

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра метеорології та кліматології

Кваліфікаційна робота бакалавра

на тему: Сучасні зміни метеорологічного режиму в районі
антарктичної станції Оркадас

Виконала студентка групи МКА-41
Спеціальності 103 «Науки про Землю»

Чешкова Ірина Андріївна
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

Керівник к.геогр.н., доцент
Прокоф'єв Олег Милославович

Консультант _____ - _____

Рецензент д.геогр.н., доцент
Овчарук Валерія Ангатоліївна

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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.

«05» травня 2021 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

студентці Чешковій Ірині Андріївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Сучасні зміни метеорологічного режиму в районі антарктичної станції Оркадас

керівник роботи Прокоф'єв Олег Милославович, к.геогр.н., доцент

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

затверджені наказом ОДЕКУ від «18» грудня 2020 року № 254 - С

2. Строк подання студентом роботи 10 червня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи Дослідження динаміки метеорологічного режиму району антарктичної станції Оркадас проводити за даними Британського Антарктичного центру. Вихідні дані представляють собою середньомісячні значення метеорологічних величин (приземної температури повітря, атмосферного тиску, швидкості вітру) за період з 1981 по 2020рр.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Проаналізувати тенденції багаторічних змін метеорологічного режиму досліджуваного регіону; розрахувати та проаналізувати статистичні характеристики досліджуваних метеорологічних величин; визначити значущі періоди коливань; визначити та проаналізувати трендові складові досліджуваних метеорологічних величин за сорокарічний період; розрахувати та проаналізувати аномалії досліджуваних метеорологічних величин за десятирічні періоди з 1981 по 2020рр.

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

Графіки річного ходу приземної температури повітря, атмосферного тиску та швидкості вітру; графіки міжрічної досліджуваних метеорологічних величин;

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 05 травня 2021 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.	05.05.2021 р. – 10.05.2021 р.	80	4 <i>(добре)</i>
2.	Розрахунок та аналіз основних статистичних характеристик досліджуваних метеорологічних величин.	11.05.2021 р. – 13.05.2021 р.	75	4 <i>(добре)</i>
3.	Визначення прихованих періодичностей в часових рядах температури повітря, атмосферного тиску та швидкості вітру, побудова згладжених рядів.	14.05.2021 р. – 17.05.2021 р.	70	3 <i>(задовільно)</i>
4.	<i>Рубіжна атестація</i>	<i>17.05.2021 р. – 22.05.2021 р.</i>	75	4 <i>(добре)</i>
5.	Визначення трендових складових в часових рядах досліджуваних метеорологічних величин для кожного місяця року. Аналіз отриманих результатів.	18.05.2021 р. – 23.05.2021 р.	88	4 <i>(добре)</i>
6.	Розрахунок аномалій досліджуваних метеорологічних величин. Аналіз отриманих результатів	24.05.2021 р. – 01.06.2021 р.	90	5 <i>(відмінно)</i>
7.	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату.	02.06.2021 р. – 10.06.2021 р.	88	4 <i>(добре)</i>
8.	Перевірка роботи на плагіат, складення протоколу і висновку керівника. Підписання авторського договору.	10.06.2021 р.- 12.06.2021 р.	-	-
9.	Підготовка паперової версії кваліфікаційної роботи бакалавра і презентаційного матеріалу захисту.	-	-	-
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)	-	82,0	-

Студентка _____
(підпис)

Чешкова І.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Прокоф'єв О.М.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 МЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ РЕЖИМ І КЛІМАТ АНТАРКТИДИ	6
1.1 Антарктична суша і своєрідність її як підстильної поверхні	6
1.2 Сучасні кліматичні зміни Південної полярної області	11
1.3 Термічний режим Антарктиди	12
1.4 Баричний та вітровий режими Антарктиди	13
2 ВИХІДНА ІНФОРМАЦІЯ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	18
2.1 Характеристика вихідної інформації.....	18
2.2 Методи дослідження	18
2.2.1 Методи розрахунку основних статистичних параметрів.....	18
2.2.2 Методи розрахунку аномалій температури повітря	21
3 СУЧАСНІ ЗМІНИ ТЕРМІЧНОГО РЕЖИМУ АНТАРКТИЧНОЇ СТАНЦІЇ ОРКАДАС	23
3.1 Статистичні характеристики приземної температури повітря.....	23
3.2 Особливості багаторічних змін приземної температури повітря.....	24
3.3 Динаміка аномалій приземної температури повітря	26
4 СУЧАСНІ ЗМІНИ БАРИЧНОГО РЕЖИМУ АНТАРКТИЧНОЇ СТАНЦІЇ ОРКАДАС	29
4.1 Статистичні характеристики атмосферного тиску на рівні станції	29
4.2 Особливості багаторічних змін атмосферного тиску	30
4.3 Динаміка аномалій атмосферного тиску.....	31
5 СУЧАСНІ ЗМІНИ ВІТРОВОГО РЕЖИМУ АНТАРКТИЧНОЇ СТАНЦІЇ ОРКАДАС	34
5.1 Статистичні характеристики швидкості вітру на рівні станції	34
5.2 Особливості багаторічних змін швидкості вітру	35
5.3 Динаміка аномалій швидкості вітру	36
ВИСНОВКИ.....	39
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	42

ВСТУП

Антарктида – континент, розташований на самому півдні Землі, центр Антарктиди приблизно збігається з південним географічним полюсом. Антарктиду омивають води Південного океану [1-2].

Антарктида – найхолодніший з усіх материків. Антарктида різко відрізняється від всіх інших материків. Потужним шаром льоду покритий майже весь материк. Завдяки колосальному зледенінню, Антарктида – найвищий материк на землі, його середня висота перевищує 2000 м понад 1/4 її поверхні знаходиться на висоті понад 3000 м. Антарктида – це єдиний материк, на якому немає жодної постійної річки, і тим не менш на ній знаходиться у вигляді льоду 62% прісних вод землі.

Якщо видалити з Антарктиди весь льодовиковий покрив, вона буде схожа на всі інші материки зі складним рельєфом – гірськими хребтами, рівнинами і глибокими западинами. Важливою відмінністю від інших материків є повна відсутність державних кордонів і постійного населення.

Більшість розвинених країн світу мають свої науково-дослідні станції в Антарктиді. Не є виключенням і Аргентина. Аргентині належить антарктична станція Оркадас, яка розташована на острові Лорі, одному з Південних Оркнейських островів, має висоту 4 м над рівнем моря і 170 м від урізу води. Оркадас – найстарша з нині діючих антарктичних станцій. Використовуючи метеорологічні дані з цієї станції можна прослідити динаміку метеорологічного режиму регіону її розташування та визначити вплив кліматичних змін на цей режим.

В роботі представлений аналіз багаторічної динаміки метеорологічного режиму на станції Оркадас (північна околиця Антарктичного півострову). В якості вихідних даних використовувались середньомісячні значення наступних метеорологічних величин:

- приземна температура повітря;

- атмосферний тиск на рівні станції;
- напрямок та швидкість вітру.

Вихідні дані отримані з бази даних Британського Антарктичного Центру, період дослідження складає 40 років (з 1981 по 2020рр.).

В роботі виконані наступні задачі:

- розраховані та проаналізовані статистичні характеристики досліджуваних метеорологічних величин;
- розраховані та проаналізовані значущі періоди коливань, характерні для кожного досліджуваного процесу;
- визначено багаторічну динаміку приземної температури повітря, атмосферного тиску, напрям та швидкість вітру за досліджувальний період;
- розраховані та проаналізовані аномалії досліджувальних метеорологічних величин за десятирічний період з 1981 по 2020рр.

Актуальність роботи обумовленою моніторингу метеорологічного режиму Антарктиди в світі сучасних кліматичних змін [3-7].

1 МЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ РЕЖИМ І КЛІМАТ АНТАРКТИДИ

1.1 Антарктична суша і своєрідність її як підстильної поверхні

Антарктида – самий ізольований і єдиний материк, що не має корінного населення. Влітку чисельність тимчасових жителів, ймовірно, складає біля 4000 чоловік, взимку – 1500 чоловік. Ніхто ще не жив тут довше 18 місяців.[8]

Майже вся Антарктида розташована на південь від Південного полярного кола ($66^{\circ} 33'$ пд. ш.), який відстань від Південного полюса на 2600 км. Південний полярний круг є межею, на південь від якої Сонце не підіймається над горизонтом під час зимового сонцестояння (21 червня) і не заходить за горизонт під час літнього сонцестояння (21 грудня). У напрямку до полюса тривалість полярного дня і полярної ночі зростає, досягаючи на Південному полюсі в тому і іншому випадку півроку. [9]

Антарктида за межі Південного полярного круга виходять тільки Антарктичний півострів, що тягнеться майже до південного краю Південної Америки, і деякі миси на протилежній стороні материка. В двох місцях берегова лінія материка вдається далеко на південь, утворюючи море Роса в Тихоокеанському і море Ведделла в Атлантичному секторах. Антарктида підрозділяється на дві крупні частини, істотно що розрізняються по геологічній будові і особливостям рельєфу. Східна Антарктида займає велику частину материка і має форму майже правильного півкола. На суші її обмежують Трансантарктичні гори, що тягнуться від мису Адер до Землі Котса. Східна Антарктида знаходиться приблизно між 170° сх. д. і 30° з. д. Західна Антарктида має набагато меншу площу, і значну її частину займає Антарктичний півострів [8-9].

