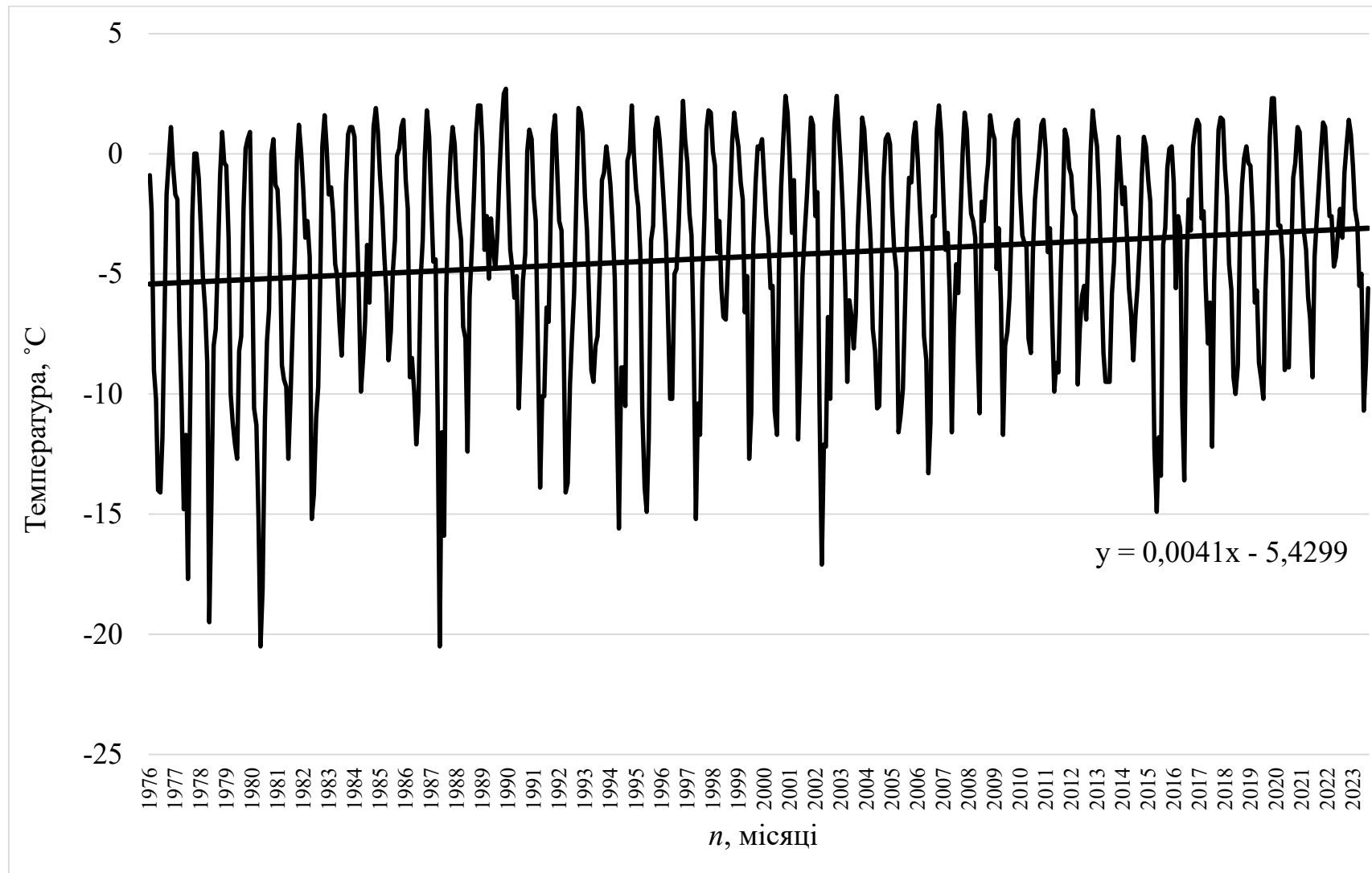


Рис. 3.3 – Часовий ряд середньомісячних значень температури повітря на станції Ротера

