

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий
гідрометеорологічний інститут
Кафедра метеорології та кліматології

Кваліфікаційна робота магістра

на тему: Динаміка метеорологічного режиму
внутрішньоконтинентальної кліматичної зони Антарктиди

Виконав студент 2 курсу групи МНЗ-22М
Спеціальності 103 «Науки про Землю»
Освітня програма
«Метеорологія і кліматологія»
Рудик Богдан Павлович

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

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

Одеса 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий гідрометеорологічний інститут

Кафедра Метеорології та кліматології

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 103 "Науки про Землю"

(шифр і назва)

Освітня програма Метеорологія і кліматологія

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
метеорології та кліматології

Прокоф'єв О.М.

" 23 " жовтня 2023 року

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

студенту Рудику Богдану Павловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Динаміка метеорологічного режиму внутрішньоконтинентальної кліматичної зони Антарктиди

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

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

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

2. Строк подання студентом роботи 29 листопада 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Дослідження метеорологічного режиму внутрішньоконтинентальної високогірної зони Антарктиди проводилося за даними, отриманими з сайту Британської Антарктичної служби. Вихідні дані представляють собою середньодобові значення приземної температури повітря за період з 1991 по 2020рр.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Розрахувати та проаналізувати статистичні характеристики приземної температури повітря досліджуваного регіону; тенденції багаторічних змін приземної температури; визначити значущі періоди коливань температури повітря; визначити та проаналізувати трендові складові приземної температури повітря; розрахувати та проаналізувати аномалії температури повітря за десятирічні періоди.

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

Графіки річного ходу приземної температури повітря; графіки міжрічної мінливості приземної температури повітря; гістограма трендової складової приземної температури повітря; гістограми аномалій приземної температури повітря по десятиріччям; гістограма середньорічних аномалій температури за досліджуваний період.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 23 жовтня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Отримання завдання	23.10.2023 р.		
2	Збір вихідних даних до роботи. Ознайомлення з літературними джерелами за темою кваліфікаційної роботи магістра.	24.10.2023 р. - 29.10.2023 р.	80	добре
3	Формування бази даних по приземній температурі повітря.	30.10.2023 р. - 06.11.2023 р.	90	відмінно
4	Розрахунок та аналіз статистичних характеристик приземної температури повітря.	07.11.2023 р. - 14.11.2023 р.	85	добре
5	Рубіжна атестація	13-17.11.2023 р.	85	добре
6	Розрахунок трендової складової приземної температури повітря та аналіз особливостей багаторічних змін приземної температури повітря.	14.11.2023 р. - 18.11.2023 р.	85	добре
7	Розрахунок та аналіз аномалій середньомісячних значень приземної температури повітря за десятирічні періоди.	18.11.2023 р. - 23.11.2023 р.	74	добре
8	Розрахунок та аналіз сум аномалій середньорічних значень приземної температури повітря за десятирічні періоди.	23.11.2023 р. - 28.11.2023 р.	91	відмінно
9	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату	29.11.2023 р.	88	добре
10	Перевірка роботи на плагіат, складення протоколу і висновку керівника. Підписання авторського договору.	30.11-2.12.2023р	-	-
11	Підготовка презентаційного матеріалу	-	-	-
12	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)	-	85	добре

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Рудик Б.П.

(прізвище та ініціали)

Прокоф'єв О.М.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема магістерської кваліфікаційно роботи "Динаміка метеорологічного режиму внутрішньоконтинентальної кліматичної зони Антарктиди"

Автор: Рудик Богдан Павлович

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

Мета дослідження – встановлення основних рис динаміки метеорологічного режиму внутрішньоконтинентальної високогірної кліматичної зони.

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

- розрахування статистичних характеристик приземної температури повітря у внутрішньоматериковій високогірній кліматичній зоні Антарктиди;
- аналіз динаміки приземної температури повітря досліджуваного регіону;
- аналіз аномалій приземної температури повітря за тридцятирічні періоди.

Об'єкт дослідження: метеорологічний режим внутрішньоконтинентальної високогірної зони Антарктиди.

Предмет дослідження: середньомісячні значення приземної температури повітря.

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

Наукова новизна отриманих результатів полягає в комплексному статистичному дослідженні просторово-часових особливостей метеорологічного режиму 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 54 сторінок складається з вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань з 12 джерел і містить 9 рисунків та 8 таблиць.

Перелік ключових слів: приземна температура повітря, внутрішньоматерикова високогірна зона, аномалії, тренд, Антарктида.

ANNOTATION

Theme of the master's qualification work "Dynamics of the meteorological regime of the intracontinental climatic zone of Antarctica"

Author: Rudyk Bohdan

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 – establishment of the main features of the dynamics of the meteorological regime of the intracontinental highland climatic zone.

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

- calculation of statistical characteristics of the surface air temperature in the intracontinental high-altitude climatic zone of Antarctica;
- analysis of surface air temperature dynamics of the studied region;
- analysis of surface air temperature anomalies over thirty-year periods.

Object of study: meteorological regime of the intracontinental highland zone of Antarctica.

Subject of study: average monthly values of the surface air temperature.

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 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 54 pages consists of an introduction, 4 chapters, conclusions, a list of references from 12 sources and contains 9 figures and 8 tables.

List of keywords: surface air temperature, intracontinental high mountain zone, anomalies, trend, Antarctica.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКА ТА КЛІМАТ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ	8
1.1 Загальна інформація	8
1.2 Антарктична суша та своєрідність її як підстильної поверхні	9
1.3 Метеорологічний режим та клімат Антарктиди.....	10
1.3.1 Метеорологічний режим внутрішньоконтинентальної високогірної зони.....	15
1.3.2 Метеорологічний режим кліматичної зони льодовикового схилу.....	16
1.3.3 Метеорологічний режим прибережної кліматичної зони....	17
1.3.4 Метеорологічний режим прибережної кліматичної зони....	18
2 ВИХІДНІ ДАНІ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	20
2.1 Характеристика вихідної інформації.....	20
2.2 Методи розрахунку основних статистичних параметрів	22
2.3 Методи розрахунку аномалій приземної температури повітря ...	29
3 ДИНАМІКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ВНУТРІШНЬОМАТЕРИКОВОЇ ВИСОКОГІРНОЇ ЗОНИ.....	31
3.1 Статистичні характеристики приземної температури повітря досліджуваного регіону.....	32
3.2 Особливості багаторічних змін приземної температури повітря	36
4 АНАЛІЗ АНОМАЛІЙ ПРИЗЕМНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО РЕГІОНУ.....	42
4.1 Динаміка середньомісячних аномалій приземної температури повітря.....	53

4.2 Динаміка середньорічних аномалій приземної температури повітря купольних станцій Антарктиди.....	48
ВИСНОВКИ.....	50
ЛІТЕРАТУРА	53

ВСТУП

Зміна клімату є однією з найскладніших проблем нашого сторіччя. Вирішенню цієї проблеми присвячені численні дослідження вчених-кліматологів та їх узагальнення у вигляді доповідей Міжурядової групи експертів із проблеми змін клімату (МГЕЗК).

Незважаючи на те, що існує велика кількість ефективних фізико-математичних моделей клімату для оцінки його майбутніх змін на основі кліматичних сценаріїв, питання регіональних змін клімату, зокрема температурного режиму залишається відкритим.

Тому дослідження проявів змін температурного режиму на регіональному рівні є актуальним завданням. Саме рішення цієї проблеми та присвячена дана робота з аналізу динаміки метеорологічного режиму внутрішньоматерикової кліматичної зони Антарктиди. Актуальність теми визначається необхідністю постійного моніторингу метеорологічного режиму Антарктиди та його динаміки в світлі сучасних кліматичних змін.

В якості вихідної інформації використовувалась приземна температура повітря отримана з бази даних Британського антарктичного центру. Період спостережень складає 30 років (з 1991 по 2020рр.).

Для реалізації дослідження виконані наступні завдання:

- розраховані та проаналізовані статистичні оцінки приземної температури повітря досліджуваних станцій;
- розраховані та проаналізовані значущі періоди коливань приземної температури повітря;
- побудовані графіки міжрічної мінливості приземної температури;
- визначена та проаналізована трендова складова приземної температури повітря за досліджуваний тридцятирічний період;
- розраховані та проаналізовані аномалії приземної температури повітря для усіх місяців року та середньорічних значень;

- визначено основні риси динаміки термічного режиму внутрішньоматерикової кліматичної зони Антарктиди за останні тридцять років.

Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та переліку посилань.

1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКА ТА КЛІМАТ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ

1.1 Загальна інформація

Антарктида – найхолодніший материк Земної кулі. Своїми унікальними природними особливостями Антарктида завдячує своєму географічному положенню [1]. Практично весь материк знаходиться за межами Південного полярного кола. Сонце ніколи не піднімається високо над горизонтом. Влітку в Антарктиді спостерігається полярний день, а взимку – полярна ніч, тривалість яких на Південному полюсі доходить до півроку. Антарктида вкрита кілометровим крижаним панцирем, тільки місцями з-під льоду проглядають чорні голі антарктичні скелі – нунатаки [1-3].

Природний світ материка досить мізерний. З рослин тут переважають мохи та лишайники, є кілька видів квіткових рослин. На берегах Антарктики влаштовують свої лежбища морські котики, селяться зграї пінгвінів [3].

Завдяки своєму положенні Антарктида стала останнім відкритим материком Землі. Її відкриття відбулося лише в ХІХ столітті. Антарктида була єдиним материком на планеті, яку не змогла заселити людина. І в наші дні в Антарктиці немає постійного населення, більше того, всі території на південь від 60 паралелі не належать жодній державі світу і є надбанням всього людства. Тут розташовується так званий полюс недоступності: точка максимально віддалена від усіх населених пунктів Землі. У Антарктиді активно проводяться різноманітні наукові дослідження. На сьогоднішній день тут працює 37 станцій із загальною чисельністю персоналу до 3000 осіб [4-5].

Слід окремо зазначити, що на станції Восток, що зараз залишається однією з двох внутрішньоконтинентальних антарктичних станцій, 21 липня 1983 року було зафіксовано найнижчу температура на землі $-89,2^{\circ}\text{C}$. Дійсно,

кліматичні умови Антарктики - найсуворіші на всій планеті, при винятково низьких температурах тут випадає дуже мало опадів, і дмуть найсильніші вітри, швидкість яких може досягати 90 м/с і більше [6, 7]!

1.2 Антарктична суша та своєрідність її як підстильної поверхні

Антарктида розташовується на однойменній Антарктичній плиті. Після розколу Пангеї плита рухалася у напрямку Південного полюсу доки повністю не опинилася у його районі. Зараз Антарктична плита стикається з Південноамериканською, при цьому проходять процеси гороутворення у західній частині континенту. Практично вся Західна Антарктида, включаючи Антарктичний півострів сформувалися в кайнозойську еру. На материк зберігаються осередки вулканізму. Найбільші вулкани Антарктики – Еребус та Терор відкриті експедицією Росса. Східна Антарктида повністю розташована на Антарктичній платформі. Ця частина материка найбільш стабільна, оскільки вона сформувалася в Архейську епоху. Дослідження справжнього рельєфу цього материка вкрай важке, оскільки Антарктида вкрита величезним льодяним панцирем, товщина якого сягає кількох кілометрів. За рахунок цього панцира вона є найвищим материком землі, її середня висота 2040 м, а в глибині континенту середня висота сягає 4000 метрів. Найвища ділянка Антарктиди – масив Вінсон з горою Елсуорт (5140 м). Найнижча точка – западина Бентлі на рівнині Берда. Вчені сходяться в судженнях, що вона утворилася внаслідок розтягування земної кори. Западина Бентлі знаходиться нижче рівня моря на 2555 м. Антарктида під крижаним покривом не є цілісною ділянкою суші, як ми звикли її бачити на картах. Якби вона повністю звільнилася від льоду, то постала б перед нами у вигляді невеликого материка, оточеного декількома архіпелагами, про що можна судити за картою, запропонованою Полом Генріхом (рис. 1.1). Значна

частина материка, таким чином, знаходиться нижче рівня моря і представляє собою шельф. У центрі Антарктиди через весь материк – від Землі Вікторії до Антарктичного півострова простяглися молоді Трансантарктичні гори. На сході розташовуються старі гори Гамбурцева та Вернадського [6].

