

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий
гідрометеорологічний інститут
Кафедра метеорології та кліматології

Кваліфікаційна робота магістра

на тему: Динаміка термічного режиму полярних регіонів
у світлі сучасних кліматичних змін

Виконала студентка 2 курсу групи МНЗ-22М
Спеціальності 103 «Науки про Землю»
Освітня програма
«Метеорологія і кліматологія»
Яковенко Вікторія Сергіївна

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

студентці Яковенко Вікторії Сергіївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Динаміка термічного режиму полярних регіонів у світлі сучасних кліматичних змін

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 термічного режиму Гренландії та Антарктиди проводилося за даними, отриманими з сайту Британської Антарктичної служби. Вихідні дані представляють собою середньомісячні 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 п'яти Гренландських та чотирьох Антарктичних станцій, які знаходяться в різних кліматичних зонах; проаналізувати 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.	90	відмінно
3	Формування бази даних по приземній температурі повітря станцій Гренландії та Антарктиди.	30.10.2023 р. - 06.11.2023 р.	80	добре
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.	95	відмінно
7	Розрахунок та аналіз аномалій середньомісячних значень приземної температури повітря за десятирічні періоди для обох районів.	18.11.2023 р. - 23.11.2023 р.	98	відмінно
8	Розрахунок та аналіз сум аномалій середньорічних значень приземної температури повітря за десятирічні періоди.	23.11.2023 р. - 28.11.2023 р.	92	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.	96	відмінно
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)	-	91	відмінно

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Яковенко В.С.

(прізвище та ініціали)

Прокоф'єв О.М.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема магістерської кваліфікаційно роботи "Динаміка термічного режиму полярних регіонів у світлі сучасних кліматичних змін"

Автор: Яковенко Вікторія Сергіївна

Актуальність. Актуальність теми визначається необхідністю постійного моніторингу термічного режиму полярних зон та його динаміки в світлі сучасних кліматичних змін.

Мета дослідження – встановлення основних рис динаміки термічного різних кліматичних зон Гренландії та Антарктиди.

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

- розрахування статистичних характеристик приземної температури повітря у різних кліматичних зонах Гренландії та Антарктиди;
- аналіз динаміки приземної температури повітря досліджуваних регіонів;
- аналіз аномалій приземної температури повітря за тридцятирічні періоди.

Об'єкт дослідження: термічний режим різних кліматичних зон Гренландії та 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 Гренландії та 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 79 сторінок складається з вступу, 5 розділів, висновків, переліку посилань з 12 джерел і містить 22 рисунків та 17 таблиць.

Перелік ключових слів: приземна температура повітря, аномалії, тренд, Гренландія, Антарктида.

ANNOTATION

Theme of the master's qualification work " Dynamics of the thermal regime of the polar regions in the light of modern climate change"

Author: Yakovenko Victoria

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

The purpose of the study – establishment of the main features of the thermal dynamics of different climatic zones of Greenland and Antarctica.

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

- calculation of statistical characteristics of surface air temperature in different climatic zones of Greenland and Antarctica;
- analysis of surface air temperature dynamics of the studied regions;
- analysis of surface air temperature anomalies over thirty-year periods.

Object of study: the thermal regime of different climatic zones of Greenland and 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 Greenland and 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 79 pages consists of an introduction, 5 chapters, conclusions, a list of references from 12 sources and contains 22 figures and 17 tables.

List of keywords: surface air temperature, anomalies, trend, Greenland, Antarctica.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКА ТА КЛІМАТ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ	9
1.1 Загальна інформація	9
1.2 Антарктична суша та своєрідність її як підстильної поверхні ..	10
1.3 Метеорологічний режим та клімат Антарктиди.....	11
1.3.1 Метеорологічний режим внутрішньоконтинентальної високогірної зони.....	16
1.3.2 Метеорологічний режим кліматичної зони льодовикового схилу.....	17
1.3.3 Метеорологічний режим прибережної кліматичної зони..	18
1.3.4 Метеорологічний режим прибережної кліматичної зони..	19
2 МЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ РЕЖИМ ТА КЛІМАТ ГРЕНЛАНДІЇ	21
2.1 Клімат, погода та атмосферна циркуляція.....	21
2.2 Вітровий режим Гренландії.....	23
2.3 Температурний режим Гренландії.....	26
2.4 Режим опадів	30
3 ВИХІДНІ ДАНІ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	31
3.1 Характеристика вихідної інформації.....	31
3.2 Методи розрахунку основних статистичних параметрів	33
3.3 Методи розрахунку аномалій приземної температури повітря ...	40
4 ДИНАМІКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ГРЕНЛАНДІЇ.....	42
4.1 Статистичні характеристики приземної температури повітря досліджуваного регіону.....	42
4.2 Особливості багаторічних змін приземної температури повітря Гренландії	50

4.3	Динаміка середньомісячних аномалій приземної температури повітря	52
4.4	Динаміка середньорічних аномалій приземної температури повітря Гренландії	56
5	ДИНАМІКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ АНТАРКТИДИ.....	58
5.1	Статистичні характеристики приземної температури повітря досліджуваного регіону.....	58
5.2	Особливості багаторічних змін приземної температури повітря Антарктиди	65
5.3	Динаміка середньомісячних аномалій приземної температури повітря	68
4.4	Динаміка середньорічних аномалій приземної температури повітря Антарктиди	71
	ВИСНОВКИ.....	73
	ЛІТЕРАТУРА	78

ВСТУП

Наявність в південній полярній області єдиного на сьогодні материкового зледеніння, яке відіграє важливу роль у формуванні клімату всієї планети, визначає необхідність комплексного дослідження природи Антарктиди. Унікальність природного середовища цього материка закріплена особливим політично статусом Антарктики, яка є міжнародним полігоном для проведення різних наукових досліджень [Лукін, 2000].

Вперше людина ступила на берег Антарктиди майже через 80 років після її відкриття. У 1899 р. в Антарктиді вперше зимувала експедиція норвежця С. Борхгревінка. На початку минулого століття для дослідження найпівденнішого материка Землі була організована ціла низка національних експедицій – бельгійська, німецька, англійська, шведська, французька, австралійська під керівництвом таких видатних дослідників, як Е. Дрігальський, Р. Скотт, О. Норденшельд, Е. Шеклтон, Ж. Шарко, Д. Мосон. Всі вони працювали на узбережжі, не роблячи спроб проникнути в глиб материка. У 1910-1913 рр. були здійснені дві експедиції для підкорення Південного полюса нашої планети під керівництвом Р.Амундсена та Р.Скотта. На відміну від останньої, похід Амундсена мав суто спортивний характер і не приніс нових відомостей про внутрішні райони Антарктиди. Навпаки, у ході англійської експедиції Скотта було отримано комплексну характеристику льодовикового покриву, у якій знайшли пояснення структура, товщина, живлення і рух льоду. Великий внесок у накопичення знань про природу Антарктики зробили американські експедиції 30-40-х рр., організовані Р.Бердом, і навіть французька експедиція Землі Аделі в 1949-1951 рр. та норвезько-британсько-шведська експедиція на Землі Королеви Мод у 1949-1952 рр.

У 1956-1958 рр. у межах Міжнародного геофізичного року було об'єднано зусилля багатьох країн світу, направлені на комплексне всебічне

дослідження природи шостого континенту. Було засновано близько п'ятдесяти наукових станцій, ціла низка з яких розташувалася у внутрішніх районах Західної та Східної Антарктиди. Саме так починалося наукове опанування Антарктиди.

На відміну від Антарктиди, історія Гренландії – це історія повторюваних міграцій палеоескімосів з арктичних островів Північної Америки. Загальною рисою всіх цих культур була необхідність виживання в надзвичайно несприятливих умовах найвіддаленішого краю Арктики на межі придатного для людського існування ареалу. Навіть невеликі коливання клімату перетворювали мінімально прийнятні умови на несумісні з людським життям і призводили до зникнення недостатньо пристосованих культур та спустошення цілих регіонів внаслідок міграцій та вимирання.

Цікавим є наступний факт: Всесвітня метеорологічна організація (ВМО) підтвердила, що зафіксована у Гренландії температура $-69,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ стала рекордною для Північної півкулі. Це виявили «кліматичні детективи» досліджуючи температурні дані 30-річної давнини. Після чого, у Женеві, 23 вересня 2020 р. (ВМО) – Всесвітня метеорологічна організація визнала температуру $-69,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, зареєстровану на автоматичній метеорологічній станції в Гренландії 22 грудня 1991 р., найнижчою з будь-коли зареєстрованих у Північній півкулі.

Температурний рекорд було виявлено майже через 30 років в Архіві даних ВМО про екстремальні метеорологічні та кліматичні явища. Він перевищує значення $-67,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, зареєстроване на станціях Верхоянськ (лютий 1892 р.) та Оймякон (січень 1933 р.). Найнижчий у світі температурний рекорд $-89,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-128,6\text{ }^{\circ}\text{F}$) встановлено 21 липня 1983 метеостанцією Восток в Антарктиді.

Полярні регіони нашої планети є «кузнею» погоди для обох півкуль. Вони найперші та в найбільшій мірі реагують як на флуктуації клімату так і на його зміну. Саме тому в роботі зроблена спроба оцінити зміни термічного режиму за останній кліматичний період південної та північної полярних

областей на прикладі метеорологічних станцій, які знаходяться приблизно на однакових широтах в Антарктиді та Гренландії.

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 обох регіонів;
- розраховані та проаналізовані значущі періоди коливань приземної температури повітря досліджуваних регіонів;
- побудовані графіки міжрічної мінливості приземної температури на станціях обох півкуль;
- визначена та проаналізована трендова складова приземної температури повітря за досліджуваний тридцятирічний період для усіх досліджуваних станцій;
- розраховані та проаналізовані для обох досліджуваних регіонів аномалії приземної температури повітря для усіх місяців року та середньорічних значень;
- визначено основні риси динаміки термічного режиму полярних районів обох півкуль.

Кваліфікаційна робота складається зі вступу, п'яти 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 материку 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].

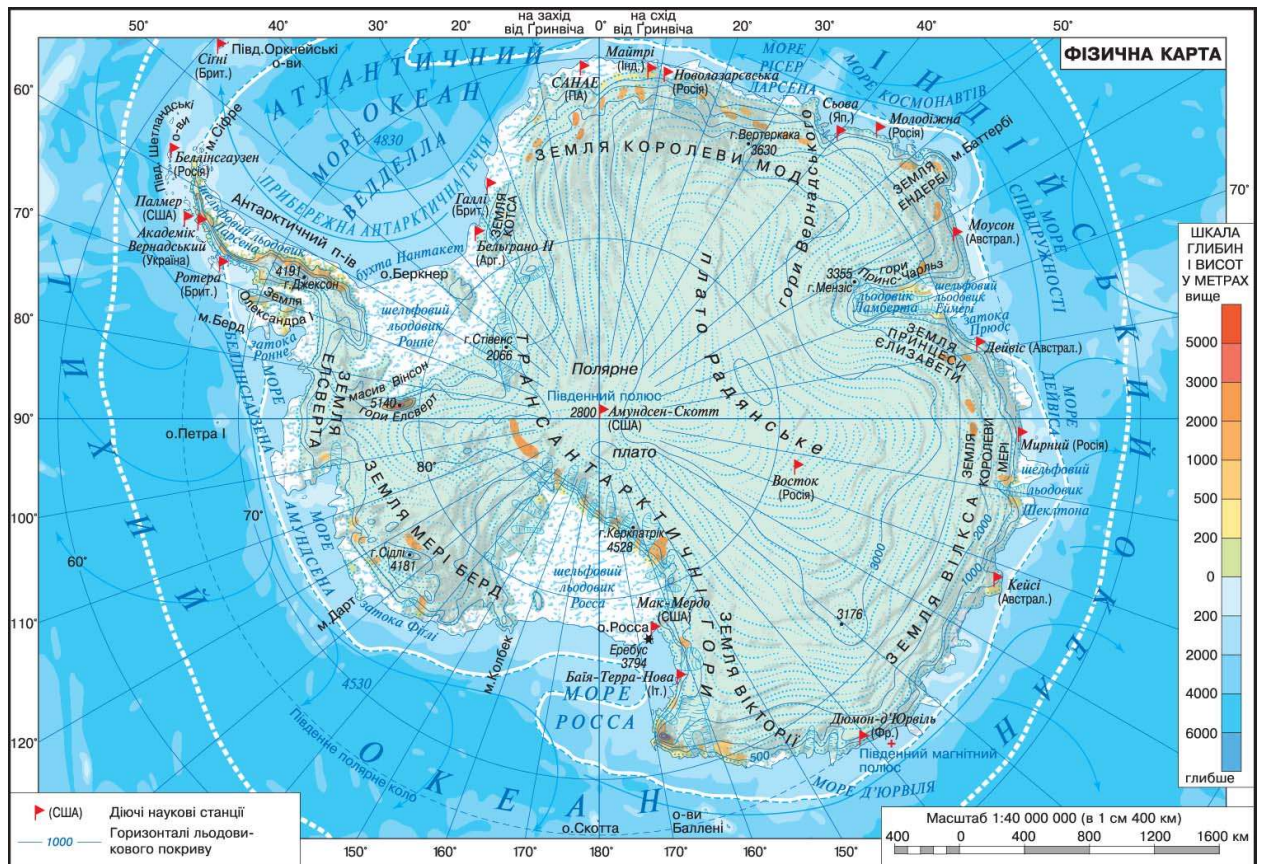


Рисунок 1.1 – Фізична карта Антарктиди

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 °С вище ніж зовні. Влітку різниця температур може досягати 5-6 °С. Кам'яниста поверхня іноді прогрівається до +40 °С. 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 МЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ РЕЖИМ ТА КЛІМАТ ГРЕНЛАНДІЇ

2.1 Клімат, погода та атмосферна циркуляція

Клімат Гренландії є арктичним, тобто, що в цьому районі не може рости ліс. Виняток становлять охоронювані невеликі території в південній частині країни. Північна частина країни знаходиться дуже близько до Північноамериканського континенту, від якого її відокремлює лише відносно вузьке та покрите льодом море. Південна Гренландія, навпаки, є чимось середнім між континентальною частиною (на захід) і океанічною (на схід).

Через свою висоту і розмір Гренландія в значній мірі впливає на рух повітря в нижній частині тропосфери, внаслідок чого вітер дме переважно вздовж узбережжя. Таким чином Гренландія сприяє обміну повітряними масами між північчю і півднем. Влітку майже північні та південні вітри рівномірно розподілені, тоді як північні вітри мають найбільшу повторюваність взимку, коли область підвищеного атмосферного тиску фіксується в найхолодніших областях на заході або північному заході острова. У верхній частині тропосфери картина змінюється. Відомо, що в холодній і щільній повітряній масі атмосферний тиск з висотою зменшується швидше, ніж у теплій. Тому, на висотах зазвичай спостерігається низький тиск, над районами, де атмосфера найхолодніша (північ острова), і підвищений атмосферний тиск над районами, де найтепліше (південь острова). Ця картина менше виражена взимку, за рахунок того, що найхолоднішими районами Гренландії є території, на яких найменше позначається вплив океану – тобто східна частина регіону. На рис. 1 представлено багаторічну осереднену для січня карту висот 500 гПа поверхні. Область низького тиску над островом Баффіна часто називають «канадським холодним вихором».

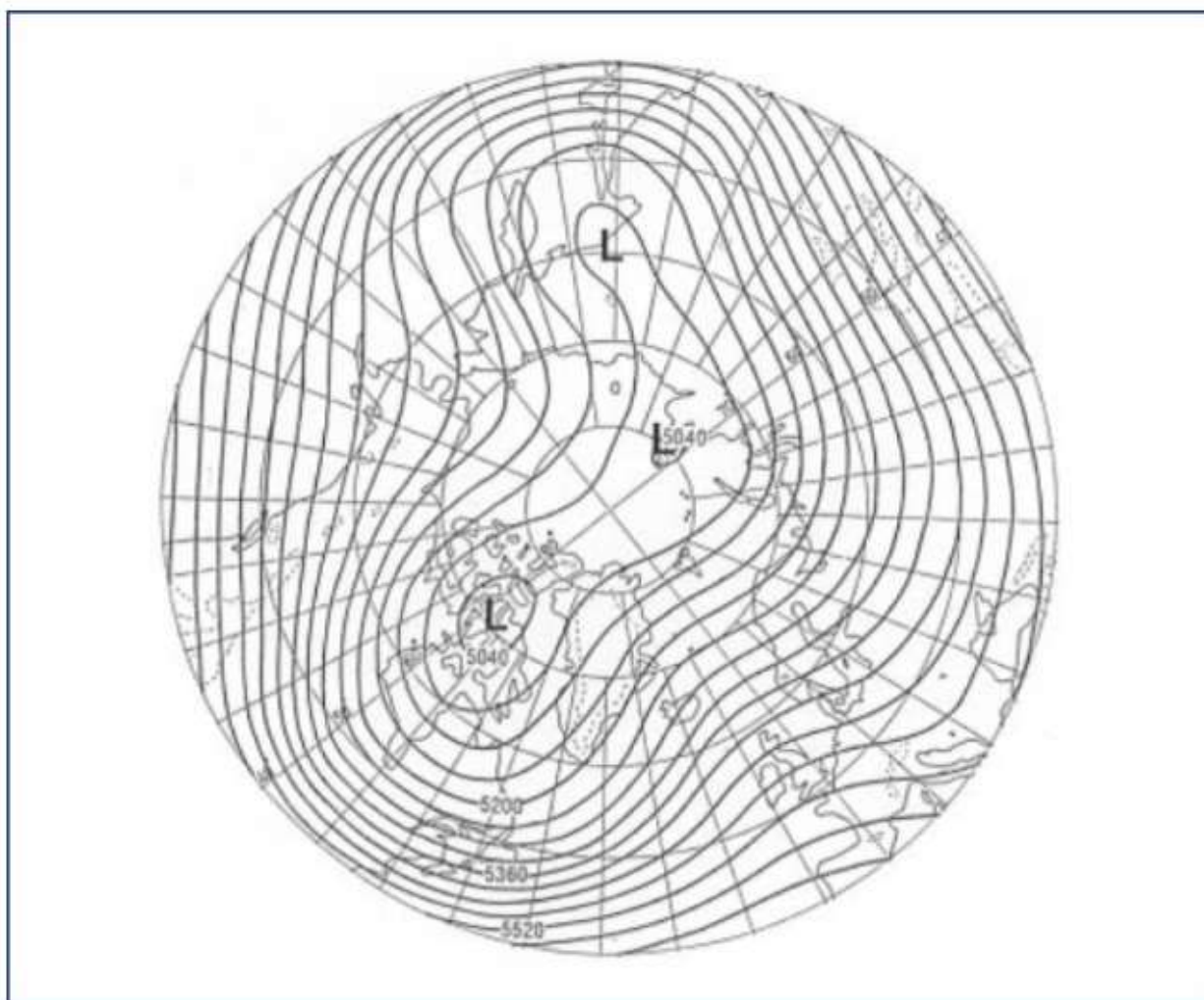


Рис. 2.1 – Багаторічна осереднена для січня карта АТ-500. Повітря надходить паралельно контурним лініям і проти годинникової стрілки відносно центру низу. Тираж над Баффіновим островом часто називають «канадським холодним вихором». Вплив теплих океанів і холодні континенти на загальному західному течії очевидні.