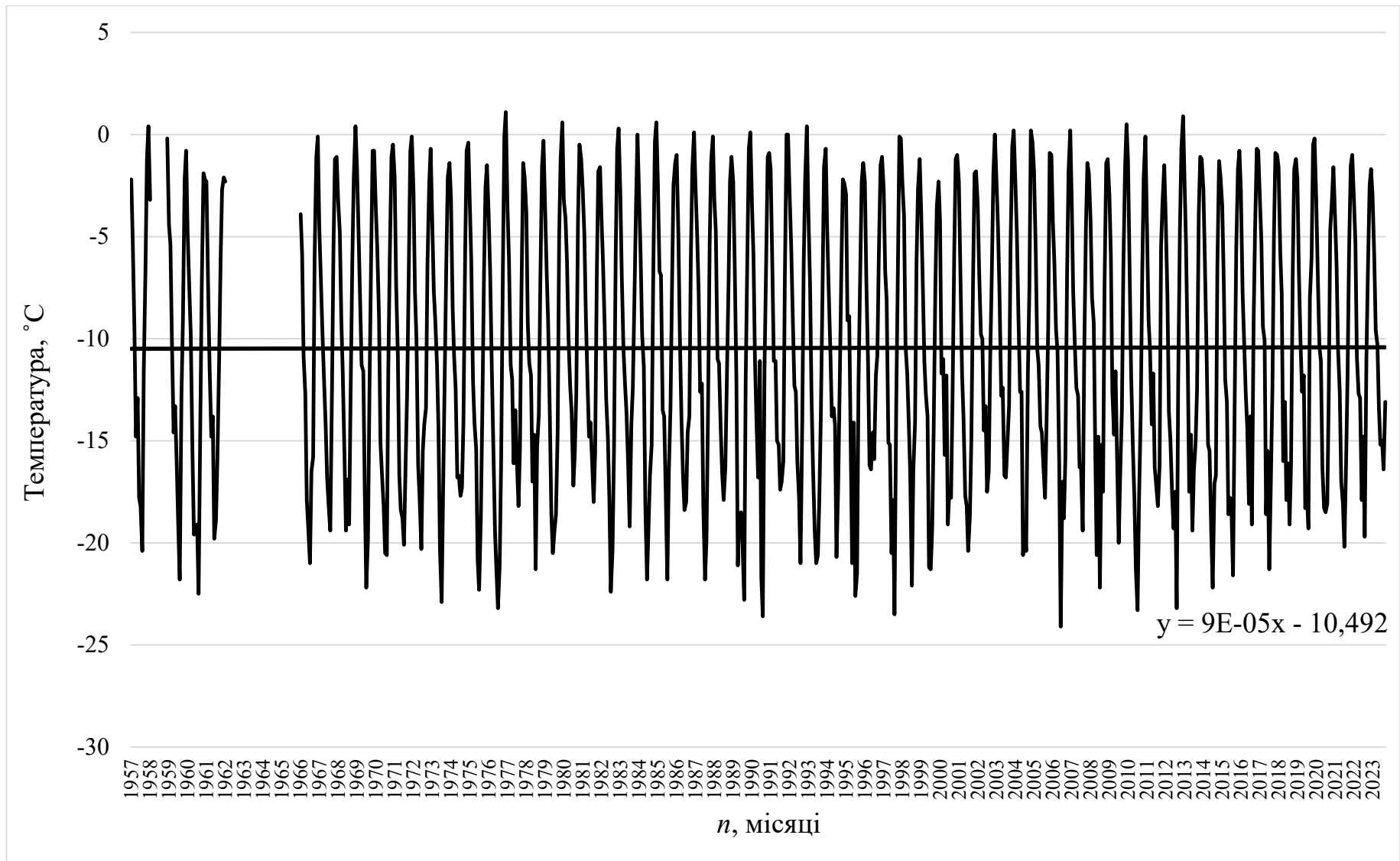


Рис. 3.4 – Часовий ряд середньомісячних значень температури повітря на станції Сьова

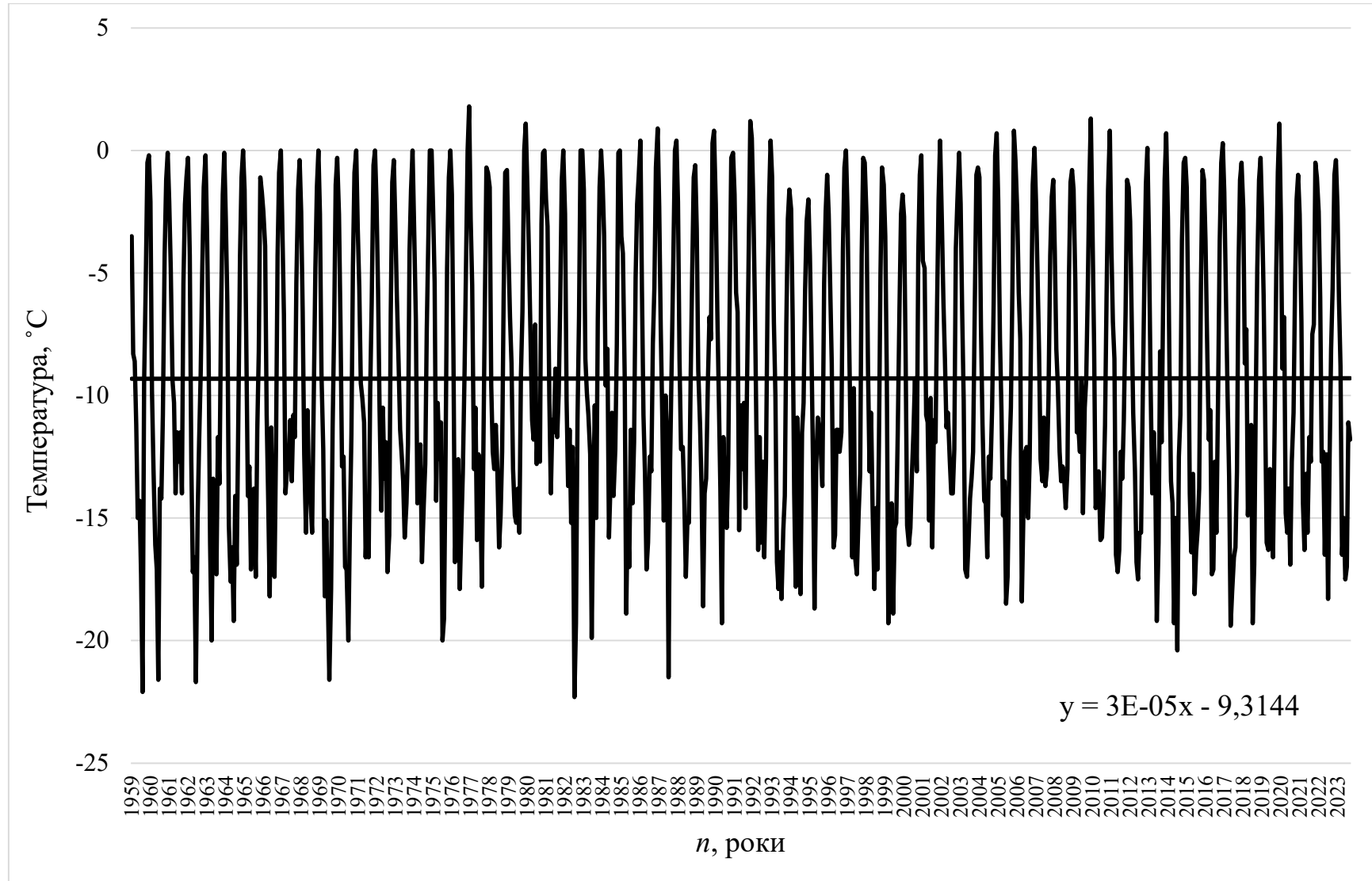


Рис. 3.5 – Часовий ряд середньомісячних значень температури повітря на станції Кейсі

