

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий
гідрометеорологічний інститут
Кафедра метеорології та кліматології

Кваліфікаційна робота магістра

на тему: Багаторічна динаміка метеорологічного режиму
Східної Антарктиди

Виконав студент 2 курсу групи МНЗ-1М
Спеціальності 103 «Науки про Землю»
Освітня програма
«Метеорологія і кліматологія»
Гулеватий Вадим Валерійович

Керівник канд. геогр. наук, доцент
Прокоф'єв Олег Милославович

Рецензент д-р геогр. наук, доцент
Овчарук Валерія Анатоліївна

Одеса 2022

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.

“ 10 ” жовтня 2022 року

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

студенту(ці) Гулеватому Вадиму Валерійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Багаторічна динаміка метеорологічного режиму Східної Антарктиди

Керівник роботи Прокоф'єв Олег Милославович, канд. геогр. наук, доцент,

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

затверджені наказом ОДЕКУ від “30” вересня 2022 року № 166-С

2. Строк подання студентом роботи 17 листопада 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи Дослідження метеорологічного режиму Східної Антарктиди проводилося за даними, отриманими з сайту Британської Антарктичної служби. Вихідні дані представляють собою середньодобові значення приземної температури повітря за період з 1954 по 2008 рр. (на деяких станціях період спостережень зменшено у зв'язку з відсутністю даних).

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Проаналізувати тенденції багаторічних змін приземної температури повітря досліджуваного регіону; визначити значущі періоди коливань температури повітря; визначити та проаналізувати трендові складові приземної температури повітря; розрахувати та проаналізувати амплітуди коливань температури повітря за десятирічні періоди; дослідити зв'язок між температурою повітря та глобальними кліматичними індексами за допомогою кореляційного аналізу.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Графіки річного ходу приземної температури повітря; графіки міжрічної мінливості приземної температури повітря; гістограма і полігон значущих періодів коливань приземної температури повітря на станціях Східної Антарктиди; діаграми десятирічної зміни приземної температури повітря на станціях Східної Антарктиди; карти коефіцієнтів кореляції між середньомісячними значеннями приземної температури повітря та додатними/від'ємними значеннями SOI.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 10 жовтня 2022 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.	10.10.2022 р.	80	добре
2	Формування бази даних по приземній температурі повітря та індексу ЕПДК.	11.10.2022 р. - 14.10.2022 р.	70	задовільно
3	Розрахунок та аналіз статистичних характеристик приземної температури повітря.	15.10.2022 р. - 22.10.2022 р.	76	добре
4	Розрахунок трендової складової приземної температури повітря та аналіз особливостей багаторічних змін приземної температури повітря.	23.10.2022 р. - 02.11.2022 р.	74	добре
5	Рубіжна атестація	01.11.2022 р.- 05.11.2022 р.	75	добре
6	Розрахунок амплітуди коливань приземної температури повітря, аналіз їх динаміки.	03.11.2022 р. - 07.11.2022 р.	85	добре
7	Дослідження та аналіз глобальних статистичних взаємозв'язків між середньомісячними значеннями приземної температури повітря та індексу ЕПДК за допомогою кореляційного аналізу.	08.11.2022 р. - 16.11.2022 р.	70	задовільно
8	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату.	17.11.2022 р.	70	задовільно
9	Перевірка роботи на плагіат, складення протоколу і висновку керівника. Підписання авторського договору.	18-20.11.2022	-	-
10	Підготовка презентаційного матеріалу.	-	-	-
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)	-	75	добре

Студент _____ Гулеватий В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Прокоф'єв О.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема магістерської кваліфікаційно роботи "Багаторічна динаміка метеорологічного режиму Східної Антарктиди"

Автор: Гулеватий Вадим Валерійович

Актуальність. Актуальність теми визначається необхідністю постійного моніторингу метеорологічного режиму Антарктиди та його динаміки в світлі сучасних кліматичних змін.

Мета дослідження – дослідження динаміки метеорологічного режиму на станціях Східної Антарктиди та її зв'язку з глобальними кліматичними індексами.

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

- розрахування статистичних характеристик приземної температури повітря у Східній Антарктиді;
- аналіз динаміки приземної температури повітря у Східній Антарктиді;
- визначення кореляційного зв'язку між SOI та приземною температурою повітря.

Об'єкт дослідження: метеорологічний режим Східної Антарктиди.

Предмет дослідження: середньомісячні значення приземної температури повітря, отримані за допомогою радіозондування атмосфери на станціях Східної Антарктиди.

Методи дослідження: методи багатовимірної статистичного аналізу, методи дослідження випадкових функцій, кореляційний аналіз.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в комплексному статистичному дослідженні просторово-часових особливостей метеорологічного режиму Східної Антарктиди в умовах змін глобального клімату.

Практичне значення отриманих результатів. Застосовані принципи статистичного дослідження та одержані результати можуть бути використані при вивченні змін глобального клімату, а також при розробці фізико-статистичних моделей довгострокових прогнозів погоди для Південної півкулі.

Структура і обсяг роботи: магістерська робота в обсязі 70 сторінок складається з вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань з 11 джерел та одного додатку і містить 30 рисунків та 10 таблиць.

Перелік ключових слів: приземна температура повітря, Східна Антарктида, аномалії, SOI, кореляційний зв'язок.

ANNOTATION

Theme of the master's qualification work "Long-term dynamics of the meteorological regime of East Antarctica"

Author: Gulyevaty Vadim

Relevance. The relevance of the topic is determined by the need for constant monitoring of the meteorological regime of Antarctica and its dynamics in the light of modern climate changes.

The purpose of the study – analysis of the dynamics of the meteorological regime at stations in East Antarctica and its connection with global climate indices.

The following objectives have been achieved in accordance with **the objective:**

- calculation of statistical characteristics of surface air temperature in East Antarctica;

- analysis of surface air temperature dynamics in East Antarctica;

- determining the correlation between SOI and surface air temperature.

Object of study: meteorological regime of East Antarctica.

Subject of study: average monthly values of the surface air temperature, obtained with the help of radio sounding of the atmosphere at stations in East Antarctica.

Research methods: methods of multivariate statistical analysis, methods of studying random functions, correlation analysis.

The scientific novelty of the obtained results consists in a comprehensive statistical study of the spatio-temporal features of the meteorological regime of East Antarctica under conditions of global climate change.

Practical value of the obtained results. The applied principles of statistical research and the obtained results can be used in the study of global climate changes, as well as in the development of physical and statistical models of long-term weather forecasts for the Southern Hemisphere.

Structure and scope of work: the master's thesis in the amount of 70 pages consists of an introduction, 4 chapters, conclusions, a list of references from 11 sources and contains 30 figures and 10 tables.

List of keywords: surface air temperature, East Antarctica, anomalies, SOI, correlation.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 МЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ РЕЖИМ ТА КЛІМАТ АНТАРКТИДИ	8
1.1 Фізико-географічна характеристика досліджуваної території.....	8
1.2 Температурний режим Антарктиди	16
2 ВИХІДНІ ДАНІ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	26
2.1 Характеристика вихідної інформації	26
2.2 Кореляційний зв'язок між двома випадковими величинами	28
3 ДИНАМІКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ СХІДНОЇ АНТАРКТИДИ.....	34
3.1 Багаторічні зміни приземної температури берегових станцій Східного узбережжя Антарктиди.....	34
3.2 Порівняльний аналіз температурних характеристик станцій Східної Антарктиди	42
3.3 Десятирічні зміни приземної температури повітря прибережних станцій Східної Антарктиди	47
3.3.1 Зона льодовикового схилу	49
3.3.2 Зона стокових вітрів	50
3.3.3 Берегова зона Антарктиди	53
3.3.4 Зона шельфового льоду	56
4 КОРЕЛЯЦІЙНИЙ ЗВ'ЯЗОК ПРИЗЕМНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ НА СТАНЦІЯХ СХІДНОЇ АНТАРКТИДИ З ІНДЕКСОМ SOI	59
ВИСНОВКИ.....	68
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	70

ВСТУП

В кваліфікаційній магістерській роботі на тему: «Динаміка метеорологічного режиму Східної Антарктиди» надається загальна характеристика температурного режиму прибережних станцій досліджуваного регіону, а також проводиться дослідження взаємозв'язку середньомісячних значень температури повітря на станціях Східної Антарктиди та SOI.

На сьогоднішній день вивчення полярних районів набуває величезного значення, адже ймовірно, що саме метеорологія і кліматологія цих полярних регіонів допоможе зрозуміти вченим механізм змін клімату на Землі.

Основна задача – це вивчити різні стани системи океан-атмосфера, після чого спробувати перенести на клімат окремих районів Землі результати їх впливу. Для того, щоб висловити гіпотези про температурні флуктуації, кількість опадів, а також циркуляційний режим в майбутньому, треба досконально вивчити існуючі сучасні умови та розібратися в самій суті фізичних процесів.

Кліматичні зміни в значній мірі впливають на сам стан природного середовища, на суспільство і економіку. Сьогодні в різних країнах розробляють таблиці певних індикаторів, які можуть використовуватись для моніторингу різних кліматичних змін на території самої країни та віддзеркаленні їх впливу на навколишнє середовище. З цією метою ряд країн вже розробили документи, які містять певні індикатори стійкого розвитку країни та включають і індикатори кліматичних змін.

Конкретні значення таких глобальних індексів розраховують за певними методиками. Такі розраховані значення (історичні і оперативні) знаходяться на WEB сайтах відповідних провідних світових кліматичних центрів.

Кліматичний індекс, який використано в роботі – це SOI, він представляє собою стандартизовану різницю нормалізованих середньомісячних аномалій

атмосферного тиску на метеостанціях Таїті і Дарвін. Його використовують для визначення явища ЕПДК.

В якості матеріалу дослідження для кваліфікаційної магістерської роботи послужили багаторічні середньомісячні значення приземної температури повітря станцій Східної Антарктиди, осереднені з середньодобових значень.

В роботі були застосовані наступні методики: – аналіз тенденцій багаторічних змін, розрахунок статистичних характеристик, – визначення значущих періодів коливань приземної температури повітря; аналіз середніх десятилітніх значень температури повітря, а також кореляційний аналіз середньомісячних значень приземної температури повітря та SOI.

Актуальність проведеного дослідження обумовлена сучасними кліматичними змінами та їх впливом на екосистеми, на стабільність системи циркуляції морських вод, скорочення льодовикового покриву. Для Антарктичного регіону кліматичні зміни мають соціальні та економічні наслідки.

1 МЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ РЕЖИМ І КЛІМАТ АНТАРКТИДИ

1.1 Фізико-географічна характеристика досліджуваної території

Антарктида – найізолюваніший та єдиний у світі материк, який не має свого корінного населення (рис. 1.1). Літом чисельність тимчасових жителів досягає близько 4000 чоловік, а зимою – 1500 чоловік. На сьогодні, ще ніхто не мешкав тут довше 1,5 року.

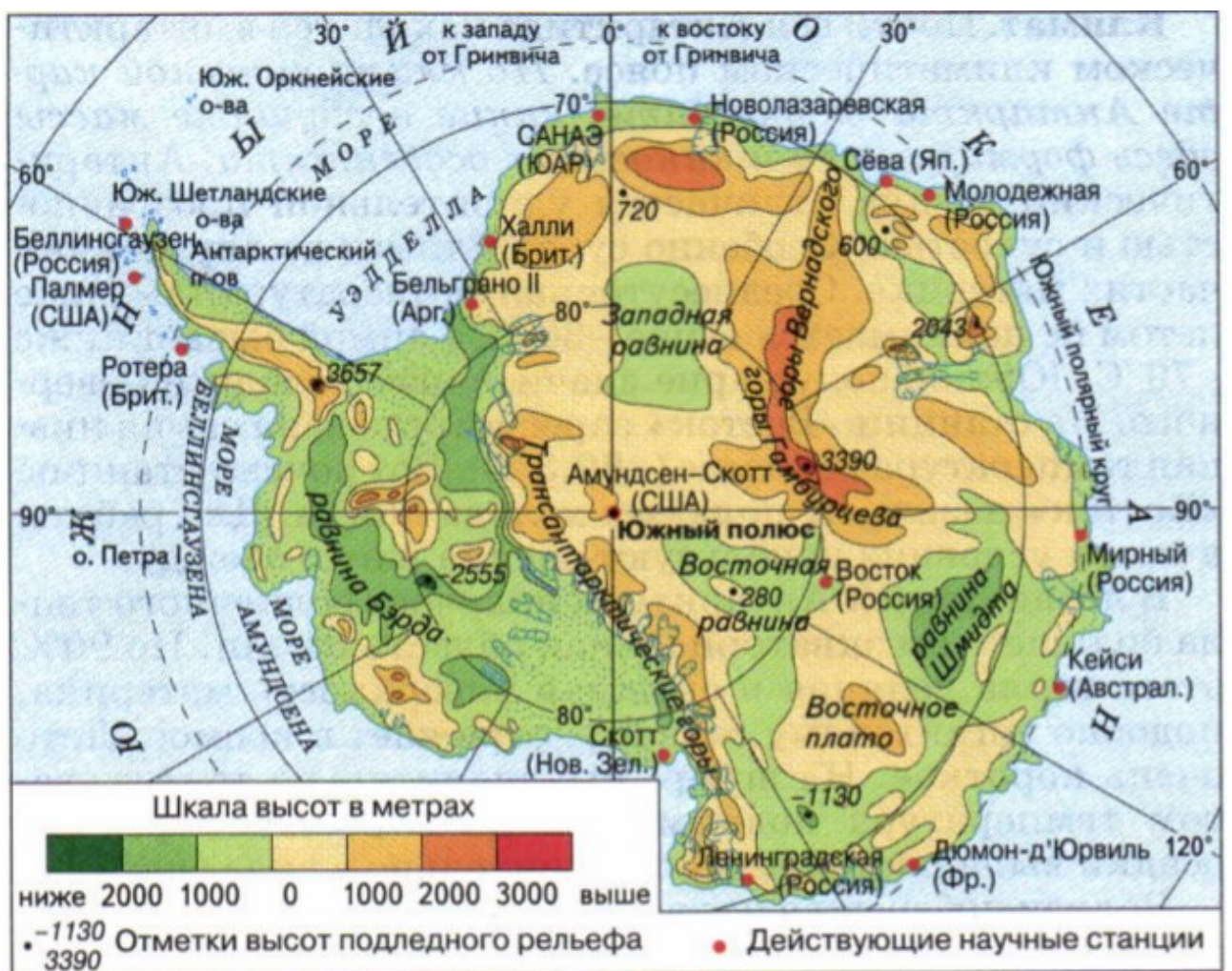


Рисунок 3.1 – Антарктида

Майже вся Антарктика знаходиться південніше від Південного полярного кола ($66^{\circ} 33'$ пд. ш.), котрий розташований на 2600 км від Південного полюса. Південне полярне коло є межею, південніше якої Сонце не підіймається вище горизонту під час зимового сонцестояння (21 червня) та не опускається за горизонт під час літнього (21 грудня). З наближенням до полюса тривалість полярних дня і ночі збільшується, сягаючи на самому Південному полюсі в обох випадках півроку [1, 2].

В Антарктиці за межею Південного полярного круга знаходиться тільки Антарктичний півострів, який простягається майже до південної околиці Південної Америки, та деякі миси з протилежної сторони материка. У двох місцях материка берегова лінія заглиблюється далеко на південь, що призводить до утворення моря Роса в Тихоокеанському та, відповідно, моря Веддела в Атлантичному секторах.

Як відомо, Антарктида складається з двох крупних частин, які істотно різняться за геологічною будовою та особливостями рельєфу. Перша з них – Східна Антарктида – займає більшу частину материка й представляє собою майже правильне півколо. На континенті її обмежують Трансантарктичні гори, які простягаються від мису Адера аж до Землі Котса. Географічно, Східна Антарктида розташована приблизно між 170° сх. д. і 30° з. д. В свою чергу, Західна Антарктида має значно меншу площу, і більшу її частину займає Антарктичний півострів.

Райони, які виділяють в Антарктиді (якщо рухатись на захід від нульового меридіану): між 10° і 35° з.д. розташована Земля Котса. У південній частині акваторії моря Веддела знаходяться шельфові льодовики Ронне та Фільхнера. Ці льодовики є примикаючими до Землі Едіт Ронне. Західніше від цього району між 60° і 110° з.д. лежить Земля Елсуерта. В цьому секторі багато окремих гірських вершин – нунатаків, що підносяться над поверхнею льоду, а вища точка Антарктиди – масив Вінсон (4897 м) був приурочений до хребта Сентініел. На схід від Землі Елсуерта розташований Антарктичний п-ів, а

західніше – Земля Мері Берд. На захід від Землі Мері Берд тягнеться обширний шельфовий льодовик Роса, який виходить до моря Роса. Антарктичний півострів і Земля Мері Берд є як би відособленою областю Антарктиди, оскільки подошва льодовикового щита між льодовиками Ронне і Роса була прогнута нижче за рівень моря [2]. Якби тут розтанув весь лід, Земля Мері Берд відділилася б протокою від решти Антарктиди. На захід від моря Роса розташована Земля Вікторії, край величних льодовиків, що спускаються до моря з гір заввишки 3000 – 4500м [2].

Земля Уїлкса, розташована між 150° і 90° сх.д., займає приблизно 1/5 всієї площі Антарктиди. В цьому районі вивідні та шельфові льодовики утрудняють пересування дослідницьких загонів [1, 2]. В морі недалеко від берега напроти Землі Уїлкса знаходиться Південний магнітний полюс. Його зразкові координати 65° пд. ш. і 140° з.д. Квадрант між 00° і 90° з.д. включає Землю Королеви Мод, Землю Ендербі, Беріг Мак-Робертсона і Американську піднесеність [2].

Антарктичні моря Роса, Уедделла, Беллінсгаузена і Амундсена мають зручні добре укриті підходи до материка [2].

Антарктида – крижаний континент, де зосереджено приблизно 30 млн. км³ льоду, або 90% всього льоду суші. Середня потужність льоду 2500–2800 м, а максимальна в деяких районах Східної Антарктиди –4800 м. Найбільша висота крижаної поверхні в Східній Антарктиді перевищує 4100м над рівнем моря [2].

Тільки 2% території Антарктиди вільні від льоду – головним чином в західній частині материка і Трансантарктичних горах. Це або ділянки узбережжя, або окремі гребені і вершини (нунатаки), що підносяться над крижаною поверхнею [2].

Льодовиковий покрив має в цілому куполовидну форму, причому крутизна поверхні зростає у напрямку до узбережжя, де зосереджені кінці вивідних льодовиків і шельфові льодовики або крижані уступи [2]. В місцях відділення

айсбергів витрата льоду оцінюється в 2500 км³ в рік. Антарктичні айсберги вражають своїми розмірами, рекордними для Землі [2].

Антарктичний лід нагромаджувався протягом багатьох сотень тисяч літ, і в ньому відображена історія формування земної атмосфери. В Антарктиді були пробурені три глибокі свердловини: на станції Берд в 1968 глибиною 2160 м, на станції Схід в 1991 глибиною 2600 м і на узбережжі Східної Антарктиди на станції Лоу-Будинок в 1993 глибиною 1200 м [2].

Влітку льодовиковий покрив збільшується на 3–4 млн. кв. км за рахунок розростання шельфових льодовиків, особливо навкруги Антарктичного півострова і в морі Роса [2]. Взимку океан навкруги Антарктиди замерзає. Таким чином формуються морський лід на площі приблизно 17 млн. кв. км, який тане в кінці весни – напочатку літа [2].

Східна Антарктида є стародавній кратон, породи якого на Землі Ендербі утворилися майже 4 млрд. років тому. Поверхня кристалічного фундаменту, що залягає переважно на невеликій висоті над рівнем моря, була вихолоджена [2]. Вік порід фундаменту, як правило, коливається в межах 2,5–2,8 млрд. років. Фундамент утворився в ході декількох крупних етапів орогенезу, що знайшло віддзеркалення в складі і будові складаючих порід [2]. Близько 1,1–1,4 млрд. років тому в Східній Антарктиді відбувалося формування гранітів шляхом виверження та застигання розплавленої магми [2].

Після того, як був сформований фундамент, протягом довгого часу відбувалося опадонакопичення в морських і континентальних умовах. Головна опадова свита (група Бікон) включає різноманітні породи, складаючи живописні вершини і скелясті схили Трансантарктичних гір [2]. Багато хто з цих гірських порід сформувався 350–190 млн. років тому і містять викопні залишки рослин і тварин, включаючи динозаврів і земноводних (наприклад, *Lystrosaurus*) [1, 2]. Це свідчить про те, що природні умови того часу дуже сильно відрізнялися від сучасних, хоча Південний полюс тоді знаходився або на території самої Антарктиди, або поблизу неї. Льодовикові відкладення

найбільш характерні для періоду 320–280 млн. років тому, коли Антарктида вперше перемістилася в полярний район [2].

Крупною геологічною подією, що завершила період формування гірських порід групи Бікон, з'явилася інтрузія величезної маси сірої гірської породи долерита [2]. Подібні гірські породи були знайдені також в Тасманії і інших районах, які ніколи входили до складу стародавнього суперконтиненту Гондвана [2].

Західна Антарктида в цілому більш молода і більш розчленована територія із значними висотами над рівнем моря [2]. Наприклад, хребет Сентініел з його башенковидними вершинами складається з окремих блоків, деякі з них виникли під час етапу горотворення, зв'язаного з розпадом Гондвани, а інші – під час занурення плити в південно-східній частині Тихого океану під Антарктичний півострів. Утворення багатьох гірських порід було пов'язано з вулканічною діяльністю, максимальна активність якої доводилася на період 180–110 млн. років тому [1, 2].

Гіпотеза про існування стародавнього обширного суперконтиненту, до складу якого входила і Антарктида, була підтверджена знахідкою зразка з відбитками стародавньої викопної рослини з р. *Glossopteris*, характерного для флори Гондвани (цей зразок був знайдений в наметі Роберта Ф.Скотта, загиблого по дорозі назад з Південного полюса в 1912) [2].

Роздроблення Гондвани здійснювалося у декілька етапів, які добре були вивчені [2]. Африка і Південна Америка почали розділятися одночасно з утворенням Атлантичного океану приблизно 130 млн. років тому. Індія виділилася дещо пізніше, приблизно 120 років тому [2]. Останніми відділилися Австралія і Нова Зеландія – біля 86 млн. років тому. Розпад Гондвани привів до ізоляції Антарктиди. Навкруги неї сформувалася океанічна циркуляція, клімат материка ставав все холоднішим і відповідно, розвивалося покривне заледеніння [1, 2].

Сучасний льодовиковий покрив Антарктиди сформувався декілька мільйонів років тому. Передуюча заледенінню геологічна історія реконструюється за наслідками вивчення безлічі невеликих оголень корінних порід і кернів, відібраних при бурінні морського дна [2]. Отримані дані свідчать, що материк, на якому виростала рослинність, споріднена тієї, яка зараз розвивається у вологих лісах помірного пояса Південної півкулі (на Тасманії, Новій Зеландії, півдні Південної Африки), перетворився на льодовий континент [1, 2].

