

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий гідрометеорологічний інститут
Кафедра метеорології та кліматології

Комплексна кваліфікаційна робота бакалавра

Багаторічні зміни метеорологічного режиму
різних кліматичних зон Антарктиди

СКЛАД:

1. Багаторічні зміни метеорологічного режиму прибережної кліматичної зони Антарктиди

Виконала студентка групи МКА-18
Маркіна Альона Олександрівна

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

2. Багаторічні зміни метеорологічного режиму внутрішньоматерикової кліматичної зони Антарктиди

Виконала студентка групи МКА-18
Манжосова Марія Григорівна

Керівник канд. геогр. наук, доцент
Волошина Олена Вікторівна

Провідний науковий керівник: канд. геогр. наук, доцент Прокоф'єв Олег Милославович

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

Одеса 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий гідрометеорологічний інститут
Кафедра метеорології та кліматології

Кваліфікаційна робота бакалавра

на тему: Багаторічні зміни метеорологічного режиму прибережної
кліматичної зони Антарктики

Виконала студентка групи МКА-18
Спеціальності 103 «Науки про Землю»

Маркіна Альона Олександрівна
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

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

Консультант _____ - _____

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Комплексна кваліфікаційна робота бакалавра на тему «Багаторічні зміни метеорологічного режиму різних кліматичних зон Антарктиди» виконувалась на кафедрі метеорології та кліматології під керівництвом доцента кафедри, кандидата географічних наук Прокоф'єва Олега Милославовича та кандидата географічних наук, доцента Волошиної Олени Вікторівни студентками групи МКА-18 Маркіною Альоною Олександрівною – тема: «Багаторічні зміни метеорологічного режиму в прибережній кліматичній зоні Антарктиди» та Манжосовою Марією Григорівною – тема: «Багаторічні зміни метеорологічного режиму у внутрішньоматериковій кліматичній зоні Антарктиди».

Актуальність теми визначається необхідністю постійного моніторингу метеорологічного режиму Антарктиди та його динаміки в світлі сучасних кліматичних змін. Як відомо, кліматичні коливання істотно впливають на діяльність людини та економіку в різних регіонах. Навіть зовсім малі зміни середньої температури півкулі можуть відповідати великим регіональним коливанням. Зміни клімату в значній мірі впливають на всі сторони нашого життя. Зокрема, на стійкість сільськогосподарського розвитку та міського планування, безпеку водопостачання та ефективність заходів захисту від стихійних лих. Також впливають на різноманітність сільськогосподарських культур та їх урожайність; рентабельність проектів, пов'язаних з поновлюваними джерелами енергії; стійкість транспортної інфраструктури; охорону здоров'я і кампанії по боротьбі з захворюваннями, і це лише кілька видів їх впливу.

Антарктида – замерзлий континент нашої планети і він відіграє велику роль в регулюванні клімату усієї земної кулі. До недавнього часу всі вважали, що проблема глобального потепління не торкнеться самої холодної частини нашої планети. Однак нові технології супутникової фотографії радикально

змінити наше уявлення про величезні крижані шапки планети. Однак, полярні регіони в першу чергу страждають від потепління клімату, і в Антарктиді вже відбуваються кардинальні зміни.

Антарктида та її лід, океан та екосистеми відіграють вирішальну роль у регулюванні глобального клімату. Разом вони допомагають уповільнити глобальне потепління, викликають важливі океанські течії та сприяють виносу мільйонів тон вуглекислого газу з атмосфери. Кліматична криза руйнує ці крихкі системи. Тому слід проводити моніторинг кліматичних характеристик, а в нашому випадку зміну температури повітря.

Метою роботи є комплексний статистичний аналіз динаміки змін температурного режиму на станціях Беллінсгаузен та Амундсен-Скотт за минулі 50 років.

В якості матеріалу дослідження використовувались середньомісячні значення приземної температури повітря на станціях прибережної та внутрішньоконтинентальної частин Антарктиди (отримані з бази даних Британського Антарктичного центру) за період з 1971 по 2020 рр.

В бакалаврській кваліфікаційній роботі, яку виконувала Маркіна Альона Олександрівна – тема: «Багаторічні зміни метеорологічного режиму в прибережній кліматичній зоні Антарктиди» представлені результати дослідження динаміки приземної середньомісячної температури повітря на прибережній станції Беллінсгаузен починаючи з 1971 по 2020 роки. За три останніх десятиріччя, на станції Беллінсгаузен мінімальні значення середньомісячної температури повітря у холодний період поступово підвищуються кожне десятиріччя. У теплий період на станції Беллінсгаузен також спостерігається підвищення мінімумів середньомісячної температури повітря. Максимуми середньомісячних температур повітря у теплий період року у прибережній зоні не змінюються.

В цілому у прибережному районі підвищення середньомісячної приземної температури повітря відбувається за рахунок зростання

мінімальних температур повітря, а також за рахунок зростання середніх температур у холодний період.

Кваліфікаційна бакалаврська робота Манжосової Марії Григорівни на тему: «Багаторічні зміни метеорологічного режиму у внутрішньоматериковій кліматичній зоні Антарктиди» присвячена дослідженню динаміки змін приземної середньомісячної температури повітря на внутрішньоматериковій антарктичній станції Амундсен-Скотт починаючи з 1971 по 2020 роки. Аналізуючи проведену роботу щодо динаміки приземної температури повітря на антарктичній станції Амундсен-Скотт, можна сказати, що відбуваються помітні зміни у бік підвищення середньомісячної температури повітря.

Підвищення середньорічної приземної температури повітря з 1971 по 2007 рік відбувається в цілому за рахунок підвищення максимальних значень середньомісячних температур повітря. Після 2007 року підвищуються як максимальні та середні, так і мінімальні значення приземної середньомісячної температури повітря.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий гідрометеорологічний інститут

Кафедра метеорології та кліматології

Рівень вищої освіти бакалавр

Спеціальність 103 «Науки про Землю»
(шифр і назва)

Освітня програма Гідрометеорологія
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
метеорології та кліматології

Прокоф'єв О.М.

«02» березня 2022 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

студентці Маркіній Альоні Олександрівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Багаторічні зміни метеорологічного режиму прибережної кліматичної зони Антарктиди

керівник роботи Прокоф'єв Олег Милославович, канд.геогр.наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ОДЕКУ від «21» грудня 2021 року № 267 - С

2. Строк подання студентом роботи 09 червня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи Дослідження метеорологічного режиму прибережної кліматичної зони проводилося за даними, отриманими з сайту Британської Антарктичної служби. Вихідні дані представляють собою середньомісячні значення приземної температури повітря станції Беллінсгаузен, отримані за період з 1971 по 2020рр.

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

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

Гістограми середніх та екстремальних значень приземної температури повітря, гістограми мінімальних та максимальних значень відхилень приземної температури повітря від її середнього значення, графіки багаторічних змін середньої, мінімальної, максимальної приземної температури повітря.

6. Консультанти розділів роботи

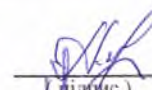
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	немає		

7. Дата видачі завдання 02 березня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	Отримання завдання та збір вихідних даних до роботи. Ознайомлення з літературними джерелами за темою кваліфікаційної роботи бакалавра.	02.03.2022 р. – 07.03.2022 р	95	відмінно
2.	Розрахунок та аналіз статистичних характеристик приземної температури повітря.	08.03.2022 р. – 20.03.2022 р	95	відмінно
	<i>Рубіжна атестація</i>	<i>16.05.2022 р.- 20.05.2022 р.</i>	95	відмінно
3.	Розрахунок трендової складової приземної температури повітря та аналіз особливостей багаторічних змін приземної температури повітря.	24.05.2022 р. – 28.05.2022 р.	95	відмінно
4.	Розрахунок відхилень приземної температури повітря, аналіз їх динаміки та просторового розподілу.	29.05.2022 р. – 01.06.2022 р.	95	відмінно
5.	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату.	01.06.2022 р. – 09.06.2022 р.	95	відмінно
6.	Перевірка роботи на плагіат, складення протоколу і висновку керівника. Підписання авторського договору.	09.06.2022 р.- 11.06.2022 р.	95	відмінно
7.	Підготовка презентаційного матеріалу	-	95	відмінно
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)	-	95	відмінно

Студентка


(підпис)

Маркіна А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Прокоф'єв О.М.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

	ВСТУП	8
1	ІСТОРІЯ ТА ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО АНТАРКТИДУ	9
	1.1 Формування материка та загальні відомості про Антарктиду	9
	1.2 Геологічна будова та рельєф корінного ложа	11
	1.2.1 Прибережний і внутрішньоконтинентальний гірські пояси	15
	1.2.2. Найглибша западина на земній суші	16
	1.2.3 Зниклі та активні озера Антарктиди	17
	1.2.4 Корисні копалини Антарктиди	19
2	ГЛЯЦІОМОРФОЛОГІЯ ТА КЛІМАТ АНТАРКТИДИ	21
	2.1 Гляціоморфологічні особливості Східної та Західної частин Антарктиди	21
	2.1.1 Характеристика шельфових льодовиків	22
	2.1.2 Поняття вивідні і острівні льодовики	24
	2.1.3 Антарктичні оазиси, їх характеристика і походження	25
	2.2 Загальна характеристика клімату Антарктиди	25
	2.2.1 Температурний режим Антарктиди	26
	2.2.2. Стокові вітри Антарктиди	28
3	ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХІДНИХ ДАНИХ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	30
	3.1 Характеристика розташування станція Беллінсгаузен	30
	3.2 Статистичні методи дослідження метеорологічних величин і визначення характеристик клімату	32
4	ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ ПРИБЕРЕЖНОЇ ЗОНИ АНТАРКТИДИ	39
	4.1 Динаміка приземної температури повітря антарктичної станції Беллінсгаузен	39
	4.2 Результати дослідження прихованих періодичностей в рядах температури повітря на антарктичній станції Беллінсгаузен	54
	ВИСНОВКИ	58
	ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ	60
	ДОДАТКИ	63

ВСТУП

Антарктида активний центр циркуляції атмосфери. Вивчення її льодів цінно не тільки тому, що вони є важливим ресурсом прісної води, а й індикатором глобального потепління клімату.

Клімат полярних областей завжди був під пильною увагою дослідників у зв'язку з важливістю останніх як “холодильників” у формуванні глобальної кліматичної системи.

Зміна клімату є однією з найбільш складних проблем нашого століття. Незважаючи на те, що існує велика кількість ефективних фізико-математичних моделей клімату для оцінки його майбутніх змін на основі кліматичних сценаріїв, а зокрема температурного режиму залишається відкритим. Тому дослідження проявів змін температурного режиму на регіональному рівні є актуальним завданням.

Метою даної роботи є комплексний статистичний аналіз динаміки змін приземної температури повітря станції Беллінсгаузен за минулі 50 років.

Найбільшу увагу у даній роботі було приділено відхиленням середньомісячної температури повітря на станції Беллінсгаузен за минулі 30 років.

Відповідно до поставленої мети були вирішені такі завдання:

- розраховані та проаналізовані статистичні характеристики середньомісячної температури повітря на станції Беллінсгаузен за період 1971-2020 р. з періодами різної тривалості;
- виявлено приховані періодичності та розраховано основні тенденції у зміні температурного режиму на станції Беллінсгаузен за період 1971-2020 рр.
- проведено порівняльний аналіз отриманих результатів з характеристиками термічного режиму станції, що знаходиться в іншій кліматичній зоні.

1 ІСТОРІЯ ТА ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО АНТАРКТИДУ

1.1 Формування материка та загальні відомості про Антарктиду

Історія Антарктики починається близько 160 млн. років тому, коли суперконтинент Гондвана розколовся та різні його частини дрейфували від Антарктики до їхнього сучасного місця розташування. Наслідком цих геотектонічних процесів з'явилася інша велика подія, що вплинула на вигляд континенту – утворення близько 22 млн. років тому замкнутого кільця Циркумполярної антарктичної течії. Вона стала бар'єром для проникнення теплих вод і нагрітих повітряних мас з районів низьких широт. Це стало вирішальним фактором для формування суворого клімату Південного континенту [8].

Антарктида дуже відрізняється від інших п'яти континентів нашої планети. Вона була відкрита в січні 1820 р. російськими мореплавцями Ф. Ф. Беллінсгаузенем і М. П. Лазарєвим, які командували вітрильними кораблями "Мирний" і "Схід". У 1911 р. Амундсен і в 1912 р Р. Скотт досягли Південного полюса [9].

Антарктида – єдиний навколополюсний материк. Це область найбільшого зледеніння Землі: 99% території Антарктики вкрито потужним льодовиковим покривом (об'єм льоду складає 26 млн. км³). Середня потужність покриву 1830 м, максимальна 4776 м. Берегова лінія майже на всій території Антарктиди являє собою льодовикові обриви. В Антарктичному льодовиковому покриві зосереджено 87% об'єму льоду Землі. Його площа, рівна 13 980 млн. км², становить 90% всієї площі сучасного зледеніння. Якби весь лід розтанув, то рівень океану піднявся б на 62 м.

Антарктида є найвищим материком – середня висота материка, покритого льодовиковим покривом (2000 м над р. м.)(рис. 1.1), майже втричі більше середньої висоти (870 м над р. м.) всіх материків. Об'єм Антарктиди

(частини материка, що знаходиться вище рівня моря) також відрізняється величиною – 27 987 млн. км³. Поверхня корінних порід Антарктиди має середню висоту +110 м.



Рисунок 1.1 – Карта Антарктиди

Влітку в Антарктику приходить полярний день, а взимку - полярна ніч, тривалість яких на Південному полюсі доходить до півроку – тільки один раз на рік можна спостерігати тут Схід і захід сонця. Косі сонячні промені не можуть зігріти цей материк, а тому Антарктика знаходиться у владі вічного холоду.

Антарктиду називають світовим полюсом холоду і вітрів. Абсолютний мінімум температур повітря, зареєстрований на станції "Восток" становить -

89,2 °C (липень 1983 р.) Також на території материка знаходиться полюс холоду всієї планети, район відносної недоступності (84° пд. ш., 64° сх. д.). Середня річна температура повітря в центральних районах дуже низька: 55-57 °C нижче нуля. Взимку середня температура повітря становить - 60 °C і нижче, коротким антарктичним влітку, де температури сягають -35 ...- 50 °C і лише на узбережжі (зокрема, на Антарктичному півострові) температура може підніматися до +2 °C.

Не зважаючи на те, що Антарктида є найбільш бідним материком за кількістю видів рослин і тварин, її флора і фауна настільки своєрідні, що їх відносять до особливої антарктичної ботаніко-географічної і зоогеографічної області. Величезна область, що включає континент і прилеглі до нього моря (Уедделла, Росса, Амундсена, Беллінсгаузена і ін.), а також острова аж до північного положення антарктичної конвергенції морських вод (50-60° ю. ш.) називається Антарктикою [9].

1.2 Геологічна будова та рельєф корінного ложа

Сучасні дослідження Антарктиди сьогодні вчені мають у своєму розпорядженні вже набагато більш значними відомостями про Антарктиду, ніж століття тому. Завдяки численним дослідженням, в XXI столітті людям відома інформація про кліматичні особливості материка, його геології, особливості моря, мешканців континенту [16].

Східна Антарктида і велика частина Західної Антарктиди знаходиться на антарктичній (гондванській) платформі. Гори Антарктичного півострова - складчаста область (альпійська, андійська). Східна Антарктида - триарусна платформа, що почала утворюватися ще в доріфейський (архейський) час. Нижній ярус платформи - кристалічний доріфейський гнейсовий комплекс потужністю до 20 км. На ньому залягає рифейско-нижньопалеозойський ярус

платформи, складений слабо дислокованими осадово-вулканогенними відкладеннями. Верхній комплекс представляє собою середньопалеозойсько-мезозойські теригенні утворення.

У Західній Антарктиді і прилеглої до неї частини Східної Антарктиди (область Трансантарктичного горсту) розташовується давньокаледонська платформна область, де на доріфейському ярусі фундаменту залягає сильно дислокований, але слабо метаморфізований рифейсько-нижньопалеозойський верхній ярус фундаменту, перекритий чохлом середньопалеозойсько-мезозойських недислоцьованих порід серії Бикон (потужністю близько 2 км), що складається з осадових відкладень, включаючи вугленосні, пронизаних пластовими інтрузіями долеритів. Платформа, остаточно сформувалася в середньому палеозої, згодом піддавалася тектонічних розломів. В результаті велика частина її виявилася піднятою. У платформної області тектонічні рухи викликали опускання значних районів. Між котловинами, що опустилися збереглися високі гірські масиви.