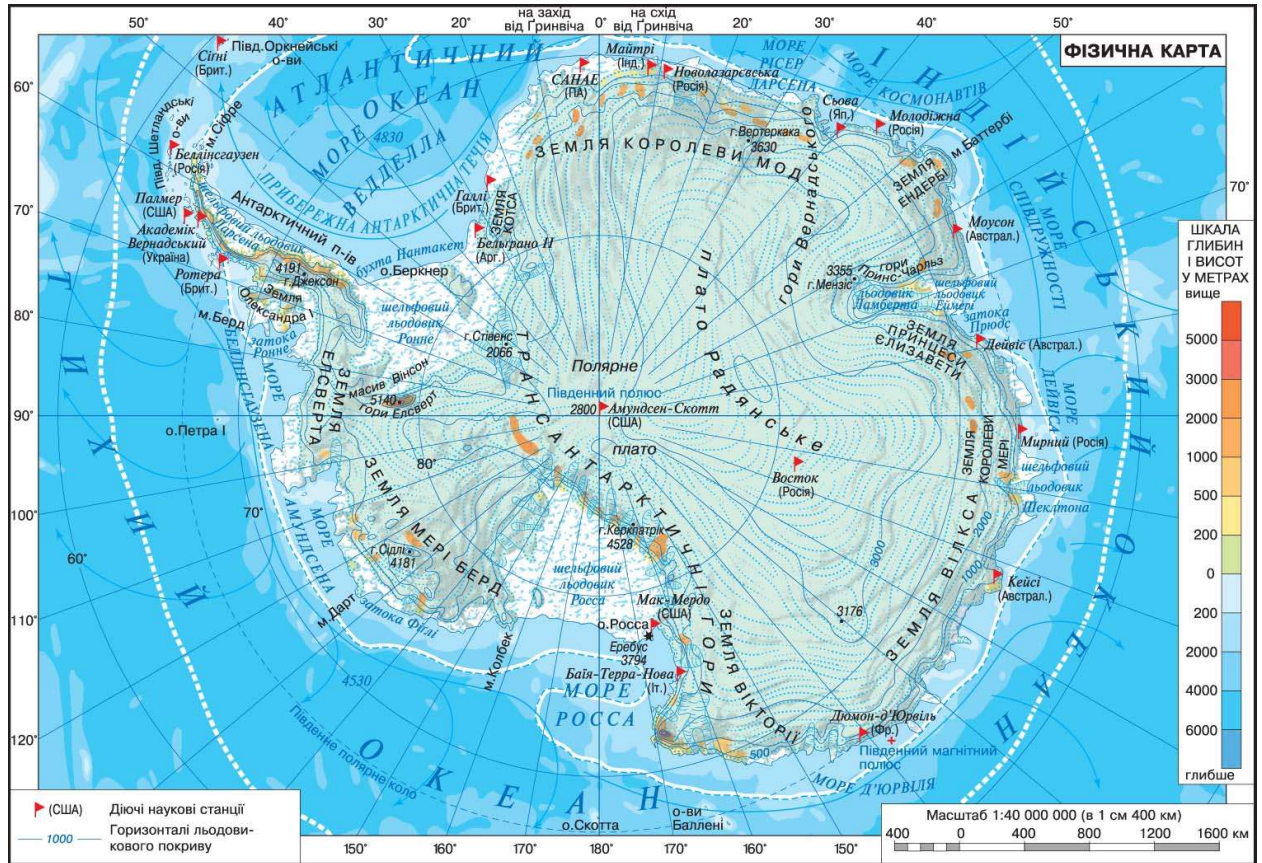


Рисунок 1.1 – Фізична карта Антарктиди

1.3 Метеорологічний режим та клімат Антарктиди

Головні кліматоутворюючі фактори в Антарктиді пов'язані з розташуванням самого материка, його висотою, ступеню покриття льодом і близькістю океану. Клімат Антарктиди більш суворий за арктичний. На території Антарктиди знаходиться світовий полюс холоду. Середньорічна температура у внутрішньоматерикових районах складає -57°C , тобто на 42°C

нижче, ніж в області Сибірського полюса холоду ($-15\text{ }^{\circ}\text{C}$) і на $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ нижче температури внутрішнього району Гренландії, який розташований майже на тій самій висоті (3000 м над рівнем моря). Завдяки значній висоті материка та сухості холодного повітря, сумарна радіація, що надходить на антарктичну поверхню влітку, в півтори рази більша, за сумарну радіацію, що надходить на розташовану на тій же широті арктичну поверхню. Влітку центральна Антарктида отримує стільки ж променистої енергії, як Ташкент; і навіть за рік стільки ж, скільки одержують її екваторіальні широти. Проте, сніжно-крижана поверхня має дуже високе альbedo: понад 70-90%. Слід також мати на увазі, що майже вся Антарктида розташована за полярним колом. Взимку над узбережжям континенту панують сутінки, а в центральній його частині – багатомісячна полярна ніч. Радіаційний баланс за рік для Антарктиди від'ємний. Безперервному охолодженню материка перешкоджає надходження теплого повітря з океану, яке посилюється взимку за рахунок адвективних факторів [4, 8-10].

Слід певно відзначити один важливий виняток: скелі, нунатаки, оазиси Антарктиди. Поверхня скель відбиває не 70-90% променистої енергії, а лише близько 20%. Тому скелі нагріваються влітку до $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ і зігрівають повітря над собою. Абсолютно чорна поверхня може нагріватися в Антарктида до $50\text{-}53\text{ }^{\circ}\text{C}$. Оазиси мають додатний річний радіаційний баланс. Атмосферна циркуляція Антарктики має як широтну так меридіональну складові. Широтна складова атмосферної циркуляція Антарктики визначає основні зональні риси її клімату. Над Антарктидою розташовується антициклон, оточений ланцюгом циклонів, які рухаються із заходу на схід. Однак у цю традиційну схему необхідно внести доповнення. По-перше, біля узбережжя Антарктиди виявлено стаціонарні циклони. По-друге, відроги антарктичного антициклону нерідко проривають циклонічне кільце низького тиску і простягаються через Південний океан до субтропічного кільця високого тиску. По-третє, циклони нерідко проникають із океану на материк, особливо у Західну Антарктиду. Щодо Східної Антарктиди, то для неї антициклон є стійким утворенням, хоча

його розміри та положення змінюються під впливом циклонів. Тут панують вітри східної складової. Над антарктичним антициклоном знаходиться висотний циклон, з якого на висоті 14 км стікає тепле повітря з океану. Висотний циклон та низові циклони сприяють переносу вологи всередину Антарктиди та живлення льодовикового щита. Відповідно до баричної обстановки вітри всередині Антарктиди відносно слабкі, навпаки, у широкому (700 км) периферичному кільці звичайним явищем є шторми та урагани, що супроводжуються поземкою та низовою завірюхою. Природа вітрів подвійна. По-перше, це циклонічні вітри. Так як центри периферичних циклонів проходять зазвичай північніше від берега Антарктиди, то пануючим напрямком на березі є східний-південно східний. Наближення до берегу циклонічної депресії посилює ще й інший процес надходження з Антарктиди до моря холодного повітря з материка (стоковий вітер). Стокові вітри тим сильніше, чим крутіше схил антарктичного купола. Особливо сильними стоковими вітрами відрізняється Земля Аделі, що називається іноді Країною бурь, та станція Мирний. Навпаки, для станції Літл Америка, за якою до південь простягається рівна, як стіл, поверхня шельфового льодовика Росса, характерні циклонічні вітри. Сила та стійкість стокових вітрів у різні пори року різні. Влітку на березі Антарктиди тижнем може триматися штильова погода. Взимку, у полярну ніч, повітря над льодовиковим покривом сильно охолоджується, що призводить до утворення стокових вітрів, які фіксуються постійно в цю пору року, поступово посилюючись до урагану, особливо якщо до узбережжя підходить циклон. Завдяки цьому процесу, тепле морське повітря проникає в глиб материка. Так, наприклад, до станції Мирний 24 липня 1957 року підійшов циклон, і стоковий вітер досяг ураганної сили (40 м/с) і продовжувався в протягом 10 діб. При цьому температура повітря зросла з -27°C до -10°C (на станції Мирний) та з -71°C до -45°C (на станції Восток). Постійні стокові вітри особливої сили фіксуються на узбережжі в зоні 200-300 км на південь від берега материка [7, 10-11].

У середньому температура знижується на 1°C при піднятті на 70 м і віддаленні від океану. З віддаленням від океану та наростанням широти збільшуються також річні амплітуди температур. Полярної ночі на станції Мирний немає, але на станції Восток вона триває 114 діб. Протягом полярної ночі відбувається дуже сильне вихолодження повітря. Над сніжною поверхнею утворюється потужна температурна інверсія. Наприклад, 9 травня 1957 р. на станції Восток, яка знаходиться на відстані 635 км від станції Мирний, спостерігалася інверсія зі стрибком температури від -70°C біля поверхні снігу до -37°C на висоті 350 м. Погода взимку в цьому районі стоїть досить тиха і температурна інверсія майже не руйнується вітром. Оазис Бангера влітку значно тепліше, а взимку трохи холодніше за район Мирного.

Майже всі свої опади Антарктида отримує у твердому вигляді, але на Антарктичному півострові та навіть на станціях Мирний та Літл Америка (78° південної широти) відомі поодинокі випадки випадання дощу. З поглибленням у внутрішні райони кількість опадів зменшується. Однак найбільша кількість їх випадає не узбережжі, а на крутих схилах льодовикового покриву, де циклонічне опадоутворення посилюється орографічними причинами. Для прикладу, на острові Дрігальського, розташованому за 90 км від Антарктиди, випадає понад 800 мм опадів, у Мирному, на узбережжі – близько 400 мм (а біля краю шельфового льодовика Росса тільки 300 мм), але на південь від станції Мирний, на схилі льодовикового щита випадає близько 600 мм опадів на рік. Далі з просуванням у внутрішні райони кількість опадів зменшується: на Піонерська станція до 150 мм, а на плато Радянському менше 80-50 мм на рік. Вся Антарктида в середньому отримує також мало опадів близько 200 мм на рік [7].

З приходом літа, сніг в Антарктиді розтає дуже інтенсивно біля краю материка, особливо біля чорних скель. Але з віддаленням від берега на кілька десятків кілометрів (до висоти 500-1000 м над рівнем моря) танення снігу майже припиняється, оскільки температура повітря залишається значно нижчою за 0°C . Велике значення має випаровування снігу, яке у прибережній

зоні досягає 200-250 мм на рік. В той же час випаровування у центральних районах Антарктиди вкрай мізерне. Величезні маси сніги переносяться пануючими східними та південними вітрами. Стокові вітри скидають у океан тільки невелику частину снігу оскільки за 10 км від материка вони вже згасають [7].

Зима та літо в Антарктиді мають різну тривалість. Зима триває з квітня по вересень, літо з грудня до лютого. Взимку на Радянському плато чотири місяці панує полярна ніч, стоїть маловітряна погода, морози сягають 80 °С і більше. Зрідка, завдяки наближенням циклону, фіксується суттєве зростання температури (до -40 °С). Влітку протягом 4 місяців на Радянському плато триває полярний день. Погода маловітряна і малоохмарна. Потік сонячної радіації нагріває повітря до -30°С.

Особливо вражає влітку погода в середині антарктичних оазисів. Тут на кілька градусів тепліше, ніж за його межами. Поверхня скель, покрита темною корою пустельної засмаги та вицвітами білих солей, нагрівається до 30 °С, повітря - до 11 °С і більше. Нагріте повітря піднімається вгору, завдяки чому, ближче до полудня, утворюють невеликі купчасті хмари. Подекуди в улоговинах розкидані солоні та безстічні озера. Однак на мілководді видно сліди холоду. тріщини, плями кам'яних багатокутників. Товщина мерзлого шару порід досягає 100 і більше метрів. Скелі виснажені вітром..

Завдяки своєрідному поєднанню географічних умов (перш за все великої висоти над рівнем моря та характеру рельєфу) з особливими умовами атмосферної циркуляції і радіаційними чинниками над територією Антарктиди формуються три основні кліматичні зони [7, 8], які нагадують висотні кліматичні зони в інших високогірних областях земної кулі:

Наявність цих зон підтверджується також характером снігонакопичення та розподілом на території Антарктиди складових радіаційного і теплового балансів [2, 6, 7]. 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.

Температура і вологість повітря, атмосферний тиск, вітер, опади та інші метеорологічні величини розподіляються в Антарктиді абсолютно інакше, ніж в інших областях земної кулі, у тому числі і у високих широтах Північної півкулі [3, 8].

1.3.1 Метеорологічний режим внутрішньоконтинентальної високогірної зони

Внутрішньоматерикова високогірна кліматична зона займає всю центральну територію Антарктичного плато та обмежується ізогією 3000-3200 м над рівнем моря.

У центральних районах Антарктиди регулярні метеоспостереження проводяться на станціях Амундсен-Скотт та Восток. Мінімальна зареєстрована температура на станції Восток $-89,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ [6, 9].

Середня температура взимку коливається в межах від -60 до $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$, а влітку від -25 до $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Найтеплішим днем на внутрішньоконтинентальній станції Восток за весь час її існування (з 16 грудня 1957 року) був день саме 16 грудня 1957, коли стовпчик термометра піднявся до $-13,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Такі високі температури в цій зоні пов'язані з вторгненням на материк циклонів з океану, що трапляється вкрай рідко [6, 7].