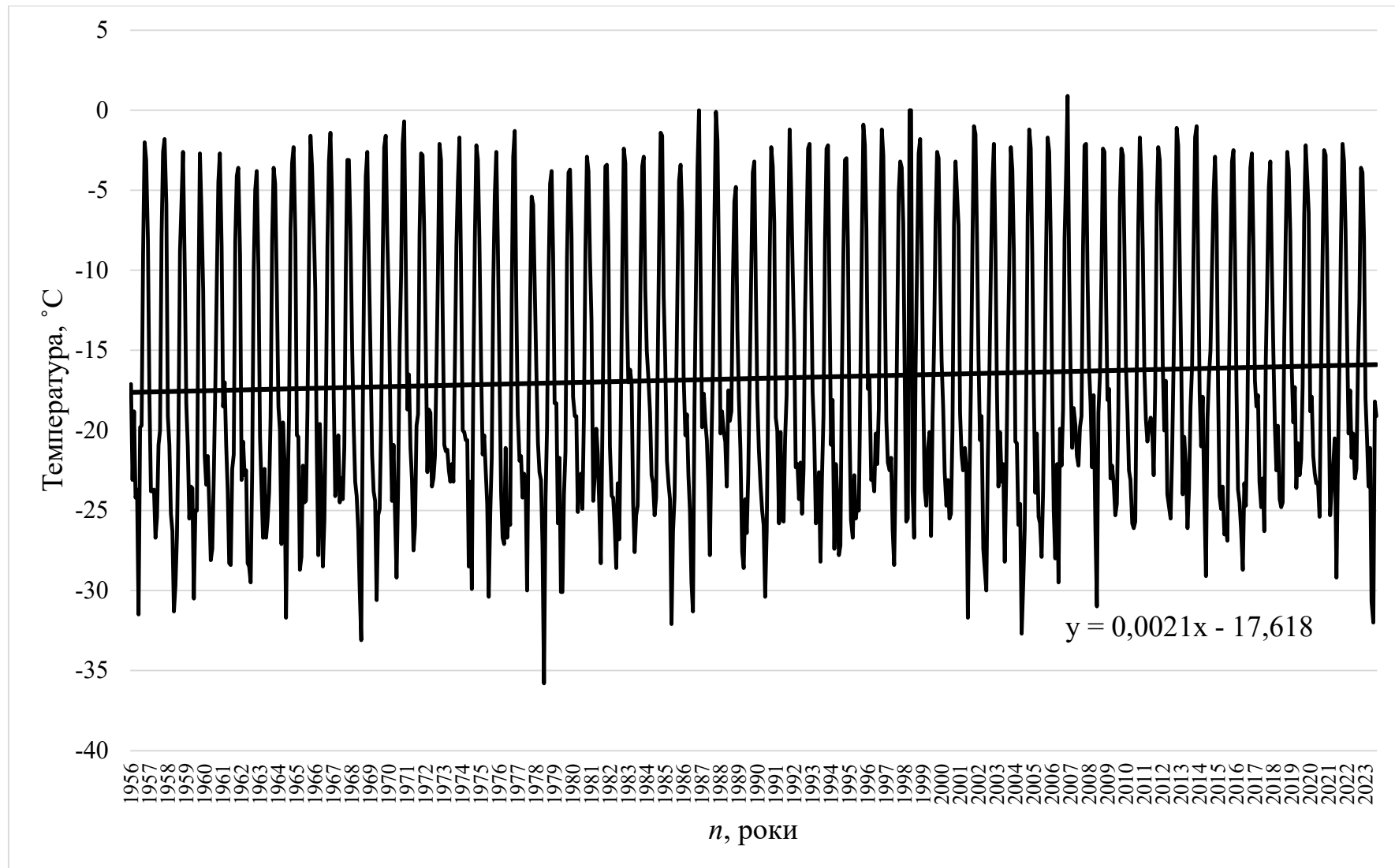


Рис. 3.6 – Часовий ряд середньомісячних значень температури повітря на станції Мак-Мердо

Як видно на рис. 3.3-3.6 в часових рядах середньомісячних значень температури повітря на станціях Ротера, Сьова, Кейсі та Мак-Мердо відмічаються коливання та незначні тренди, тому в подальших дослідженнях необхідно визначити статистично значущі періодичності.

3.2 Приховані періодичності в часових рядах температури повітря

Аналіз часових рядів приземної температури повітря дає підстави вважати, що кожен з них утримує в собі періодичні компоненти. Тому була зроблена спроба відфільтрувати ці періодичності за допомогою інтегрального перетворення Фур'є.

Часовий ряд $T(t)$, визначений на інтервалі $t \in [-\tau, \tau]$ можна розглядати як кусково-гладку функцію часу [14]. Таку функцію згідно з теоремою Діріхле можна виразити суперпозицією простих гармонік. Оскільки $M[Z_{ij}] = 0$, то відповідний вираз має вид

$$Z(t) = \sum_{k=1}^{\infty} A_k \sin(\omega_k t + \varphi_k), \quad (3.1)$$

або за теоремою синусів

$$Z(t) = \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cos \omega_k t + b_k \sin \omega_k t]. \quad (3.2)$$

Якщо позначити

$$a_k = A_k \sin \varphi_k, \quad (3.3)$$

$$b_k = A_k \cos \varphi_k, \quad (3.4)$$

то очевидно,

$$A_k = [a_k^2 + b_k^2]^{1/2}, \quad (3.5)$$

$$\varphi_k = \arctg \frac{a_k}{b_k}. \quad (3.6)$$

Така функція може утримувати періодичні компоненти, які характеризуються амплітудою (3.5), частотою ω_k і початковою фазою (3.6). Для визначення періодичностей, які приховані у часових рядах температури повітря будемо застосовувати перетворення Фур'є з вікном Гіббса.

Визначення періодичностей, характерних для процесу, базується на побудові верхньої довірчої границі для амплітуд з заданою ймовірністю. Періоди T_k гармонік ω_k , які відповідають пікам амплітуд A_k , що виходять за довірчу границю, ототожнюються з періодами гармонічних коливань, які утримуються у випадковому процесі рядів температури повітря.

Результати розрахунків дали можливість отримати амплітудно – частотну характеристику $A(\omega_i)$ для кожного з процесів.

Як вказувалось вище, значущими є ті частоти, піки амплітуд, яких виходять за довірчий інтервал $\bar{A} + \sigma_A$, відповідний ймовірності $p = 0.68$, де \bar{A} – середнє значення амплітуди періодограми, σ_A – середньоквадратичне відхилення.

На рис. 3.7, в якості прикладу представлена амплітудно-частотна характеристика для часового ряду приземної температури повітря.