На захід від Грінвічського меридіана знаходяться наступні райони. Між 10° і 35° з. д. тягнеться Земля Котса. В південній частині моря Уедделла розташовані шельфові льодовики Фільхнера і Ронне, що примикають до Землі Едіт Ронне. На захід від цього району між 60° і 110° з.д. лежить Земля Елсуерта. В цьому секторі багато окремих гірських вершин – нунатаків, що підносяться над поверхнею льоду, а вища точка Антарктиди – масив Вінсон (4897 м) був приурочений до хребта Сентінеел. На схід від Землі Елсуерта розташований Антарктичний п-ів, а західніше – Земля Мері Берд. На захід від Землі Мері Берд тягнеться обширний шельфовий льодовик Роса, який виходить до моря Роса. Антарктичний п-ів і Земля Мері Берд є як би відособленою областю Антарктиди, оскільки подошва льодовикового щита між льодовиками Ронне і Роса була прогнута нижче за рівень моря. Якби тут розтанув весь лід, Земля Мері Берд відділилася б протокою від решти Антарктиди. На захід від моря Роса розташована Земля Вікторії, край величких льодовиків, що спускаються до моря з гір заввишки 3000 – 4500м. Земля Уїлкса, розташована між 150° і 90° сх.д., займає приблизно 1/5 всієї площі Антарктиди. Тут вивідні і шельфові льодовики утрудняють пересування дослідницьких загонів. В морі недалеко від берега напроти Землі Уїлкса знаходиться Південний магнітний полюс. Його зразкові координати 65° пд. ш. і 140° з.д. Квадрант між 0° і 90° з.д. включає Землю Королеви Мод, Землю Ендербі, Беріг Мак-Робертсона і Американську піднесеність. Антарктичні моря Роса, Уедделла, Беллінсгаузена і Амундсена мають зручні добре укріті підходи до материка. Антарктида – крижаний континент, де зосереджено приблизно 30 млн. км кубического льоду, або 90% всіх льодів суші. Середня потужність льоду 2500–2800 м, а максимальна в деяких районах Східної Антарктиди –4800 м [1, 8-9].

Найбільша висота крижаної поверхні в Східній Антарктиді перевищує 4100м над рівнем моря. Тільки 2% території Антарктиди вільні від льоду – головним чином в західній частині материка і Трансантарктичних горах. Це

або ділянки побережжя, або окремі гребені і вершини (нунатаки), що підносяться над крижаною поверхнею [8].

Льодовиковий покрив має в цілому куполовидну форму, причому крутизна поверхні зростає у напрямку до побережжя, де зосереджені кінці вивідних льодовиків і шельфові льодовики або крижані уступи [1, 2, 7]

В місцях отелення айсбергів витрата льоду оцінюється в 2500 км³ в рік. Антарктичні айсберги вражають своїми розмірами, рекордними для Землі. Так, наприклад, один з них, що утворився на початок 1990-х років, досягав в довжину 154 км, а завширшки – 35 км. Антарктичні льоди нагромаджувалися протягом багатьох сотень тисяч літ, і в них була відображена історія формування земної атмосфери. В Антарктиді були пробурені три глибокі свердловини: на станції Берд в 1968 глибиною 2160 м, на станції Схід в 1991 глибиною 2600 м і на побережжі Східної Антарктиди на станції Лоу-Будинок в 1993 році і глибиною 1200 м [9].

Влітку льодовиковий покрив збільшується на 3–4 млн. кв. км за рахунок розростання шельфових льодовиків, особливо навкруги Антарктичного п-ва і в морі Роса. Взимку океан навкруги Антарктиди замерзає. Таким чином формуються морські льоди на площі біля 17 млн. кв. км, які тануть в кінці весни – початку літа. Східна Антарктида є стародавній кратон, породи якого на Землі Ендербі утворилися майже 4 млрд. років тому. Поверхня кристалічного фундаменту, що залягає переважно на невеликій висоті над рівнем моря, була вихолоджена. Вік порід фундаменту, як правило, коливається в межах 2,5–2,8 млрд. років. Фундамент утворився в ході декількох крупних етапів орогенезу, що знайшло віддзеркалення в складі і будові складаючи порід. Близько 1,1–1,4 млрд. років тому в Східній Антарктиді відбувалося формування гранітів шляхом упровадження і виверження розплавленої магми. Після того, як був сформований фундамент, протягом довгого часу відбувалося опадонакопичення в морських і континентальних умовах. Головна опадова свита (група Бікон) включає різноманітні породи, складаючи живописні вершини і скелясті схили

Трансантарктичних гір. Багато хто з цих гірських порід сформувався 350–190 млн. років тому і містять викопні залишки рослин і тварин, включаючи динозаврів і земноводних (наприклад, *Lystrosaurus*) [9]. Це свідчить про те, що природні обстановки того часу дуже сильно відрізнялися від сучасних, хоча Південний полюс тоді знаходився або на території самої Антарктиди, або поблизу неї. Льодовикові відкладення найбільш характерні для періоду 320–280 млн. років тому, коли Антарктида вперше перемістилася в полярний район. Крупною геологічною подією, що завершила період формування гірських порід групи Бікон, з'явилася інтрузія величезної маси сірої гірської породи долерита. Подібні гірські породи були знайдені також в Тасманії і інших районах, які ніколи входили до складу стародавнього суперконтиненту Гондвана. Західна Антарктида в цілому більш молода і більш розчленована територія із значними висотами над рівнем моря. Наприклад, хребет Сентініел з його баштовидними вершинами складається з окремих блоків, деякі з них виникли під час етапу горотворення, зв'язаного з розпадом Гондвани, а інші – під час занурення плити в південно-східній частині Тихого океану під Антарктичний п-ів. Утворення багатьох гірських порід було пов'язано з вулканічною діяльністю, максимальна активність якої доводилася на період 180–110 млн. років тому. Гіпотеза про існування стародавнього обширного суперконтиненту, до складу якого входила і Антарктида, була підтверджена знахідкою зразка з відбитками стародавньої викопної рослини з р. *Glossopteris*, характерного для флори Гондвани (цей зразок був знайдений в наметі Роберта Ф.Скотта, загиблого по дорозі назад з Південного полюса в 1912). Роздроблення Гондвани здійснювалося у декілька етапів, які добре були вивчені. Африка і Південна Америка почали розділятися одночасно з утворенням Атлантичного океану приблизно 130 млн. років тому [8-9].

Індія виділилася дещо пізніше, приблизно 120 років тому. Останніми відділилися Австралія і Нова Зеландія – біля 86 млн. років тому. Розпад Гондвани привів до ізоляції Антарктиди. Навкруги неї сформувалася

океанічна циркуляція, клімат материка ставав все холоднішим і відповідно, розвивалося покривне заледеніння. Сучасний льодовиковий покрив Антарктиди сформувався декілька мільйонів років тому. Передуюча заледенінню геологічна історія реконструюється за наслідками вивчення безлічі невеликих оголень корінних порід і кернів, відібраних при бурінні морського дна. Отримані дані свідчать, що материк, на якому виростала рослинність, споріднена тієї, яка зараз розвивається у вологих лісах помірного пояса Південної півкулі (на Тасманії, Новій Зеландії, півдні Південної Африки), перетворився на льодовий континент. Антарктида характеризується мінімальною в порівнянні з іншими материками сейсмічною активністю. Перший землетрус там був відзначений тільки в 1985р. Найбільший діючий вулкан – гора Еребус, а інші вогнища вулканізму (на о. Десепшн і гора Мельбурн) знаходяться в стані тимчасового спокою. Ще один діючий вулкан знаходиться під льодовиковим покривом Західної Антарктиди дивитися (рис 1.1) [8-9]

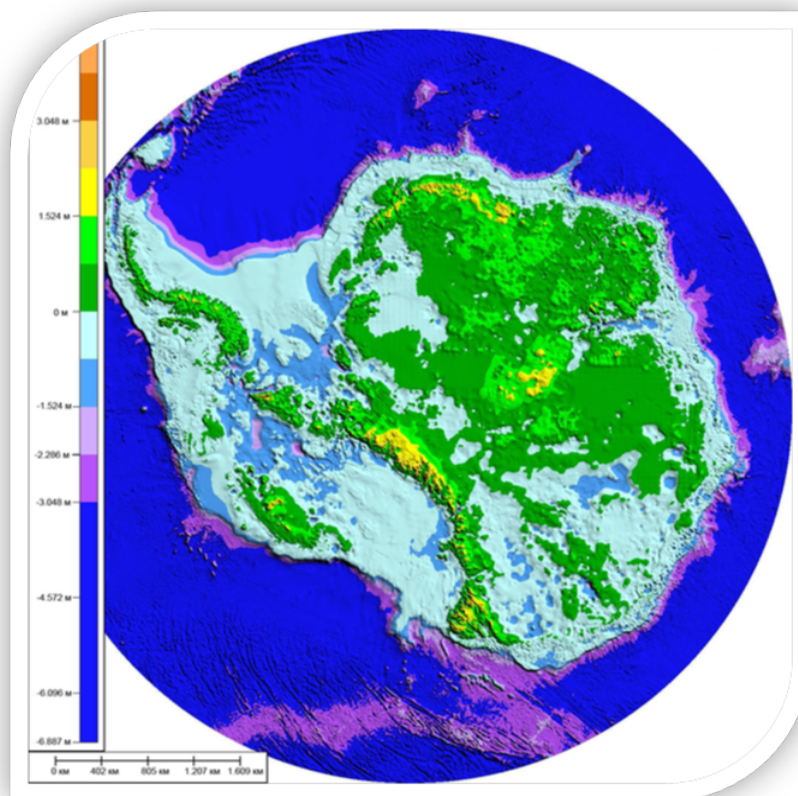


Рисунок 1.1 – Карта антарктиди

Якщо видалити з Антарктиди весь льодовиковий покрив, вона буде схожа на всі інші материки зі складним рельєфом - гірськими спорудами, рівнинами і глибокими западинами. Важливою відмінністю від інших материків є повна відсутність державних кордонів і постійного населення [8].

1.2 Сучасні кліматичні зміни Південної полярної області

Антарктида – найхолодніший материк нашої планети. У Східній Антарктиді зафіксована найнижча температура повітря - $-89,2^{\circ}\text{C}$ (російська станція «Восток» 21 липня 1983 г.) [1, 8].

Територія Антарктиди практично повністю розташовується в антарктичному кліматичному поясі. Тільки північно-західний край Антарктичного півострова лежить в субантарктичному кліматичному поясі. Взимку протягом декількох місяців триває полярна ніч. У період тривалого полярного дня Антарктида отримує багато сонячної радіації, але до 90% її відбивається крижаною поверхнею назад у атмосферу. Охолоджуючу дію на клімат материка надає і материкове заледеніння. Над материком через сильний постійного охолодження повітря формується величезна область високого тиску, а над менш холодними водами Антарктики утворюється область низького тиску. Холодні повітряні маси стікають з високих центральних областей до околиць материка, утворюючи сильні стокові вітри (до 30-50 м / с). Максимальна швидкість вітру в Антарктиді – 88 м/с [8-9].