На станції Амундсен-Скотт, що знаходиться на південному полюсі, клімат трохи м'якший, внаслідок того, що вона знаходиться трохи ближче до узбережжя. У деяких регіонах південно-східної Антарктиди середньорічна температура може становити $-60,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Взимку коливання температур трохи менші, ніж улітку. На станції Восток з квітня по вересень мінімальна температура повітря опускається нижче $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, а середньомісячна нижче $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Спільним для клімату центрального регіону Антарктиди є вкрай низька кількість опадів. Опали, в основному, випадають у вигляді крижаних голок, так званого «алмазного пилу» та паморозі. Швидкість вітру незначна, але з наближенням до материковому схилу вона зростає [6].

1.3.2 Метеорологічний режим кліматичної зони льодовикового схилу

Кліматична зона льодовикового схилу, розташована на північ від внутрішньоматерикової зони та оточує Антарктиду широкою (700-800 км) смугою. Північна межа цієї зони співпадає з ізогією 300-500 м над рівнем моря і місцями підходить майже до самого узбережжя [6, 9].

На узбережжі, особливо в районі Антарктичного півострова, температура повітря досягає влітку $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в середньому в теплий місяць (січень) становить $1\text{ }^{\circ}\text{C} \dots 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Взимку ж (липень) на узбережжі температура в середньому за місяць коливається від $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ на Антарктичному півострові до $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ біля шельфового льодовика Росса [9-10].

Холодне повітря стікає з центральних районів, утворюючи стокові вітри, що досягають біля узбережжя значних швидкостей (середньорічне значення до 12 м/с), а при злитті з циклонічними повітряними потоками, що перетворюються на ураганні (до 50-60, а іноді і 90 м/с) . Внаслідок переважання низхідних потоків відносна вологість повітря невелика (60-80%), біля узбережжя і особливо в антарктичних оазисах знижується до 20 і навіть 5%. Порівняно мала і хмарність [6, 8, 10].

Опади випадають майже виключно у вигляді снігу: у центрі материка їх кількість досягає на рік 30-50 мм, у нижній частині материкового схилу воно збільшується до 600-700 мм, дещо зменшується біля його підніжжя (до 400-500 мм) і знову зростає на деяких шельфових льодовиках і північно-західному

узбережжі Антарктичного півострова (до 700-800 і навіть 1000 мм). У зв'язку з сильними вітрами та випаданням рясних снігів дуже часті хуртовини [6].

1.3.3 Метеорологічний режим прибережної кліматичної зони

Прибережна кліматична зона оточує узбережжя Антарктиди переважно у вигляді вузької льодовикової смуги, включаючи також вивідні та шельфові льодовики, припай, прибережні острови та оазиси.

Холодне повітря, що стікає на узбережжя з глибинних районів материка, опускаючись схилом, помітно нагрівається в результаті адіабатичного процесу. До того ж, сюди часто заходять циклони, що зароджуються над просторами Південного океану в більш північних широтах. Дається взнаки також і безпосередній вплив океану. Хоча прибережні води майже цілий рік покриті льодом і температура їх близька до точки замерзання, але вода все ж таки значно тепліша за повітря і між ними постійно відбувається теплообмін. Тому температура повітря на узбережжі, як правило, не опускається нижче за $-40...-45$ °С. На більшій частині узбережжя середньорічні значення приземної температури повітря складають $-10...-12$ °С. Тільки на північному краю Антарктичного півострова вони піднімаються до -5 °С. Середні температури найтеплішого літнього місяця – січня, що відповідає липню північної півкулі, на більшій частині узбережжя – -4 °С. Тільки на деяких прибережних оазисах і північно-західному узбережжі Антарктичного півострова середньомісячна температура січня додатна ($+2$ °С). Іноді на узбережжі в рідкі літні тихі ясні дні протягом кількох годин і, дуже рідко, діб стовпчик термометра піднімається вище за нуль. Однак, тримаються додатні температури в Антарктиці дуже недовго. Для прикладу на станції Мирний найбільш теплим виявилось літо 1956-1957 року, коли додатні приземні температури

спостерігалися понад 1000 годин, зате вже в літній сезон 1961-1962 року термометр показував вище нуля лише близько 70 годин за сезон [7, 8].

Зовсім інша картина спостерігається на Антарктичному півострові, особливо на його північно-західному узбережжі. Тут додатні температури повітря можуть спостерігатися будь-якої пори року. Навіть всередині зими двадцятиградусні морози можуть змінюватися відлигами, і тоді замість снігу починає моросити дощ. Максимальна температура повітря, зареєстрована у цьому районі, спостерігалася на східному узбережжі півострова Трініті під час фена і досягла $+14^{\circ}\text{C}$.

1.3.4 Метеорологічний режим антарктичних оазисів

Антарктичними оазисами називають не покриті льодом ділянки берегової зони Антарктиди. Площа таких ділянок становить від кількох десятків до кількох сотень квадратних кілометрів. За фізико-географічними особливостями виділяються кілька типів оазисів: низькогірно-горбисті, міжгірські, гірські антарктичні. У рельєфі присутні сліди покривного зледеніння. Активні фізичні та хімічні процеси вивітрювання забарвлюють виходи корінних порід у червоно-коричневий колір. Місцями є багато озер. У великих прісних озерах глибини можуть сягати до 50 м, а температура води – приблизно $+4^{\circ}$. У цих озерах можуть фіксуватись червоні рачки, циклопи та нитчасті водорості. У замкнутих солонуватих водоймищах можуть фіксуватись черв'яки нематоди і мікроскопічні синьо-зелені водорості. На дні малих водойм ці водоростей можуть утворювати сапропелеві мули. У деяких водоймах ґрунт містить велику кількість сірководню [6, 8].

Метеорологічними спостереженнями вдалося виявити різко виражений місцевий клімат оазисів з додатним тепловим балансом його поверхні, зумовленим великим поглинанням сонячного тепла темною поверхнею скель.

Наявність місцевого клімату оазисів обумовлюється досить великими його розмірами. Як показали проведені в оазисі актинометричні спостереження, на кожен квадратний метр його поверхні надходить за добу влітку 475кВт тепла, причому відбивається від поверхні лише 15%, решта поглинається темною поверхнею скель. Слід зазначити, що поверхня льоду навколо оазисів відбиває 76% теплової енергії сонця, яка до неї надходить. Температура води в малих водоймах може сягати +9°C. Середньорічна температура повітря всередині оазису на 1-2 °C вище ніж зовні. Влітку різниця температур може досягати 5-6 °C. Кам'яниста поверхня іноді прогрівається до +40 °C. Опадів випадає 200-300 мм на рік переважно у вигляді снігу. Тваринний світ дуже бідний, в антарктичних оазисах зустрічаються кілька видів комах, з птахів гніздяться буревісники та поморники, у деяких оазах зустрічається пінгвін Аделі [6].

2 ВИХІДНІ ДАНІ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Характеристика вихідної інформації

В якості вихідного матеріалу для дослідження використовувались середньомісячні значення приземної температури повітря на купольних станціях Антарктиди, отримані з бази даних Британської Антарктичної служби (<https://www.bas.ac.uk>).

Оскільки метою роботи є дослідження та аналіз температурного режиму внутрішньоконтинентальної високогірної кліматичної зони, то для дослідження були використані дані по двом станціях, які розташовані в зазначеній зоні та мають достатньо довгий ряд даних для їх обробки та аналізу [4, 5, 8-10]. Це станції Амундсен-Скотт та Восток (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Купольні станції Антарктиди

№ з/п	Назва станції	Географічні координати		Висота над рівнем моря, м
		широта	довгота	
1	<i>Амундсен-Скотт</i>	90S	0E	2835
2	<i>Восток</i>	78,28 S	106,48 W	3488

У таблиці 2.1 представлені всі станції, які були використані при дослідженні, а також основні параметри цих станцій: географічна широта, довгота та висота на рівнем моря. Як можна побачити на рис. 2.1, для дослідження використовувались станції, що знаходяться в середині материка. Обидві станції мають значні висоти над рівнем моря.



Рисунок 2.1 – Регіон дослідження

Амундсен-Скотт – антарктична станція США, що діє з 1956 року постійно на Південному полюсі. Розташовується на висоті 2835 м над рівнем моря. Перша станція у глибині материка Антарктики. Була побудована в листопаді 1956 для наукових цілей за наказом уряду США.

При відкритті станція розташовувалася точно на Південному полюсі, проте на початок 2006 року через рух льодів станція знаходилася приблизно за 100 м від географічного південного полюса. Станція отримала свою назву на честь першовідкривачів Південного полюса – Руаля Амундсена та Роберта Скотта, які досягли мети у 1911-1912 роках [6, 10].

Станція знаходиться на висоті 2835 м над рівнем моря, на льодовику, який неподалік досягає максимальної товщини 2850 м (дані на 2005 рік). Середньорічна температура – близько -49°C ; змінюється від -28°C у грудні до -60°C у липні. Середня швидкість вітру – 5,5 м/с; були зареєстровано пориви до 27 м/с.

Станція Восток знаходиться на рівнинній сніговій поверхні льодовикового плато Східної Антарктиди і має висоту 3488 м над рівнем моря. Якнайменша відстань від узбережжя – 1260 км, від Південного полюса – 1253 км, від станції Мирний – 1410 км. Товщина льодовикового покриву в районі станції складає 3700 м, потужність сніжно-фірнової товщі – більше 130 м. Ложе льодовика під станцією знаходиться в межах 200 м нижче рівня моря. Природні водоймища в районі станції Восток відсутні. Виходів корінних порід немає.

Щодо кліматичних умов в районі станції – то вони є вкрай суворими. На станції спостерігаються дуже низькі температури протягом усього року. Саме на станції Восток 21 липня 1983 зареєстрована найнижча на планеті приземна температура повітря: $-89,2$ °С, цей рекорд протримався аж до 2013 року, коли в Трансантарктичних горах Антарктиди була зафіксована температура $-91,0$ °С. Найтеплішим днем на станції Восток за часи її існування був день 11 січня 2002 року, тоді температура повітря піднялася до $-12,2$ °С.

Середня температура повітря найтепліших місяців року – грудня та січня – складає нижче -30 °С. Середня приземна температура найхолоднішого місяця – серпня – складає -68 °С, часто опускається нижче -70 °С.

Щодо опадів, то їх практично не має. Середньорічна кількість опадів складає всього близько 4,5 мм, що еквівалентно майже повній їх відсутності.

2.2 Методи розрахунку основних статистичних параметрів

Основні властивості випадкових величин характеризуються початковими (ν), центральними (μ) та основними (r) моментами розподілу різних порядків (l). В гідрометеорологічних дослідженнях, як правило, використовуються перелічені моменти перших чотирьох порядків ($l = \overline{1,4}$). Початкові, центральні та основні моменти розподілу є параметрами

генеральних сукупностей випадкових величин. На основі статистичної сукупності (вибірки) можна знайти статистичні оцінки цих параметрів, які повинні володіти властивостями незсуненості, ефективності та умотивованості [12]. Будемо у подальшому позначати статистичні оцінки моментів розподілу 1-того порядку таким чином: початкового – v_1 , центрального – μ_1 , основного – r_1 . Вони можуть розраховуватися як по простих, так і по згрупованих статистичних сукупностях різних гідрометеорологічних величин (наприклад, температури повітря, місячної кількості опадів, атмосферного тиску, швидкості вітру і т.п.) [12].

Початковим моментом розподілу випадкової величини X 1-того порядку називається інтеграл вигляду:

$$v_l = \int_{-\infty}^{\infty} x^l f(x) dx. \quad (2.1)$$

Початковий момент розподілу 1-го порядку є математичним сподіванням цієї випадкової величини:

$$v_1 = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx = m_x. \quad (2.2)$$

Якщо для знаходження оцінок моментів розподілу, що відповідають переліченим вимогам, використовуються згруповані ряди, то початковий момент 1-того порядку оцінюється за формулою [12]:

$$v_l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i^l m_i \quad (2.3)$$

або

$$v_l = \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i^l p_i, \quad (2.4)$$

де n – об'єм вибірки;

k – кількість часткових інтервалів;

\tilde{x}_i, m_i, p_i – середина, інтервальна емпірична частота та інтервальна частість i -тої градації відповідно.