Гори і височини Антарктичного півострова являють собою смугу герцинсько-кайнозойського (Андійського) гороутворення. Переважання в геологічну будову всіх ярусів осадових континентальних сильно метаморфізованих відкладень свідчить про материковий тип розвитку південного приполярного простору - материка Антарктида.

Тектонофізичні та палеомагнітні дані останніх років показують, що Західна Антарктика сформована п'ятьма фрагментами, що зміщувалися один відносно одного в період розпаду Гондвани: AP – Антарктичний півострів; EWM – гори Елсуерта-Уйтмора; MBL – Земля Мері Берд; TI – острів Терстон; HN – Хагг нунатак. Принаймні, три блоки Західної Антарктики (AP, EWM, TI) мали кожний свою незалежну геологічну історію. Але через недолік палеомагнітних, геологічних і геофізичних даних теорія розташування та руху блоків західно-антарктичного сектора суперконтиненту Гондвана залишається недоведеною (Бахмутов, 2002).

Підлідна поверхня Західної Антарктиди площею 3564 млн. км² має більші амплітуди висот, ніж підлідна поверхня Східної частини Антарктиди (7700 м). Так як гори і западини зосереджені на порівняно малій площі, корінний рельєф Західної Антарктиди носить особливо пересічений характер. Однак середня висота підлідного рельєфу всієї Західної Антарктиди щодо рівня моря - величина з негативним знаком (-390 м). Такий характер рельєфу корінного ложа Антарктиди визначив істотні відмінності двох частин крижаної Антарктиди: Східна набагато масивніше і вище з середньою товщиною льоду 2120 м, а Західна нижче і менш масивна з середньою товщиною льоду 1480 м, оточена найбільшими шельфовими льодовиками.

Уявімо, що льодовиковий покрив Антарктиди розтанув. В такому випадку океан затопить тільки частину поверхні корінного ложа Антарктиди, що знаходиться нижче його рівня. Площа поверхні материка, що лежить вище рівня океану, буде дорівнює 7410 млн. км², а середня висота його +680 м.

Весь підлідний материк в його географічних межах (площа 13,980 млн. км²) має середню висоту щодо рівня моря +110 м. Роботами геофізиків доведено, що під дією льодовикової навантаження поверхня підлідного ложа втиснута в земну кору в середньому на 400-500 м. Якщо зняти крижане навантаження, то корінне ложе, включаючи і ту частину, яка в даний час лежить нижче рівня моря, має поступово піднятися. Тоді площа підлідного материка досягла б 10 млн. км² (Площі Європи), а середня висота 700-800 м, тобто зайняла б по висоті друге місце після Азії.

Протягом більшої частини геологічної історії Антарктида перебувала в теплому помірному кліматі, була покрита деревною рослинністю. Заледеніння в Антарктиді почалося на початку карбону, тобто близько 360 млн років тому, в районі моря Уедделла, потім поступово поширювалося на весь материк, досягнувши максимуму в пермі -250-260 млн років тому. Заледеніння закінчилося в кінці пермі -230-240 млн років тому. Загальна тривалість заледеніння становила понад 100 млн років. Таким чином, нинішньому - кайнозойському зледенінню Антарктиди передувало пермь-карбонове. Між

заледеніннями був тривалий міжльодовиковий період з теплим кліматом. В цей час в Антарктиді росли густі ліси і жили різні види рептилій.

У новітній історії Антарктиди найголовнішою подією було розростання і збереження до наших днів величезного (26 млн. км³) Антарктичного льодовикового покриву. Він виник набагато раніше льодовикових покривів Євразії і зберігся до теперішнього часу. Розміри антарктичного льодовикового покриву змінювалися, але незначно [9].

Корінний рельєф Антарктиди морфологічно різноманітний. Це масивний материк з різному орієнтованими гірськими хребтами, рівнинами, що їх розділяють, западинами і долинами тощо.

Характерні ендегенні і екзогенні форми корінного рельєфу поверхні Антарктиди пов'язані з новітньою палеоген-неогеновою і четвертинною історією розвитку. Головна роль в становленні контрастного корінного рельєфу належить тектонічним, особливо новітнім рухам, переважно бриловим. Тектонічно зумовлені форми рельєфу перетворені екзогенними рельєфоутворюючими процесами - льодом, талими і морськими водами, процесами вивітрювання.

З ендегенних форм яскраво виражені вулканічні конуси (гора Еребус, 3794 м, гора Терор, 3262 м). До екзогенних форм відносяться вирівняні поверхні, структурні форми, льодовиково-перигляціальні, стародавні берегові лінії.

Область Східної Антарктиди, що лежить нижче рівня моря, площею 3668 млн. км² має середню глибину щодо рівня моря - 460 м. Найбільш низька точка корінного рельєфу Східної Антарктиди 2341 м (70° пд. ш. 135° сх. д.). Таким чином амплітуда висот підлідного рельєфу Східної Антарктиди досягає 6000 м, а середня висота всій її поверхні +310 м.

На противагу Східній Антарктиді 80% площі Західної Антарктиди, яка зазнала спрямоване занурення, являє собою підлідну депресію, в межах якої корінні породи залягають нижче р. м. (від -500 до -1500 м). Середня глибина поверхні цієї частини Західної Антарктиди складає -700 м. Найбільш низька

відмітка корінного ложа Західної Антарктиди сягає -2555 м (западина Бенглі). Решта 20% території займають позитивні форми рельєфу – три ізольованих гірських масиву: гори Антарктичного півострова, Серединний та Прибережний гірські масиви із середньою висотою над рівнем моря +560 м.

1.2.1 Прибережний і внутрішньоконтинентальний гірські пояси

Єдиним масивом суші є Східна Антарктида, 65% (6,748 млн. км²) її поверхні знаходиться вище рівня моря. Великі рівнини - Західна, Східна, Шмідта - займають близько половини площі Антарктиди. Навколо рівнин групуються два великих гірських пояса – прибережний і внутрішньоконтинентальний. Прибережний гірський пояс складається з добре виражених гірських хребтів, - це гори Голіцина, Принс-Чарльз, гірський масив Ендербі, гори Землі Королеви Мод та Трансантарктичні гори, гори Пенсакола, Шеклтона, Терон, що відмежовують Східну Антарктиду від Західної. Велика частина їх знаходиться під льодом, а деякі з них, як, наприклад, гори Голіцина і південна частина гірського масиву Землі Ендербі, перекриті льодом повністю. Переважаючі висоти гір 1200-2500 м. Найбільш високі гори - гори Землі Королеви Мод, Трансантарктичні і південна частина гір Принс-Чарльз, абсолютні позначки вершин яких досягають 3000-3500 і навіть більше 4000 м (Трансантарктичні гори), що не на всьому протязі покриті льодом .

Внутрішньоконтинентальний гірський пояс, розташований між 75 і 85° пд. ш., включає гори Гамбурцева з максимальними висотами до 3000 м і гори, які спрямовані на захід, що не перевищують 1000 м. Середня висота корінного рельєфу Східної Антарктиди, що лежить вище рівня океану складає 690 м.

Антарктичний півострів – це вигнуте гірське пасмо довжиною близько 1500 км. Південна межа півострову проходить по 74° півд.ш. на стику з Землею Елсуерт. У межах півострова та його акваторії можна виділити три

основних морфологічних елементи: 1 – центральна частина – антиклінарна зона Землі Грейама і Землі Палмера; 2 – західна синклінарна зона – шельф моря Беллінсгаузена; 3 – синклінарна зона, що включає східне узбережжя Землі Грейама і шельф моря Уедделла (Грикуров, 1973) [10].

Велика частина гірських порід Антарктичного півострова представлена виверженими породами мезозойського вулканогенного комплексу і мезо-ранньокайнозойського інтрезівного комплексу. У меншій мірі тут представлені вулканогенні породи кайнозойського комплексу, а також осадові і метаморфічні породи [1].

1.2.2 Найглибша западина на земній суші

На сьогоднішній день дослідники виявили найглибшу западину на земній суші – вона розташована під льодовиком Денман на глибині 3,5 км нижче рівня моря. Більш глибокі западини існують тільки на дні океанів.

Протягом шести років вчені зводили в рамках комп'ютерної моделі дані радарних вимірювань антарктичних льодовиків, отримані за десятирічні вимірювання. Однак навіть сьогодні залишаються величезні площі, про які існує дуже мало інформації.

Щоб обійти цей дефіцит даних, вчені створили математичні моделі поведінки криги.

Наприклад, якщо відома маса льоду, що сповзає в вузьку долину і швидкість його руху, стає можливим обчислити об'єм льоду, що дає уявлення про глибину і топографічної природі дна западини.

У разі льодовика Денман, який має ширину в 20 км і спускається до океану біля узбережжя Землі Королеви Мері, модель прогнозує глибину в 3500 метрів нижче рівня моря [11].

1.2.3 Зниклі та активні озера Антарктиди

Американські та австралійські вчені зафіксували швидке утворення великої крижаної кальдери там антарктичного шельфового льодовика, де раніше знаходилося озеро. Зникнення великої прісноводної водойми пов'язане з утворенням тріщин, через що вода скла в океан.

Висновки дослідників засновані на аналізі супутникових даних, отримані апаратом NASA ICESat-2 під час спостережень за шельфовим льодовиком Амері у східній частині Антарктиди у червні 2019 року (середина зими у південній півкулі). Відстеження висоти льоду дозволяє зрозуміти, як тала вода, що утворюється на поверхні льоду, сприяє появі тріщин та обвалу льодовиків. За прогнозами, цей процес значно посилиться в найближчі десятиліття, причому швидкі зміни поверхні льодовиків через танення не обмежуватимуться лише літніми місяцями.

Виявилось, що в зимові місяці 2019 року в льодовику раптово утворилася нерівна кратероподібна депресія (долина) площею 11 квадратних кілометрів та глибиною 80 метрів у тому місці, де раніше знаходилося вкрите льодом озеро площею 60 квадратних кілометрів.

Тала вода, що зберігалася в природному резервуарі, стекла через тріщини, що утворилися в результаті гідророзриву в океан під льодовиком, при цьому зменшення навантаження на плавучий лід спровокувало його підняття на 36 метрів з утворенням вигину. Моделювання показало, що зміни у висоті відповідають втраті 0,75 кубічного кілометра води.

Наступного літа вчені спостерігали короткочасне заповнення долини талою водою, що сформувало у ній вузький канал шириною 20 метрів та глибиною шість метрів. Гідророзриви трапляються на невеликих шельфових льодовиках Антарктичного півострова, де вода тане влітку, просочується в мікротріщини, і замерзає взимку, що призводить до розтріскування льоду. Проте таке рідко спостерігається у льодовиках, товщина яких сягає 1400

метрів, як у Америці. Поясненням є те, що в останні десятиліття танення води відбувається інтенсивніше, що призводить до появи великих і глибоких озер. Це збільшує ризик масштабних гідророзривів, що прискорюють втрату льоду та підвищення рівня моря.

У той же час вчені поки що не поспішають пов'язувати появу та зникнення озера зі зміною клімату навколо Антарктиди.

Шельфові льодовики утворені плавучим льодом або частково спираються на лід. Вважається, що танення таких льодовиків не може призвести до підвищення рівня моря, проте це не зовсім так: морська вода на 2,6 відсотка щільніша за прісну воду, з якої складаються льодовики. Таким чином, обсяг морської води, необхідний для витіснення плавучого шельфового льодовика, виявляється трохи меншим за обсяг прісної води, що міститься в плавучому льоду.

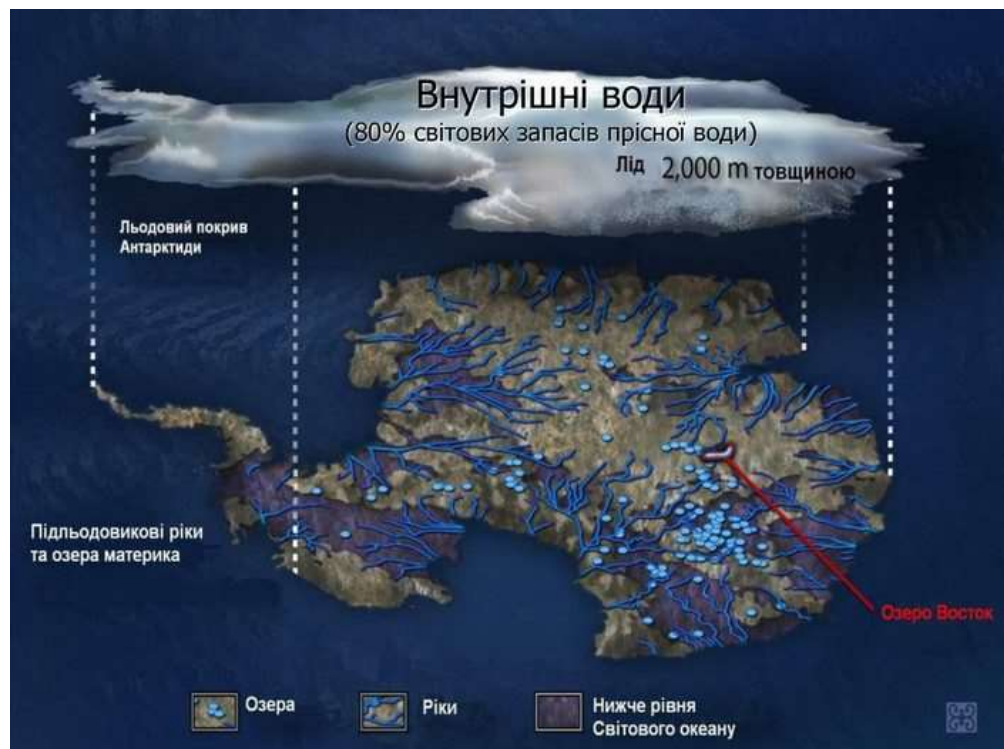


Рисунок 1.2 – Внутрішні води Антарктиди

Танення всіх шельфових льодовиків у світі призведе до підвищення рівня моря всього на чотири сантиметри, проте головна загроза від танення льодовиків шельфу полягає в тому, що це призводить до дестабілізації сухопутної частини антарктичного крижаного покриву [15].

В Антарктиді під крижаними потоками Мерсер та Уїлланс знайшли ще два резервуари, які змінюються. При цьому 140 озер є "активними". Ділянки льодовиків то піднімаються, то опускаються, коли водяні резервуари під ними наповнюються або "усихають".

У свою чергу, зонд ICESat-2 з орбіти здатний з точністю до сантиметрів реєструвати лазерним далекоміром такі зміни рельєфу.

Озера (рис.1.2) під льодовиками десятиліттями залишалися загадкою, але ситуація почала змінюватися у 2007 році, коли вчені використали для моделювання супутникові дані. Як з'ясувалося, під поверхнею Антарктиди є ціла мережа озер, з'єднаних одне з одним, наповненість яких непостійна. Це впливає на швидкість сповзання льоду в Південний океан, розведення його прісною водою, що змінює саму екосистему та згодом тисячі процесів на планеті.

1.2.4 Корисні копалини Антарктиди

Корисні копалини Антарктиди вивчені недостатньо, і головною причиною є складні погодні умови Південного океану та наявність льодового панциру над корінними породами Антарктиди. Лише 0,3 відсотки її території не покриті льодом і припадають вони, головним чином, на берегову зону, нунатаки і поодинокі гірські масиви, які виступають над льодовою поверхнею.

На різних етапах вивчення Антарктики спостерігався підвищений інтерес до мінеральних і біологічних ресурсів. Стосовно перших, вже одна приналежність Антарктиди в минулому до Гондіванського континенту в

загальних рисах визначала ймовірність корисних копалин, властивих сучасному африканському, південноамериканському та австралійському континентам, складовими частинами Гондвани. Проведені геологічні дослідження виходів корінних та геофізичне зондування підтвердило наявність багатьох спільних рис в геологічній будові зазначених континентів. Тому практично усі антарктичні експедиції включали в свої програми, перш за все, дослідження мінеральних ресурсів [18].

На даний момент з більш ніж двохсот точок по території Антарктиди, лише тільки дві визначені як родовища – це поклади залізної руди і кам'яного вугілля. Виробничий видобуток з обох родовищ в умовах Антарктиди вважається абсолютно нерентабельним, хоча і кам'яне вугілля і руда є затребуваними матеріалами для видобутку у всіх країнах. Серед інших мінералів і руд в Антарктиді присутні мідь, титан, нікель, цирконій, хром і кобальт. Дорогоцінні метали представлені золотом і сріблом на західному узбережжі Антарктичного півострова. На шельфі моря Росса виявлені газопрояви в бурових свердловинах, що свідчить про можливі поклади природного газу, проте їх обсяг не встановлено [19].