Антарктида характеризується мінімальною в порівнянні з іншими материками сейсмічною активністю [2]. Перший землетрус тут був зафіксований тільки в 1985р. Найбільший діючий вулкан – гора Еребус, а інші вогнища вулканізму (на о. Десепшн і гора Мельбурн) знаходяться в стані тимчасового спокою [2]. Ще один діючий вулкан знаходиться під льодовиковим покривом Західної Антарктиди [1, 2].

Завдяки своєрідному поєднанню географічних умов (перш за все великої висоти над рівнем моря і характеру рельєфу) з особливими умовами атмосферної циркуляції і радіаційними чинниками над територією Антарктиди формуються [2, 3] три основні кліматичні зони, децю висотні кліматичні зони, що нагадують, в інших високогірних областях земної кулі [2]:

1. Внутрішньоматерикова високогірна кліматична зона, що займає всю центральну територію Антарктичного плато і що обмежується ізогією 3000-3200 м над р. м. [2];

2. Кліматична зона льодовикового схилу, розташована на північ від внутрішньоматерикової зони і оперізує Антарктиду широкою (700-800 км) смугою. Північна межа цієї зони, співпадаюча з ізогією 300-500 м над рівнем моря, місцями підходить майже до самого побережжя [2];

3. Прибережна кліматична зона, що оздоблює побережжя Антарктиди переважно у вигляді вузької льодовикової смуги, включаючи також вивідні і шельфові льодовики, припай, прибережні острови і оазиси [2].

Наявність цих зон підтверджується також характером снігонакопичення і розподілом на території Антарктиди складових радіаційного і теплового балансу [2, 3].

Своєрідні умови формування метеорологічного режиму в кожній із зон створюють абсолютно особливий розподіл метеорологічних елементів на території Антарктиди як протягом всього року, так і по сезонах [2].

Температура і вологість повітря, атмосферний тиск, вітер, осідання і інші метеорологічні елементи розподіляються [2] в Антарктиді абсолютно інакше, ніж в інших областях земної кулі, у тому числі і у високих широтах північної півкулі [2].

Клімат внутрішньоматерикової високогірної зони можна характеризувати як клімат вічного морозу з найнижчими на земній кулі температурами повітря, ясною погодою і невеликими швидкостями вітру (3–5 м/с) [2]. Середньорічна температура повітря в цій зоні рівна $-50 - -60^{\circ}\text{C}$ (середня температура найхолоднішого місяця $-70 - -72^{\circ}\text{C}$, а найтеплішого $-30 - -32^{\circ}$). Мінімальні температури можуть тут досягати -90°C [1, 2].

Атмосферний тиск складає в середньому близько 600–620 гПа (450–460 мм), причому найбільші середньомісячні величини тиску припадають на теплий період року [2], а найменші – на зиму, коли спостерігаються найнижчі температури [2]. Кількість опадів в цій зоні складає 40–50 мм, а за даними останніх експедицій досягає 80 мм [2].

Клімат льодовикового схилу характеризується як клімат вічного морозу, стічного вітру і заметілі [2]. Середньорічні температури повітря в цій зоні залежать від висоти схилу і міняються від -20°C для прибережних районів до -50°C для верхніх ділянок схилу, видалених на 700–800 км від узбережжя. Середні температури найхолоднішого місяця в цій зоні коливаються, відповідно, від -30 до -60°C , а найтеплішого – від -10 до $-20 - -25^{\circ}\text{C}$ [2]. Такі низькі температури тут поєднуються з постійними сильними вітрами з глибини материка [2]. Ці вітри несуть з собою маси снігу. Північна частина цієї зони,

співпадає з рівнем нижньої межі нижньої хмарності і межею загасання стокових вітрів в літній період часу, характеризується великим відкладенням снігу (до 100–150 см) і великою кількістю випадаючих опадів (до 600 мм) [2]. В південній частині зони кількість опадів складає 60 – 120 мм в рік [2, 3].

Клімат прибережної зони не відрізняється однорідністю. В цій зоні можна виділити три кліматичні підзони [2]:

- а) райони узбережжя, схильні впливу стокових вітрів [2];
- б) райони узбережжя, що знаходяться зовні впливу стоку (льодовикові шельфи, припай і т. д.) [2];
- в) Антарктичні оазиси і інші вільні від льоду ділянки суші (гірські ланцюги, нунатаки, прибережні острови і т. д.) [2].

Температурний режим у всій зоні приблизно однаковий. Середньорічні температури повітря коливаються від $-10 - -11^{\circ}\text{C}$ на широті полярного круга до $-17 - -20^{\circ}\text{C}$ і нижче для більш високих широт [2]. Середні температури найхолоднішого періоду коливаються відповідно від $-18 - -20$ до $-25 - -35^{\circ}\text{C}$ і навіть -40°C [2], а середні температури найтеплішого місяця близькі до 0°C . Вітровий режим, режим опадів, вологості повітря, температури підстильної поверхні і т.д. дуже різні [2].

Найсुворішими в кліматичному відношенні є райони узбережжя, схильні впливу стокових вітрів [2]. Це, мабуть, «найбурхливіші райони» на землі. Навіть середньорічні швидкості вітру тут складають 12–15 м/с і більш, а максимальні швидкості перевищують 60 м/с [2]. Число днів з штормами тут складає більше 250, а з ураганом – більше 30 днів в році [2]. Повітря унаслідок адіабатичного нагрівання під час стоку тут дуже сухе, тому режим вологості повітря близький до режиму відносної вологості в пустелях [2, 3].

Клімат цих районів можна характеризувати як клімат холодних крижаних пустель з частими сильними завірюхами, штормовими і ураганними вітрами [2]. Клімат районів, що знаходяться зовні впливу стічних вітрів, більш м'який і

вологий. Тут випадають найбільші (для Антарктиди) кількості опадів – до 700 мм і більше; часто спостерігається відлига, повітря вологе [2].

Сильні вітри як правило пов'язані з проходженням циклонів, тому їх середньорічна швидкість дещо більше, ніж в глибині материка (5–7 м/с) [2]. Місцевий клімат Антарктичних оазисів відрізняється рядом особливостей. Влітку тут унаслідок нагрівання підстильної поверхні максимальні температури на поверхні ґрунту можуть досягати +30°C, а повітря 4-10°C [2].

Повітря дуже сухе – як в найсправжнісінських пустелях. В теплий період добре виражена місцева циркуляція схилів. Зима всередині оазисів на 2–3°C тепліше, ніж зовні [2].

1.2 Температурний режим Антарктиди

За температурним режимом Антарктика відрізняється від усіх інших регіонів Землі цілим рядом особливостей.

Періоди зима і літа в Антарктиді характеризуються різкою зміною температурних величин від місяця до місяця. Самі зимові та літні періоди мають зовсім різну тривалість. Так, зима виявляється вдвічі довша за літо. В той час, перехідні сезони (весняний та осінній) є дуже короткочасними. Їх тривалість складає не більше двох місяців, при чому характерною їх особливістю є швидка зміна температури повітря від початку перехідного сезону до його кінця (понад 20° і більше) [2, 3, 4].

Зимовий період в Антарктиді починається з квітня і закінчується вереснем, тобто його тривалість складає майже повні шість місяців. Весна триває з жовтня по листопад. Літній період охоплює грудень і січень, а осінній – лютий-березень.

Використовуючи середньорічні значення температури повітря на тих станціях, що розташовані приблизно на одних і тих же висотах над рівнем моря та перебувають в однакових географічних умовах, можна визначити величину горизонтального градієнта температури як для прибережної зони, так і для внутрішньоматерикових областей.

В Антарктиці над одноманітними підстильними поверхнями величини горизонтального градієнту температури і на побережжі і в глибині материка приблизно однакові для середньорічних величин і складають в середньому $0,6\text{--}0,7^\circ\text{C}$ на 1° широти. Ці градієнти протягом року не залишаються сталими, а мають річний хід [3, 4].

Найменші величини горизонтального градієнта температури повітря для усього материка спостерігаються літом ($0,0\text{--}0,3^\circ\text{C}$), а найбільші – зимою ($0,5\text{--}1,5^\circ\text{C}$). Це обумовлене збільшенням сумарної кількості радіації зі зростанням широти в літній час, що призводить до більш сильного нагрівання підстильної поверхні, та, відповідно, нижнього шару повітря. Все це спричиняє вирівнювання температур в глибині материка на значних просторах.

Знаючи величину горизонтального градієнту температури і розподіл середніх значень багаторічних і середньомісячних температур на льодовиковому схилі, можна визначити величину вертикального градієнта температури повітря біля підстильної поверхні. Результати розрахунків вертикального градієнта температури свідчать про те, що майже на будь-яких ділянках схилу вертикальний температурний градієнт складає $1,0\text{--}1,2^\circ\text{C}$ на 100 м висоти. Точно так само як і горизонтальний, вертикальний градієнт температури не залишається незмінним протягом року. Літом за рахунок радіаційних умов вертикальний градієнти температури усюди менше ніж зимою, і складає $0,8\text{--}1,0^\circ\text{C}$ на кожні 100 м висоти. Взимку вертикальний градієнт зростає в середньому до величини $1,1\text{--}1,5^\circ\text{C}$ на кожні 100 м, а в перехідні сезони його величина складає приблизно $1,2\text{--}1,3^\circ\text{C}$.

Знаючи величини горизонтального і вертикального градієнтів температури повітря, використовуючи дані метеорологічних і гляціологічних спостережень, вченими була побудована карта розподілу середньорічних ізотерм, які проведені через 5°C для території усієї Антарктиди (рис. 1.2). Вона дає цілком наочне бачення температурного режиму Антарктиди.

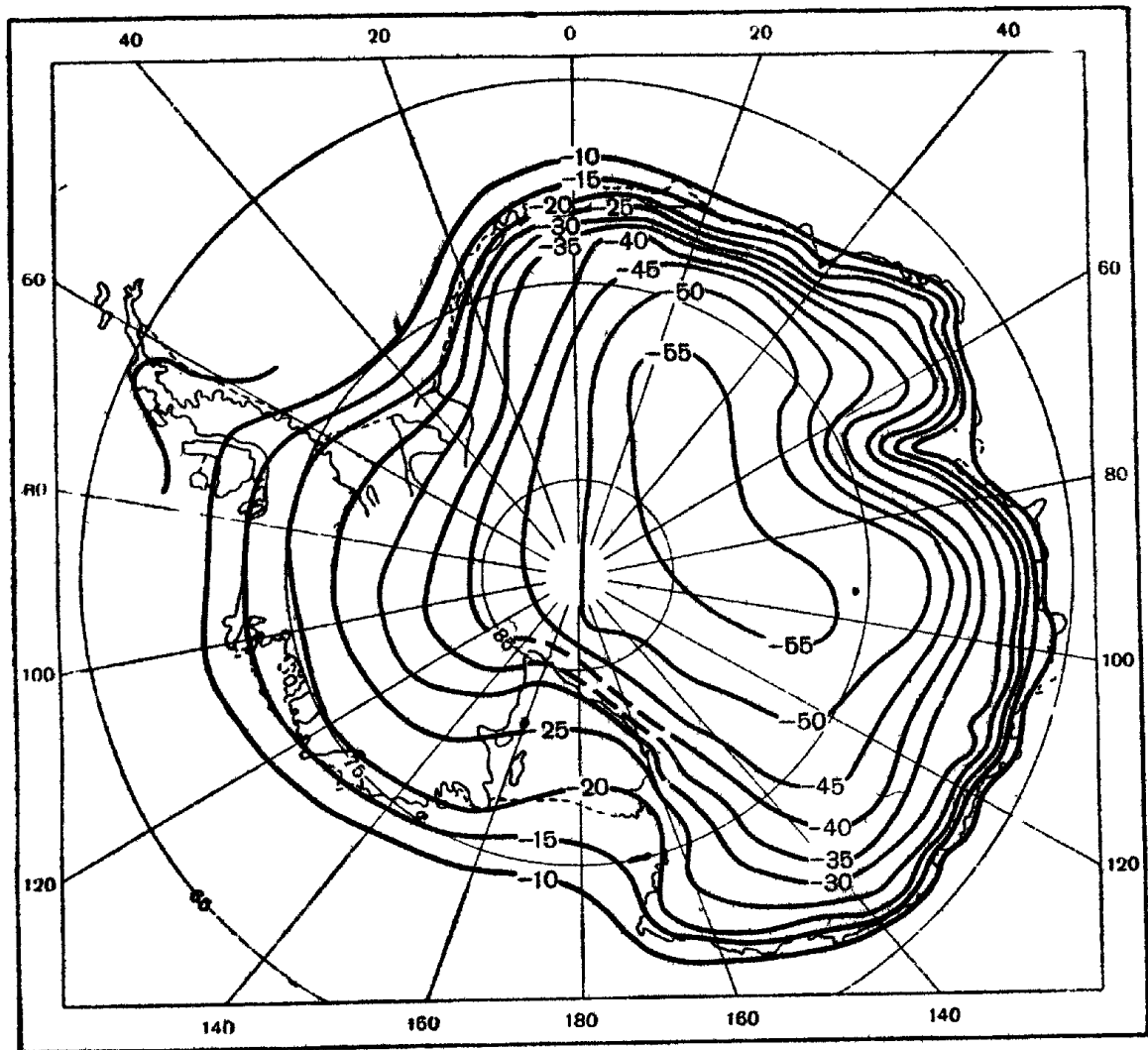


Рисунок 1.2 – Поле приземної температури Антарктиди [2-4]

Аналіз рис. 1.2, дозволяє стверджувати, що середньорічна температура повітря в досліджуваному регіоні знижується від $-9 - 11^{\circ}\text{C}$ на узбережжі, яке знаходиться на широті Полярного кола, до -57°C і навіть нижче в центральних областях материка. Середньорічна ізотерма -50°C , охоплює всю центральну

частину Східної Антарктиди, від широти $73-75^\circ$, і майже аж до самого Південного полюса. Ця ізотерма приблизно співпадає з ізогіпсою 3000 м над рівнем моря. Центр цієї області розташовується між широтами $80-85^\circ$ пд.ш. та довготами $30-110^\circ$ сх.д. і має температури близькі до -55° . Ще однією особливістю цієї області є її співпадіння з ізогіпсою 3500 м. З наближенням до узбережжя східної частини Антарктиди та зі збільшенням кута схилу ізотерми сильно згущуються.

В Західній Антарктиці за рахунок більш пологого схилу та суттєво менших висот над рівнем моря (звичайно, за винятком гірських районів) всюди річні ізотерми виявляються більш розрідженими ніж в Східній. Саме завдяки цьому факту середньорічні температури повітря на одних і тих же широтах в Західній Антарктиді виявляються набагато вище, ніж в Східній. Для прикладу: річна ізотерма -30°C в Східній Антарктиці розташовується на широті приблизно $65-67^\circ$, тоді як в Західній Антарктиді – на Землі Елсуорта – ця ж ізотерма розташовується на широті близько 80° і навіть $83-84^\circ$ пд.ш [3, 4].

Тобто, температурний режим Західної Антарктиди виявляється більш м'яким, ніж Східної. На одних і тих же самих широтах температури у внутрішньоматериковій частині Східної Антарктиди виявляються аж на 30°C нижчі, ніж в Західній.

Узбережжя Антарктичних морів, що розташовані в Західній Антарктиді, більш холодні, ніж узбережжя Антарктичних морів, що розташовані в Східній Антарктиді. Найнижчі середньорічні температури ($-29, -25^\circ\text{C}$) фіксуються біля південних берегів морів Роса і Веддела, що розташовані на широтах $77-78^\circ$. В цей же час, східні береги цих самих морів, що розташовані на тих же широтах, мають температуру повітря на $3-5^\circ$ вищу, ніж південні і західні частини узбережжя. Така своєрідний розподіл приземної температури повітря має місце, як в Західній Антарктиді, так і в Східній і може бути пояснений особливими циркуляційними умовами біля її берегів, які сприяють утворенню стаціонарних малорухомих баричних областей. Слід також зазначити, що західні периферії

кліматичних циклонів виявляються тут більш холодними, ніж східні. Тому що по західних периферіях кліматичних циклонів відбувається винесення до моря холодного континентального повітря з глибини материка. Температурний режим в досліджуваному регіоні, як ніде на земній кулі, залежить від повторюваності того або іншого напрямку вітру.

Так, для прибережних станцій Антарктиди найхолоднішими вітрами будуть вітри південного напрямку. Разом з тим, їх повторюваність протягом року складає приблизно 60%. Для внутрішньоматерикових станцій найхолоднішими вітрами будуть вітри стокового характеру, якого б напрямки вони не були.

Оскільки в центральній частині Антарктиди стокові вітри переважають над циклонічними, то й повторюваність вітру з низькими температурами буде значно більшою, ніж повторюваність вітру з високими температурами.

Окремо слід зупинитися на визначені ролі радіаційного фактору у формуванні температурного режиму Антарктиди.

Відомим є факт вихолодження занесеного за час адвекції в глибину материка повітря, яке відбуватиметься до тих пір, поки не встановиться промениста рівновага, а це відбудеться тоді, коли довгохвильове випромінювання з поверхні снігу вирівняється з довгохвильовим випромінюванням атмосфери, а радіаційний баланс стане рівний нулю.

А якщо при цьому врахувати, що радіаційне вихолодження самого повітря змінюється дуже мало тобто ним можна знехтувати, тоді, обчисливши довгохвильове випромінювання атмосфери, ми зможемо визначити величину радіаційного вихолодження а потім знайти і різницю, на яку знизиться первинна температура повітря за рахунок цього вихолодження.

Слід, звичайно, зауважити, що вкрай сильне вихолодження температури може відбуватися тільки за відсутності вітру. Адже адвекція повітря при стоці та наявності глибокої приземної інверсії призводить до збільшення турбулентного обміну, а, отже, й до притоки більш теплого повітря зверху вниз.

Ще значно більша роль радіації належить у формуванні температурного режиму дослідженого материка в теплу пору року. Як уже зазначалось, в зимовий період температура будь-якого пункту на узбережжі чи в глибині Антарктики пов'язана з пануючим напрямом вітру та адвекцією повітря. А влітку зовсім по інакшому: температура повітря за будь-яких напрямів вітру на певній станції змінюється в малому діапазоні, оскільки вплив адвекції в цю пору року позначається значно менше. Цей факт пояснюється тим, що в теплий період року на узбережжі Антарктики середні температури повітря настають близькими до 0°C . Ці температури дуже мало відрізняються від температури поверхні морської води, тому адвекція повітря з моря в теплий період року, на відміну від холодного, як правило не призводить до істотного підвищення температури повітря на узбережжі. Те ж спостерігається і у випадку стоку повітря з глибини Антарктиди.

Як вже зазначалося вище, горизонтальний градієнт температури влітку виявляється близьким до 0°C на 100 км через збільшення сумарної кількості радіації з широтою. В цей же час вертикальний температурний градієнт залишається близьким до 1° на 100 м.

Влітку над центральними областями досліджуваного регіону, які мають висоту 3000 м над рівнем моря і більше, встановлюється широка зона з температурами приблизно -30°C . При вітрі південних складових стікаюче по льодовиковому схилу повітря, адіабатично нагрівається, і досягнувши узбережжя, матиме температуру, близьку до 0°C [3, 4].

Екстремальні температури повітря (мінімальні й максимальні) в регіоні характеризуються тими ж особливостями розподілу, що середні температури. Так, середньодобова мінливість екстремальних температур, так само як і середніх температур повітря в зимовий час для всіх районів Антарктиди, досягає $\pm 6-8^{\circ}\text{C}$, а в літній – в середньому $\pm 2-3^{\circ}\text{C}$.

Найвищі середньорічні мінімуми температури повітря фіксуються на узбережжі Антарктиди, яке розташоване поблизу Полярного кола. Їх величина

коливається у межах $-12, -13^{\circ}\text{C}$ на ділянках узбережжя, вільних від льоду і снігу, і близько -15°C на решті узбережжя.

Зі збільшенням широти середньорічні значення мінімальних температур повітря на узбережжі Антарктиди знижуються приблизно до -30°C . Аналогічна картина виявляється і для середньорічних максимальних температур повітря, які складають приблизно $-6 - -8^{\circ}\text{C}$ на широті Полярного кола і $-14 - -20^{\circ}\text{C}$ на широтах $77-78^{\circ}$.

Як і середньомісячні температури, екстремальні температури повітря істотно залежать від розташування станції і на однакових широтах і висотах над рівнем моря навіть середньому за рік значення екстремальних температур на станціях Східної і Західної Антарктиди можуть відрізнятись на 7°C (ст. Літл-Америка та ст. Мак-Мердо) [3, 4].

На льодовиковому схилі Антарктиди середньорічні значення мінімальної температури повітря знижуються в Східній частині материка до $-40 - -50^{\circ}\text{C}$, а в центральних областях – до $-58 - -60^{\circ}\text{C}$. А Середньорічні максимальні значення температури повітря відповідно складають на льодовиковому схилі материка $-35 - -45^{\circ}$, а в центральних областях Антарктиди $-48 - -52^{\circ}\text{C}$.

В той же час, середньорічні екстремальні температури, так само як і осереднені за рік температури повітря на всіх внутрішньоматерикових станціях материка, співпадають з точністю до 1°C зі значеннями екстремальних і середніх температур повітря березня-місяця, які, як виявляється, дуже добре характеризують середньорічний режим температури повітря в глибині досліджуваного регіону. Слід зазначити, що в цьому правилі є виключення – район Південного полюса, де температура повітря в березні-місяці нижче за середньорічну температуру повітря майже на 5°C .

Середні та екстремальні температури повітря також дуже сильно залежать від місцевих умов. Так, наприклад, на чотирьох прибережних антарктичних станціях (Мирний, Мис Денісон, Оазис та Гаус), які розташовані майже на одній широті, середні за рік значення екстремальних температур близькі між

собою, в той час, коли в окремі сезони (наприклад зимою) вони різняться на 3-5, а інколи і 10°C . Особливо сильно позначається вплив місцевих умов на річний хід різниць між екстремальними температурами, які характеризують, як відомо, мінливість температур в досліджуваному регіоні.

На прибережних станціях, які розташовані зовні зони впливу стокових вітрів, мінливість температур повітря влітку і взимку відрізняється в 1,5-2 рази (від $4-6^{\circ}\text{C}$ влітку до $8-10^{\circ}\text{C}$ взимку). На ділянках узбережжя, де стокові вітри сприяють нагріванню атмосферного повітря, мінливість температури залишається майже однаковою протягом усього року. Деяке збільшення різниць між екстремальними температурами фіксується лише в перехідні сезони, коли стокові вітри найменш виражені, а вихолодження підстильної поверхні при цьому залишається досить великим [3, 5, 6, 7].

У внутрішньоматериковій частині Антарктиди, навпаки, найбільші різниці між середніми екстремальними температурами фіксуються в літній період року, коли на температурний режим в значній мірі впливають радіаційні чинники. Найменші різниці між середніми екстремальними температурами спостерігаються в зимовий період.

Слід зазначити, що майже на всіх внутрішньоматерикових станціях Антарктиди мінливість середньомісячних температур взимку в два, а подекуди навіть у три рази менша ніж влітку.