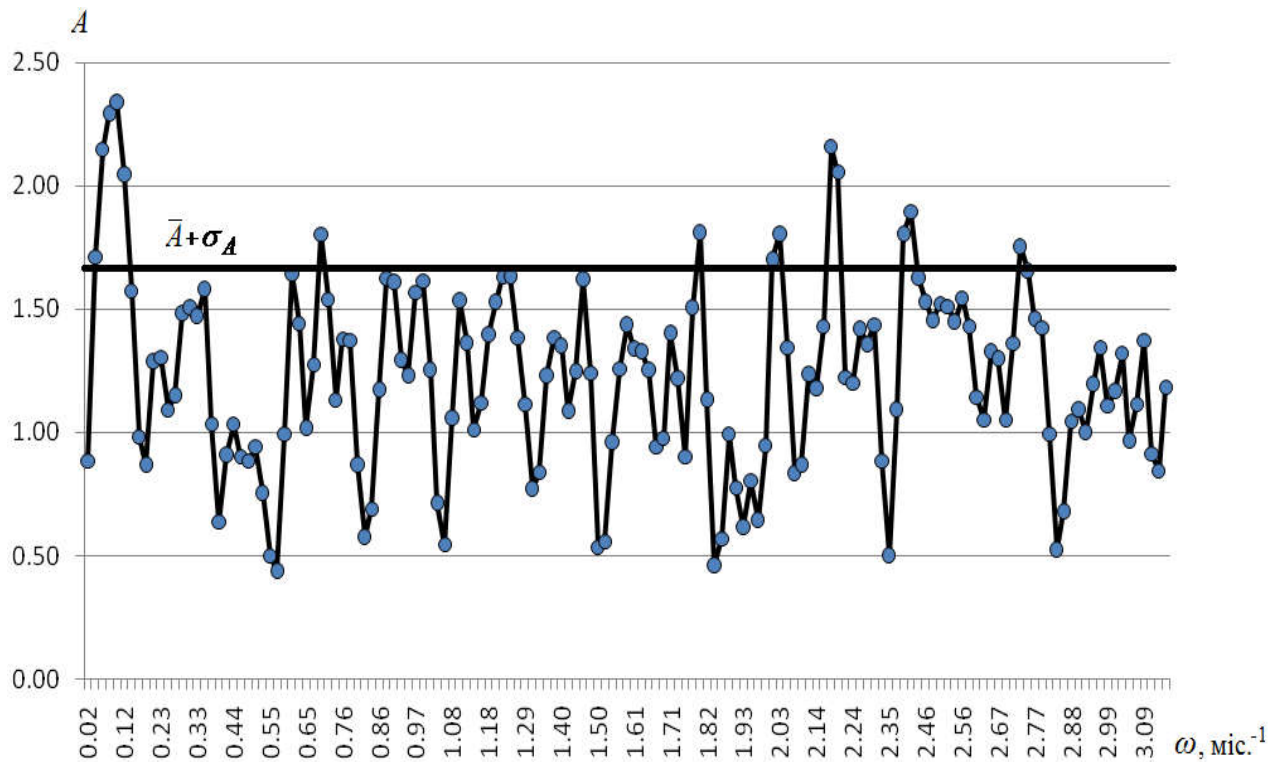


Рисунок 3.7 – Амплітудно-частотна характеристика ($P = 0,68$) для часового ряду температури повітря станція

У табл. 3.2 представлені характеристики статистично значущих періодичних коливань часових рядів температури повітря, отриманих за допомогою інтегрального перетворення Фур'є.

Таблиця 3.2 – Статистично значущі періоди коливань (місяці) температури повітря

Станція	№ (i)	ω_i	T_i , місяці	A_i
Ротера	32	0.516	12.17	2.5753
Сьова	34	0.522	12.03	4.303
	69	1.049	5.99	0.987
Кейсі	34	0.524	11.99	3.635
	69	1.052	5.97	1.005
Мак-Мердо	34	0.522	12.03	5.359
	69	1.049	5.99	2.125

Аналіз табл. 3.2 свідчить про те, що часовий ряд температури повітря на станції Ротера містить статистично значущу квазірічну періодичність. Станції Сьова, Кейсі та Мак-Мердо також мають квазірічну періодичність та піврічні коливання з ймовірністю $p = 0.68$. Тому в подальших дослідженнях з метою виявлення трендів та довгоперіодних коливань проведемо процедуру згладжування часових рядів температури повітря.

3.3 Особливості структури згладжених рядів температури повітря

Більшість метеорологічних величин являють собою нестационарні випадкові процеси. Багаторічні змінення характеру кліматоформуєчих факторів приводить до виникнення трендів, а також великомасштабних коливань, які не можуть бути виявленими за допомогою перетворення Фур'є через обмеженість інтервалу визначення часових рядів температури, що аналізуються. Для виявлення трендів та великомасштабних коливань проводиться процедура згладжування часових рядів [14]. Одним із видів згладжування є ковзне осереднення, яке у загальному виді можна зобразити формулою

$$Z(t_k) = \frac{1}{l} \sum_{i=k-l/2}^{k+l/2} \alpha_i Z(t_i), \quad (3.7)$$

де α_i – ваговий множник;

l – кількість точок, по яких проводиться згладжування,

$$k = 1 + \frac{l}{2}; 2 + \frac{l}{2}; \dots; N' + \frac{l}{2}; \quad N' = N - l + 1,$$

N – кількість членів ряду.

Ваговий множник потрібно вибрати таким, щоб найбільшу вагу мала точка, яка знаходиться на середині відрізка згладжування, а зі збільшенням відстані від цієї точки вага α_i – зменшувалася. Цій вимозі відповідає тригонометричний ваговий множник (косинус – фільтр).

$$\alpha_i = 1 + \cos \frac{2\pi(k-i)}{l}. \quad (3.8)$$

Він і буде використовуватися при згладжуванні часових рядів приземної температури повітря на антарктичних станціях, що розглядаються.

Окрім виду вагового множника, результат фільтрації залежить й від кількості точок, по яких виконується згладжування. Чим менше l , тим швидше реакція фільтру (3.7), але тим гіршим є його фільтруючі якості і навпаки. Отже задача полягає у правильному виборі періоду згладжування. Існують рекомендації період згладжування ототожнювати з періодом найбільшої за масштабом періодичності, яка виявляється в результаті процедури виявлення періодичностей, яка розглядалася вище. Можна також при виборі періоду згладжування використовувати апріорну інформацію про періодичності у атмосферних процесах, які формують метеорологічні поля, що підлягають дослідженню.

Аналіз періодичностей виявлених у часових рядах приземної температури повітря дає підстави проводити операцію згладжування для станції Ротера, Сьова, Кейсі та Мак-Мердо з періодом 1 рік (12 точок).

На рис. 3.8 – 3.11 наводяться результати згладжування часових рядів приземної температури повітря для станціях Ротера, Сьова, Кейсі та Мак-Мердо (потрібно пам'ятати, що при використанні алгоритму, який застосовується, ряд значень осереднених величин скорочується в порівнянні з вихідним часовим рядом зліва та справа на половину періоду згладжування) [14].

Аналіз згладженого часового ряду станції Ротера (рис.3.8) вказує на те, що у випадковому процесі, спостерігається квазічотирьохрічна періодичність, а також дворічні коливання. Також необхідно відмітити, що у часовому ряді спостерігається тренд збільшення амплітуди коливання температури повітря.