Протягом року в Антарктиді панують низькі температури (рис. 2). Середні зимові липневі температури коливаються від -60°C (всередині материка) до -32°C (на узбережжі). Літні січневі температури теж негативні і коливаються від -32°C до -16°C . На узбережжі взимку температура практично не знижується до -40°C , а влітку піднімається до 0°C . Найтепліша частина материка – Антарктичний півострів [8-9].

У центральній частині материка випадає мало атмосферних опадів (50 - 100 мм). Це пов'язано з високим тиском і низькими температурами. Більша кількість опадів випадає на узбережжі і на антарктичних островах (400 – 700 мм), які розташовані в субантарктичному кліматичному поясі [8].

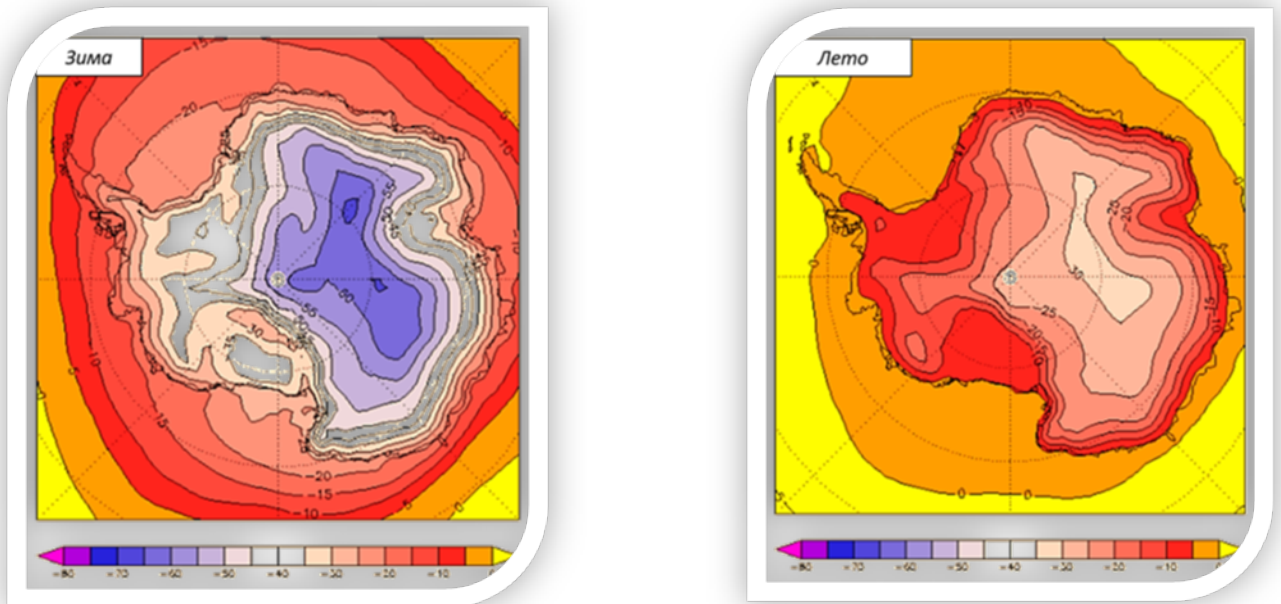


Рисунок 1.2 – Поле ізотерм антарктичного регіону

1.3 Термічний режим Антарктиди

Температурний режим у всій зоні приблизно однаковий. Середньорічні температури повітря коливаються від $-10,0$ - $-11,0^{\circ}\text{C}$ на широті полярного кола до $-17,0$ - $-20,0^{\circ}\text{C}$ і нижче для більш високих широт. Середні температури найхолоднішого періоду коливаються відповідно від $-18,0$ - $-20,0$ до $-25,0$ - $-35,0^{\circ}\text{C}$ і навіть $-40,0^{\circ}\text{C}$, а середні температури найтеплішого місяця близькі до $0,0^{\circ}\text{C}$. Вітровий режим, режим опадів, вологості повітря, температури підстильної поверхні і т.д. дуже різні [4, 8, 10].

Навіть середньорічні швидкості вітру тут складають 12-15 м/с та більше, а максимальні швидкості перевищують 60 м/с. Число днів з штормами тут складає більше 250, а з ураганом – більше 30 днів за рік. Повітря унаслідок адіабатичного нагрівання під час стоку тут дуже сухе, тому режим вологості повітря близький до режиму відносної вологості в пустелях [2]. Клімат цих районів можна характеризувати як клімат холодних крижаних пустель з частими сильними завірюхами, штормовими та ураганними вітрами. Клімат районів, що знаходяться зовні впливу стокових вітрів, більш м'який та вологий. Тут випадає найбільша (для Антарктиди) кількість опадів – до 700 мм і більше; часто спостерігається відлига, повітря вологе. Сильні вітри пов'язані з проходженням циклонів, тому їх середньорічна швидкість дещо більша, ніж в глибині материка (5-7 м/с) [4-8].

1.4 Баричний та вітровий режими Антарктиди

У якому в баричному утворенні (кліматичному циклоні або антициклоні) не розташовувалася прибережна станція, середні місячні величини тиску на ній виявляються набагато нижче за середньомісячні величини тиску на розташованих станціях, наприклад, в зоні Ісландського або алеутського мінімуму .

Як видно з рис. 1.3 і 1.4, від основного напрямку руху циклонів відділяються відгалуження у бік Антарктиди, які співпадають з областями кліматичних циклонів [6-9].

Таким чином, пояс низького тиску навкруги Антарктиди виявляється єдиною зоною, де середні значення атмосферного тиску на рівні моря є найнижчими на земній кулі. Всі інші зони зниженого тиску на землі (екваторіальна зона і області низького тиску на південь від Ісландії і Аляски) мають більш високий тиск, ніж Субантарктична зона. В середньому за рік

атмосферний тиск у побережжя Антарктиди рівно 980–990 гПа, тоді як в екваторіальній зоні воно складає близько 1010 гПа, а в центрі Ісландського мінімуму – близько 1000 гПа [6-9].

Найнижчі величини тиску в Субантарктичній зоні відмічались рівними 940–945 мб, а найвищі – 1020–1030 гПа. Таким чином, амплітуда коливань тиску в цій зоні досягає майже 100 гПа.

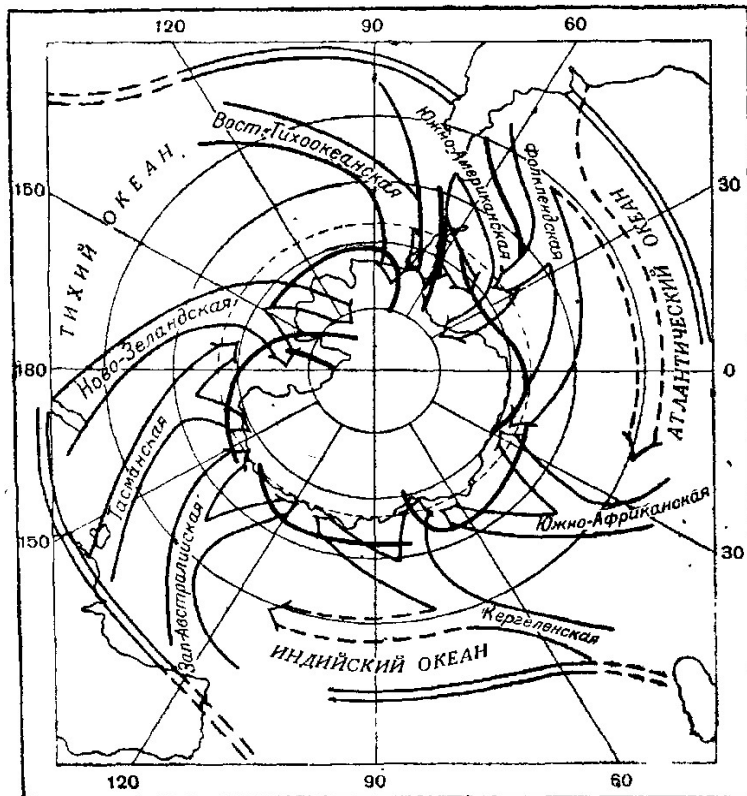


Рисунок 1.3 – Шляхи переміщення циклонів (зимовий період) в Антарктиці (за П.Д. Астапенко)

Біля узбережжя Антарктиди тиск на всіх станціях має яскраво виражений річний хід з двома максимумами (взимку і влітку) і двома мінімумами (в перехідні місяці), пов'язаними, мабуть, з характером загальної циркуляції над Антарктидою, оскільки саме в перехідні сезони на широтах 55-70°С спостерігається найбільша повторюваність циклонічної діяльності.

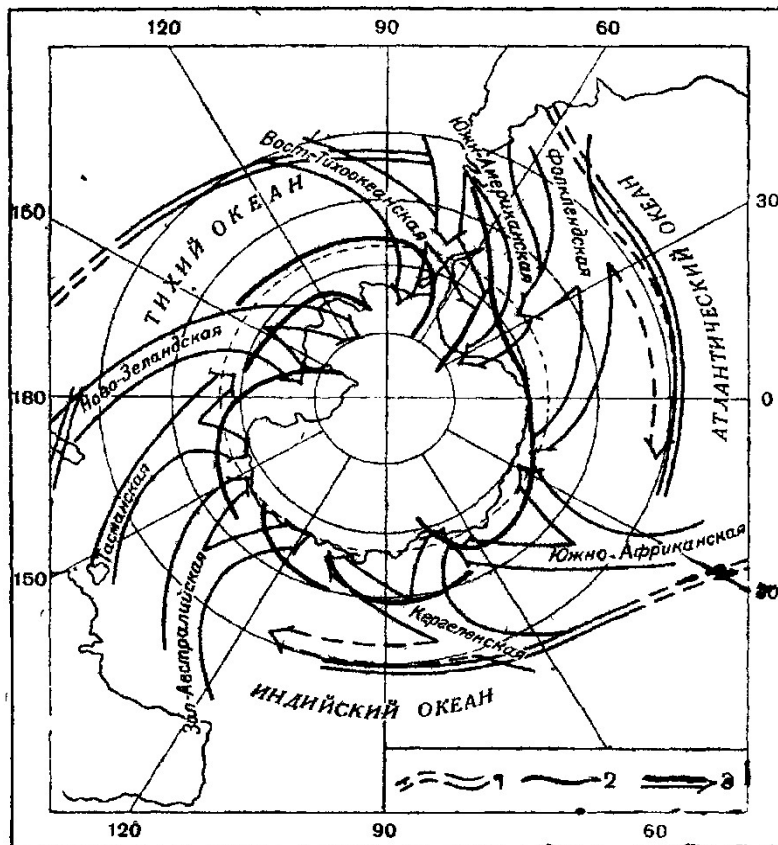


Рисунок 1.4 – Шляхи переміщення циклонів (літній період) в Антарктиці (по П.Д. Астапенко):

- 1 – полярний фронт;
- 2 – Антарктичний фронт;
- 3 – меридіональні траєкторії циклонів.