2 ГЛЯЦИОМОРФОЛОГІЯ ТА КЛІМАТ АНТАРКТИДИ

2.1 Гляціоморфологічні особливості Східної та Західної частини Антарктиди

Антарктиду поділяють на Східну і Західну. Кордон між ними проводять по східному схилу Трансантарктичного хребта (рис. 2.1), далі по північному схилу гір Пенсакола до гір Терон і по східному берегу моря Ведделла [9].

Найбільш висока частина льодовикового щита Східної Антарктиди знаходиться в районі плато Радянського (4000 м) на підлідних горах Гамбурцева, мають висоту 3355 м, і є головним льодорозділом Східної Антарктиди.

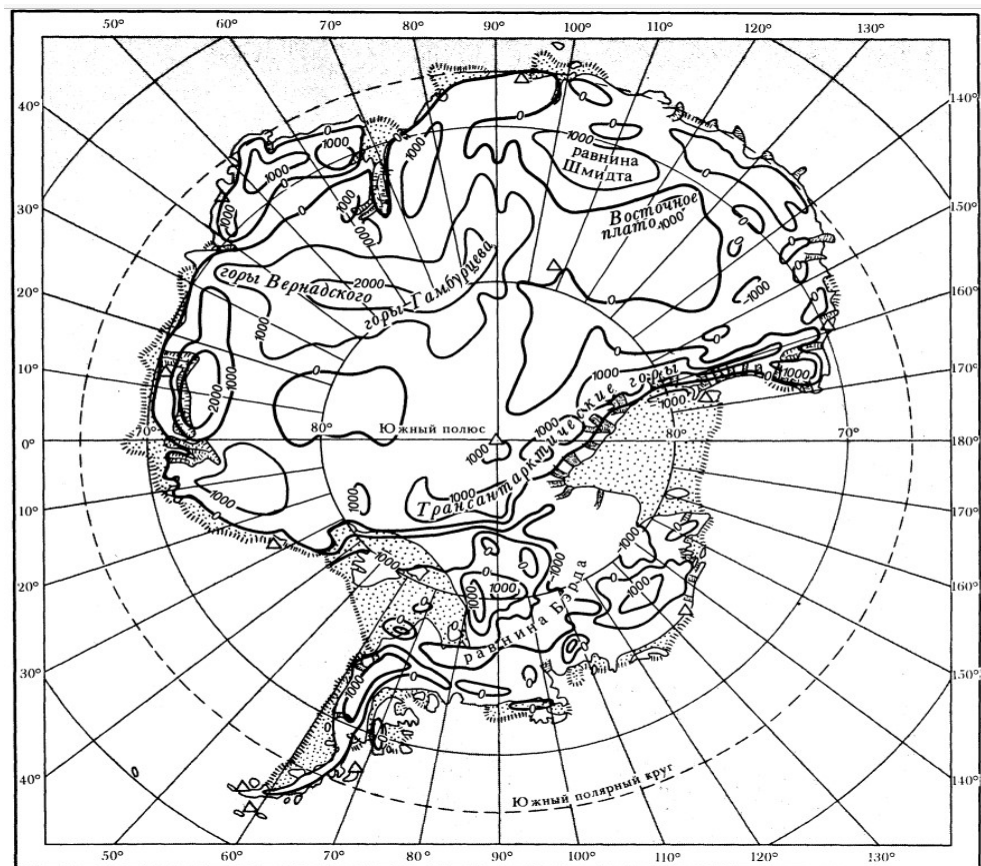


Рисунок 2.1 – Підлідний рельєф (корінне ложе) Антарктиди

Середня висота льодовикової поверхні Східної Антарктиди над рівнем моря 2380 м. У Західній Антарктиді є три льодовикових купола: перший - серединний висотою до 2000 м, розташований на підлідному піднятті, що досягає 1000 м; другий купол - на Землі Мері Берд висотою 2000 м, також на підлідній основі, що досягає 1500 м; третій купол знаходиться в південній частині Антарктичного півострова; його висота 2150 м [14].

Гори, які є виступом кам'яної основи льодовикового щита в Східній Антарктиді, мають велику висоту. Окремі вершини Трансантарктичного хребта, частково покриті льодом, піднімаються до 4528 м (гора Кіркпатрік). У крайових частинах льодовикового покриву розташовуються високі гори Землі Королеви Мод, які піднімаються до 3630 м, гори Принс-Чарльз тощо [9].

Рельєф льодовикової поверхні Західної Антарктиди більш різноманітний. Тут гори часто проривають льодовиковий покрив, утворюючи ланцюги на Антарктичному півострові, на Землі Мері Берд. Найвища точка Антарктиди досягає 5140 м (в масиві Вінсон хребет Сентінеел). Однак льодовикова поверхню в Західній Антарктиді на відміну від Східної не піднімається вище 2600 м. Середня висота льодовикової поверхні Західної Антарктиди 910 м [9].

2.1.1 Характеристика шельфових льодовиків

Найбільш великими формами рельєфу Антарктиди є обширні низовинні рівнини шельфових льодовиків (рис.2.2). Вони являють собою другий за значенням тип зледеніння, займають близько 12% площі материка. Їх загальна площа разом з приєднаними островами і крижаними куполами становить 1,653 млн. км². Назва "шельфові льодовики" було запропоновано О. Норденшельдом. Вона вказує на причинний зв'язок льодовиків і материкового мілководдя (шельфу).

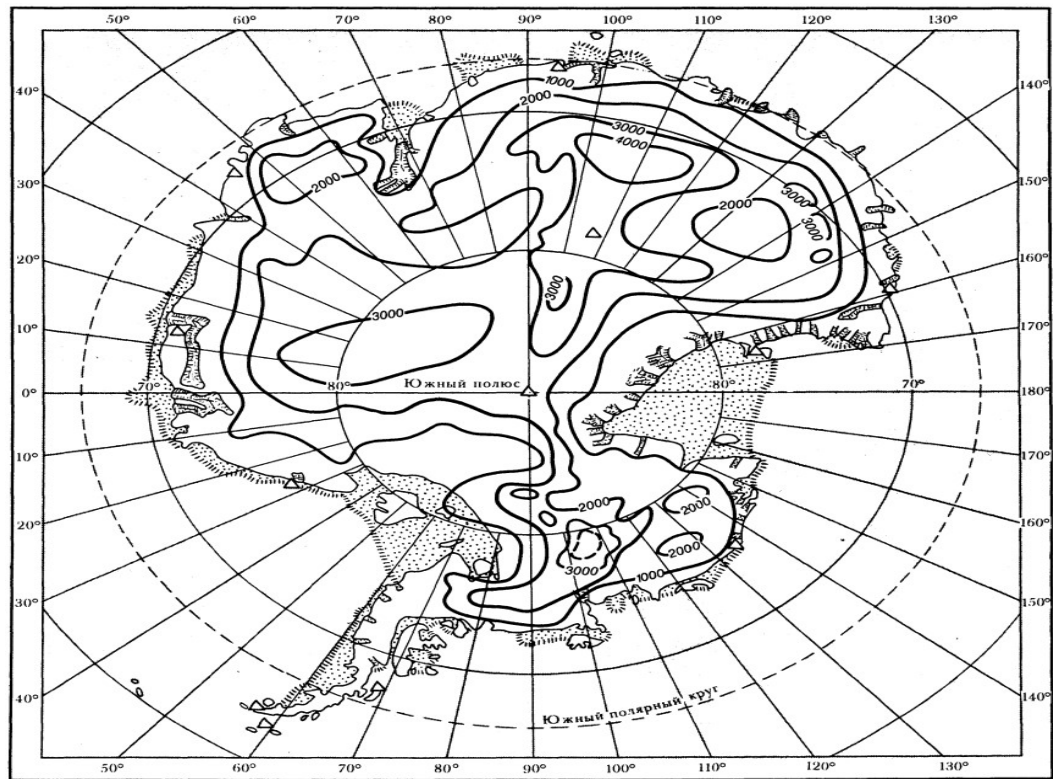


Рисунок 2.2 – Товщина льоду (м) льодовикового покриву Антарктиди
(по У. Бадді)

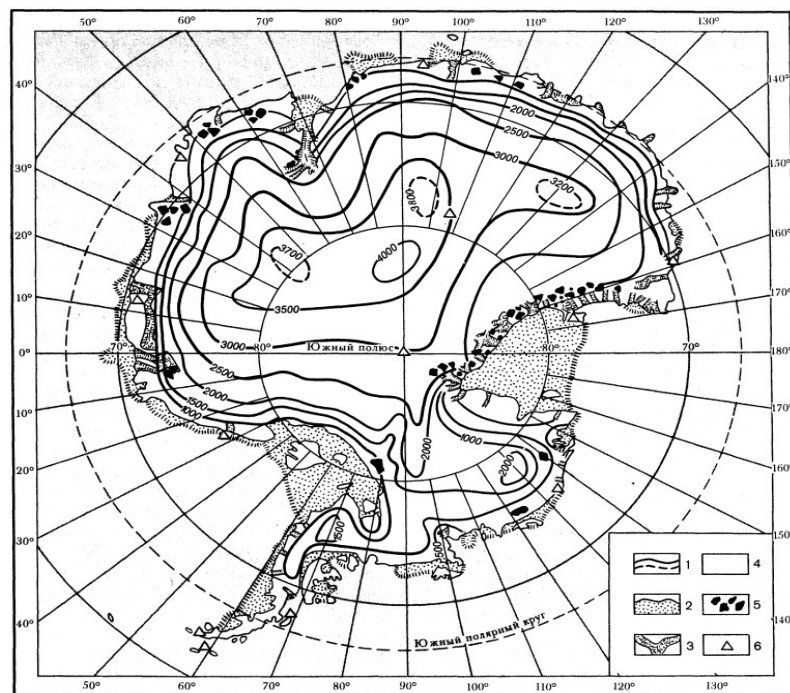
Льодовики мають форму плити, що знаходиться на плаву, і тільки місцями, спирається на підняття морського дна; 83% площі шельфових льодовиків знаходиться в Західній Антарктиді, в тому числі найбільші з них - Росса и Ронне-Фільхнера.

Рівнини шельфових льодовиків з висотами 20-100 м над р. м. ледь підняті там, де вони мають опори у вигляді острова або банки [14].

2.1.2 Поняття вивідні і острівні льодовики

У прибережних і гірських районах Антарктиди розташовані вивідні льодовики, що нагадують крижані річки або долинні льодовики інших материків (рис. 2.3). Антарктичні вивідні льодовики відрізняються крижаними бортами своїх долин і великими розмірами. Льодовик Ламберта, має в довжину 700 км і ширину 30-40 км, є найбільшим вивідним льодовиком світу.

В Антарктиді широко розвинені також острівні льодовикові покриви - купола. Вони не пов'язані з антарктичним льодовиковим покривом, зустрічаються на плоских вершинах гірських масивів материка і прилеглих островів.



1 – ізолінії висоти поверхні, 2 – ділянки шельфових льодовиків, 3 – вивідні льодовики, 4 – малорухомий материковий лід, 5 – вихід гірських хребтів, 6 – станції досліджування

Рисунок 2.3 – Висота поверхні Антарктичного льодовикового покриву та його загальні структури

Широко розвинені і різні типи гірських льодовиків (навіяні льодовики і ін.); зустрічаються і підземний лід. Таким чином, в Антарктиді представлені всі морфогенетичні типи льодовиків, що зустрічаються на Землі.

2.1.3 Антарктичні оазиси, їх характеристика і походження

У прибережній смузі є великі ділянки не покритої льодом суші. Це оазиси, що володіють повним комплексом елементів географічного середовища, в тому числі скупченнями прісної води (озера, струмки), не промерзають протягом року. Прибережні оазиси розташовані зазвичай на висоті близько 100 м над р. м., поблизу берега (оазиси Бангера, Вестфолль, Грірсона, Ширмахера і ін.). Зустрічаються оазиси і в горах, на більшій висоті, і на значній відстані від берега (гірські оазиси Землі Вікторії і Землі Олександра I). Існує кілька гіпотез походження оазисів: наслідок підвищеного припливу геотермічного тепла, отступання льоду в результаті потепління, орографічних умов підлідного рельєфу, що перешкоджають притоку льоду на їх територію. Площа не покритих льодом ділянок суші в Антарктиді не перевищує 0,3% її загальної площі [9].

2.2 Загальна характеристика клімату Антарктиди

Різні фізичні властивості льоду визначають велике розмаїття його типів, від покривних материкових льодовиків до припаю морського льоду. Льодовиковий покрив є складним стратифікованим чохлам сніжно-фірно-льодової маси. Це могутній кліматотворюючий фактор, що визначає

метеорологічні та циркуляційно-синоптичні умови південного близполярного регіону.

Антарктида – найсуворіша кліматична область Землі з низькими температурами повітря, сильними вітрами, сніговими бурями і туманами. Однією з причин суворості клімату Антарктиди є її висота (найвищий материк на планеті). Як відомо, біля поверхні Землі температура повітря з висотою падає на $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ на кожні 100 м підйому. У зв'язку з цим Антарктида повинна бути холодніше будь-якого материка на $6-7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Однак першопричиною заледеніння є не висота материка, а його географічне положення (навколополюсне): чим далі від екватора до полюса, тим менше сонячного тепла отримує одиниця поверхні Землі через більший нахил сонячних променів. Додатковою причиною охолодження материка є і те, що навколо полюса розташована суша, а не океан. Грунт поглинає 70% сонячного випромінювання, а океан понад 90%. Сніжно-крижана поверхня Антарктиди поглинає лише 10-20% сонячного випромінювання; 90% сонячних променів подібно до гігантського дзеркала вона відображає в світовий простір [9].

2.2.1 Температурний режим Антарктиди

Над льодовиковою поверхнею Антарктиди формується дуже холодна товща повітря, в якій температура з висотою не падає, а зростає, тобто існує інверсія температури (на відміну від всіх інших континентів Землі).

У субантарктичних районах середні температури найтеплішого місяця сягають $+10^{\circ}\text{C}$, найхолоднішого – -10°C . У Східній частині розташований абсолютний полюс холоду, де були зафіксовані температури до $-89,2^{\circ}\text{C}$ (район станції «Восток») [12].

Всесвітня метеорологічна організація ООН визнала новий рекорд спеки в Антарктиді. Як повідомляє AFP, на материку зафіксовано $18,3^{\circ}\text{C}$.

Зазначається, що цей показник температури було зафіксовано на аргентинській дослідницькій станції Есперанса на Антарктичному півострові ще 6 лютого 2020 року.

Для порівняння, попередній рекорд там становив $17,5^{\circ}\text{C}$. Його зареєстрували також в Есперансі, але ще 2015 року. Відомо, що Антарктичний півострів за останні 50 років став регіоном із найшвидшим потеплінням – середній рівень температури піднявся майже на 3°C .

Відсутність хмарності сприяє подальшому вихолодженню материка. Тільки 10% сонячної енергії, яку поглинає поверхня Антарктиди, також в основному йдуть в космос. Як будь-яке тіло, нагріте вище абсолютного нуля, сніг випромінює тепло у вигляді інфрачервоних хвиль. Так як над центральними районами Антарктиди хмари відсутні, то це довгохвильове випромінювання вільно йде в космос [9]. Метеорологи антарктичної станції Амундсен-Скотт повідомили, що зима на Південному полюсі цього року стала найсуворішою за історію спостережень, повідомляє The Watchers. За інформацією видання, з квітня по вересень було зафіксовано рекордно низькі температури, які в середньому становили $-61,1^{\circ}\text{C}$. Попередній рекорд $-60,6^{\circ}\text{C}$ був встановлений у 1976 році. Середня температура на станції була на 2,5 градуси нижчою, ніж аналогічні показники за останні 30 років.

За словами метеоролога Метью Лаззара з Університету Вісконсіна, цієї зими на станції кілька разів спостерігали температуру $-73,3^{\circ}\text{C}$. А 30 вересня російська станція "Схід" повідомила про температуру $-79,3^{\circ}\text{C}$.

Світовий рекорд $-89,2^{\circ}\text{C}$ зареєстрували на станції «Восток» 21 липня 1983 року.

За характером клімату в Антарктиді виділяють: внутрішньоматерикову високогірську область, льодовиковий схил та прибережну зону. Для льодовикового плато характерні екстремальні морози, полярний антициклон, переважання ясної погоди, мала кількість опадів, що випадають на протязі року у вигляді снігу (30-50 мм / рік). Тут розташований центр континенту – полюс відносної недоступності. Циркумпольна зона льодовикових схилів, за

якими віялоподібно розходяться від високогірних масивів шляху льодовикового стоку, має ширину 700-800 км. Середні місячні температури в зоні коливаються від $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ взимку до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ в літні місяці. Низькі температури поєднуються з постійними вітрами, що дують з високогірних масивів, і хуртовинами. Опадів у вигляді снігу випадає 100-250 мм/рік. Вузька прибережна зона отримує до 700 мм опадів головним чином у вигляді снігу. Взимку середні місячні температури коливаються від -8 до $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$, влітку - від 0 до $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Звичайна швидкість вітру 50-60 м / с [9].