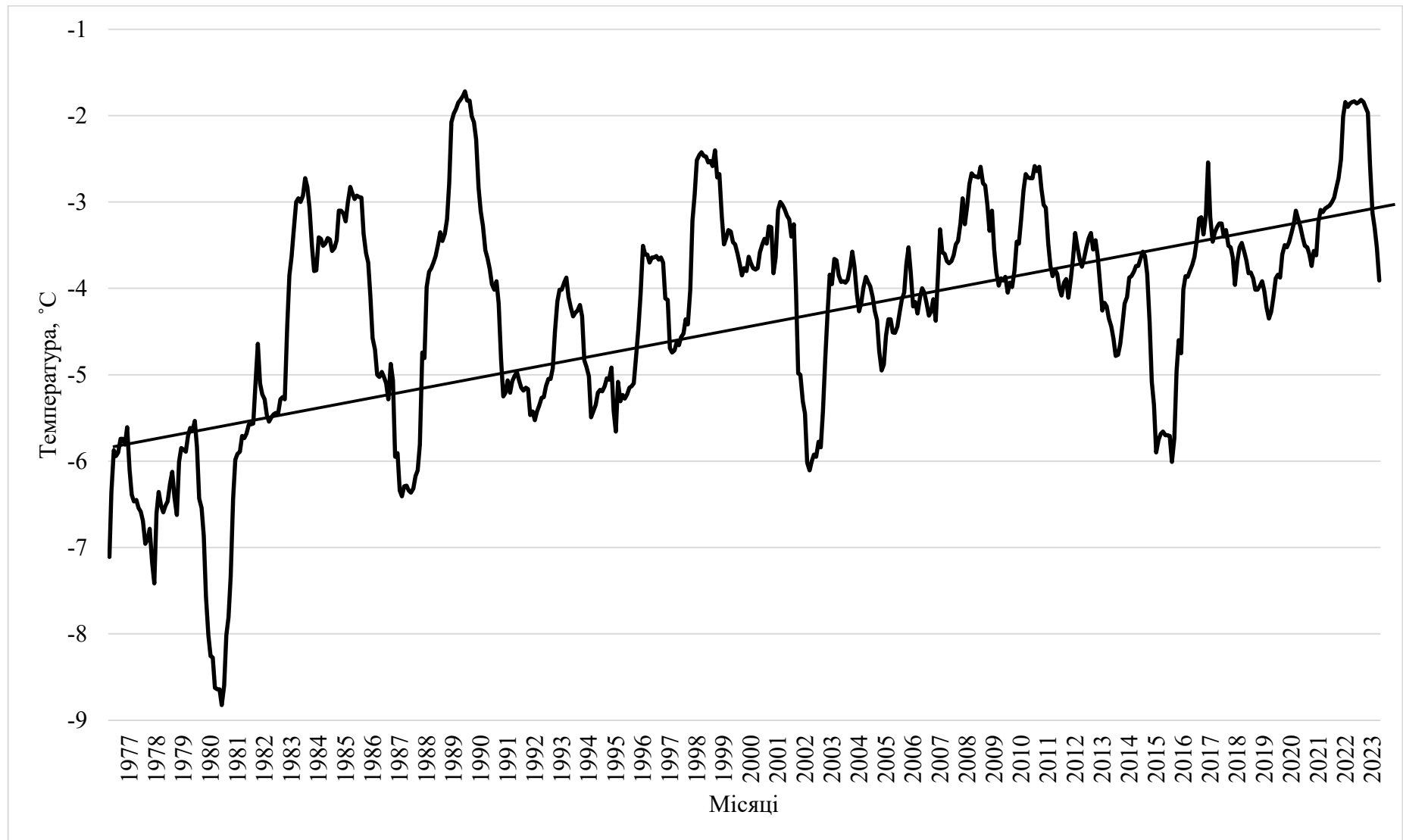


Рис. 3.8 – Згладжений часовий ряд середньомісячної температури повітря на станції Ротера

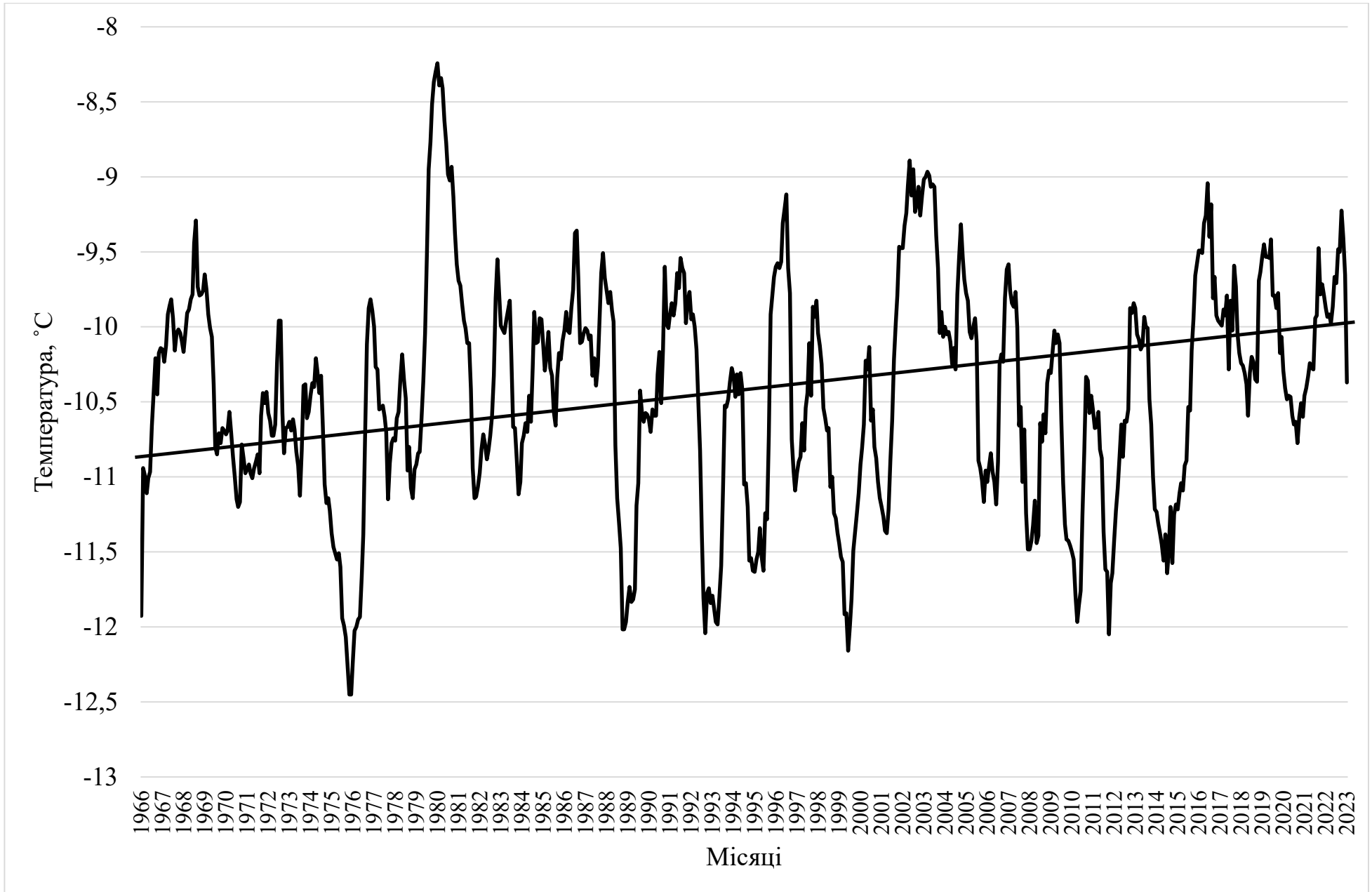


Рис. 3.9 –Згладжений часовий ряд середньомісячної температури повітря на станції Сьова