Характерна особливість атмосферного тиску в прибережній зоні є порівняно слабкий його зв'язок з іншими елементами погоди. Майже всіма експедиціями, що зимували на побережжі Антарктиди, наголошувалося, що, у той час коли всі ознаки погоди свідчать про наближення циклону, тиск повітря на станції при цьому не тільки не падає, а часом навіть підвищується [6-9].

Середній атмосферний тиск біля поверхні землі в Східній Антарктиді менше 700 гПа, а над самими піднесеними частинами центрального плато навіть менше 600 гПа (рис. 1.5). Тому першим стандартним рівнем тиску,

який може представляти вільну атмосферу всього материка, є рівень 500 гПа (рис. 1.6). Точніше кажучи, саме в Західній Антарктиді часто зустрічаються адвекція теплого повітря і позитивні вертикальні рухи, про що свідчить аналіз вертикального градієнта температури. Протилежні умови – холодна адвекція і осідання – переважають в Східній Антарктиді, зокрема в секторі між 120 і 170° сх.д. [5-6].

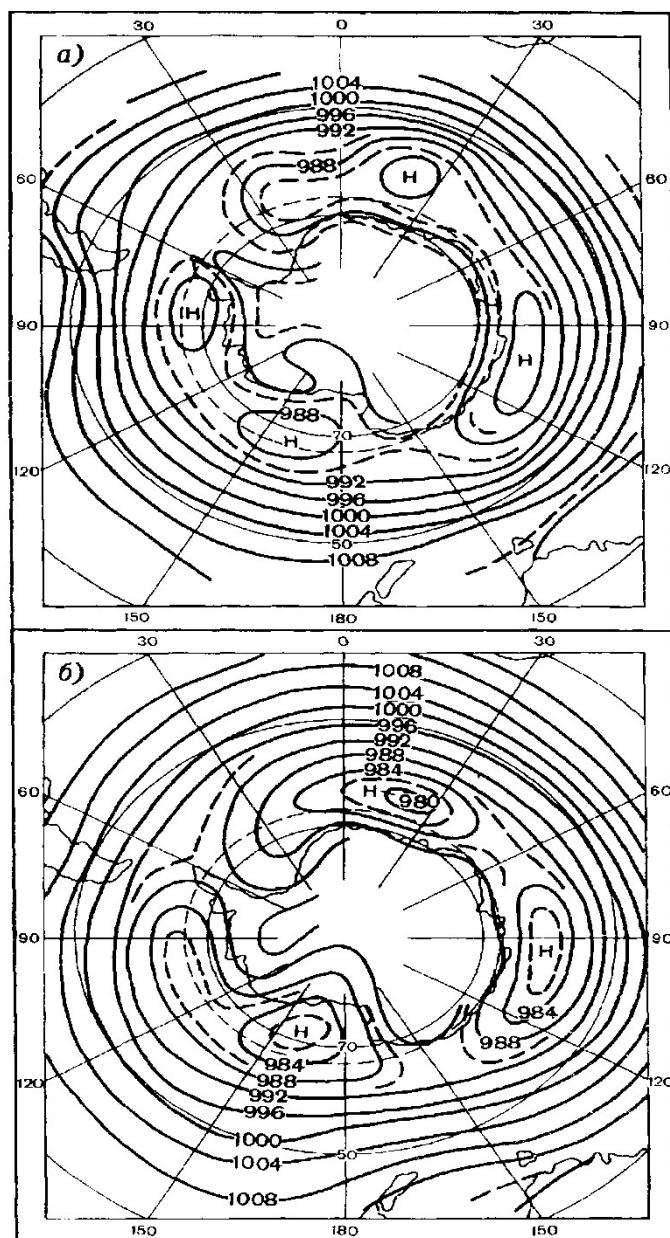


Рисунок 1.5 – Середній тиск на рівні моря в січні (а) і липні (б)

У спрощеному вигляді можна представити наступну схему: відносно теплі і вологі маси повітря, що рухаються з північно-західного сектора до Західної Антарктиди, підіймаються і охолоджуються в процесі руху через цю частину материка, потім на схід від моря Ведделла вони поволі опускаються і поступово включаються в циркуляцію нижньої тропосфери над високим плато[6-9].

У всіх шарах певні сезонні коливання відображаються на основному полі вихору, яке в тропосфері і нижній стратосфері завжди є циклонним, а вище 20км переходить в теплий антициклонний вихор в літні місяці. Річна крива середнього тиску між 40 і 50° пд.ш. має два максимуми протягом місяців рівнодення, тоді як в полярних районах біля 70° пд.ш. максимуми з'являються під час сонцестояння. Це призводить до помітного піврічного коливання меридіонального градієнта тиску [5, 7].

У смузі, паралельній узбережжю, в якій сила стоку штормових вітрів слабшає, повинна існувати добре виражена конвергенція і направлене вгору рух повітряного потоку. Це приводить до появи майже вертикальних масивів хмар і низової завірюхи, які спостерігалися з судів, що знаходяться далеко від берега [5-7].

2 ВИХІДНА ІНФОРМАЦІЯ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Характеристика вихідної інформації

Для дослідження використовувалися середньомісячні значення приземної температури повітря, атмосферного тиску, напрям та швидкості вітру на станції Оркадас, які отримані з бази даних Британського Антарктичного центру. Для розрахунку аномалій використовувались значення досліджених метеорологічних величин за період з 1981 по 2020рр.

У таблиці 2.1 представлені основні характеристики досліджуваної станції, такі як: географічна широта, довгота та висота над рівнем моря.

Таблиця 2.1 – Характеристики станції Оркадас

Назва станції	Широта	Довгота	Висота над рівнем моря
Orkadas	60 ⁰ 43'59 ^{''}	44 ⁰ 43'59 ^{''}	26 m

2.2 Методи дослідження

2.2.1 Методи розрахунку основних статистичних параметрів

Основні властивості випадкових величин характеризуються *початковими, центральними та основними* моментами розподілу різних порядків (l). Початкові, центральні та основні моменти розподілу є параметрами генеральних сукупностей випадкових величин. На основі статистичної сукупності (вибірки) можна знайти *статистичні оцінки* цих параметрів, які повинні володіти властивостями *незсуненості, ефективності*

та *умотивованості*. Будемо у подальшому позначати статистичні оцінки моментів розподілу l -того порядку таким чином: початкового – $\hat{\nu}_l$, центрального – $\hat{\mu}_l$, основного – \hat{r}_l . Вони можуть розраховуватися як по простих, так і по згрупованих статистичних сукупностях різних гідрометеорологічних величин (наприклад, температури повітря, місячної кількості опадів, атмосферного тиску, швидкості вітру і т.п.) [11].

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

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

Початковий момент розподілу 1-го порядку є математичним сподіванням цієї випадкової величини [11]:

$$\nu_1 = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx = m_x. \quad (2.2)$$

Очевидно, оцінка першого початкового моменту розподілу ($\hat{\nu}_1$) є оцінкою математичного сподівання (\hat{m}_x) і дорівнює середньому значенню (\bar{x}) випадкової величини X [11]:

$$\hat{\nu}_1 = \hat{m}_x = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i m_i \quad (2.3)$$

або

$$\hat{\nu}_1 = \hat{m}_x = \bar{x} = \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i \hat{p}_i. \quad (2.4)$$

Середнє значення для таких сукупностей отримаємо за допомогою рівняння:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \hat{\nu}_1 = \hat{m}_x, \quad (2.5)$$

а оцінки початкових моментів розподілу 2-го, 3-го та 4-го порядків – за формулами [11]:

$$\hat{v}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 = \overline{x^2}, \quad (2.6)$$

$$\hat{v}_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^3 = \overline{x^3}, \quad (2.7)$$

$$\hat{v}_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^4 = \overline{x^4}. \quad (2.8)$$

Незсунену, ефективну та умотивовану оцінку дисперсії випадкової величини X (це вимоги, яким повинні задовольняти статистичні оцінки параметрів) розраховують за формулою (2.9) і позначають S_x^2 :

$$S_x^2 = \frac{n}{n-1} \hat{\mu}_2, \quad (2.9)$$

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

Для того щоб розрахувати незсунену, ефективну та умотивовану оцінку дисперсії випадкової величини X за умови згрупованих рядів використовують рівняння (2.10):

$$S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^2 m_i. \quad (2.10)$$

Очевидно, статистична оцінка *середнього квадратичного відхилу* цієї величини є [11]:

$$S_x = \sqrt{S_x^2}. \quad (2.11)$$

Як відомо, оцінка третього основного моменту характеризує асиметрію кривої розподілу інтервальних частотей (або частот) і називається коефіцієнтом асиметрії: $\hat{r}_3 = As$. Крива розподілу має *правосторонню асиметрію* за умови $As > 0$, і *лівосторонню* – за умови $As < 0$. Вона є *симетричною* відносно центру розподілу, якщо $As = 0$ [11].

