

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та
аспірантської підготовки
Кафедра метеорології та кліматології

Комплексна магістерська кваліфікаційна робота

Багаторічна динаміка термобаричного режиму Антарктичного півострова
та його зв'язок з геомагнітною активністю

СКЛАД:

1. Багаторічна динаміка термічного режиму Антарктичного півострова та його зв'язок з геомагнітною активністю

Виконала студентка групи МНЗ- 2к
Прокоф'єва Ірина Георгіївна
Керівник: к.геогр.н. Сущенко Андрій Іванович

2. Багаторічна динаміка баричного режиму Антарктичного півострова та його зв'язок з геомагнітною активністю

Виконав студент групи МНЗ- 2к
Маковічук Артем Борисович
Керівник: к.геогр.н., доц. Прокоф'єв Олег Милославович

Провідний науковий керівник: к.геогр.н., доц. Прокоф'єв Олег Милославович

Рецензент: д.геогр.н., доцент Овчарук Валерія Анатоліївна

Одеса 2018 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та
аспірантської підготовки
Кафедра метеорології та кліматології

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: Багаторічна динаміка термічного режиму Антарктичного півострова
та його зв'язок з геомагнітною активністю

Виконала студентка 2 курсу групи МНЗ- 2к
спеціальності 103 – “Науки по Землю”
Прокоф'єва Ірина Георгіївна

Керівник к.геогр.н.
Сущенко Андрій Іванович

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

Одеса 2018

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Магістерської та аспірантської підготовки
Кафедра метеорології та кліматології
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 103 "Науки про Землю"
(шифр і назва)
Освітня програма Кліматологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Івус Г.П.

" 29 " жовтня 2018 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Прокоф'євій Ірині Георгіївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Багаторічна динаміка термічного режиму Антарктичного півострова та його зв'язок з геомагнітною активністю.

керівник роботи Сущенко Андрій Іванович, к.геогр.н.

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від 5 жовтня 2018р. № 271-с

2. Строк подання студентом роботи 10 грудня 2018р.

3. Вихідні дані до роботи. Дослідження термічного режиму Антарктичного півострова проводилося за даними, отриманими з сайту Британської Антарктичної служби. Вихідні дані представляють собою середньомісячні значення приземної температури повітря дванадцяти станцій Антарктичного півострова за період з 1950 по 2015рр. (на деяких станціях період спостережень зменшено у зв'язку з відсутністю даних).

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Проаналізувати тенденції багаторічних змін приземної температури повітря досліджуваного регіону; 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 за десятирічні періоди з 1986 по 2015рр.; дослідити зв'язок між температурою повітря та геомагнітною активністю за допомогою кореляційного та взаємного спектрального аналізів.

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

Карто-схеми трендової складової приземної температури повітря, карто-схеми просторово-часового розподілу аномалій приземної температури повітря, гістограми сум аномалій приземної температури повітря за десятиріччя, графіки статистичних

оцінок взаємної спектральної щільності середньомісячної температури повітря та індексу геомагнітної активності.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 29 жовтня 2018р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
	Огляд літературних джерел за темою кваліфікаційної роботи	29.10-05.11 2018р.	85	добре
	Формування бази даних по приземній температурі повітря та індексу Ар	06.11-09.11 2018р.	97	відмінно
	Розрахунок та аналіз статистичних характеристик приземної температури повітря.	10.11-12.11 2018р.	91	відмінно
	Розрахунок трендової складової приземної температури повітря та аналіз особливостей багаторічних змін приземної температури повітря.	13.11-16.11 2018р.	92	відмінно
	Розрахунок аномалій приземної температури повітря, аналіз їх динаміки та просторового розподілу.	17.11-19.11 2018р.	87	добре
	Рубіжна атестація	19.11-24.11 2018р.	90	відмінно
	Дослідження та аналіз глобальних статистичних взаємозв'язків між приземною температурою повітря та геомагнітною активністю за допомогою взаємного спектрального аналізу	20.11-30.11 2018р.	90	відмінно
	Оформлення кваліфікаційної роботи, підготовка доповіді та презентації	01.12-10.12 2018р.	95	відмінно
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		91	відмінно

Студент _____ Прокоф'єва І.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Сущенко А.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота на тему «Багаторічна динаміка термічного режиму Антарктичного півострова та його зв'язок з геомагнітною активністю» є частиною комплексної кваліфікаційної роботи «Багаторічна динаміка термобаричного режиму Антарктичного півострова та його зв'язок з геомагнітною активністю».

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

Метою досліджень: аналіз особливостей динаміки термічного режиму антарктичного півострова, а також його зв'язку з геомагнітною активністю.

Об'єкт дослідження. Середньомісячні значення приземної температури повітря станцій Антарктичного півострова.

Методи дослідження. Дослідження виконувалось за допомогою методів багатовимірного статистичного аналізу (кореляційний аналіз), методами теорії випадкових процесів (взаємний спектральний аналіз, методи виявлення прихованих періодичностей).

Теоретичне та практичне значення. У роботі встановлено степінь зв'язку геомагнітної активності та приземної температури повітря Антарктичного півострову. Визначені характеристики статистичної структури приземної температури повітря в досліджуваному регіоні, виявлені приховані періодичності у часових рядах приземної температури Антарктичного півострова.

Досліджено динаміку приземної температури повітря за тридцяти річний період: визначена трендова складова, а також аномалії за десятирічні періоди. Результати можуть бути використані для дослідження метеорологічного режиму Антарктиди та його зв'язку з геомагнітною активністю. Застосовані принципи візуалізації результатів комплексного статистичного дослідження та одержані результати також можуть бути використані при визначенні динаміки регіональних змін клімату у майбутньому.

Вихідні дані. Дослідження термічного режиму Антарктичного півострова проводилося за даними Британської Антарктичної служби. Вихідні дані представляють собою середньомісячні значення приземної температури повітря дванадцяти станцій Антарктичного півострова за період з 1950 по 2015рр. (на деяких станціях період спостережень зменшено у зв'язку з відсутністю даних).

Кількість сторінок – 85

Кількість рисунків – 13

Кількість таблиць – 20

Кількість використаної літератури – 31

Ключові слова: Антарктичний півострів, приземна температура повітря, індекс геомагнітної активності, аномалія, спектральна щільність, когерентність.

SUMMARY

The master's qualification work on the topic "The Long-Term Dynamics of the Thermal Regime in the Antarctic Peninsula and its Relation to Geomagnetic Activity" is part of the complex qualification work "The Long-Term Dynamics of the Thermobaric Regime in the Antarctic Peninsula and its Relation to Geomagnetic Activity".

Actuality of theme. The urgency of the theme is determined by the need for continuous monitoring of the meteorological regime of Antarctica and its dynamics in the light of modern climate change.

The purpose of research analysis of the dynamics of the thermal regime of the Antarctic peninsula, as well as its connection with geomagnetic activity.

Object of study. The average monthly air temperature at the surface of the ground stations of the Antarctic Peninsula.

Research methods. The research was carried out using methods of multivariate statistical analysis (correlation analysis), methods of the theory of random processes (mutual spectral analysis, methods of detection of latent periodicity).

Theoretical and practical importance. The degree of connection of geomagnetic activity and ground air temperature of the Antarctic peninsula is established in the work. The characteristics of the statistical structure of the surface temperature of air in the studied region are determined, and the hidden periodicity in the time series of the surface temperature of the Antarctic peninsula is revealed.

The dynamics of the surface air temperature over the thirty-year period is investigated: a defined trend component, as well as anomalies for ten-year periods. The results can be used to study the meteorological regime of Antarctica and its connection with geomagnetic activity. The applied principles of visualization of the results of integrated statistical research and the obtained results can also be used in determining the dynamics of regional climate change in the future.

Output data. Investigation of the thermal regime of the Antarctic Peninsula was carried out according to the British Antarctic Service. The initial data represent the average monthly values of the surface air temperature of the twelve stations of the Antarctic Peninsula for the period from 1950 to 2015. (at some stations, the observation period has been reduced due to lack of data).