Джерело: Лейф Расмуссен.

Потік на рівні 500 гПа є досить цікавим явищем, оскільки він значною мірою розподіляє мігруючі баричні утворення і пов'язану з ними погоду. Циклони, зокрема, пов'язані з "поганою погодою" – сильні вітри та опади. Як показано, в Гренландію в основному приходять вітри з південного заходу – взимку і переважно з заходу – влітку. Більшість циклонів розвиваються як «хвилі» на полярному фронті (кордон між холодним повітрям на півночі та

більш теплим, вологим повітрям на півдні). Хвилі поширюються по фронту, холод знаходиться з лівого боку. Це означає, що циклони рухаються взимку від східного узбережжя Сполучених Штатів (на краю Гольфстрім) на північний схід, проходячи південніше Гренландії в напрямку Ісландії та Норвезького моря. За такого сценарію під особливо несприятливими умовами опиняються південна та східна частини Гренландії. Однак, обставини можуть скластись і по іншому. Іноді циклони рухаються на північ через протоку Девіса і Баффінову затоку, а іноді циклон рухається прямо в бік мису Прощання, згодом розділяючись на два окремі центри, один з яких слідує західним узбережжям, а інший – східним узбережжям. Коли це трапляється, більшість Гренландії може опинитись в полоні дуже несприятливих погодних умов. Влітку циклони менш інтенсивні, але їх траєкторії мають тенденцію зміщуватися на північ, часто досягаючи Західної частини Гренландія. Тому погода в цьому регіоні може бути досить неспокійною.

2.2 Вітровий режим Гренландії

Як зазначалось в попередньому розділі, сильні вітри, як правило, пов'язані з проходженням циклонів. Між такими подіями, протягом року спостерігаються короткі або більш тривалі періоди безвітряної погоди, коли вітровий режим визначається місцевими умовами. Одним із прикладів цього є система стокового вітру крижаної шапки (рис. 2.2).



Рис. 2.2 – Стоковий вітер над Гренландією. Відхилення від природної лінії падіння обумовлено обертання Землі. Шаблон був визначений виходячи з фізичної і теплової структури поверхні льоду. У центральній зоні вітри часто слабкі.

Джерело: Лейф Расмуссен

Катабатичний вітри – це вітри, які рухаються вниз від центральної, найвищої точки льодовикової шапки в напрямку до його країв. Вони виникають в результаті різниці густини холодного, важкого повітря біля поверхні льоду і теплішого, легшого повітря вільної атмосфери на тому ж рівні. Швидкість катабатичного вітру зростає зі зростанням крутизни

поверхні. Таким чином швидкість стокового вітру біля краю льодовикового плато може досягати досить великих значень. Внаслідок стікання по схилу, яке відбувається адіабатичного, повітря нагрівається. Підвищення температури цього потоку, який називається Феном, тоді становитиме 1°C на кожні 100 метрів зміни висоти. Якщо такий вітер, на момент досягнення фіордів в прибережній зоні, матиме температуру більшу, за температуру фіордового повітря, то його вплив буде мізерний. Такий теплий вітер – фен відчуватися головним чином на верхівка фіордів. Якщо ж навпаки, такий вітер виявиться холоднішим (важчим) за фіордове повітря, то з легкістю (як і антициклональний крижаний осінній вітер) зможе пройти весь шлях через фіорд аж до відкритого моря. Найвідомішим прикладом цього є, безлюдний і дуже вітряний Фіорд Кангерлуссуак на східному узбережжі, який має протяжність 60 км. Проте досить часто у фіордах спостерігаються морські бризи влітку та наземні бризи взимку, які виникають внаслідок місцевих перепадів температур.

Під впливом проходження циклонів місцеві вітрові режими можуть бути зруйновані. Повторюваність сильних вітрів пов'язана з проходженням циклонів і в значній мірі залежить від топографії та напрям вітру відносно узбережжя (рис. 2.3). Якщо вітри дмуть у напрямку до узбережжя, вони можуть спричинити випадіння опадів, а траєкторія їх руху буде відхилятися в бік нижчого атмосферного тиску (західний вітер буде таким чином відхилятися в північний бік, а східний – в південний). За рахунок цих процесів відбуватиметься зростання швидкості вітру, що в свою чергу призведе до виникнення так званого «бар'єрного вітру», швидкість якого може сягати дуже великих значень. Якщо вітер дме далеко від узбережжя, то це може бути або теплий фен (особливо в Західній Гренландії) або навпаки, холодний осінній вітер (особливо в Східній Гренландії). Обидва типи вітру можуть мати великі швидкості. Особливістю Гренландії є дуже раптова зміна вітрового режиму від штилю до вітру штормової сили протягом дуже незначного часу.

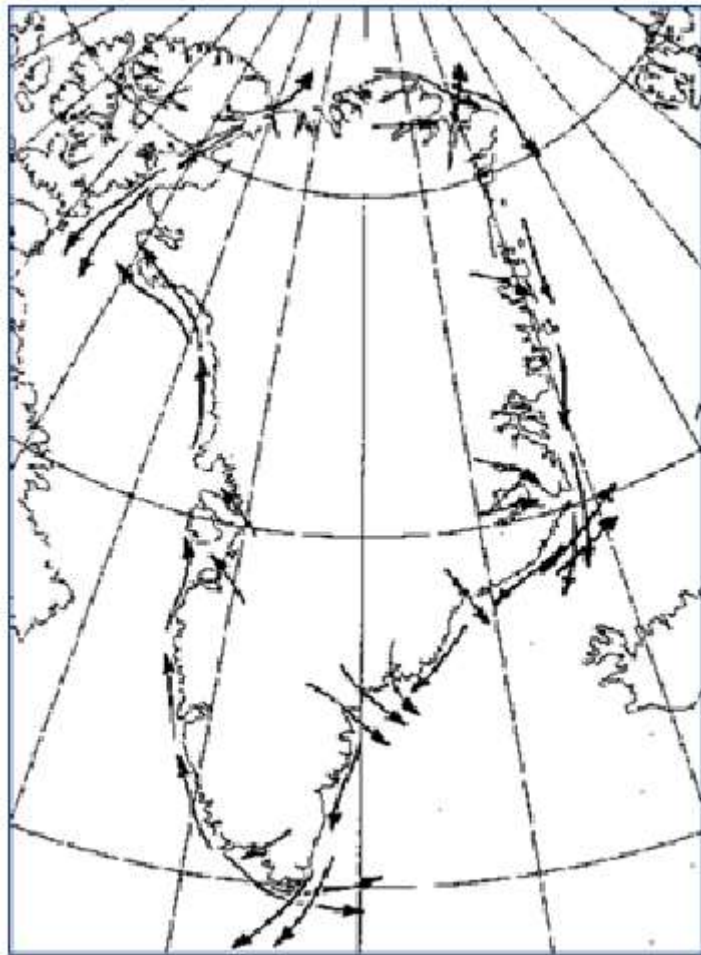


Рис. 2.3 – Переважні напрямки вітру в ситуації з сильними вітрами в прибережній зоні. Джерело: Лейф Расмуссен.

2.3 Температурний режим Гренландії

Завдяки полярному дню в Північній Гренландії влітку (липень) фіксуються температури повітря лише приблизно на два градуси нижчі ніж у найпівденнішій частині країни. Більше важливою є різниця між зовнішніми ділянками узбережжями, де дрейфуючий лід або холодна вода охолоджують та зволожують повітря, і вільними від льоду внутрішніми районами острова, де погода тепліша і, як правило, більш сонячна. Перепади температури повітря між цими районами можуть сягати 5 С. Наявність крижаного купола на має істотного впливу на зниження температури оскільки повітря, яке надходить із

крижаної шапки, перетворюється на катабатичний вітер з високою температурою, як описано в попередньому розділі.

На рис. 2.4 та 2.5 показано, що літні температури в Гренландії в цілому є відносно рівномірними: незважаючи на значну протяжність території країни, різниця між крайньою північчю та півднем влітку становить лише кілька градусів. Взимку, різниця між середніми температурами на півночі та півдні значно більша, приблизно до 30°C. Взимку, як і влітку, фіксуються перепади температур між прибережними та внутрішніми районами Гренландії, хоча і переважно в місцях, де знаходиться повністю або частково вільне від льоду море. Вітри Фени у фіордах можуть підвищувати приземну температуру повітря вище нуля навіть в середині зимового періоду, іноді навіть до 10°C і більше. Це явище досить часто спостерігається в південній частині країни і рідко – в північній.

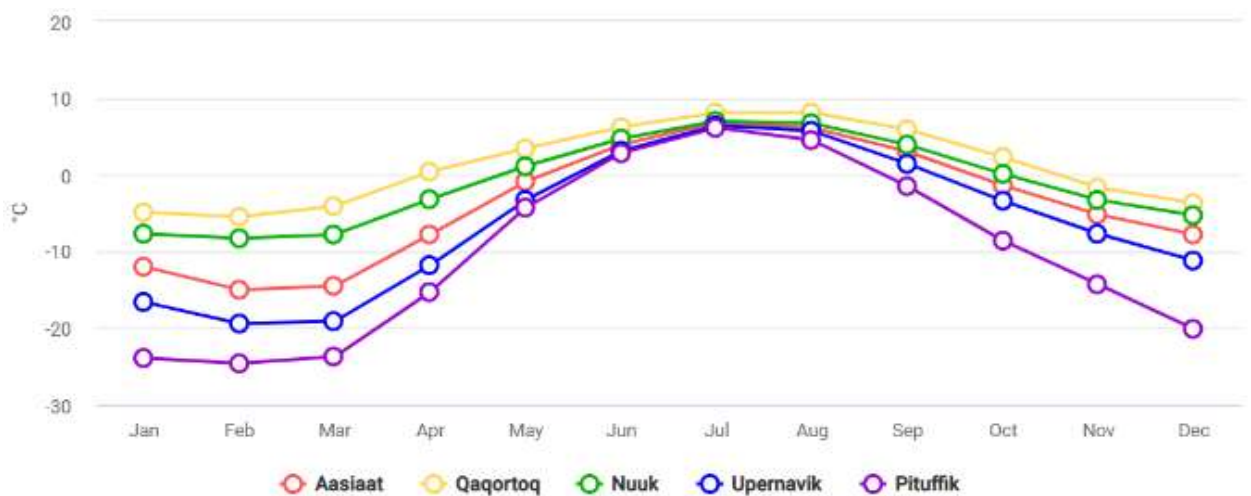


Рис. 2.4 – Середні місячні температури (1991-2020) на метеорологічних станціях, які розташовані вздовж західного узбережжя Гренландії.

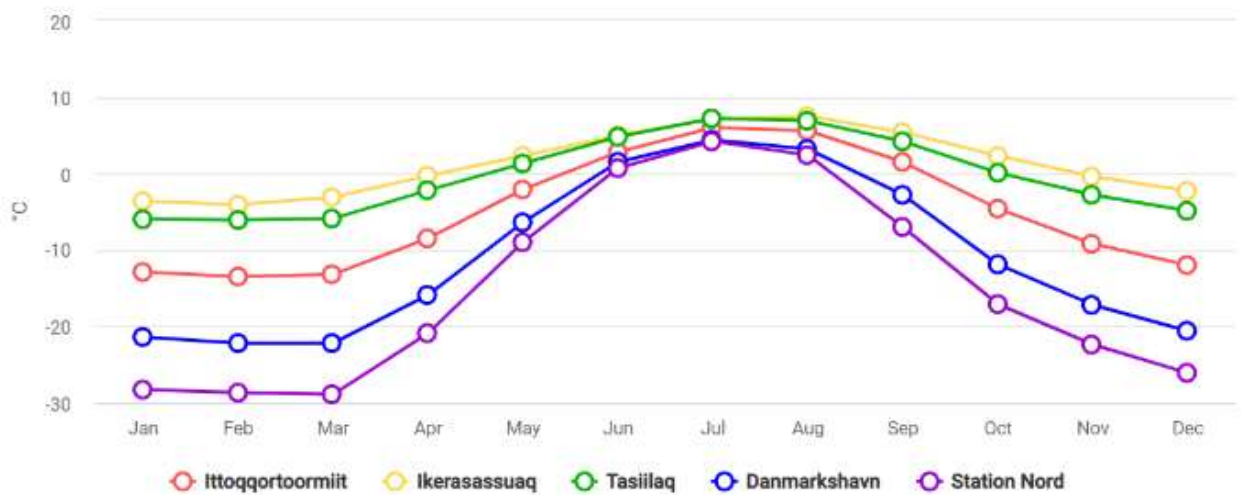


Рис. 2.5 – Середні місячні температури (1991-2020) на метеорологічних станціях, які розташовані вздовж східного узбережжя Гренландії.

Важливим елементом опису температури є її вертикальний розподіл. Зазвичай температура буде знижуватися з висотою в середньому на $6,5^{\circ}\text{C}$ на кілометр. В арктичній зоні це зниження температури як правило дещо менше. Слід зазначити, що протягом перших ста метрів температура повітря часто зростає з висотою – іноді навіть дуже сильно. Такий розподіл температури називається інверсією.

Взимку, виникнення такого «холодного нижнього шару» зумовлене радіаційним охолодженням поверхні снігу і самого нижнього шару повітря. Влітку вирішальним фактором є похолодання, викликане таненням льоду. Влітку приземні інверсії температури пов'язані з приморським кліматом. Взимку інверсії виникають в районах, розташованих далеко від відкритих морських просторів. Взимку підвищення температури в шарі інверсії може в деяких випадках сягати 20°C на сто метрів висоти. Така інверсія можлива лише в тиху безхмарну погоду. Початок сильного вітру призведе до різкого майже миттєвого підвищення температури з наступним більш помірним її зниженням після припинення вітру. Одним із результатів частих приземних інверсій є той факт, що навесні сніг раніше починає танути в горах, ніж на рівні

моря. Також слід зазначити, і що найбільш буйна рослинність, як правило, зустрічається на висоті кількох сотень метрів.

Канадський холодний вихор не є нерухомим, а коливається у межах свого нормального положення. У певні періоди, коливання цього вихора збільшуються за амплітудою та тривалістю, що в свою чергу, значно впливає на зимову погоду не лише в Гренландії, але й у всій північно-західній частині Європи. Розрізняють два види відхилень. У першому типі вихор зміщується на схід до Гренландії, де він може посилюватися (рис. 2.6).

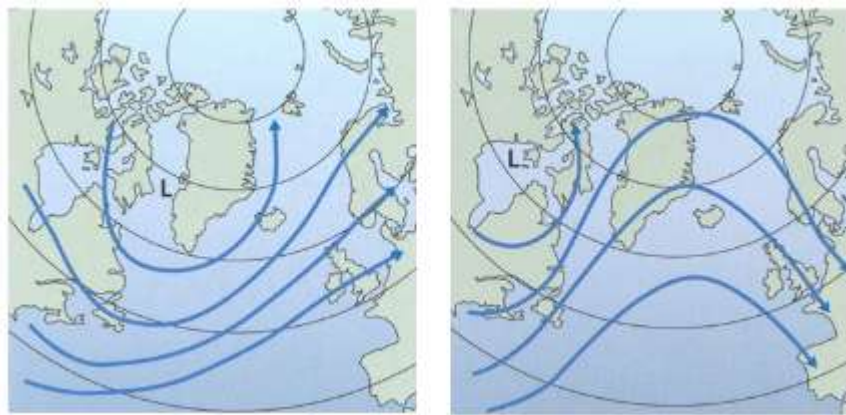


Рис. 2.6 – «Температурна гойдалка» – схематична ілюстрація двох відхиляючих моделей на рівні 500 гПа. **Джерело:** Лейф Расмуссен

Це викликає зміну в поведінці атлантичних циклонів: траєкторії їх руху зміщуються на південь, що призводить до збільшення надходження атлантичного повітря до північно-західної Європи, і пом'якшує зиму і цьому регіоні. В той самий час в Гренландії буде спостерігатись дуже холодна зима з великою ймовірністю розвитку полярних циклонів.

При іншому типі відхилення вихор зміщується на південний захід, як правило, до району Гудзонової затоки, і ослабляється. За цим сценарієм атлантичні циклони рухатимуться на північ до Гренландії, де погода буде дуже мінливою, особливо в південній частині країни, де спостерігатимуться часті підвищеннями температури до кількох градусів вище нуля. Далі на схід над Атлантичним океаном пануватиме область високого атмосферного тиску, яка

блокуватиме надходження морського повітря до північно-західної Європи, де в цей час фіксуватимуться дуже холодні зими. Ці коливання в народі називають «температурними гойдалка».