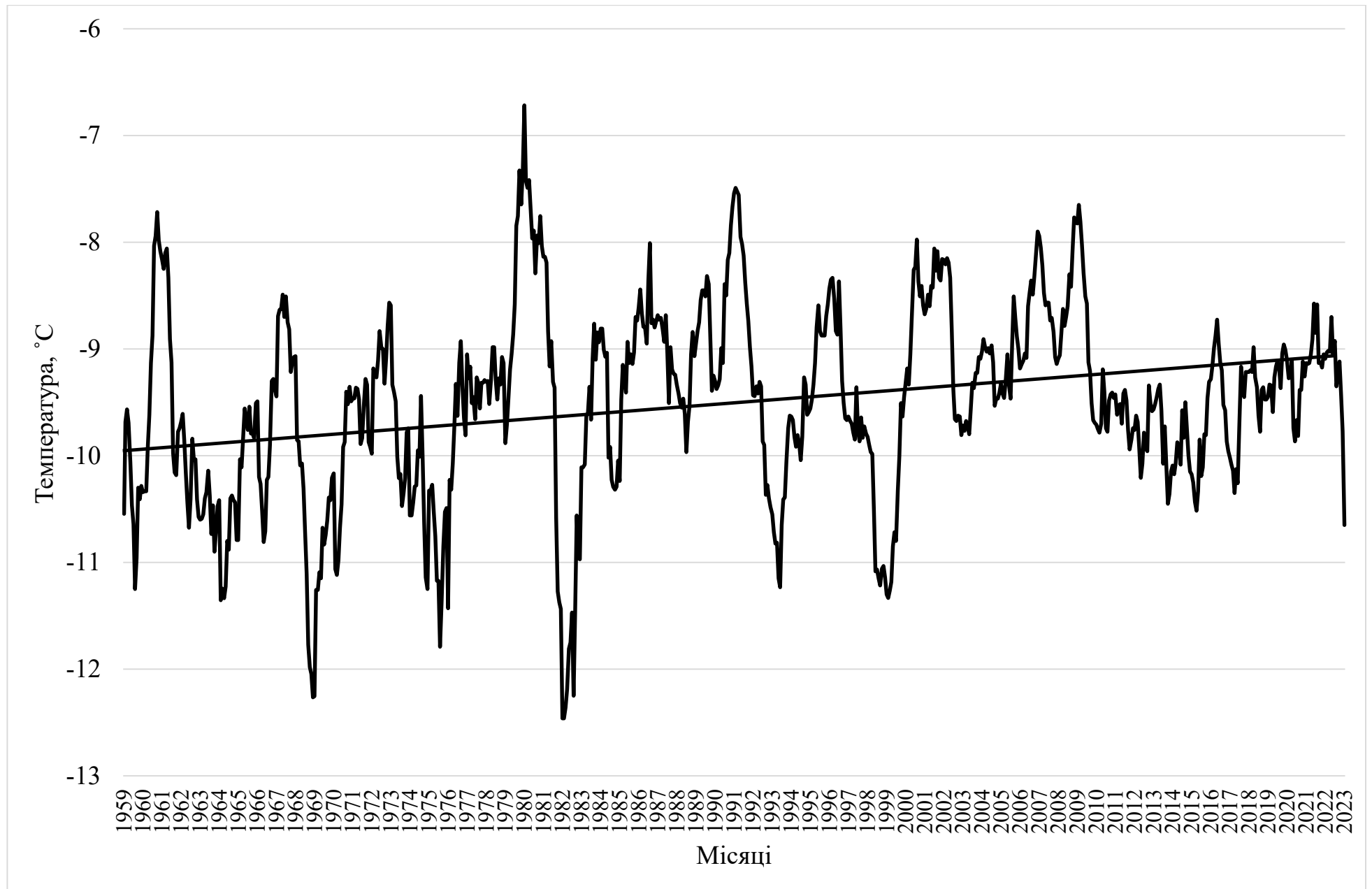


Рис. 3.10 – Згладжений часовий ряд середньомісячної температури повітря на станції Кейсі