Крім асиметрії, крива розподілу, порівняно з кривою нормального розподілу, може бути *втягнутою* або *сплюснутою*. Мірою цього є коефіцієнт ексцесу E [11]:

$$E = \hat{r}_4 - 3. \quad (2.12)$$

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

За умов нормального розподілу $r_3 = 0$; $E = 0$. [3]

2.2.2 Методи розрахунку аномалій температури повітря

Для встановлення характерних особливостей зміни досліджуваних метеорологічних величин за останні 40 років було прийняте рішення розрахувати та проаналізувати їх аномалії за десятирічні періоди з 1981 по 2020 рр.

Таким чином, для кожної станції, були сформовані чотири десятиріччя:

- 1) 1981-1990 рр.,
- 2) 1991- 2000 рр.,
- 3) 2001-2010 рр.,
- 4) 2011-2020 рр.

За данні періоди років аналізувалися:

- середнє значення досліджуваної метеорологічної величини за сорокарічний період з 1981 по 2020 рр.;

- середнє значення досліджуваної метеорологічної величини за кожне десятиріччя;
- аномалія, розрахована як різниця між сорокарічним та десятирічним середнім значенням величини.

3 СУЧАСНІ ЗМІНИ ТЕРМІЧНОГО РЕЖИМУ АНТАРКТИЧНОЇ СТАНЦІЇ ОРКАДАС

3.1 Статистичні характеристики приземної температури повітря

На першому етапі дослідження виконано розрахунки статистичних характеристик приземної температури повітря. Результати розрахунків представлені у таблиці 3.1. Мінімальна багаторічна середньомісячна температура повітря на станції становить $-9,4^{\circ}\text{C}$, а максимальна – $1,2^{\circ}\text{C}$ (лютий). Найбільші значення дисперсії та середньоквадратичного відхилення фіксуються в зимовий період (максимум – липень – 11.01), що свідчить про різке коливання температур в цей період. Стосовно коефіцієнту ексцесу слід відмітити, що у більшості місяців переважає плосковершинний розподіл над витягнутим, тобто приземна температура повітря на станції змінюється у широкому діапазоні. Коефіцієнт асиметрії майже для усіх місяців року виявляється від'ємним та коливається в межах від -0,15 до -0,94. Вище зазначене свідчить про наявність стійких змін в температурному режимі досліджуваного регіону та чітку відмінність цих змін від нормального розподілу [4, 10].

Таблиця 3.1 – Основні статистичні характеристики приземної температури повітря станції Оркадас

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	рік
T _{сер}	0,87	1,17	0,30	-1,96	-4,86	-7,57	-9,38	-8,06	-5,88	-3,28	-1,26	-0,03	-3,34
T _{min}	-0,80	-0,30	-1,80	-5,70	-9,90	-12,50	-15,50	-16,80	-11,90	-8,40	-4,60	-1,80	-4,50
T _{max}	1,90	2,40	2,20	0,50	-0,40	-2,60	-1,90	-3,30	-1,50	-0,30	0,90	1,40	-1,90
S _{x2}	0,41	0,45	0,77	1,92	4,69	8,19	11,01	10,05	6,35	4,03	1,24	0,49	0,45
S _x	0,64	0,67	0,87	1,39	2,17	2,86	3,32	3,17	2,52	2,01	1,11	0,70	0,67
AS	-0,42	-0,47	0,01	-0,62	-0,36	-0,13	-0,02	-0,57	0,13	-0,77	-0,94	-0,15	0,31
E	0,09	-0,65	-0,10	0,70	0,18	-0,96	-0,66	-0,12	-0,43	0,20	1,16	0,33	-0,70

3.2 Особливості багаторічних змін приземної температури повітря

Для встановлення характерних особливостей багаторічних змін термічного режиму станції Оркадас прийнято рішення розрахувати трендову складову приземної температури повітря на станції Оркадас. Перед проведенням розрахунків тренду необхідно провести згладжування вихідних рядів температури повітря. При згладжуванні осереднених рядів використовувались результати аналізу прихованих періодичностей, розрахунок яких проводився за допомогою швидкого перетворення Фур'є з ймовірністю 68% (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Значущі періоди коливань (рік) температури повітря станції Оркадас

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
3,05	1,94/ 3,05	7,17	7,17/ 2,27	3,45/ 5,65	2,27	1,94	3,96	1,94	2,74/ 4,66	1,94/ 2,48	2,27	1,94

Для більшості місяців року характерні коливання з періодом 2 роки. Також зустрічаються квазі трьох, чотирьох та семирічні коливання.

В таблиці 3.3 наведено характеристики трендової складової приземної температури, зеленим кольором виділені додатні тренди, а синім – від'ємні. Найбільші значення виділені жирним шрифтом.

Таблиця 3.3 – Значення трендової складової приземної температури повітря (°C)

Місяць												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
-0,4	-0,3	-0,4	0,1	0,4	1,8	0,8	-1,6	-0,2	1,2	0,4	0,0	0,1

Аналіз таблиці 3.3 дозволив виявити плямистість у розподілі трендової складової приземної температури повітря. Для більшості місяців року характерним є зростання температури (рис. 3.1), яке фіксується протягом осінньо-зимового періоду (квітень-липень) та навесні (жовтень-листопад). Максимальне зростання приземної температури фіксується в червні (1,8 °С) та в жовтні (1,2 °С).

Від'ємні тренди спостерігаються в літній період (січень-березень) та наприкінці зими (серпень-вересень). Максимальне зниження приземної температури повітря на станції Оркадас фіксується в серпні (-1,6 °С). Багаторічна динаміка середньорічних значень приземної температури повітря дозволяє виявити додатній тренд, хоча необхідно зазначити, що він невеликий та складає 0,1 °С.

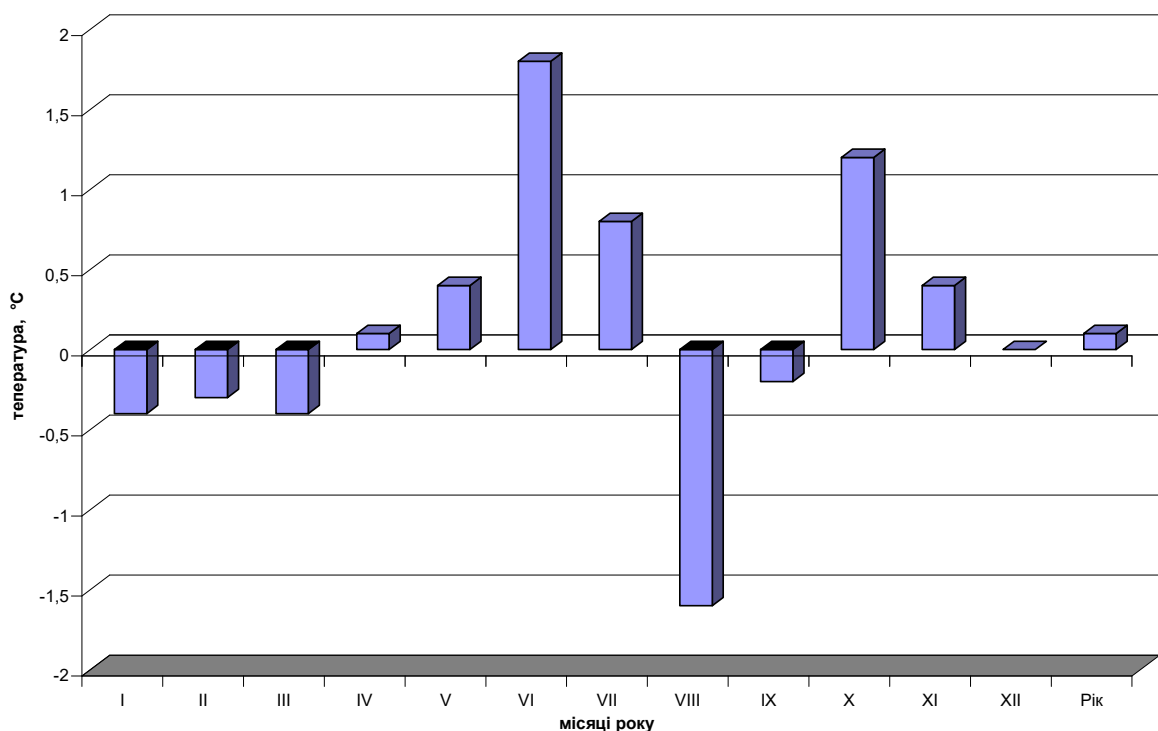


Рисунок 3.1 – Трендова складова приземної температури повітря станції Оркадас

3.3 Динаміка аномалій приземної температури повітря

Для виявлення характерних особливостей динаміки приземної температури повітря за досліджуваний період з 1981 по 2020рр. проаналізовані аномалії приземної температури за десятирічні періоди з 1981 по 2020рр.

Тобто, сформовано чотири десятирічні періоди: 1) 1981-1990рр., 2) 1991-2000рр., 3) 2001-2010рр., 4) 2011-2020рр. За вказані періоди аналізувалися:

- середнє значення температури повітря за весь сорокарічний період – \bar{t}_{40} з 1981 по 2020рр.,
- середнє значення температури повітря за кожне десятиріччя \bar{t}_{10} ;
- аномалія приземної температури, тобто різниця між $\bar{t}_{40} - \bar{t}_{10}$.

Методика розрахунку аномалій викладена в розділі 2.

Для аналізу використовуються відхилення середнього значення приземної температури за кожне десятиріччя від багаторічного середнього значення приземної температури.

Проаналізуємо зміни аномалій приземної температури повітря досліджуваного регіону за чотири десятиріччя. В таблиці 3.4 представлені результати розрахунків аномалії приземної температури повітря для усіх місяців року. В таблиці додатні аномалії виділені зеленим кольором, від'ємні – блакитним).

Перше десятиріччя характеризується переважанням додатних аномалій приземної температури повітря, які спостерігаються в різні місяці року та змінюються в межах від 0,2 до 0,5 °С. Від'ємні аномалії спостерігаються навесні (жовтень-листопад), а також у квітні та червні. Максимальне зниження температури у це десятиріччя фіксується в жовтні – 0,6 °С. Слід зазначити, що середньорічна аномалія приземної температури повітря для

зазначеного десятиріччя додатна, її величина складає всього 0,1 °С, а в літній період (грудень-січень) аномалії дорівнюють нулю.