Очевидно, оцінка першого початкового моменту розподілу (v_1) є оцінкою математичного сподівання (m_x) і дорівнює середньому значенню (\bar{x}) випадкової величини X :

$$v_1 = m_x = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i m_i \quad (2.5)$$

або

$$v_1 = m_x = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i p_i \quad (2.6)$$

Статистичні оцінки початкових моментів розподілу другого, третього та четвертого порядків (v_2, v_3 та v_4) розраховуються за формулою (2.3) або (2.4) за умов, що у цих формулах показник степеня l приймає відповідно значення 2, 3 і 4:

$$v_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i^2 m_i = \overline{x^2}, \quad (2.7)$$

$$v_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i^3 m_i = \overline{x^3}, \quad (2.8)$$

$$v_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i^4 m_i = \overline{x^4} \quad (2.9)$$

Якщо статистична оцінка l -го початкового моменту розподілу обчислюється на основі простих статистичних сукупностей, то використовується формула [12]:

$$v_l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^l. \quad (2.10)$$

Очевидно, середнє значення для таких сукупностей отримаємо за допомогою рівняння:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = v_1 = m_x, \quad (2.11)$$

а оцінки початкових моментів розподілу 2-го, 3-го та 4-го порядків - за формулами [12]:

$$v_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 = \overline{x^2}, \quad (2.12)$$

$$v_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^3 = \overline{x^3}, \quad (2.13)$$

$$v_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^4 = \overline{x^4}. \quad (2.14)$$

У рівняннях (2.10) – (2.14) n – об'єм вибірки; x_i – кожне конкретне значення випадкової величини X [19].

Центральним моментом розподілу 1-ого порядку випадкової величини X називається інтеграл вигляду:

$$\mu_l = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^l f(x) dx. \quad (2.15)$$

Статистична оцінка центрального моменту розподілу 1-ого порядку, якщо ряди є згрупованими, розраховується за формулою:

$$\mu_l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^l m_i \quad (2.16)$$

при використанні інтервальних емпіричних частот m_i і за формулою [12]

$$\mu_l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^l p_i \quad (2.17)$$

при використанні інтервальних частотей p_i .

Центральні моменти розподілу оцінюються, починаючи з другого моменту ($l = 2$), тому, що перший центральний момент завжди дорівнює нулю, як і його оцінка. Центральний момент другого порядку має сенс дисперсії випадкової величини: $\mu_2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 f(x) dx = \sigma_x^2$.

Для розрахунку статистичної оцінки центрального моменту розподілу другого порядку на основі згрупованого ряду використовуються формули [12]:

$$\mu_2 = \sigma_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^2 m_i, \quad (2.18)$$

$$\mu_2 = \sigma_x^2 = \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^2 p_i, \quad (2.19)$$

Аналогічним чином на основі формули (2.16) або (2.17) знаходять статистичні оцінки третього (за умови $l = 3$) і четвертого (за умови $l = 4$) моментів розподілу випадкової величини X [12]:

$$\mu_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^3 m_i, \quad (2.20)$$

$$\mu_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^4 m_i. \quad (2.21)$$

Статистична оцінка другого центрального моменту розподілу, що розраховується за формулою (2.18) або (2.19), є зсуненою оцінкою дисперсії.

Незсунену, ефективну та умотивовану оцінку дисперсії випадкової величини X (це вимоги, яким повинні задовольняти статистичні оцінки параметрів) розраховують за формулою (2.22) і позначають S_x^2 :

$$S_x^2 = \frac{n}{n-1} \mu_2, \quad (2.22)$$

де $\left(\frac{n}{n-1}\right)$ - коефіцієнт Бесселя [12].

Щоб розрахувати незсунену, ефективну та умотивовану оцінку дисперсії випадкової величини X за умови згрупованих рядів використовують рівняння (2.23):

$$S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^2 m_i. \quad (2.23)$$

Очевидно, статистична оцінка середнього квадратичного відхилу цієї величини є [12]:

$$S_x = \sqrt{S_x^2}. \quad (2.24)$$

Статистичну оцінку центрального моменту розподілу l -того порядку у випадку простих статистичних сукупностей випадкової величини X отримаємо за допомогою формули [19]:

$$\mu_l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^l. \quad (2.25)$$

Тоді статистичні оцінки центральних моментів другого, третього та четвертого порядків розраховуються за формулами (2.26) – (2.28):

$$\mu_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sigma_x^2, \quad (2.26)$$

$$\mu_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3, \quad (2.27)$$

$$\mu_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4. \quad (2.28)$$

де n – об'єм ряду,

$x_i (i = \overline{1, n})$ – конкретне значення випадкової величини X ,
 \bar{x} – середнє значення вибірки X .

Незсунена, ефективна та умотивована оцінка дисперсії випадкової величини X знаходиться за формулою [12]:

$$S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (2.29)$$

Центральні моменти розподілу 2-го, 3-го та 4-го порядків можна розрахувати і за формулами їх зв'язку з початковими моментами:

$$\mu_2 = \nu_2 - \nu_1^2, \quad (2.30)$$

$$\mu_3 = \nu_3 - 3\nu_2\nu_1 + 2\nu_1^3, \quad (2.31)$$

$$\mu_4 = \nu_4 - 4\nu_1\nu_3 + 6\nu_1^2\nu_2 - 3\nu_1^4. \quad (2.32)$$

Основний (нормований) момент розподілу l -того порядку є часткою від ділення l -того центрального моменту на середній квадратичний відхил в l -тому степені [12]:

$$r_l = \frac{\mu_l}{\sigma_x^l}. \quad (2.33)$$

Статистична оцінка основного моменту l -того порядку для випадкової величини X розраховується за формулою:

$$r_l = \frac{\mu_l}{S_x^l}. \quad (2.34)$$

Очевидно, що $r_1 = 0$, а $r_2 = 1$.

Тому обчислюються тільки статистичні оцінки третього (за умови $l=3$):

$$r_3 = \frac{\mu_3}{S_x^3} \quad (2.35)$$

та четвертого (за умови $l=4$):

$$r_4 = \frac{\mu_4}{S_x^4} \quad (2.36)$$

порядків основних моментів розподілу [12].

Як відомо, оцінка третього основного моменту характеризує асиметрію кривої розподілу інтервальних частотей (або частот) і називається коефіцієнтом асиметрії: $r_3 = As$. Крива розподілу має правосторонню асиметрію за умови $As > 0$, і лівосторонню – за умови $As < 0$. Вона є симетричною відносно центру розподілу, якщо $As = 0$ [19].

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

$$E = r_4 - 3. \quad (2.37)$$

У першому випадку $E > 0$, у другому - $E < 0$.

За умов нормального розподілу $r_3 = 0$; $E = 0$ [12].

2.3 Методи розрахунку аномалій приземної температури повітря

Для встановлення характерних особливостей зміни приземної температури повітря на досліджуваних станціях антарктичного плато було прийняте рішення розрахувати та проаналізувати аномалії приземної

температури повітря за десятирічні періоди з 1991 по 2020рр. В якості вихідних даних використовувалися середньомісячні значення приземної температури повітря, отримані з бази даних Британського антарктичного центру.

Для розрахунку аномалій приземної температури повітря використовувалась формула 2.38 [10]:

$$t_{\alpha_i} = \bar{t}_i - \bar{t}_{30}, \quad (2.38)$$

де, \bar{t}_i – середнє значення приземної температури повітря за кожне десятиріччя;

\bar{t}_{30} – середнє значення приземної температури повітря за п'ятдесятирічний період (1991-2020рр.);

t_{α_i} – аномалія приземної температури повітря.

Розрахунки аномалій було проведено для усіх місяців року для двох досліджуваних внутрішньоматерикових стацій Антарктиди.

Таким чином, розрахунки виконувалися за трьома десятиріччями: 1) 1991-2000гг., 4) 2001-2010рр., 5) 2011-2020рр. Для зазначених десятиріч для кожного місяця року та середньорічних значень аналізувались:

- середнє значення температури повітря за тридцятирічний період (1991-2020рр.);
- середнє значення температури повітря за кожне десятиріччя;
- аномалія приземної температури повітря, розрахована як різниця між десятирічним та п'ятдесятирічним середнім значенням.

3 ДИНАМІКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ВНУТРІШНЬОМАТЕРИКОВОЇ ВИСОКОГІРНОЇ ЗОНИ

В останні роки вчені всього світу фіксують в обох полярних районах Земної кулі явні ознаки впливу певних процесів, спричинених зміною клімату, а саме – глобальним підвищенням температури [4-5].

Як вже зазначалося, в антарктичних регіонах вчені спостерігають безпрецедентні рівні ознак загальнопланетарного підвищення температури. Реальний вплив пов'язаних зі зміною клімату процесів демонструє величезну регіональну різницю як в самих полярних районах, так і між ними – при значній складності цих взаємодій [1-5].

Вивчення багаторічної динаміки температурного режиму є одним з першочергових завдань для пояснення кліматичних змін, які відбуваються в Південній півкулі. Проаналізуємо середньомісячні значення приземної температури повітря досліджуваних станцій. Систематизація, розрахунки та аналіз приземної температури досліджуваних станцій проводилися для усіх місяців року за період з 1958 по 2020рр.

Відомо, що клімат будь-якого місця як правило визначається статистичними показниками. Ці показники мають бути обчислені на підставі довгих рядів спостережень метеорологічних величин, які характеризують режим погоди в даному регіоні [12].

3.1 Статистичні характеристики приземної температури повітря досліджуваного регіону

В останні роки в Антарктичному регіоні спостерігається яскраво виражений вплив процесів, які спричинені зміною клімату – глобальним підвищенням температури. Вивчення динаміки приземної температури в районі антарктичного плато є дуже важливим питанням оскільки вона безпосередньо пов'язана з умовами стійкості антарктичного льодяного куполу [3, 4, 5]. Використовуючи часові ряди середньомісячних значень приземної температури повітря для досліджуваних станцій Антарктиди були розраховані статистичні характеристики приземної температури повітря для всіх місяців року (табл. 3.1 та 3.2).

Таблиця 3.1

Статистичні характеристики приземної температури повітря ст. Восток

№ з/п	Місяць року	$x_{\text{сеп.}}$	x_{min}	x_{max}	M_0	Sx^2	Sx	As	E
1	Січень	-34.2	-37.3	-30.5	-33.3	2.3	1.5	0.0	-0.4
2	Лютий	-46.8	-50.4	-41.9	-46.3	3.5	1.9	0.5	0.0
3	Березень	-59.9	-66.3	-55.8	-60.8	3.5	1.9	-0.7	2.0
4	Квітень	-64.8	-70.6	-60.3	-66.0	5.0	2.2	-0.2	-0.3
5	Травень	-65.6	-70.6	-57.8	-66.8	8.7	3.0	0.6	-0.1
6	Червень	-65.5	-71.0	-59.1	-64.4	9.3	3.1	-0.1	-0.8
7	Липень	-66.5	-73.8	-56.4	-66.1	12.9	3.6	0.4	0.7
8	Серпень	-67.5	-75.6	-60.7	-68.2	11.1	3.3	0.0	-0.2
9	Вересень	-67.0	-73.5	-59.8	-67.6	9.6	3.1	0.0	-0.3
10	Жовтень	-58.9	-63.3	-53.1	-60.4	4.3	2.1	0.3	0.4
11	Листопад	-44.4	-48.2	-40.0	-44.5	3.4	1.8	0.1	-0.4
12	Грудень	-33.5	-37.3	-29.8	-34.0	2.7	1.6	0.1	-0.1
13	Рік	-56.2	-58.2	-53.9	-55,3	1.0	1.0	0.4	0.0

Проведемо аналіз таблиці 3.1. Отже, середньомісячна температура на станції Восток змінюється у досить великих межах, від $-67,5$ С (взимку) до $-33,5$ С (влітку). Слід зазначити, що середньорічне значення температури на станції складає $-56,2$ С. Тобто, річна амплітуда середньомісячної температури на станції Восток складає більше 30 С! Річний хід мінімальних і максимальних температур повторює річний хід середніх температур повітря, при чому максимальні значення вкрай низькі і не перевищують $-30,0$ С. Мода приземної температури на ст. Восток для більшості місяців року суттєво відрізняється від середнього значення, що може свідчити про відмінність процесу змін клімату в південних полярних широтах від нормального.

Дисперсія та середньоквадратичний відхил (табл. 3.1) змінюються у широких межах. Мінімальні значення фіксуються в перехідні та літні періоди року, а максимальні – взимку, що, без сумніву, пов'язано з відсутністю сонячної радіації в зимові місяці та переважанням адвективного режиму погоди.

За ступенем скошеності кривих розподілу, тобто по величині коефіцієнту A_s , в рядах приземної температури повітря станції Восток протягом року переважає слабка правостороння асиметрії. Це означає суттєву відмінність процесу змін клімату в цьому районі від нормального та його нестационарність.

Звертаючись до аналізу коефіцієнтів ексцесу в табл. 3.1, слід зауважити, що протягом року зустрічається як плосковершинний ($E < 0$) розподіл так і витягнутий ($E > 0$), тобто приземна температура повітря в деякі місяці року (січень, квітень, травень, червень, серпень, вересень, листопад, грудень) змінюється у широкому діапазоні, а в деякі – у вузькому (лютий, березень, липень, жовтень). Зазначимо, що для середньорічних значень коефіцієнт ексцесу дорівнює нулю.

Статистичні характеристики станції Амундсен-Скотт представлені в табл. 3.2. Як бачимо, середньомісячна температура на станції Амундсен-Скотт, так само як і на станції Восток, змінюється у досить великих межах, від

-60,0 С (взимку) до -27,6 С (влітку). Середньорічне значення температури на станції Амундсен-Скотт складає -49,2 С, що 7,0 С вище, ніж на станції Восток. Хоча, річна амплітуда температури повітря на станції Амундсен-Скотт, так само як і на станції Восток, складає більше 30 С!