Дані відносно змін температури окремо у Західній та Східній частині материка з 1981 по 2007 роки показують, що температурний фон в Антарктиді змінювався нерівномірно. Для Західної Антарктиди в цілому спостерігається підвищення температури, у той час як для Східної Антарктиди потепління не виявлено, і навіть відзначений деякий спад. Очікується, що з ростом температури зросте кількість снігу, що випадає на Антарктичний льодовиковий покрив. Проте, у зв'язку з потеплінням, можливо більш інтенсивне руйнування шельфових льодовиків і прискорення руху вивідних льодовиків Антарктиди, що викидають лід у Світовий океан [12].

2.2.2 Стокові вітри Антарктиди

Важке холодне повітря з центральних районів материка розтікається в різні боки по схилах льодовикового покриву, утворюючи стоковий вітер (рис 2.4). Спад повітря над центром материка поповнюється за рахунок надходження нових мас повітря з більш високих шарів атмосфери. У високі шари надходять повітряні маси з прилеглих широт. За рахунок цього створюється спадна циркуляція, типовий антициклонічний процес, який супроводжується висушуванням повітря [9]. Через велику кількість крижаного пилу, який несе вітром, горизонтальна видимість при таких вітрах дуже низька

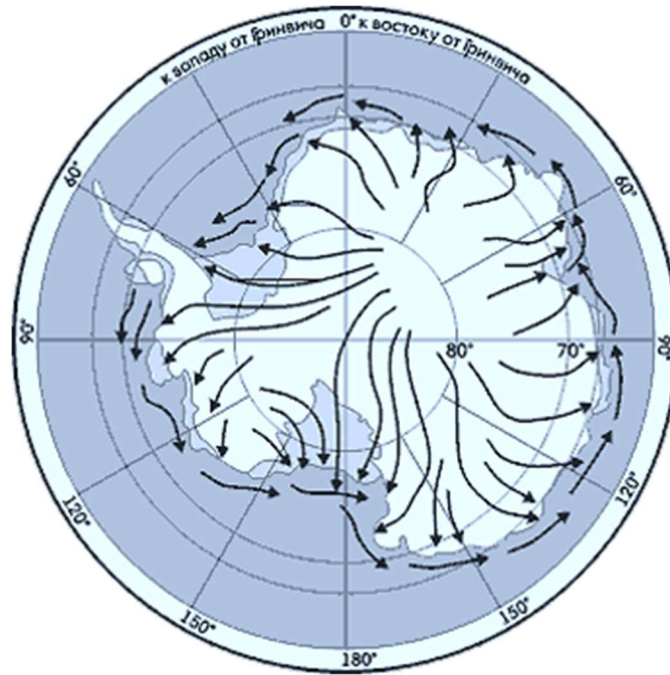


Рисунок 2.4 – Напрямок стокових вітрів Антарктиди

Максимальної сили стокові вітри досягають в антарктичну зиму - з квітня по листопад вони дмуть майже безперервно цілодобово, з листопада по березень - в нічні години або коли Сонце знаходиться низько над горизонтом. Влітку в денні години завдяки прогріву приповерхневого шару повітря Сонцем стокові вітри біля узбережжя припиняються [12].

У високі шари надходять повітряні маси з прилеглих широт. За рахунок цього створюється спадна циркуляція, типовий антициклонічний процес, який супроводжується висушуванням повітря [9]. Через велику кількість крижаного пилу, який несе вітром, горизонтальна видимість при таких вітрах дуже низька. Максимальної сили стокові вітри досягають в антарктичну зиму - з квітня по листопад вони дмуть майже безперервно цілодобово, з листопада по березень - в нічні години або коли Сонце знаходиться низько над горизонтом. Влітку в денні години завдяки прогріву приповерхневого шару повітря Сонцем стокові вітри біля узбережжя припиняються [12].

3 ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХІДНИХ ДАНИХ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Загальні відомості про станцію Беллінсгаузен

22 лютого 1968 року у Західній Антарктиді почала діяти перша радянська полярна станція "Беллінсгаузен". Вона була заснована учасниками 13-ї радянської антарктичної експедиції для виконання географічних, геологічних, гляціологічних і біологічних досліджень льодового континенту. Місцем розташування наукової бази був обраний Острів Кінг-Джордж (Ватерлоо), найбільший з тих, що входять до групи Південних Шетландських островів, розташованих в Атлантичному океані.

Географічне положення та кліматичні умови станції дозволяють здійснювати цілу низку унікальних наукових досліджень. Цілий рік на основі ведуться метеорологічні, геофізичні та океанографічні спостереження, вивчаються аспекти можливого глобального потепління. У зимовий період там проводяться спостереження з метеорології, фізики атмосфери, прибережної гідрології, біології, екології, а також ведеться прийом супутникових зображень для аналізу розвитку дрейфуючих льодів в Антарктиді. Крім того, станція здійснює прийом супутникової інформації для Роскосмосу.

Цей острів був обраний не випадково: в міру м'який для Антарктики клімат, досить багатий тваринний і рослинний світ, легка досяжність до «великої землі» (найближче знаходиться Аргентина), все це дозволило легко облаштувати побут і вести науково-дослідну діяльність протягом усього року. Станція "Беллінсгаузен" була зведена всього за місяць, і з року свого заснування по сьогоднішній день тут не переривається присутність людини. Спочатку станція складалася з декількох дерев'яних щитових будиночків, розрахованих на 20 зимівників, потім в середині 1970-х років їх замінили на більш надійні алюмінієві споруди.

В даний час російська антарктична станція «Беллінсгаузен» не єдина на острові Кінг-Джордж (Ватерлоо), всього тут працюють 14 наукових станцій з різних країн світу. Поруч з російською базою знаходяться чотири Чилійських об'єкта: «Фрей», «Ескудеро», «Марч і Файлдс», китайська станція «Велика стіна», уругвайська «Артігас» і Південнокорейська «Кінг Седжонг».

Одна з головних проблем станції — це сильна корозія через сіль та вогкість. Тут дуже швидко стає непридатним все металеве — сходи, палі будинків, ангари, ємності для зберігання палива, техніка.

Суворя, але напрочуд гарна природа – основний предмет інтересу на станції «Беллінсгаузен». Рослинний світ острова Кінг-Джордж представлений трьома систематичними групами рослин: водорості, мохи та лишайники. Мохи зустрічаються переважно у постійно зволжених місцях. На острові найбільш поширені кущисті - сірі та листові лишайники. На дні водойм зростає значна кількість водоростей. Особливістю існуючих рослин є їх порівняно темне забарвлення, завдяки якому відбувається швидке нагрівання їх за рахунок сонячної радіації. У весняний період над лишайниками утворюється прозора крижана кірка, що створює парниковий ефект та подовжує вегетаційний період рослин у цих кліматичних умовах.

Тваринний світ острова Кінг Джордж не багатий, але своєрідний. Тут постійно мешкають димчасті альбатроси та домініканські чайки, у теплий сезон з'являються снігові буревісники, крачки, південно-полярні поморники блакитнооки баклани та капські голуби. Поблизу станції відзначено існування чотирьох видів пінгвінів: осячі, антарктичні, аделі та, як поодинокі екземпляри, – імператорські пінгвіни. З морських звірів сімейства ластоногих на півострові живуть морські слони, тюлені Уедделла, тюлені крабоєди, а також порівняно рідкісні в цих місцях морські котики та морські леопарди.

До комплексу російської антарктичної бази «Беллінсгаузен» входять: електростанція, радіостанція, аерологічний павільйон разом із радіолокатором та пунктом прийому супутникової інформації. У сусідній бухті є нафтобаза, звідки поставляється паливо задля забезпечення станції електрикою та інших

потреб. З середини 1970-х років на базі функціонує потужний радіоцентр, призначений, у тому числі, і для обслуговування рибальського флоту нашої країни, що веде промисел у південних водах Атлантичного та Тихого океанів.

З 1980 року на станції ведеться прийом супутникової інформації про стан морського крижаного покриву – це найважливіша тема досліджень в умовах клімату Землі, що змінюється. Вже понад десять років на російській станції ведуться роботи з корекції параметрів супутникової орбіт навігаційної системи ГЛОНАСС. У сезонний період на «Беллінсгаузені» ведуться такі типи науково-дослідних робіт: гляціологія, геоморфологія, палеогеографія, гідробіологія, лімнологія, геоботаніка, зоологія, орнітологія, геодезія та картографія, мікробіологія, ґрунтознавство, мерзло [23].

Для вирішення поставлених у кваліфікаційній роботі завдань використовувалися дані (див. додаток А) приземної температури повітря на станції Беллінсгаузен за 00 годин з 1971 по 2020 роки, які були взяті на сайті Британського антарктичного центру. Період дослідження становив 50 років. При цьому з огляду на мету роботи інформація про температуру повітря використовувалася різного часового розрешення: рік, періоди, місяці.

3.2 Статистичні методи дослідження метеорологічних величин і визначення характеристик клімату

Кожний фізичний параметр атмосфери чи гідросфери залежить один від одного, а також від зовнішніх впливів і випадковим чином змінюється за часом та у просторі, утворюючи випадкові поля або послідовності.

Обробка і аналіз систем випадкових величин проводиться за допомогою спеціально розробленого апарату досліджень, що складає методи математичної статистики. Тому гідрометеорологічна інформація повинна задовольняти вимогам, котрі пред'являються до статистичної інформації.

Розглянемо основні характеристики гідрометеорологічної інформації.

Однією з важливих ознак рядів є інтервал дискретності. Як правило, ряди гідрометеорологічних величин є еквідістантними, тобто члени рядів визначаються через який-небудь заданий інтервал часу (година, доба, місяць, рік тощо). В деяких випадках при розв'язуванні конкретних задач ряди можуть формуватися із членів, що розташовані на різних відстанях одне від одного .

Ще однією важливою характеристикою ряду гідрометеорологічних величин є його об'єм. Під терміном об'ємсукупності випадкових величин розуміють кількість членів, що складають цю сукупність.

В гідрометеорологічних дослідженнях доводиться мати діло з рядами як великих, так і обмежених об'ємів.

Важливою властивістю ряду гідрометеорологічних величин, що визначає його вид, є характеристика цих величин. Такими характеристиками можуть бути безпосередні значення гідрометеорологічних величин, кількість днів і випадків з атмосферними явищами, їх тривалість, інтенсивність тощо.

Гідрометеорологічні величини можуть бути скалярними або векторними. В останньому випадку ряд являє собою два або більше (в загальному випадку - N) рядів синхронних скалярних характеристик метеорологічної величини. Отже для гідрометеорологічних досліджень, а також безпосереднього застосування метеорологічної інформації в різних галузях господарства, формується велика множина сукупностей гідрометеорологічних величин, які розрізняються однією або декількома ознаками, а саме:

- інтервалом дискретності;
- об'ємом сукупності (вибірки);
- характеристикою випадкових величин-членів ряду.

Коли кажуть про статистичні сукупності, то мають на увазі дві категорії:

- генеральна сукупність;
- статистичний ряд (вибірка).

Термін «генеральна сукупність» визначає необмежену кількість незалежних випадкових величин, які підпорядковуються одному закону розподілу. Властивості випадкових величин, які представляються генеральною сукупністю, визначаються параметрами цієї випадкової величини.

Статистичний ряд (вибірка) – обмежена кількість випадкових величин, здобутих випадковим чином із генеральної сукупності. Тому статистичні ряди називають вибірками з генеральної сукупності. Вибірки випадкові та число їх безмежне. Задача дослідника полягає у тому, що б за допомогою вибірки розрахувати деякі оцінки параметрів, котрі б вірогідно характеризували особливості генеральної сукупності.

Метеорологічні (або гідрологічні) ряди необхідно подавати у найбільш зручному для аналізу вигляді в залежності від задачі, що розв'язується.

Найбільш часто сукупності випадкових величин зображаються у двох видах: у виді простого статистичного ряду і у виді згрупованого статистичного ряду. Первинною формою запису вихідних даних є простий статистичний ряд, в якому дані розташовуються в тій послідовності, як вони були отримані в результаті спостережень.

У процесі кліматологічної обробки вдається отримати надійні характеристики генеральної сукупності на основі вибірових даних. Якщо вибірка досить велика, то характеристики її стійкі, тобто не змінюються при перерахунку по ряду, до якого додається ще кілька років. При вирішенні конкретних завдань, пов'язаних з описом метеорологічного режиму, зазвичай використовують такі статистичні характеристики процесів:

- 1) повторюваність і емпіричну функцію розподілу значень метеовеличин;
- 2) числові характеристики розподілів, перш за все чотири центральні моменти
- 3) екстремальні характеристики метеорологічних величин і явищ.

З огляду на те, що статистичні характеристики окремих метеовеличин і метеорологічних комплексів використовуються для опису клімату та його можливих змін, їх прийнято називати кліматичними показниками. Статистичні характеристики можна оцінити за допомогою методів моментів. Розрізняють початкові (v), центральні (μ) і основні моменти (r).

Вираз для початкового моменту l -того порядку має вигляд:

$$\hat{v}_l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i^l m_i, \quad (3.1)$$

Для центрального моменту:

$$\hat{\mu}_l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^l m_i, \quad (3.2)$$

Для основного моменту:

$$\hat{r}_l = \frac{\hat{\mu}_l}{S_x^l}. \quad (3.3)$$

Центральні моменти μ зазвичай розраховуються по формулі (3.1), а використовують формули зв'язку центральних моментів з початковими. Наведемо формули для моментів 2-4-го порядків (центральный момент першого порядку завжди дорівнює нулю):

$$\hat{\mu}_2 = \hat{v}_2 - \hat{v}_1^2, \quad (3.4)$$

$$\hat{\mu}_3 = \hat{v}_3 - 3\hat{v}_2\hat{v}_1 + 2\hat{v}_1^3, \quad (3.5)$$

$$\hat{\mu}_4 = \hat{v}_4 - 4\hat{v}_1\hat{v}_3 + 6\hat{v}_1^2\hat{v}_2 - 3\hat{v}_1^4. \quad (3.6)$$

На практиці використовують тільки моменти перших чотирьох порядків. Найбільше з них використовують ν_1 , μ_2 , r_3 і r_4 , так як вони однозначно пов'язані з основними кліматичними показниками. Зіставлення формул для розрахунку моментів і кліматичних показників дозволяє прийти до висновку, що початковий першого порядку виражає середнє арифметичне, корінь квадратний з центрального моменту другого порядку є середнє квадратичне відхилення, основний момент третього порядку виражає асиметрію:

$$\hat{\nu}_1 = \bar{x}, \quad (3.7)$$

$$\hat{r}_3 = A s, \quad (3.8)$$

$$E = \hat{r}_4 - 3. \quad (3.9)$$

Про надійність оцінок і ступеня їх відповідності істинним значенням можна судити по деяких фундаментальних властивостях оцінок, серед яких основними є незміщеність, ефективність та спроможність (умотивованість).

Незміщеність оцінки. Оцінка є незміщеною, якщо різниця між математичним очікуванням оцінюваної характеристики та її істинним значенням дорівнює нулю. В іншому випадку оцінка називається зміщеною. Якщо значення зсуву прагне до нуля при нескінченному зростанні обсягу вибірки, то оцінка називається асимптотично незміщеною.

Ефективність. Точність оцінки деякої характеристики можна кількісно визначити за допомогою середньоквадратичної помилки. Ця величина є середнім квадратом різниці між оцінкою і істинним значенням.

Далеко не завжди вдається задовольнити всім перерахованим вимогам. Тому в кожному конкретному випадку вибір тієї чи іншої оцінки визначається практичними міркуваннями, економічністю розрахунків, необхідною точністю і т. д.

Спроможність оцінки означає, що при достатньо великому обсязі вибірки відхилення оцінки від істинного значення, з якою завгодно великою імовірністю, менше будь-якої наперед заданої величини. Таким чином, властивість спроможності характеризує поведінку оцінки при прагненні обсягу вибірки до нескінченності, тобто є асимптотичною властивістю.

Вимоги практики не обмежуються середніми значеннями випадкових величин інколи необхідна інформація про відхилення її від середнього рівня і визначення ймовірності таких відхилень. Теоретично цю задачу вирішують за допомогою закону розподілу випадкових величин, який є всеосяжною її характеристикою.