Абсолютні значення екстремальних температур повітря визначаються такими ж умовами, що і середні. Вони мають яскраво виражену зональність та річний хід, який в значній мірі залежить від місцевих умов.

На узбережжі, що розташоване в більш високих широтах (Мак-Мердо – Літл-Америка), абсолютні мінімальні значення температури повітря можуть сягати -60°C і нижче. На схилах льодовикового плато, на широті $70-72^{\circ}$ пд.ш. абсолютні мінімуми температур сягають $-67 - -72^{\circ}\text{C}$ [4, 5].

Абсолютні максимуми температур повітря на узбережжі досліджуваного регіону влітку ледве сягають $5-6^{\circ}\text{C}$ і лише у антарктичних оазисах вони

підвищуються до 8-12°C. В холодний період року унаслідок впливу циклонічної діяльності максимальні температури повітря навіть на ст. Літл-Америка можуть досягати 0°C, а на широті Полярного кола – наближатись до літніх значень – 2-4°C тепла [5, 6,7].

В цей же час, на льодовиковому схилі абсолютні максимальні значення температури повітря в значній мірі залежать від його висоти. В центральних регіонах Антарктиди абсолютний максимум температури повітря на великих просторах складає -19 – -22°C.

Що стосується температурного режиму сніжного покриву, то у верхньому шарі снігу у різних зонах материка він формується по-різному. Більш глибокі шари снігу отримують тепло від розташованих безпосередньо під ними або поруч, з ними океанічними водами. В глибині Антарктиди картина вже зовсім інша. Хоча в цих районах взимку середні температури снігу у верхньому шарі сніжного покриву і зростають з глибиною, але в середньому за рік вони на кожній глибині залишаються близькими до середньорічної температури повітря. Дуже цікаво як саме розподіляються по глибинах середньомісячні значення температури снігу в літні і перехідні місяці року. Завдяки утворенню весною на поверхні снігу радіаційної кірки його температуропровідність біля поверхні і на глибині значно різняться. Виникає досить відоме та поширене явище вентильного ефекту, яке, наприклад, спостерігається в ґрунті, покритому мульчеплівкою або висушеною надґрунтовою кіркою. Радіаційне тепло, що надходить під крижану кірку, вже не може швидко вийти назад і акумулюється під нею.

Саме завдяки вентильному ефекту найбільші температури в снігу виявляються не біля поверхні, а на глибині близько 10-12 см. За оцінками вчених, з такою акумуляцією сонячного тепла під поверхнею снігу в центральній частині Антарктиди були зв'язані наступні два явища: швидке і глибоке прогрівання снігу за період короткого Антарктичного літа і явище вечірнього марева над снігом. Цим також можна пояснити зростання сніжних

кристалів та зростання снігонакопичення в літній час, не дивлячись на той факт, що кількість опадів в цей період зменшується [4]. Детальні спостереження вчених за температурою сніжного покриву дозволили встановити, що добові коливання температури в снігу прослідковуються як правило до глибини 50 см.

В цей же час, річні коливання температури в сніговому покриві проникають до глибини 16 м. Слід зазначити, що на цій глибині річна амплітуда температури снігу близька до 0° . Розподіл річної з глибиною наступний: 8 м -1° , 4 м - -4° , 2 м -10° , 1 м -20° , 0,5 м -35°C .

За оцінками вчених, середньорічна температура снігу практично на всіх глибинах (від 1 до 16м) залишається незмінною ($-38 - -39^{\circ}\text{C}$). Вимірювання вченими температури сніжного покриву, дозволили встановити, що і на глибинах, які перевищують 15 м, температури з глибиною не підвищуються, а поступово зменшуються в середньому на 1° на кожні 90м глибини [4]. З яких глибин починається підвищення температури снігу і льоду, поки що не встановлено.

2 ВИХІДНІ ДАНІ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Характеристика вихідної інформації

В якості матеріалу дослідження використовувались дані строкових спостережень за приземною температурою повітря, які потім осереднювались для отримання середньомісячних та середньорічних значень. Оскільки метою роботи є дослідження і аналіз багаторічної динаміки температурного режиму Антарктичного узбережжя, то для дослідження були використані всі доступні дані по всіх існуючих або коли-небудь існувавших станціях, які проводили на Антарктичному материка кліматичний моніторинг.

У роботі були застосовані наступні методики:

- аналіз тенденцій багаторічних змін,
- розрахунок статистичних характеристик,
- визначення значущих періодів коливань досліджуваної величини,
- взаємний спектральний аналіз приземної температури повітря станцій Східної Антарктиди та кліматичних індексів.

Для виявлення характерних тенденцій, властивих температурному режиму різних берегових районів Східної Антарктиди використовувалися дані по 11 станціям Антарктичного материка (табл. 2.1). У таблиці 2.1 наведено характеристику станцій, які використовувались в дослідженні: їх географічну широту, довготу, а також висоту на рівнем моря. Зазначимо, що вибрані для дослідження антарктичні станції, розташовані, в основному, на узбережжі і мають незначні висоти над рівнем моря. Лише три з них розташовані на висотах, що перевищують 100 м. Станції представлені за збільшенням довготи, що дозволяє прослідити зміну температурного режиму на узбережжі Східної Антарктиди не тільки в часовому ході, але і в просторі.

Досліджувані антарктичні станції мають різний період спостережень, але для абсолютної більшості цей період складає 30-60 років. Для виявлення загального температурного фону Східного узбережжя було проведено осереднення даних і виявлені характерні зміни багаторічного температурного режиму для кожного місяця, а також були отримані середньорічні значення приземної температури повітря.

Таблиця 2.1 – Характеристика досліджуваних станцій Східної Антарктиди

назва	висота над рівнем моря	географічні координати	
		широта	довгота
Novolazarevskaya	119 м	70,8 пд.ш.	11,8 с.д.
Asuka	931 м	71,5 пд.ш.	24,1 с.д.
Syowa	21 м	69,0 пд.ш.	39,6 с.д.
Mawson	16 м	67,6 пд.ш.	62,9 с.д.
Progress	64 м	69,2 пд.ш.	76,2 с.д.
Zhongshan	18 м	69,4 пд.ш.	76,4 с.д.
Davis	13 м	68,6 пд.ш.	78,0 с.д.
Mirny	30 м	66,5 пд.ш.	93,0 с.д.
Casey	42 м	66,3 пд.ш.	110,5 с.д.
Dumont Durville	43 м	66,7 пд.ш.	140,0 с.д.
Leningradskaja	304 м	69,5 пд.ш.	159,4 с.д.

Всі середньомісячні, середньорічні багаторічні ряди приземної температури повітря аналізувалися для виявлення прихованих періодичностей. Результати цього аналізу використовувалися при згладжуванні осереднених рядів. Виявлення прихованих періодичностей було проведене для кожної станції окремо, оскільки осереднений ряд не може достовірно характеризувати окремо взятий район Антарктичного узбережжя. Аналіз статистичних характеристик був проведений також для кожної станції окремо.

2.2 Кореляційний зв'язок між двома випадковими величинами

Функціональною залежністю між двома випадковими величинами називається така залежність, коли можливому значенню однієї випадкової величини відповідає тільки одне значення іншої [9].

Стохастичним називають такий зв'язок між випадковими величинами, коли зміна однієї з них приводить до зміни закону розподілу іншої. Стохастичний зв'язок між двома випадковими величинами спостерігається, наприклад, коли існують загальні випадкові фактори, впливаючи як на одну, так і на другу величину поряд з іншими неоднаковими для обох величин випадковими факторами. Наприклад, якщо Y є деяка функція від випадкових величин $z_1, z_2, \dots, z_m, u_1, u_2, \dots, u_k$:

$$Y = f(z_1, z_2, \dots, z_m, u_1, u_2, \dots, u_k),$$

а X – функція від тих же випадкових величин z_1, z_2, \dots, z_m і деякої сукупності інших випадкових величин u_1, u_2, \dots, u_k :

$$X = \varphi(z_1, z_2, \dots, z_m, u_1, u_2, \dots, u_k),$$

то залежність між випадковими величинами X і Y буде стохастичною.

Найбільш важливі особливості стохастичного зв'язку виявляються у тих змінюваннях, які зазнає центр умовного розподілу однієї величини при змінюванні іншої. Якщо припустити, що умовний розподіл є нормальним з щільністю ймовірності

$$f\left(\frac{y}{x}\right) = \frac{1}{\sigma_{y/x}\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(y - m_{y/x})^2}{2\sigma_{y/x}^2}\right], \quad (2.1)$$

де

$m_{y/x} = M \left[\frac{Y}{X=x} \right]$ – умовне математичне сподівання, а $\sigma_{y/x}^2 = M \left\{ \left[y - m_{y/x} \right]^2 \right\}$ – умовна дисперсія, то центром розподілу є умовне математичне сподівання [9].

Отже, якщо при змінюванні однієї з випадкових величин змінюється умовне математичне сподівання іншої, то такий зв'язок між цими випадковими величинами називається кореляційним.

Кореляційну залежність можна трактувати як функціональну залежність умовного математичного сподівання однієї випадкової величини від значення іншої:

$$m_{y/x} = f(x). \quad (2.2)$$

Функцію $f(x)$ називають функцією регресії величини Y на (по) X . Рівняння (3.2) називається рівнянням регресії. Можна розглядати і кореляційний зв'язок між величинами X та Y , а саме:

$$m_{x/y} = \varphi(y). \quad (2.3)$$

Треба мати на увазі, що на основі вибірок випадкових величин:

$$X: x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$$

та (3.4)

$$Y: y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n$$

ми можемо отримати лише оцінки відповідних умовних математичних сподівань, якими є умовні середні значення:

$$\hat{m}_{y/x} = \bar{Y}/X=x = \bar{y}(x); \quad \hat{m}_{x/y} = \bar{X}/Y=y = \bar{x}(y). \quad (2.5)$$

Їм відповідають оціночні рівняння регресії:

$$\bar{y}(x) = \hat{f}(x); \quad (2.6)$$

$$\bar{x}(y) = \hat{\phi}(y). \quad (2.7)$$

Кореляційні зв'язки між випадковими величинами характеризуються формою та тісністю. Що стосується форми кореляційного зв'язку між двома випадковими величинами, то дуже часто реалізуються зв'язки, що описуються:

- лінійним рівнянням регресії: [9]

$$\bar{y}(x) = ax + b, \quad (2.8)$$

де a і b – коефіцієнти цього рівняння.

Крім лінійної кореляційної залежності (прямої чи оберненої) зустрічаються нелінійні кореляційні зв'язки, які відбиваються відповідними рівняннями регресії:

- параболічним:

$$\bar{y}(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2; \quad (2.9)$$

- показниковим:

$$\bar{y}(x) = ab^{cx}, \quad (2.10)$$

частинним випадком якого є експоненціальне рівняння регресії:

$$\bar{y}(x) = ae^{bx}; \quad (2.11)$$

- гіперболічним:

$$\bar{y}(x) = \frac{a}{x^b}. \quad (2.12)$$

Кореляційний зв'язок може бути прямим і оберненим. Якщо при збільшенні (зменшенні) однієї випадкової величини відбувається збільшення (зменшення) іншої, то такий зв'язок називають прямим. Коли збільшенню (зменшенню) однієї випадкової величини відповідає зменшення (збільшення)

іншої, то це свідчить про обернений зв'язок між цими випадковими величинами [9].

Якісне уявлення про тісноту та форму кореляційного зв'язку між величинами X і Y можна отримати, побудувавши кореляційний графік (діаграму розсіювання точок або поле кореляції) на площині в координатах $(x; y)$. Якщо точки з координатами $(x_i; y_i)$ тісно групуються біля деякої осередненої лінії, то це свідчить про те, що кореляційний зв'язок є тісним. Чим більшим є розкид точок на графіку, тим слабкішим є кореляційний зв'язок. Щоб мати уявлення про кількісну міру тісноти кореляційного зв'язку використовують кореляційне відношення.

Якщо розглядати у загальному плані змінювання випадкової величини Y , то на величину Y крім величини X можуть діяти й інші випадкові величини. Тому дисперсія випадкової величини Y , яку називають повною дисперсією (σ_y^2), складається з двох частин:

$$\sigma_y^2 = \sigma_{y/x}^2 + \delta_{y/x}^2. \quad (2.13)$$

Член

$$\sigma_{y/x}^2 = M \left\{ \left[y - \bar{y}(x) \right]^2 \right\} \quad (2.14)$$

характеризує розсіювання точок на кореляційному графіку відносно лінії регресії, тобто відбиває вплив інших діючих факторів на випадкову величину Y .

Другий член рівняння (2.13)

$$\delta_{y/x}^2 = M \left\{ \left[\bar{y}(x) - m_{y/x} \right]^2 \right\} \quad (2.15)$$

є мірою розсіювання вибірових ліній регресії $\bar{y}(x) = \hat{f}(x)$ відносно генеральної лінії регресії $m_{y/x} = f(x)$ і характеризує саме вплив випадкової величини X на випадкову величину Y [9].

Параметр

$$\eta_{y/x}^2 = \frac{\delta_{y/x}^2}{\sigma_y^2} \quad (2.16)$$

є показником тісноти кореляційного зв'язку між випадковими величинами Y та X . Він носить назву кореляційного відношення. Всі можливі значення кореляційного відношення визначаються виразом:

$$0 \leq \eta_{y/x}^2 \leq 1. \quad (2.17)$$

Чим ближчим є значення кореляційного відношення до одиниці, тим тіснішим є кореляційний зв'язок між випадковими величинами X та Y , і навпаки.

Статистична оцінка кореляційного відношення знаходиться на основі оцінок розглянутих вище складових повної дисперсії:

$$S_{y/x}^2 = \hat{\sigma}_{y/x}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y_i - \bar{y}(x_i)]^2; \quad (2.18)$$

$$\hat{\delta}_{y/x}^2 = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k [\bar{y}_j(x) - \bar{y}]^2; \quad (2.19)$$

$$\hat{\eta}_{y/x}^2 = \frac{\hat{\sigma}_{y/x}^2}{S_y^2}, \quad (2.20)$$

де

$$S_y^2 = S_{y/x}^2 + \hat{\delta}_{y/x}^2. \quad (2.21)$$

Якщо кореляційний зв'язок між величинами Y та X є лінійним, то кореляційне відношення вироджується у параметр r_{xy}^2 , який називається коефіцієнтом детермінації [9].

Параметр

$$r_{xy} = \sqrt{r_{xy}^2} \quad (2.22)$$

називається коефіцієнтом кореляції і розраховується на основі статистичних сукупностей (3.4) за формулою:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n \cdot S_x \cdot S_y}. \quad (2.23)$$

Він може приймати значення із множини

$$-1 \leq r_{xy} \leq 1. \quad (2.24)$$

Коефіцієнт кореляції характеризує степінь наближення кореляційного зв'язку між випадковими величинами X та Y до лінійної функціональної залежності.

Додатні значення коефіцієнта кореляції ($r_{xy} > 0$) позначають наявність прямого лінійного зв'язку між випадковими величинами X і Y . Обернений лінійний кореляційний зв'язок характеризується від'ємними значеннями коефіцієнта кореляції ($r_{xy} < 0$). Чим більшим за модулем є коефіцієнт кореляції $|r_{xy}|$, тим тіснішим буде лінійний кореляційний зв'язок між випадковими величинами, і навпаки. Якщо $r_{xy} = 0$, то це означає, що лінійний кореляційний зв'язок між величинами X і Y відсутній, але це не означає, що відсутнім є кореляційний зв'язок іншої форми.

3 ДИНАМІКА ТЕРМІЧНОГО РЕЖИМУ СХІДНОЇ АНТАРКТИДИ

3.1 Багаторічні зміни приземної температури берегових станцій Східного узбережжя Антарктиди

У даному розділі описуються багаторічні зміни температурного режиму станцій Східного узбережжя Антарктиди. У аналізі використовувалися дані одинадцяти станцій, три з яких мають яскраво виражені відмінні температурні характеристики завдяки своїй висоті над рівнем моря, тобто своєму положенню – це Novolazarevskaya (119 м), Asuka (931 м) і Leningradskaja (304 м). Інші станції – Syowa, Mawson і Mirny входять до групи станцій стокових вітрів.

Не дивлячись на великі відмінності в температурному режимі, для виявлення загального температурного фону станцій Східного узбережжя Антарктиди було проведено осереднення даних і виявлені характерні зміни багаторічного температурного режиму для кожного місяця, а також були отримані середньорічні значення приземної температури повітря.

По отриманим даним побудовані графіки (рис. 3.1 – 3.13). Для кожного місяця року було проведення осереднення середньомісячних значень приземної температури повітря по всім одинадцяти станціям Східного узбережжя Антарктиди. Так як середньомісячні значення приземної температури повітря раніше були отримані з використанням середньодобових значень, то на графіках ми не додавали згладжені ряди. На графіках представлений часовий ряд, а також лінійний тренд, що показує тенденцію в змінах приземної температури повітря станцій Східної Антарктиди за весь досліджуваний період. Як бачимо, Східне узбережжя характеризується зменшенням приземної температури повітря практично для більшості місяців року до періоду 1980-1990рр., далі спостерігається зростаючий тренд практично для всіх місяців.

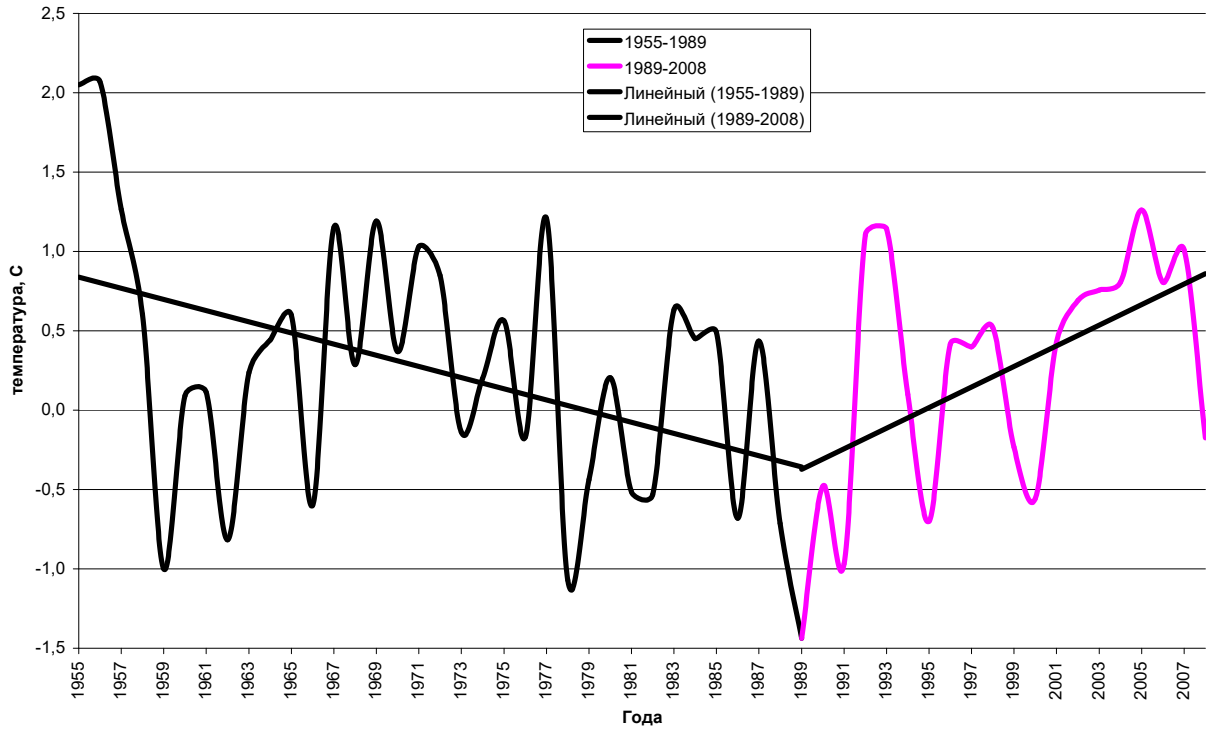


Рисунок 3.1 – Багаторічна мінливість середньорічних значень температури повітря (січень)

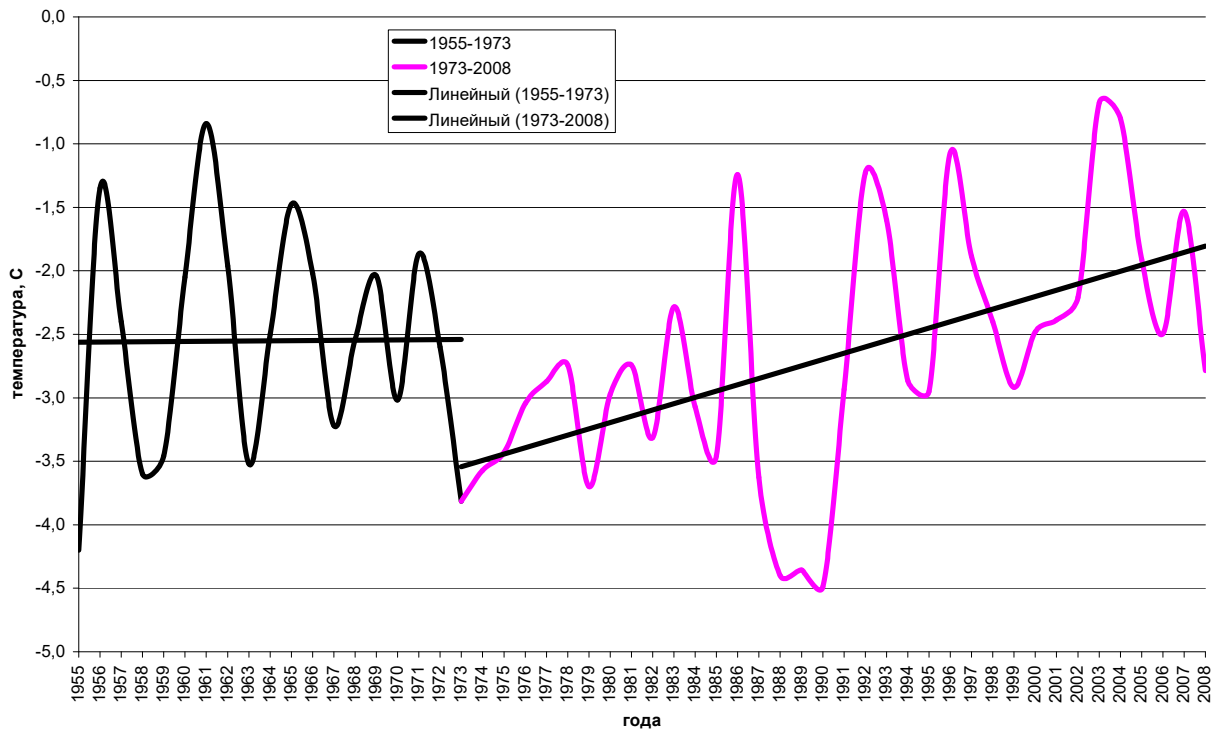


Рисунок 3.2 – Багаторічна мінливість середньорічних значень температури повітря (лютий)