Таблиця 3.2

Статистичні характеристики приземної температури повітря
ст. Амундсен-Скотт

№ з/п	Місяць року	$x_{\text{сер.}}$	x_{min}	x_{max}	M_0	Sx^2	Sx	As	E
1	Січень	-27.9	-32.0	-24.3	-27.8	2.7	1.6	0.0	0.0
2	Лютий	-40.6	-44.1	-35.2	-40.6	4.0	2.0	0.6	0.3
3	Березень	-53.7	-58.0	-49.0	-54.0	4.2	2.0	0.1	-0.4
4	Квітень	-57.4	-62.4	-50.6	-58.7	7.1	2.7	0.2	-0.5
5	Травень	-57.8	-62.9	-51.7	-58.4	5.9	2.4	0.1	0.2
6	Червень	-58.2	-64.5	-51.5	-61.7	10.7	3.3	0.2	-0.7
7	Липень	-60.0	-67.2	-53.6	-58.7	7.7	2.8	-0.3	-0.1
8	Серпень	-59.5	-67.2	-53.3	-61.0	9.0	3.0	0.1	-0.3
9	Вересень	-59.1	-66.0	-51.3	-58.1	8.3	2.9	0.4	0.2
10	Жовтень	-51.1	-56.3	-45.7	-50.8	6.2	2.5	0.0	-0.2
11	Листопад	-38.0	-43.0	-32.4	-38.7	4.8	2.2	0.3	0.1
12	Грудень	-27.6	-32.3	-23.2	-27.4	3.8	2.0	0.0	-0.4
13	Рік	-49.2	-51.0	-47.1	-49.0	0.6	0.8	0.1	0.2

Річний хід мінімальних і максимальних приземних температур повторює річний хід середніх температур, при чому максимальні значення на станції Амандсен-Скотт дещо вищі, ніж на станції Восток і піднімаються в літні місяці до -23,0 – -24,0 С. Така відмінність може бути пояснена географічним розташуванням станцій: Станція Восток розташована на полюсі недоступності – точці, максимально віддаленій від узбережжя, а станція Амундсен-Скотт розташовується на географічному полюсі, значно ближче до узбережжя.

Мода приземної температури повітря на ст. Амундсен-Скотт для більшості місяців року майже не відрізняється від середнього значення, що може свідчити про наближеність процесу змін клімату в південних полярних широтах до нормального закону розподілу.

Дисперсія та середньоквадратичний відхил (табл. 3.2) змінюються у вузьких межах. Мінімальні значення фіксуються в перехідні та літні періоди року, а максимальні – взимку, що, без сумніву, пов'язано з відсутністю сонячної радіації в зимові місяці та переважанням адвективного режиму погоди.

За ступенем скошеності кривих розподілу, тобто по величині коефіцієнту A_s , в рядах приземної температури повітря станції Амундсен-Скотт протягом року переважає слабка правостороння асиметрія, слід зазначити, що коефіцієнти асиметрії не перевищують 0,3 – 0,4 (окрім грудня, для якого коефіцієнт асиметрії складає 0,6). Це свідчить, що суттєвої відмінності процесу зміни клімату в цьому районі від нормального не спостерігається.

Звертаючись до аналізу коефіцієнтів ексцесу в табл. 3.2, слід зауважити, що протягом року зустрічається як плосковершинний ($E < 0$) розподіл так і витягнутий ($E > 0$), тобто приземна температура повітря в деякі місяці року (січень, лютий, травень, вересень, листопад,) змінюється у широкому діапазоні, а в деякі – у вузькому (березень, квітень, червень, липень, серпень, жовтень та грудень). Зазначимо, що для середньорічних значень коефіцієнт ексцесу дорівнює 0,2.

Враховуючи це, можна зробити висновок, що в досліджуваному районі спостерігаються різкі коливання температури, які характеризуються великими значеннями амплітуди та зменшенням періоду коливань.

3.2 Особливості багаторічних змін приземної температури повітря

Проаналізуємо багаторічні мінімальні, середні та максимальні середньомісячні значення приземної температури повітря на досліджуваних станціях антарктичного плато за дванадцять місяців та за рік (рис. 3.1 та 3.2).

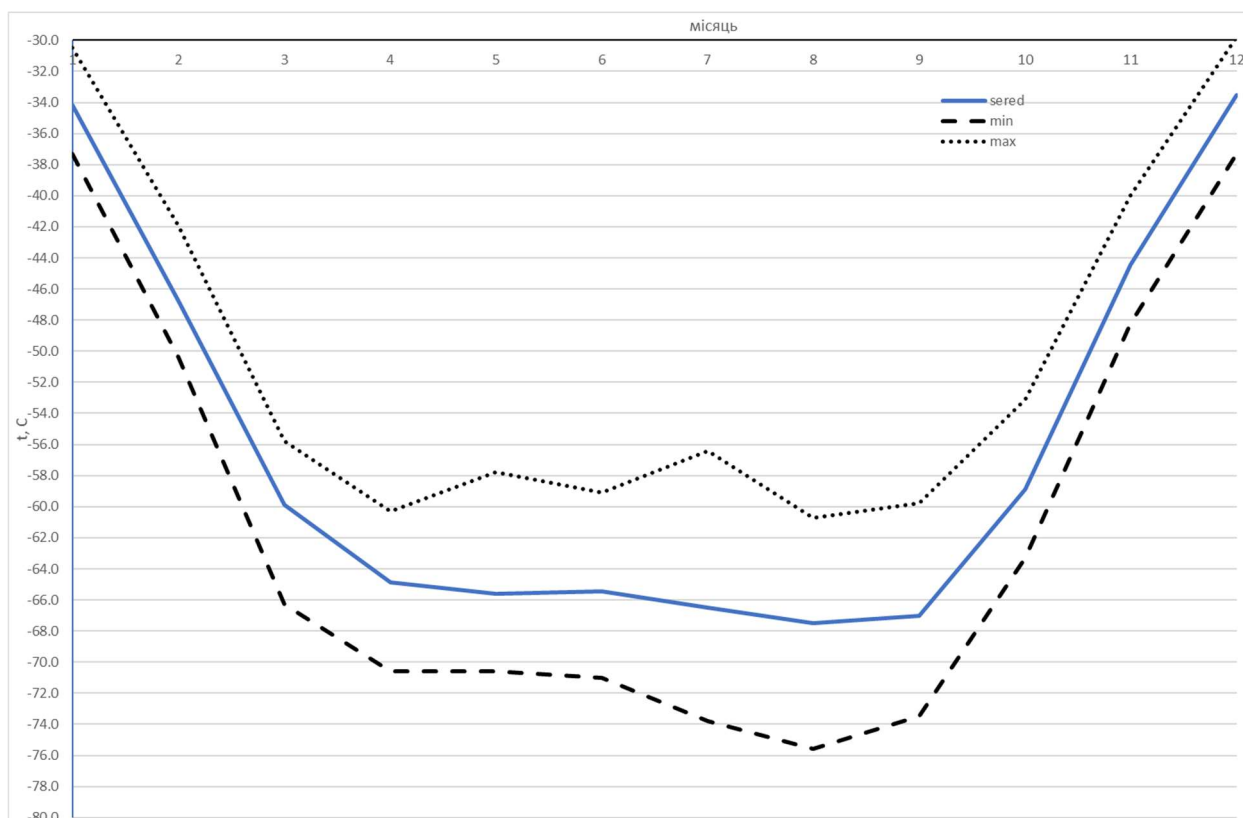


Рис. 3.1 – Річний хід середніх багаторічних значень приземної температури повітря (максимальних, середніх, мінімальних) на ст. Восток

Аналіз рисунків 3.1 та 3.2, а також таблиці 3.3 дозволяє стверджувати, що мінімальні значення приземної температури в досліджуваному регіоні фіксуються в період антарктичної зими, максимальні – влітку. Найхолоднішим місяцем для станції Восток є серпень (багаторічне середньомісячне значення приземної температури за цей місяць складає $-67,5^{\circ}\text{C}$), а для станції Амундсен-

Скотт – липень (-60,0 С), найтеплішим місяцем для обох станцій є грудень: -33,5 °С – станція Восток та -27,6 – станція Амундсен-Скотт. Як бачимо температурний режим на станції Восток жорсткіший ніж на станції Амундсен-Скотт, що пояснюється їх географічним положенням (станція Восток знаходиться на так званому «полюсі абсолютної недоступності»).

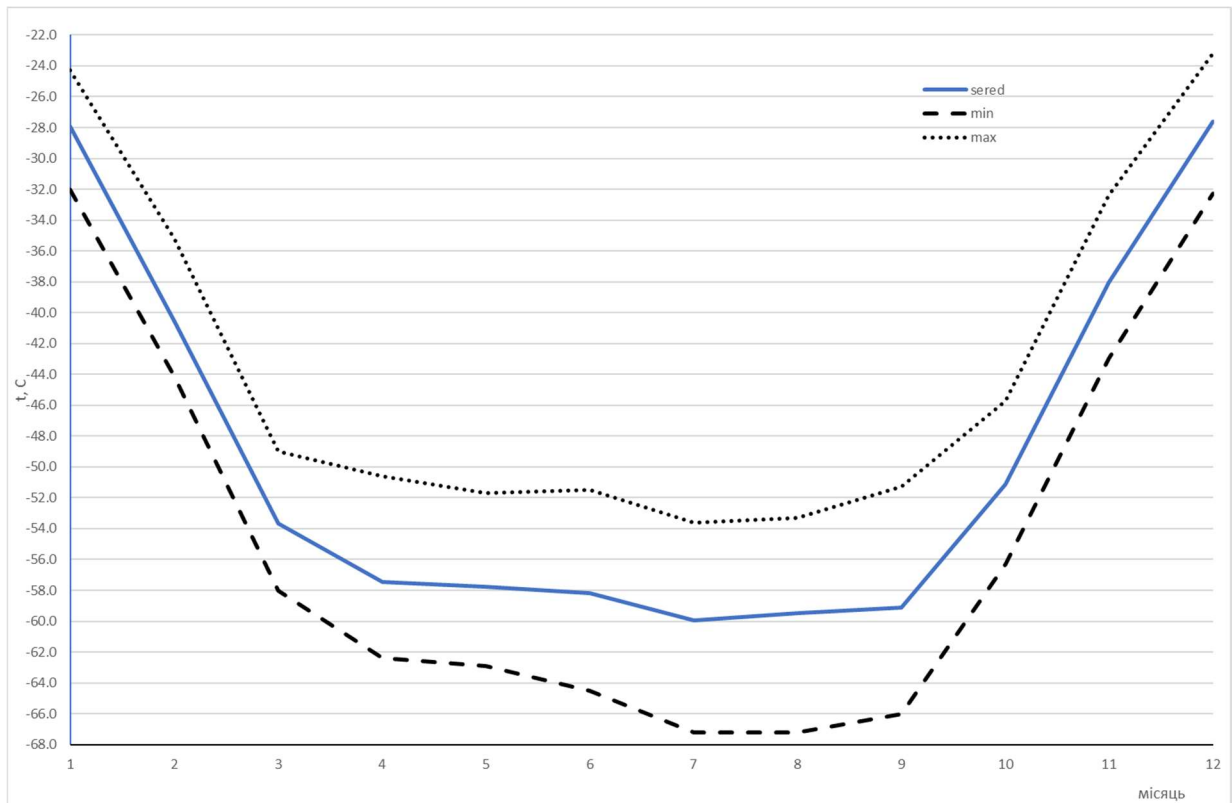


Рис. 3.2 – Річний хід середніх багаторічних значень приземної температури повітря (максимальних, середніх, мінімальних) на ст. Амундсен-Скотт

Всі данні були проаналізовані з метою виявлення прихованих періодичностей, яке проводилося за допомогою швидкого перетворення Фур'є з ймовірністю 68% (табл. 3.4).

Для приземної температури повітря станції Восток найбільш характерні коливання з періодом 2 і 3 року. Слід зазначити, що в певні місяці року фіксуються квазішести (вересень), квазівосьми (березень) та квазідев'ятирічні (липень) коливання.

Що стосується станції Амундсен-Скотт, то для неї найбільш характерні коливання з періодом квазідвох-, чотирьох- та п'ятирічні коливання. Однак слід зазначити, що в березні та травні фіксуються квазітрьохрічні коливання.

За даними значень приземної температури повітря були побудовані графіки. Результати аналізу прихованих періодичностей використовувались при згладжуванні осереднених рядів приземної температури повітря.