Number of Pages – 85

Number of figures – 13

Number of tables – 20

Number of references – 31

Keywords: Antarctic peninsula, ground air temperature, geomagnetic activity index, anomaly, spectral density, coherence.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Комплексна магістерська кваліфікаційна робота на тему «Багаторічна динаміка термобаричного режиму Антарктичного півострова та його зв'язок з геомагнітною активністю» виконувалась на кафедрі метеорології та кліматології під керівництвом доцента кафедри, кандидата географічних наук Прокоф'єва Олега Милославовича та старшого викладача кафедри, кандидата географічних наук Суценка Андрія Івановича студентами групи МНЗ-2к Прокоф'євою Іриною Георгіївною – тема: «Багаторічна динаміка термічного режиму Антарктичного півострова та його зв'язок з геомагнітною активністю» та Маковійчуком Артемом Борисовичем – тема: «Багаторічна динаміка баричного режиму Антарктичного півострова та його зв'язок з геомагнітною активністю».

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.

У наш час вивчення полярних районів набуває величезного значення, можливо, що метеорологія і кліматологія саме полярних районів допоможуть зрозуміти механізм зміни клімату на нашій планеті. Важлива задача – вивчити

різні стани системи океан-атмосфера, а потім спробувати перенести на клімат окремих районів нашої планети результату їх впливу. Щоб виказати гіпотези про температурні умови, кількість опадів, вітровий режим і режим циркуляції в майбутньому, необхідно досконально вивчити сучасні умови і розібратися в суті фізичних процесів.

Метою роботи є дослідження особливостей термобаричного режиму Антарктичного півострова, а також встановлення його зв'язку з геомагнітною активністю.

В якості матеріалу дослідження використовувались середньомісячні значення приземної температури повітря на 12 станціях Антарктичного півострову (отримані з бази даних Британського Антарктичного центру), а також індекс геомагнітної активності Ар.

В магістерській кваліфікаційній роботі, яку виконувала Прокоф'єва І.Г. – тема: «Багаторічна динаміка термічного режиму Антарктичного півострова та його зв'язок з геомагнітною активністю» представлені результати дослідження особливостей термічного режиму досліджуваного. Виявлено, що на більшості досліджуваних станцій спостерігається зростання приземної температури повітря за досліджуваний період протягом більшості місяців року. Найбільші додатні тренди спостерігаються в період антарктичної зими. Від'ємні значення тренду фіксуються переважно в літній період.

Аналіз термічного режиму Антарктичного півострову свідчить про наявність певних змін, які відбуваються в регіоні, а саме посилення ролі циклонів північно-західних траєкторій (Східно-Тихоокеанська та Південно-Американська гілки переміщення циклонів) в літній період року, та ослаблення їх в зимовий. За останні тридцять років фіксується стійка тенденція до збільшення приземної температури повітря протягом більшості місяців року, що може свідчити про порушення стабільності термічного режиму Антарктичного півострова.

Взаємний спектральний аналіз приземної температури повітря та індексу геомагнітної активності A_p , також дозволив встановити існування тісного кореляційного зв'язку між періодичними складовими в часових рядах досліджуваних величин. Виявлена залежність приземної температури повітря від індексу A_p , яка спостерігається із зсувом від 270,0 до 359,7.

Кваліфікаційна магістерська робота Маковійчука А.Б. на тему: «Багаторічна динаміка баричного режиму Антарктичного півострова та його зв'язок з геомагнітною активністю» присвячена дослідженню динаміки баричного режиму Антарктичного півострова та дослідженню впливу геомагнітної активності на поля атмосферного тиску досліджуваного регіону. Виявлено, що для більшості досліджуваних станцій, характерне зменшення атмосферного тиску на рівні моря за досліджуваний період протягом більшості місяців року. Найбільші від'ємні значення тренду для усіх станцій спостерігаються в літній період. Зростання атмосферного тиску зафіксовано, переважно, наприкінці зими.

За допомогою взаємного спектрального аналізу виявлено, що для спектральної щільності середньомісячних значень атмосферного тиску, властиві річні, піврічні та сезонні коливання. Коливання з таким самим періодом виявлені і в спектральній щільності середньомісячних значень індексу A_p .

Взаємний спектральний аналіз атмосферного тиску та індексу геомагнітної активності A_p , також дозволив встановити існування тісного кореляційного зв'язку між періодичними складовими в часових рядах досліджуваних величин. Виявлена залежність атмосферного тиску від індексу A_p . Ця залежність спостерігається із зсувом від 270,7 до 336,9 градусів.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
1 МЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ РЕЖИМ І КЛІМАТ АНТАРКТИДИ.....	14
1.1 Антарктична суша і своєрідність її як підстильної поверхні	14
1.2 Сучасні кліматичні зміни Південної полярної області.....	21
1.2.1 Кліматичні зміни Антарктиди	21
1.2.2 Характер сучасного регіонального клімату Антарктичного півострова	26
2 ВИХІДНА ІНФОРМАЦІЯ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	29
2.1 Характеристика вихідної інформації.....	29
2.1.1 Температура повітря	29
2.1.2 Індекси геомагнітної активності.....	31
2.2 Методи дослідження.....	34
2.2.1 Методи розрахунку основних статистичних параметрів	34
2.2.2 Методи розрахунку аномалій метеорологічних величин.....	38
2.2.3 Взаємний спектральний аналіз двох випадкових процесів...	39
3 СУЧАСНІ ЗМІНИ ТЕРМІЧНОГО РЕЖИМУ АНТАРКТИЧНОГО ПІВОСТРОВА	46
3.1 Статистичні характеристики приземної температури повітря.....	46
3.2 Особливості багаторічних змін приземної температури повітря....	49
4 АНАЛІЗ АНОМАЛІЙ ПРИЗЕМНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ.....	56
4.1 Динаміка аномалій приземної температури повітря.....	56
4.2 Просторовий розподіл аномалій приземної температури повітря..	60
4.3 Аналіз сум аномалій приземної температури повітря по регіону..	69
5 ЗВ'ЯЗОК ТЕРМІЧНОГО РЕЖИМУ АНТАРКТИЧНОГО ПІВОСТРОВА З ГЕОМАГНІТНОЮ АКТИВНІСТЮ	72
5.1 Кореляційний зв'язок геомагнітної активності та приземної температури повітря.....	72

5.2 Взаємний спектральний аналіз приземної температури повітря та індексу геомагнітної активності.....	76
ВИСНОВКИ	81
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	83
ДОДАТКИ	86
Додаток А.....	87
Додаток Б	94

ВСТУП

Магістерська кваліфікаційна робота на тему «Багаторічна динаміка термічного режиму Антарктичного півострова та його зв'язок з геомагнітною активністю» є частиною комплексної кваліфікаційної роботи «Багаторічна динаміка термобаричного режиму Антарктичного півострова та його зв'язок з геомагнітною активністю».

Потепління кліматичної системи є незаперечним фактом, і багато змін, які спостерігаються і, що відбулися з 1950-х років, є беспрецедентними в масштабах від десятиліть до тисячоліть. Відбулось потепління атмосфери і океану, запаси снігу та льоду скоротилися, а рівень моря підвищився. Кожне з трьох останніх десятиліть характеризувалося більш високою приземною температурою повітря порівняно з будь-яким попереднім десятиріччям, починаючи з 1850 р. За останні два десятиріччя Антарктичний льодовиковий щит безперервно втрачав масу. Льодовики продовжували скорочуватися практично у всьому світі.

У наш час вивчення полярних районів набуває величезного значення, можливо, що метеорологія і кліматологія саме полярних районів допоможуть зрозуміти механізм зміни клімату на нашій планеті. Важлива задача – вивчити різні стани системи океан-атмосфера, а потім спробувати перенести на клімат окремих районів нашої планети результату їх впливу. Щоб виказати гіпотези про температурні умови, кількість опадів, вітровий режим і режим циркуляції в майбутньому, необхідно досконально вивчити сучасні умови і розібратися в суті фізичних процесів.

В якості матеріалу дослідження використовувались середньомісячні значення приземної температури повітря на 12 станціях Антарктичного півострову, а також індекс геомагнітної активності Ар.