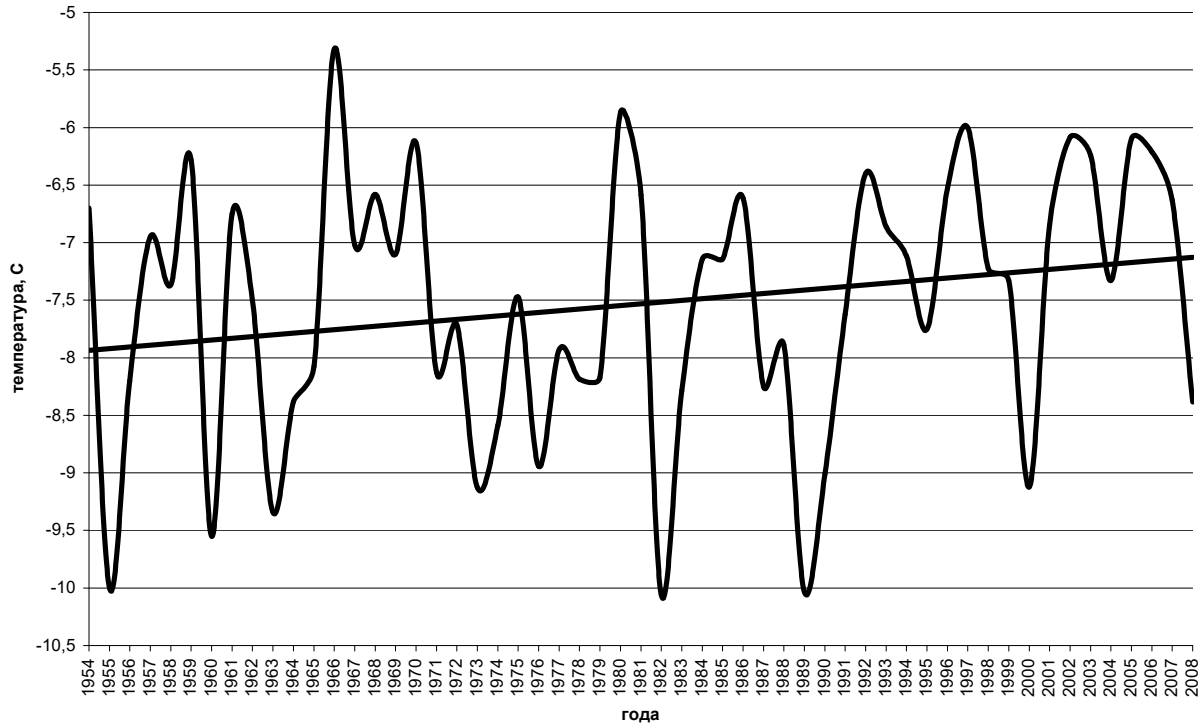


Рисунок 3.3 – Багаторічна мінливість середньорічних значень температури повітря (березень)

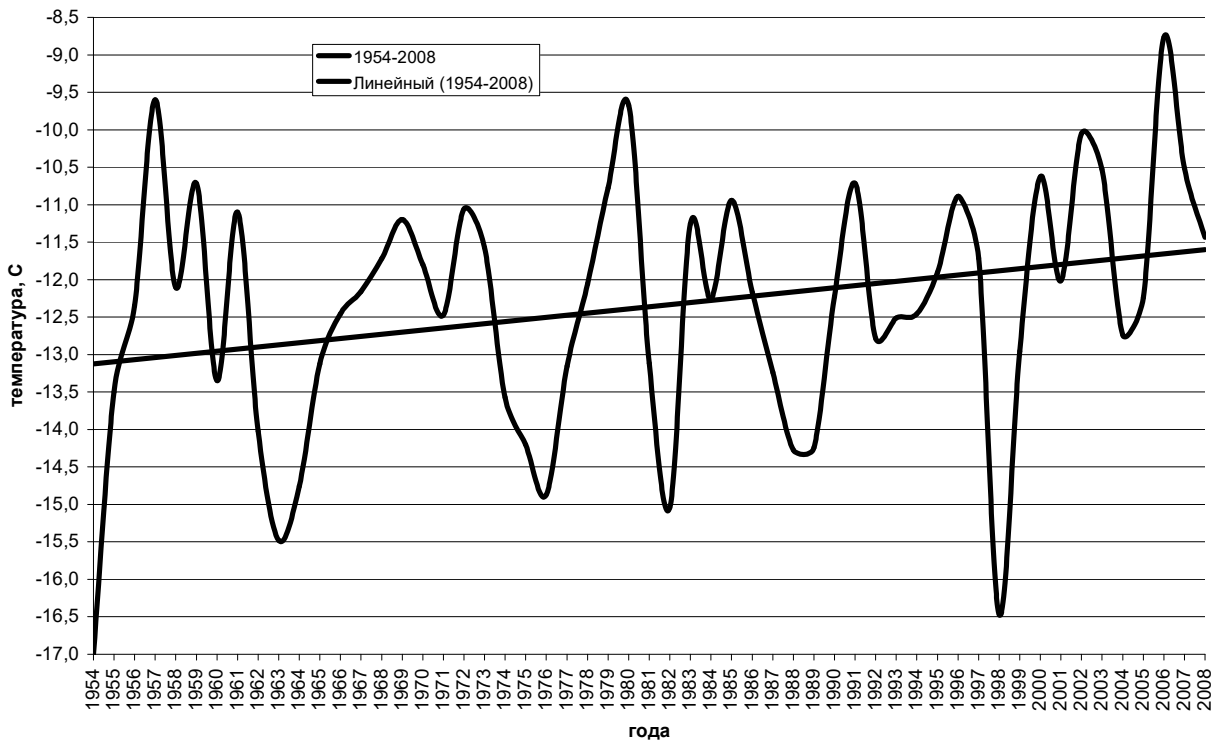


Рисунок 3.4 – Багаторічна мінливість середньорічних значень температури повітря (квітень)

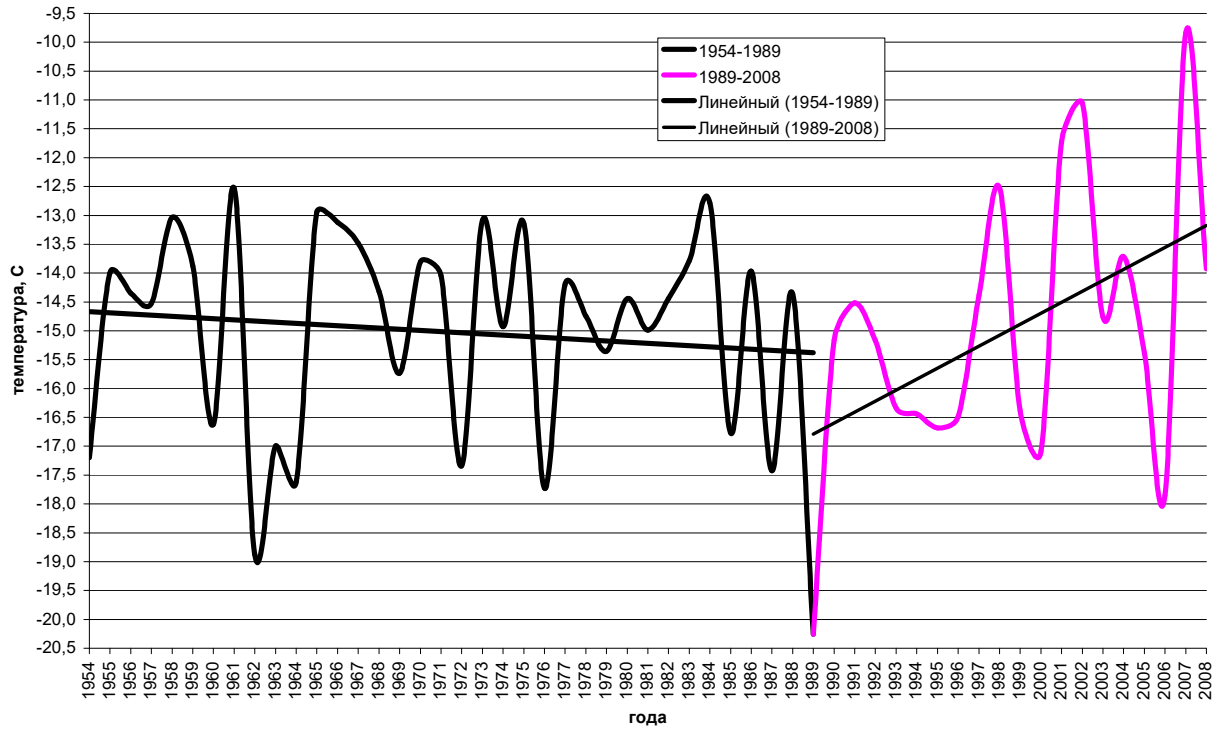


Рисунок 3.5 – Багаторічна мінливість середньорічних значень температури повітря (травень)

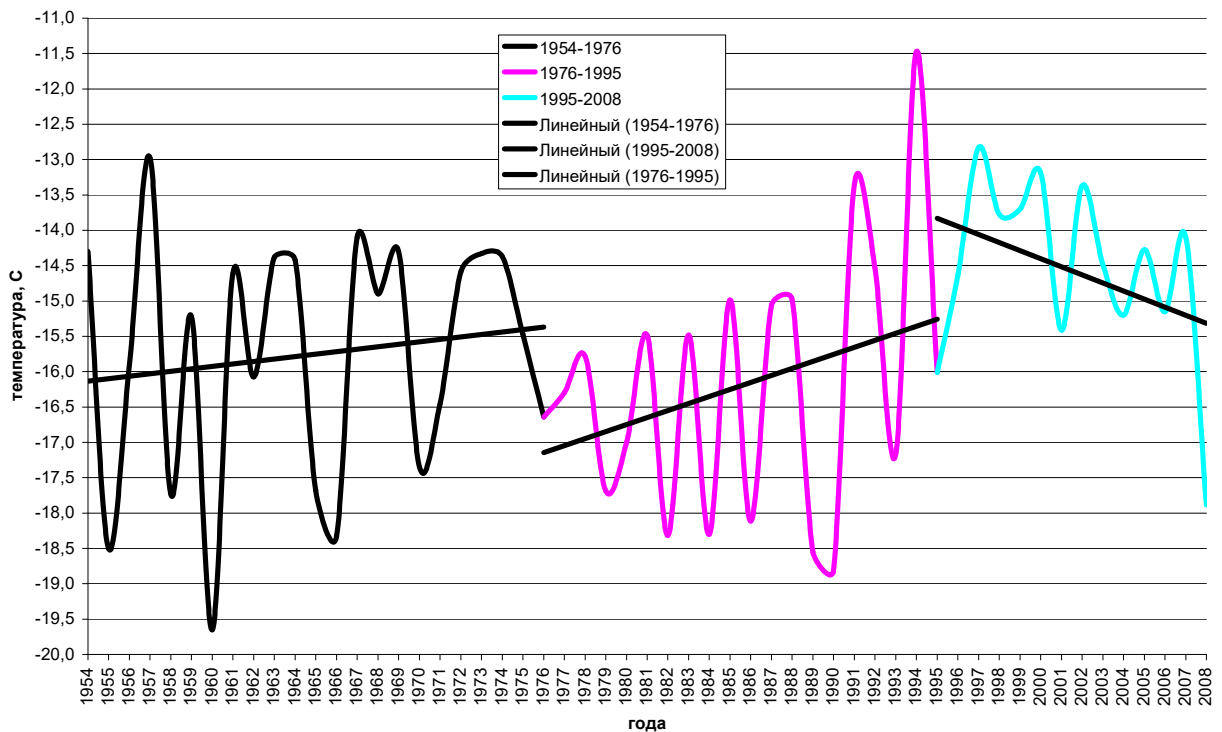


Рисунок 2.6 – Багаторічна мінливість середньорічних значень температури повітря (червень)

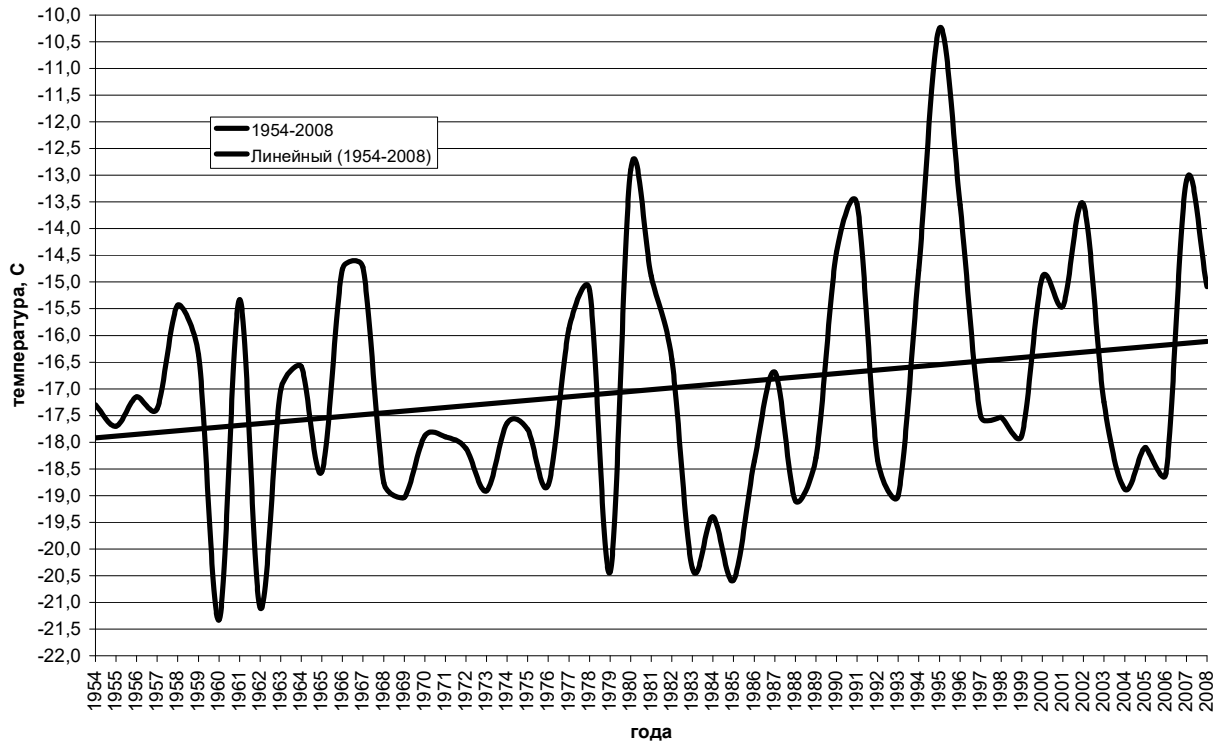


Рисунок 3.7 – Багаторічна мінливість середньорічних значень температури повітря (липень)

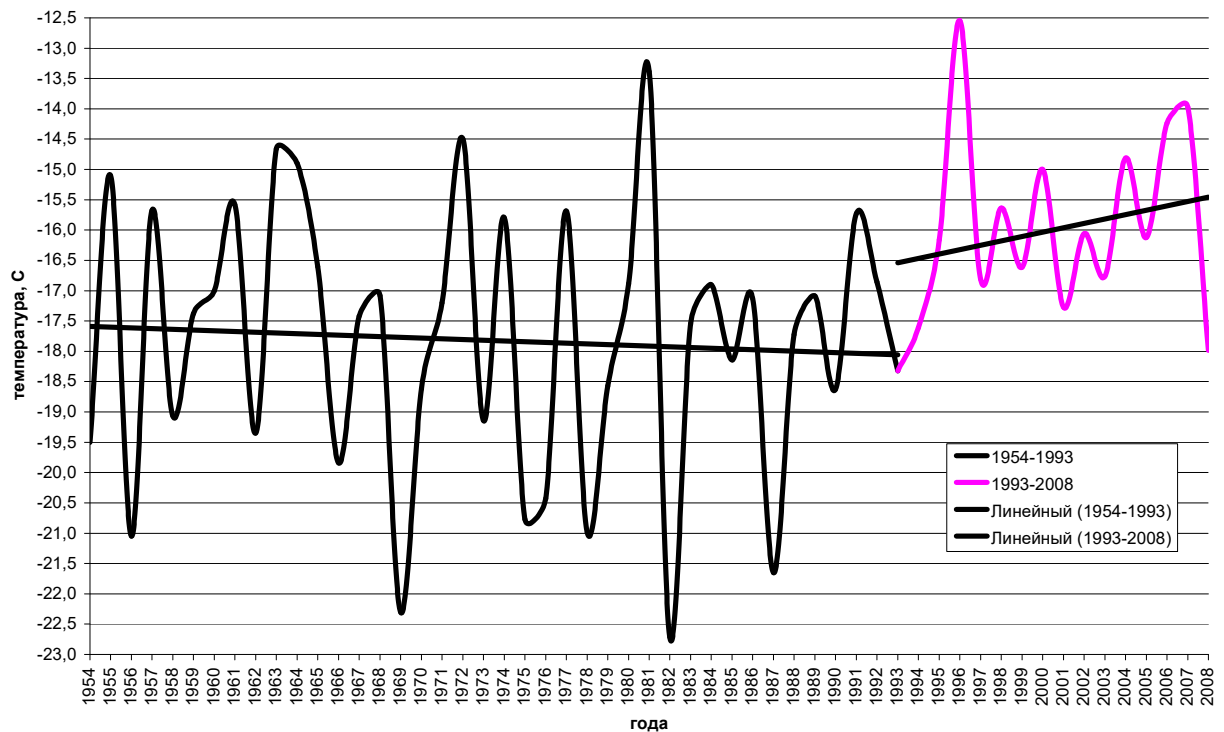


Рисунок 2.8 – Багаторічна мінливість середньорічних значень температури повітря (серпень)

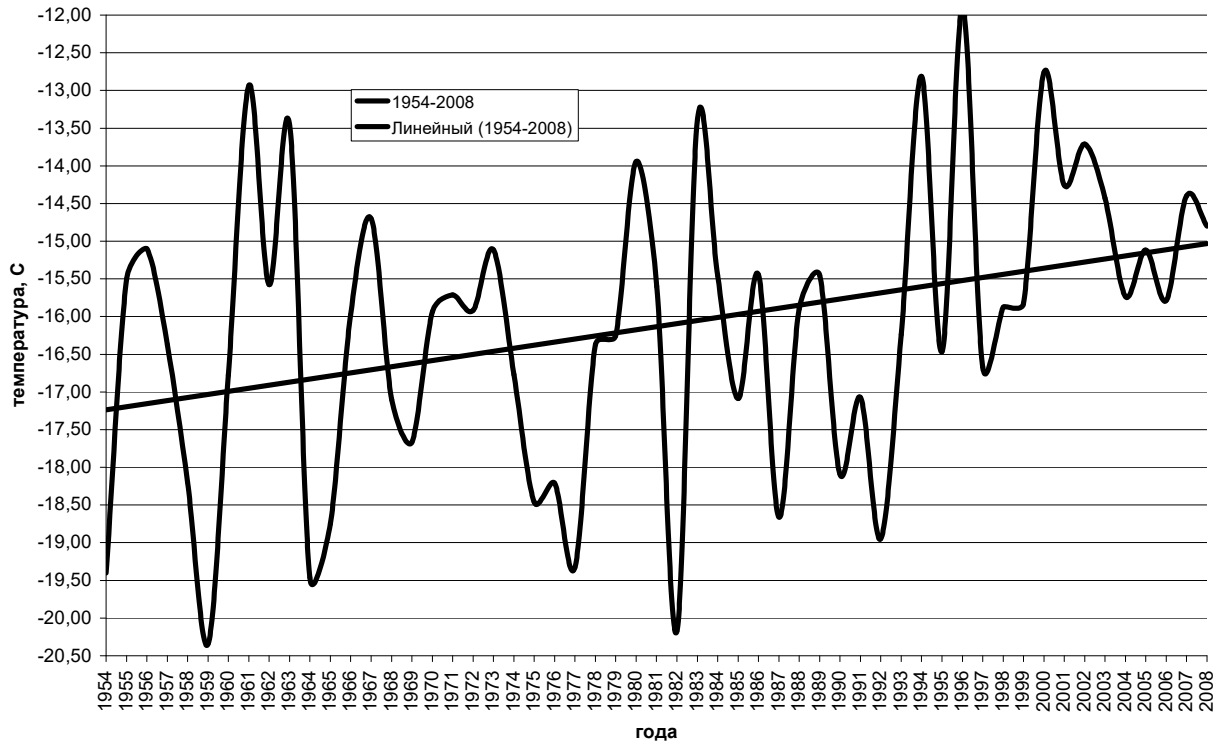


Рисунок 3.9 – Багаторічна мінливість середньорічних значень температури повітря (вересень)

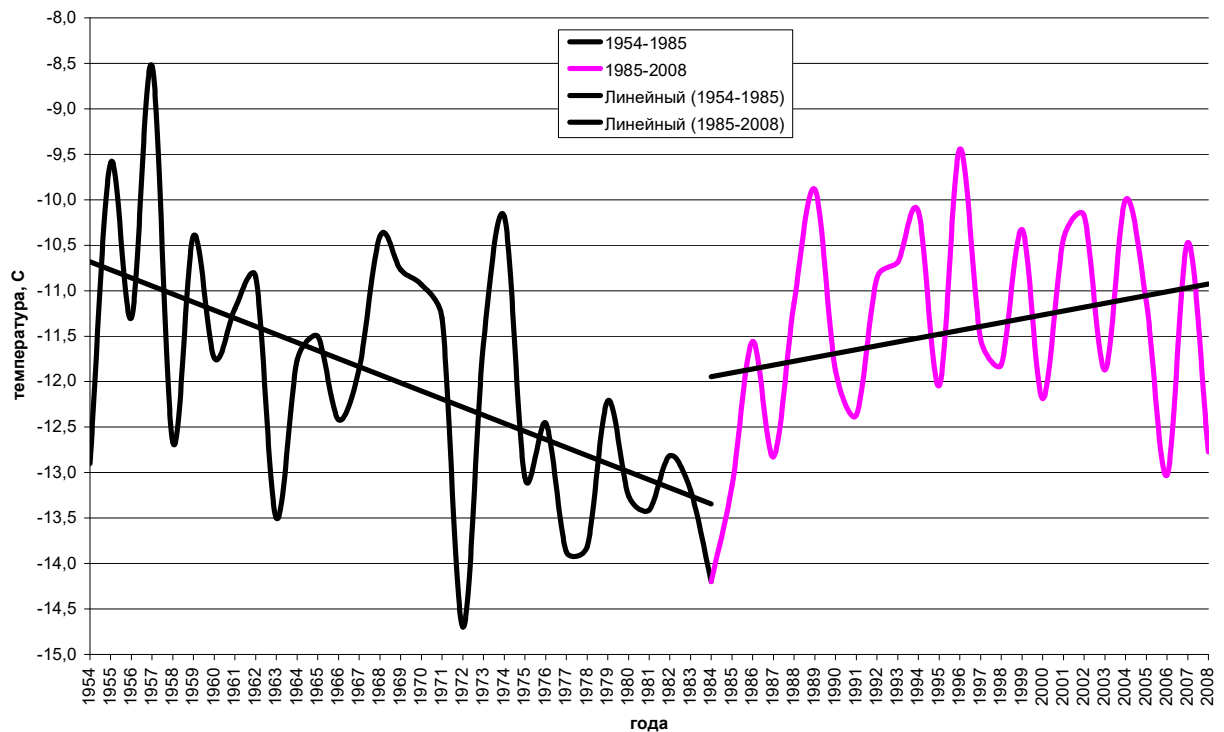


Рисунок 3.10 – Багаторічна мінливість середньорічних значень температури повітря (жовтень)