Таблиця 3.4 – Аномалії приземної температури повітря (°С), Оркадас

Місяць	1981-1990рр.			1991-2000рр.		2001-2010рр.		2011-2020рр.	
	\bar{t}_{40}	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{40} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{40} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{40} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{40} - \bar{t}_{10}$
I	0,9	0,8	0,0	1,1	0,2	1,1	0,3	0,4	-0,4
II	1,1	1,1	0,0	1,3	0,1	1,2	0,1	1,0	-0,2
III	0,3	0,6	0,3	0,3	0,0	0,1	-0,2	0,2	-0,1
IV	-1,9	-2,1	-0,2	-1,3	0,6	-2,3	-0,4	-2,0	-0,1
V	-4,8	-4,3	0,5	-4,9	-0,1	-4,4	0,3	-5,5	-0,7
VI	-7,5	-7,6	-0,2	-7,3	-0,2	-8,6	-1,1	-6,4	1,1
VII	-9,4	-9,0	0,4	-9,7	-0,3	-9,7	-0,3	-9,2	0,2
VIII	-8,1	-7,8	0,3	-8,3	-0,2	-7,6	0,5	-8,7	-0,6
IX	-6,0	-5,4	0,5	-7,0	-1,1	-5,0	1,0	-6,4	-0,4
X	-3,4	-4,0	-0,6	-3,9	-0,5	-2,2	1,3	-3,6	-0,2
XI	-1,3	-1,4	-0,1	-1,4	-0,1	-1,2	0,2	-1,2	0,1
XII	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,2	0,4	0,5	-0,3	-0,3
Рік	-3,4	-3,3	0,1	-3,5	-0,1	-3,2	0,2	-3,5	-0,1

Друге десятиріччя (1991-2000рр.) характеризується переважанням від'ємних аномалій приземної температури повітря в зимово-весняний період (з травня по грудень). Величина від'ємних аномалій коливається в межах від -0,1 до -1,1 °С. Додатні аномалії фіксуються в літньо-осінній період (січень-квітень) та не перевищують 0,6 °С. Середньорічна аномалія приземної температури повітря за цей період складає -0,1 °С.

Третє десятиріччя (2001-2010рр.) характеризується перебудовою температурного режиму в досліджуваному регіоні: протягом більшості місяців року фіксуються додатні аномалії, що коливаються в межах від 0,1 до 1,3 °С. Максимальні додатні аномалії фіксуються наприкінці зими та навесні (вересень-жовтень, 1,0 та 1,3 °С відповідно). Від'ємні аномалії спостерігаються восени (березень, квітень) та в середині зими (червень-липень). Найнижчі аномалії фіксуються в червні -1,1°С. Середньорічна аномалія приземної температури повітря за цей період складає 0,2 °С.

Останнє десятиріччя (2011-2020рр.) представлене переважно від'ємними аномаліями приземної температури повітря, які коливаються в невеликих межах від $-0,1$ до $-0,7$ °С. Максимальне зниження температури фіксується в травні та серпні – $-0,7$ та $-0,6$ °С відповідно. Додатні аномалії спостерігаються у червні-липні та листопаді ($1,1$, $0,2$ та $0,1$ °С відповідно). Середньорічна аномалія приземної температури повітря за цей період складає $-0,1$ °С.

Узагальнюючи вище зазначене, можна стверджувати, що в досліджуваному регіоні відбувається значна перебудова поля температури. Аналіз багаторічних трендів свідчить про зростання приземної температури повітря за досліджуваний період, в той же час аналіз аномалій дозволяє стверджувати що швидкість цього зростання суттєво зменшилась за останнє десятиріччя.

4 СУЧАСНІ ЗМІНИ БАРИЧНОГО РЕЖИМУ АНТАРКТИЧНОЇ СТАНЦІЇ ОРКАДАС

4.1 Статистичні характеристики атмосферного тиску на рівні станції

Як і для приземної температури повітря, для атмосферного тиску на рівні станції Оркадас розраховані основні статистичні характеристики, які допоможуть проаналізувати баричний режим досліджуваного регіону.

В таблиці 4.1 представлені розраховані значення основних статистичних характеристик атмосферного тиску на станції Оркадас. Мінімальне багаторічне середньомісячне значення атмосферного тиску рівні на станції становить 987,4 гПа (листопад), а максимальна – 993,6 гПа (липень). Найбільші значення дисперсії та середньоквадратичного відхилення фіксуються в зимовий період, досягаючи максимальних значень у вересні, що обумовлюється відсутністю надходження сонячної радіації в цей період.

Таблиця 4.1 – Основні статистичні характеристики приземного атмосферного тиску на станції Оркадас

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
P	989,9	990,2	991,0	990,6	993,8	992,5	993,6	992,5	993,2	989,3	987,4	988,7	991,1
P _{min}	982,0	984,0	985,7	982,7	986,3	981,3	981,5	983,9	980,0	980,1	980,4	980,9	987,3
P _{max}	996,5	997,6	1002,8	999,8	1002,5	1003,0	1006,8	1004,9	1005,3	1003,7	996,5	1002,0	994,7
Sx ²	13,2	12,9	14,1	17,5	16,8	24,2	25,9	19,8	35,7	19,9	16,6	28,7	2,4
Sx	3,6	3,6	3,8	4,2	4,1	4,9	5,1	4,5	6,0	4,5	4,1	5,4	1,5
A _S	-0,3	0,2	1,3	0,1	0,1	0,0	0,1	0,7	-0,1	0,6	0,6	0,6	0,2
E	-0,6	-0,8	2,1	-0,6	-0,6	-0,3	0,4	0,5	-0,1	1,5	-0,3	-0,2	0,7

Стосовно коефіцієнту ексцесу слід відмітити, що у більшості місяців переважає витягнутий розподіл над плосковершинним, тобто атмосферний тиск на станції Оркадас у ці місяці змінюється у вузькому діапазоні.

Коефіцієнт асиметрії майже для усіх місяців року виявляється додатним та коливається в межах від 0,1 до 1,3. Вище зазначене свідчить про наявність стійких змін в баричному режимі досліджуваного регіону та чітку відмінність цих змін від нормального розподілу [6].

4.2 Особливості багаторічних змін атмосферного тиску

Для встановлення характерних особливостей багаторічних змін баричного режиму станції Оркадас прийнято рішення розрахувати трендову складову атмосферного тиску на станції Оркадас. Перед проведенням розрахунків тренду необхідно провести згладжування вихідних рядів атмосферного тиску. При згладжуванні осереднених рядів використовувались результати аналізу прихованих періодичностей, розрахунок яких проводився за допомогою швидкого перетворення Фур'є з ймовірністю 68% (таблиця 4.2)

Таблиця 4.2 – Значущі періоди коливань (рік) атмосферного тиску станції Оркадас

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
1,94/ 4,66/ 2,73	2,73/ 4,66	1,94/ 4,66	4,66	2,09/ 4,66	2,09/ 4,66	4,66	4,66	4,66	4,66	2,74/ 4,66	1,94/ 4,66	4,66

Для більшості місяців року характерні коливання з періодом 2 та 5 років. Також зустрічаються квазі трьохрічні коливання.

В таблиці 4.3 наведено характеристики трендової складової атмосферного тиску на рівні станції, зеленим кольором виділені додатні тренди, а синім – від'ємні. Найбільші значення виділені жирним шрифтом.

Таблиця 4.3 – Значення трендової складової атмосферного тиску (гПа)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
-2,3	-1,0	2,0	-1,2	-3,0	-4,0	1,2	3,3	0,4	0,8	0,0	-7,6	-1,0

Аналіз таблиці 4.3 дозволив виявити плямистість у розподілі трендової складової атмосферного тиску на рівня станції. Для більшості місяців року характерним є зменшення атмосферного тиску, яке фіксується протягом літнього (грудень-лютий) та осіннього періоду (квітень-червень). Величина зменшення атмосферного тиску коливається в межах від -1,0 (лютий) до -7,6 гПа (грудень).

Додатні тренди спостерігаються в зимовий період (липень-листопад) та наприкінці осені (березень). Максимальне зростання атмосферного тиску на рівні станції Оркадас фіксується в липні (1,2 гПа). Багаторічна динаміка середньорічних значень атмосферного тиску дозволяє виявити від'ємний тренд, який складає -1.0 гПа.

4.3 Динаміка аномалій атмосферного тиску

Для виявлення характерних особливостей динаміки баричного режиму за досліджуваний період з 1981 по 2020рр. проаналізовані аномалії атмосферного тиску за десятирічні періоди з 1981 по 2020рр.

Тобто, сформовано чотири десятирічні періоди: 1) 1981-1990рр., 2) 1991-2000рр., 3) 2001-2010рр., 4) 2011-2020рр. За вказані періоди аналізувалися:

- середнє значення атмосферного тиску за весь сорокарічний період – \bar{P}_{40} з 1981 по 2020рр.,
- середнє значення атмосферного тиску за кожне десятиріччя \bar{P}_{10} ;

– аномалія атмосферного тиску, тобто різниця між $\bar{P}_{40} - \bar{P}_{10}$.

Методика розрахунку аномалій викладена в розділі 2.

Для аналізу використовуються відхилення середнього значення атмосферного тиску на рівні станції за кожне десятиріччя від багаторічного середнього значення атмосферного тиску на рівні моря.

Проаналізуємо динаміку аномалій атмосферного тиску досліджуваного регіону за чотири десятиріччя. В таблиці 4.3 представлені результати розрахунків аномалії атмосферного тиску для усіх місяців року. В таблиці додатні аномалії виділені зеленим кольором, від'ємні – блакитним).