2.4 Режим опадів

Кількість опадів, як правило, вище на узбережжі, ніж усередині країни. В південній частині Гренландії, особливо на східному її узбережжі випадає велика кількість опадів, в той же час, коли в Північній Гренландії випадає надзвичайно мала їх кількість. Ці райони носять назву «арктичних пустель», тобто територій, майже вільних від снігу взимку, на яких випаровування може перевищувати опади влітку.

На рівні моря влітку опади випадають переважно у вигляді дощу, а взимку у вигляді снігу. На крайній півночі країни влітку (липень) місцями можливий сніг, відповідно, дощі взимку бувають надзвичайно рідко. Опади у вигляді злив фіксуються взимку виключно в районах, поблизу відкритого моря. Влітку, за рахунок сонячного прогрівання, можливі зливи всередині країни.

Грім буває за нестабільної погоди, але дуже рідко і зазвичай протягом дуже короткого часу. Взимку, сильні зливи над морем можуть супроводжуватися громом.

3 ВИХІДНІ ДАНІ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Характеристика вихідної інформації

В якості вихідного матеріалу для дослідження використовувались середньомісячні значення приземної температури повітря на метеорологічних станціях, які розташовані в різних кліматичних зонах Антарктиди та в річних частинах найбільшого на планеті острову Гренландія. Ці станції вибрані приблизно на одних і тих же широтах північної та південної кулі (табл. 3.1 і рис. 3.1). Вихідні дані отримані з бази даних Британської Антарктичної служби (<https://www.bas.ac.uk>) і представляють собою середньомісячні значення приземної температури повітря. Період дослідження уніфікований для усіх станцій і складає 30 років (1991-2020рр.)

Таблиця 3.1 – Характеристики досліджуваних станцій

№ з/п	Назва станції	Географічні координати		Висота над рівнем моря, м	Особливості розташування
		широта	довгота		
Антарктида					
1	Lettau	82.51 S	174.4 W	30	Шельфовий льодовик Роса
2	Neumayer	70.66 S	8.25 W	50	Узбережжя, без стоку
3	Mawson	67.60 S	62.87 E	16	Узбережжя, зона стоку
4	Bellingshausen	62.20 S	58.93 W	15	Півострів
Гренландія					
5	Nord	81.50 N	16.8 W	35	Північна частина
6	Nuussuaataa	70.68 N	54.61 W	27	Західна частина
7	Ittoqqortoormiit	70.48 N	21.95 W	69	Східна частина
8	Aputiteq Ads	67.78 N	32.29 W	12	Південно-східна частина
9	Paamiut	62.0 N	49.66 W	15	Південна частина



Рисунок 3.1 – Регіон дослідження: полярні райони Земної кулі

Оскільки метою роботи є дослідження та аналіз температурного режиму різних областей полярних регіонів Земної кулі, то для дослідження були використані дані по дев'яти станціям, які розташовані в різних кліматичних зонах обох півкуль та мають приблизно однакові широти. Період дослідження для усіх станцій однаковий – 30 років – досить довгий для їх обробки та аналізу [4, 5, 8-10].

В якості досліджуваних станцій обрані:

- з Південної півкулі – станція Lettau, яка знаходиться в районі шельфового льодовика Росса (82.51 півд. широти). Їй відповідає станція Nord, яка знаходиться в північній частині Гренландії (81.51 півн. широти). Висота обох станцій не перевищує 35 метрів;

- з Південної півкулі – станція Neumayer, яка знаходиться в районі узбережжя, вільного від впливу стокового вітру (70.66 півд. широти). Їй відповідають відразу дві станції, які розташовані в західній (Nuussuaataa, 70.68 півн. широти) та східній (Ittoqqortoormiit, 70.48 півн. широти) частинах Гренландії. Різниці висот усіх станцій не перевищують 25 метрів (от 27 до 50 метрів);
- з Південної півкулі – станція Mawson, яка є стоковою станцією і знаходиться в східній частині Антарктиди (67.60 півд. широти). Їй відповідає станція Aputiteq Ads, яка знаходиться в південно-східній частині Гренландії (67.78 півн. широти). Висота обох станцій не перевищує 16 метрів, різниця висот – 4м;
- з Південної півкулі – станція Bellingshausen, яка є найпівнічнішою станцією і знаходиться в районі Антарктичного півострова (62.20 півд. широти). Їй відповідає станція Raamiut, яка найпівнічнішою станцією Гренландії (62.20 півн. широти). Висота обох станцій не перевищує 15 метрів, різниця висот – 0 м;

У таблиці 3.1 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. 3.1, для дослідження використовувались станції, що знаходяться в різних частинах досліджуваних регіонів. Усі станції мають незначні висоти над рівнем моря.

3.2 Методи розрахунку основних статистичних параметрів

Основні властивості випадкових величин характеризуються початковими (v), 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 l -того порядку таким чином: початкового – v_l , центрального – μ_l , основного – r_l . 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 l -того порядку називається інтеграл вигляду:

$$v_l = \int_{-\infty}^{\infty} x^l f(x) dx. \quad (3.1)$$

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

$$v_1 = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx = m_x. \quad (3.2)$$

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

$$v_l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i^l m_i \quad (3.3)$$

або

$$v_l = \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i^l p_i, \quad (3.4)$$

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 :

$$v_1 = m_x = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i m_i \quad (3.5)$$

або

$$v_1 = m_x = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i p_i \quad (3.6)$$

Статистичні оцінки початкових моментів розподілу другого, третього та четвертого порядків (v_2, v_3 та v_4) розраховуються за формулою (3.3) або (3.4) за умов, що у цих формулах показник степеня l приймає відповідно значення 2, 3 і 4:

$$v_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i^2 m_i = \overline{x^2}, \quad (3.7)$$

$$v_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i^3 m_i = \overline{x^3}, \quad (3.8)$$

$$v_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i^4 m_i = \overline{x^4} \quad (3.9)$$

Якщо статистична оцінка 1-го початкового моменту розподілу обчислюється на основі простих статистичних сукупностей, то використовується формула [12]:

$$v_l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^l. \quad (3.10)$$

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

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = v_1 = m_x, \quad (3.11)$$

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

$$v_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 = \overline{x^2}, \quad (3.12)$$

$$v_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^3 = \overline{x^3}, \quad (3.13)$$

$$v_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^4 = \overline{x^4}. \quad (3.14)$$

У рівняннях (3.10) – (3.14) 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:

$$\mu_l = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^l f(x) dx. \quad (3.15)$$

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

$$\mu_l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^l m_i \quad (3.16)$$

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

$$\mu_l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^l p_i \quad (3.17)$$

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]:

$$\mu_2 = \sigma_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^2 m_i, \quad (3.18)$$

$$\mu_2 = \sigma_x^2 = \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^2 p_i, \quad (3.19)$$

Аналогічним чином на основі формули (3.16) або (3.17) знаходять статистичні оцінки третього (за умови $l = 3$) і четвертого (за умови $l = 4$) моментів розподілу випадкової величини X [12]:

$$\mu_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^3 m_i, \quad (3.20)$$

$$\mu_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^4 m_i. \quad (3.21)$$

Статистична оцінка другого центрального моменту розподілу, що розраховується за формулою (3.18) або (3.19), є зсуненою оцінкою дисперсії.

Незсунену, ефективну та умотивовану оцінку дисперсії випадкової величини X (це вимоги, яким повинні задовольняти статистичні оцінки параметрів) розраховують за формулою (3.22) і позначають S_x^2 :

$$S_x^2 = \frac{n}{n-1} \mu_2, \quad (3.22)$$

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 (3.23):

$$S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^2 m_i. \quad (3.23)$$

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

$$S_x = \sqrt{S_x^2}. \quad (3.24)$$

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

$$\mu_l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^l. \quad (3.25)$$

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

$$\mu_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sigma_x^2, \quad (3.26)$$

$$\mu_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3, \quad (3.27)$$

$$\mu_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4. \quad (3.28)$$

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]:

$$S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (3.29)$$

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

$$\mu_2 = \nu_2 - \nu_1^2, \quad (3.30)$$

$$\mu_3 = \nu_3 - 3\nu_2\nu_1 + 2\nu_1^3, \quad (3.31)$$

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

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

$$r_l = \frac{\mu_l}{\sigma_x^l}. \quad (3.33)$$

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

$$r_l = \frac{\mu_l}{S_x^l}. \quad (3.34)$$

Очевидно, що $r_1 = 0$, а $r_2 = 1$.

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

$$r_3 = \frac{\mu_3}{S_x^3} \quad (3.35)$$

та четвертого (за умови $l=4$):

$$r_4 = \frac{\mu_4}{S_x^4} \quad (3.36)$$

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 сплюснутою. Мірою цього є коефіцієнт ексцесу E :

$$E = r_4 - 3. \quad (3.37)$$

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

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

3.3 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 3.38 [10]:

$$t_{\alpha_i} = \bar{t}_i - \bar{t}_{30}, \quad (3.38)$$

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.

4 ДИНАМІКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ГРЕНЛАНДІЇ

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 полярних регіонах нашої планети 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]. Саме тому в роботі зроблено спробу оцінити рівні зростання приземної температури повітря на станціях, які знаходяться в полярних регіонах земної кулі приблизно на одних і тих же широтах північної чи південної кулі. Вивчення багаторічної динаміки температурного режиму є одним з першочергових завдань для пояснення кліматичних змін, які відбуваються на нашій планеті. Систематизація, розрахунки та аналіз приземної температури досліджуваних станцій проводилися для усіх місяців року за період з 1991 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].

4.1 Статистичні характеристики приземної температури повітря досліджуваного регіону

В останні роки в Антарктичному так і в Арктичному регіонах спостерігаються яскраво виражений вплив процесів, які спричинені зміною

клімату – глобальним підвищенням температури. Вивчення динаміки приземної температури в зазначених регіонах є дуже важливим питанням оскільки вона безпосередньо пов'язана з умовами стійкості антарктичних льодяних куполів Антарктиди та Гренландії [3, 4, 5]. Використовуючи часові ряди середньомісячних значень приземної температури повітря для досліджуваних станцій були розраховані статистичні характеристики приземної температури повітря для всіх місяців року (табл. 4.1 та 4.2).

Таблиця 4.1

Середні, мінімальні та максимальні значення приземної температури повітря досліджуваних станцій Гренландії

Місяць року	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Raamiut (південна частина острова)													
X _{сер.}	-6.4	-7.0	-5.6	-1.3	1.9	4.7	6.4	6.3	4.5	1.3	-2.6	-4.8	-0.2
X _{min}	-12.7	-13.8	-13.5	-5.9	-1.8	2.4	4.9	4.3	3.1	-1.6	-5.9	-9.6	-2.9
X _{max}	-1.0	0.2	2.0	4.8	6.1	6.4	7.8	8.6	6.7	4.4	2.4	0.6	3.2
Aputiteq Ads (південно-східна частина острова)													
X _{сер.}	-8.3	-9.1	-9.2	-5.6	-1.3	1.1	2.9	3.1	1.6	-1.3	-4.2	-7.1	-3.1
X _{min}	-12.8	-13.3	-12.9	-9.9	-3.7	-0.4	1.5	1.1	-0.4	-4.4	-5.8	-11.1	-5.1
X _{max}	-1.6	-3.8	-4.0	-1.4	0.6	2.9	4.8	4.6	4.2	2.3	-0.9	-3.0	-1.3
Ittoqqortoormiit (східна частина острова)													
X _{сер.}	-12.4	-13.4	-13.3	-8.5	-2.1	2.8	6.0	5.6	1.6	-4.4	-8.9	-11.9	-4.9
X _{min}	-16.9	-19.9	-17.3	-14.2	-4.5	1.5	4.6	3.4	-0.9	-9.6	-12.3	-16.1	-6.3
X _{max}	-5.1	-6.4	-6.7	-4.3	-0.5	4.5	7.6	8.3	3.3	-0.2	-4.8	-7.4	-2.9
Nuussuaataa (західна частина острова)													
X _{сер.}	-12.0	-15.2	-15.5	-9.3	-2.2	2.8	5.7	5.6	2.8	-1.4	-5.0	-7.8	-4.3
X _{min}	-22.5	-26.4	-26.1	-16.7	-7.3	-0.5	3.1	3.2	1.1	-4.4	-8.1	-12.9	-8.1
X _{max}	-5.2	-6.2	-6.4	-1.8	0.9	5.7	8.0	7.9	4.9	1.1	-0.8	-2.7	-0.8
Nord (північна частина острова)													
X _{сер.}	-28.3	-28.6	-28.9	-20.9	-9.1	0.6	4.3	2.5	-7.0	-17.1	-22.7	-26.2	-15.1
X _{min}	-34.7	-34.0	-34.5	-25.4	-14.1	-2.3	0.7	-0.2	-9.6	-19.9	-28.2	-31.1	-17.0
X _{max}	-21.0	-18.0	-24.7	-14.1	-5.2	2.5	8.0	5.1	-4.2	-10.7	-16.8	-20.9	-13.5

В табл. 4.1 представлені багаторічні середні температури для кожного місяця року та середньорічне значення, а також середні мінімуми та

максимуми температури для досліджуваних станцій Гренландії. Бачимо, що максимальні температури спостерігаються в літній період, досягаючи максимальних значень в червні-місяці. Слід зазначити, що літні температури для усіх станцій Гренландії коливаються в невеликих межах від 2.9 С (ст. Aputiteq Ads) до 6.4 С (ст. Raamiut), причому остання станція не є найпівнічнішою точкою дослідженого регіону, але має найменшу середню літню температуру (рис. 4.1). Це може бути пов'язане, скоріш за все, з пом'якшуючим впливом Атлантичного океану в літній період.

Температури повітря в досліджуваному регіоні зменшуються в північному напрямку, що обумовлено географією самого острова. Найнижчі температури повітря фіксуються в зимовий період. В цей же період фіксується максимальна відмінність в осереднених значеннях температури на станціях.

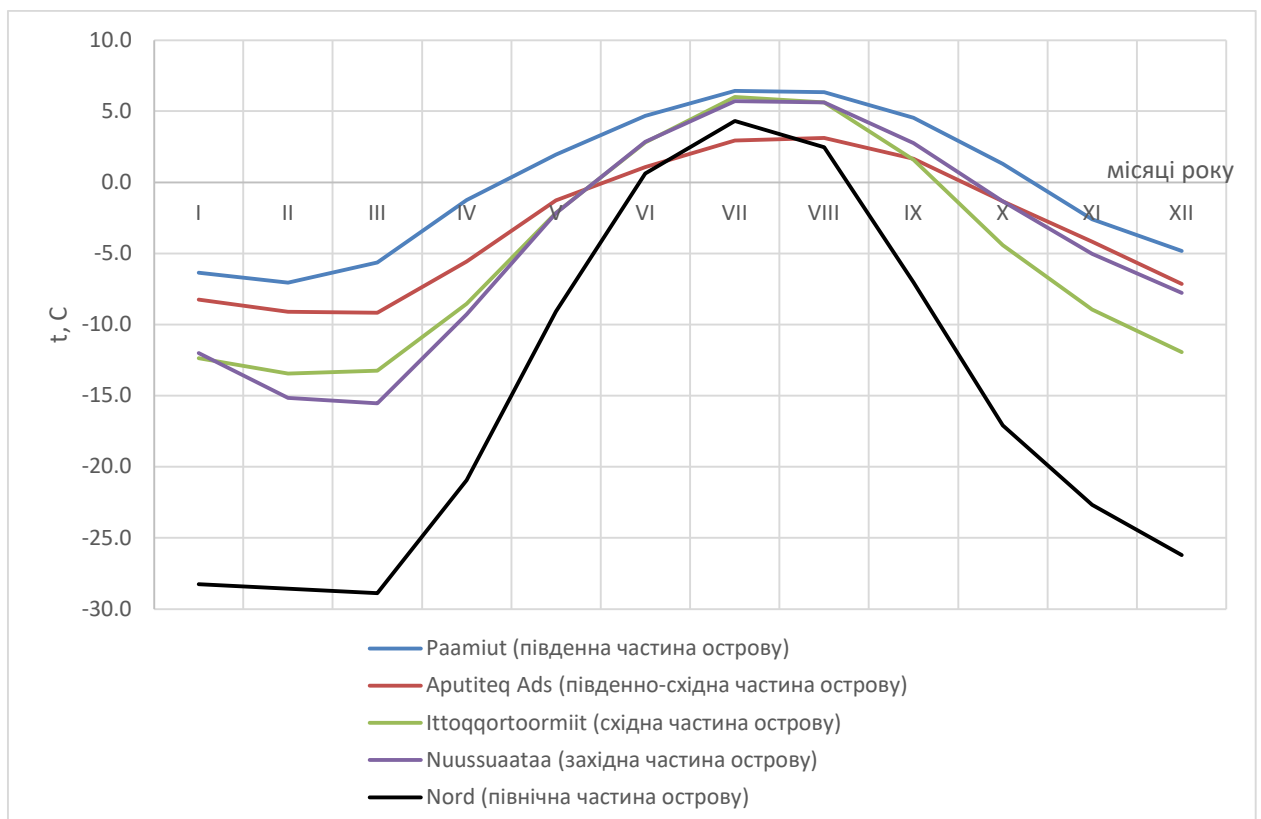


Рис. 4.1 – Річний хід осереднених за 30-річний період приземних температур досліджуваних станцій

Найнижчі багаторічні осереднені температури фіксуються в північній частині острова – ст. Nord (-28.9 C) у березні. Слід зазначити, що для більшості досліджуваних станцій мінімуми температури в річному ході припадають на лютий-березень, що може бути пов'язане з максимальним розповсюдженням льоду в цей період, оскільки усі станції знаходяться в прибережному поясі.

Саме в зимовий період року досягається максимальна відмінність між середніми значеннями температур в досліджуваному регіоні: так найнижчі температури взимку фіксуються на крайній півночі острова (ст. Nord) і складають близько -30 C, а найвищі – на крайньому півдні і складають близько -7 C. Таким чином відмінність температур між півднем та північню острова сягає 20-25 C. Зазначимо також, що максимальні амплітуди температури характерні для півночі регіону (ст. Nord – 24.6 C).