В ході виконання дослідження реалізовані наступні завдання:

- проаналізовані тенденції багаторічних змін приземної температури повітря;
- розраховані та проаналізовані статистичні характеристики температури повітря;
- визначені значущі періоди коливань температури повітря;
- визначені трендові складові приземної температури повітря;
- розраховані та проаналізовані аномалії температури повітря за десятирічні періоди з 1986 по 2015рр.;
- проаналізовані суми аномалій приземної температури повітря по досліджуваному регіону;
- досліджено зв'язок між температурою повітря та геомагнітною активністю за допомогою кореляційного та взаємного спектрального аналізів.

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

Проведене дослідження свідчить про наявність певних змін, які відбуваються в термічному режимі регіону, а саме впливу загальнопланетарного підвищення температури. За останні тридцять років фіксується стійка тенденція до збільшення приземної температури повітря протягом більшості місяців року, що може свідчити про порушення стабільності термічного режиму Антарктичного півострова.

Доведене існування тісного кореляційного зв'язку між періодичними складовими в часових рядах приземної температури повітря та індексу Ар. Виявлена залежність приземної температури повітря від індексу Ар, яка спостерігається із зсувом від 270 до 360 градусів.

Магістерська кваліфікаційна робота складається з п'яти розділів. В першому розділі представлена кліматична характеристика дослідженого регіону. Другий розділ присвячений вихідній інформації та методам дослідження. Третій розділ є розрахунковим та присвячений аналізу особливостей багаторічних змін приземної температури повітря

Антарктичного півострова. В четвертому розділі представлено аналіз аномалій приземної температури повітря. П'ятий розділ присвячено дослідженню зв'язку термічного режиму Антарктичного півострова та геомагнітної активності. Дослідження проводиться за допомогою кореляційного та взаємного спектрального аналізів.

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 (рис. 1.1). Влітку чисельність тимчасових жителів, приблизно, складає 4000 чоловік, взимку – 1500 чоловік. Ніхто ще не жив тут довше 18 місяців.

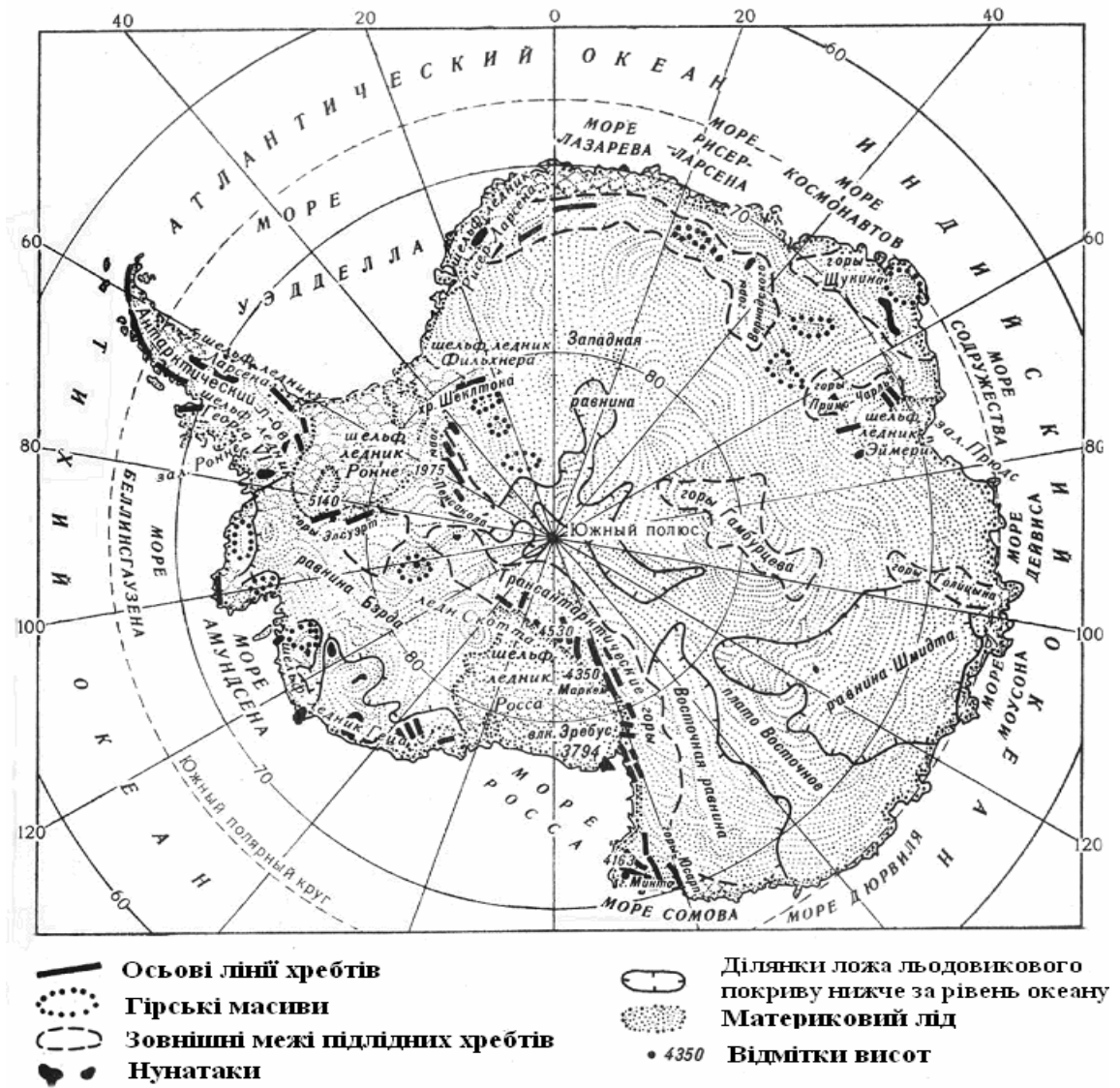


Рис. 1.1 – Антарктида

Майже вся Антарктида розташована на південь від Південного полярного кола ($66^{\circ} 33'$ пд. ш.), який відстоїть від Південного полюса на 2600 км. Південне полярне коло 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 [1, 2].

В Антарктиді 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 Ведела в Атлантичному секторах.

Антарктида підрозділяється на дві крупні частини, які істотно 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.

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

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

Льодовиковий покрив має в цілому куполовидну форму, причому крутизна поверхні зростає у напрямку до узбережжя, де зосереджені кінці

вивідних льодовиків і шельфові льодовики або крижані уступи. Антарктичні айсберги вражають своїми розмірами, рекордними для Землі. Так, наприклад, один з них, що утворився на початку 1990-х років, досягав в довжину 154 км, а завширшки – 35 км.

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

Влітку льодовиковий покрив збільшується на 3–4 млн. км² за рахунок розростання шельфових льодовиків, особливо навкруги Антарктичного півострова і в морі Роса. Взимку океан навкруги Антарктиди замерзає. Таким чином формуються морський лід на площі біля 17 млн. км², який тоне в кінці весни – на початку літа.

Східна Антарктида представляє собою 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 складаючих порід. Близько 1,1–1,4 млрд. років тому в Східній Антарктиді відбувалося формування гранітів шляхом виверження та застигання розплавленої магми [2].

Після того, як був сформований фундамент, протягом довгого часу відбувалося опадонакопичення в морських і континентальних умовах. Головна опадова свита (група Бікон) включає різноманітні породи, складаючи живописні вершини і скелясті схили Трансантарктичних гір. Багато з цих гірських порід сформувалися 350–190 млн. років тому і містять викопні залишки рослин і тварин, включаючи динозаврів і земноводних (наприклад, *Lystrosaurus*). Це свідчить про те, що природні умови того часу

дуже сильно відрізнялися від сучасних, хоча Південний полюс тоді знаходився або на території самої Антарктиди, або поблизу неї. Льодовикові відкладення найбільш характерні для періоду 320–280 млн. років тому, коли Антарктида вперше перемістилася в полярний район.

Крупною геологічною подією, що завершила період формування гірських порід групи Бікон, є інтрузія величезної маси сірої гірської породи долерита. Подібні гірські породи були знайдені також в Тасманії та інших районах, які колись входили до складу стародавнього суперконтиненту Гондвана.