Законом розподілення випадкової величини називають всіляку відповідність між значеннями випадковими і їх ймовірностями.

В більшості випадків закони розподілення гідрометеорологічних величин неможливо визначити апіорно, тільки шляхом аналізу відомих фізичних характеристик. Тип розподілення і цього параметри визначаються шляхом статистичної обробки експериментальних даних. Найбільш розповсюдженим являється метод згрупування даних, тобто вивчення особливостей статистичної структури гідрометеорологічних величин базується на інформації, в якості якої виступають статистичні ряди (вибірки), які сформовані по результатам вимірів і спостережень.

Згрупований ряд, як емпіричний розділ відображає властивості генеральної сукупності. В зв'язку з цим, основним етапом статистичного аналізу гідрометеорологічної інформації є підбір закону розподілу по даним статистичної сукупності. Ця задача вирішується шляхом апроксимації емпіричного розподілу таким теоретичним законом, який би в певному сенсі найкращим чином відповідав би емпіричному розподілу. Однак, як би добре, на основі відомих властивостей закону розподілу, не була підібрана теоретична крива будь-якого розподілу між нею і емпіричним розподілом неминучі деякі розбіжності. Тому обов'язково після розрахунків теоретичних частот проводять перевірку гіпотези про міру розходження між емпіричними

і теоретичними частотами. Розходження між цими частотами можуть носити, як випадковий характер, так і можуть бути статистично значимими. Останнє вказує на те, що підібрана теоретична крива не відповідає даному емпіричному розподілу. Щоб знайти відповіді на ці питання, використовують так названі «критерії згоди». І тільки після використання цих критеріїв можна зробити висновок про успішність апроксимації статистичного розподілу теоретичним законом.

Тому процес дослідження закону розподілу складається з таких етапів:

- на основі зовнішнього вигляду емпіричного розподілу, який має вигляд гістограми чи полігону, і з урахуванням статистичних оцінок моментів і додаткових статистик, формують гіпотезу про закон розподілу;
- на основі статистичної сукупності знаходять оцінки параметрів вибраного теоретичного розподілу і відповідні їм статистики;
- розраховують теоретичні інтервальні частоти для випадкової величини яка досліджується;
- роблять оцінку розходження між емпіричними і теоретичними частотами, за допомогою деяких критеріїв.

Зазвичай, розраховують не менше двох різних критеріїв згоди. Часто користуються критерієм згоди χ^2 Пірсона і λ Колмогорова.

Підібравши закон розподілення для статистичного ряду (виборки), можна розрахувати імовірність того, що випадкова величина, знаходиться в заданому інтервалі чи імовірність того, що випадкова величина прийме значення менше (більше) якогось конкретного числа.

На практиці (особливо якщо закон розподілу встановити не вдалося) розрахунок ймовірнісних характеристик може бути виконаний за допомогою емпіричних кривих інтегрального розподілу, побудованих гістограмними або розрахунковими методами.

4 ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ ПРИБЕРЕЖНОЇ ЗОНИ АНТАРКТИДИ

4.1 Динаміка приземної температури повітря на антарктичній станції Беллінсгаузен

Як відомо, клімат Антарктичного півострова є найм'якшим на континенті. На території, де знаходиться станція Беллінсгаузен в антарктичне літо ґрунт майже повністю звільнюється від снігу та льоду. Такі кліматичні умови пов'язані з впливом океану на півострів. Як відомо, океан пом'якшує погодні умови. Через це амплітуди температури повітря тут невеликі ($7,9^{\circ}\text{C}$).

З таблиці 4.1, де представлені статистичні характеристики приземної середньомісячної температури повітря на станції Беллінсгаузен у період з 1971 по 2020 роки, можна виділити наступне:

У холодний період найвища середньомісячна температура повітря за 50-ти річний період на станції Беллінсгаузен відмічається у березні місяці, де її значення становить $2,4^{\circ}\text{C}$, у тепле півріччя в січні місяці $2,7^{\circ}\text{C}$.

Мінімальна середньомісячна температура на території станції у холодне півріччя була зафіксована у липні – та складала $-13,7^{\circ}\text{C}$, а в тепле півріччя у листопаді - $2,6^{\circ}\text{C}$.

Найвище значення середніх температур у холодне півріччя становило - $0,4^{\circ}\text{C}$ в березні місяці, найнижче $-6,0^{\circ}\text{C}$ в липні. В тепле ж півріччя найвище значення становить $1,5^{\circ}\text{C}$ у січні місяці, найменше $-1,3^{\circ}\text{C}$ в листопаді.

Значення коефіцієнту варіації у холодний період коливається від 0,30 до 0,90 що каже про велику мінливість середньомісячних температур, а в теплий період його значення заходиться в межах від 0,40 до 0,60 де мінливість менш сильна ніж у холодному періоді.

Амплітуда середньомісячної температури у холодному півріччі коливається в межах від 3,3 до 10,7°C, в теплому від 2,7 до 3,1°C. За рік амплітуда становить 2,5°C.

Таблиця 4.1 – Статистичні характеристики приземної середньомісячної температури повітря на станції Беллінсгаузен у період з 1971 по 2020 роки

Місяці	Статистичні характеристики							
	$X_{сер}$	$X_{мін}$	$X_{макс}$	$X_{макс} - X_{мін}$	σ_x	C_V	M_0	M_e
	Холодний період							
Березень	0,4	-0,9	2,4	3,3	0,8	0,50	-0,9	0,5
Квітень	-1,5	-4,4	0,7	5,1	1,3	0,60	-1,3	-1,3
Травень	-3,0	-8,8	-0,8	8,0	1,7	-	-2,2	-2,7
Червень	-5,1	-10,0	-1,6	8,4	2,2	0,90	-3,9	-4,5
Липень	-6,0	-13,7	-3,0	10,7	2,8	0,60	-3,6	-5,3
Серпень	-5,7	-11,8	-2,1	9,7	1,9	0,40	-4,7	-5,3
Вересень	-4,5	-7,9	-1,4	6,5	1,7	0,50	-3,5	-4,5
Жовтень	-2,7	-6,0	-1,0	5,0	1,2	0,30	-2,2	-2,6
	Теплий період							
Листопад	-1,3	-2,6	0,1	2,7	0,8	0,40	-0,8	-1,0
Грудень	0,2	-1,4	1,7	3,1	0,7	0,40	0,7	0,2
Січень	1,5	0,0	2,7	2,7	0,7	0,60	1,4	1,4
Лютий	1,4	-0,1	2,6	2,7	0,8	-	1,7	1,7
Рік	-2,2	-3,6	-1,1	2,5	0,7	0,30	-1,7	-2,0

На рисунку 4.1 наочно представлено зміну екстремальних температур повітря на станції Беллінсгаузен у період з 1971 по 2020 рр.

З графіку (рис. 4.1) можна побачити, що найбільша амплітуда значень приземної температури повітря спостерігається у липні – серпні, а найменша у грудні, тобто це вказує нам на те, що найбільш сильні перепади температур

характерні для холодного періоду, а найменші для теплого та початку холодного періоду.

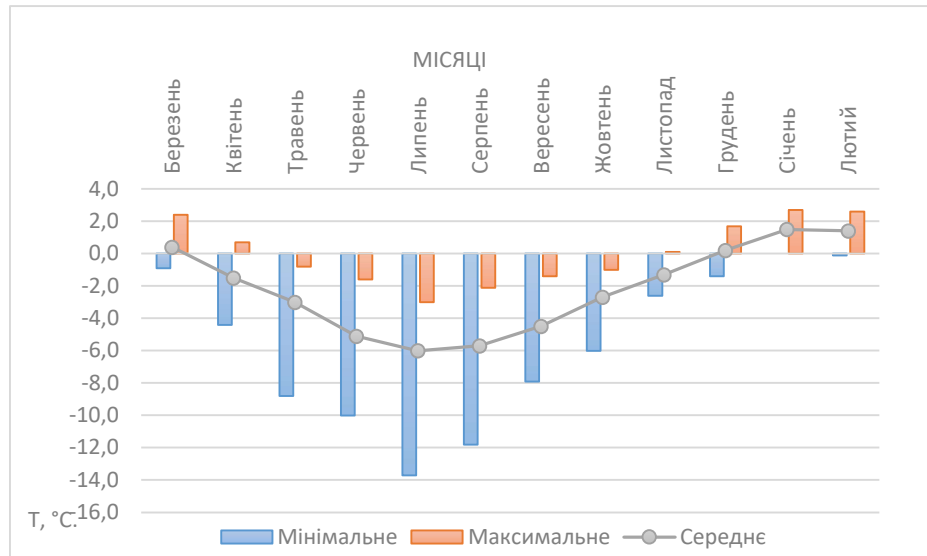


Рисунок 4.1 – Екстремальні значення температури повітря на станції Беллінсгаузен у період з 1971 по 2020 рр.

На рисунку 4.2 зображена динаміка осередненої середньомісячної приземної температури повітря на станції Беллінсгаузен за період з 1971 по 2020 роки.

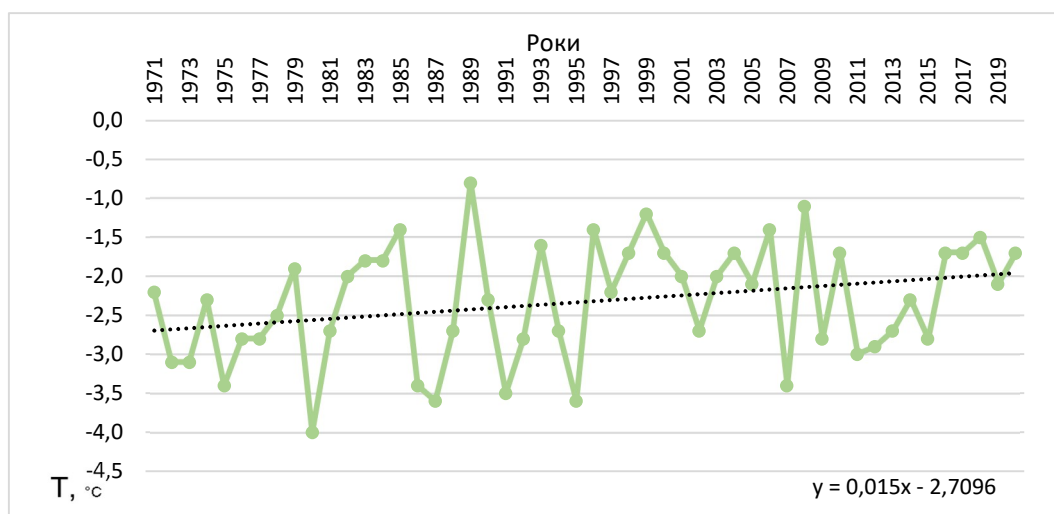


Рисунок 4.2 – Динаміка середньоїрічної температури повітря на станції Беллінсгаузен за період з 1971 по 2020 роки

Графік являє собою різкі зміни середньомісячної температури повітря, але при цьому тренд вказує на її підвищення.

На наш погляд на особливу увагу заслуговує період дослідження з 1991 по 2020 рік, так є тридцятирічний період, за яким згідно з Всесвітньою метеорологічною організацією, розраховуються нові кліматичні норми, замість старих норм за період з 1961 по 1990 рр., які втратили сенс.

Статистичні характеристики приземної середньомісячної температури повітря на станції Беллінсгаузен у період з 1991 по 2020 роки представлені у таблиці 4.2.

Продивившись таблицю 4.2 та проаналізувавши її, можна виділити, що у холодний період на станції Беллінсгаузен найнижче значення середньомісячної температури повітря за 30-ти річний період можна спостерігати у липні місяці $-13,7^{\circ}\text{C}$, у теплий в листопаді $-3,0^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 4.2 – Статистичні характеристики приземної середньомісячної температури повітря на станції Беллінсгаузен у період з 1991 по 2020 роки

Місяці	Статистичні характеристики							
	$X_{\text{сер}}$	$X_{\text{мін}}$	$X_{\text{макс}}$	$X_{\text{макс}} - X_{\text{мін}}$	σ_x	C_v	M_0	M_e
Холодний період								
Березень	0,4	-1,0	2,4	3,4	0,7	0,50	0,7	0,5
Квітень	-1,7	-4,8	0,7	5,5	1,4	0,50	-1,7	-1,3
Травень	-3,3	-8,8	-0,8	8,0	1,9	-	-2,2	-2,8
Червень	-5,2	-10,0	-1,6	8,4	2,0	0,80	-7,1	-4,8
Липень	-6,4	-13,7	-1,2	12,5	3,0	0,60	-6,3	-5,7
Серпень	-6,2	-11,8	-2,1	9,7	2,3	0,40	-10,9	-5,6
Вересень	-4,6	-7,9	-1,4	6,5	1,7	0,50	-3,5	-4,6
Жовтень	-2,7	-6,0	-0,8	5,2	1,1	0,40	-2,8	-2,7
Теплий період								
Листопад	-1,3	-3,0	0,1	3,1	0,8	0,40	-0,5	-1,2
Грудень	0,2	-1,4	1,7	3,1	0,7	0,40	0,2	0,2
Січень	1,4	0,0	2,7	2,7	0,7	0,60	1,0	1,4
Лютий	1,5	-0,1	2,6	2,7	0,7	-	1,7	1,7
Рік	-2,3	-4,0	-0,8	3,2	0,7	0,30	-2,8	-2,3

Максимальна середньомісячна температура у холодний період була зафіксована в березні – та складала $2,4^{\circ}\text{C}$, а в теплий період в січні місяці – $2,7^{\circ}\text{C}$.

Амплітуда середньомісячної температури у холодному періоді коливається від $3,4$ до $12,5^{\circ}\text{C}$, в теплому від $2,7$ до $3,1^{\circ}\text{C}$. За рік амплітуда становить $3,2^{\circ}\text{C}$.

Найнижче значення середніх температур у холодний період становило $-6,4^{\circ}\text{C}$ у липні місяці, найвище було зафіксовано у березні, його значення становило $0,4^{\circ}\text{C}$. В теплому періоді найвище значення становить $1,5^{\circ}\text{C}$ у лютому місяці, найменше $-1,3^{\circ}\text{C}$ в листопаді.

Значення коефіцієнту варіації у холодний період коливається від $0,30$ до $0,90$ що каже про велику мінливість середньомісячних температур, а в теплий період його значення заходиться в межах від $0,40$ до $0,60$ де мінливість менш сильна ніж у холодному періоді.

Якщо проаналізувати два періоди, можна сказати що у холодний період максимальні та мінімальні значення не змінюються.

В теплому періоді максимальні значення також змін не зазнали, а мінімальні зменшились на $0,4^{\circ}\text{C}$. Аналізуючи амплітуду за рік було виявлено що вона зменшилась на $0,7^{\circ}\text{C}$ з $3,2$ до $2,5^{\circ}\text{C}$.

На рисунку 4.3 представлено у вигляді графіку зміни екстремальних температур повітря на станції Беллінсгаузен у період з 1991 по 2020 рр.

З графіку (рис. 4.3) можна виділити що найбільша амплітуда значень приземної температури повітря спостерігається у липні – серпні, а найменша у грудні, тобто це вказує нам на те, що найбільш сильні перепади температур характерні для холодного періоду, а найменші для теплового та початку холодного періоду.

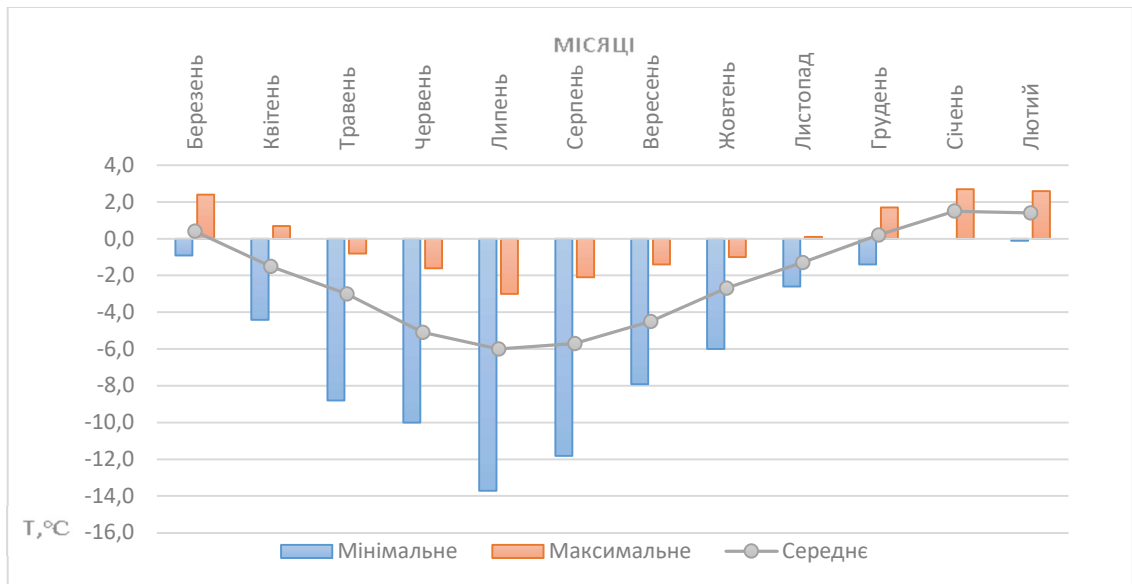


Рисунок 4.3 – Екстремальні значення приземної температури повітря у період з 1971 по 2020 рр. на станції Беллінсгаузен

Щоб більш детально розглянути тридцятирічний період 1991-2020 рр., окремо досліджувався температурний режим за трьома десятиріччями 1991-2000 рр., 2001-2010 рр., 2011-2020 рр. який представлений в таблиці 4.3.