На графіках 4.2 та 4.3 представлено річний хід осереднених за 30-річний період максимальних та мінімальних температур досліджуваних станцій.

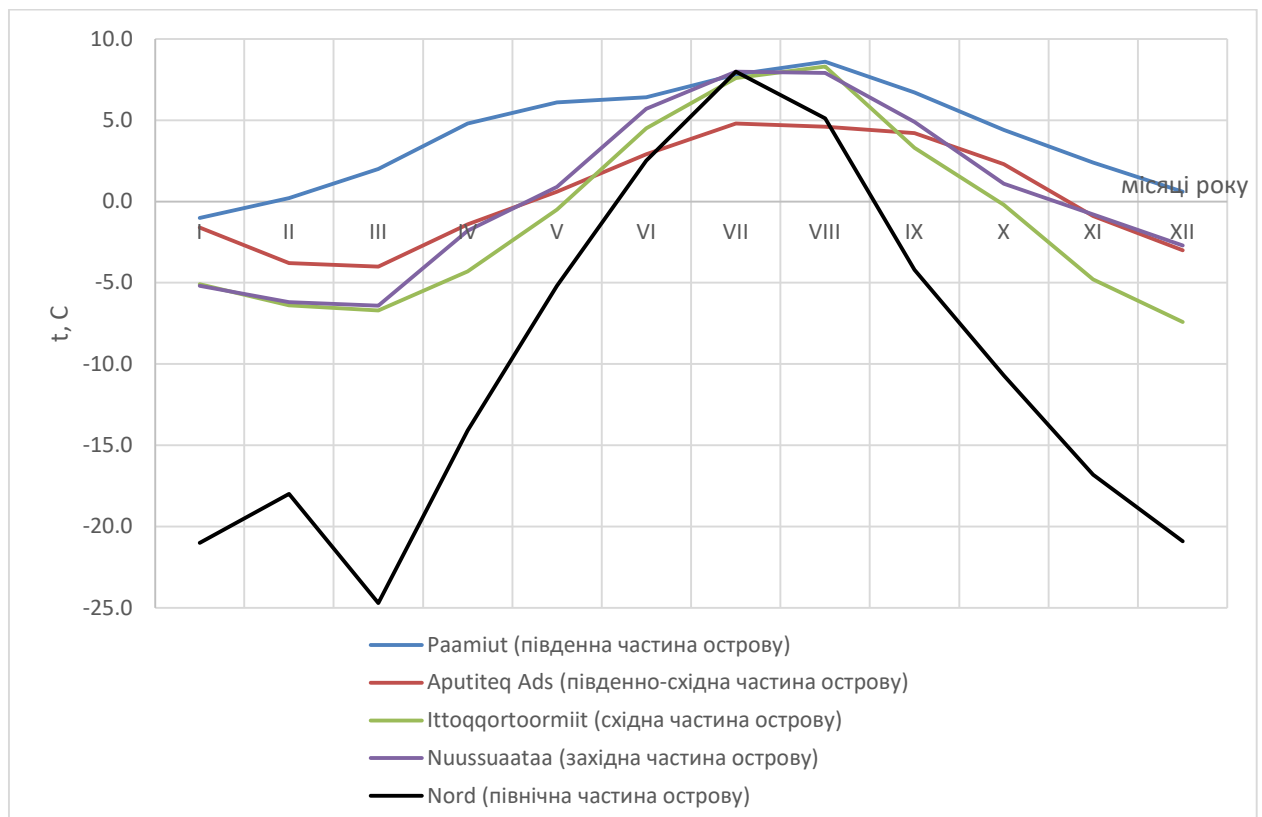


Рис. 4.2 – Річний хід максимальних осереднених за 30-річний період приземних температур досліджуваних станцій

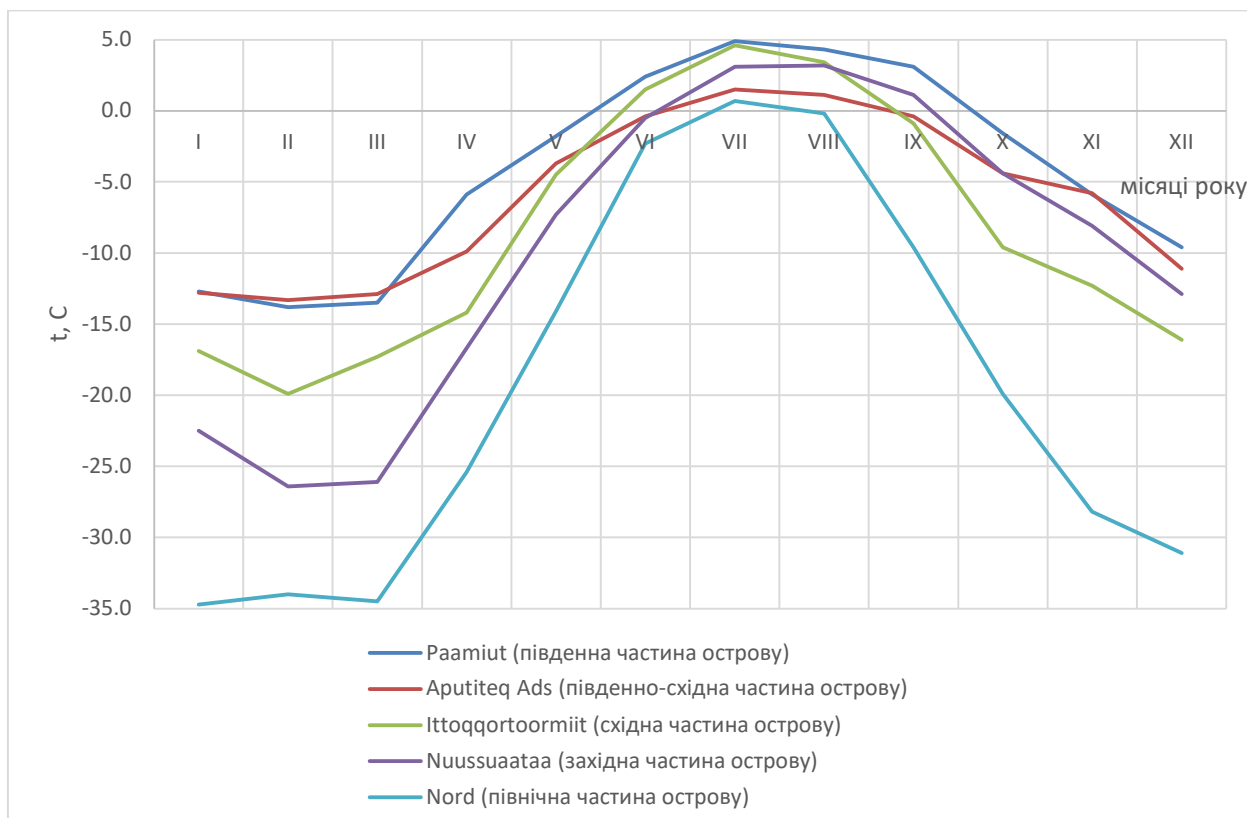


Рис. 4.3 – Річний хід мінімальних осереднених за 30-річний період приземних температур досліджуваних станцій

Аналіз рис. 4.2 та 4.3 дозволяє стверджувати, що річний хід максимальних та мінімальних температур регіону повністю відповідає річному ходу багаторічних середніх значень і відображає ті самі закономірності.

В наступній таблиці 4.2 представлені середньоквадратичні відхилення приземної температури повітря досліджуваних станцій. Як бачимо, мінімальні значення середньоквадратичних відхилів фіксуються в літній період (0.9-2.2), максимальні значення – в зимовий (1.5-4.2), що пов'язане з переважанням адвективного характеру погоди в зимовий період року. Слід зазначити, що зі зростанням широти значення середньоквадратичного відхилення для одних і тих же місяців року збільшуються (рис. 4.4).

Таблиця 4.2

Середньоквадратичні відхили приземної температури повітря
досліджуваних станцій Гренландії

Місяць року	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Раамиут (південна частина острову)													
Sx	2.6	3.4	3.2	2.2	1.9	1.1	0.9	1.0	1.0	1.5	2.0	2.3	1.3
Арутітеґ Адс (південно-східна частина острову)													
Sx	2.5	2.5	2.5	1.9	0.9	0.8	0.9	1.0	1.1	1.4	1.3	2.1	1.0
Іттоґґортоорміт (східна частина острову)													
Sx	3.0	3.0	2.5	2.4	0.9	0.9	0.7	1.2	1.1	2.0	2.0	2.3	0.9
Нууссуаатаа (західна частина острову)													
Sx	4.2	4.8	4.8	3.6	2.2	1.5	1.3	1.4	1.1	1.5	2.1	2.8	1.8
Норд (північна частина острову)													
Sx	3.3	3.7	2.3	2.8	2.0	1.1	1.4	1.1	1.5	2.1	2.4	2.8	1.0

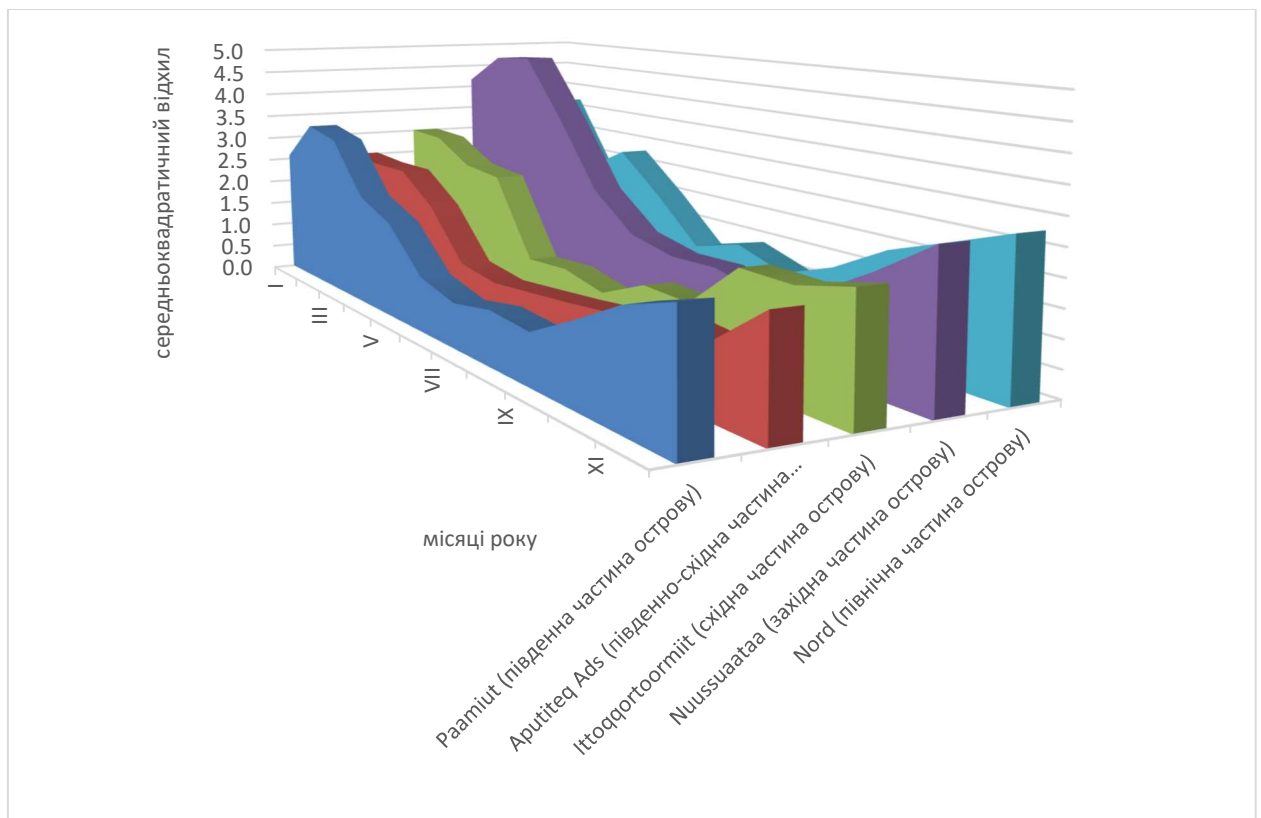


Рис. 4.4 – Значення середньоквадратичних відхилів приземної температури повітря досліджуваних станцій Гренландії для різних місяців року

За степенем скошеності кривих розподілу, тобто по величині коефіцієнту A_s , в рядах приземної температури повітря досліджуваних станцій Гренландії протягом року зустрічається як правостороння так і лівостороння асиметрії. Причому зростання модуля величини асиметрії відбувається в північному напрямку – в напрямку зростання широти (табл.4.3).

Таблиця 4.3

Асиметрія середньомісячних значень приземної температури повітря досліджуваних станцій Гренландії

Місяць року	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Раамиут (південна частина острова)													
A_s	-0.3	0.2	-0.3	0.2	0.2	-0.2	0.0	0.1	0.4	0.5	0.4	-0.1	0.4
Апутітеґ Адс (південно-східна частина острова)													
A_s	0.0	0.3	0.3	-0.3	-0.4	0.3	0.2	-0.6	0.2	0.5	0.8	0.0	-0.2
Іттоґґорторміт (східна частина острова)													
A_s	0.5	0.5	0.4	-0.3	-0.6	0.2	0.2	0.5	-0.4	-0.1	0.1	0.1	0.3
Нууссуаатаа (західна частина острова)													
A_s	-0.5	-0.3	-0.2	0.0	-0.9	-0.3	-0.3	-0.4	0.3	0.0	0.4	-0.3	-0.6
Норд (північна частина острова)													
A_s	0.1	1.1	-0.4	1.1	-0.2	-0.5	-0.1	-0.2	0.2	1.0	0.5	0.2	-0.3

Зазначені коливання асиметрії можуть свідчити про суттєву відмінність процесу змін клімату в цьому районі від нормального та його нестационарність (рис. 4.5).

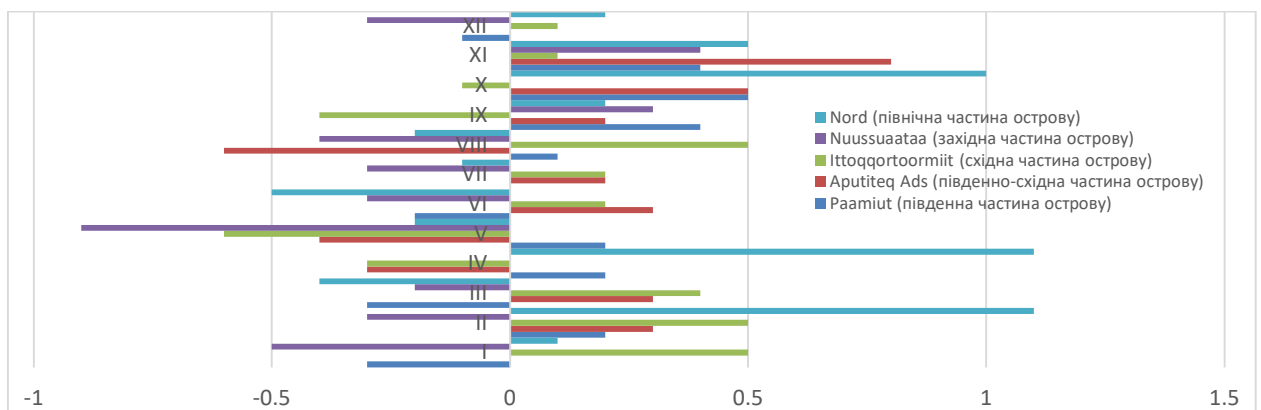


Рис. 4.5 – Значення асиметрії рядів приземної температури повітря досліджуваних станцій Гренландії для різних місяців року

Звертаючись до аналізу коефіцієнтів ексцесу в табл. 4.4, слід зауважити, що протягом року на станціях Гренландії зустрічається як плосковершинний ($E < 0$) розподіл так і витягнутий ($E > 0$), тобто приземна температура повітря в деякі місяці року змінюється у широкому діапазоні ($E < 0$), а в деякі – у вузькому ($E > 0$) (рис. 4.6). Зазначимо, що для середньорічних значень коефіцієнт ексцесу від’ємний для усіх досліджуваних станцій.