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

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, який загинув по дорозі назад з Південного полюса в 1912р.).

Роздроблення Гондвани проходило у декілька етапів, які добре були вивчені. Африка і Південна Америка почали розділятися одночасно з утворенням Атлантичного океану приблизно 130 млн. років тому. Індія відділилася 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 [2].

Сучасний льодовиковий покрив Антарктиди сформувався декілька мільйонів років тому. Передуюча заледенінню геологічна історія реконструюється за наслідками вивчення безлічі невеликих оголень корінних порід і кернів, відібраних при бурінні морського дна. Отримані дані свідчать, що материк, на якому виростала рослинність, споріднена з тою, 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.

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

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

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

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

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

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

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

Клімат внутрішньоматерикової високогірної зони можна характеризувати як клімат вічного морозу з найнижчими на земній кулі температурами повітря, ясною погодою і невеликими швидкостями вітру (3-5 м/сек.). Середньорічна температура повітря в цій зоні складає -50 - -60°C (середня температура найхолоднішого місяця -70 - -72°C , а найтеплішого -30 - -32°). Мінімальні температури можуть тут досягати -90°C .

Атмосферний тиск складає в середньому близько 600-620 гПа, причому найбільші середньомісячні величини тиску припадають на теплий період року, а найменші – на зиму, коли спостерігаються найнижчі температури.

Клімат льодовикового схилу характеризується як клімат вічного морозу, стокового вітру і заметілі. Середньорічні температури повітря в цій зоні залежать від висоти схилу і змінюються від -20°C для прибережних районів до -50°C для верхніх ділянок схилу, видалених на 700-800 км від узбережжя. Середні температури найхолоднішого місяця в цій зоні коливаються, відповідно, від -30 до -60°C , а найтеплішого – від -10 до -20 - -25°C . Такі низькі температури тут поєднуються з постійними сильними вітрами, які несуть з собою маси снігу з глибини материка. Північна частина цієї зони, яка співпадає з рівнем нижньої межі нижньої хмарності та межею загасання стокових вітрів в літній період часу, характеризується великим відкладенням

снігу (до 100-150 см) і великою кількістю випадаючих опадів (до 600 мм). В південній частині зони кількість опадів складає 60 – 120 мм на рік [3].

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

а) райони узбережжя, схильні впливу стокових вітрів;

б) райони узбережжя, що знаходяться зовні впливу стоку (льодовикові шельфи, припай і т.д.);

в) антарктичні оазиси та інші вільні від льоду ділянки суші (гірські ланцюги, нунатаки, прибережні острови і т.д.).

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.

Найсуворішими в кліматичному відношенні є райони узбережжя, схильні впливу стокових вітрів. Це, мабуть, «найбурхливіші райони» на землі. 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 [3]. 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).

Місцевий клімат Антарктичних оазисів відрізняється рядом особливостей. Влітку тут унаслідок нагрівання підстильної поверхні максимальні температури на поверхні ґрунту можуть досягати $+30,0^{\circ}\text{C}$, а повітря $4,0\sim 10,0^{\circ}\text{C}$. Повітря дуже сухе – як в найсправжнісінських пустелях. В теплий період добре виражена місцева циркуляція схилів. Зима тут на $2,0\text{-}3,0^{\circ}\text{C}$ тепліше, ніж зовні оазису.

1.2 Сучасні кліматичні зміни Південної полярної області

1.2.1 Кліматичні зміни Антарктиди

В теперішній час, широко та детально обговорюються та прогнозуються зміни стану льодяного покриву Антарктики, які відбуваються [4-7]. Останні дані відносно змін розміру та об'єму льодяного панцира Антарктиди свідчать, що тільки льодяний покрив Антарктичного півострова в теперішній час демонструє відповідну реакцію на зміни клімату. Наявні свідчення про суттєве скорочення льодяного покриву у Західній Антарктиці, особливо в районі моря Амундсена [5]. Дослідження, які ґрунтуються на дистанційному зондуванні, не представляють однозначних свідчень відносно балансу маси Східноантарктичного льодяного щита. Одні дослідники повідомляють про скорочення крайової зони зледеніння [4], у той же час інші не відмічають суттєвих змін [8-9].

Таким чином, льодовиковий щит Антарктиди продовжує залишатися крупнішим та унікальнішим скупченням природного льоду на нашій планеті, яке зародилося в результаті стійкого похолодання клімату 25-26 млн. років тому. За минулий геологічний час утворився могутній льодовиковий купол з максимальною товщиною в центральній частині – 4 800 м та об'ємом – від

25 до 30 млн. км³. Утворившись та не зменшуючись за час свого існування антарктичний льодовиковий покрив завдяки своїм розмірам та запасам холоду сам став могутнім кліматоутворювальним фактором, котрий визначає радіаційні, метеорологічні, циркулярно-синоптичні умови не тільки в межах Південної полярної області Південної півкулі, але й всієї Планети, оскільки є в теперішній час зоною інтенсивного стоку енергії (при альбедо підстильної сніжної поверхні до 90-95%) у Світовий простір. Іншими словами, Антарктичний льодовиковий купол являється планетарним холодильником та відповідно могутнім центром дії атмосфери, який визначає багато рис баричної топографії, циркуляції повітряних мас у Південній полярній області та особливості температурно-вологісного режиму не тільки тропосфери а й нижньої стратосфери з характерним інверсійним розподілом температури в прольотному шарі до 80 км. В силу цих умов, над Антарктидою протягом усього року переважає могутній антициклоніальний вихор в системі приполюсного циркуляційного осередку з переважно низхідними вертикальними потоками вихолодженого сухого та щільного повітря. В приземному шарі це повітря набуває горизонтальної складової та визначає зародження стокових (катабатичних) вітрів, які радіально розповсюджуються від району Південного полярного плато до узбережжя континенту.

В силу перерахованих рис природи Антарктиди, вона представляє собою важливу структурну ланку загальнопланетарної кліматичної системи та сама по собі визначає регіональну кліматичну систему з усіма відмітними особливостями балансу тепла та вологи, масоенергообміну з суміжними океанічними просторами та могутнього впливу на них.

Умови існування Антарктичного льодовикового щита забезпечують в напрямку від центру льодяного покриву до його кромки: зменшення прямої та сумарної радіації, збільшення поглиненої радіації, зростання значень радіаційного балансу (від від'ємних значень), підвищення температури повітря, збільшення вологовмісту повітря та збільшення випаровування та конденсації.

Умови акумуляції визначаються режимом твердих гравітаційних опадів, які на більшій частині Антарктиди дорівнюють акумуляції. Крім того в суму акумуляції входять наростаючі опади, кількість яких коливається в значних межах (від 6-10 до 50%) від загальної суми, в залежності від ступеня океанічності клімату та вологовмісту повітряних мас. За даними [10-11] наростаючі опади в районі Антарктичного півострова складають до 50% загальної суми опадів, а в глибинних районах континенту – не більш 10 %.

Відомо, що зміни річного балансу маси льодовика тісно пов'язані з кліматом, та, перш за все, зі змінами атмосферної циркуляції та аномаліями опадів і температури повітря. При цьому не завжди вдається виділити чіткі закономірності. Наприклад, підвищення середньорічної температури повітря збільшує абляцію та відповідно зменшує річний баланс маси. Однак при цьому може збільшуватись кількість твердих опадів, що призведе до збільшення балансу. Такі випадки спостерігались на льодовиках в південній частині Норвегії та в найбільш зволжених районах Альп. Для Антарктиди зміни річного балансу маси льодовикового покриву завжди пов'язані зі змінами атмосферної циркуляції, та аномаліями опадів і температури повітря.

Іншими словами, існує взаємозв'язок зледеніння з атмосферою, сушею та океаном. Найбільш мінлива атмосфера. З нею пов'язані сезонні зміни розмірів та форми льодовиків, циклічні короткочасні та більш тривалі коливання льодовиків. Є багато факторів, які вказують на ритмічний характер коливань льодовиків, пов'язаний з сонячними циклами. Ці цикли й пов'язані з ними кліматичні коливання впливають на інтенсивність наступання та відступання льодовиків, причому спостерігається істотна інерція в проявленні впливу атмосфери на коливання льодовиків, що часто затрудняє встановлення взаємозв'язку поведінки льодовиків з коливаннями клімату. Крім цього, труднощі виникають внаслідок накладення коливань з різними кліматичними періодами.