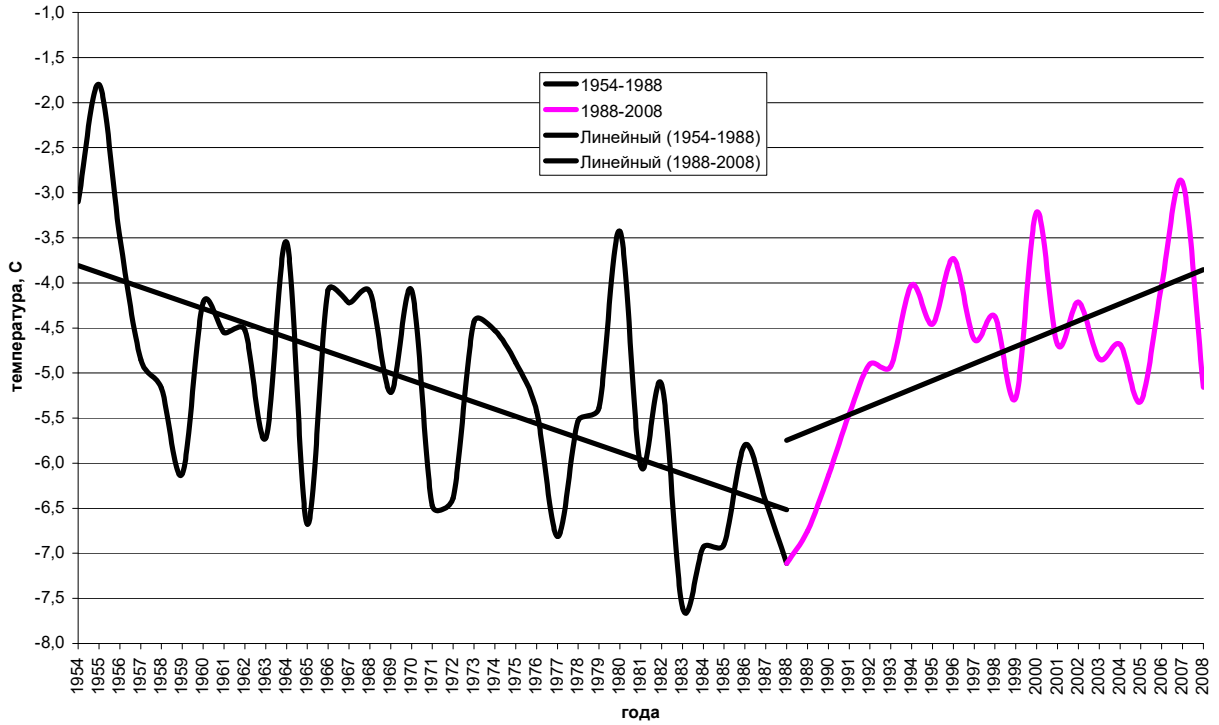


Рисунок 3.11 – Багаторічна мінливість середньорічних значень температури повітря (листопад)

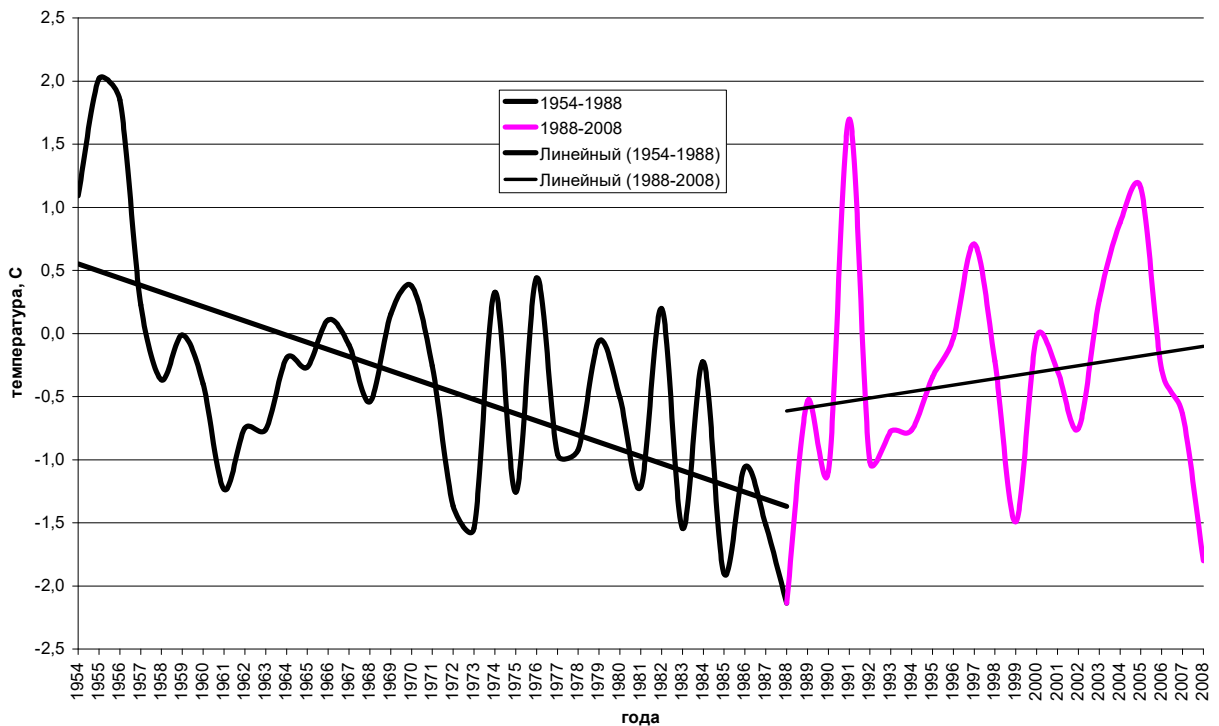


Рисунок 3.12 – Багаторічна мінливість середньорічних значень температури повітря (грудень)

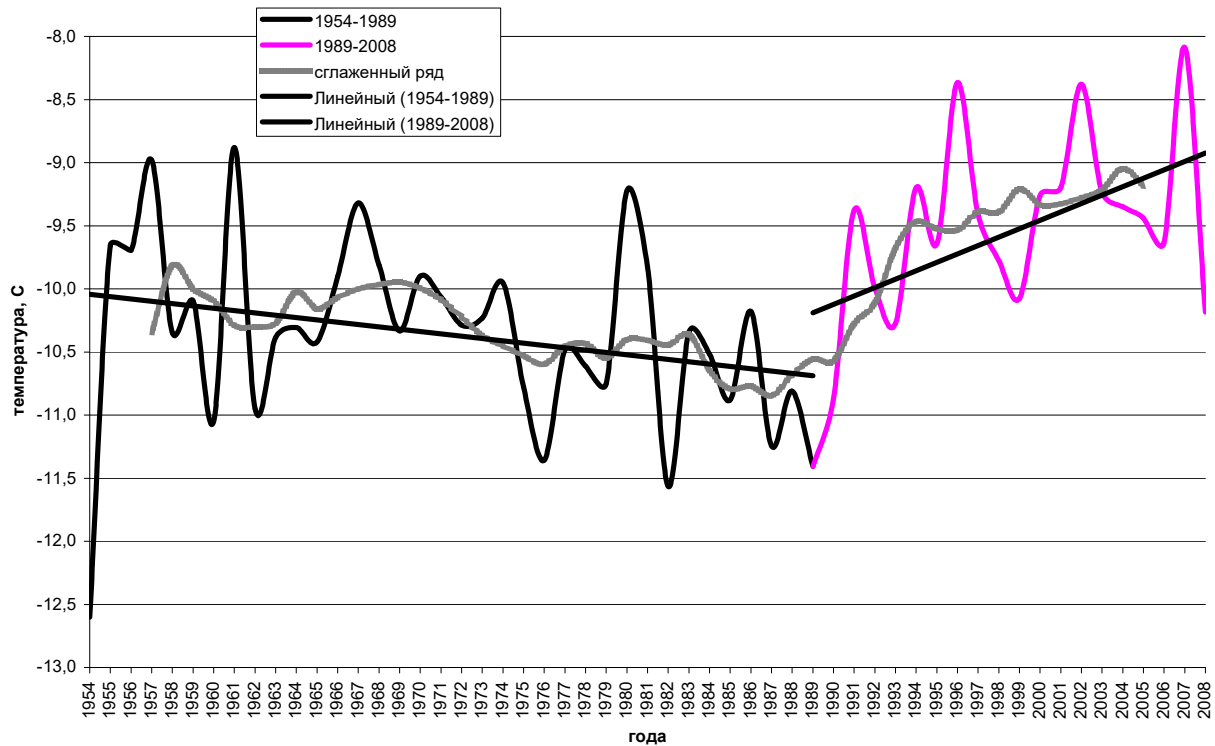


Рисунок 3.13 – Багаторічна мінливість середньорічних значень приземної температури повітря на узбережжі Східної Антарктиди

На рисунку 3.13 представлений графік міжрічної мінливості середньорічних значень приземної температури повітря на узбережжі Східної Антарктиди.

Весь даний ряд не можна описувати лінійним трендом, поділимо ряд на два часових періоди з 1954 по 1988 роки, ряд характеризується падінням температури $-0,7^{\circ}\text{C}$; а з 1989 по 2008 рік – зростанням температури $2,3^{\circ}\text{C}$. Згладжений ряд був побудований з використанням виявлених прихованих періодів коливань даного ряду [8].

Далі проведемо дослідження по всім станціям Східного узбережжя окремо для кожної станції.

3.2 Порівняльний аналіз температурних характеристик станцій Східної Антарктиди

Всі середньомісячні, середньорічні багаторічні дані аналізувалися для виявлення прихованих періодичностей. Результати цього аналізу використовувалися при згладженні осереднених рядів приземної температури повітря.

Виявлення прихованих періодичностей проводилося з використанням програми SKR, яка виявляє значущі періоди коливань досліджуваного ряду з вірогідністю 68%. Виявлення прихованих періодичностей було проведене для кожної станції окремо, оскільки усереднений ряд не може достовірно характеризувати окремо взятий район Антарктичного узбережжя (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Значущі періоди коливань приземної температури повітря станцій східного узбережжя Антарктиди

№	Станції	Значущі періоди коливань
1	Novolazarevskaya	2,6
2	Asuka	1,6
3	Syowa	3,4 / 1,8
4	Mawson	3,5 / 2,4
5	Progress	1,8
6	Zhongshan	1,8
7	Davis	5,6 / 3,6
8	Mirny	2,1
9	Casey	2,8
10	Dumont Durville	3,4 / 2,7 / 2,2 / 1,8
11	Leningradskaja	2,9 / 2,5 2,1 / 1,8

Значущі періоди коливань, які найчастіше зустрічаються, представлені у вигляді гістограми і полігону (рис. 3.14).

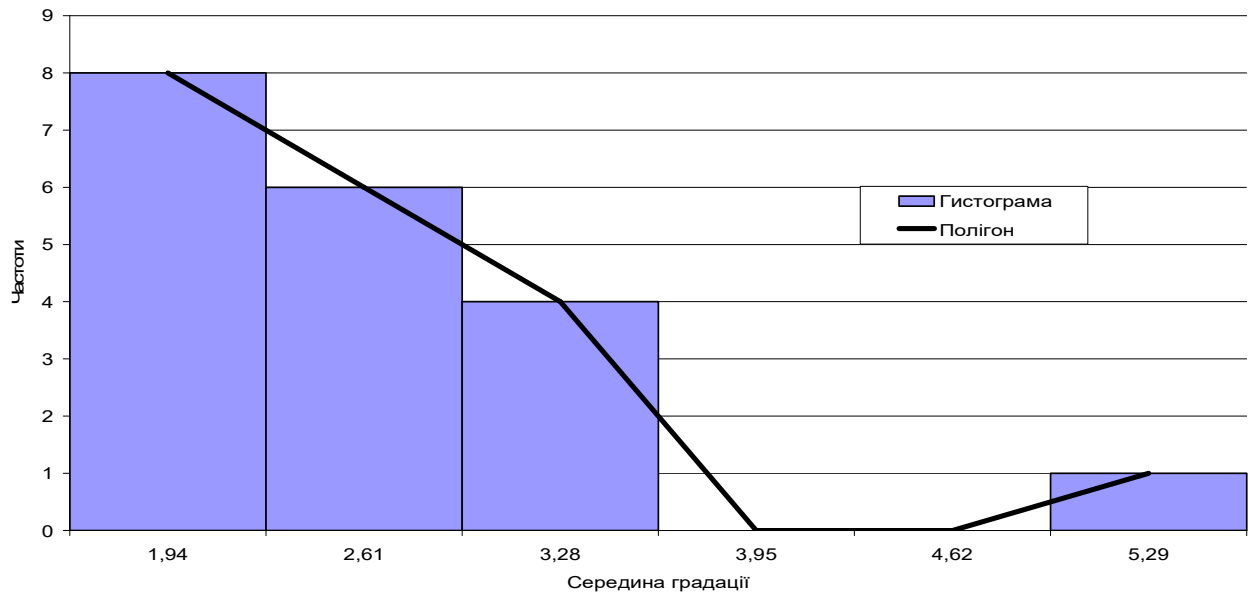


Рисунок 3.14 – Гістограма і полігон значущих періодів коливань приземної температури повітря на станціях Східної Антарктиди

Гістограма свідчать, що для Східного узбережжя найбільш характерні 2 і 3-річні періоди коливань, також зустрічаються квазі п'ятирічні коливання. Як відомо, явище Ель-Ніньо – Південне коливання (ЕПДК) представляє найбільший і найважливіший сигнал в міжрічній кліматичній мінливості в системі океан-атмосфера, спостерігається регулярно, кожні 2 – 7 років, наслідки ЕПДК виявляються у вигляді значущих кліматичних аномалій в різних районах земної кулі. Таким чином, можна зробити попередні висновки, що температурний режим станцій східного узбережжя Антарктиди непогано відкликається на Південне коливання, але це вимагає подальших досліджень.

Проведемо порівняльний аналіз багаторічних змін приземної температури повітря на Східному узбережжі Антарктиди для кожного місяця року. Для цього, за даними багаторічних досліджень були розраховані кількісні характеристики трендів приземної температури повітря, результати розрахунків представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Значення трендів кожного місяця року для станцій Східного узбережжя Антарктиди

Місяць	Величина тренду
Січень	-0,2
Лютий	0,6
Березень	0,7
Квітень	1,5
Травень	0,4
Червень	1,4
Липень	1,8
Серпень	2,0
Вересень	2,2
Жовтень	0,2
Листопад	-0,3
Грудень	-0,5

Жирним шрифтом відмічені значення максимального зростання приземної температури повітря. Аналіз отриманих результатів показав, що на східному узбережжі Антарктиди спостерігається наступна динаміка приземної температури повітря: максимальне зростання температури спостерігається в період антарктичної зими (липень – 1,8⁰С, серпень – 2,0⁰С, вересень – 2,2⁰С), а в період антарктичного літа – навпаки фіксуються від’ємні значення трендів. Максимальне зниження температури фіксується в грудні (-0,5 С).

Далі для кожної досліджуваної станції були виявлені основні тенденції динаміки термічного режиму приземної температури повітря прибережних станцій східного узбережжя Антарктиди (таблиця 3.4) [8].

Тенденції, розраховані для станцій Східної Антарктиди, свідчать про плямистість в розподілі зростання і падіння температури на узбережжі. Максимум на Східному узбережжі – станція Dumont_Durville (1,4⁰); мінімум – станція Progress (-4,7⁰). По всьому материку можна виділити періоди стійкого зростання і падіння температури повітря: нанесемо отримані данні на карту Антарктиди (рис. 3.15) [8].

Таблиця 3.4 – Значення максимумів і мінімумів, трендова складова приземної температури повітря ($^{\circ}\text{C}$)

Станції	X	min	max	Значення тренда
Східна Антарктида				
Novolazarevskaya	-9,5	-11,2 2006	-8,1 2002	0,7
Asuka	-18,0	-19 1987	-17,3 1990	0,7
Syowa	-9,7	-11,4 1973	-7,5 1977	0,9
Mawson	-10,3	-12,6 1954	-8,6 1961	-0,2
Progress	-4,5	-10,3 2003	1,0 1990	-4,7
Davis	-10,2	-12,7 1969	-8,2 1991	1,0
Mirny	10	-12,4 1999	-7,5 1960	-0,7
Casey	-9,1	-11,1 1969	-6,7 1980	0,8
Dumont_Durville	-4,8	-7,6 1990	-2,1 1989	1,4
Leningradskaja	-12,1	-16,1 1976	-13,6 1981	0,3

Як бачимо, зростання температури повітря спостерігається в зонах відкритих вітрам, які знаходяться під впливом різних гілок переміщення циклонів; так станції Novolazarevskaya, Asuka, Syowa, на яких відмічаються додатні значення трендів знаходяться під впливом Південно-Африканської та Південно-Американської гілок циклонів, станції Casey, Dumont_Durville, Leningradskaja – під впливом Західно-Австралійської та Тасманської гілок (рис. 3.16). Що стосується падіння температури повітря, то всі ці станції

знаходяться в зоні шельфового льоду (Progress), або на станціях, які знаходяться в зоні стічних вітрів (Mawson, Mirny) [8].

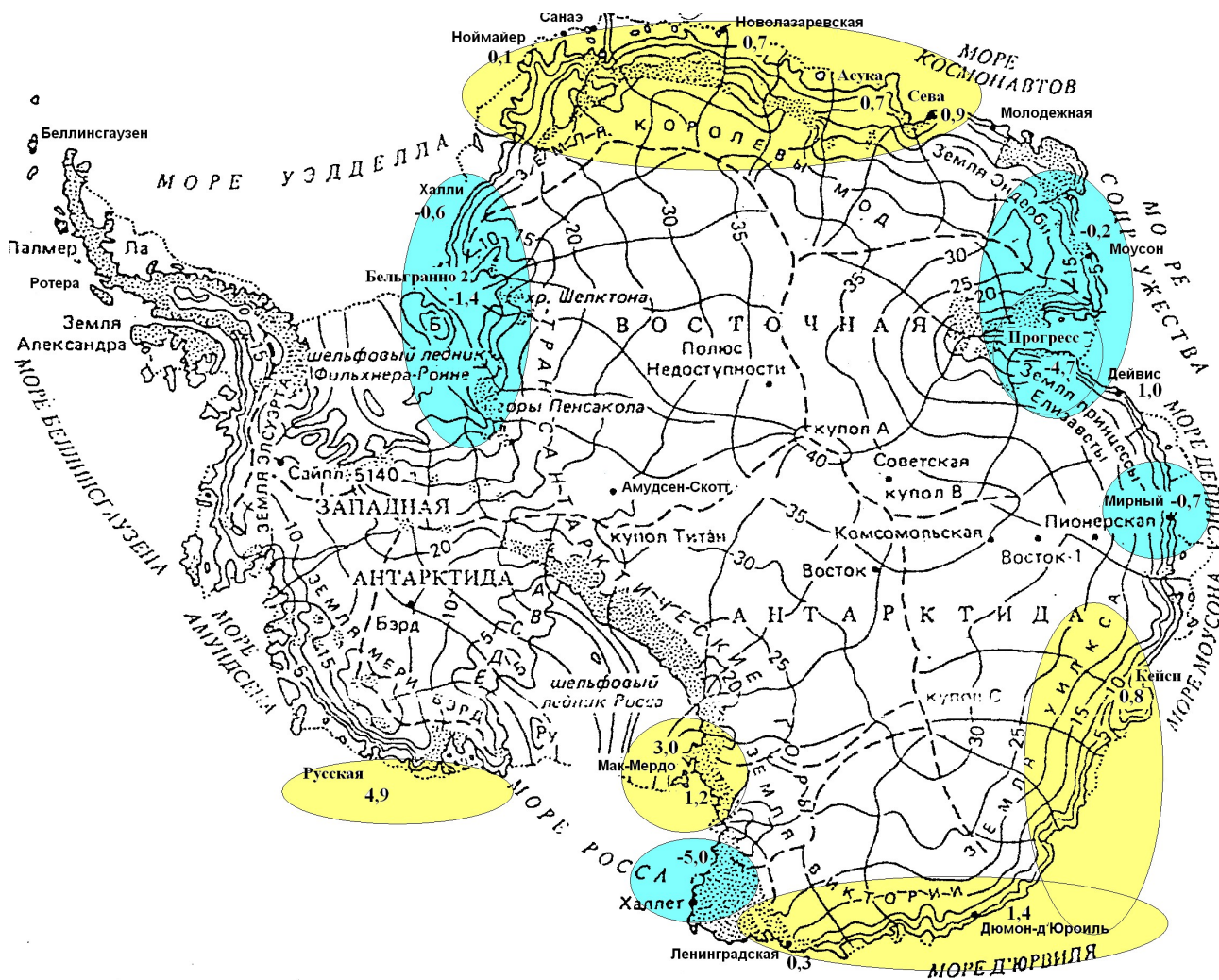


Рисунок 3.15 – Плямистий характер розповсюдження зон збільшення та зменшення приземної температури повітря

Далі необхідно дослідити окремо кожну виявлену пляму, як з додатними, так і з від’ємними тенденціями. Провести кореляційний аналіз з одним з індексів глобальної циркуляції атмосфери.