Аналізуючи таблицю 4.3 можна сказати, що на прибережній території впродовж усіх трьох десятиріч середнє значення приземної температури повітря йде на спад в межах $0,2^{\circ}\text{C}$.

У холодному періоді спостерігається тенденція зниження амплітуди температури, з першого по друге десятиріччя вона знизилась на $1,9^{\circ}\text{C}$, з другого по третє на $2,1^{\circ}\text{C}$.

В теплому навпаки, з першого по друге десятиріччя амплітуда зросла на $0,4^{\circ}\text{C}$. в третьому десятиріччі амплітуда залишилась без змін.

Максимальне значення амплітуди спостерігається в першому десятиріччі в липні $10,5^{\circ}\text{C}$, найменше значення спостерігається також в першому десятиріччі в січні місяці, його значення складає $1,4^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 4.3 – Статистичні характеристики середньомісячної приземної температури повітря на станції Беллінсгаузен за три десятиріччя

Місяці	1991 - 2000				з 2001 - 2010 р				з 2011 - 2020 р			
	X _{сер}	X _{мін}	X _{макс}	X _{макс} - X _{мін}	X _{сер}	X _{мін}	X _{макс}	X _{макс} - X _{мін}	X _{сер}	X _{мін}	X _{макс}	X _{макс} - X _{мін}
Холодний період												
Березень	0,4	-0,9	1,7	2,6	0,3	-0,9	2,4	3,3	0,5	-0,6	1,0	1,6
Квітень	-0,9	-2,9	0,7	3,6	-1,7	-3,9	-0,1	3,8	-1,7	-4,4	0,5	4,9
Травень	-3,4	-8,8	-0,8	8,0	-2,8	-5,7	-0,9	4,8	-2,7	-3,5	-1,8	1,7
Червень	-5,1	-10,0	-1,6	8,4	-5,4	-8,5	-2,4	6,1	-4,7	-6,9	-2,2	4,7
Липень	-6,5	-13,7	-3,2	10,5	-6,3	-12,2	-3,6	8,6	-5,3	-9,5	-3,0	6,5
Серпень	-6,1	-11,8	-4,1	7,7	-5,0	-8,3	-2,1	6,2	-6,1	-8,5	-4,7	3,8
Вересень	-5,1	-7,9	-2,0	5,9	-3,5	-5,1	-1,4	3,7	-4,8	-7,5	-1,5	6,0
Жовтень	-3,0	-6,0	-2,0	4,0	-2,5	-6,0	-1,0	5,0	-2,7	-3,7	-1,4	2,3
Теплий період												
Листопад	-1,1	-2,6	-0,4	2,2	-1,3	-2,5	0,1	2,6	-1,4	-2,4	-0,5	1,9
Грудень	0,5	-0,3	1,7	2,0	0,2	-1,4	1,0	2,4	-0,1	-1,4	0,7	2,1
Січень	1,8	1,3	2,7	1,4	1,6	0,3	2,6	2,3	1,0	0,0	2,6	2,6
Лютий	1,6	0,4	2,2	1,8	1,5	0,1	2,6	2,5	1,2	-0,1	2,4	2,5

Для більш наочного розуміння динаміки екстремальних та середніх значень приземної температури повітря на станції Беллінсгаузен на рисунках 4.4, 4.5 та 4.6 представлені гістограми мінімальних, максимальних та середніх приземних температур повітря окремо за кожні десятиріччя.

Дивлячись на графік 4.4, можна відмітити, що в цілому на станції Беллінсгаузен спостерігається така тенденція: з першого по друге десятиріччя відбувається зниження максимумів середньомісячних приземних температур повітря, а з другого по третє підвищення. Така тенденція характерна для холодного періоду. В теплом періоді спостерігається невелике підвищення максимумів середньомісячних приземних температур повітря.

З рисунку 4.5 бачимо що з травня по листопад у прибережній зоні відбувається підвищення мінімальних середньомісячних приземних температур, окрім вересня місяця, де температури с першого по друге десятиріччя зростають, а з другого по третє знижуються.

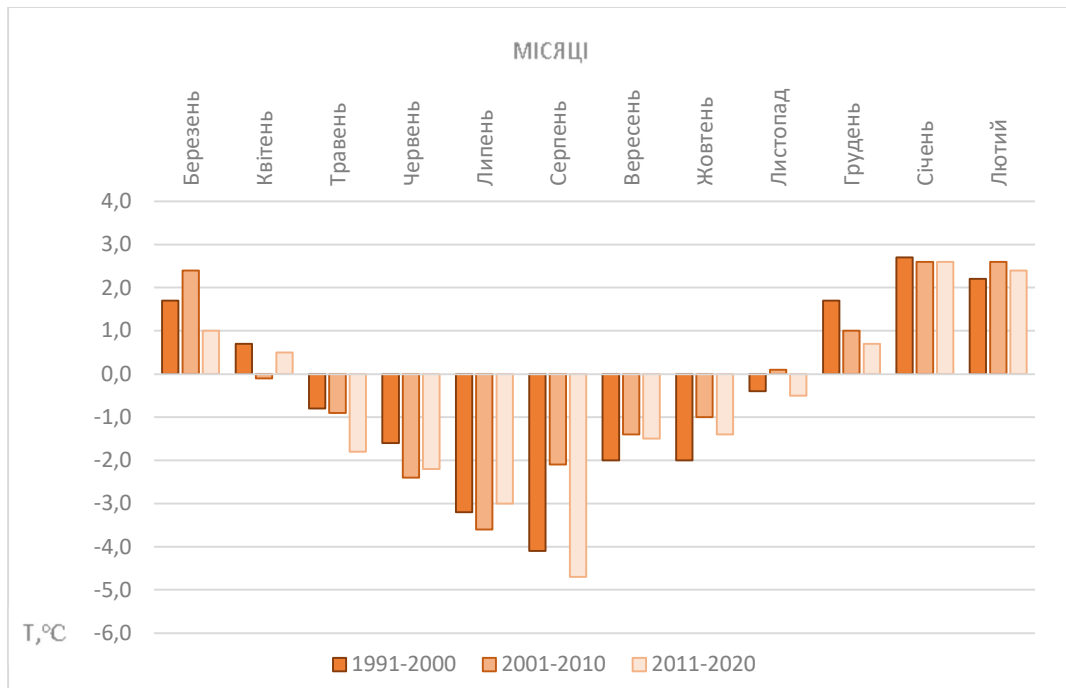


Рисунок 4.4 – Максимальні значення приземної температури повітря на станції Беллінсгаузен за три десятиріччя

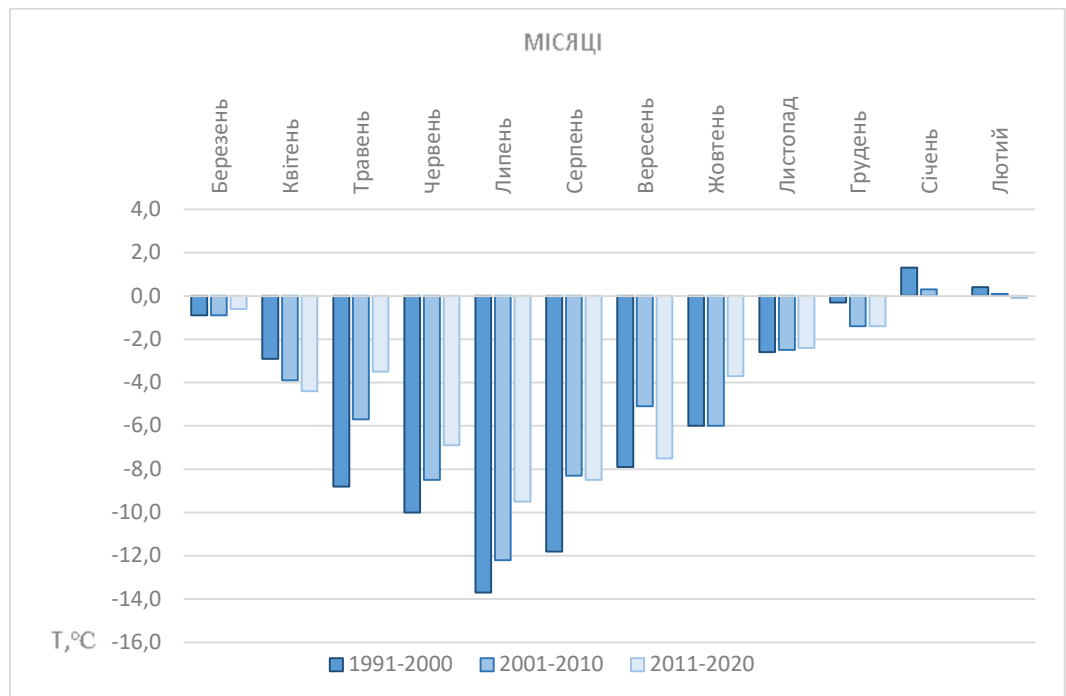


Рисунок 4.5 – Мінімальні значення приземної температури повітря на станції Беллінсгаузен за три десятиріччя

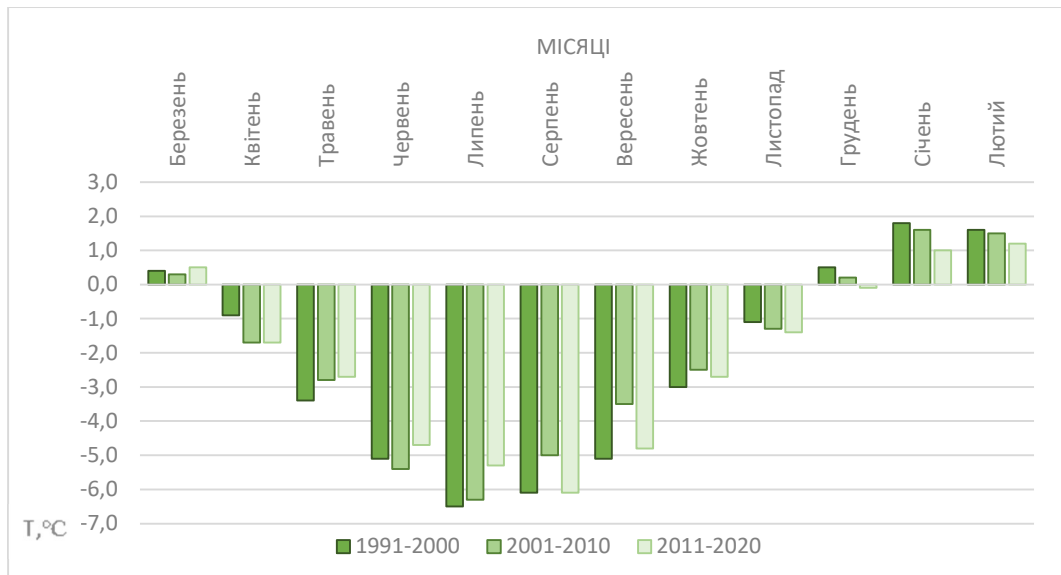


Рисунок 4.7 – Середні значення приземної температури повітря на станції Беллінсгаузен за три десятиріччя

Особливу увагу було приділено змінам відхилення від багаторічної середньомісячної температури повітря.

Розглянемо відхилення середньомісячної температури повітря від її середнього значення за 50-річний період на станції Беллінсгаузен.

Зробивши розрахунки та провівши аналіз (табл.4.4), можна виділити що максимальне відхилення середніх температур повітря у холодне півріччя було зафіксовано у липні та складає $5,2^{\circ}\text{C}$, мінімальне також у липні та складає $-7,3^{\circ}\text{C}$. В тепле ж півріччя максимальне відхилення спостерігалось у грудні $1,5^{\circ}\text{C}$. Мінімальне значення відхилення температури від її середнього значення зафіксовано у листопаді $-1,7^{\circ}\text{C}$.

Мінімальна амплітуда відхилень холодного півріччя спостерігається у березні місяці, її значення складає $-2,4^{\circ}\text{C}$, максимальна амплітуда була зафіксована в липні зі значенням $12,5^{\circ}\text{C}$.

В теплому півріччі мінімальна амплітуда становить $2,3^{\circ}\text{C}$ у лютому місяці, максимальна у листопаді та грудні і складає $3,1^{\circ}\text{C}$. В середньому за рік амплітуда відхилень багаторічних температур від їх середніх значень складає

5,0°C. Середньоквадратичне відхилення за рік знаходиться в межах від 0,7 до 3,0°C.

Таблиця 4.4 – Статистичні характеристики відхилень температури повітря від її середнього значення на станції Беллінсгаузен у період з 1971 по 2020 роки

Місяці	Статистичні характеристики						
	X_{\min}	X_{\max}	$X_{\max}-X_{\min}$	σ_x	A_s	M_0	M_e
	Холодне півріччя						
Березень	-1,4	2,0	2,4	0,7	0,2	0,3	0,1
Квітень	-3,1	2,4	5,5	1,4	-0,8	0,0	0,4
Травень	-5,5	2,5	8,0	1,9	-1,2	1,1	0,5
Червень	-4,8	3,6	8,4	2,0	-0,3	-1,9	0,4
Липень	-7,3	5,2	12,5	3,0	-0,9	0,1	0,7
Серпень	-5,6	4,1	9,7	2,3	-0,7	-4,7	0,7
Вересень	-3,3	3,2	6,5	1,7	0,0	1,1	0,1
Жовтень	-3,3	1,9	5,2	1,1	-0,9	-0,1	0,0
	Тепле півріччя						
Листопад	-1,7	1,4	3,1	0,8	-0,4	0,8	0,2
Грудень	-1,6	1,5	3,1	0,7	-0,6	0,0	0,0
Січень	-1,4	1,3	2,8	0,7	0,1	-0,4	-0,1
Лютий	-1,6	1,1	2,3	0,7	-0,5	0,2	0,2
Рік	-2,2	2,9	5,0	1,1	-0,2	1,0	0,8

Провівши аналіз даних за 30 років з 1991 по 2020рр. (табл.4.5), можна виділити наступне:

На станції Беллінсгаузен максимальне з відхилень середніх температур повітря у холодне півріччя складає -9,2°C та спостерігається у травні, мінімальне -1,3°C у березні. Максимальне з відхилень середніх температур у холоне півріччя складає 3,6°C і спостерігається у серпні, мінімальне 1,7°C у жовтні.

Таблиця 4.5 – Статистичні характеристики відхилень температури повітря від її середнього значення на станції Беллінсгаузен у період з 1991 по 2020 роки

Місяці	Статистичні характеристики						
	X_{\min}	X_{\max}	$X_{\max}-X_{\min}$	σ_x	A_s	M_0	M_e
Холодне півріччя							
Березень	-1,3	2,0	3,3	0,8	0,3	-1,3	0,1
Квітень	-2,9	2,2	5,1	1,3	-0,6	0,2	0,2
Травень	-9,2	2,5	11,7	2,5	-2,4	1,1	0,6
Червень	-4,9	3,5	8,4	2,2	-0,4	1,2	0,6
Липень	-7,7	3,0	10,7	2,8	-1,3	2,4	0,7
Серпень	-6,1	3,6	9,7	1,9	-1,1	1,0	0,5
Вересень	-3,4	3,1	6,5	1,7	-0,3	1,0	0,1
Жовтень	-3,3	1,7	5,0	1,2	-1,3	0,5	0,1
Тепле півріччя							
Листопад	-1,3	1,4	2,7	0,8	-0,4	0,5	0,4
Грудень	-1,6	1,5	3,1	0,7	-0,6	0,5	0,0
Січень	-1,2	1,1	2,3	0,3	1,0	-0,2	-0,2
Лютий	-1,5	1,2	2,7	0,8	-0,6	0,3	0,3
Рік	-1,4	1,1	2,5	0,7	-0,4	0,5	0,2

У тепле півріччя мінімальне з відхилень температур складає $-1,6^{\circ}\text{C}$ і спостерігається у грудні, максимальне спостерігається також у грудні місяці і складає $1,5^{\circ}\text{C}$. Максимальна амплітуда відхилень середніх багаторічних температур за рік на станції спостерігається у травні, її значення сягає $11,7^{\circ}\text{C}$.