Зафіксований пов'язаний з сонячною радіацією цикл змін клімату з періодом 2,5 тис. років, що вплинув на поведінку багатьох льодовиків. У

відповідності з ним холодні фази були 7,8; 5,3; 2,8 тис. та 300 років тому. При цьому не всі фази проявлялись однаково. В період 8-5 тис. років тому середні температури повітря були вище сучасних, що сприяло зменшенню зледеніння. 5-3 тис. років тому спостерігалось зниження глобальних температур та збільшення зледеніння. X-XII ст. нашої ери характеризувалися відносно теплим кліматом (цей період іноді називають другим кліматичним оптимумом голоцену). В цей та подальший час спостерігалися короткочасні коливання зледеніння з 11-, 22-, 35- та 80-річними циклами, які вплинули на інтенсивність наступання льодовиків під час малого льодовикового періоду та на інтенсивність відступання льодовиків в останньому сторіччі.

Ідея автоколивань зледеніння в системі земна поверхня-атмосфера як основного механізму чергування льодовикових епох була висловлена в 1930 р. капітаном дальнього плавання Е.С. Гернетом. Згідно запропонованої ним теорії, розповсюдження льодовиків не обов'язково повинне бути пов'язане зі змінам клімату під впливом якихось зовнішніх причин, а самі льодовики в ході свого розвитку можуть змінювати клімат. Збільшення площі зледеніння призводить до зменшення кількості тепла, яке отримує Земля унаслідок збільшення альbedo на покритих снігом та льодом територіях, що викликає зниження температури земної поверхні і повітря та сприяє подальшому розширенню зледеніння, поки не почне відчуватися дефіцит атмосферної вологи, яка забезпечує живлення льодовиків. Е.С. Гернет стверджував, що льодовикові явища в планетарному масштабі є частковий перехід Землі із стану без льоду в стан зледенілий та що лід, розповсюдившись на Землі, сам в собі містить причину свого збереження [12].

Враховуючи, що основним джерелом живлення льодовикового щиту Антарктиди є опади, особливо важливим являється питання моніторингу кількості опадів в Південній полярній зоні. Наростаючі опади за своєю абсолютною величиною приблизно дорівнюють возгонці (випаровуванню) снігу при від'ємних, а тим паче додатних температурах повітря (без переходу

через рідку фазу). Тому, при розрахунках водного-льодового балансу, вони врівноважуються.

Просторовий розподіл опадів, практично рівний акумуляції, представлений на рис. 1.2. Аналіз швидкості акумуляції снігу показав, плямистість в розподілі даної характеристики [11].

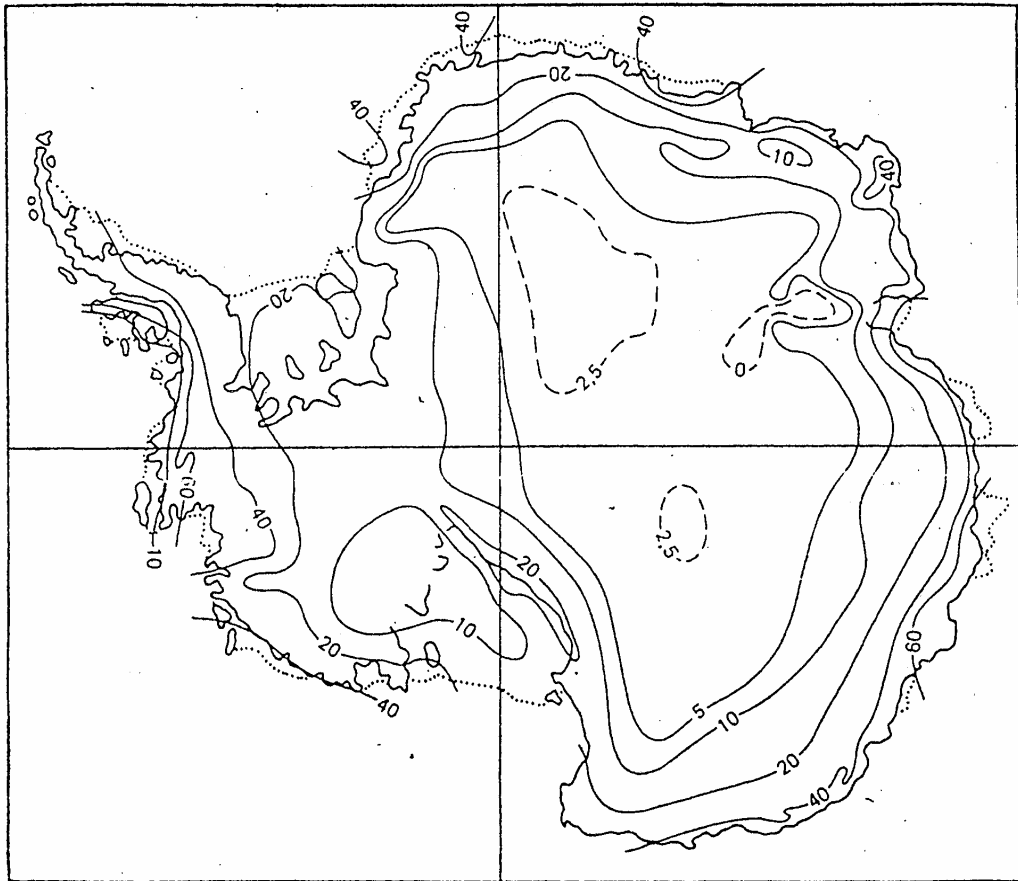


Рис. 1.2 – Швидкість акумуляції снігу, г/см^2 за рік [11].

На півночі Антарктичного півострова випадає від 2 000 до 3 000 мм, в центрі материка – до 35-50 мм, на узбережжі опадів випадає від 500-600 до 900-1000 мм за рік, на шельфових льодовиках – від 250 до 400 мм за рік [13-15]. На умови акумуляції суттєво впливає режим вітру та заметілевий перенос снігу, особливо інтенсивний на схилах Антарктичного льодовикового щита, поблизу узбережжя. В умовах суттєвого розчленування рельєфу, наприклад в районі Антарктичного півострова, відкладення та

перерозподіл опадів на вивідних льодовиках залежать від місцевих вітрів, особливо теплих вітрів Тихоокеанського узбережжя, які характеризуються значною кількістю опадів (в тому числі рідких) та найбільш м'яким та вологим океанічним кліматом [15-16].

В результаті узагальнених кількісних оцінок основних показників гляціальних та гляціокліматичних процесів та режиму антарктичного льодовикового покриву вирисовується наступна картина. Протягом плейстоцену, зледеніння Антарктиди змінювалось тільки в сторону аградації [17-18].

Спостережувана у XX-XXI столітті зміна кромки льодовикового щита, яка притаманна його сучасному режиму, коливається біля деякого середнього положення в місцях розвитку шельфових та крупних вивідних льодовиків. Сучасні кліматичні зміни, які проявляються в потеплінні, будуть мати наслідки для антарктичної атмосфери у вигляді збільшення температури повітря та його вологовмісту. Як наслідок, збільшення вологовмісту повітря призведе до збільшення кількості опадів над Антарктидою. Наступним етапом кліматичних змін буде зростання прихідної частини масбалансу Антарктичного льодовикового щита, за рахунок випадання та акумуляції гравітаційних та наростаючих опадів, що в свою чергу призведе до збільшення швидкості витрат льодовикового матеріалу в процесі його сповзання з берега в море та відколу крупних айсбергів.