Таблиця 4.4

Коефіцієнт ексцесу середньомісячних значень приземної температури повітря досліджуваних станцій Гренландії

Місяць року	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Раамиут (південна частина острову)													
E	0.1	-0.5	1.2	0.9	-0.1	-1.0	-1.1	-0.3	-0.5	-0.1	-0.1	0.1	-0.9
Арутитек Адс (південно-східна частина острову)													
E	0.5	-0.4	-0.8	0.2	0.4	-0.3	-0.7	-0.8	-0.3	1.5	0.1	-0.8	-0.5
Іттоггortoormiit (східна частина острову)													
E	0.0	0.3	0.0	-0.1	0.4	-1.2	-0.6	0.1	-0.8	0.9	-0.9	-0.7	-0.6
Nuussuaataa (західна частина острову)													
E	0.2	-0.1	0.1	-0.3	0.1	-0.5	-0.7	-0.8	-1.1	-0.8	-0.4	-0.6	-0.1
Nord (північна частина острову)													
E	-0.4	1.2	0.1	0.7	0.3	0.4	1.1	0.6	-0.7	1.7	1.0	-1.0	-0.9

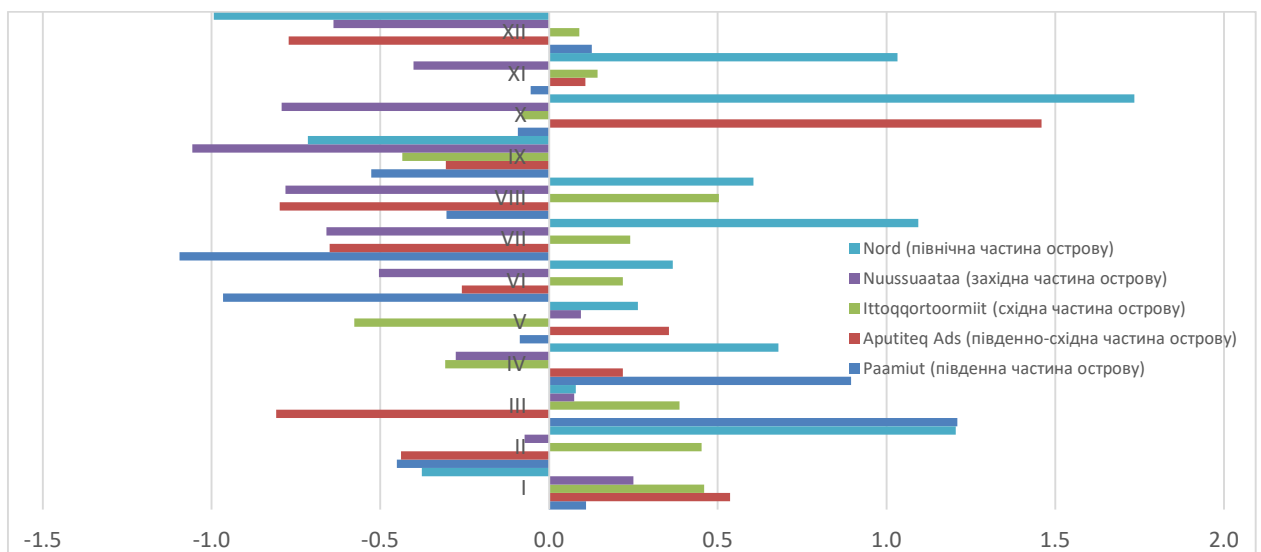


Рис. 4.5 – Коефіцієнт ексцесу рядів приземної температури повітря досліджуваних станцій Гренландії для різних місяців року

4.2 Особливості багаторічних змін приземної температури повітря Гренландії

Всі вихідні данні були проаналізовані з метою виявлення прихованих періодичностей. Пошук виконувався за допомогою швидкого перетворення Фур'є з ймовірністю 68% (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Значущі періоди коливань (рік) приземної температури повітря досліджуваних станцій Гренландії

Місяць року	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Раамиут (південна частина острову)													
період	3	3	2	3	3	2	2	2	2	2	5	2	5
Арутїтеґ Адс (південно-східна частина острову)													
період	5	3	5	4	4	4	3	2	2	2	2	3	2
Іттоґґортоормїїт (східна частина острову)													
період	4	3	3	5	3	4	3	8	3	2	4	3	2
Нууссуаатаа (західна частина острову)													
період	2	3	2	2	2	3	3	3	3	2	2	2	3
Норд (північна частина острову)													
період	2	2	5	5	2	6	2	3	3	4	4	3	2

Для приземної температури повітря досліджуваних станцій Гренландії найбільш характерні коливання з періодом 2 і 3 року. Слід зазначити, що в певні місяці року на деяких станціях фіксуються чотирьох, п'яти та шестирічні коливання.

За даними значень приземної температури повітря були побудовані графіки міжрічної її мінливості. Результати аналізу прихованих періодичностей використовувались при згладжуванні осереднених рядів приземної температури повітря. На основі згладженого ряду побудовано лінійний тренд, який показує напрямок та величину змін приземної температури повітря за досліджуваний 30-річний період (1991-2020рр.). В

таблиці 4.6 наведені результати розрахунків трендової складової приземної температури повітря досліджуваних станцій Гренландії. Жирним шрифтом та курсивом виділені найбільші від’ємні значення тренду, просто жирним шрифтом – найбільші додатні.

Таблиця 4.6

Значення трендової складової приземної температури повітря (°C)

Місяць року	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Раамиут (південна частина острову)													
тренд	3.4	4.0	3.4	0.4	0.3	0.5	1.1	1.4	0.2	1.1	1.6	1.8	1.8
Арутїтеґ Адс (південно-східна частина острову)													
тренд	7	4.1	2.3	2	1.6	0.6	1.2	2.4	2.3	2.6	1.7	3.6	2.4
Іттоґґортоормїїт (східна частина острову)													
тренд	6.7	2.8	2.9	-0.9	0.6	0.1	0.8	1.9	1.3	3.2	0.8	3.2	1.5
Нууссуаатаа (західна частина острову)													
тренд	6.0	8.2	9.5	5.4	2.6	1.3	2.1	2.9	0.3	1.1	1.6	2.1	3.8
Норд (північна частина острову)													
тренд	5.7	4.8	2.3	-1.9	0.8	0.9	1.4	0.9	2.5	3.6	0.9	2.6	2.4

Аналіз табличного матеріалу показав, що для абсолютної більшості станцій для усіх місяців року характерне зростання приземної температури повітря за досліджуваний 30-річний період (рис. 4.6). Найбільші додатні тренди на усіх станціях спостерігається взимку. Слід зазначити, що величина трендів зростає у північному напрямку. Максимальні додатні тренди фіксуються у західній частині острову на ст. Нууссуаатаа у лютому та березні (8.2 та 9.5 С відповідно). Мінімальні додатні тренди фіксуються в зимовий період року в південній частині острову на ст. Раамиут у січні, лютому та березні (3.4, 4.0 та 3.4 С відповідно).

Найменше зростання температури фіксується на усіх станціях Гренландії в літній період року. Величина додатного тренду в цей період коливається від 0.1 С (ст. Іттоґґортоормїїт) – 0.5 С (ст. Раамиут) до 1.3 С (ст. Нууссуаатаа).

Від’ємні значення тренду за весь досліджуваний період спостережень фіксуються тільки в квітні на двох станціях: -0.9 – ст. Ittoqqortoormiit (східна частина острова) та -1.9 – ст. Nord (північна частина острова).

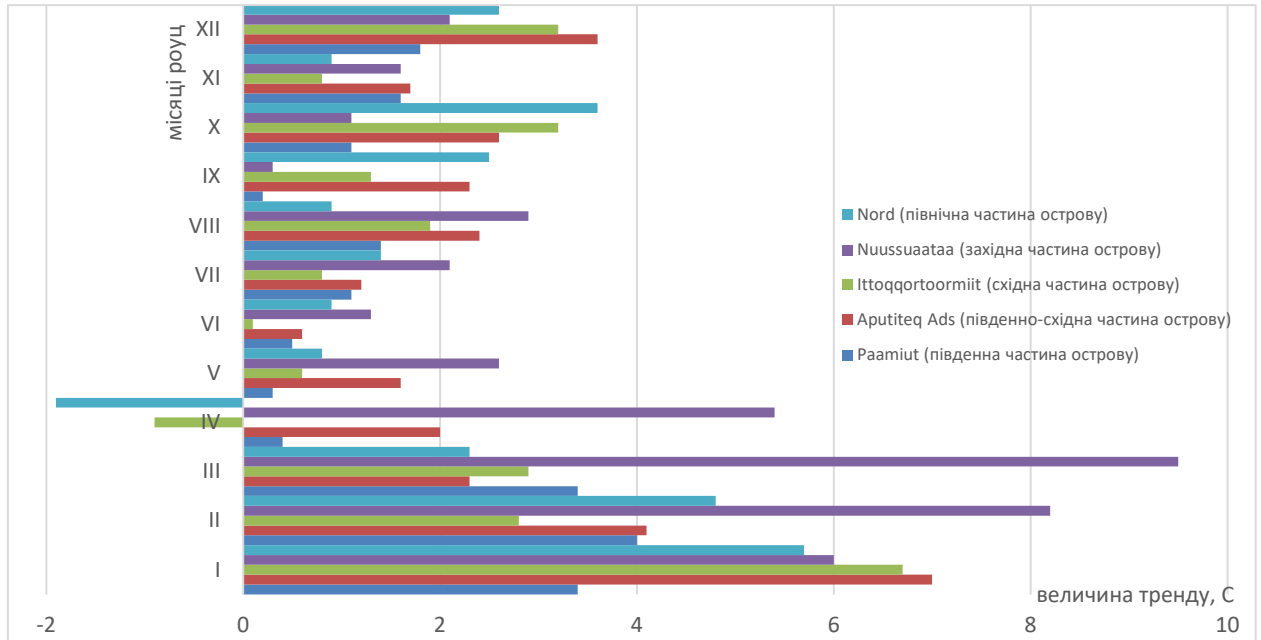


Рис. 4.6 – Гістограма трендової складової приземної температури повітря досліджуваних станцій Гренландії

Проведене дослідження приземної температури повітря острову Гренландія дозволяє стверджувати про певні порушення стабільності термічного режиму острову, а саме потепління протягом усього року, яке досягає максимальних значень в зимовий період року.

4.3 Динаміка середньомісячних аномалій приземної температури повітря

З метою встановлення характерних особливостей динаміки приземної температури повітря Гренландії за останні 30 років (1991-2020 рр.) було прийняте рішення розрахувати та проаналізувати аномалії приземної

температури повітря за десятирічні періоди для двох станцій Гренландії, які знаходяться на протилежних кінцях острова.

Таким чином, для обох станцій Гренландії, для кожного місяця року, 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].

В нашому випадку, аналізу підлягають відхилення середнього значення приземної температури повітря 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 4.7 та 4.8 (від'ємні значення виділені жирним шрифтом та підкреслені, а додатні – виділені жирним шрифтом).

В таблиці 4.7 наведені результати розрахунку аномалій приземної температури повітря для станції Raamiut, яка знаходиться в південній частині острова. Як бачимо, перше десятиріччя на цій станції представлене виключно від'ємними аномаліями приземної температури повітря. Найбільше зменшення температури припадає на зимові місяці: лютий (-2.6 C) та березень (-1.8 C). Осереднене за рік значення аномалії для цього десятиріччя складає -1.0 C.

Таблиця 4.7

Динаміка аномалій середньомісячних значень приземної температури повітря за даними станції Рааміут (південна частина Гренландії)

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	-6.4	-7.5	<u>-1.1</u>	-6.0	0.4	-5.6	0.7
Лютий	-7.0	-9.7	<u>-2.6</u>	-4.9	2.1	-6.6	0.5
Березень	-5.6	-7.4	<u>-1.8</u>	-4.1	1.6	-5.5	0.2
Квітень	-1.3	-1.6	<u>-0.4</u>	-0.5	0.8	-1.7	<u>-0.4</u>
Травень	1.9	1.2	<u>-0.7</u>	3.1	1.2	1.5	<u>-0.4</u>
Червень	4.7	4.3	<u>-0.4</u>	5.3	0.6	4.5	<u>-0.2</u>
Липень	6.4	5.9	<u>-0.5</u>	6.8	0.3	6.6	0.2
Серпень	6.3	5.6	<u>-0.8</u>	7.1	0.7	6.4	0.0
Вересень	4.5	4.1	<u>-0.4</u>	5.1	0.5	4.4	<u>-0.1</u>
Жовтень	1.3	0.6	<u>-0.7</u>	1.8	0.6	1.5	0.2
Листопад	-2.6	-4.0	<u>-1.4</u>	-1.9	0.8	-2.0	0.6
Грудень	-4.8	-6.4	<u>-1.6</u>	-3.8	1.0	-4.3	0.6
середнє значення	-0.2	-1.3	-1.0	0.7	0.9	0.0	0.2

Друге десятиріччя на станції Рааміут представлено виключно додатними аномаліями приземної температури повітря, які досягають максимальних значень також в зимовий період: лютий (2.1 С) та березень (1.6 С). Найменше зростання температури в це десятиріччя фіксується влітку – липень (0.3 С). В цілому за рік аномалія температури додатна та складає 0.9 С.

Третє десятиріччя (2011-2020 рр.) характеризується частковою перебудовою приземного поля температури. Протягом більшості місяців року в дослідженому регіоні спостерігається зростання приземної температури повітря, максимальний приріст припадає на листопад, грудень та січень (0.6,

0.6, та 0.7 С відповідно). Зменшення температури в це десятиріччя фіксується з квітня по червень (-0.4, -0.4 та -0.2 відповідно).

Таблиця 4.8

Динаміка аномалій середньомісячних значень приземної температури повітря за даними станції Nord (північна частина Гренландії)

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	-28.3	-30.8	<u>-2.5</u>	-27.4	0.9	-26.6	1.6
Лютий	-28.6	-30.0	<u>-1.4</u>	-28.9	<u>-0.3</u>	-26.8	1.8
Березень	-28.9	-29.2	<u>-0.3</u>	-29.7	<u>-0.8</u>	-27.7	1.1
Квітень	-20.9	-20.6	0.3	-21.0	<u>-0.1</u>	-21.2	<u>-0.2</u>
Травень	-9.1	-9.9	<u>-0.8</u>	-7.9	1.2	-9.5	<u>-0.4</u>
Червень	0.6	0.1	<u>-0.6</u>	0.9	0.2	0.9	0.3
Липень	4.3	3.4	<u>-0.9</u>	5.1	0.7	4.5	0.2
Серпень	2.5	1.9	<u>-0.6</u>	3.0	0.5	2.6	0.1
Вересень	-7.0	-7.9	<u>-0.9</u>	-7.0	0.0	-6.2	0.9
Жовтень	-17.1	-18.9	<u>-1.8</u>	-16.5	0.6	-15.9	1.2
Листопад	-22.7	-22.5	0.2	-23.5	<u>-0.8</u>	-22.1	0.6
Грудень	-26.2	-28.7	<u>-2.5</u>	-24.9	1.3	-25.0	1.2
середнє значення	-15.1	-16.1	-1.0	-14.9	0.3	-14.4	0.7

Аналіз таблиці 4.8 дозволяє стверджувати, що на станції Nord, яка знаходиться в північній частині Гренландії за останні 30 років спостерігається повно перебудова термічного поля. В перше десятиріччя для переважної більшості місяців року фіксується зниження приземної температури повітря. Найбільші від'ємні аномалії фіксуються в зимовий період року – грудень-січень – в складаю -2.5 С. Невеликі додатні аномалії в це десятиріччя

фіксуються лише в квітні (0.3 C) та листопаді (0.2 C). В цілому за рік аномалія приземної температури від'ємна та складає -1.0 C.

В друге десятиріччя (2001-2010pp.) картина змінюється на протилежну: для більшості місяців року характерне зростання приземної температури повітря. Максимальні додатні аномалії спостерігаються в травні та грудні – 1.2 та 1.3 C відповідно. Зменшення температури в це десятиріччя на станції Nord фіксується в кінці зими – на початку весни: лютий, березень, квітень (-0.3, -0.8 та -0.1 відповідно). В цілому за рік аномалія приземної температури повітря додатна і складає 0.3 C.

Третє десятиріччя (2011-2020 pp.) характеризується найбільшими темпами зростання приземної температури повітря за весь досліджуваний період. Протягом більшості місяців року спостерігаються додатні аномалії температури, максимум, так само, припадає на зимовий період: січень (1.6 C) та лютий (1.8 C). Від'ємні аномалії фіксуються в квітні та травні, але вони невеликі та не перевищують 0.4 C. В цілому за рік аномалія температури додатна і складає 0.7 C.

4.4 Динаміка середньорічних аномалій приземної температури повітря Гренландії

Для оцінки динаміки середньорічних аномалій приземної температури повітря станцій Гренландії за останні тридцять років (1991-2020pp.) побудована гістограма сум середньорічних значень аномалій приземної температури по регіону дослідження за десятирічні періоди для усіх п'яти досліджуваних станцій (рис. 4.7).

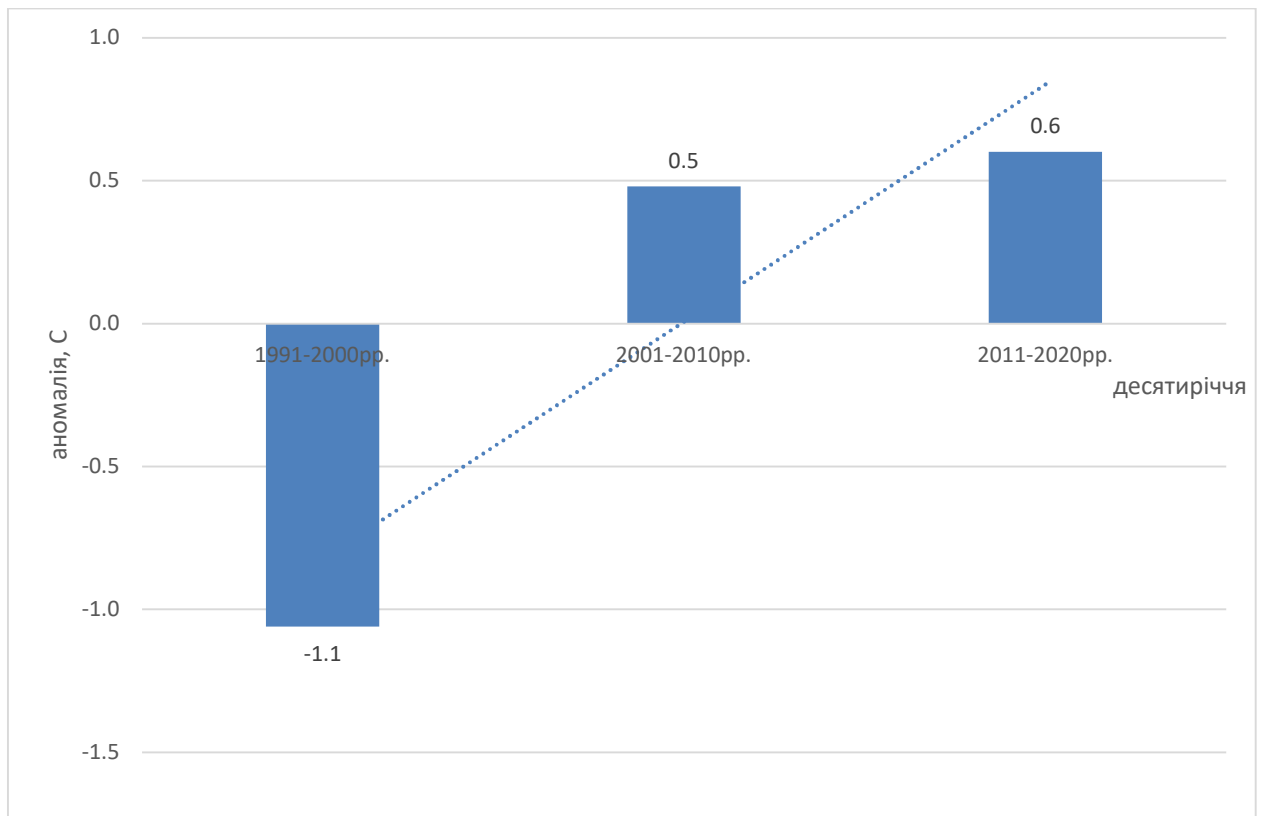


Рис. 4.7 – Середньорічні аномалії приземної температури повітря Гренландії за десятирічні періоди з 1991 по 2022рр.