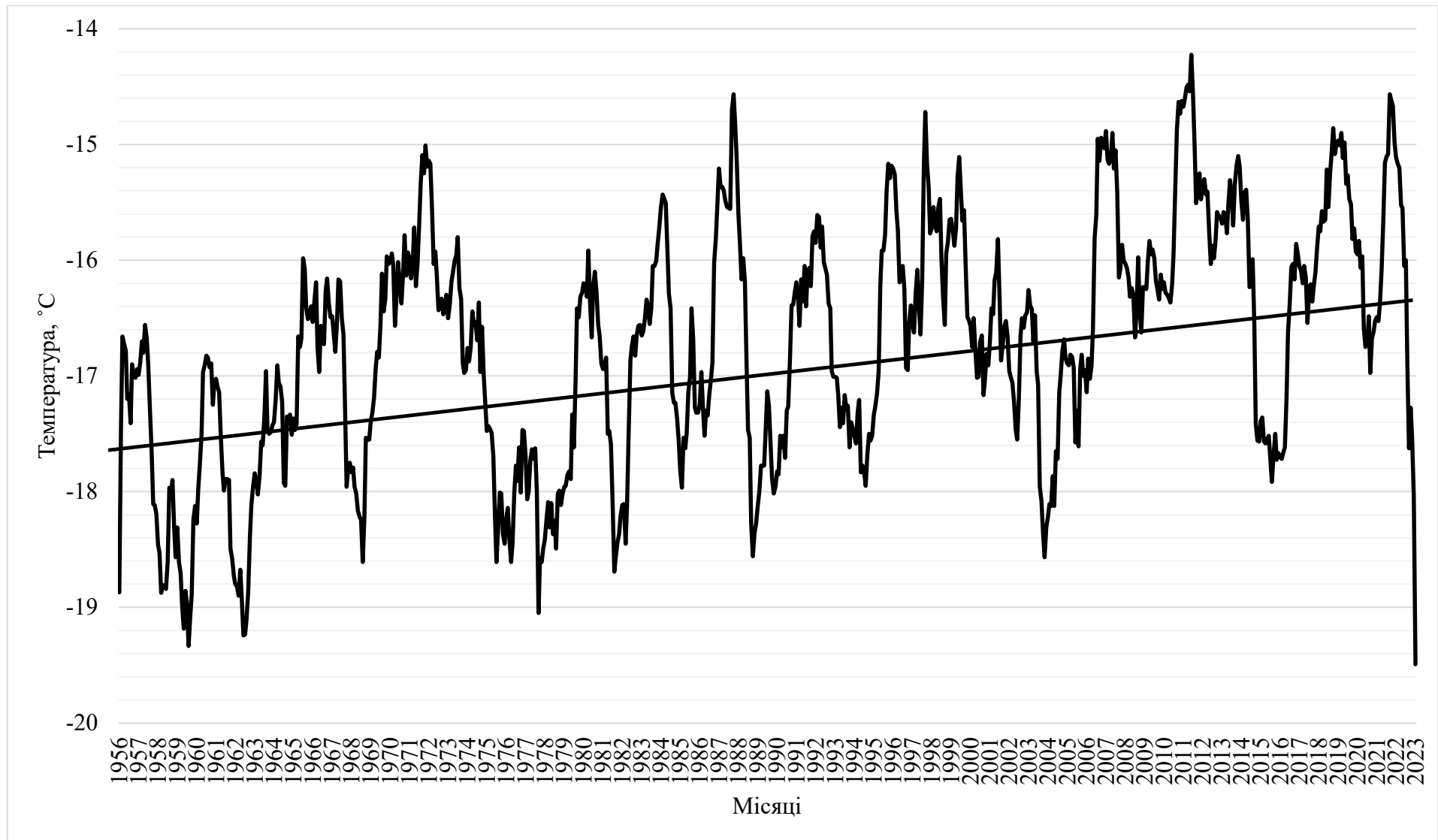


Рис. 3.11 – Згладжений часовий ряд середньомісячної температури повітря на станції Мак-Мердо

Згладжений часовий ряд середньомісячної температури повітря на станції Сьова (рис.3.9) має гармоніки з 2-5-річними періодами із змінною за часом амплітудою. Крім того, має місце добре виражений тренд у бік збільшення інтенсивності коливань.

Аналіз згладженого часового ряду середньомісячної температури повітря на станції Кейсі (рис. 3.10) вказує на те, що як і в часовому ряді спостерігається також 2-5-річні коливання. По піках амплітуд, які виділяються із загального рівня, виявляється ще й квазідесятирічне коливання.

Згладжений часовий ряд середньомісячної температури повітря на станції Мак-Мердо (рис.3.11) має гармоніки з 2-5-річними періодами із змінною за часом амплітудою. По піках амплітуд, які виділяються із загального рівня, виявляється ще й квазідесятирічне коливання. Крім того, має місце добре виражений тренд у бік збільшення інтенсивності коливань.

Причиною трендів збільшення амплітуди коливань приземної температури повітря на всіх станціях Антарктиди може бути результатом потепління, що спостерігається в більшості регіонів нашої планети. Особливо більш значний тренд росту спостерігається на станції Ротера в районі Антарктичного півострова.

Двох та п'ятирічні коливання можуть бути обумовлені коливаннями кліматоутворюючих індексів, таких як Ель-Ніньо Південне коливання, Північно-Атлантичне коливання, але отримані результати довгоперіодних коливань та причин їх утворення потребують подальших досліджень.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської роботи можна зробити наступні висновки:

1. Проведений статистичний аналіз часових рядів приземної температури повітря на антарктичних станціях Ротера, Сьова, Кейсі та Мак-Мердо:

Як видно на станції Ротера, в середньому за рік найтеплішим місяцем на станції є січень, середня багаторічна температура досягає $1,3^{\circ}\text{C}$. Найхолоднішим місяцем на станції є липень та серпень з температурою $-10,0^{\circ}\text{C}$. Максимальна середньомісячна температура відмічалась в лютому $2,7^{\circ}\text{C}$, а мінімальна – в липні $-20,5^{\circ}\text{C}$. Щодо значень середньоквадратичних відхилень середньомісячних температур повітря, то треба відмітити, що взимку вони мають найбільші значення і в липня досягають $4,14^{\circ}\text{C}$. Стосовно коефіцієнта асиметрії, треба відмітити, що впродовж всього року він має від'ємні значення, а значить крива розподілу має лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу. Коефіцієнт ексцесу навпаки, впродовж всього року, окрім січня, має додатні значення, тому крива розподілу є витягнутою відносно нормального розподілу.

На станції Сьова за період 1966-2023 р.р. в середньому за рік найтеплішим місяцем на станції є січень, середня багаторічна температура досягає $-0,7^{\circ}\text{C}$. Найхолоднішим місяцем на станції є серпень з температурою $-19,0^{\circ}\text{C}$. Максимальна середньомісячна температура відмічалась в січні $1,1^{\circ}\text{C}$, а мінімальна – в вересні $-23,6^{\circ}\text{C}$. Значення середньоквадратичних відхилень середньомісячних температур повітря також взимку досягають найбільших значень, але найбільше в вересні і досягає $2,51^{\circ}\text{C}$. Стосовно коефіцієнта асиметрії, треба відмітити, що впродовж всього року він має, як додатні, так і від'ємні значення, а значить крива розподілу має правосторонню, або лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу. Коефіцієнт ексцесу також, впродовж року має, як додатні, так і від'ємні значення, тому крива розподілу є або витягнутою, або сплющеною відносно нормального розподілу.

На станції Кейсі за період 1959-2023 р.р. в середньому за рік найтеплішим місяцем на станції Кейсі є також січень, середня багаторічна температура досягає $-0,1^{\circ}\text{C}$. Найхолоднішим місяцем на станції є серпень з температурою $-15,0^{\circ}\text{C}$. Максимальна середньомісячна температура відмічалась в січні $1,8^{\circ}\text{C}$, а мінімальна

– в серпні $-22,3^{\circ}\text{C}$. Значення середньоквадратичних відхилень середньомісячних температур повітря також взимку досягають найбільших значень, і найбільше в липні $3,08^{\circ}\text{C}$. Стосовно коефіцієнта асиметрії, треба відмітити, що впродовж всього року він має, як додатні, так і від'ємні значення, а значить крива розподілу має або правосторонню, або лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу. Коефіцієнт ексцесу також, впродовж року має, як додатні, так і від'ємні значення, тому крива розподілу є або витягнутою, або є сплющеною відносно нормального розподілу.