1.2.2 Характер сучасного регіонального клімату Антарктичного півострова

Антарктичний півострів розташований в межах великомасштабної циркумполярної циркуляції в атмосфері та океані. Значна протяжність на північ гірської системи Антарктичного півострова призводить до посилення

меридіонального контрасту поля температури повітря, формуванню зонального кліматичного контрасту, а також до формування регіональних циркуляції в океані і тропосфері, яка відбивається на режимі погоди. Орографічний контраст посилюється неоднорідним розподілом зледеніння, особливо наявністю шельфового льодовика Ларсена на східному узбережжі. З урахуванням специфічного розподілу морського льоду, такі риси регіональної орографії були підставою для визначення Антарктичного півострова як гляціокліматичної лінії розділу [19]. Різноманітність орографічних умов в даному районі призводить до того, що дані конкретної станції репрезентативні тільки для обмеженого району. Це значить, що існують певні труднощі в порівнянні даних навіть з близько розташованими станціями. Так, в районі станції «Академік Вернадський», яка розташована на відстані 8-10 км від західного узбережжя Антарктичного півострова, меридіональна орієнтація берегової лінії значною мірою формує режим повітряних потоків (уздовж берегової лінії). З іншого боку, наявність гірської системи (середня висота плато до 2000 м в районі станції «Академік Вернадський», а висоти окремих гір – до 2800 м) відповідає за формування мезомасштабних циркуляцій у вигляді фенових вітрів, а близькість покривного зледеніння на півострові призводить до формування стокових вітрів місцевого масштабу [19].

З інших важливих рис клімату Антарктичного півострову слід відзначити наявність озонної діри, яка регулярно активізується протягом весняного сезону (вересень-листопад) [19].

На численних архіпелагах та островах берегової зони Антарктичного півострова функціонують численні земні та морські екосистеми, причому умови їх існування в значній мірі залежать від кліматичного режиму [19].

Клімат та погодні умови Антарктичного півострова визначаються взаємодією між теплою і вологою тихоокеанською та холодною сухою повітряними масами материка Антарктиди, а також умовами зледеніння і наявністю гірської системи на Антарктичному півострові та особливістю

океанічної циркуляції, яка визначає коливання морського льоду. Північна частина Антарктичного півострова (Земля Грейама) відноситься до кліматичного району з помірним кліматом (в межах Антарктики), з переважно помірним вітром і високою вологістю [19].

Головним фактором формування полів температури повітря та опадів є великомасштабна циркуляція, але місцеві умови (гірська система Антарктичного півострова, контраст океан-лід-континент) також відіграють важливу роль у формуванні погодних умов. Наявність зледеніння на східному узбережжі і відсутність на західному зумовлює відхилення регіональних ізотерм від квазізональної орієнтації, з посиленням градієнтів у вузькій зоні, майже паралельно гірській системі Антарктичного півострова. Наявність морського льоду взимку, як правило, посилює цей контраст [19].

Важливо відзначити, що в плані тенденцій клімату Антарктичний півострів контрастує з даними континентальної та Східної Антарктиди: там середні річні температури практично не змінюються, або спостерігаються слабкі негативні тренди в окремі місяці. Це пов'язано зі специфічним фізико-географічним положенням Антарктичного півострова, а саме з його значною меридіональною протяжністю, наявністю гірської системи, зледеніння та морів з різними термічними характеристиками. В умовах відносно м'яких кліматичних умов на архіпелагах та островах берегової зони Антарктичного півострова функціонують численні екосистеми, які вкрай чутливі до будь-яких змін клімату [19].

2 ВИХІДНА ІНФОРМАЦІЯ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Характеристика вихідної інформації

2.1.1 Температура повітря

В якості матеріалу дослідження використовувались середньомісячні значення приземної температури повітря на станціях Антарктичного півострову. Оскільки метою роботи є дослідження та аналіз багаторічної мінливості термічного режиму Антарктичного півострова та його зв'язку з геомагнітною активністю, то для дослідження були використані всі доступні дані по всіх існуючих або коли-небудь існувавших станціях, які проводили на Антарктичному півострові кліматичний моніторинг атмосфери.

Для виявлень характерних тенденцій, властивих термічному режиму Антарктичного півострова використовувалися дані по 12 антарктичним станціям, розташованим в цьому районі (табл. 2.1, рис 2.1).

У таблиці 2.1 представлені всі станції, які були використані в дослідження, а також основні параметри цих станцій: географічна широта, довгота та висота на рівнем моря. Як бачимо, вибрані для дослідження станції мають невеликі висоти над рівнем моря, за винятком станції Magambio (198 м). Що стосується періодів спостережень, то тут можна сказати, що тривалість більшості рядів склала від 20 до 60 років, період дослідження по усім станціям закінчується 2015 роком.

Таблиця 2.1

Характеристика станцій Антарктичного півострова

№ з/п	Назва станції	Широта	Довгота	Висота над рівнем моря
1	Jubany	62,2S	58,6 W	4m
2	King Sejong	62,2S	58,7 W	11m
3	Bellingshausen	62,2S	58,9 W	16m
4	Marsh	62,2S	58,9 W	10m
5	Great Wall	62,2S	59,0 W	10m
6	Arturo Prat	62,5S	59,7 W	5m
7	O Higgins	63,3S	57,9 W	10m
8	Esperanza	63,4S	57,0 W	13m
9	Marambio	64,2S	56,7 W	198m
10	Faraday/Vernadsky	65,4S	64,4 W	11m
11	Rothera	67,5S	68,1 W	32m
12	San Martin	68,1S	67,1 W	4m

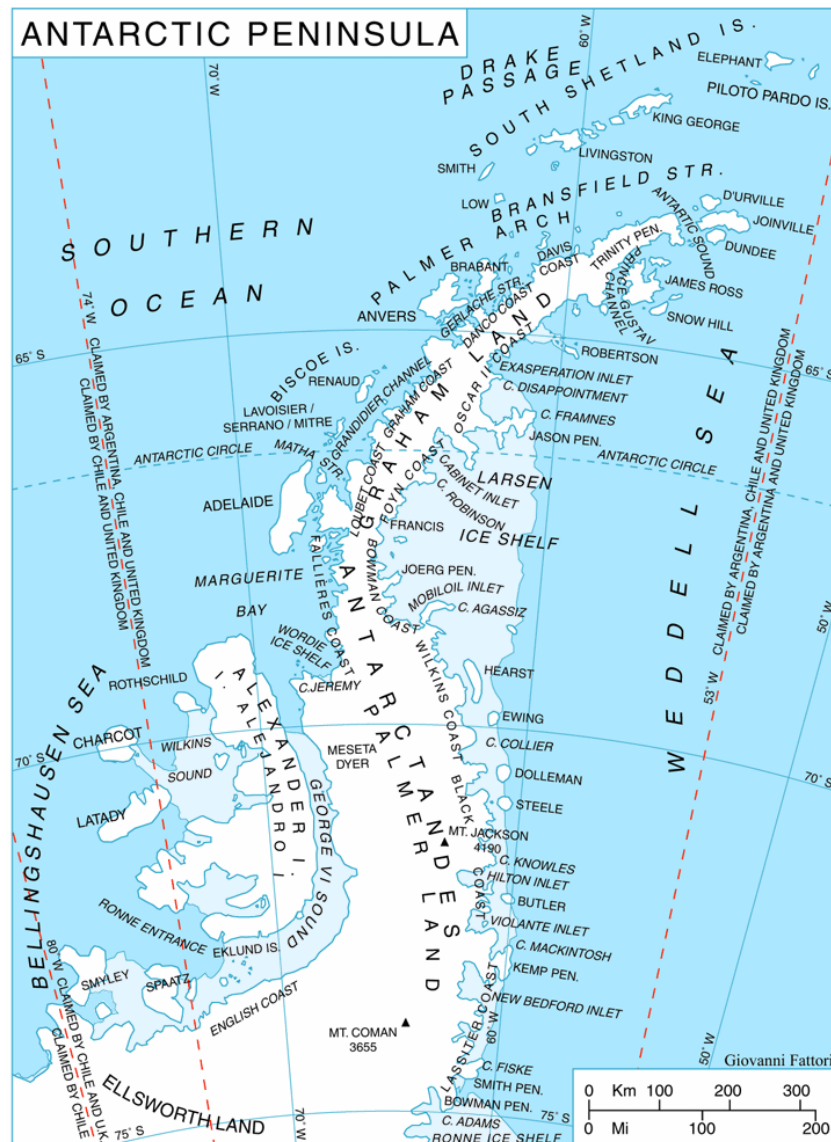


Рис. 2.1 – Район дослідження

2.1.2 Індeksi геомагнітної активності

Магнітне поле Землі змінюється складним чином в часі і в просторі і є важливим елементом в системі Сонце - Земля. Стан земного магнітного поля, часові варіації його напруженості контролюють і визначають протікання ряду процесів в системі Сонце - Земля. Магнітне поле Землі в проміжках часу, малих в порівнянні з історичними епохами, можна розглядати як постійне (основне) з накладенням на нього змінного поля, напруженість якого на декілька порядків менше напруженості основного поля.