Як бачимо, за тридцятирічний період 1991-2020 рр. в Гренландії спостерігається стійка тенденція до збільшення приземної температури повітря з -1.1 С в перше десятиріччя, до 0,5 С в друге та 0,6 С в третє десятиріччя.

Однак слід зазначити, що тенденції останнього десятиріччя протилежні в різних частинах острова. Так південна частина Гренландії (ст. Raamiut) характеризується зменшенням темпу зростання температури в останнє десятиріччя, а північна (ст. Nord) – навпаки збільшенням.

5 ДИНАМІКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ АНТАРКТИДИ

В попередньому розділі зроблено спробу оцінити динаміку температурного режиму Гренландії за останні 30 років. Цей розділ присвячений дослідженню динаміки термічного режиму Антарктиди. Систематизація, розрахунки та аналіз приземної температури досліджуваних станцій Антарктиди проводилися для усіх місяців року за період з 1991 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].

5.1 Статистичні характеристики приземної температури повітря досліджуваного регіону

Використовуючи часові ряди середньомісячних значень приземної температури повітря для досліджуваних станцій Антарктиди були розраховані статистичні характеристики приземної температури повітря для всіх місяців року (табл. 5.1 – 5.4). В табл. 5.1 представлені багаторічні середні температури для кожного місяця року та середньорічне значення, а також середні мінімуми та максимуми температури для досліджуваних станцій Антарктиди. Бачимо, що мінімальні значення приземної температури повітря спостерігаються в період антарктичної зими (червень-серпень), а максимальні – влітку (грудень-січень). Слід зазначити, що літні температури для усіх станцій Антарктиди коливаються в невеликих межах від -7.0 C (ст. Lettau) до 1.6 C (ст. Bellingshausen), причому остання станція є найпівнічнішою точкою

дослідженого регіону, розташовується на Антарктичному півострові, тому має найбільшу середню температуру протягом року (рис. 5.1).

Таблиця 5.1

Середні, мінімальні та максимальні значення приземної температури повітря досліджуваних станцій Антарктиди

Місяць року	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Lettau (шельфовий льодовик Роса)													
$x_{\text{ср.}}$	-7.7	-16.4	-27.8	-33.4	-34.1	-35.0	-37.4	-38.6	-35.4	-26.2	-15.4	-7.0	-26.2
x_{min}	-11.7	-20.6	-32.5	-41.1	-43.1	-42.0	-44.6	-48.5	-45.5	-30.7	-19.7	-10.1	-29.2
x_{max}	-3.4	-12.9	-22.1	-23.5	-25.4	-28.8	-30.1	-27.7	-26.0	-21.5	-11.9	-4.2	-24.1
Neumaier (узбережжя, без стоку)													
$x_{\text{ср.}}$	-4.3	-8.1	-13.5	-18.2	-20.4	-22.9	-25.4	-24.7	-23.3	-17.4	-9.8	-4.7	-16.1
x_{min}	-5.9	-11.2	-16.9	-25.0	-25.5	-28.9	-29.5	-33.0	-28.0	-21.2	-13.4	-6.3	-17.8
x_{max}	-2.5	-5.7	-9.9	-13.7	-15.4	-17.7	-18.2	-16.0	-16.8	-13.2	-7.1	-2.3	-14.8
Mawson (узбережжя, зона стоку)													
$x_{\text{ср.}}$	-0.3	-4.3	-10.3	-14.7	-16.6	-16.3	-18.1	-18.1	-17.0	-13.0	-5.4	-0.9	-11.2
x_{min}	-2.4	-5.9	-12.5	-19.2	-21.6	-21.0	-23.2	-22.1	-21.3	-16.5	-7.4	-2.6	-13.0
x_{max}	1.0	-1.5	-7.7	-10.3	-9.9	-12.3	-12.9	-12.8	-12.4	-10.3	-3.0	1.0	-9.7
Bellingshausen (Антарктичний півострів)													
$x_{\text{ср.}}$	1.6	1.6	0.5	-1.4	-3.0	-5.1	-6.0	-5.7	-4.3	-2.6	-1.1	0.3	-2.1
x_{min}	0.1	-0.1	-0.9	-4.2	-8.8	-9.4	-13.1	-11.3	-8.0	-5.9	-2.5	-1.4	-3.4
x_{max}	2.8	2.5	2.6	0.9	-0.8	-1.2	-3.1	-2.1	-1.3	-0.8	0.3	1.8	-1.1

Температури повітря в досліджуваному регіоні зменшуються в південному напрямку, що обумовлено географією самого континенту: чим ближче до полюсу – тим холодніше. Найнижчі температури повітря фіксуються в зимовий період. В цей же період фіксується максимальна відмінність в осереднених значеннях температури на станціях.

Що стосується річної амплітуди повітря, то вона найменша в районі Антарктичного півострова (ст. Bellingshausen – 7.6 C) і зростає в південному напрямку, досягаючи максимальних значень в районі шельфового льодовика Росса (ст. Lettau – 31.6 C).

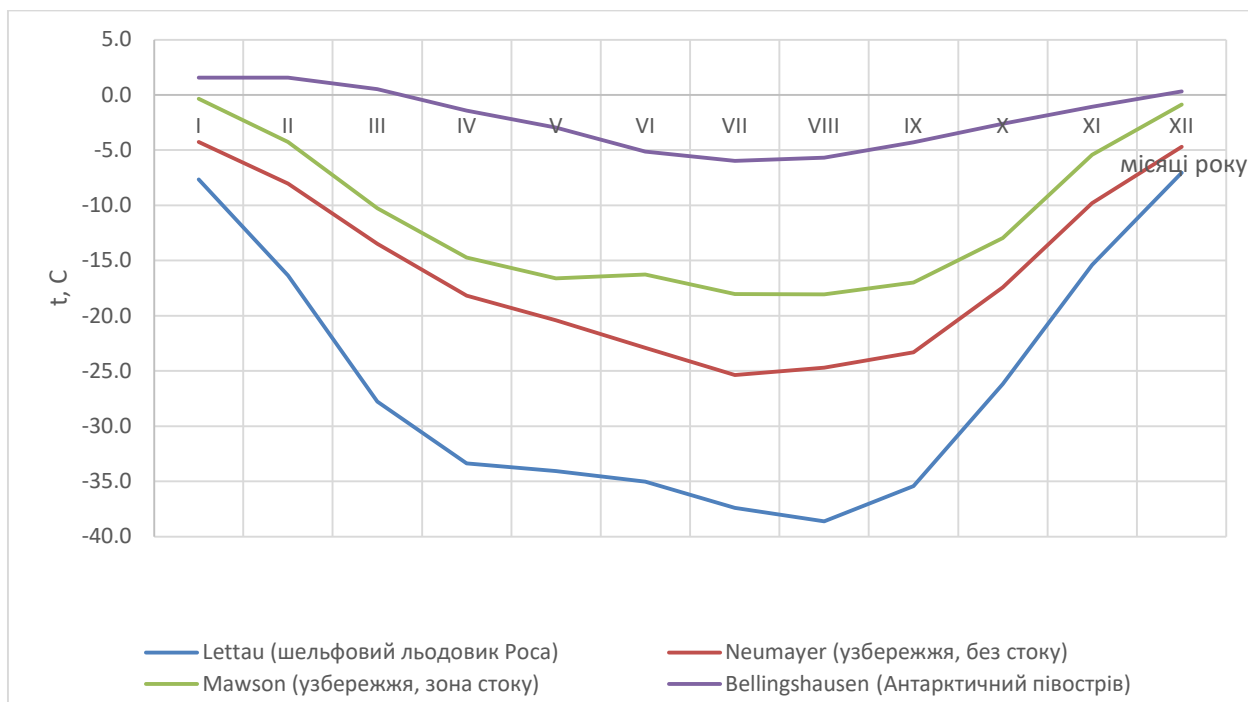


Рис. 5.1 – Річний хід осереднених за 30-річний період приземних температур досліджуваних станцій Антарктиди

На графіках 5.2 та 5.3 представлено річний хід осереднених за 30-річний період максимальних та мінімальних температур досліджуваних станцій.

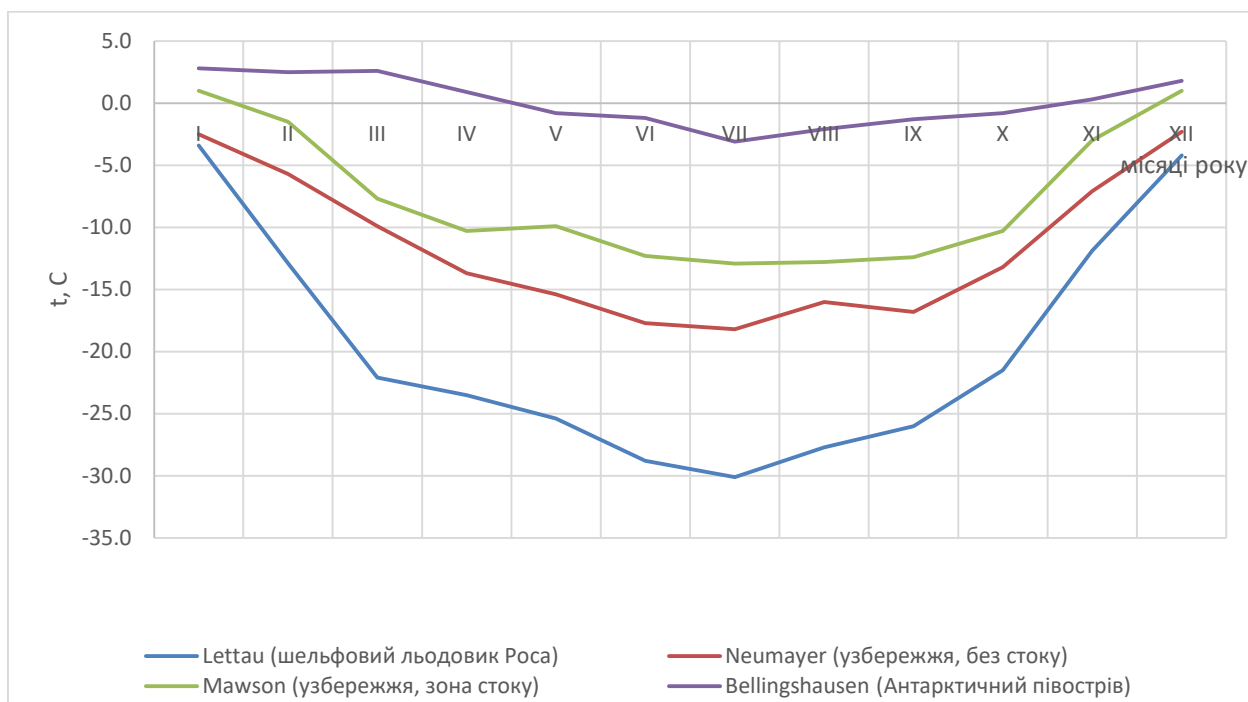


Рис. 5.2 – Річний хід максимальних осереднених за 30-річний період приземних температур досліджуваних станцій

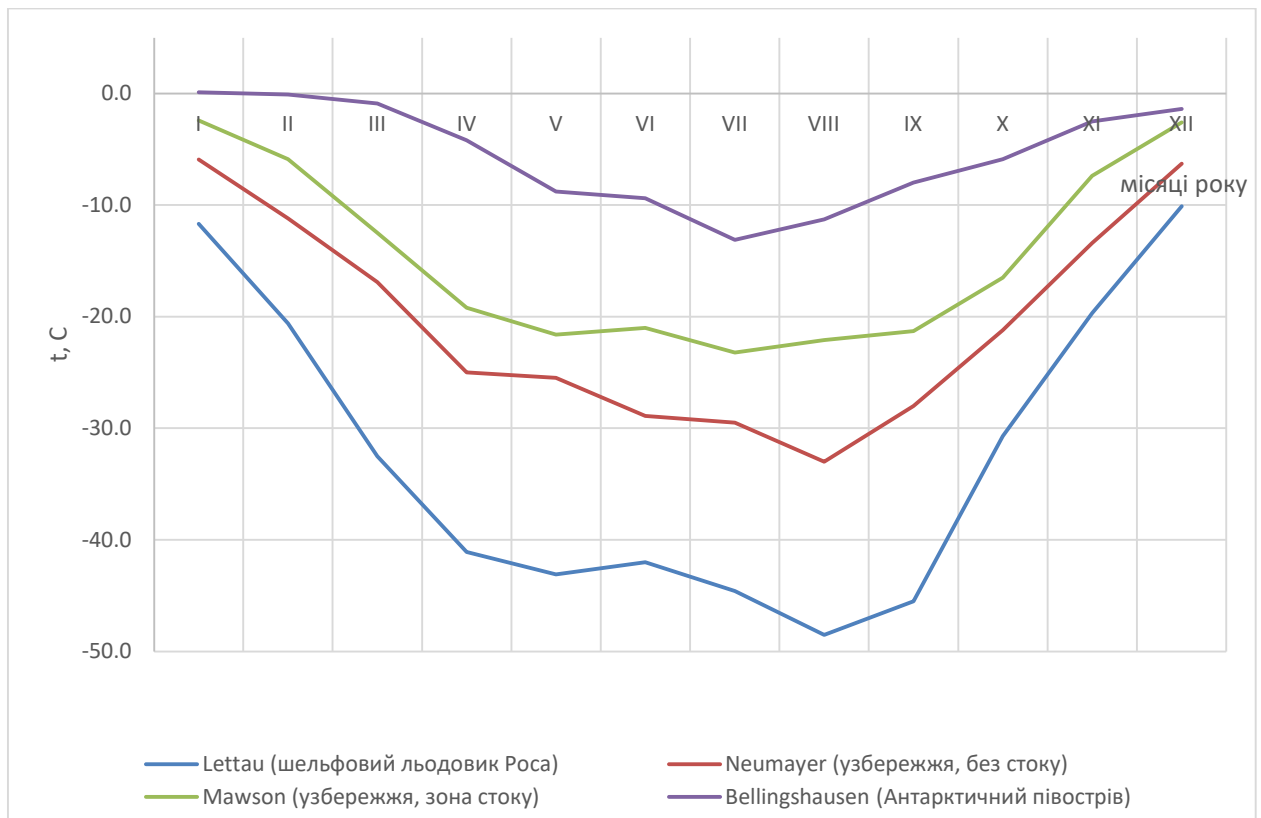


Рис. 5.3 – Річний хід мінімальних осереднених за 30-річний період приземних температур досліджуваних станцій

Аналіз рис. 5.2 та 5.3 дозволяє стверджувати, що річний хід максимальних та мінімальних температур регіону повністю відповідає річному ходу багаторічних середніх значень і відображає ті самі закономірності.

В наступній таблиці 5.2 представлені середньоквадратичні відхилення приземної температури повітря досліджуваних станцій Антарктиди. Як бачимо, мінімальні значення середньоквадратичних відхилів фіксуються в період антарктичного літа (грудень-січень), а максимальні – в зимовий період (липень-серпень), що пов'язане з відсутністю сонячної радіації та переважанням адвективного характеру погоди в зимовий період року. Слід зазначити, що значення середньоквадратичного відхилення для одних і тих же місяців року збільшуються в південному напрямку (рис. 4.4), досягаючи максимальних значень в районі шельфового льодовика Росса (ст. Lettau).