Також у ході роботи було розглянуто статистичні характеристики відхилень температури повітря від її середнього значення за кожні 10 років.

У період з 1991 по 2000 рік (табл. 4.6) найменше значення відхилень було зафіксовано у липні і складає $-7,2^{\circ}\text{C}$, найбільше значення відмічається у червні і складає $3,5^{\circ}\text{C}$.

У період з 2001 по 2010 рік (табл. 4.7) найменше значення відхилень складає $-5,9^{\circ}\text{C}$ і спостерігається у липні, найбільше значення відмічається у червні та складає $3,0^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 4.6 – Статистичні характеристики відхилень температури повітря від її середнього значення на станції Беллінсгаузен у період з 1991 по 2000 роки

Місяці	Статистичні характеристики						
	X_{\min}	X_{\max}	$\frac{X_{\max} - X_{\min}}{X_{\min}}$	σ_x	A_s	M_0	M_e
	Холодне півріччя						
Березень	-1,3	1,3	2,6	0,9	-0,1	-1,3	0,2
Квітень	-2,0	1,6	3,6	1,1	0,0	1,6	-0,3
Травень	-5,4	2,6	8,0	2,7	-1,4	-	1,1
Червень	-4,9	3,5	8,4	2,7	-0,7	-	0,7
Липень	-7,2	3,3	10,5	3,5	-1,2	-	1,0
Серпень	-5,7	2,0	7,7	2,3	-1,9	-	0,7
Вересень	-2,8	3,1	5,9	2,0	-0,1	-	0,1
Жовтень	-3,0	1,0	4,1	1,2	-1,8	0,8	0,4
	Тепле півріччя						
Листопад	-1,5	0,7	2,2	0,7	-1,2	-0,4	0,1
Грудень	-0,8	1,2	2,0	0,6	0,8	-0,6	-0,1
Січень	-0,5	0,9	1,4	0,5	0,7	-0,4	-0,2
Лютий	-1,2	0,6	1,8	0,5	-1,4	0,1	0,2
Рік	-0,1	2,3	2,4	0,7	0,2	-	1,0

Таблиця 4.7 – Статистичні характеристики відхилень температури повітря від її середнього значення на станції Беллінсгаузен у період з 2001 по 2010 роки

Місяці	Статистичні характеристики						
	X_{\min}	X_{\max}	$\frac{X_{\max} - X_{\min}}{X_{\min}}$	σ_x	A_s	M_0	M_e
	Холодне півріччя						
Березень	-1,2	2,1	3,3	1,0	1,3	-0,7	-0,5
Квітень	-2,2	1,6	3,8	1,2	-0,7	0,0	0,0
Травень	-2,9	1,9	4,8	1,5	-0,7	-	0,2
Червень	-3,1	3,0	6,1	2,2	0,2	-1,7	-0,7
Липень	-5,9	2,7	8,6	2,6	-1,2	2,7	-0,1
Серпень	-3,3	2,9	6,2	2,0	-0,7	-	0,3
Вересень	-1,6	2,1	3,7	1,1	0,1	0,0	0,1
Жовтень	-3,5	1,5	5,0	1,5	-1,5	-0,2	0,3
	Тепле півріччя						
Листопад	-1,2	1,4	2,6	0,9	-0,1	-	0,4
Грудень	-1,6	0,8	2,4	0,7	-1,1	-0,1	-0,1
Січень	-1,3	1,0	2,3	0,7	0,0	-0,4	-0,1
Лютий	-1,4	1,1	2,5	0,8	-0,8	-1,4	0,2
Рік	0,1	1,0	1,1	0,7	-0,6	0,1	0,1

У період з 2011 по 2020 рік (табл. 4.8) найбільше значення відхилень спостерігалось у вересні та складає $3,3^{\circ}\text{C}$, найменше значення відмічається у липні і складає $4,2^{\circ}\text{C}$.

Проаналізувавши останні три десятиріччя (табл.4.9) та об'єднавши їх в одну таблицю (див.табл.3) можна зробити такий висновок:

В першому десятиріччі на станції Беллінсгаузен мінімальні значення відхилень температури за рік змінювались від $-0,5$ до $-7,2^{\circ}\text{C}$, максимальні від $0,6$ до $3,5^{\circ}\text{C}$, у другому від $-1,2^{\circ}\text{C}$ до $-5,9^{\circ}\text{C}$, максимальні від $0,8^{\circ}\text{C}$ до $3,0^{\circ}\text{C}$, в третьому десятиріччі мінімальні від $-0,8^{\circ}\text{C}$ до $-4,2^{\circ}\text{C}$. максимальні від $0,5^{\circ}\text{C}$ до $3,3^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 4.8 – Статистичні характеристики відхилень температури повітря від її середнього значення на станції Беллінсгаузен у період з 2011 по 2020 роки

Місяці	Статистичні характеристики						
	$X_{\text{мін}}$	$X_{\text{макс}}$	$\frac{X_{\text{макс}} - X_{\text{мін}}}{X_{\text{мін}}}$	σ_x	A_s	M_0	M_e
	Холодне півріччя						
Березень	-1,1	0,5	1,6	0,5	-1,5	0,1	0,1
Квітень	-2,7	2,2	4,9	1,6	-0,7	0,4	0,4
Травень	-0,8	0,9	1,7	0,5	0,1	-0,1	-0,1
Червень	-2,2	2,5	4,7	1,6	-0,1	0,2	0,2
Липень	-4,2	2,3	6,5	2,0	-1,1	1,0	1,0
Серпень	-2,4	1,4	3,8	1,3	-0,7	-1,4	0,5
Вересень	-2,7	3,3	6,0	1,6	0,5	-0,7	-0,1
Жовтень	-1,0	1,3	2,3	0,7	0,4	-0,4	0,0
	Тепле півріччя						
Листопад	-1,0	0,9	1,9	0,8	-0,2	0,5	0,2
Грудень	-1,3	0,8	2,1	0,7	-0,8	0,3	0,3
Січень	-1,0	1,6	2,6	0,8	0,9	0,4	-0,2
Лютий	-1,3	1,2	2,5	0,9	0,1	0,8	-0,2
Рік	0,1	2,5	2,6	0,7	0,5	1,2	1,2

Максимальна амплітуда відхилень спостерігалась в перше десятиріччя холодного півріччя, в останні два вона йде на спад, в тепле півріччя ситуація дещо інша, період з першого по другий спостерігається зростання амплітуди, а з третього по другий амплітуда не змінюється.

Якщо порівнювати десятиріччя між собою (див.табл.3) можна відмітити, що на станції Беллінсгаузен спостерігається тенденція зниження амплітуди відхилень приземної температури повітря від її середнього значення. Такі зміни відмічаються більш в холодному півріччі – 10,5°C, 8,6°C та 6,5°C. Натомість коли в тепле півріччя зовсім інша ситуація – з першого по друге десятиріччя відмічається ріст амплітуди відхилень, а з другого по третє її значення не змінилось – 2,2°C, 2,6°C, 2,6°C.

Таблиця 4.9 – Статистичні характеристики відхилень температури повітря від її середнього значення на станції Беллінсгаузен за три десятиріччя

Місяці	1991 - 2000			з 2001 - 2010 р			з 2011 - 2020 р		
	X _{мін}	X _{макс}	X _{макс} - X _{мін}	X _{мін}	X _{макс}	X _{макс} - X _{мін}	X _{мін}	X _{макс}	X _{макс} - X _{мін}
Холодне півріччя									
Березень	-1,3	1,3	2,6	-1,2	2,1	3,3	-1,1	0,5	1,6
Квітень	-2,0	1,6	3,6	-2,2	1,6	3,8	-2,7	2,2	4,9
Травень	-5,4	2,6	8,0	-2,9	1,9	4,8	-0,8	0,9	1,7
Червень	-4,9	3,5	8,4	-3,1	3,0	6,1	-2,2	2,5	4,7
Липень	-7,2	3,3	10,5	-5,9	2,7	8,6	-4,2	2,3	6,5
Серпень	-5,7	2,0	7,7	-3,3	2,9	6,2	-2,4	1,4	3,8
Вересень	-2,8	3,1	5,9	-1,6	2,1	3,7	-2,7	3,3	6,0
Жовтень	-3,0	1,0	4,1	-3,5	1,5	5,0	-1,0	1,3	2,3
Тепле півріччя									
Листопад	-1,5	0,7	2,2	-1,2	1,4	2,6	-1,0	0,9	1,9
Грудень	-0,8	1,2	2,0	-1,6	0,8	2,4	-1,3	0,8	2,1
Січень	-0,5	0,9	1,4	-1,3	1,0	2,3	-1,0	1,6	2,6
Лютий	-1,2	0,6	1,8	-1,4	1,1	2,5	-1,3	1,2	2,5

На станції найбільше значення максимального відхилення середньомісячної температури повітря спостерігається в перше десятиріччя

(1991-2000рр), його значення складає $3,5^{\circ}\text{C}$, найменше також у перше десятиріччя $-7,2^{\circ}\text{C}$.

Згідно з таблиці можна сказати, що на станції Беллінсгаузен за минулі 30 років відзначається тенденція збільшення температури повітря.

Проаналізувавши значення амплітуди відхилень температури повітря у бачимо, що у холодний період року спостерігається тенденція її зниження (як максимальних так и мінімальних значень). У теплий період з першого по другий спостерігається зростання амплітуди, а з третього по другий її значення не змінилось.

На рисунках 4.8 та 4.9 представлена динаміка екстремальних значень відхилень приземної температури повітря від її середнього значення окремо за кожне десятиріччя.

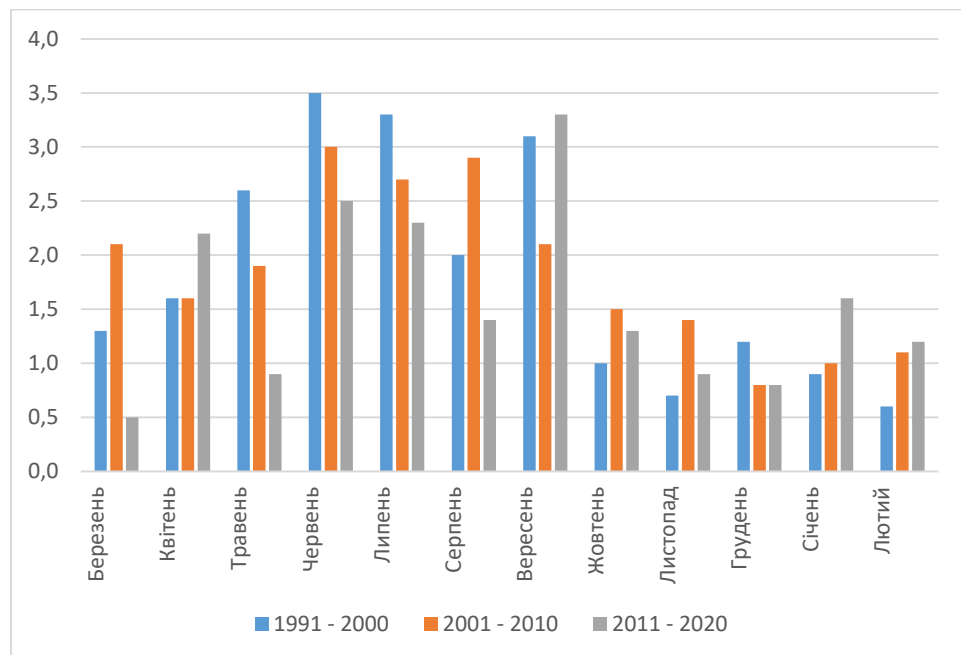


Рисунок 4.8 – Максимальні значення відхилення температури від її середнього значення за на станції Беллінсгаузен кожні 10 років

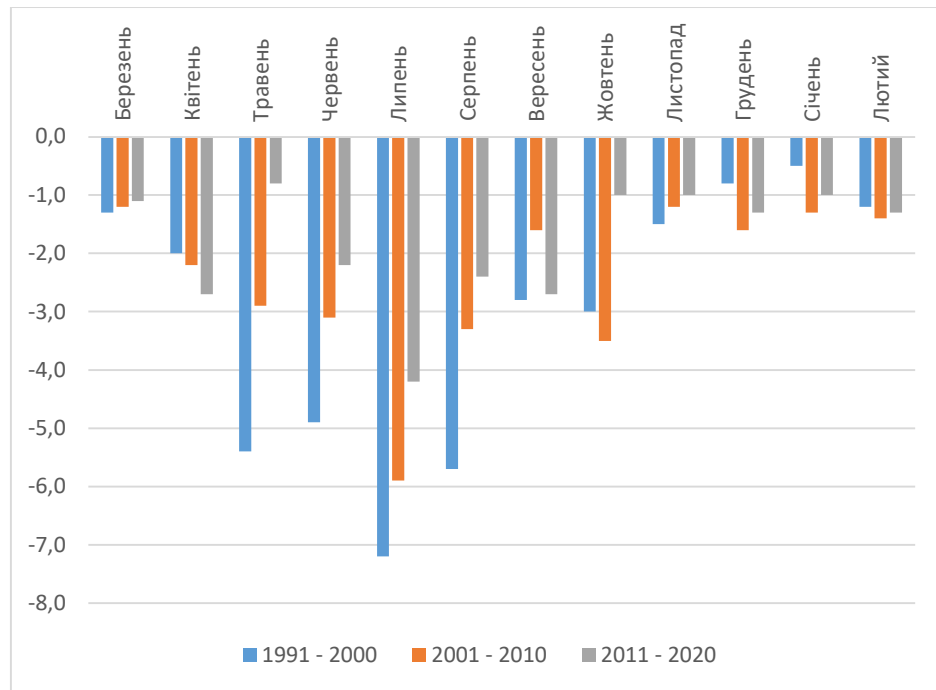


Рисунок 4.9 – Мінімальні значення відхилення температури від її середнього значення за на станції Беллінсгаузен кожні 10 років

З діаграм по максимумам (рис. 4.8) та мінімумам (рис. 4.9) відхилень температури повітря видно, що на станції Беллінсгаузен найбільші значення відхилень спостерігаються у холодний період року, а найменші відповідно у теплий.

4.2 Результати дослідження прихованих періодичностей в рядах температури повітря на антарктичній станції Беллінсгаузен

Узагальнюючи попередні результати відзначимо, що для рядів середньомісячної температури повітря усіх місяців і сезонів характерна їх значна часова мінливість.

Значний розкид даних від року до року ускладнює оцінку динаміку процесу, що досліджується. І це природньо, тому що будь-який часовий ряд

метеорологічних величин $x(t)$, як правило, складається з суперпозиції трьох компонент: $x_1(t)$ – детермінована основа процесу, $x_2(t)$ – випадкова корельована складова і $x_3(t)$ – випадкова не корельована складова типу «білий шум»:

$$x(t) = x_1(t) + x_2(t) + x_3(t).$$

Детермінована основа в свою чергу складається з трендів і довгоперіодних коливань, які відбивають (в залежності від періоду усереднення величин, що складають часовий ряд) хід процесу (віковий, річний, сезонний або добовий) [7].

Тобто характер змін у часі метеорологічної величини, що досліджується, найбільш чітко простежується за його детермінованою основою. Для її виділення можуть бути використані різні операції **згладження**: за допомогою простої ковзкої середньої або більш теоретично обґрунтованих методів згладження.

З метою виявлення періодичностей, характерних для часових рядів температури повітря різного часового розв'язання, виконано дослідження періодичностей, які заховані у випадкових часових рядах. В роботі передбачається: виявлення за допомогою перетворення Фур'є періодичностей процесу та їх аналіз, виділення детермінованої основи процесу шляхом згладження з врахуванням періодичності процесу і його початкової фази, перетворення нестационарного ряду до квазістационарного та інше.

У результаті перетворення Фур'є отримана залежність амплітудних коливань від частоти, яка називається амплітудно-частотною характеристикою часового ряду. Для виключення випадкових піків амплітуд проводиться згладження амплітудно-частотної характеристики за допомогою фільтра Т'юкке.