Таблиця 3.3

Багаторічні значення приземної температури повітря (°C)
досліджуваного регіону

№ з/п	Місяць року	X _{ср.}	X _{min}	X _{max}	X _{ср.}	X _{min}	X _{max}
		Восток			Амундсен-Скотт		
1	Січень	-34.2	-37.3	-30.5	-27.9	-32.0	-24.3
2	Лютий	-46.8	-50.4	-41.9	-40.6	-44.1	-35.2
3	Березень	-59.9	-66.3	-55.8	-53.7	-58.0	-49.0
4	Квітень	-64.8	-70.6	-60.3	-57.4	-62.4	-50.6
5	Травень	-65.6	-70.6	-57.8	-57.8	-62.9	-51.7
6	Червень	-65.5	-71.0	-59.1	-58.2	-64.5	-51.5
7	Липень	-66.5	-73.8	-56.4	-60.0	-67.2	-53.6
8	Серпень	-67.5	-75.6	-60.7	-59.5	-67.2	-53.3
9	Вересень	-67.0	-73.5	-59.8	-59.1	-66.0	-51.3
10	Жовтень	-58.9	-63.3	-53.1	-51.1	-56.3	-45.7
11	Листопад	-44.4	-48.2	-40.0	-38.0	-43.0	-32.4
12	Грудень	-33.5	-37.3	-29.8	-27.6	-32.3	-23.2
13	Рік	-56.2	-58.2	-53.9	-49.2	-51.0	-47.1

Таблиця 3.4

Значущі періоди коливань (рік) приземної температури повітря

періоди коливань												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	рік
Станція Восток												
2,0	2,4	8,2	2,8	2,1	2,1	8,8	2,4	6,0	3,1	2,2	2,5	7,2
Станція Амундсен-Скотт												
3,6	3,6	2,5	3,5	2,5	4,5	2,0	2,0	2,0	4,2	4,5	4,0	3,6

В таблиці 3.5 наведені результати розрахунків трендової складової приземної температури повітря досліджуваних станцій Антарктиди. Жирним шрифтом та курсивом виділені найбільші від'ємні значення тренду, просто жирним шрифтом – найбільші додатні.

Аналіз табличного матеріалу показав, що для абсолютної більшості місяців року (окрім квітня – $-0,3$ C) на станції Восток характерне зростання приземної температури повітря за досліджуваний період (рис. 3.3). Найбільші додатні тренди на станції спостерігається в кінці антарктичної зими, напочатку весни – липень ($2,6$ C), жовтень ($3,1$ C) та листопад ($3,4$ C). Від'ємні значення тренду фіксуються тільки напочатку зими.

Таблиця 3.5

Значення трендової складової приземної температури повітря ($^{\circ}$ C)

значення тренду												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Станція Восток												
0.3	0.9	1.0	-0.3	0.5	0.8	1.0	2.6	1.9	3.1	3.4	1.8	1.3
Станція Амундсен-Скотт												
0.7	0.5	2.0	0.0	-0.4	-0.2	-0.9	-0.3	-0.2	0.2	2.1	1.5	0.4

На станції Амундсен-Скотт від'ємні аномалії приземної температури повітря фіксуються виключно в зимовий період з травня (-0,4 С) по вересень (-0,2 С). Найбільший від'ємний тренд на станції фіксується в липні і складає -0,9 С. Додатні тренди спостерігаються в решту пори року і досягають максимальних значень в перехідні сезони: березень (2,0 С) та листопад (2,1 С). В цілому зарік значення тренду складає 0,4 С.

Побудуємо гістограму трендової складової приземної температури повітря протягом року для досліджуваних станцій (рис. 3.3).

Аналіз рис. 3.3 дозволяє стверджувати, що для дослідженого регіону характерне зростання приземної температури повітря протягом більшості місяців року: від початку осені (листопад), всю зиму (грудень, січень), до кінця весни (березень). Відмінності між станціями проявляються в зимовий період: на станції Амундсен-Скотт, яка знаходиться ближче до узбережжя, фіксується від'ємний тренд. Найбільше від'ємне значення тренду (-0,9 С) спостерігається в червні.

Для станції Восток, яка знаходиться в більш суворих умовах – на полюсі недоступності – спостерігається протягом усього зимового періоду додатній тренд. Максимальні значення припадають на кінець зими – початок весни (жовтень-листопад) 3.1 та 3.4 С відповідно.

Тобто на станції Восток ще триває збільшення температури протягом усіх місяців року, а на станції Амундсен-Скотт уже почалась стадія похолодання, хоча й фіксується вона тільки в зимовий період року.

Проведене дослідження приземної температури повітря на станції Восток дозволяє стверджувати про певні порушення стабільності термічного режиму регіону, а саме потепління протягом усього року, яке досягає максимальних значень наприкінці зими – навесні.

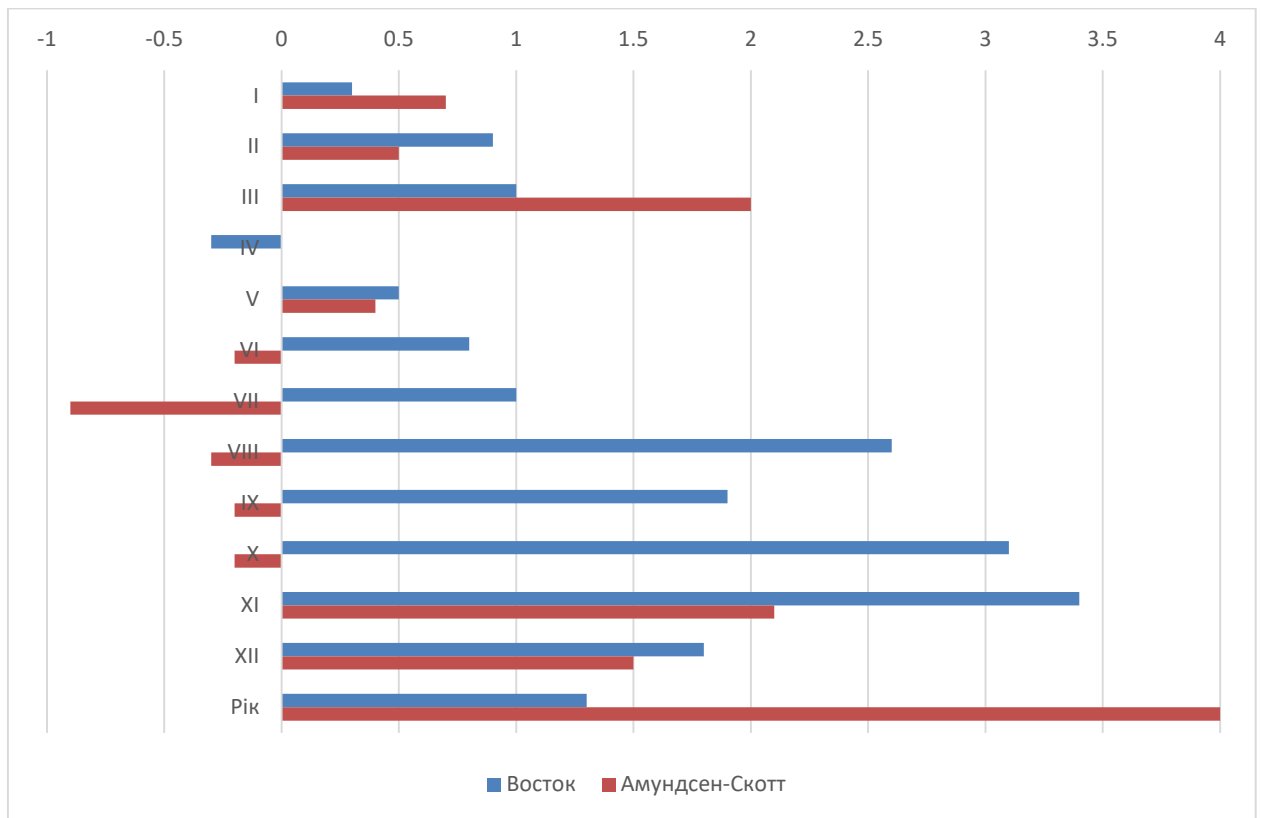


Рис. 3.3 – Гістограма трендової складової приземної температури повітря досліджуваних станцій Антарктиди

4 АНАЛІЗ АНОМАЛІЙ ПРИЗЕМНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО РЕГІОНУ

4.1 Динаміка середньомісячних аномалій приземної температури повітря

З метою встановлення характерних особливостей динаміки приземної температури повітря внутрішньоматерикової зони Антарктиди за останні 30 років було прийняте рішення розрахувати та проаналізувати аномалії приземної температури повітря за десятирічні періоди з 1991 по 2020 рр.

Виходячи з вище зазначеного, для кожного місяця року, кожної станції, були сформовані три десятиріччя: 1) 1991-2000рр., 2) 2001-2010рр., 3) 2011-2020рр. За вказаний період років аналізувалися:

- середнє значення приземної температури повітря за тридцятирічний період \bar{t}_{30} – з 1991 по 2020рр.,
- середнє значення температури повітря за кожне десятиріччя \bar{t}_{10} ;
- аномалія приземної температури повітря, що являє собою різницю між $\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$ для кожної станції з двох станцій.

Методика розрахунку аномалій приземної температури повітря описана в розділі 2 [4].

Таким чином, для кожної станції аналізу підлягають відхилення середнього значення приземної температури повітря для кожного місяця року за кожне десятиріччя від багаторічного середнього значення температури повітря для того ж місяця року.

Проаналізуємо просторово-часові зміни аномалій приземної температури повітря досліджуваного регіону за три останні десятиріччя. Результати розрахунків аномалій приземної температури повітря окремо по кожній станції для всіх місяців року представлені таблицях 4.1 та 4.2 (від'ємні значення виділені жирним шрифтом та підкреслені, а додатні – виділені жирним шрифтом).

Таблиця 4.1

Динаміка аномалій середньомісячних значень приземної температури повітря за даними станції Восток

Станції	\bar{t}_{30}	1991 – 2000		2001 – 2010		2011-2020	
		\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$
Січень	-34.2	-35.2	-1.0	-33.5	<u>0.7</u>	-33.9	<u>0.3</u>
Лютий	-46.4	-46.6	-0.2	-45.6	<u>0.8</u>	-47.0	-0.6
Березень	-59.7	-60.1	-0.4	-58.6	<u>1.1</u>	-60.4	-0.7
Квітень	-65.0	-66.2	-1.2	-64.3	<u>0.8</u>	-64.6	<u>0.4</u>
Травень	-65.7	-67.7	-2.0	-63.7	<u>2.0</u>	-65.6	<u>0.1</u>
Червень	-65.6	-65.9	-0.3	-65.3	<u>0.2</u>	-66.6	-1.0
Липень	-66.0	-66.1	-0.1	-65.7	<u>0.3</u>	-66.1	-0.2
Серпень	-67.0	-67.9	-0.9	-67.7	-0.7	-65.4	<u>1.6</u>
Вересень	-67.0	-69.4	-2.4	-67.2	-0.2	-65.3	<u>1.7</u>
Жовтень	-58.6	-60.6	-2.1	-58.7	-0.1	-56.5	<u>2.1</u>
Листопад	-43.7	-44.4	-0.7	-44.3	-0.6	-42.4	<u>1.3</u>
Грудень	-33.3	-34.0	-0.7	-33.3	0.0	-32.6	<u>0.7</u>
середнє значення	-56.0	-56.9	-0.9	-55.6	0.4	-55.5	0.5

Аналіз табличного матеріалу дозволяє стверджувати, що в перше десятиріччя, 1991-2000рр., в досліджуваному регіоні фіксуються тільки від'ємні аномалії приземної температури повітря. Найбільше падіння

температури фіксується в районі станції Восток наприкінці зими на початку весни (жовтень-листопад) – -2,1 та -24 С відповідно. Хоча на станції Амундсен-Скотт також фіксуються від’ємні аномалії приземної температури повітря в це десятиріччя, але їх величина дещо менша. Найбільші від’ємні тренди фіксуються на цій станції у вересні (-1,1 С) та грудні (-1,4 С), що може бути пояснене її географічним положенням (рис.4.1). Середньорічні значення аномалій за цей період складають -0,8 С (Амундсен-Скотт) та -0,9С (Восток).