Таблиця 5.2

Середньоквадратичні відхилення приземної температури повітря
досліджуваних станцій Антарктиди

Місяць року	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Lettau (шельфовий льодовик Роса)													
Sx	1.7	1.8	2.8	4.2	4.8	3.6	4.0	4.8	4.4	2.6	1.8	1.7	1.2
Neumayer (узбережжя, без стоку)													
Sx	1.1	1.4	1.8	2.7	2.6	3.1	2.7	3.5	2.5	2.1	1.5	0.9	0.6
Mawson (узбережжя, зона стоку)													
Sx	0.8	1.0	1.2	2.2	2.8	2.2	2.6	2.4	2.3	1.4	1.1	0.9	0.7
Bellingshausen (Антарктичний півострів)													
Sx	0.7	0.8	0.8	1.3	1.7	2.2	2.7	1.9	1.7	1.2	0.8	0.7	0.7

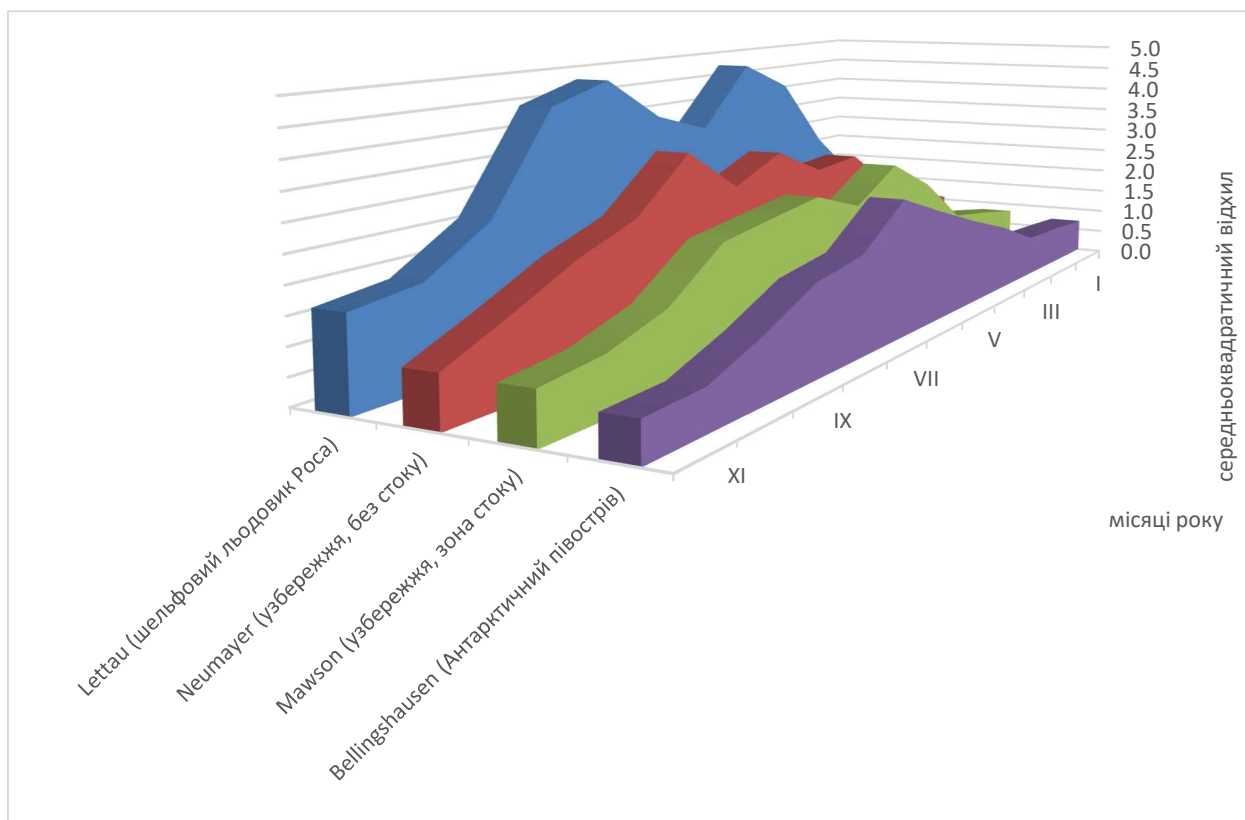


Рис. 5.4 – Значення середньоквадратичних відхилів приземної температури повітря досліджуваних станцій Антарктичного материка для різних місяців року

За ступенем скошеності кривих розподілу, тобто по величині коефіцієнту A_s , в рядах приземної температури повітря досліджуваних станцій Антарктиди протягом року зустрічається як правостороння так і лівостороння асиметрії. Причому зростання модуля величини асиметрії відбувається в північному напрямку – в напрямку зменшення широти (табл. 5.3). Слід зазначити, що для станції, яка знаходиться північніше усіх інших – на Антарктичному півострові – ст. Bellingshausen коефіцієнти асиметрії протягом року від’ємні, що свідчить про те, що приземна температура в цьому регіоні має тенденцію до зменшення (рис. 5.5).

Таблиця 5.3

Асиметрія середньомісячних значень приземної температури повітря досліджуваних станцій Антарктиди

Місяць року	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Lettau (шельфовий льодовик Роса)													
A_s	0.2	-0.1	0.4	-0.1	-0.2	-0.4	0.2	0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	-0.5
Neumayer (узбережжя, без стоку)													
A_s	0.2	-0.3	0.0	-0.4	0.1	-0.2	0.6	-0.1	0.3	0.2	-0.3	0.3	-0.6
Mawson (узбережжя, зона стоку)													
A_s	-0.5	0.9	0.2	0.2	0.3	-0.5	0.2	0.3	0.2	-0.4	-0.1	0.3	0.0
Bellingshausen (Антарктичний півострів)													
A_s	-0.2	-0.7	0.1	-0.4	-1.9	-0.2	-1.2	-0.9	-0.3	-1.2	-0.3	-0.7	-0.4

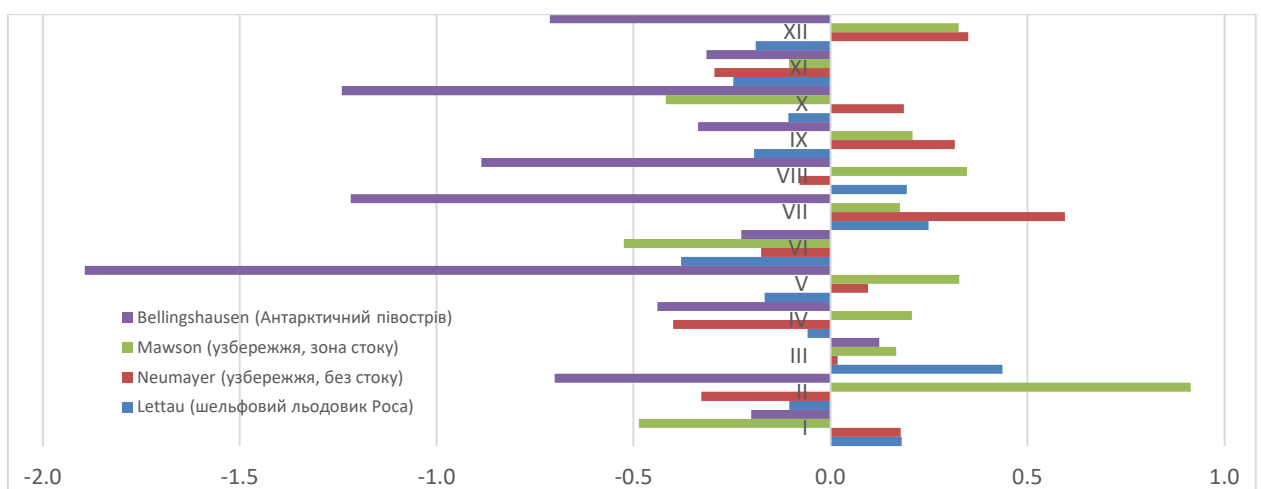


Рис. 5.5 – Значення асиметрії рядів приземної температури повітря досліджуваних станцій Антарктиди для усіх місяців року

Зазначені коливання асиметрії можуть свідчити про суттєву відмінність процесу змін клімату в цьому районі від нормального та його нестационарність.

Звертаючись до аналізу коефіцієнтів ексцесу в табл. 5.4, слід зауважити, що протягом більшості місяців року на станціях Антарктиди зустрічається витягнутий розподіл. Це може свідчити про те, що температура в ці місяці на зазначених станціях змінюється у вузькому діапазоні. В той же час на станції Lettau, яка знаходиться в районі шельфового льодовика Роса, коефіцієнт ексцесу додатний ($E > 0$) протягом усіх місяців року, що може бути пояснене її положенням.

Таблиця 5.4

Коефіцієнт ексцесу середньомісячних значень приземної температури повітря досліджуваних станцій Антарктиди

Місяць року	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Lettau (шельфовий льодовик Роса)													
E	0.4	-0.2	-0.4	-0.2	-0.7	-0.7	-1.0	0.0	0.1	-0.9	-0.1	-1.1	0.1
Neumayer (узбережжя, без стоку)													
E	-1.1	-0.5	-0.7	0.1	-0.9	-1.0	0.7	0.9	0.3	-0.6	0.0	-0.1	0.7
Mawson (узбережжя, зона стоку)													
E	-0.2	0.6	-0.5	-0.2	-0.1	-0.4	-0.5	-0.7	-0.6	0.2	-0.3	-0.2	0.2
Bellingshausen (Антарктичний півострів)													
E	-0.4	-0.8	0.2	0.0	1.2	-0.8	0.9	1.5	-0.3	2.1	-1.0	1.0	-1.1

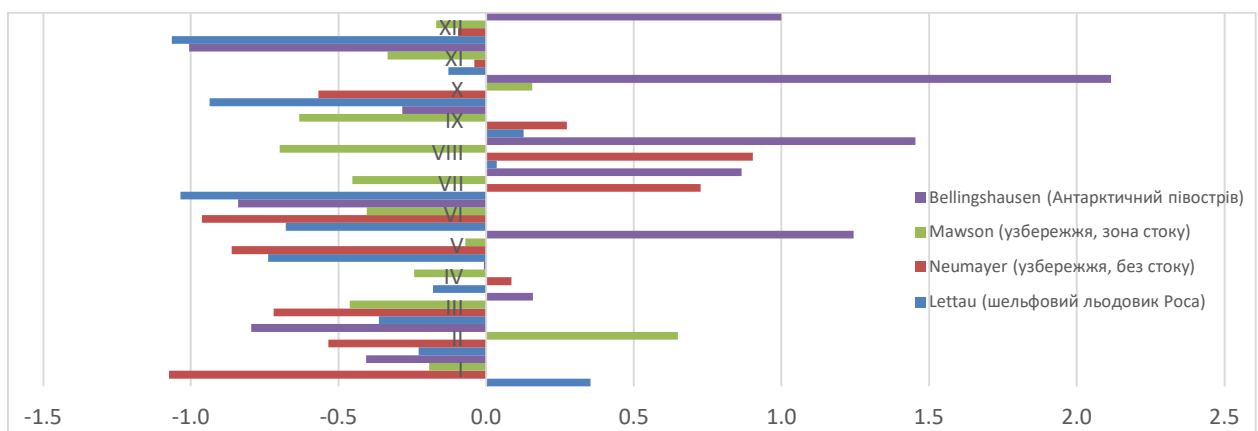


Рис. 4.5 – Коефіцієнт ексцесу рядів приземної температури повітря досліджуваних станцій Гренландії для різних місяців року

5.2 Особливості багаторічних змін приземної температури повітря Антарктиди

Всі вихідні данні були проаналізовані з метою виявлення прихованих періодичностей. Пошук статистично значущих періодичностей проводився за допомогою швидкого перетворення Фур'є з ймовірністю 68% (табл. 5.5).

Таблиця 5.5

Значущі періоди коливань (рік) приземної температури повітря досліджуваних станцій Антарктиди

Місяць року	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Lettau (шельфовий льодовик Роса)													
період	4.0	4.0	3.0	2.0	5.0	4.0	2.0	2.0	3.0	4.0	2.0	3.0	2.0
Neumayer (узбережжя, без стоку)													
період	3.0	3.0	2.0	3.0	3.0	3.0	4.0	3.0	5.0	6.0	4.0	3.0	3.0
Mawson (узбережжя, зона стоку)													
період	4.0	4.0	2.0	5.0	3.0	3.0	2.0	2.0	4.0	3.0	2.0	4.0	2.0
Bellingshausen (Антарктичний півострів)													
період	3.0	4.0	3.0	4.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0

Для приземної температури повітря досліджуваних станцій Антарктиди найбільш характерні коливання з періодом 2 і 3 року. Слід зазначити, що в певні місяці року на деяких станціях фіксуються чотирьох, п'яти та шестирічні коливання.

За даними значень приземної температури повітря були побудовані графіки міжрічної її мінливості. Результати аналізу прихованих періодичностей використовувались при згладжуванні осереднених рядів приземної температури повітря. На основі згладженого ряду побудовано лінійний тренд, який показує напрямок та величину змін приземної температури повітря за досліджуваний 30-річний період (1991-2020pp.). В таблиці 5.6 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.

Таблиця 5.6

Значення трендової складової приземної температури повітря (°C)

Місяць року	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Lettau (шельфовий льодовик Роса)													
тренд	0.2	0.7	2.9	2.4	7.1	-4.2	-3.7	2.9	1.4	2.4	-2.1	-1.0	0.8
Neumaier (узбережжя, без стоку)													
тренд	0.6	-0.4	-0.7	1.0	1.9	-3.8	-2.1	-2.0	0.2	1.4	1.9	0.2	0.1
Mawson (узбережжя, зона стоку)													
тренд	0.7	-0.3	-1.2	0.1	2.8	-1.9	0.1	2.0	1.1	1.4	1.3	0.6	0.5
Bellingshausen (Антарктичний півострів)													
тренд	-1.3	-1.0	0.2	-1.2	1.2	1.3	2.4	0.1	0.2	0.9	-0.3	-0.8	0.2

Аналіз табличного матеріалу показав, що для різних кліматичних зон Антарктиди фіксуються різні тенденції в змінах приземної температури за останні 30 років. Так в прибережній кліматичній зоні, в якій знаходиться ст. Bellingshausen, що розташована на антарктичному півострові, фіксується тенденція до зростання приземної температури повітря в зимові місяці року (з травня по жовтень). При чому максимальний ріст температури припадає на липень-місяць – 2.4 С. Решту пору року (з листопада по лютий) на станції фіксується від’ємний тренд, найбільше зменшення температури фіксується в січні (-1.3 С).

Для станцій, які розташовані на узбережжі антарктичного материка (Neumaier та Mawson) характерне зростання приземної температури повітря протягом більшості місяців року (рис. 5.6). Найбільші додатні тренди фіксуються в зимовий період року (травень-місяць) – 2.8 С (ст. Mawson) та 1.9 С (ст. Neumaier). Від’ємні тренди на цих станціях фіксуються восени (лютий-березень) та в червні. Найбільше зниження температури фіксується на станції Neumaier (-3.8 С).

Для району станції Lettau, шельфовий льодовик Росса, за досліджуваний період зафіксоване зростання приземної температури повітря протягом більшості місяців року. Найбільший додатний тренд фіксується в травні (7.1 C). Від’ємні тренди фіксуються всередині зими – червень (-4.2 C), липень(-4.7 C) – та наприкінці весни – на початку літа – листопад (-2.1 C) та грудень (-1.0 C).

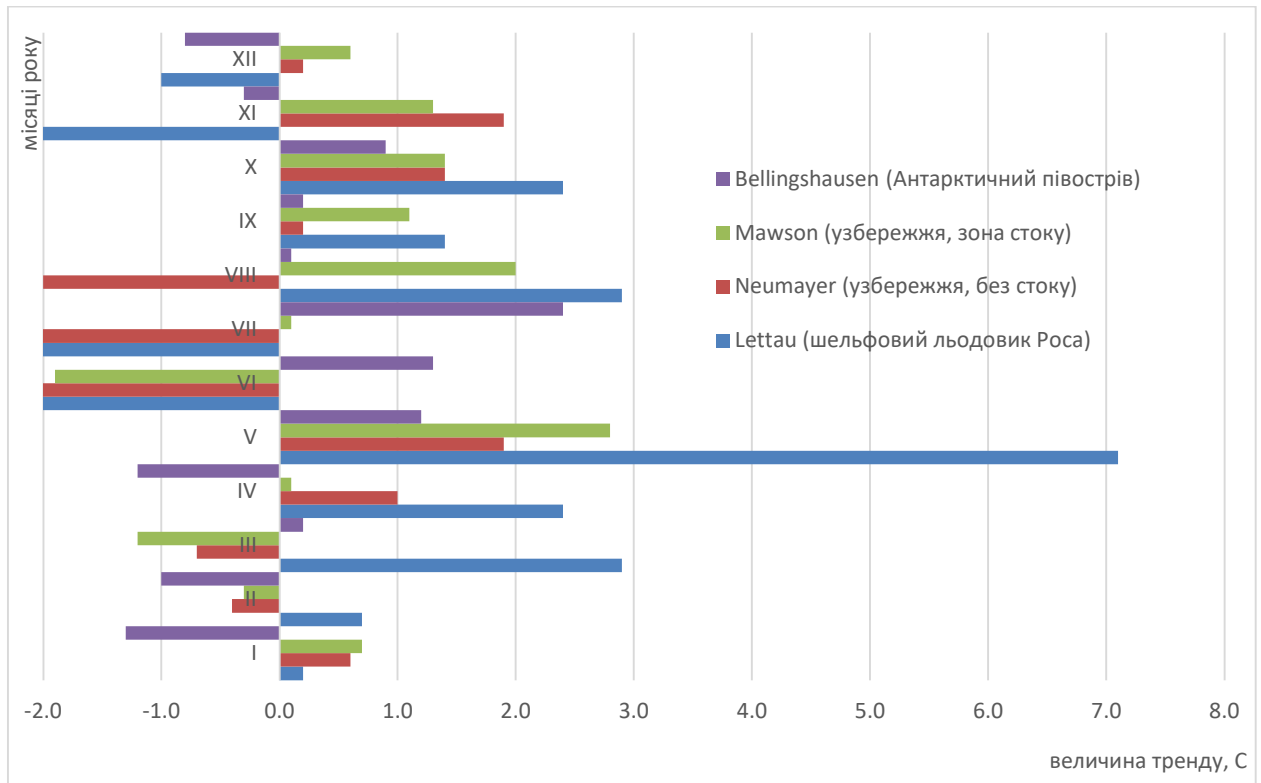


Рис. 5.6 – Гістограма трендової складової приземної температури повітря досліджуваних станцій Антарктиди

Проведене дослідження приземної температури повітря антарктичного материка дозволяє стверджувати про певні порушення стабільності термічного режиму Антарктиди, а саме деякого похолодання в зимовий період на станціях прибережної зони та потепління в решту пори року. Для станцій, що знаходяться в районі полярного кола – навпаки. Холодають перехідні сезони та літо, а зимові місяці стають більш теплими.

5.3 Динаміка середньомісячних аномалій приземної температури повітря

З метою встановлення характерних особливостей динаміки приземної температури повітря Антарктиди за останні 30 років (1991-2020 рр.) було прийняте рішення розрахувати та проаналізувати аномалії приземної температури повітря за десятирічні періоди для двох станцій Антарктиди, які знаходяться в різних кліматичних умовах (Антарктичний півострів та шельфовий льодовик Росса).