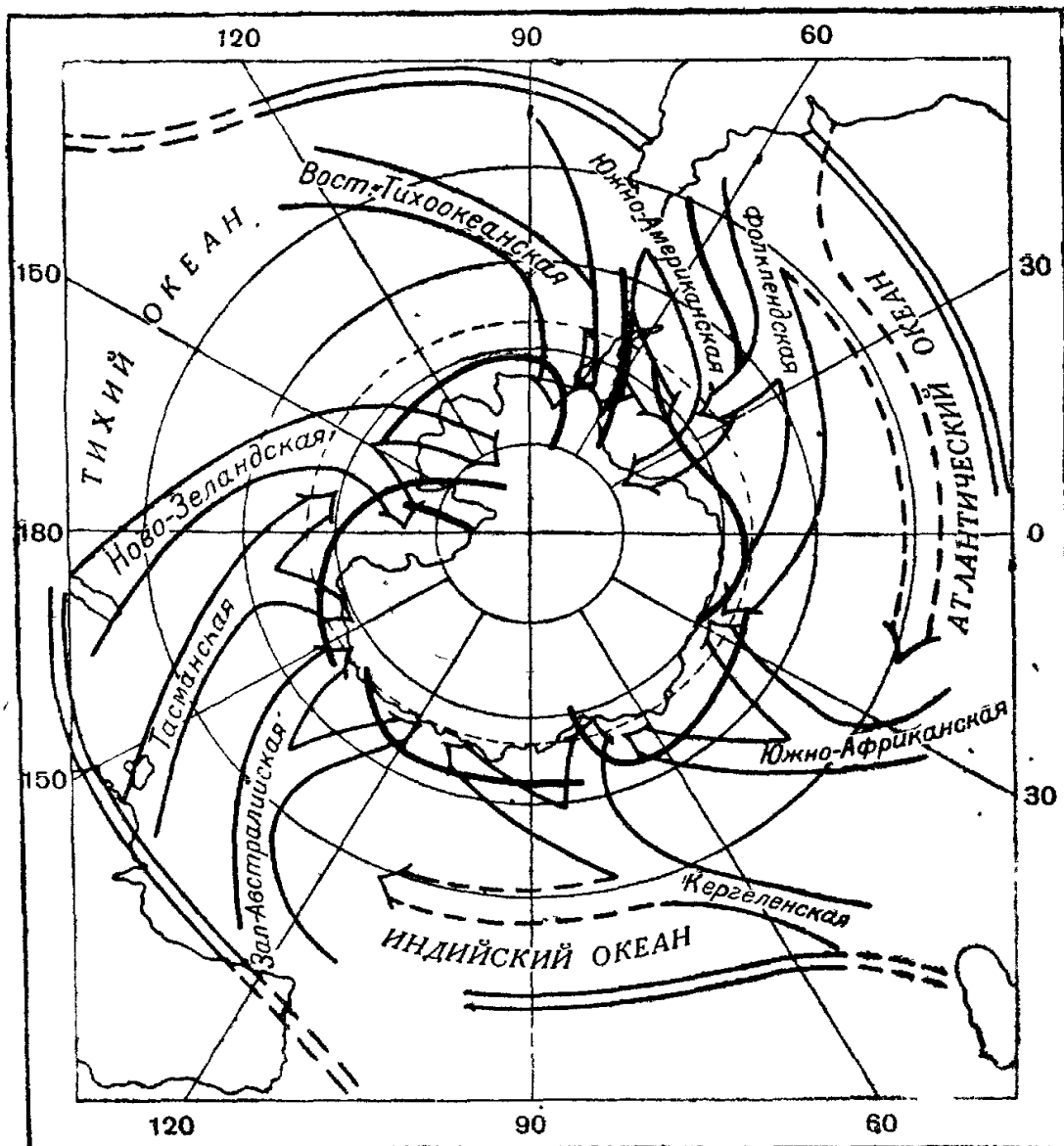


Рисунок 3.16 – Шляхи переміщення циклонів (зимовий період) в Антарктиці (за П.Д. Астапенко)

3.3 Десятирічні зміни приземної температури повітря прибережних станцій Східної Антарктиди

Проведемо аналіз десятирічних змін приземної температури повітря на досліджуваних станціях Східної Антарктиди. Залежно від об'єму вибірки, ми

отримали для дослідження по кожній станції різне число десятирічних періодів. Більшість станцій має досить довгі ряди даних, які цікавлять нас, і до них може бути застосований даний метод статистичного аналізу.

Для визначення динаміки приземної температури повітря були розраховані середні значення середньомісячних температур за десятирічні періоди. Розподіл на десятирічні періоди проводився по всіх місяцях року, відлік починався довільно – з року, що закінчується на нуль (1960, 1970, і т.д.). В даному розділі будуть представлені станції, чий температурний ряд налічує два і більше десятиріччя.

Як вже зазначалося в розділі 1, завдяки своєрідному поєднанню географічних умов (перш за все великої висоти над рівнем моря і характеру рельєфу) з особливими умовами атмосферної циркуляції і радіаційними чинниками над територією Антарктиди формуються [10] три основні кліматичні зони:

- 1) внутрішньоматерикова високогірна кліматична зона;
- 2) кліматична зона льодовикового схилу;
- 3) прибережна кліматична зона, що включає також вивідні і шельфові льодовики, припай, прибережні острови і оазиси. В даній роботі виділимо додаткову зону – зону стокових вітрів, оскільки вона характеризується специфічними кліматичними характеристиками. Для кожної зони аналіз динаміки приземної температури повітря проводився, враховуючи широту станції.

В результаті розподілу ми розглядатимемо зони (табл. 3.5):

- зона льодовикового схилу (Leningradskaia);
- зона стічних вітрів (Novolazarevskaya, Mawson і Mirny);
- берегова зона Антарктиди, це станції (Casey, Dumont Durville, Davis і Syowa);
- зона шельфового льоду (Zhong Shan);

Таблиця 3.5 – Зони Східного узбережжя Антарктиди

Назва станції	висота над рівнем моря	географічні координати	
		широта	широта
Зона льодовикового схилу			
Leningradskaја	304 м	69,5 пд.ш.	159,4 сх.д.
Зона стічних вітрів			
Mirny	30 м	66,5 пд.ш.	93,0 сх.д.
Mawson	16 м	67,6 пд.ш.	62,9 в.д.
Novolazarevskaya	119 м	70,8 пд.ш.	11,8 сх.д.
Берегова зона			
Casey	42 м	66,3 пд.ш.	110,5 сх.д.
Dumont Durville	43 м	66,7 пд.ш.	140,0 сх.д.
Davis	13 м	68,6 пд.ш.	78,0 сх.д.
Syowa	21 м	69,0 пд.ш.	39,6 сх.д.
Зона шельфового льоду			
Zhong Shan	18 м	69,4 пд.ш.	76,4 сх.д.

3.3.1 Зона льодовикового схилу

Зі всієї нашої вибірки досліджуваних станцій в дану зону потрапила тільки станція Leningradskaја (рис. 3.17). Станція була представлена вибіркою, що складається з двох десятиріч, як бачимо, в період з 1971 по 1989рр. Практично у всі місяці року спостерігається збільшення середньої десятирічної приземної температури повітря.

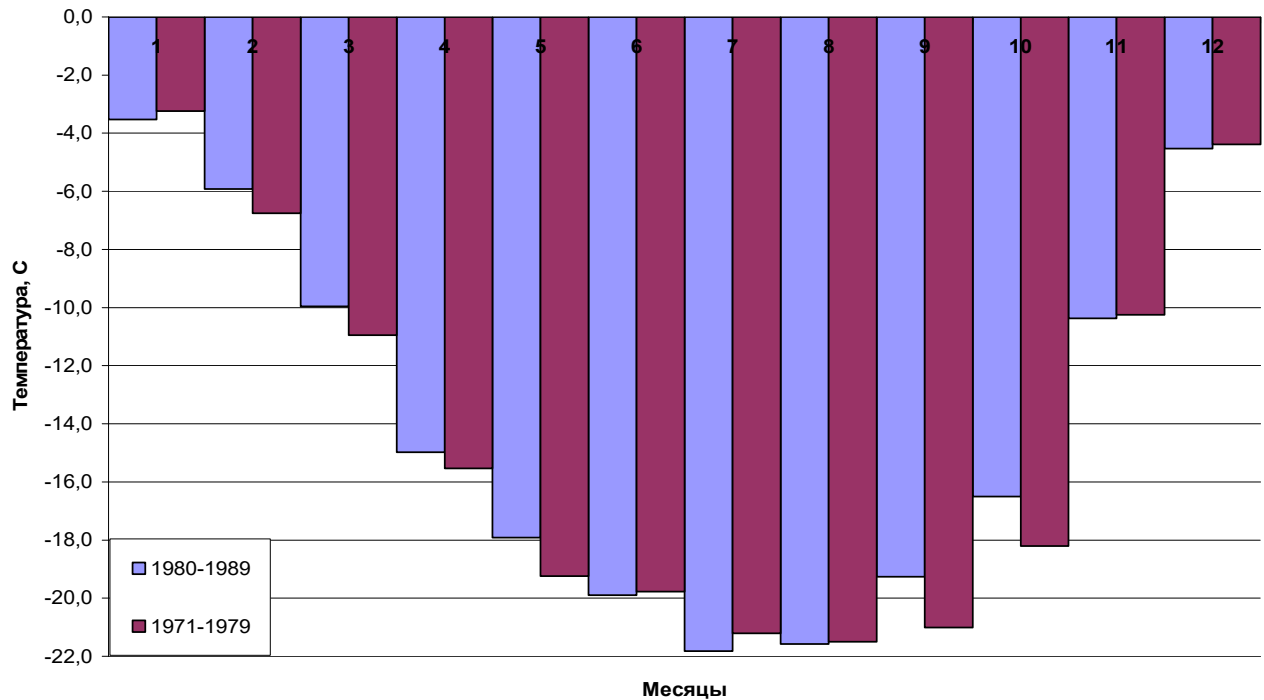


Рисунок 3.17 – Діаграма десятирічної зміни приземної температури повітря на станції Leningradskaja

3.3.2 Зона стокових вітрів

Найсудорішими з кліматичної точки зору є райони узбережжя, що підвернені впливу стокових вітрів. Зазначимо, що навіть середньорічні швидкості вітру в цих районах складають 12-15 м/с і більше. Максимальні швидкості вітру можуть перевищують 60 м/с. Кількість днів зі штормами тут перевищує 250 днів. А ураган спостерігається більше 30 днів на рік. Повітря через адіабатичне нагрівання під час стоку в цих районах дуже сухе, тому режим вологості вкрай близький до пустельного [10].

Клімат цих районів Антарктиди можна описати як клімат холодних крижаних пустель з дуже частими та сильними завірюхами, штормовими і ураганними вітрами. В той же час, клімат районів Антарктиди, що знаходяться

зовні впливу стокових вітрів, є більш м'яким та вологим. В цих районах випадають найбільші (для досліджуваного регіону) кількості опадів – до 700 мм і більше; досить часто спостерігається відлига, повітря вологе. Сильні вітри тут пов'язані з проходженням циклонів, тому не дивно, що їх середньорічна швидкість трохи більше, ніж в глибині континенту (5-7 м/с.).

Місцевий клімат так званих Антарктичних оазисів відрізняється деякими особливостями. Влітку в цих районах внаслідок нагрівання підстильної поверхні максимальні температури можуть досягати на поверхні ґрунту $+30^{\circ}\text{C}$, а температури повітря піднімаються до $4-10^{\circ}\text{C}$. Повітря вкрай сухе – як в справжніх пустелях. Влітку добре виражена місцева циркуляція схилів. Зима в оазисі на $2-3^{\circ}$ «тепліша», ніж зовні. В дану зону потрапили три станції Mirny, Mawson і Novolazarevskaya (рис. 3.18–3.20). Станції Mirny, Mawson представлені вибіркою, що складається з п'яти десятиріч, станція Novolazarevskaya – чотирьох десятиріч.

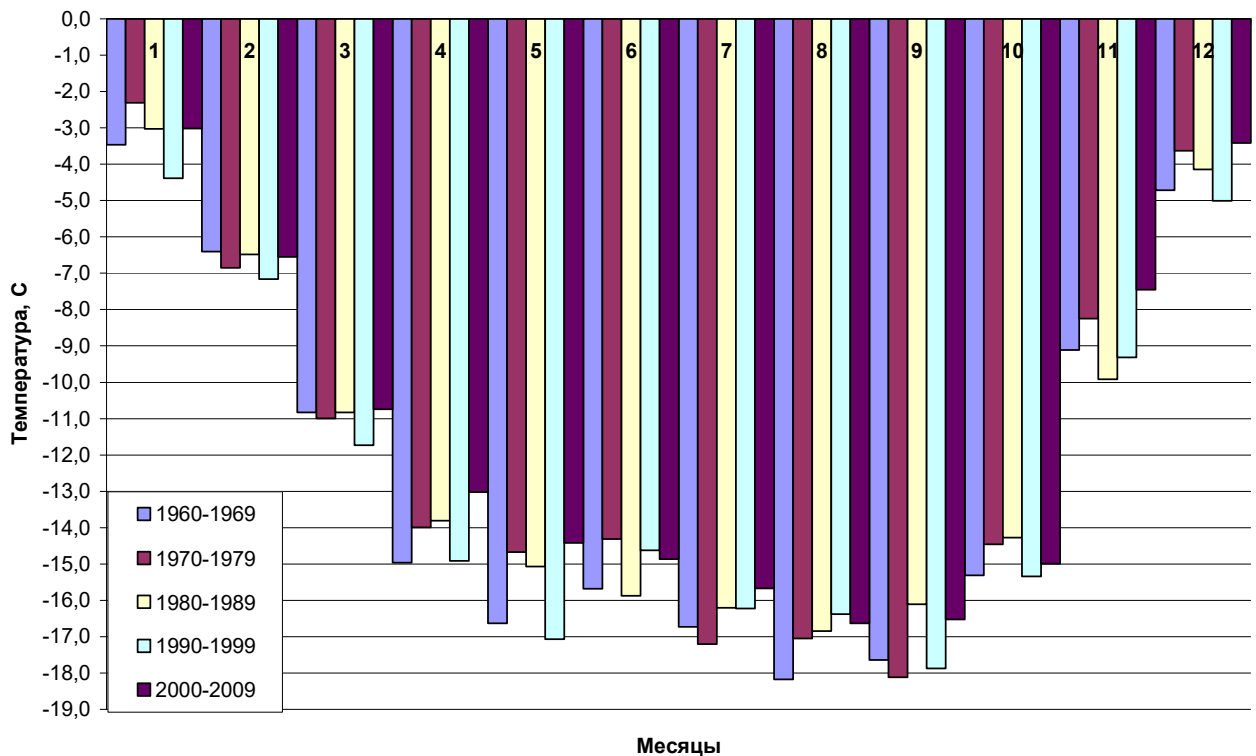


Рисунок 3.18 – Діаграма десятирічної зміни приземної температури повітря на станції Mirny

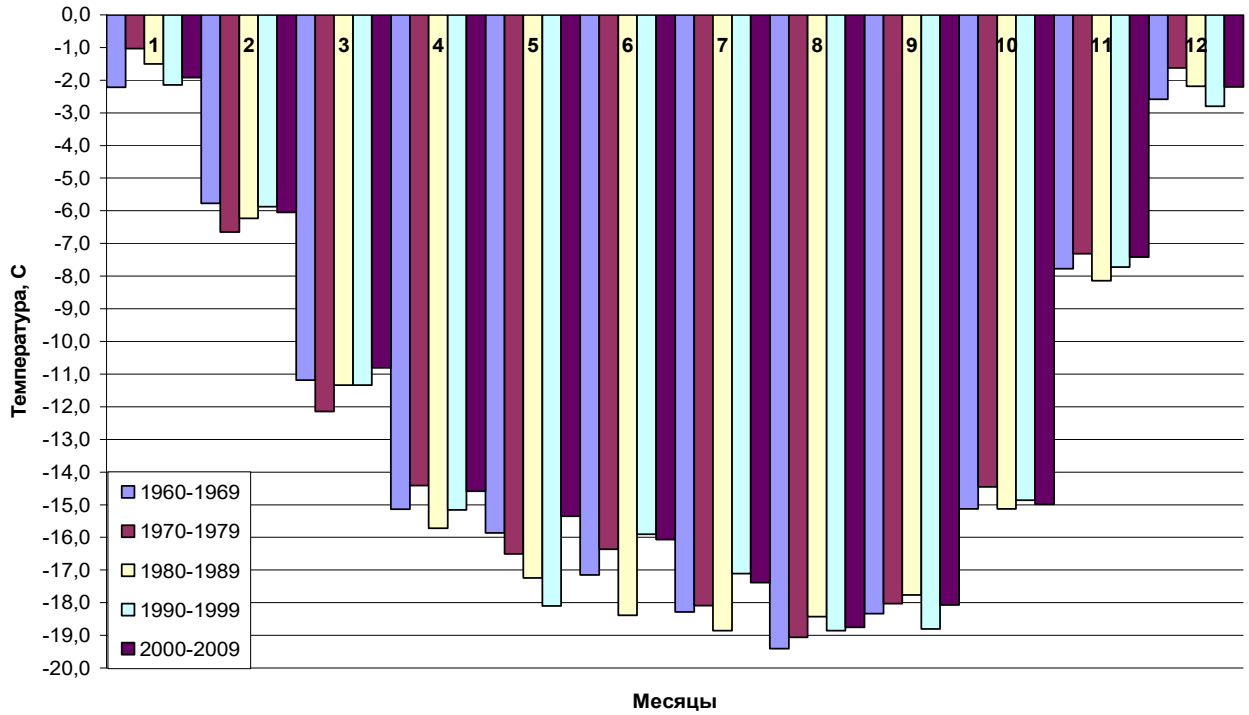


Рисунок 3.19 – Діаграма десятирічної зміни приземної температури повітря на станції Mawson

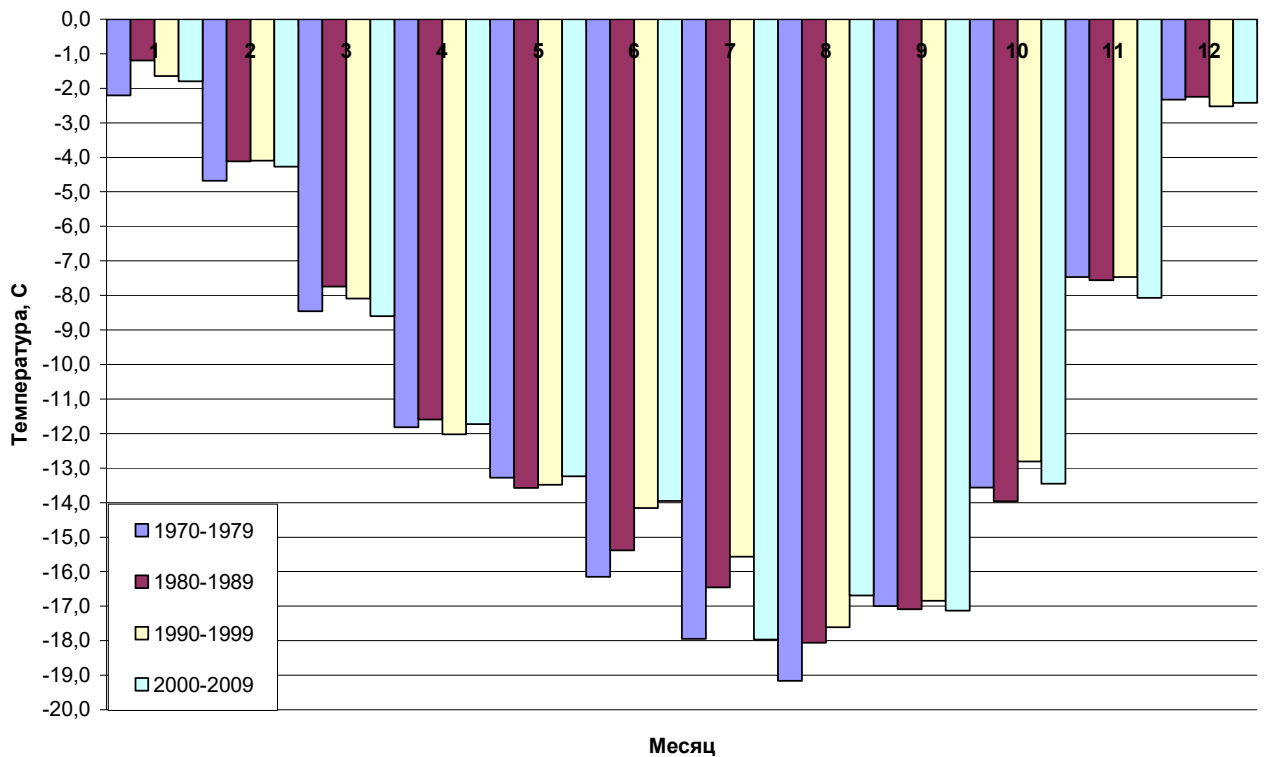


Рисунок 3.20 – Діаграма десятирічної зміни приземної температури повітря на станції Novolazarevskaya

Аналіз побудованих гістограм показав, що для станцій:

- 1) на станції Mirny найнижчими середніми десятирічними температурами приземного повітря характеризуються десятиріччя два десятиріччя: 1960-1969рр. та 1990-1999рр.
- 2) на станції Mawson найнижчими середніми десятирічними температурами приземного повітря характеризуються також два десятиріччя: 1960-1969рр. та 1990-1999рр.
- 3) на станції Novolazarevskaya найнижчими середніми десятирічними температурами приземного повітря характеризуються також два десятиріччя: 1970-1979рр. та 2000-2009рр.

3.3.3 Берегова зона Антарктиди

Температурний режим всієї зони приблизно однаковий. А саме, середньорічні приземні температури повітря складають приблизно від -10 – -11°C на широті полярного кола та -17 – -20°C і нижче на більш високих широтах. Середні температури зимового періоду коливаються відповідно від -18 , -20 до -25 , -35 і навіть -40°C , а середні температури повітря літніх місяців близькі до 0° . До цього району потрапили: станції Casey, Dumont Durville, Davis і Syowa (рис. 3.21-3.24). Станції Casey, Dumont Durville, Davis і Syowa були представлені вибіркою, що складається з п'яти десятиріч.

Аналіз побудованих гістограм дозволяє стверджувати, що мінімальні середньорічні температури приземного повітря фіксувалися на станції Davis фіксуються в 1970-1979 рр., а на станціях Dumont Durville, Casey та Syowa – у 1980-1989 рр.