Таблиця 4.2

Динаміка аномалій середньомісячних значень приземної температури повітря за даними станції Амундсен-Скотт

Станції	\bar{t}_{30}	1991 – 2000		2001 – 2010		2011-2020	
		\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$
Січень	-28.0	-29.1	-1.1	-27.5	<u>0.5</u>	-27.4	<u>0.6</u>
Лютий	-40.5	-41.2	-0.7	-40.2	<u>0.3</u>	-40.1	<u>0.4</u>
Березень	-53.5	-54.6	-1.1	-53.3	<u>0.2</u>	-52.7	<u>0.8</u>
Квітень	-57.4	-58.4	-0.9	-57.1	<u>0.3</u>	-56.9	<u>0.6</u>
Травень	-57.7	-58.9	-1.1	-56.6	<u>1.1</u>	-57.7	<u>0.0</u>
Червень	-58.1	-58.1	-0.1	-59.1	-1.1	-57.0	<u>1.1</u>
Липень	-60.2	-60.2	0.0	-60.5	-0.2	-60.1	<u>0.2</u>
Серпень	-59.5	-59.9	-0.4	-59.5	-0.1	-59.0	<u>0.5</u>
Вересень	-59.0	-60.3	-1.3	-57.7	<u>1.4</u>	-59.2	<u>-0.1</u>
Жовтень	-51.1	-51.9	-0.7	-51.5	-0.4	-50.0	<u>1.1</u>
Листопад	-37.4	-38.0	-0.6	-38.5	-1.0	-35.9	<u>1.6</u>
Грудень	-27.4	-28.8	-1.4	-27.2	<u>0.1</u>	-26.1	<u>1.3</u>
середнє значення	-49.2	-50.0	-0.8	-49.1	0.1	-48.5	0.7

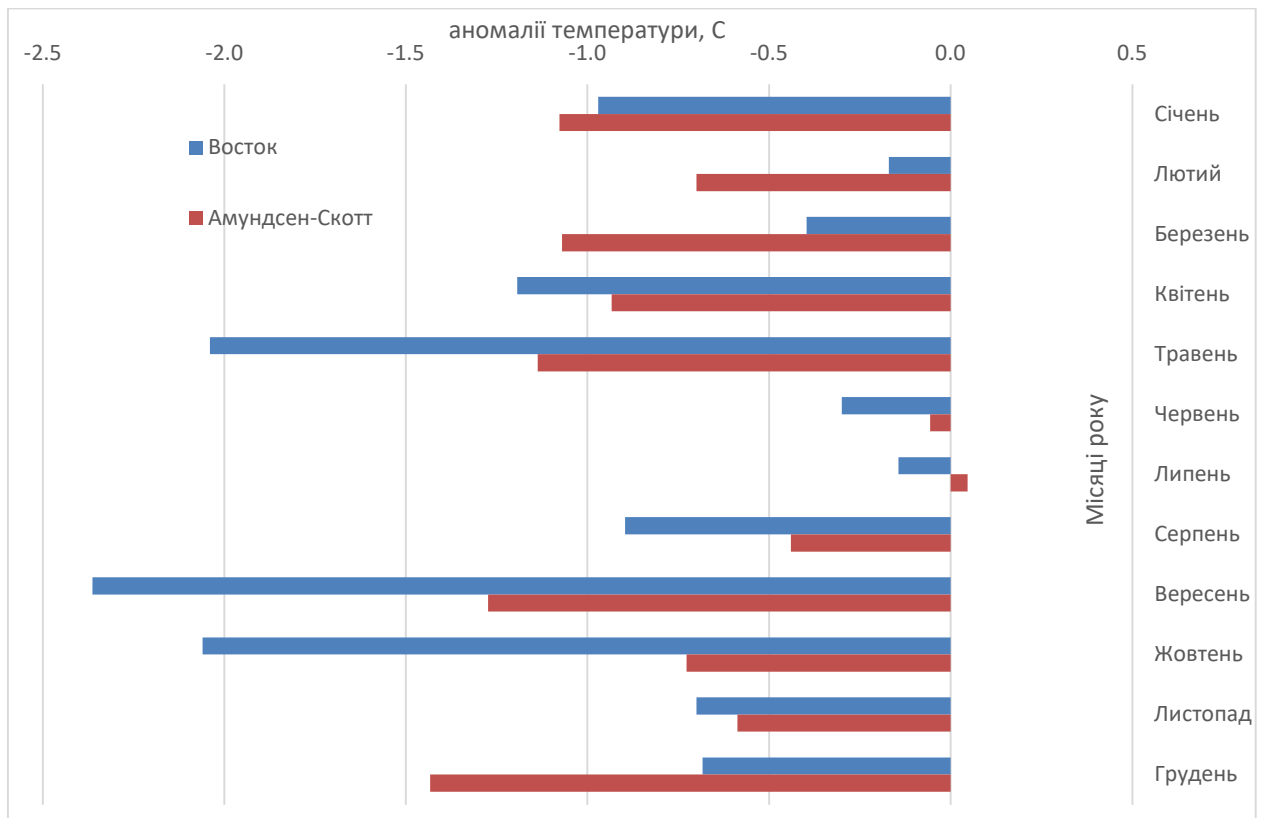


Рис. 4.1 – Гістограма аномалій приземної температури повітря дослідженого регіону за 1991-2000рр.

Друге десятиріччя (2001-2010рр.) характеризується повною перебудовою термічного режиму. Від'ємні аномалії приземної температури повітря в дослідженому регіоні фіксуються наприкінці зими та навесні (рис. 4.2). Найбільше зниження температури характерне для зимового періоду: Восток – $-0,7$ С (серпень), Амундсен-Скотт – $-1,1$ С (червень).

Додатні аномалії приземної температури повітря на станції Восток в друге десятиріччя фіксуються з січня по липень і коливаються в межах від $0,7$ С (січень) до $2,0$ С (травень), а для станції Амундсен-Скотт додатні аномалії спостерігаються з грудня ($0,1$ С) по травень ($1,1$ С). Середньорічне значення аномалій для другого періоду додатне та складає $0,4$ С (Восток) та $0,1$ С (Амундсен-Скотт).

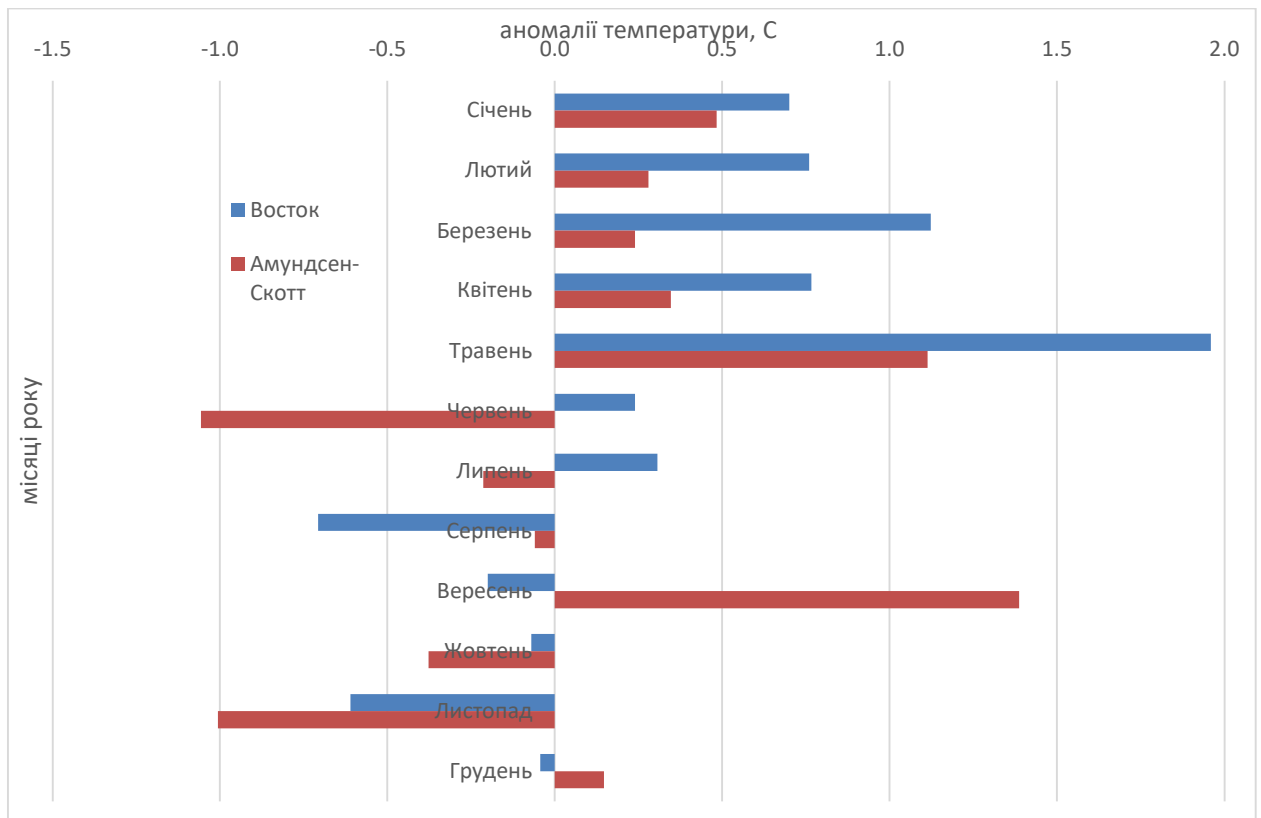


Рис. 4.2 – Гістограма аномалій приземної температури повітря дослідженого регіону за 2001-2010рр.

Розподіл аномалій третього десятиріччя (2011-2020рр.) характеризується переважанням зростання приземної температури повітря протягом більшості місяців року. В це десятиріччя від'ємні аномалії на станції Восток фіксуються тільки восени – лютий-березень (-0,6 та -0,7 C відповідно) та всередині зими – червень-липень (-1,0 та -0,2 C відповідно). Решта місяців року на станції Восток представлена додатними аномаліями, які досягають максимальних значень навесні – жовтень (2,1 C) (рис.4.3). Аналіз таблиці 4.2 дозволяє стверджувати, що в останнє десятиріччя на станції Амундсен-Скотт спостерігаються виключно додатні аномалії. Виняток становить вересень-місяць (-0,1 C). Найбільші зростання температури фіксується навесні – жовтень-листопад (1,1 та 1,6 C відповідно) – та на початку літа – грудень (1,3 C).

Враховуючи переважання додатних аномалій приземної температури повітря протягом більшості місяців року в останнє десятиріччя, середньорічна аномалія температури в це десятиріччя дорівнює 0,5 С (станція Vostok) та 0,7 С (станція Амундсен-Скотт).

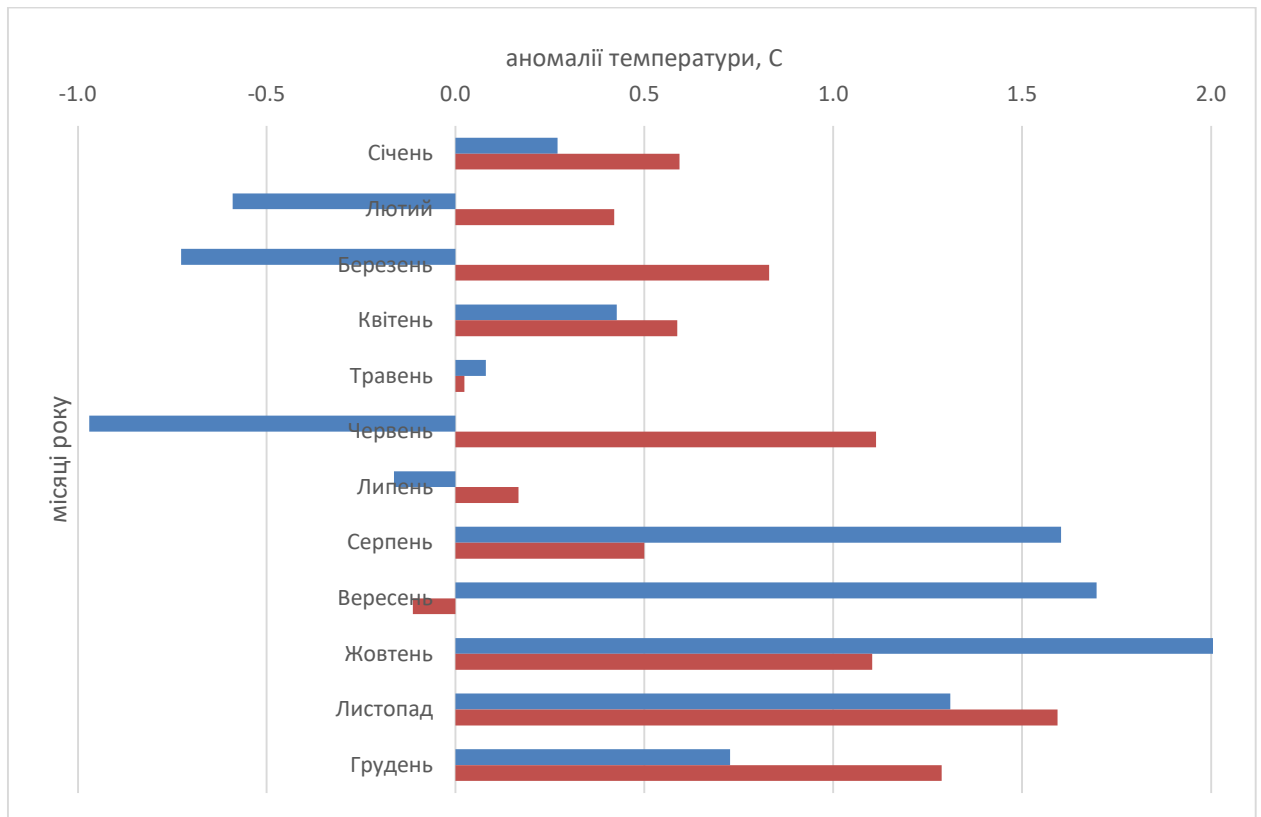


Рис. 4.3 – Гістограма аномалій приземної температури повітря дослідженого регіону за 2011-2020рр.