Таким чином, для обох станцій Антарктиди, для кожного місяця року, 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]. В нашому випадку, аналізу підлягають відхилення середнього значення приземної температури повітря 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 5.7 та 5.8 (від'ємні значення виділені жирним шрифтом та підкреслені, а додатні – виділені жирним шрифтом).

В таблиці 5.7 наведені результати розрахунку аномалій приземної температури повітря для станції Lettau, яка знаходиться на шельфовому льодовику Росса. Як бачимо, на зазначеній станції і в перше і в друге десятиріччя переважають від'ємні аномалії приземної температури повітря. Вони спостерігаються здебільшого в перехідні сезони року і досягають максимальних значень в травні -2.4 C (перше десятиріччя) та серпні -2.6 C (друге десятиріччя). Додатні аномалії переважають влітку та взимку, максимум -1.2 C припадає в перше десятиріччя на червень. В другому десятиріччі додатні аномалії невеликі та не перевищують 0.2 C . Річні аномалії за ці десятиріччя від'ємні: -0.2 – перше та -0.4 C .

Таблиця 5.7

Динаміка аномалій середньомісячних значень приземної температури повітря за даними станції Lettau (шельфовий льодовик Росса)

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	-7.7	-7.7	0.0	-7.5	0.1	-7.8	<u>-0.1</u>
Лютий	-16.4	-16.6	<u>-0.2</u>	-16.8	<u>-0.4</u>	-15.7	0.6
Березень	-27.8	-28.7	<u>-0.9</u>	-28.3	<u>-0.5</u>	-26.3	1.4
Квітень	-33.4	-34.5	<u>-1.2</u>	-33.1	0.2	-32.4	0.9
Травень	-34.1	-36.5	<u>-2.4</u>	-34.7	<u>-0.6</u>	-31.0	3.0
Червень	-35.0	-33.8	1.2	-34.9	0.1	-36.3	<u>-1.3</u>
Липень	-37.4	-36.5	0.9	-37.2	0.2	-38.5	<u>-1.1</u>
Серпень	-38.6	-38.6	0.0	-41.2	<u>-2.6</u>	-36.0	2.6
Вересень	-35.4	-36.1	<u>-0.7</u>	-35.7	<u>-0.3</u>	-34.5	0.9
Жовтень	-26.2	-27.0	<u>-0.8</u>	-26.9	<u>-0.8</u>	-24.6	1.6
Листопад	-15.4	-14.5	0.9	-15.4	0.0	-16.3	<u>-1.0</u>
Грудень	-7.0	-6.8	0.3	-7.0	0.0	-7.3	<u>-0.3</u>
середнє значення	-26.2	-26.4	-0.2	-26.6	-0.4	-25.6	0.6

Третє десятиріччя (2011-2020 рр.) характеризується повною перебудовою приземного поля температури досліджуваного регіону. Протягом більшості місяців року в дослідженому регіоні спостерігається зростання приземної температури повітря, максимальний приріст припадає на серпень (2.6 C). Зменшення температури в це десятиріччя фіксується в середині зими – червень (-1.3 C) та липень (-1.1 C), а також наприкінці весни-влітку – листопад (-1.0 C), грудень (-0.3 C) та січень (0.1 C).

Таблиця 5.8

Динаміка аномалій середньомісячних значень приземної температури повітря за даними станції Bellingshausen (Антарктичний півострів)

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	1.6	2.0	0.4	1.6	0.0	1.1	<u>-0.5</u>
Лютий	1.6	1.8	0.2	1.6	0.1	1.3	<u>-0.3</u>
Березень	0.5	0.5	0.0	0.4	<u>-0.1</u>	0.6	0.1
Квітень	-1.4	-0.9	0.5	-1.7	<u>-0.3</u>	-1.7	<u>-0.3</u>
Травень	-3.0	-3.4	<u>-0.4</u>	-2.8	0.2	-2.7	0.2
Червень	-5.1	-5.1	0.1	-5.6	<u>-0.4</u>	-4.8	0.3
Липень	-6.0	-6.4	<u>-0.5</u>	-6.2	<u>-0.2</u>	-5.3	0.7
Серпень	-5.7	-6.1	<u>-0.4</u>	-5.0	0.7	-6.1	<u>-0.4</u>
Вересень	-4.3	-4.9	<u>-0.6</u>	-3.3	1.0	-4.7	<u>-0.4</u>
Жовтень	-2.6	-2.9	<u>-0.3</u>	-2.5	0.2	-2.5	0.1
Листопад	-1.1	-1.0	0.1	-1.0	0.0	-1.2	<u>-0.2</u>
Грудень	0.3	0.6	0.3	0.3	0.0	0.0	<u>-0.3</u>
середнє значення	-2.1	-2.2	0.0	-2.0	0.1	-2.2	-0.1

Аналіз таблиці 5.8 дозволяє стверджувати, що на станції Bellingshausen, яка є най північнішою з досліджуваних станцій і розташовується на

Антарктичному півострову, за останні 30 років спостерігається повна перебудова термічного поля. В перше десятиріччя (1991-2000 рр.) від'ємні аномалії приземної температури повітря фіксуються переважно в зимовий період (з травня по жовтень), досягаючи максимальних значень у вересні (-0.6 С). Решту місяців року спостерігаються невеликі додатні аномалії, які за величиною не перевищують 0.5 С. В березні аномалія температури дорівнює нулю. В цілому за рік аномалія температури складає 0.0 С.

В друге десятиріччя (2001-2010рр.) картина дещо змінюється: від'ємні аномалії спостерігаються наприкінці осені – на початку зими (з березня по липень). Слід зазначити, що ці аномалії значно менші, ніж в перше десятиріччя. Решту частини року фіксуються додатні аномалії, які досягають максимуму у вересні (1.0 С). Наприкінці весни (листопад) та влітку (грудень-січень) аномалії приземної температури на станції Bellingshausen дорівнюють нулю. В цілому за рік аномалія приземної температури повітря додатна і складає 0.1 С.

Третє десятиріччя (2011-2020 рр.) характеризується найменшими темпами зростання приземної температури повітря за весь досліджуваний період. Додатні аномалії фіксуються в різні пори року, максимум припадає на липень (0.7 С). Від'ємні аномалії переважають у перехідні сезони та влітку. В цілому за рік аномалія температури додатна і складає -0.1 С.

5.4 Динаміка середньорічних аномалій приземної температури повітря Антарктиди

Для оцінки динаміки середньорічних аномалій приземної температури повітря станцій Антарктиди за останні тридцять років (1991-2020рр.) побудована гістограма сум середньорічних значень аномалій приземної

температури по регіону дослідження за десятирічні періоди для усіх п'яти досліджуваних станцій (рис. 5.7).

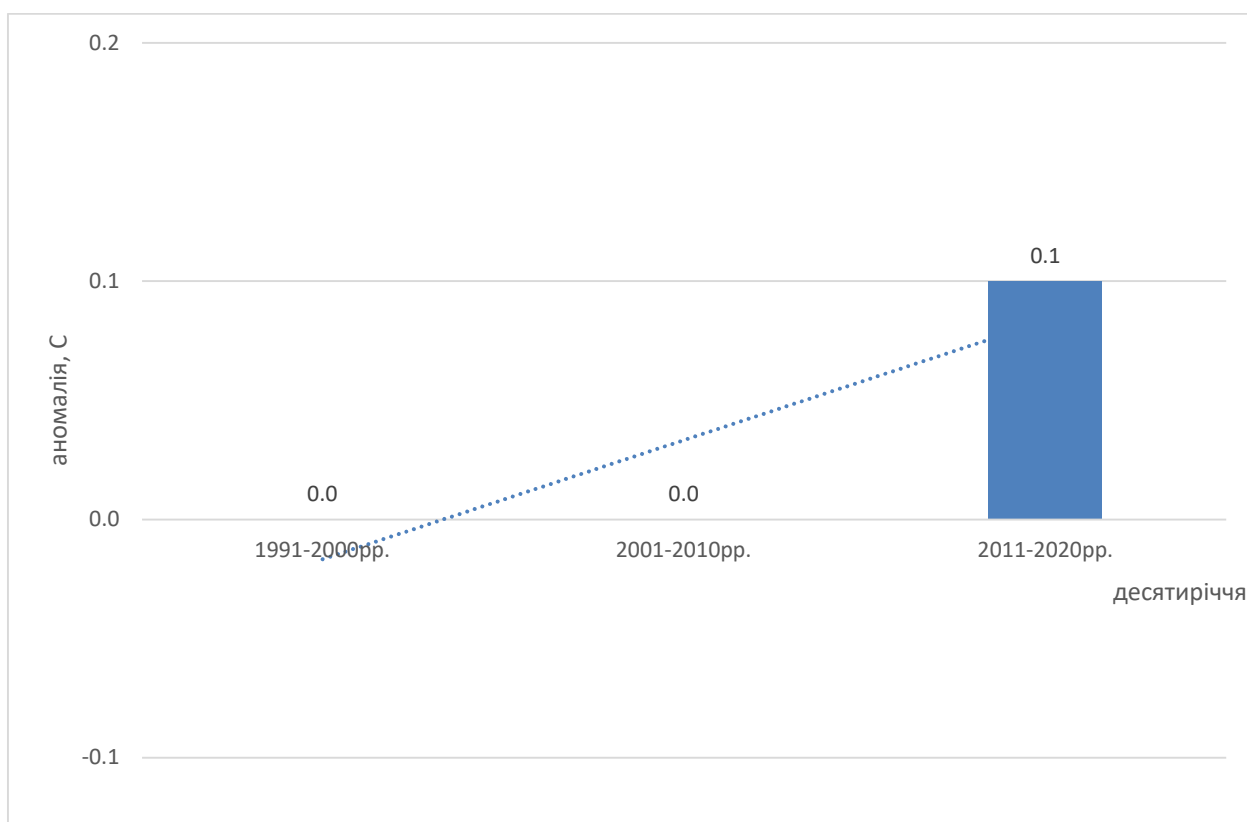


Рис. 5.7 – Середньорічні аномалії приземної температури повітря Антарктиди за десятирічні періоди з 1991 по 2022рр.

Як бачимо, за тридцятирічний період 1991-2020 рр. в Антарктиді спостерігається стійка хоч і не значна тенденція до збільшення приземної температури повітря з 0.0 С в перше та друге десятиріччя до 0,1 С в третє десятиріччя.

Однак слід зазначити, що тенденції останнього десятиріччя протилежні в різних частинах Антарктиди. Так на станціях, які знаходяться в прибережній кліматичній зоні, далеко від шельфових льодовиків та стокового вітру, в останнє десятиріччя фіксується зменшення середньомісячних значень приземної температури повітря. На станціях, що розташовані на шельфових льодовиках або в зоні стоку – навпаки, збільшення.

ВИСНОВКИ

Аналіз динаміки термічного режиму полярних регіонів у світлі сучасних кліматичних змін дозволив зробити наступні висновки:

- в Гренландії максимальні температури спостерігаються в літній період, досягаючи максимальних значень в червні-місяці. Літні температури для усіх станцій Гренландії коливаються в невеликих межах від 2.9 С (ст. Aputiteq Ads) до 6.4 С (ст. Raamiut), причому остання станція не є найпівнічнішою точкою дослідженого регіону, але має найменшу середню літню температуру, що пов'язане з пом'якшуючим впливом Атлантичного океану в літній період. Температури повітря в досліджуваному регіоні зменшуються в північному напрямку, що обумовлено географією самого острова. Найнижчі температури повітря фіксуються в зимовий період. В цей же період фіксується максимальна відмінність в осереднених значеннях температури на станціях. Для більшості досліджуваних станцій мінімуми температури в річному ході припадають на лютий-березень, що пов'язане з максимальним розповсюдженням льоду в цей період, оскільки усі станції знаходяться в прибережному поясі;

- мінімальні значення середньоквадратичних відхилів в Гренландії фіксуються в літній період, максимальні значення – в зимовий, що пов'язане з переважанням адвективного характеру погоди в зимовий період року. Зі зростанням широти значення середньоквадратичного відхилення для одних і тих же місяців року збільшуються;

- в рядах приземної температури повітря досліджуваних станцій Гренландії протягом року зустрічається як правостороння так і лівостороння асиметрії. Причому зростання модуля величини асиметрії відбувається в північному напрямку – в напрямку зростання широти. Зазначені коливання асиметрії можуть свідчити про суттєву відмінність

процесу змін клімату в цьому районі від нормального та його нестационарність;

- протягом року на станціях Гренландії зустрічається як плосковершинний розподіл так і витягнутий;

- для приземної температури повітря досліджуваних станцій Гренландії найбільш характерні коливання з 2 і 3 року. Однак в певні місяці року на деяких станціях фіксуються чотирьох, п'яти та шестирічні коливання;

- для абсолютної більшості станцій Гренландії для усіх місяців року характерне зростання приземної температури за досліджуваний період. Найбільші додатні тренди на усіх станціях спостерігається взимку у західній частині острова на ст. Nuussuaataa у лютому та березні. Мінімальні додатні тренди фіксуються в зимовий період року в південній частині острова на ст. Raamiut у січні, лютому та березні. Найменше зростання температури фіксується на усіх станціях Гренландії в літній період року. Від'ємні значення тренду фіксуються тільки в квітні на двох станціях – Ittoqqortoormiit (східна частина острова) та Nord (північна частина острова).

- проведені дослідження приземної температури повітря острова Гренландія дозволяють стверджувати про певні порушення стабільності термічного режиму острова, а саме потепління протягом усього року, яке досягає максимальних значень в зимовий період року;

- аналіз аномалій за тридцятирічний період 1991-2020 рр. дозволив встановити, що в Гренландії спостерігається стійка тенденція до збільшення приземної температури повітря з -1.1 С в перше десятиріччя, до 0,5 С в друге та 0,6 С в третє десятиріччя. Однак слід зазначити, що тенденції останнього десятиріччя протилежні в різних частинах острова: південна частина Гренландії (ст. Raamiut) характеризується зменшенням темпу зростання температури в останнє десятиріччя, а північна (ст. Nord) – навпаки збільшенням.

- в Антарктиді мінімальні значення приземної температури повітря спостерігаються в період антарктичної зими (червень-серпень), а максимальні – влітку (грудень-січень). Літні температури для усіх станцій Антарктиди коливаються в невеликих межах від -7.0 C (ст. Lettau) до 1.6 C (ст. Bellingshausen), причому остання станція є найпівнічнішою точкою дослідженого регіону, розташовується на Антарктичному півострові, тому має найбільшу середню температуру протягом року; Температури повітря в досліджуваному регіоні зменшуються в південному напрямку, що обумовлено географією самого континенту: чим ближче до полюсу – тим холодніше. Що стосується річної амплітуди повітря, то вона найменша в районі Антарктичного півострова (ст. Bellingshausen – 7.6 C) і зростає в південному напрямку, досягаючи максимальних значень в районі шельфового льодовика Росса (ст. Lettau – 31.6 C).

- мінімальні значення середньоквадратичних відхилів фіксуються в період антарктичного літа (грудень-січень), а максимальні – в зимовий період (липень-серпень), що пов'язане з відсутністю сонячної радіації та переважанням адвективного характеру погоди в зимовий період року;

- в рядах приземної температури повітря досліджуваних станцій Антарктиди протягом року зустрічається як правостороння так і лівостороння асиметрії. Причому зростання модуля величини асиметрії відбувається в північному напрямку – в напрямку зменшення широти. Зазначені коливання асиметрії можуть свідчити про суттєву відмінність процесу змін клімату в цьому районі від нормального та його нестационарність;

- протягом більшості місяців року на станціях Антарктиди зустрічається плосковершинний ($E < 0$) розподіл. Це може свідчити про те, що температура в ці місяці на зазначених станціях змінюється у вузькому діапазоні;

- для приземної температури повітря досліджуваних станцій Антарктиди найбільш характерні коливання з періодом 2 і 3 року. Однак, в певні місяці року на деяких станціях фіксуються чотирьох, п'яти та шестирічні коливання.

- для різних кліматичних зон Антарктиди фіксуються різні тенденції в змінах приземної температури за останні 30 років. В прибережній кліматичній зоні, в якій знаходиться ст. Bellingshausen, що розташована на антарктичному півострові, фіксується тенденція до зростання приземної температури повітря в зимові місяці року (з травня по жовтень). Решту пору року (з листопада по лютий) на станції фіксується від'ємний тренд;

- для станцій, які розташовані на узбережжі антарктичного материка (Neumayer та Mawson) характерне зростання приземної температури повітря протягом більшості місяців року. Найбільші додатні тренди фіксуються в зимовий період року (травень-місяць). Від'ємні тренди фіксуються восени (лютий-березень) та в червні;

- для району станції Lettau, шельфовий льодовик Росса, за досліджуваний період зафіксоване зростання приземної температури повітря протягом більшості місяців року. Найбільший додатний тренд фіксується в травні. Від'ємні тренди фіксуються всередині зими, наприкінці весни та на початку літа;

- проведене дослідження приземної температури повітря антарктичного материка дозволяє стверджувати про певні порушення стабільності термічного режиму Антарктиди, а саме деякого похолодання в зимовий період на станціях прибережної зони та потепління в решту пори року. Для станцій, що знаходяться в районі полярного кола – навпаки. Холодають перехідні сезони та літо, а зимові місяці стають більш теплими.

- аналіз аномалій приземної температури повітря Антарктичних станцій за тридцятирічний період 1991-2020 рр. дозволив виявити стійку

хоч і не значну тенденція до збільшення приземної температури повітря з 0.0 С в перше та друге десятиріччя (1991-2010 рр.) до 0,1 С в третє десятиріччя (2011-2020 рр.). Однак тенденції останнього десятиріччя протилежні в різних частинах Антарктиди: на станціях, які знаходяться в прибережній кліматичній зоні, далеко від шельфових льодовиків та стокового вітру, в останнє десятиріччя фіксується зменшення середньомісячних значень приземної температури повітря. На станціях, що розташовані на шельфових льодовиках або в зоні стоку – навпаки, збільшення.

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.