Спостережувані на поверхні Землі варіації магнітного поля викликаються змінами процесів, зовнішніх по відношенню до Землі, а також процесів, що розвиваються в земній корі і протікають в ядрі. Основне поле задовільно описується полем диполя, вісь якого нахилена до осі обертання Землі на $11,5^\circ$, а центр зміщений відносно центру Землі в Східну півкулю. Розрахунки величини магнітного моменту і координат диполя виконуються систематично з 1829 р. Встановлено, що величина зміщення диполя від центру Землі змінилася від 252 км в 1829 р. до 451 км в 1965 р., а магнітний момент безперервно зменшується.

Попри те, що запропоновані багато механізмів зміни клімату впродовж останніх тисячоліть, залишається дискусійною пояснення зміни глобальної температури, спостережуваної з другої половини минулого століття [29,30,31]. Подібно до сонячної модуляції галактичних космічних променів (ГКП), потік ГКП також модулюється магнітним полем Землі, тому представляє інтерес ретельне вивчення потенційного зв'язку між змінами характеристик магнітного поля Землі і кліматом на різних по тривалості часових шкалах, що дозволить розділити ефекти сонячної і геомагнітної дії на клімат. Окрім прямих вимірів характеристик магнітного поля на магнітних обсерваторіях, дані про зміну поля отримують за допомогою археомагнітних і палеомагнітних методів. У непрямих даних однієї з основних проблем є

зменшення точності часової прив'язки палеомагнітних даних по мірі поглиблення в минуле.

Загально прийнято, що геомагнітна активність повинна відбивати вплив активного Сонця на Землю, тобто при оцінці активності повинні бути враховані варіації, які виникають при взаємодії корпускулярного випромінювання Сонця з магнітосферою. Варіації, які викликаються хвиловим випромінюванням Сонця, наприклад Sq - варіація, повинні бути виключені. Дні, коли спостерігаються тільки Sq і L - варіації і відсутні або незначні усі інші, називаються магнітоспокійними днями. До теперішнього часу питання про зв'язок магнітного поля Землі (МПЗ) і клімату є досить дискусійним. При цьому такий зв'язок розглядається як в масштабах тисяч і мільйонів років із залученням палеоданих, так і за період прямих інструментальних спостережень у зв'язку з кліматичними змінами, сонячною і геомагнітною активністю. Тобто, йдеться про зв'язок змін клімату зі змінами МПЗ різних джерел - внутрішніх (у ядрі) і зовнішніх (магнітосфера і іоносфера), які мають принципово різну природу, характеризуються різним частотним діапазоном, і інформацію про яких отримують із залученням різних методів.

До цього часу накопичені багато даних, що свідчать як на користь доказів таких зв'язків, так і їх спростувань, що викликає бурхливі дискусії. Основними проблемами є як встановлення достовірних кореляційних зв'язків, так і їх можливий механізм.

Існуючі індекси геомагнітної активності можна умовно розділити на три групи. До першої групи індексів можна віднести ті, які інформують нас про величину локальної по території геомагнітної збуреності : C, K, a_K, r_n індекси. До другої групи можна віднести індекси, що характеризують геомагнітну активність на усій Землі, це так звані планетарні індекси: C_i, C_p, C₉, K_p, K_s, K_n, a_p, A_p, a_m, A_m, a_a, A_a.

До третьої групи – індекси, які відбивають інтенсивність магнітної збуреності від цілком певного джерела. Наприклад, індекс Dst характеризує

інтенсивність симетричної частини кільцевого струму, AE-індекс – збуреність в овалі полярних сьайв, індекс PC, який отримують за геомагнітними даними обсерваторій Восток або Thule, розташованих в полярній шапці, характеризує збуреність в полярній шапці.

Для характеристики планетарної магнітної збуреності в 3-годинному інтервалі нині існують два індекси: K_p і K_m . Обидва індекси обчислюються на підставі даних K -індекса обсерваторій, число і розташування яких суттєво різне. При вивченні закономірностей між явищами і процесами, що протікають на Землі, і геомагнітною активністю виникає потреба в усереднюванні останнього за деякий період часу, – наприклад, за бурю, за місяць, за рік і так далі. Як було відмічено вище; ні K , ні K_p , ні K_m - індекси не рекомендуються використати для цих цілей. Тому Барельсом були введені індекси a_p , A_p , a_m , A_m , a_a , A_a , що мають лінійну шкалу виміру і збурення, що характеризують амплітуду, в 3-годинному і 24-годинному інтервалах.

На асамблеї Міжнародного геодезичного і геофізичного союзу в 1951 р. було прийнято рішення про введення планетарних індексів геомагнітної активності a_p і A_p , обчислюваних за лінійною шкалою. Індекс a_p обчислюється за даними K_p -індексу і представляє зміну найбільш збуреного магнітного елементу D або H в 3-годинному інтервалі часу на середньо-широтних станціях. a_p -індекс називають планетарною амплітудою в 3-годинному інтервалі. Індекс A_p виходить усереднюванням восьми значень a_p за день і тому є еквівалентною середньодобовою планетарною амплітудою [28]. Найбільше значення A_p було визначене 13 листопада 1960 р. і воно дорівнювало 280.

В роботі, при дослідженні зв'язку геомагнітної активності з термобаричним режимом Антарктичного півострову використовувались середньомісячні значення A_p індексу.

2.2 Методи дослідження

2.2.1 Методи розрахунку основних статистичних параметрів

Основні властивості випадкових величин характеризуються *початковими* (ν), *центральною* (μ) та *основними* (r) моментами розподілу різних порядків (l). В гідрометеорологічних дослідженнях, як правило, використовуються перелічені моменти перших чотирьох порядків ($l = \overline{1,4}$). Початкові, центральні та основні моменти розподілу є параметрами генеральних сукупностей випадкових величин. На основі статистичної сукупності (вибірки) можна знайти *статистичні оцінки* цих параметрів, які повинні володіти властивостями *незсуненості*, *ефективності* та *умотивованості*. 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.) [20].

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:

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

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

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

або

$$\hat{v}_l = \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i^l \hat{p}_i, \quad (2.4)$$

де n – об'єм вибірки;

k – кількість часткових інтервалів;

$\tilde{x}_i, m_i, \hat{p}_i$ – середина, інтервальна емпірична частота та інтервальна частість i -тої градації відповідно [20].

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

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

$$\mu_l = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^l f(x) dx. \quad (2.5)$$

Статистична оцінка центрального моменту розподілу l -того порядку, якщо ряди є *згрупованими*, розраховується за формулою:

$$\hat{\mu}_l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^l m_i \quad (2.6)$$

при використанні інтервальних емпіричних частот m_i і за формулою

$$\hat{\mu}_l = \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^l \hat{p}_i \quad (2.7)$$

при використанні інтервальних частотей \hat{p}_i [20].

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

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

$$\hat{\mu}_2 = \hat{\sigma}_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^2 m_i, \quad (2.8)$$

$$\hat{\mu}_2 = \hat{\sigma}_x^2 = \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^2 \hat{p}_i. \quad (2.9)$$

Аналогічним чином на основі формули (2.6) або (2.7) знаходять статистичні оцінки *третього* (за умови $l=3$) і *четвертого* (за умови $l=4$) моментів розподілу випадкової величини X [20].

Статистична оцінка другого центрального моменту розподілу, що розраховується за формулою (2.8) або (2.9), є *зсуненою оцінкою* дисперсії.