Проведені розрахунки середньорічних значень аномалій приземної температури повітря на станціях внутрішньоматерикової високогірної зони дозволяють стверджувати, що в останнє десятиріччя (2011-2020рр.) в досліджуваному регіоні спостерігається зростання приземної температури повітря в протягом більшості місяців року. Найбільш теплішими стали весняні місяці. Величина зростання приземної температури на станції Амундсен-Скотт майже в два рази перевищує величину зростання приземної температури на станції Восток. Що може бути пояснене географічним розташуванням станцій.

4.2 Динаміка середньорічних аномалій приземної температури повітря купольних станцій Антарктиди

Для оцінки динаміки середньорічних аномалій приземної температури повітря внутрішньоматерикової високогірної зони Антарктиди за останні тридцять років (1991-2020рр.) побудована гістограма сум середньорічних значень аномалій приземної температури по регіону дослідження за десятирічні періоди (рис. 4.4).

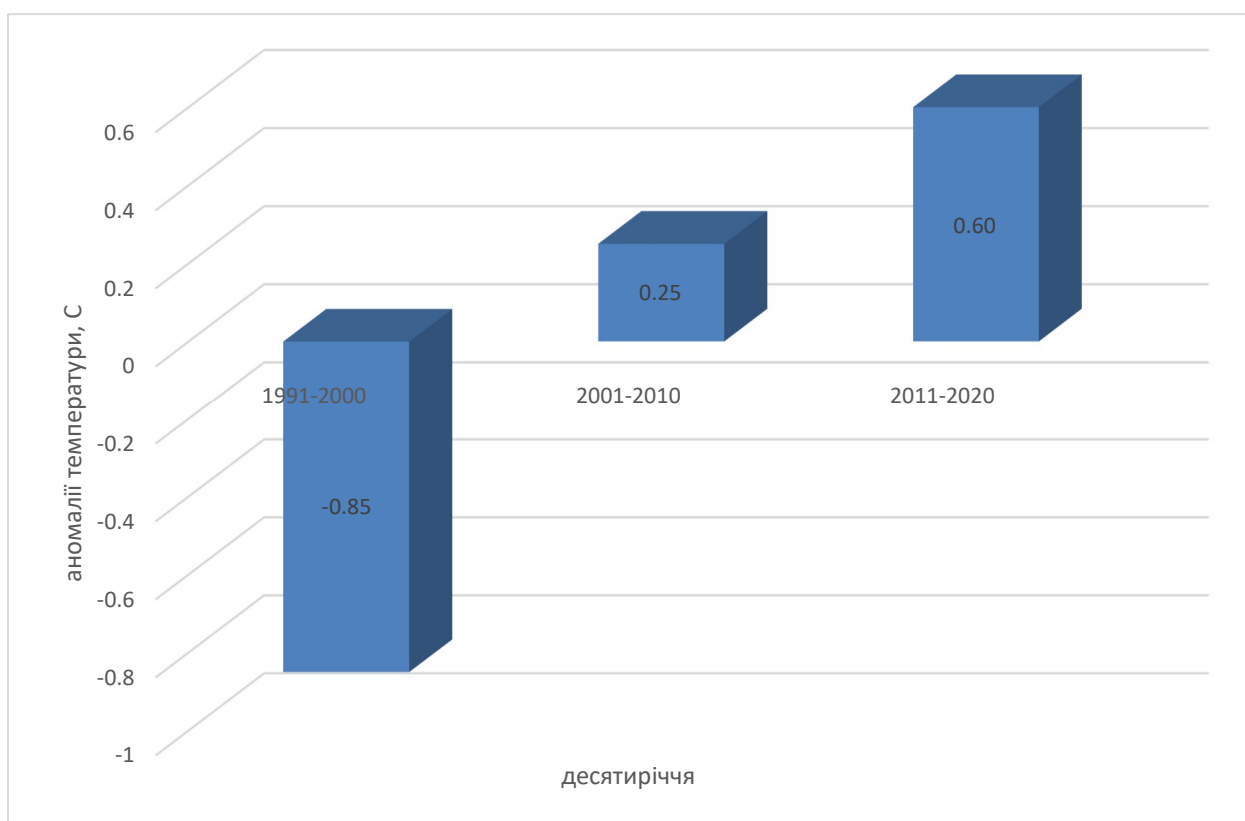


Рис. 4.4 – Середньорічні аномалії приземної температури повітря внутрішньоматерикової високогірної станції Антарктиди за десятирічні періоди з 1991 по 2020рр.

Як бачимо, за тридцятирічний період 1991-2020 рр. у високогірній кліматичній зоні Антарктиди спостерігається стійка тенденція до збільшення приземної температури повітря з $-0,9$ С в перше десятиріччя, до $0,3$ С в друге та $0,6$ С в третє десятиріччя.

ВИСНОВКИ

Аналіз динаміки приземної температури повітря внутрішньоматерикової високогірної станції Антарктиди дозволив зробити наступні висновки:

- мінімальні значення приземної температури повітря в досліджуваному регіоні спостерігаються в період антарктичної зими, максимальні – влітку;
- середньорічна температура в досліджуваній кліматичній зоні змінюється в широкому діапазоні. Річна амплітуда температури складає більше 30 С. Мода, для більшості місяців року, суттєво відрізняється від середнього значення, що може свідчити про відмінність процесу змін клімату в досліджуваному регіоні від нормального;
- дисперсія та середньоквадратичний відхил змінюються у широких межах. Мінімальні значення фіксуються в перехідні та літні періоди року, а максимальні – взимку, що пов'язане з відсутністю сонячної радіації в зимові місяці та переважанням адвективного режиму погоди;
- аналіз статистичних характеристик приземної температури повітря дозволив встановити, що за ступенем скошеності кривих розподілу, тобто по величині коефіцієнту асиметрії, в рядах приземної температури повітря на купольних станціях Антарктиди зустрічається як правостороння, так і лівостороння асиметрії, що означає суттєву відмінність процесу змін клімату у високогірній кліматичній зоні від нормального та його не стаціонарність;
- приземна температура повітря на досліджуваних станціях змінюється у достатньо широкому діапазоні, про що свідчить розрахований коефіцієнт ексцесу. Це дає змогу стверджувати, що в

досліджуваному районі спостерігаються різкі коливання температури повітря, які характеризуються великими значеннями амплітуди та зменшенням періоду коливань.

- температурний режим на станції Восток жорсткіший ніж на станції Амундсен-Скотт, що пояснюється їх географічним положенням (станція Восток знаходиться на так званому «полюсі абсолютної недоступності»);

- для приземної температури повітря внутрішньоматерикової високогірної зони найбільш характерні коливання з періодом два і три роки, але слід зазначити, що зустрічаються квазіп'яти, шести, восьми та десятирічні коливання;

- аналіз лінійних трендів показав, що для абсолютної більшості місяців року (окрім квітня – $-0,3$ C) на станції Восток характерне зростання приземної температури повітря за досліджуваний період, яке досягає максимальних значень в кінці антарктичної зими, напочатку весни – липень ($2,6$ C), жовтень ($3,1$ C) та листопад ($3,4$ C). Від'ємні значення тренду на станції Восток фіксуються тільки напочатку зими. На станції Амундсен-Скотт від'ємні аномалії фіксуються виключно в зимовий період: з травня ($-0,4$ C) по вересень ($-0,2$ C). Найбільший від'ємний тренд припадає на липень і складає $-0,9$ C. Додатні тренди спостерігаються в решту пори року і досягають максимальних значень в перехідні сезони: березень ($2,0$ C) та листопад ($2,1$ C);

- аналіз аномалій приземної температури повітря за досліджуваний період показав плямистість у розподілі температури за десятиріччями: що в перше десятиріччя, 1991-2000рр., в досліджуваному регіоні фіксуються тільки від'ємні аномалії приземної температури повітря. Найбільше падіння температури фіксується в районі станції Восток наприкінці зими на початку весни (жовтень-листопад) – $-2,1$ та $-2,4$ C відповідно. Хоча на станції Амундсен-Скотт також фіксуються від'ємні аномалії приземної температури повітря в це десятиріччя, але їх

величина дещо менша. Найбільші від'ємні тренди фіксуються на цій станції у вересні (-1,1 С) та грудні (-1,4 С), що може бути пояснене її географічним положенням. Друге десятиріччя (2001-2010рр.) характеризується повною перебудовою термічного режиму. Від'ємні аномалії приземної температури повітря в дослідженому регіоні фіксуються наприкінці зими та навесні. Найбільше зниження температури характерне для зимового періоду: Восток – -0,7 С (серпень), Амундсен-Скотт – -1,1 С (червень). Додатні аномалії на станції Восток фіксуються з січня по липень і коливаються в межах від 0,7 С (січень) до 2,0 С (травень), а для станції Амундсен-Скотт – з грудня (0,1 С) по травень (1,1 С). Розподіл аномалій третього десятиріччя (2011-2020рр.) характеризується зростанням приземної температури повітря протягом більшості місяців року. Від'ємні аномалії на станції Восток фіксуються тільки восени – лютий-березень (-0,6 та -0,7 С відповідно) та всередині зими – червень-липень (-1,0 та -0,2 С відповідно). Решта місяців року представлена додатними аномаліями, які досягають максимальних значень навесні. На станції Амундсен-Скотт в це десятиріччя спостерігаються виключно додатні аномалії. Виняток становить вересень-місяць (-0,1 С). Найбільші зростання фіксується навесні – жовтень-листопад – та на початку літа – грудень.

Проведені дослідження метеорологічного режиму внутрішньоматерикової високогірної зони дозволяють стверджувати, що в останнє десятиріччя (2011-2020рр.) в досліджуваному регіоні спостерігається зростання приземної температури повітря в протягом більшості місяців року. Найбільш теплішими стали весняні місяці. Величина зростання приземної температури на станції Амундсен-Скотт майже в два рази перевищує величину зростання приземної температури на станції Восток. Що може бути пояснене географічним розташуванням станцій.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 King Matt A., Kewei Lyu, and Xuebin Zhang. Climate variability a key driver of recent Antarctic ice-mass change. *Nature Geoscience*. 2023. P 1-8.
- 2 Favier Vincent, et al. Antarctica-regional climate and surface mass budget. *Current Climate Change Reports* 3. 2017. P. 303-315.
- 3 Мартазінова В.Ф.; Клок С.В. Сучасний та майбутній стан середньорічної температури повітря північної частини Антарктичного півострова західного сектора Антарктиди. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 2012. № 263. С. 5-16.
- 4 Прокоф'єв О.М. Взаємний спектральний аналіз глобальних кліматичних індексів та приземної температури повітря станцій Антарктиди. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2010. № 6. С. 93-101.
- 5 Прокоф'єв О.М. Використання взаємного спектрального аналізу для оцінки взаємозв'язку вологовмісту та приземної температури антарктичного повітря. *Науковий вісник Чернівецького університету*. 2014. № 724. С. 95-99.
- 6 Данова Т.Є. Основи гляціології та моніторинг кріосфери: Навчальний посібник. Одеса: ТЕС. 2014. 118с.
- 7 Данова Т.Є. Конспект лекцій з дисципліни „Полярна та морська метеорологія”. 2006. 84с.
- 8 Воциліна Д. С., Прокоф'єв О. М./ Динаміка приземної температури повітря на станції Новолазарівська/ Матеріали X Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки в країнах Європи та Азії» // Збірник наукових праць. – Переяслав-Хмельницький, 2018 р. – 226 с.
- 9 Воциліна Д. С., Прокоф'єв О. М./ Дослідження аномалій приземної температури повітря на станції Новолазарівська/ Сучасний рух науки: тези

доп. IV міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 6-7 грудня 2018 р. – Дніпро, 2018. – 1602 с.

10 Воциліна Д. С., Прокоф'єв О. М. /Дослідження багаторічних змін приземної температури повітря на станції Новолазарівська /POLISH SCIENCE JOURNAL (ISSUE 13, 2019) - Warsaw: Sp. z o. o. "iScience", 2019. Part 1 – 164 p.

11 Воциліна Д. С., Прокоф'єв О. М. / Взаємний спектральний аналіз приземної температури повітря на станціях Східної Антарктиди та індексу Ель-Ніньйо/ The 3 rd International scientific and practical conference “Dynamics of the development of world science” (November 20-22, 2019) Perfect Publishing, Vancouver, Canada. 2019. 676 p.

12 Гончарова Л.Д., Школьний Є.П. Методи обробки та аналізу гідрометеорологічної інформації (збірник задач і вправ): Навчальний посібник. – Одеса: Екологія, 2006. – 458 с.