Таблиця 4.3 – Аномалії атмосферного тиску на рівні станції (гПа), Оркадас

Місяць	1981-1990рр.			1991-2000рр.		2001-2010рр.		2011-2020рр.	
	\bar{P}_{40}	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{40} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{40} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{40} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{40} - \bar{P}_{10}$
I	989,9	991,0	1,1	990,3	0,3	990,2	0,2	988,3	-1,7
II	990,2	989,6	-0,7	991,6	1,3	991,1	0,9	988,7	-1,6
III	991,0	990,1	-0,9	991,7	0,7	990,2	-0,8	992,1	1,1
IV	990,6	989,6	-1,0	992,7	2,1	989,9	-0,7	990,2	-0,4
V	993,8	995,4	1,7	993,3	-0,4	993,6	-0,2	992,7	-1,1
VI	992,5	993,5	1,0	993,9	1,4	992,2	-0,3	990,4	-2,1
VII	993,6	993,0	-0,6	993,4	-0,2	993,8	0,1	994,4	0,7
VIII	992,5	992,4	-0,1	989,4	-3,1	994,6	2,1	993,5	1,1
IX	993,7	992,7	-1,1	993,9	0,2	996,0	2,3	992,3	-1,4
X	989,3	989,8	0,5	987,1	-2,1	991,1	1,8	989,1	-0,2
XI	987,4	985,1	-2,3	989,9	2,5	988,6	1,2	986,0	-1,4
XII	988,7	989,0	0,3	991,6	2,9	989,0	0,3	985,2	-3,5
рік	991,1	990,9	-0,2	991,6	0,5	991,7	0,6	990,2	-0,9

Перше десятиріччя характеризується переважанням від'ємних аномалій атмосферного тиску на рівні станції, які спостерігаються восени (лютий-квітень) та в середині зими (липень-вересень). Від'ємні аномалії коливаються в межах від -0,6 (липень) до -2,3 гПа (листопад). Додатні аномалії спостерігаються влітку (грудень-січень), на початку зими (травень-червень), а також у жовтні. Максимальне зростання атмосферного тиску у це десятиріччя фіксується в жовтні – 1,7 гПа. Слід зазначити, що середньорічна

аномалія атмосферного тиску на рівні станції Оркадас для зазначеного десятиріччя від'ємна, її величина складає всього $-0,2$ °С.

Друге десятиріччя (1991-2000рр.) характеризується переважанням додатних аномалій атмосферного тиску на рівні моря протягом більшості місяців року. Величина додатних аномалій коливається в межах від $0,3$ (січень) до $2,9$ гПа (грудень). Від'ємні аномалії фіксуються переважно в зимовий період (травень – $-0,4$, липень – $-0,2$, серпень – $-3,1$ та жовтень $-2,1$ гПа). Середньорічна аномалія атмосферного тиску на рівні станції Оркадас за цей період додатна та складає $0,5$ гПа.

Третє десятиріччя (2001-2010рр.) характеризується перебудовою баричного режиму в досліджуваному регіоні: протягом більшості місяців року фіксуються додатні аномалії, що коливаються в межах від $0,1$ до $2,3$ гПа. Максимальні додатні аномалії фіксуються наприкінці зими (вересень-жовтень, $2,3$ та $1,8$ гПа відповідно). Від'ємні аномалії спостерігаються восени з березня по червень. Найнижчі аномалії фіксуються в березні-квітні $-0,8$ – $-0,7$ гПа відповідно. Середньорічна аномалія атмосферного тиску за цей період складає $0,6$ гПа.

Останнє десятиріччя (2011-2020рр.) представлене переважно від'ємними аномаліями атмосферного тиску протягом більшості місяців року, які коливаються в невеликих межах від $-0,2$ до $-3,5$ гПа. Максимальне зниження атмосферного тиску фіксується в літній період (грудень – $-3,5$ гПа). Додатні аномалії спостерігаються в березні, липні та червні ($1,1$, $0,7$ та $1,1$ гПа відповідно). Середньорічна аномалія атмосферного тиску на рівні станції Оркадас за цей період складає $-0,9$ гПа.

Узагальнюючи вище зазначене, можна стверджувати, що в досліджуваному регіоні відбувається значна перебудова баричного поля. Аналіз багаторічних трендів свідчить про зростання атмосферного тиску за досліджуваний період протягом більшості місяців року, в той же час аналіз аномалій дозволяє стверджувати що швидкість цього зростання суттєво зменшилась за останнє десятиріччя.

5 СУЧАСНІ ЗМІНИ ВІТРОВОГО РЕЖИМУ АНТАРКТИЧНОЇ СТАНЦІЇ ОРКАДАС

5.1 Статистичні характеристики швидкості вітру на рівні станції

В таблиці 5.1 представлені значення основних статистичних характеристик швидкості вітру, розрахованих для усіх місяців року для станцій Оркадас. Як бачимо, протягом усіх місяців року на станції фіксуються середні швидкості вітру в діапазоні від 11 до 13 м/с. Найменші швидкості вітру фіксуються в літній період – грудень-січень – 10,5 та 10,7 м/с відповідно. Найбільші швидкості вітру спостерігаються в зимовий період (серпень – 13,2 м/с, вересень – 13,3 м/с). Річний хід мінімальних та максимальних значень швидкості вітру повторює річний хід середніх значень – найменші швидкості вітру спостерігаються в літній період, найбільші – в зимовий.

Таблиця 5.1 – Основні статистичні характеристики швидкості вітру на станції Оркадас

місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
V _{сер}	10,7	12,5	13,0	12,8	13,0	12,5	12,8	13,2	13,3	13,0	11,8	10,5	12,4
V _{min}	7,0	9,7	9,4	9,4	7,2	8,9	9,0	9,2	9,0	9,1	8,4	6,4	9,9
V _{max}	15,9	22,8	19,9	17,9	18,7	18,3	20,1	17,5	17,8	23,5	19,9	17,6	17,7
Sx ²	4,1	5,0	4,9	3,5	4,5	5,1	4,9	4,9	4,5	8,0	5,6	5,7	2,3
Sx	2,0	2,2	2,2	1,9	2,1	2,3	2,2	2,2	2,1	2,8	2,4	2,4	1,5
As	0,5	2,5	0,8	0,7	0,3	0,9	1,3	0,3	0,1	1,7	1,5	1,7	1,8
E	0,3	2,5	1,0	0,3	1,4	0,2	2,3	-0,8	-0,2	3,9	2,8	2,9	2,7

Середньоквадратичне відхилення протягом року коливається в межах від 1,9 (квітень) до 2,8 (жовтень). Коефіцієнт асиметрії додатний протягом усіх місяців року, максимальні його значення припадають на перехідні сезони.

Коефіцієнт ексцесу протягом більшості місяців року додатний (окрім серпня та вересня), що дозволяє нам стверджувати, що швидкість вітру на станції коливається у широких межах.

5.2 Особливості багаторічних змін швидкості вітру

Для встановлення характерних особливостей багаторічних змін вітрового режиму станції Оркадас також було розраховано трендову складову швидкості вітру. Перед проведенням розрахунків тренду проведено згладжування вихідних рядів швидкості вітру [5]. При згладжуванні осереднених рядів використовувались результати аналізу прихованих періодичностей, розрахунок яких проводився за допомогою швидкого перетворення Фур'є з ймовірністю 68% (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Значущі періоди коливань (рік) швидкості вітру станції Оркадас

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
4,66	5,65	1,94	2,09	2,48	1,94/ 2,73	2,27	2,09	1,94/ 4,66	2,48	1,94	2,27	1,94

Для більшості місяців року характерні коливання з періодом 2 роки. Також зустрічаються квазітріох, п'яти та шестирічні коливання.

Результати розрахунків трендової складової швидкості вітру представлені в таблиці 5.3: зеленим кольором виділені додатні тренди, а синім – від'ємні. Найбільші значення виділені жирним шрифтом.

Таблиця 5.3 – Значення трендової складової швидкості вітру(м\с)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
0,4	1,9	-0,1	-0,2	-0,2	-1,8	-1,7	-0,8	-0,2	-0,2	-1,0	0,9	-0,2

Аналіз таблиці 5.3 дозволяє стверджувати, що протягом більшості місяців року спостерігаються зменшення швидкості вітру впродовж досліджуваного періоду. Величина від'ємних трендів складає від -0,1 до -1,8 м/с. Найменше зменшення швидкості вітру спостерігається в зимовий період року, досягаючи найбільших значень у червні та липні (-1,8 та -1,7 м/с відповідно). Слід відмітити, що в перехідні місяці року хоча і спостерігаються від'ємні тренди, але вони невеликі та не перевищують 0,2 м/с. Додатні тренди фіксуються тільки літній період – грудень-лютий. Максимальне зростання швидкості вітру спостерігається в лютому – 1,9 м/с. В цілому за рік тренд від'ємний і складає -0,2 м/с.

5.3 Динаміка аномалій швидкості вітру

Для виявлення характерних особливостей динаміки вітрового режиму за досліджуваний період з 1981 по 2020рр. проаналізовані аномалії швидкості вітру за десятирічні періоди з 1981 по 2020рр.

Тобто, сформовано чотири десятирічні періоди: 1) 1981-1990рр., 2) 1991-2000рр., 3) 2001-2010рр., 4) 2011-2020рр. За вказані періоди аналізувалися:

- середнє значення швидкості вітру за весь сорокарічний період – \bar{V}_{40} з 1981 по 2020рр.,
- середнє значення швидкості вітру за кожне десятиріччя \bar{V}_{10} ;
- аномалія швидкості вітру, тобто різниця між $\bar{V}_{40} - \bar{V}_{10}$.

Методика розрахунку аномалій викладена в розділі 2.

Для аналізу використовуються відхилення середнього значення швидкості вітру на рівні станції за кожне десятиріччя від багаторічного середнього значення швидкості вітру на рівні моря.

Як видно з таблиці 5.3 на станції Оркадас перше десятиріччя (1981-1990рр.) характеризується переважанням від'ємних аномалій швидкості вітру, які коливаються в межах від -0,2 до -1,2 м/с. Найбільші від'ємні аномалії швидкості вітру спостерігаються в зимові місяці (липень – -1,2, серпень – -0,7 м/с). Додатні аномалії фіксуються у грудні та лютому – 0,3 та 0,2 м/с відповідно. Слід зазначити, що в жовтні і листопаді аномалії швидкості вітру дорівнюють нулю. Середньорічна аномалія швидкості вітру від'ємна та складає -0,4 м/с.