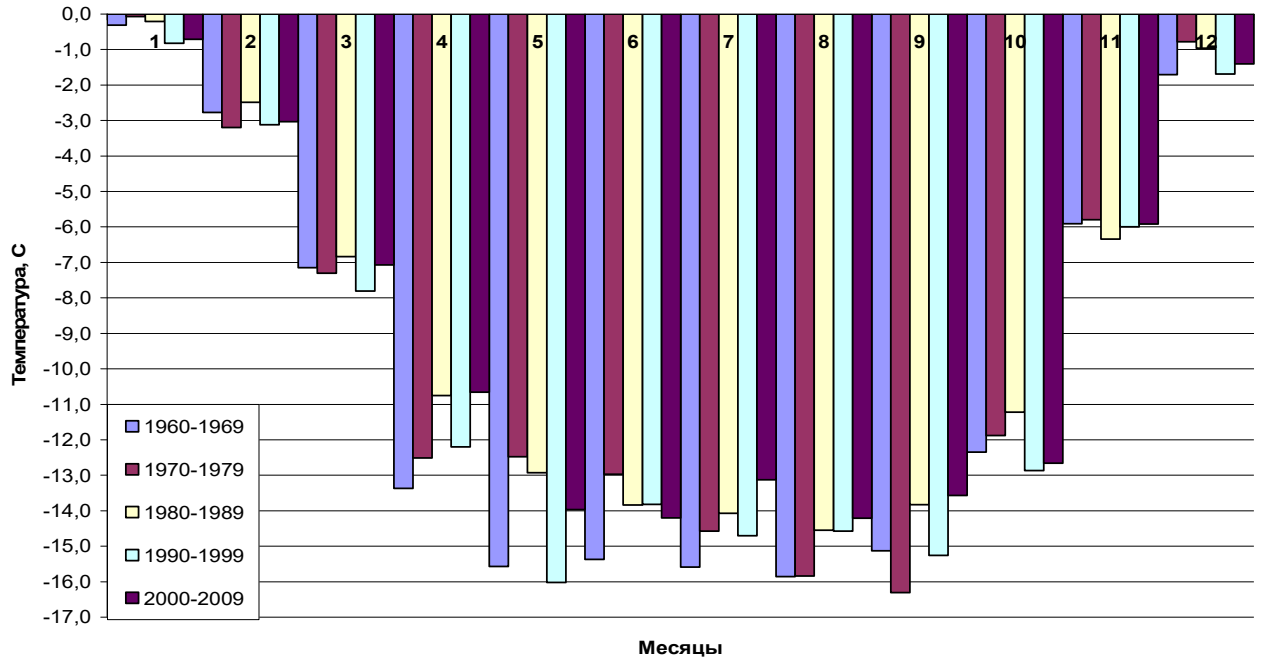


Рисунок 3.21 – Діаграма десятирічної зміни приземної температури повітря на станції Casey

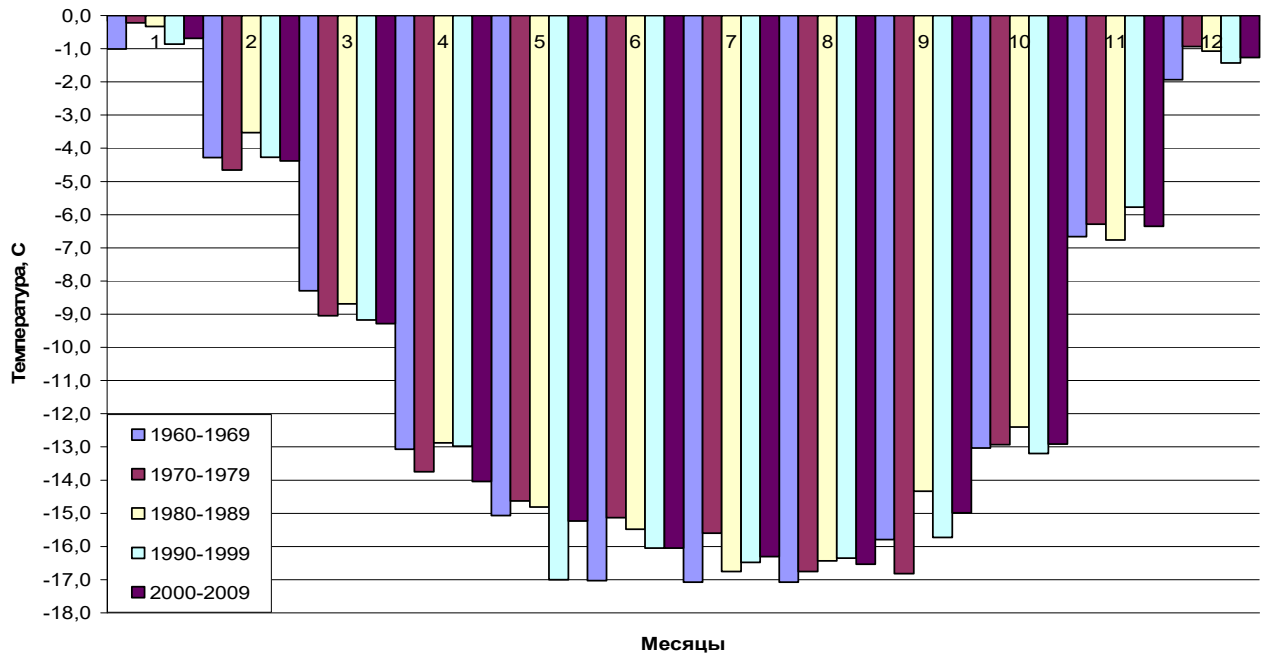


Рисунок 3.22 – Діаграма десятирічної зміни приземної температури повітря на станції Dumont Durville

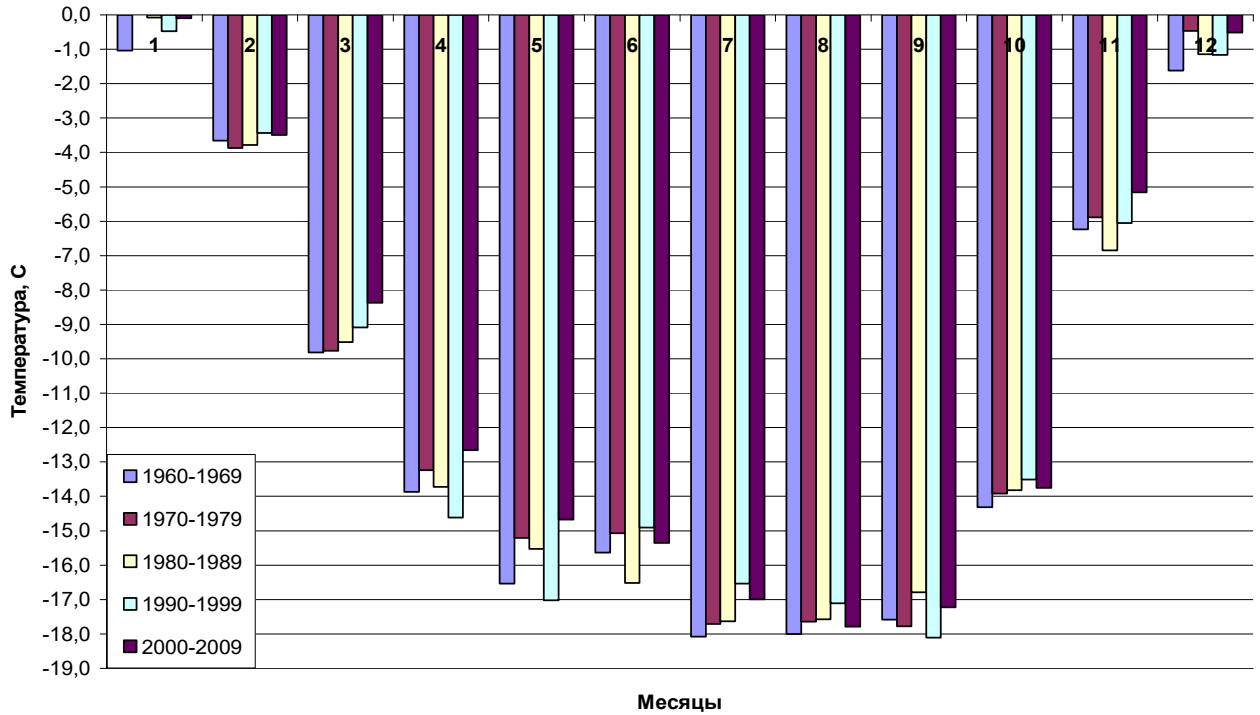


Рисунок 3.23 – Діаграма десятирічної зміни приземної температури повітря на станції Davis

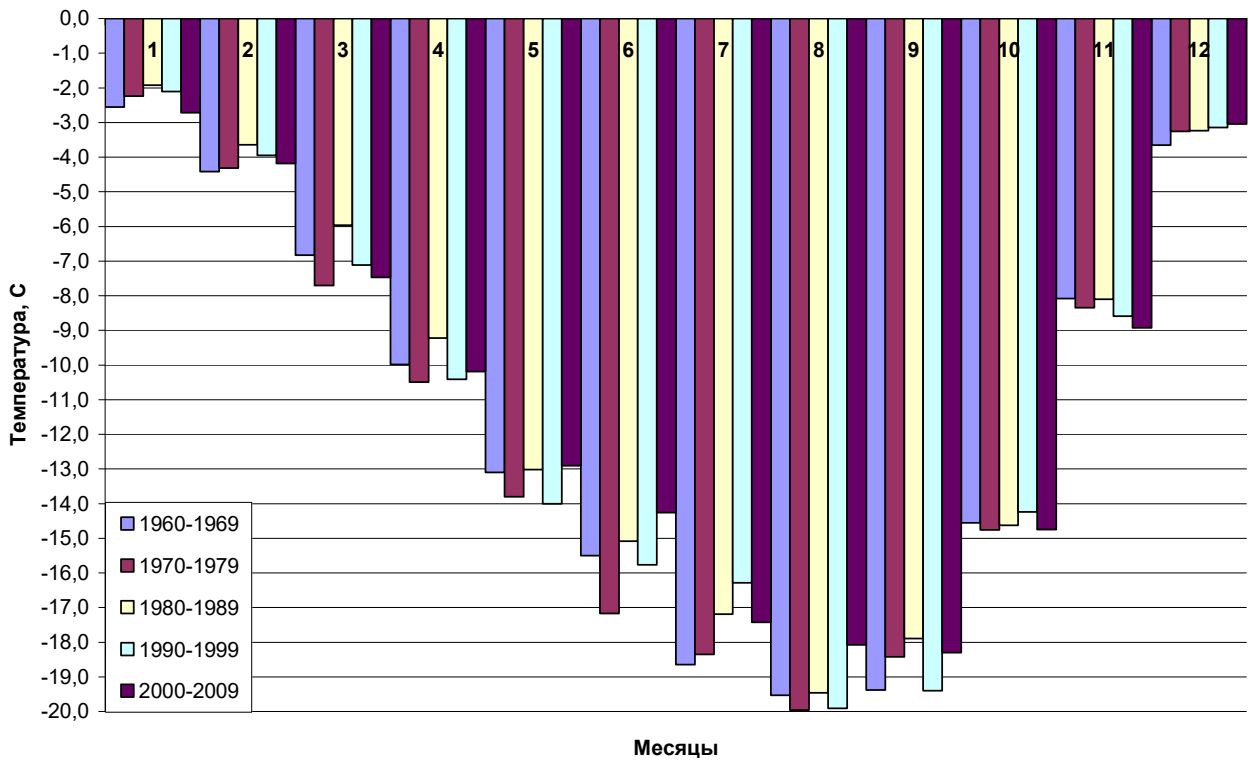


Рисунок 3.24 – Діаграма десятирічної зміни приземної температури повітря на станції Syowa

3.3.4 Зона шельфового льоду

Температурний режим цієї зони обумовлений процесами акумуляції та абляції. Температури приземного повітря в великій мірі залежать від температури поверхні льодовика і складають приблизно $-17, -20^{\circ}\text{C}$ і нижче для більш широт $72-75^{\circ}\text{пд.ш.}$, зі зростанням широти температура повітря суттєво зменшується. В дану зону потрапила станція Zhong Shan (рис. 3.25). Ця станція представлена вибіркою з двох десятиріч.

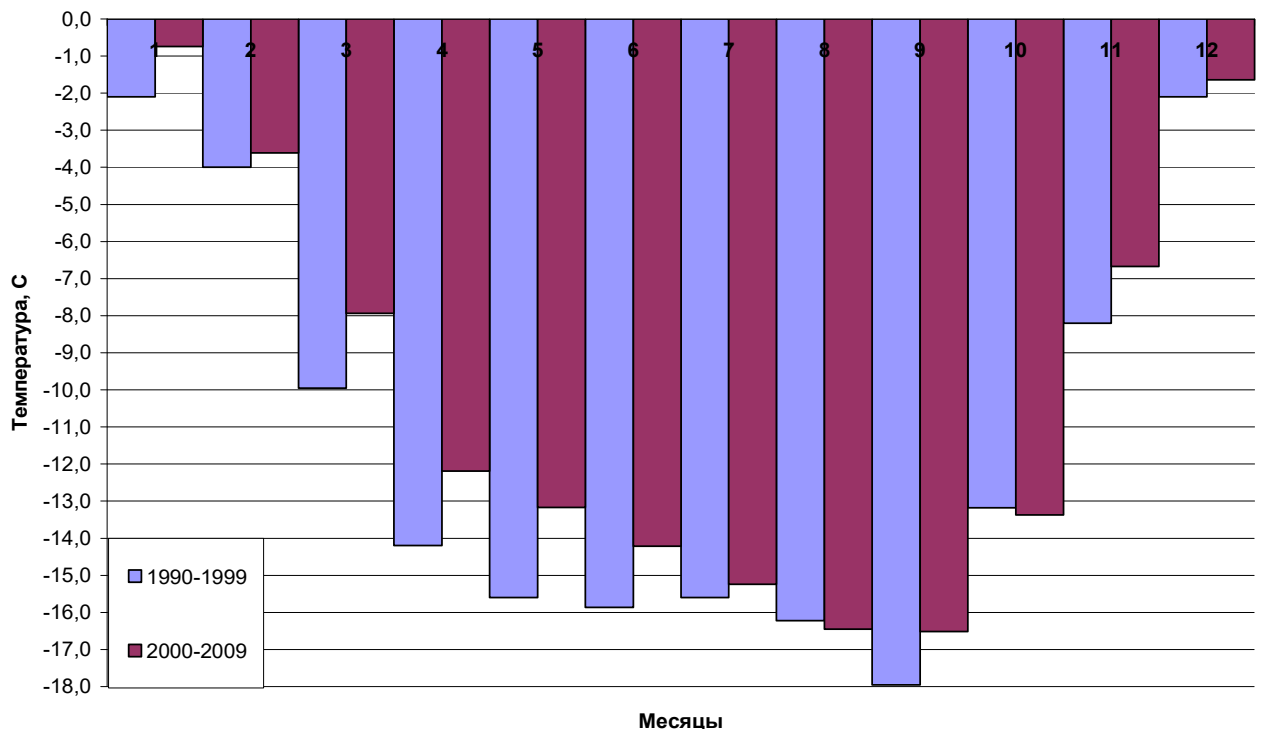


Рисунок 3.25 – Діаграма десятирічної зміни приземної температури повітря на станції Zhong Shan

Як бачимо, друге десятиріччя (2000-2009 рр.) на станції Zhong Shan представлено більш низькими температурами.

Проведемо дослідження річної амплітуди температури повітря.

Річна амплітуда температури повітря розраховується як різниця між середньої температурою повітря самого теплого та холодного місяців року. Ця величина є показником континентальності клімату та залежить від віддаленості станції від узбережжя так: в прибережному районі ця величина мінімальна, а в глибині материка – максимальна. Проведемо аналіз річної амплітуди температури повітря для деяких Антарктичних станцій.

В ході роботи вся вибірка була розділена на десятиріччя. По даним періодам була розрахована річна амплітуда, значення представлені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Зміни амплітуди приземної температури повітря між січнем та липнем по всім станціям

Станції	Довгота	Широта (пд. ш.)	ΔА			
			1970- 1979	1980- 1989	1990- 1999	2000- 2009
Novolazarevskaya	11,8E	70,8		0,5	1,3	1,3
Syowa	39,6E	69,0		0,8	1,1	0,5
Davis	78,0E	68,6		0,8	1,5	0,8
Mawson	62,9E	67,6	1,0	0,3	2,4	0,5
Dumont Durville	140,0E	66,7	0,7	1,0	0,8	0,0
Mirny	93,0E	66,5	1,1	1,7	1,4	0,8
Casey	110,5E	66,3	0,8	0,6	0,0	1,5

Як бачимо на всіх досліджених станціях спостерігається збільшення річної амплітуди приземної температури повітря в широтному напрямку від станцій Casey до станції Novolazarevskaya. Крім того, можна відмітити, що між десятиріччями 1980-1989 и 1990-1999рр. спостерігається максимальне збільшення ΔА, що свідчить про зменшення на цю величину річної амплітуди в десятиріччя 1990-1999рр.

Таким чином, ми виявили, що в 1990-1999рр. відбулося різке зменшення річної амплітуди приземної температури повітря. Так як ми використали данні двох місяців січня – антарктичне літо та липня – антарктична зима, треба

з'ясувати, як протягом всього дослідженого періоду змінюються значення приземної температури повітря в ці місяці.

Були побудовані графіки середньомісячних значень температури повітря на всіх станціях, проведені лінійні тренди. Отримані значення представлені в таблиці 3.7.

В січні, на всіх досліджуваних станціях спостерігається зменшення приземної температури повітря. Максимальний від'ємний тренд фіксується на станції Davis – $-1,1$ °C. В липні – центральному місяці зими –абсолютно усі станції фіксують зростання приземної температури повітря з максимумом на станціях Mirny та Casey (на $1,9$ та $2,0$ °C відповідно).

Таблиця 3.7 – Характеристики трендів рядів середньомісячної приземної температури повітря січня та липня

Станції	Довгота	Широта	Січень	Липень	Період років
Novolazarevskaya	11,8E	70,8	-0,6	1,1	1961-2009
Syowa	39,6E	69,0	-0,7	1,0	1954-2009
Davis	78,0E	68,6	-1,1	1,0	1957-2009
Mawson	62,9E	67,6	-0,1	1,2	1954-2009
Dumont Durville	140,0E	66,7	-0,1	0,0	1956-2009
Mirny	93,0E	66,5	-0,8	1,9	1956-2009
Casey	110,5E	66,3	-0,8	2,0	1959-2009

4 КОРЕЛЯЦІЙНИЙ ЗВ'ЯЗОК МІЖ ПРИЗЕМНОЮ ТЕМПЕРАТУРОЮ ПОВІТРЯ ПРИБЕРЕЖНИХ СТАНЦІЙ СХІДНОЇ АНТАРКТИДИ ТА SOI

Проведемо пошук кореляційного зв'язку між приземною температурою повітря та SOI для всіх досліджених станцій Східної частини Антарктичного материка.

Кліматичні зміни, як вже зазначалося раніше, в значній мірі впливають на стан природного середовища, а також суспільства і економіки. Сьогодні в багатьох країнах розробляються таблиці різних індикаторів, які б могли бути використані для моніторингу кліматичних змін, як на території самої країни, так і поза її межами, а також для віддзеркалення впливу цих кліматичних змін на навколишнє середовище. Певні країни вже розробили документи, які містять індикатори стійкого розвитку держави, включаючи і індикатори кліматичної мінливості. Всю групу зазначених індикаторів можна розділити на дві великі частини:

- 1 – кліматичні індекси, які віддзеркалюють стан атмосфери і океану в глобальному масштабі;
- 2 – індикатори, які віддзеркалюють стан атмосфери і гідросфери в окремому регіоні земної кулі, наприклад, на території якої-небудь конкретної країни.

Значення цих глобальних кліматичних індексів розраховуються вченими по певних методиках і їх величини (історичні і оперативні) [10] є у вільному доступі на WEB сайтах провідних світових метеорологічних та кліматичних центрів.

SOI представляє собою стандартизовану різницю нормалізованих середньомісячних аномалій атмосферного тиску на станціях Таїті і Дарвін. Його використовують для ідентифікації явища ЕПДК. Явище Ель-Ніньо – Південне коливання (ЕПДК) представляє собою найважливіший сигнал в

міжрічній кліматичній мінливості в системі океан-атмосфера. ЕПДК спостерігається регулярно, кожні 2 – 7 років. Його наслідки проявляються у вигляді значущих кліматичних аномалій в різних районах Землі. На сьогодні є безперервний ряд середньомісячних значень SOI, починаючи з 1866 року (рис. 4.1).

Найбільш використовувані значення SOI, отримуються з Центру кліматичних прогнозів США і публікуються в Бюлетені по діагнозу клімату [Bell et al., 1999] [10].

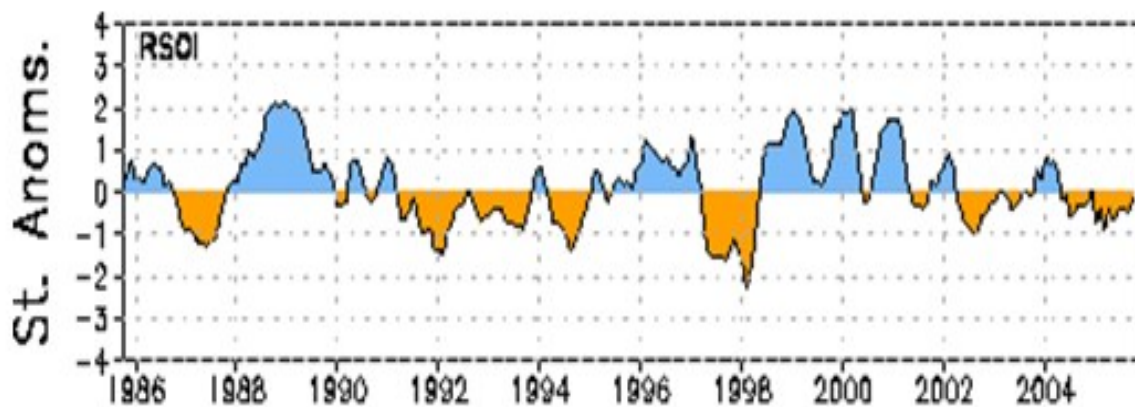


Рисунок 4.1 – Значення SOI, обчислювані в CPC NOAA, за період з 1986 по 2005 рр.

Для визначення фази ЕПДК по SOI найчастіше застосовується критерій, запропонований Ропельовським і Халпертом. Згідно цього критерію, протягом п'яти і більше місяців 5-місячні ковзні середні значення SOI по модулю повинні перевищувати 0,5 (від'ємні значення SOI відповідають теплому епізоду ЕПДК, додатні – холодному). Визначимо в ряду середньомісячних значень SOI від'ємні значення SOI, які відповідають теплому епізоду ЕПДК та додатні – холодному (табл. 4.1). В таблиці 4.1 жовтим кольором позначені періоди які відповідають холодному епізоду ЕПДК, та зеленим кольором позначені періоди які відповідають теплому епізоду ЕПДК. Визначні ряди були перевірені на однорідність. По всім вісімнадцяти досліджених станцій Антарктиди проведемо вибірку приземної температури повітря для цих же періодів.