На станції Мак-Мердо за період 1959-2023 р.р., в середньому за рік найтеплішим місяцем на станції є також січень, середня багаторічна температура досягає $-2,9^{\circ}\text{C}$. Найхолоднішим місяцем на станції є серпень з температурою $-26,2^{\circ}\text{C}$. Максимальна середньомісячна температура відмічалась в січні $0,9^{\circ}\text{C}$, а мінімальна – в серпні $-35,8^{\circ}\text{C}$. Значення середньоквадратичних відхилень середньомісячних температур повітря також взимку досягають найбільших значень, і найбільше в серпні і досягає $3,53^{\circ}\text{C}$. Стосовно коефіцієнта асиметрії, треба відмітити, що впродовж всього року він також має, як додатні, так і від'ємні значення, а значить крива розподілу має або правосторонню, або лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу. Коефіцієнт ексцесу також, впродовж року має, як додатні, так і від'ємні значення, тому крива розподілу є або витягнутою, або є сплющеною відносно нормального розподілу.

Також для порівняльного аналізу по чотирьох станціях середніх багаторічних значень температури повітря визначено, що найтеплішою є станція Ротера, а найхолоднішою впродовж всього року – станція Мак-Мердо, яка розташована південніше за інші.

2. Досліджено динаміку приземної температури повітря за тридцятирічні періоди 1961-1990 рр. та 1991-2020 рр. на досліджуваних станціях. На станції Ротера відмічається підвищення багаторічної середньомісячної температури повітря: в період 1976-1990 рр. середнє значення досягало $-5,0^{\circ}\text{C}$, а 1991-2020 рр. збільшилося і досягло $-4,0^{\circ}\text{C}$. Багаторічні середньомісячні температури на станціях Сьова та Кейсі майже не змінюються з часом, порівнюючи тридцятирічні періоди. На станції Мак-Мердо також відмічається підвищення багаторічної середньомісячної температури повітря на один градус: в період 1961-1990 рр. середнє значення досягло $-17,2^{\circ}\text{C}$, а 1991-2020 рр. збільшилося до $-16,2^{\circ}\text{C}$.

3. Визначені приховані періодичності в часових рядах температури повітря за допомогою інтегрального перетворення Фур'є. Часовий ряд температури повітря на станції Ротера містить статистично значущу квазірічну періодичність, станції Сьова, Кейсі та Мак-Мердо також мають квазірічну періодичність та ще піврічні коливання з ймовірністю $p = 0.68$.

4. Для виявлення трендів та великомасштабних коливань провели процедуру згладжування часових рядів для станції Ротера, Сьова, Кейсі та Мак-Мердо з періодом 1 рік (12 точок). Одним із видів згладжування є ковзне осереднення. Аналіз згладженого часового ряду станції Ротера вказує на те, що у випадковому процесі, спостерігається квазічотирьохрічна періодичність, а також дворічні коливання. Також необхідно відмітити, що у часовому ряді спостерігається тренд збільшення амплітуди коливання температури повітря.

Згладжений часовий ряд середньомісячної температури повітря на станції Сьова має гармоніки з 2-5-річними періодами із змінною за часом амплітудою.

Аналіз згладженого часового ряду середньомісячної температури повітря на станції Кейсі вказує на те, що як і в часовому ряді спостерігається також 2-5-річні коливання. По піках амплітуд, які виділяються із загального рівня, виявляється ще й квазідесятирічне коливання.

Згладжений часовий ряд середньомісячної температури повітря на станції Мак-Мердо має гармоніки з 2-5-річними періодами із змінною за часом амплітудою. По піках амплітуд, які виділяються із загального рівня, виявляється ще й квазідесятирічне коливання.

Крім того, має місце добре виражені тренди у бік збільшення інтенсивності коливань на всіх станціях, що досліджуються.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Климат полярных районов / [Под ред. С. Орвига; пер. с англ.]-Л.: Гидрометеиздат, 1973.- 443 с.
2. Метеорология южного полушария / [Под ред. Ч.У. Ньютона].- Л.: Гидрометеиздат, 1976.- 260 с.
3. Bromwich D.H. Global atmospheric responses to Antarctic forcing / Ann. Glaciol. Vol. 27. Pap. Int. Sump. Antarctic and Glob Change: Interact. and Impacts, Hobart, Tasmania, 13-18 july, 1997.- Cambridge, 1998.- P. 521-527.
4. Тимофеев В.Е. Организация метеорологических наблюдений и сравнительный анализ развития атмосферных процессов в 1996 году на антарктической станции Академик Вернадский / Бюл. УАЦ. - 1997. - Вып. 1. - С. 49 - 52.
5. Hobbs W.H. Characteristics of existing glaciers / W.H. Hobbs. - New York: Macmillan, 1911.- 301 p.
6. Meinardus W. Aufgaben und Probleme der meteorologischen Forschung in der Antarktis/ Geogr. Zeitschrift. Bd. 20.- 1914.-P. 18-34.
7. Артамонов Ю.В. Антарктический Полярный фронт в проливе Дрейка и западной части моря Скотия в феврале и апреле 1997 г / Ю.В. Артамонов, Н.П. Булгаков, В.А. Бибики и др. // Бюл. УАЦ.- 1997.- Вып. 1.- С. 110-116.
8. Артамонов Ю.В. Структура Антарктического, Полярного, Субантарктического фронтов в западной части моря Скотия в феврале и апреле 1998 г. / Ю.В. Артамонов, Н.П. Булгаков, В.А. Бибики и др. // Бюл. УАЦ.- 2000.- Вып. 3.-С. 52-65.
9. Милашенко Г.П. Карты повторяемости циклонов и антициклонов, траектории циклонов и распределение общей облачности по данным ИСЗ. Материалы по климату и циркуляции южного полушария / Г.П. Милашенко.- Л.: Гидрометеиздат, 1978. - Вып. I. - 63 с.
10. Мартазінової В.Ф., Тимофеев В.Е. Современное состояние атмосферной циркуляции воздуха в Северном и Южном полушарии и региональные

- климатические особенности в Атлантико-Европейском секторе и районе Антарктического полуострова / Укр. антаркт. журн. – 2008. – №3 (80). – С. 17-37.
- 11.Мартазинова В.Ф., Тимофеев В.Е., Иванова Е.К. Роль изменения тропосферной циркуляции западного сектора антарктики в формировании климатических условий Антарктического полуострова / Наук. праці УкрНДГМІ.- 2009.- № 2. - С. 29-42.
- 12.Оцінка стану кліматичної системи Західної Антарктики (району Антарктичного півострова) у світлі мінливості циркуляційної тропосфери і низької стратосфери, термічних та динамічних характеристик Південного океану, а також динаміки зледеніння / [Звіт з НДР №71].- Одеса.: ТЕС, ОДЕКУ, 2004.- 219 с.
- 13.Atlas ECMWF ERA-40 / [Project Report Series].- 2003.- № 19.- P.157.
- 14.Школьный С.П., Лоева І.Д., Гончарова Л.Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: підручник.- К.: Міносвіти України, 1999. - С. 331 - 421.