Таблиця 5.3 – Аномалії швидкості вітру на станції Оркадас

місяці	\bar{V}_{40}	1981-1990рр.		1991-2000рр.		2001-2010рр.		2011-2020рр.	
		\bar{V}_{10}	$\bar{V}_{40} - \bar{V}_{10}$	\bar{V}_{10}	$\bar{V}_{40} - \bar{V}_{10}$	\bar{V}_{10}	$\bar{V}_{40} - \bar{V}_{10}$	\bar{V}_{10}	$\bar{V}_{40} - \bar{V}_{10}$
I	10,7	11,0	-0,3	10,0	0,8	10,8	-0,1	11,1	-0,4
II	12,5	12,4	0,2	11,9	0,6	12,6	0,0	13,3	-0,7
III	13,0	13,6	-0,6	12,7	0,4	12,1	0,9	13,7	-0,7
IV	12,8	13,4	-0,6	12,0	0,8	13,3	-0,5	12,5	0,3
V	13,0	13,2	-0,2	12,8	0,2	13,5	-0,5	12,4	0,6
VI	12,5	13,1	-0,6	12,9	-0,4	12,5	0,0	11,5	1,0
VII	12,8	14,0	-1,2	11,9	0,8	12,9	-0,1	12,3	0,5
VIII	13,2	13,9	-0,7	12,4	0,8	13,5	-0,3	13,0	0,2
IX	13,3	13,9	-0,6	12,1	1,2	13,6	-0,2	13,7	-0,4
X	13,0	13,0	0,0	12,8	0,2	14,1	-1,1	12,1	0,9
XI	11,8	11,8	0,0	12,1	-0,3	12,9	-1,1	10,5	1,3
XII	10,5	10,2	0,3	9,0	1,5	12,2	-1,7	10,5	0,0
РІК	12,4	12,8	-0,4	11,9	0,5	12,8	-0,4	12,2	0,2

У друге десятиріччя (1991-2000рр.) відбувається повна перебудова поля вітру. Переважна більшість місяців року представлена додатними аномаліями швидкості вітру, які коливаються в межах від 0,2 до 1,5 м/с. Найбільші додатні аномалії фіксуються в жовтні та грудні – 1,2 та 1,5 м/с відповідно. Від'ємні аномалії спостерігаються в червні (-0,4 м/с) та в листопаді (-0,3 м/с). Середньорічна аномалія швидкості вітру в це десятиріччя складає 0,5 м/с.

Третє десятиріччя (2001-2010рр.) також характеризується перебудовою поля вітру. Переважна більшість місяців року представлена від'ємними аномаліями швидкості вітру. Найбільше зниження швидкості вітру

фіксується восени та на початку літа: жовтень-листопад (-1,1 м/с) та грудень (-1,7 м/с). Додатна аномалія спостерігається в березні (0,9 м/с). В лютому та квітні аномалії швидкості вітру дорівнюють нулю. Середньорічна аномалія за цей період від'ємна і складає -0,4 м/с.

Останнє десятиріччя (2011-2020pp.) представлено як додатними так і від'ємними аномаліями швидкості вітру. Додатні аномалії фіксуються в зимовий та весняний період (з квітня по листопад), а додатні – в літньо-весняний період (з січня по березень). Слід зазначити, що в грудні аномалія швидкості вітру дорівнює нулю. Найбільші додатні аномалії припадають на весняний період (жовтень – 0,9 м/с, листопад – 1,3 м/с). Найбільші від'ємні – фіксуються восени (лютий-березень – -0,7 м/с). Середньорічна аномалія швидкості вітру складає 0,2 м/с.

ВИСНОВКИ

Аналіз динаміки метеорологічного режиму в районі антарктичної станції Оркадас дозволяє встановити наступні висновки:

- для температури повітря та швидкості вітру найбільш характерні коливання з періодом 2 роки, для атмосферного тиску – 2 та 5 років;
- для більшості місяців року характерним є зростання приземної температури повітря, яке фіксується протягом осінньо-зимового періоду (квітень-липень) та навесні (жовтень-листопад). Максимальне зростання фіксується в червні (1,8 °C) та в жовтні (1,2 °C). Від’ємні тренди спостерігаються в літній період (січень-березень) та наприкінці зими (серпень-вересень). Максимальне зниження температури на станції Оркадас фіксується в серпні (-1,6 °C). Багаторічна динаміка середньорічних значень приземної температури дозволяє виявити невеликий додатній тренд (0,1 °C);
- аналіз аномалій приземної температури повітря за сорокарічний період дозволив встановити, що в останнє десятиріччя (2011-2020рр.) переважають від’ємні аномалії приземної температури повітря, які коливаються в невеликих межах від -0,1 до -0,7 °C. Максимальне зниження температури фіксується в травні та серпні – -0,7 та -0,6 °C відповідно. Додатні аномалії спостерігаються у червні-липні та листопаді (1,1, 0,2 та 0,1 °C відповідно). Середньорічна аномалія приземної температури повітря за цей період складає -0,1 °C;
- Аналіз трендової складової атмосферного тиску на рівня станції Оркадас дозволив виявити плямистість у розподілі атмосферного тиску. Для більшості місяців року характерним є зменшення

атмосферного тиску, яке фіксується протягом літнього (грудень-лютий) та осіннього періоду (квітень-червень). Величина зменшення атмосферного тиску коливається в межах від -1,0 (лютий) до -7,6 гПа (грудень). Додатні тренди спостерігаються в зимовий період (липень-листопад) та наприкінці осені (березень). Максимальне зростання атмосферного тиску фіксується в липні (1,2 гПа). Багаторічна динаміка середньорічних значень атмосферного тиску дозволяє виявити від'ємний тренд, який складає -1,0 гПа;

- аналіз аномалій атмосферного тиску за досліджуваний період дозволив виявити, що останнє десятиріччя (2011-2020рр.) представлено переважно від'ємними аномаліями атмосферного тиску протягом більшості місяців року, які коливаються від -0,2 до -3,5 гПа. Максимальне зниження атмосферного тиску фіксується в літній період (грудень – -3,5 гПа). Додатні аномалії спостерігаються в березні, липні та червні (1,1, 0,7 та 1,1 гПа відповідно). Середньорічна аномалія атмосферного тиску на рівні станції Оркадас за цей період складає -0,9 гПа;
- аналіз трендової складової швидкості вітру дозволяє стверджувати, що протягом більшості місяців року спостерігаються зменшення швидкості вітру впродовж досліджуваного періоду. Величина від'ємних значень тренду складає від -0,1 до -1,8 м/с. Найменше зменшення швидкості вітру спостерігається в зимовий період року, досягаючи найбільших значень у червні та липні (-1,8 та -1,7 м/с відповідно). Слід відмітити, що в перехідні місяці року хоча і спостерігаються від'ємні тренди, але вони невеликі та не перевищують 0,2 м/с. Додатні тренди фіксуються тільки літній період – грудень-лютий. Максимальне зростання швидкості вітру спостерігається в

лютому – 1,9 м/с. В цілому за рік тренд від’ємний і складає -0,2 м/с;

- останнє десятиріччя (2011-2020рр.) представлено як додатними так і від’ємними аномаліями швидкості вітру. Додатні аномалії фіксуються в зимовий та весняний період (з квітня по листопад), а додатні – в літньо-весняний період (з січня по березень). Слід зазначити, що в грудні аномалія швидкості вітру дорівнює нулю. Найбільші додатні аномалії припадають на весняний період (жовтень – 0,9 м/с, листопад – 1,3 м/с). Найбільші від’ємні – фіксуються восени (лютий-березень – -0,7 м/с). Середньорічна аномалія швидкості вітру складає 0,2 м/с.

Узагальнюючи вище зазначене, можна стверджувати, що в досліджуваному регіоні відбувається значна перебудова досліджуваних метеорологічних полів. Аналіз багаторічних трендів свідчить про зростання приземної температури повітря і атмосферного тиску та зменшення швидкості вітру за досліджуваний період, в той же час аналіз аномалій дозволяє стверджувати що швидкість цих змін суттєво зменшилась за останнє десятиріччя.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Asay-Davis X. S., Jourdain N. C., Nakayama Y. Developments in simulating and parameterizing interactions between the Southern Ocean and the Antarctic ice sheet. *Current Climate Change Reports*. 2017. 3. №. 4. С. 316-329.
2. Davis C.H. Snowfall-driven growth in East Antarctic ice sheet mitigates recent sea-level rise / C.H. Davis [et al.]. *Science*. 2005. V. 308, № 5730. P. 1898-1901.
3. Данова Т.Е., Прокоф'єв О.М. Характеристики енергетического спектра отношения смеси и температуры воздуха в тропосфере Антарктики. *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта*. 2014. Вып. 1. С. 8-13.
4. Прокоф'єв О.М. Використання взаємного спектрального аналізу для оцінки взаємозв'язку вологовмісту та приземної температури антарктичного повітря. *Науковий вісник Чернівецького університету (серія „Географія“)*. 2014. Вип. 724-725. С. 95-99.
5. Прокоф'єв О.М. Багаторічна мінливість приземної швидкості вітру у Східній Антарктиді. *Фізична географія та геоморфологія*. 2015. №. 2(78). С. 145-151.
6. Прокоф'єв О.М., Шаменкова О.И. Многолетняя изменчивость атмосферного давления Антарктического полуострова. *Символ науки*. 2015. №. 8. С. 316-320.
7. Аверьянов В.Т. Гляциоклиматология Антарктиды. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 198 с.
8. Данова Т.Є. Полярна та морська метеорологія: конспект лекцій, 2006, 84с.
9. Данова Т.Є. Основи гляціології та моніторинг кріосфери: Навчальний посібник. Одеса: ТЕС, 2014. 118с.

10. Прокофьев О.М., Сущенко А.И. Современные изменения температурного режима Антарктического полуострова. Бюллетень науки и практики. 2016. №12 (13). С.100-106.

11. Гончарова Л.Д., Школьный Є.П. Методи обробки та аналізу гідрометеорологічної інформації (збірник задач і вправ): навчальний посібник. Одеса: Екологія, 2007. 454 с.