Таблиця 4.1 – Середньомісячні значення SOI [10]

Рік	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
1970	-1,26	-1,22	0,06	-0,56	0,04	1,02	-0,52	0,31	1,18	0,74	1,85	1,83
1971	0,23	1,44	1,98	2,58	0,88	0,21	0,17	1,42	1,51	1,75	0,55	0,15
1972	0,33	0,67	0,13	-0,46	-1,52	-1,68	-1,84	-1,12	-1,48	-1,13	-0,38	-1,47
1973	-0,43	-1,47	-0,06	-0,37	0,25	1,22	0,63	1,18	1,27	0,85	2,85	1,76
1974	2,16	1,49	2,11	1,27	1,24	0,14	1,23	0,56	1,16	0,72	-0,42	-0,14
1975	-0,62	0,46	1,14	1,48	0,51	1,69	2,13	2,03	2,15	1,67	1,25	2,05
1976	1,19	1,18	1,33	0,24	0,50	-0,16	-1,24	-1,46	-1,29	0,13	0,76	-0,48
1977	-0,39	0,65	-1,20	-1,17	-1,18	-2,33	-1,45	-1,42	-0,95	-1,39	-1,56	-1,23
1978	-0,48	-2,63	-0,82	-0,88	1,50	0,40	0,53	0,12	0,06	-0,76	-0,28	-0,21
1979	-0,45	0,61	-0,49	-0,65	0,46	0,58	-0,76	-0,69	0,11	-0,37	-0,61	-0,90
1980	0,28	-0,02	-1,06	-1,60	-0,35	-0,68	-0,14	-0,06	-0,54	-0,34	-0,47	-0,21
1981	0,27	-0,47	-2,01	-0,60	0,82	1,28	0,87	0,40	0,52	-0,71	0,07	0,41
1982	0,87	-0,03	0,05	-0,46	-0,74	-2,49	-1,89	-2,66	-2,12	-2,20	-3,25	-2,48
1983	-3,36	-3,46	-3,25	-1,41	0,79	-0,58	-0,70	-0,37	0,91	0,34	-0,12	-0,17
1984	-0,03	0,43	-0,85	0,39	-0,03	-1,22	0,12	0,10	0,17	-0,61	0,12	-0,24
1985	-0,55	0,79	0,20	1,42	-0,15	-1,39	-0,20	0,66	0,00	-0,76	-0,35	0,12
1986	0,82	-1,28	-0,09	0,11	-0,63	1,01	0,24	-0,85	-0,53	0,54	-1,57	-1,64
1987	-0,75	-1,41	-2,03	-2,69	-2,12	-2,69	-1,82	-1,67	-1,13	-0,69	-0,07	-0,66
1988	-0,31	-0,65	0,13	-0,03	1,09	-0,20	1,17	1,36	1,92	1,35	1,92	1,09
1989	1,31	0,80	0,59	2,18	1,45	0,81	0,95	-0,82	0,52	0,61	-0,38	-0,62
1990	-0,21	-1,79	-1,09	-0,01	1,41	-0,07	0,57	-0,71	-0,78	-0,17	-0,68	-0,38
1991	0,45	-0,06	-1,35	-1,55	-1,74	-0,79	-0,07	-1,07	-1,64	-1,55	-0,77	-2,02
1992	-2,85	-1,05	-2,85	-2,06	0,06	-1,82	-0,63	-0,01	0,06	-2,03	-0,84	-0,71
1993	-0,93	-0,96	-1,13	-2,29	-0,59	-2,18	-1,06	-1,73	-0,78	-1,57	-0,13	0,07
1994	-0,25	-0,06	-1,35	-2,63	-1,26	-1,46	-1,70	-2,03	-1,70	-1,58	-0,81	-1,41
1995	-0,51	-0,35	0,24	-1,72	-0,91	-0,31	0,44	-0,11	0,28	-0,34	-0,02	-0,72
1996	0,82	-0,02	0,53	0,91	0,46	1,06	0,70	0,33	0,66	0,26	-0,21	0,71
1997	0,29	1,21	-1,09	-1,55	-2,41	-3,02	-0,91	-2,31	-1,55	-1,69	-1,31	-1,12
1998	-2,53	-1,97	-3,31	-2,80	0,17	1,05	1,49	0,83	1,04	1,01	1,01	1,32
1999	1,58	0,58	0,78	2,11	0,44	0,00	0,52	-0,03	-0,07	0,95	1,22	1,37
2000	0,47	1,24	0,88	1,76	0,42	-0,87	-0,34	0,48	0,97	0,87	2,02	0,77
2001	0,78	1,00	0,46	-0,18	-0,84	-0,19	-0,27	-1,01	0,11	-0,38	0,64	-1,06
2002	0,20	0,64	-0,81	-0,48	-1,54	-1,02	-0,70	-1,62	-0,66	-0,79	-0,60	-1,30
2003	-0,30	-0,90	-0,91	-0,48	-0,85	-1,75	0,26	-0,35	-0,18	-0,26	-0,32	0,92
2004	-1,31	0,77	-0,11	-1,91	1,22	-1,91	-0,72	-0,90	-0,31	-0,42	-1,05	-0,94
2005	0,20	-2,99	-0,26	-1,22	-1,46	0,11	0,06	-0,97	0,34	1,12	-0,42	0,01

В подальшому аналізі будуть приймати участь тільки періоди, які охоплюють максимальне число станцій. Зі всіх періодів ми вибрали три періоди з теплом епізодом ЕПДК та три – з холодним. На основі рядів середньомісячних значень температури та SOI для визначених періодів був розрахований коефіцієнт кореляції, якій є кількісною мірою лінійного кореляційного зв'язку. (табл. 4.2). Для більш точних розрахунків та подальшої побудови карт коефіцієнт кореляції розраховувався також для станцій Західної Антарктиди. Було проведено перевірку гіпотези про статистичну значущість оцінки коефіцієнта кореляції, що отримана на основі випадкових вибірок. Нульову гіпотезу формулюють так [9]:

H_0 : На рівні значущості α коефіцієнт кореляції є статистично незначущим як і його оцінка:

$$\rho_{xy} = 0; \quad \hat{\rho}_{xy} = r_{xy} = 0.$$

Альтернативна гіпотеза H_1 , очевидно, є такою:

H_1 : На рівні значущості α коефіцієнт кореляції є статистично значущим як і його оцінка:

$$\rho_{xy} \neq 0; \quad \hat{\rho}_{xy} = r_{xy} \neq 0.$$

Перевірка гіпотези H_0 відносно H_1 втілюється за допомогою критерію Стьюдента. У нашому випадку, за умови малих об'ємів вибірок ($n < 50$), у нас для періоду 05.1973 – 05.1976рр. ($n = 37$) критерій Стьюдента визначається таким чином [9]:

$$t = \frac{|\hat{z}|}{\sigma_z} = 3,0, \quad (4.1)$$

де для коефіцієнта кореляції $-0,47$:

$$\hat{z} = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r_{xy}}{1-r_{xy}} = -0,51, \quad (4.2)$$

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{n-3}} = 0,17 \quad (4.3)$$

Таблиця 4.2 – Коефіцієнти кореляції між середньомісячними значеннями приземної температури повітря та SOI

Назва станції	Висота над рівнем моря	Географічні координати		Від'ємні значення індексу SOI			Додатні значення індексу SOI		
		широта	довгота	7703-7804	8003-8012	8204-8308	7008-7203	7305-7605	8105-8201
Станції східного узбережжя Антарктиди									
Casey	42 м	66,3 пд.ш.	110,5 с.д.	-0,03	-0,51	-0,52	-0,26	-0,04	-0,13
Mirny	30 м	66,5 пд.ш.	93,0 с.д.	-0,25	-0,50	-0,50	-0,06	-0,27	-0,32
Dumont Durville	43 м	66,7 пд.ш.	140,0 с.д.	-0,47	-0,25	-0,23	-0,13	-0,34	0,13
Mawson	16 м	67,6 пд.ш.	62,9 с.д.	-0,18	0,40	-0,51	0,32	-0,21	-0,95
Molodeznaja	40 м	67,7 пд.ш.	45,9 с.д.	-0,52	0,17	-0,35	-0,11	-0,06	-0,12
Davis	13 м	68,6 пд.ш.	78,0 с.д.	-0,63	0,61	-0,64	-0,42	0,05	0,22
Syowa	21 м	69,0 пд.ш.	39,6 с.д.	-0,25	0,48	-0,35	-0,40	-0,16	0,15
Leningradskaja	304 м	69,5 пд.ш.	159,4 с.д.	-0,01	0,33	-0,34	0,25	-0,29	0,06
Novolazarevskaya	119 м	70,8 пд.ш.	11,8 с.д.	-0,41	0,09	-0,23	0,09	-0,47	0,25
Vostok	3490 м	78,5 пд.ш.	106,9 с.д.	-0,61	-0,02	-0,35	0,15	-0,29	0,13
Станції західного узбережжя Антарктиди									
Neumayer	50 м	70,7 пд.ш.	8,4 з.д.			-0,53			0,43
Russkaya	124 м	74,8 пд.ш.	136,9 с.д.		-0,43	-0,63			0,44
Halley	30 м	75,5 пд.ш.	26,4 з.д.	-0,07	-0,38	-0,72	0,17	-0,36	-0,99
Belgrano II	256 м	77,9 пд.ш.	34,6 з.д.			-0,67			-0,29
McMurdo	24 м	77,9 пд.ш.	166,7 с.д.	-0,54	-0,15	-0,13	0,77	-0,19	0,81
Byrd	1515 м	80,0 пд.ш.	120,0 з.д.	-0,46	-0,13	-0,21	-0,21	-0,14	0,36
Amundsen Scott	2835 м	90,0 пд.ш.	0,0 з.д.	-0,36	0,09	0	0,09	0,05	-0,07

Розраховане за формулою (4.1) значення критерію Стьюдента порівнюють з $t_{кр}(\alpha, \nu)$, яке наводиться в таблицях. Рівень значущості $\alpha = 0,05$ та розраховує число степенів вільності за формулою $\nu = n - 1 = 36$.

Якщо

$$t < t_{кр}(\alpha, \nu), \quad (4.4)$$

то приймається гіпотеза H_0 про статистичну незначущість, тобто про випадковість отриманої статистичної оцінки коефіцієнта кореляції. У нашому випадку: $t_{кр}(0,05;36) = 2,02$

У протилежному випадку, якщо

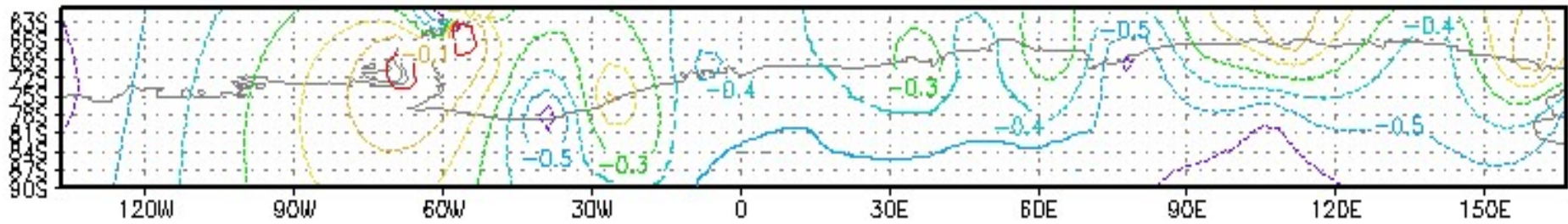
$$t > t_{кр}(\alpha, \nu), \quad (4.5)$$

гіпотеза H_0 відкидається й приймається альтернативна гіпотеза H_1 про те, що коефіцієнт кореляції є статистично значущим [9]. У нашому випадку $t > t_{кр}(\alpha, \nu)$ $3,0 > 2,02$. А це означає, що він дійсно виражає характер лінійного кореляційного зв'язку між випадковими величинами X та Y . Тобто всі коефіцієнти кореляції за модулем більші ніж $-0,47$ є статистично значущими. Отримані данні поміщені в таблицю 4.2. Також були розраховані коефіцієнти кореляції для інших періодів.

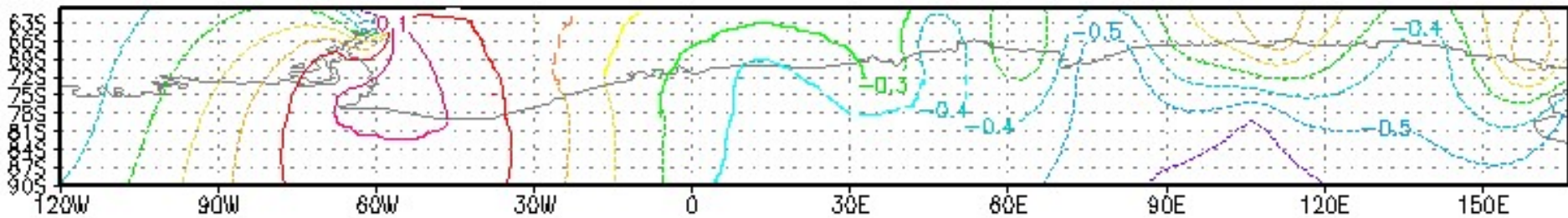
В таблиці 4.2 представлені три періоди з від'ємними значеннями SOI (від 03.1977 по 04.1978рр.; 03.1980 – 12.1980рр.; 04.1982 – 09.1983рр.) та три – з додатними (08.1970 – 09.1972рр.; 05.1973 – 05.1976рр. 05.1981 – 01.1982рр.)

Отримані коефіцієнти кореляції нанесемо на карту Антарктиди за допомогою декілька комп'ютерних програм та поступового перетворення цифрової інформації на візуальну (рис. 4.2-4.3) [11].

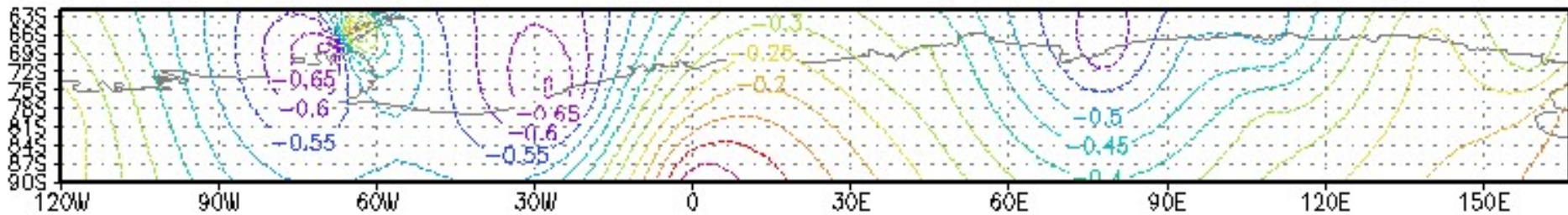
Аналіз карт коефіцієнтів кореляції між середньомісячними значеннями приземної температури повітря та від'ємними значеннями SOI показав, що для періодів а) 7703-7804 та б) 8003-8012 мінімальні зміни в розподілі коефіцієнтів кореляції характерні для Східної Антарктиди.



а) 03.1977 – 04.1978pp.

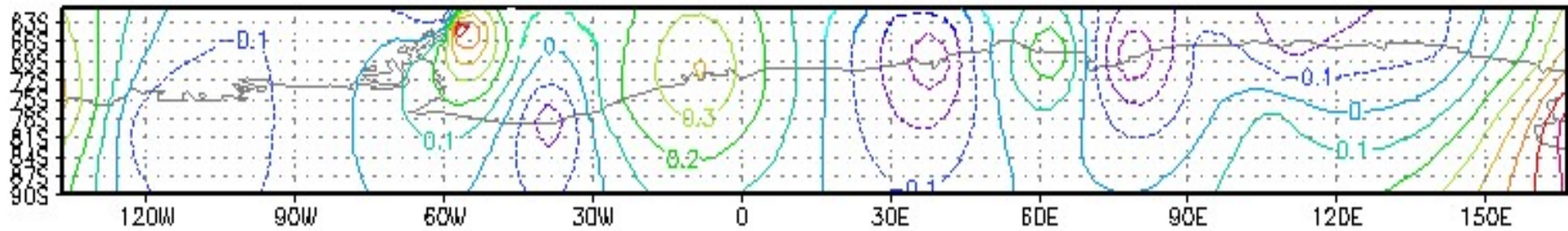


б) 03.1980 – 12.1980pp.

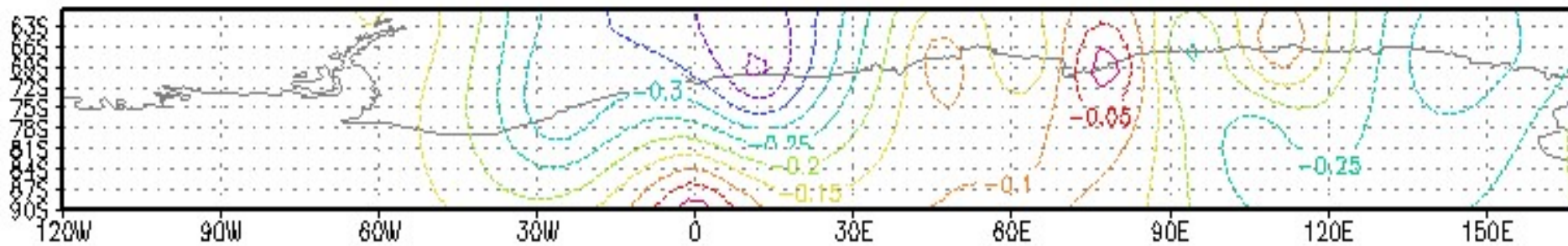


в) 04.1982 – 09.1983pp.

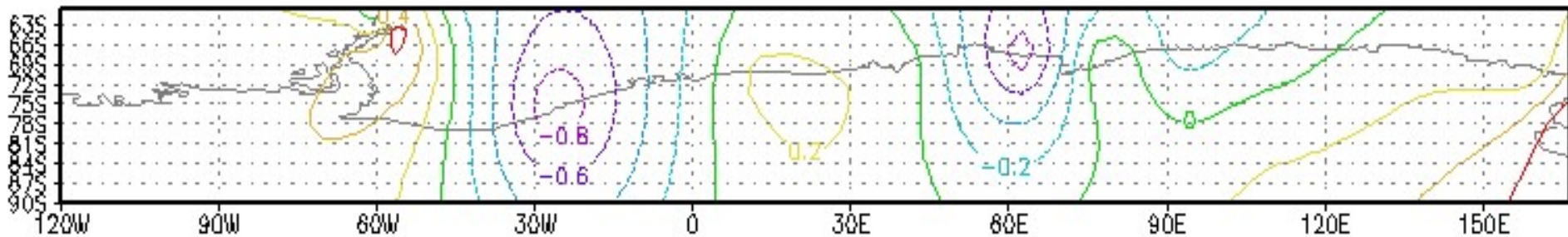
Рисунок 4.2 – Карты коефіцієнтів кореляції між середньомісячними значеннями приземної температури повітря та від'ємними значеннями SOI: а) період 7703-7804; б) 8003-8012; в) 8204-8308



а) 08.1970 – 09.1972pp.



б) 05.1973 – 05.1976pp.



в) 05.1981 – 01.1982pp.

Рисунок 4.3 – Карты коефіцієнтів кореляції між середньомісячними значеннями приземної температури повітря та додатними значеннями SOI: а) період 7008-7203; б) 7305-7605; в) 8105-8201

Найбільша перебудова полів коефіцієнтів кореляції спостерігається в районі Антарктичного півострову, найменші зміни характерні для полів коефіцієнтів кореляції між середньомісячними значеннями приземної температури повітря та від'ємними значеннями SOI за періоди з 03.1977 по 04.1978рр.; 03.1980 – 12.1980рр.

Врахуємо те, що в розрахунках коефіцієнту кореляції використовували маленьку вибірку, тому деякі коефіцієнти мають значення близьке до значущого. Якщо збільшити вибірку, значення коефіцієнтів кореляції може зрости. Але й на основі представленої вибірки можна зробити деякі висновки [11]:

- максимальні коефіцієнти кореляції між середньомісячними значеннями приземної температури повітря та від'ємними значеннями SOI спостерігаються за періоди 04.1982 – 09.1983рр. (від'ємні значення SOI) та 05.1981 – 01.1982рр. (додатні значення SOI);
- коефіцієнти кореляції між середньомісячними значеннями приземної температури повітря та додатними значеннями SOI за періоди 08.1970 – 09.1972рр. та 05.1973 – 05.1976рр. практично всі далекі від значущих.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження динаміки приземної температури повітря берегових станцій Східної Антарктиди дозволяє зробити наступні висновки:

- По всьому материку можна виділити періоди стійкого зростання і падіння температури повітря:

- Для станцій Східного узбережжя Антарктиди фіксується зростання приземної температури повітря тільки в період антарктичної зими (липень – $1,8^{\circ}\text{C}$, серпень – $2,0^{\circ}\text{C}$, вересень – $2,2^{\circ}\text{C}$), а в жовтні – значення тренду практично нульове, як й для більшості місяців року.

- Для станцій Східної Антарктиди найбільш часто зустрічаються значущі періоди коливань 2,0 – 2,3 роки.

- Тенденції, розраховані для станцій Східної Антарктиди, свідчать про плямистість в розподілі зростання і падіння температури на узбережжі.

- Зростання температури повітря спостерігається в зонах відкритих вітрам, які знаходяться під впливом різних гілок переміщення циклонів; так станції Novolazarevskaya, Asuka, Syowa, на яких відмічаються додатні значення трендів знаходяться під впливом Південно-Африканської та Південно-Американської гілок циклонів, а станції Casey, Dumont_Durville, Leningradskaia – під впливом Західно-Австралійської та Тасманської гілок.

- Зменшення приземної температури повітря фіксується на станціях, що знаходяться в зоні шельфового льоду (станція Progress), або на станціях, які знаходяться в зоні стокових вітрів (Mawson, Mirny).

- На всіх досліджених станціях спостерігається зростання річної амплітуди приземної температури повітря в широтному напрямку від станцій Casey до станції Novolazarevskaya. Крім того, можна відмітити, що між десятиріччями 1980-1989 и 1990-1999pp. спостерігається максимальне

збільшення ΔA , що свідчить про зменшенні на цю величину річної амплітуди в десятиріччя 1990-1999рр.

– В січні, на всіх станціях Східної Антарктиди спостерігається зменшення приземної температури повітря. В липні – навпаки – зростання.

– Найбільша перебудова полів коефіцієнтів кореляції спостерігається в районі Антарктичного півострову, найменші зміни характерні для полів коефіцієнтів кореляції між середньомісячними значеннями приземної температури повітря та від'ємними значеннями SOI за періоди з 03.1977 по 04.1978рр.; 03.1980 – 12.1980рр.

– Максимальні коефіцієнти кореляції між середньомісячними значеннями приземної температури повітря та від'ємними значеннями SOI спостерігаються за періоди 04.1982 – 09.1983рр. (від'ємні значення SOI) та 05.1981 – 01.1982рр. (додатні значення SOI);

– Коефіцієнти кореляції між середньомісячними значеннями приземної температури повітря та додатними значеннями SOI за періоди 08.1970 – 09.1972рр. та 05.1973 – 05.1976рр. практично всі далекі від значущих.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Климатический режим Арктики на рубеже XX и XXI вв. Под ред. Крутский Б.А. С.-Петербург, Гидрометеиздат, 1991. – 200с.
2. http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/452/1/DanovaTE_Polyarna_t_a_morska_meteorologiya_KL_2006.pdf
3. Русин Н.П. Метеорологический и радиационный режим Антарктиды. Л.; Гидрометеиздат, 1961. – 448с.
4. Климат полярных районов. Под ред. Орвиг С. Л.; Гидрометеиздат, 1973. – 444с.
5. Зотиков И.А. Тепловой режим ледникового покрова Антарктиды.
6. Астапенко П.Д. Атмосферные процессы в высоких широтах южного полушария. М., Изд-во АН СССР, 1960.
7. Материалы по климату и циркуляции свободной атмосферы над странами южного полушария. Под ред. И.Г.Гутермана и А.В.Воскресенского. М., Гидрометеиздат, 1976.
8. Лисенко Я. В., Прокофьев О.М. Статистический анализ приземной температуры воздуха прибрежных станций Антарктиды / Тези доповідей конференції молодих вчених ОДЕКУ, 12-13 травня 2009р., м. Одеса.
9. Школьный Є.П., Лосева І.Д., Гончарова Л.Д. «Обработка та аналіз гідрометеорологічної інформації». – Одеса: 1999р.–600с.
10. <http://data.oceaninfo.ru>.
11. Гавриленя К.Л., Лисенко Я. В. Кореляційний зв'язок приземної температури повітря Антарктиди з кліматичними індексами // Тези доповідей конференції молодих вчених 14 травня 2010р. – Одеса, ОДЕКУ 2010.