Для визначення основних закономірностей часового розподілу рядів температури повітря різного часового розв'язання і встановлення характеру змін в температурному режимі за 50 річний період (1971-2020 рр) і виділення

детермінованої основи проведено за допомогою найпростішого статистичного фільтру: фільтруючою функцією являлась ковзна середня з рівною вагою, яка розраховується шляхом підсумовування n послідовних величин часового ряду і поділенням отриманої суми на n .

Отже всі вихідні багаторічні данні приземної температури повітря були проаналізовано з метою виявлення прихованих періодичностей, яке проводилося за допомогою швидкого перетворення Фур'є з ймовірністю 68%. Результати аналізу наведені в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10– Значущі періоди коливань приземної температури повітря на станціях Західної Антарктиди, роки

станція	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сер.річ.
Беллінсгаузен	2.0	2.0	9.0	3.0	2.0	2.0	9.0	2.0	7.0	3.0	2.0	2.0	7.0

Як бачимо, для більшості місяців року, на станції Беллінсгаузен найбільш характерні коливання з періодом два роки. Також зустрічаються квазітрьох-, семи- та дев'ятирічні коливання. Найменші періоди коливань виявлені в літній сезон – квазідворічні, а найбільші періоди можливі у холодний період у березні та липні – 9,0 років.

Результати аналізу прихованих періодичностей використовувались при згладжуванні осереднених рядів приземної температури повітря. На основі згладжених рядів побудовано лінійні тренди, які показують напрямок зміни температури та величину цих змін.

В таблиці 4.11 представлені характеристики трендової складової приземної температури повітря на станції Беллінсгаузен: жирним шрифтом виділені найбільші додатні значення тренду, а жирним шрифтом та курсивом – найбільші від'ємні.

Таблиця 4.11– Значення трендової складової приземної температури повітря (°C) на станції Беллінсгаузен за період 1971-2020 рр.

Станція	значення тренду												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Bellingshausen	0,4	0,3	0,4	0,2	2,5	1,6	2,0	2,3	1,1	0,2	0,1	-0,2	0,9

Як видно з даних таблиці 4.11, що найбільш істотні зміни в рядах приземної температури повітря на станції Беллінсгаузен за період 1971-2020 рр. спостерігаються в грудні, де трендова складова має найбільше від’ємна значення – -0,2 °C, що вказує на зниження температури до кінця досліджуваного періоду, але найбільше додатне значення трендової складової спостерігається у травні – 2,5 °C, що вказує на значний ріст температури повітря до кінця досліджуваного періоду.

ВИСНОВКИ

В результаті проведеного аналізу температурного режиму на антарктичній станції Беллінсгаузен за 50-річний період (1971-2020 рр.) з використанням методів статистичного аналізу можна зробити наступні висновки:

- аналізуючи динаміку середньомісячної приземної температури повітря у прибережній зоні можемо стверджувати, що спостерігаються стійкі значення приземної температури повітря, тобто середні значення температур за 50 років і за 30 років – однакові;

- якщо розглядати зміну температур за три останніх десятиріччя, то на станції Беллінсгаузен мінімальні значення середньомісячної температури повітря у холодний період поступово підвищуються кожне десятиріччя. У теплий період на станції Беллінсгаузен також спостерігається підвищення мінімумів середньомісячної температури повітря;

- максимуми середньомісячних температур повітря у теплий період року у прибережній зоні не змінюються;

- аналізуючи максимуми та мінімуми амплітуди відхилень середньомісячної температури повітря у холодний період року, то їх різниця з кожним роком зменшується, у теплий період така тенденція спостерігається у період з 2011 по 2020 роки;

- найбільш характерні коливання з періодом два роки, також зустрічаються квазітрьох-, семи- та дев'ятирічні коливання.

В цілому у прибережному районі підвищення середньомісячної приземної температури повітря відбувається за рахунок зростання мінімальних температур повітря, а також за рахунок зростання середніх температур у холодний період.

Отже, порівнявши десятиріччя між собою бачимо, що на станції Беллінсгаузен відмічається тенденція зниження відхилень середньомісячної температури повітря. Такі зміни більш помітні у холодний період року. На

станції найбільше значення максимального відхилення середньомісячної температури повітря спостерігається в перше десятиріччя (1991-2000pp), його значення складає $3,5^{\circ}\text{C}$, найменше також у перше десятиріччя ($-7,2^{\circ}\text{C}$).

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бахмутов В. Г. Геологические и палеомагнитные исследования в западной Антарктике (район аргентинских островов) и их значение для палеотектонических реконструкций Антарктического полуострова // Бюллетень УАЦ, 2002. – Вып. 4 – с.11-25.
2. Аверьянов В.Г. Гляциоклиматология Антарктиды. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. - 1999с.
3. Балакин В.И., Зенковский В.В., Скрыпник В.В. Метеорологические и синоптические условия в феврале-апреле 1997 года в Антарктическом секторе юго-западной Атлантики // Бюллетень УАЦ, 1997. – Вып. 1 – с.92-99.
4. Говоруха Л. С. Краткая географическая и гляциологическая характеристика архипелага Аргентинские острова // Бюллетень УАЦ, 1997.-Вып. 1.– с.17-19.
5. Краковская СВ. Метеорологические рекорды и анализ температурного режима станции Фарадей – Академик Вернадский // Бюллетень УАЦ, –1998. Вып. 2. – с. 64-69.
6. Мартазинова В.Ф., Свердлык Т.А. Крупномасштабная атмосферная циркуляция XX столетия, ее изменения и современное состояние. Труды Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института. Выпуск 246, Киев 1998, – 215 с.
7. Школьний Є.П., Лоева І.Д., Гончарова Л.Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації. – Одеса, 1999. – 600 с.
8. Природна історія Антарктиди: веб-сайт. URL:
<https://expedicia.org/prirodna-istoriya-antarktiki/> (Дата звернення:
15.06.2021)

9. План характеристики клімату: веб-сайт. URL:
ni.biz.ua/1/1_6/1_65063_plan-harakteristiki-klimata.html (Дата звернення: 15.05.2022)
10. Антарктичний півострів: веб-сайт. URL:
https://vue.gov.ua/%D0%90%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%BF%D1%96%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%80%D1%96%D0%B2 (Дата звернення: 14.06.2021)
11. Ледник Дедмана – самая глубокая впадина на суше. Фотографии: веб-сайт. URL:
<https://www.bbc.com/russian/features-50793133.amp> (Дата звернення: 14.06.2021)
12. Погода и климат Антарктиды: веб-сайт. URL:
<https://m.jazztour.ru/antarctica/pogodaiklimat/> (Дата звернення: 15.12.2021)
13. Планета Антарктида: веб-сайт. URL:
<https://www.rgo.ru/ru/article/planeta-antarktida> (Дата звернення: 15.12.2021)
14. Походження льодовиків і їх поширення на Землі: веб-сайт. URL:
<https://ru.osvita.ua/vnz/reports/geograf/26107/> (Дата звернення: 15.06.2021)
15. В Антарктиде внезапно исчезло озеро: веб-сайт. URL:
<https://korrespondent.net/tech/science/4372015-v-antarktyde-vnezapno-yschezlo-ozero> (Дата звернення: 15.12.2021)
16. Современные исследования Антарктиды, как влияет деятельность человека на экологию материка: веб-сайт. URL:
<https://ekoin.ru/ekologicheskie-problemy/sovremennye-issledovaniya-antarktidy-kak-vliyaet-deyatelnost-cheloveka-na-ekologiyu-materika.html> (Дата звернення: 15.05.2022)

17. Географические особенности Антарктиды: веб-сайт. URL: <http://bukvar.su/geografija/40391-Geograficheskie-osobennosti-Antarktidy.html> (Дата звернення: 13.06.2021)
18. Корисні копалини Антарктики, П.Ф.Гожик, Г.М.Орловський // Бюлетень УАЦ, - Вип. 4. – с. 46.
19. Полезные ископаемые Антарктиды: веб-сайт. URL: <https://сезоны-года.рф/полезные%20ископаемые%20Антарктиды.html> (Дата звернення: 15.06.2021)
20. South Pole Station: веб-сайт. URL: <https://www.southpolestation.com/> (Дата звернення: 22.05.2022)
21. Станция Амундсен-Скотт, Антарктида: веб-сайт. URL: <https://www.orangesmile.com/extreme/ru/top-physics-labs/amundsen-scott-station.htm> (Дата звернення: 14.06.2021)
22. План управління Особо управляемим районом Антарктики №5: Южнополярная станция Амундсен-Скотт (Южный Полюс): веб-сайт. URL: https://documents.ats.aq/recatt/att357_r.pdf (Дата звернення: 15.12.2021)
23. British Antarctic Survey: веб-сайт. URL: <https://legacy.bas.ac.uk/> (Дата звернення: 10.06.2021)

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А1 – Багаторічні середньомісячні приземні температури повітря на антарктичній станції Беллінсгаузен

Роки	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	рік
1971	1,5	0,8	0,7	-1,1	-6,6	-3,0	-4,9	-5,9	-4,4	-1,6	-0,5	-0,8	-2,2
1972	1,0	0,5	-0,4	-2,7	-3,3	-7,1	-6,3	-10,9	-4,6	-2,8	-1,4	0,9	-3,1
1973	0,1	0,9	0,1	-2,3	-5,9	-8,6	-7,2	-4,9	-6,1	-2,5	-0,9	0,4	-3,1
1974	1,3	1,9	1,3	-3,4	-3,7	-5,7	-4,8	-7,7	-5,1	-1,9	-1,4	1,2	-2,3
1975	1,1	1,0	0,3	-1,5	-4,1	-7,0	-11,4	-10,9	-5,3	-1,2	-1,6	0,2	-3,4
1976	1,0	1,7	0,7	-0,3	-2,2	-5,1	-10,4	-8,6	-6,4	-3,0	-1,1	-0,4	-2,8
1977	1,0	1,2	0,0	-0,8	-2,5	-4,7	-8,5	-7,9	-6,8	-3,7	-0,8	0,0	-2,8
1978	1,4	1,7	0,5	-0,8	-1,1	-4,6	-11,1	-8,1	-3,7	-2,2	-2,0	-0,1	-2,5
1979	1,9	1,7	0,8	-0,6	-3,5	-5,2	-4,3	-5,6	-3,4	-3,1	-1,8	0,5	-1,9
1980	2,0	1,5	-0,2	-4,8	-2,7	-5,9	-11,7	-11,6	-7,8	-3,2	-2,9	-0,1	-4,0
1981	0,8	1,6	-0,5	-1,2	-4,0	-4,3	-4,4	-9,8	-4,9	-4,6	-1,5	0,2	-2,7
1982	2,3	2,0	0,9	-0,4	-1,3	-3,1	-7,3	-6,3	-5,6	-3,6	-2,0	0,8	-2,0
1983	1,3	1,0	0,4	-0,8	-3,4	-4,8	-5,1	-3,2	-4,6	-2,8	-0,4	0,8	-1,8
1984	1,0	1,7	0,7	-1,7	-6,4	-4,8	-4,4	-3,7	-1,4	-3,2	-0,7	1,0	-1,8
1985	2,2	1,7	-1,0	-1,1	-4,1	-4,6	-3,4	-3,9	-1,6	-1,4	-0,1	0,8	-1,4
1986	1,1	0,8	1,1	-1,7	-8,0	-7,1	-7,7	-6,9	-5,7	-3,2	-3,0	-0,6	-3,4
1987	0,8	0,9	0,1	-3,0	-6,0	-7,5	-13,7	-4,8	-6,6	-3,1	-0,5	0,5	-3,6
1988	1,2	2,2	-0,1	-1,7	-2,3	-6,8	-5,6	-8,8	-4,4	-3,3	-2,1	-0,5	-2,7
1989	1,2	2,3	1,9	-4,8	-1,2	-2,1	-1,2	-2,2	-3,2	-0,8	-0,3	1,0	-0,8
1990	2,2	2,5	0,8	-4,8	-5,5	-4,5	-5,4	-5,5	-4,0	-2,6	-1,2	0,2	-2,3
1991	1,3	0,4	-0,9	-2,9	-7,4	-10,0	-6,3	-7,3	-3,5	-3,9	-1,3	-0,3	-3,5
1992	2,3	1,3	-0,9	-0,7	-8,8	-8,8	-7,6	-4,7	-3,4	-3,3	-1,2	1,7	-2,8
1993	1,5	1,8	-0,2	-1,3	-2,5	-3,9	-3,7	-4,2	-3,8	-2,5	-0,8	-0,1	-1,6
1994	1,4	1,2	0,4	-1,4	-4,0	-4,5	-11,2	-4,1	-4,4	-6,0	-0,5	0,5	-2,7
1995	2,0	1,7	-0,2	-1,5	-2,7	-7,1	-13,7	-11,8	-6,6	-2,2	-1,5	0,7	-3,6
1996	1,4	2,2	1,0	-1,6	-2,2	-5,1	-3,8	-4,6	-2,0	-2,0	-0,6	0,8	-1,4
1997	2,7	2,0	1,7	-1,0	-1,6	-4,4	-6,6	-5,7	-7,9	-3,3	-2,6	0,4	-2,2
1998	2,4	2,1	0,9	0,7	-1,7	-1,6	-4,8	-7,0	-7,8	-2,8	-0,7	0,2	-1,7
1999	1,7	1,9	1,6	0,7	-0,8	-3,7	-3,6	-5,2	-5,6	-2,2	-0,4	0,8	-1,2
2000	1,6	1,7	0,7	0,0	-1,8	-2,2	-3,2	-6,6	-6,2	-2,2	-1,5	-0,1	-1,7
2001	1,2	0,1	-0,3	-3,3	-1,2	-5,3	-6,7	-3,3	-3,3	-1,4	-0,8	0,7	-2,0
2002	1,8	2,3	-0,4	-0,1	-5,7	-8,5	-6,9	-5,1	-3,1	-6,0	-1,9	0,7	-2,7
2003	2,6	2,0	-0,4	-0,9	-2,6	-7,1	-6,3	-2,1	-2,8	-2,6	-2,3	-1,4	-2,0
2004	0,9	1,4	0,7	-1,8	-2,7	-2,6	-3,6	-4,2	-4,5	-2,7	-1,0	0,1	-1,7
2005	1,1	1,7	-0,2	-1,1	-3,4	-7,1	-6,5	-3,8	-2,6	-1,9	-0,9	-0,2	-2,1
2006	2,6	2,6	2,4	-0,6	-0,9	-3,9	-4,0	-8,2	-5,1	-1,7	-0,7	0,9	-1,4
2007	2,0	1,6	-0,9	-3,9	-4,6	-7,2	-12,2	-5,4	-3,5	-3,9	-2,4	0,1	-3,4
2008	1,2	1,7	0,5	-1,7	-1,7	-3,2	-3,6	-4,8	-1,4	-1,2	-0,4	1,0	-1,1
2009	1,8	1,4	1,2	-1,7	-3,2	-6,9	-8,3	-8,3	-4,9	-2,7	-2,5	0,1	-2,8
2010	0,3	0,1	-0,1	-2,0	-2,4	-2,4	-4,4	-4,6	-3,5	-1,0	0,1	-0,2	-1,7
2011	1,0	2,0	0,6	-4,2	-2,8	-6,5	-9,5	-8,5	-6,2	-1,8	-0,9	0,7	-3,0
2012	1,4	0,6	0,8	-4,4	-2,8	-6,6	-5,8	-4,7	-5,5	-3,7	-2,4	-1,3	-2,9
2013	0,4	0,6	0,1	0,5	-3,5	-4,5	-6,3	-7,5	-5,5	-2,8	-2,0	-1,4	-2,7
2014	0,0	-0,1	-0,6	-1,3	-2,9	-4,5	-3,0	-5,3	-4,7	-2,5	-2,4	-0,4	-2,3
2015	0,6	1,4	0,6	-0,9	-3,0	-6,9	-7,7	-5,7	-7,5	-2,3	-1,9	-0,6	-2,8
2016	0,3	0,4	0,5	-3,1	-2,2	-2,2	-4,4	-6,6	-1,5	-1,4	-0,9	0,3	-1,7
2017	1,5	2,0	1,0	-1,3	-1,8	-5,1	-3,6	-5,0	-4,1	-3,1	-1,5	0,2	-1,7
2018	1,4	2,4	0,7	-0,7	-2,2	-3,9	-4,1	-4,9	-3,5	-2,6	-0,8	0,4	-1,5
2019	0,7	0,3	0,2	-1,3	-3,3	-3,7	-4,3	-5,5	-4,5	-3,1	-0,5	0,2	-2,1
2020	2,6	2,2	0,8	-0,7	-2,3	-3,2	-4,3	-7,5	-5,0	-3,4	-0,5	0,5	-1,7