Незсунену, ефективну та умотивовану оцінку дисперсії випадкової величини X (це вимоги, яким повинні задовольняти статистичні оцінки параметрів) розраховують за формулою (2.10) і позначають S_x^2 :

$$S_x^2 = \frac{n}{n-1} \hat{\mu}_2, \quad (2.10)$$

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

Щоб розрахувати незсунену, ефективну та умотивовану оцінку дисперсії випадкової величини X за умови згрупованих рядів використовують рівняння (2.11):

$$S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^2 m_i. \quad (2.11)$$

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

$$S_x = \sqrt{S_x^2}. \quad (2.12)$$

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

$$r_l = \frac{\mu_l}{\sigma_x^l}. \quad (2.13)$$

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

$$\hat{r}_l = \frac{\hat{\mu}_l}{S_x^l}. \quad (2.14)$$

Очевидно, що $r_1 = 0$, а $r_2 = 1$.

Тому обчислюються тільки статистичні оцінки *третього* (за умови $l=3$) та *четвертого* (за умови $l=4$) порядків основних моментів розподілу.

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 $A_s > 0$, і лівосторонню – за умови $A_s < 0$. Вона є симетричною відносно центру розподілу, якщо $A_s = 0$ [20].

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

$$E = \hat{r}_4 - 3. \quad (2.15)$$

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

За умов нормального розподілу $r_3 = 0$; $E = 0$.

Інколи при статистичних дослідженнях метеорологічних рядів необхідно визначити їх модальне значення Mo та медіану Me [20].

2.2.2 Методи розрахунку аномалій метеорологічних величин

Для встановлення характерних особливостей зміни приземної температури повітря та атмосферного тиску на рівні моря за останні 30 років було прийняте рішення розрахувати та проаналізувати аномалії вказаних метеорологічних величин за десятирічні періоди з 1986 по 2015рр.

Таким чином, для кожної станції, були сформовані три десятиріччя: 1) 1986-1995рр., 2) 1996-2005рр., 3) 2006-2015рр. За данні періоди років аналізувалися:

- середнє значення досліджуваної метеорологічної величини за тридцятирічний період \bar{x}_{30} – з 1986 по 2015рр.,
- середнє значення за кожне десятиріччя \bar{x}_{10} ;
- аномалія, розрахована як різниця між $\bar{x}_{30} - \bar{x}_{10}$ для кожної станції.

2.2.3 Взаємний спектральний аналіз двох випадкових процесів

Спектральний аналіз є одним із важливих методів статистичного дослідження випадкових часових рядів. Він всебічно використовується в різних галузях науки та техніки, у тому числі в гідрометеорології для фізико – статистичного моделювання складних атмосферних процесів [20].

Важливою вимогою використання цього методу при дослідженнях евквідістантних часових рядів є стаціонарність випадкових послідовностей. Спектральний аналіз дає можливість отримати важливі характеристики статистичної структури часових гідрометеорологічних рядів, які є, як відомо, випадковими. Він дозволяє детально визначити особливості розвитку атмосферних процесів, встановити важливі взаємозв'язки між різними їх сторонами [20].

Відомо, що властивості випадкових функцій визначаються їх ймовірносними характеристиками. Автоковаріаційна $K_x(t_i; t_j)$ та автокореляційна $R_x(t_i; t_j)$ функції дають можливість встановити характер взаємозв'язку між різними перерізами випадкової функції $X(t)$.

Якщо треба дослідити взаємозв'язок між двома випадковими функціями, наприклад, $X(t)$ та $Y(t)$, то його характер визначають взаємна коваріаційна – $K_{xy}(t_i; t_j)$ та взаємна кореляційна – $R_{xy}(t_i; t_j)$ функції [20].

При спектральному розкладенні випадкової функції можна отримати спектр функції, тобто представлення її сумою гармонічних коливань, які мають різні амплітуди гармонік [20].

Важливою характеристикою випадкового процесу є спектральна щільність, яка визначає щільність розподілу дисперсії гармонічних коливань у залежності від частоти та виступає енергетичним спектром випадкової функції [20].

Для системи стаціонарних випадкових процесів $X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)$, крім спектральних щільностей $S_{x_i}(\omega)$ кожного процесу, розглядаються й взаємні спектральні щільності $S_{x_i x_j}(\omega)$, які є перетвореннями Фур'є від відповідних взаємних коваріаційних функцій [20]:

$$S_{x_i x_j}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K_{x_i x_j}(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau. \quad (2.16)$$

Навпаки, взаємні коваріаційні функції є оберненими перетвореннями Фур'є від взаємних спектральних щільностей, тобто [20]:

$$K_{x_i x_j}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{x_i x_j}(\omega) e^{i\omega\tau} d\omega. \quad (2.17)$$

Взаємна коваріаційна функція не має властивостей парності. Позначимо через $K_{x_i x_j}^{(+)}(\tau)$ – парну частину взаємної коваріаційної функції $K_{x_i x_j}(\tau)$, а через $K_{x_i x_j}^{(-)}(\tau)$ – її непарну частину [20].

Отже,

$$K_{x_i x_j}(\tau) = K_{x_i x_j}^{(+)}(\tau) + K_{x_i x_j}^{(-)}(\tau), \quad (2.18)$$

де

$$K_{x_i x_j}^{(+)}(\tau) = \frac{1}{2} \left[K_{x_i x_j}(\tau) + K_{x_i x_j}(-\tau) \right], \quad (2.19)$$

$$K_{x_i x_j}^{(-)}(\tau) = \frac{1}{2} \left[K_{x_i x_j}(\tau) - K_{x_i x_j}(-\tau) \right]. \quad (2.20)$$

Якщо підставити рівняння (2.18) в рівняння (2.16) та використати відому формулу Ейлера, отримаємо:

$$S_{x_i x_j}(\omega) = C_{x_i x_j}(\omega) - i Q_{x_i x_j}(\omega) , \quad (2.21)$$

де

$$C_{x_i x_j}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K_{x_i x_j}^{(+)}(\tau) \cos \omega \tau d\tau \quad (2.22)$$

називається ко-спектром, а функція

$$Q_{x_i x_j}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K_{x_i x_j}^{(-)}(\tau) \sin \omega \tau d\tau \quad (2.23)$$

квадратурним спектром випадкових процесів $X_i(t)$ та $X_j(t)$ [20].

Ко-спектр, як косинус-перетворення Фур'є від парної функції $K_{x_i x_j}^{(+)}(\tau)$, є парною функцією.

Якщо підставити рівняння (2.21) в рівняння (2.17) і застосувати для функції $e^{i\omega t}$ формулу Ейлера, то отримаємо формулу для взаємної коваріаційної функції у вигляді:

$$K_{x_i x_j}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} C_{x_i x_j}(\omega) \cos \omega \tau d\omega + \int_{-\infty}^{\infty} Q_{x_i x_j}(\omega) \sin \omega \tau d\omega . \quad (2.24)$$

За умови $\tau = 0$ взаємна коваріаційна функція визначається рівнянням (2.25):

$$K_{x_i x_j}(0) = \int_{-\infty}^{\infty} C_{x_i x_j}(\omega) d\omega . \quad (2.25)$$

Формула (2.25) свідчить про те, що *ко-спектр* дає розкладання по різних частотах взаємної коваріаційної функції двох випадкових процесів при нульовому зсуві аргументу і має *смысл середнього добутку процесів* $X_i(t)$ та $X_j(t)$ у вузькому інтервалі частот $\omega + d\omega$, поділеному на частотний інтервал. Ко-спектр характеризує розкладання по частотах енергії синхронної взаємодії процесів $X_i(t)$ та $X_j(t)$ [20].

Квадратурний спектр $Q_{x_i x_j}(\omega)$ показує внесок різних гармонік у сумарну коваріацію за умови, коли всі гармоніки часової послідовності $X_i(t)$ зсунуті по фазі на чверть періоду назад, а послідовність $X_j(t)$ залишається незмінною. Квадратурний спектр характеризує розподіл по частотах енергії несинхронної взаємодії процесів $X_i(t)$ та $X_j(t)$ [20].

Дійсно, за умови $\tau = \frac{\pi}{2\omega} = \frac{T}{4}$ отримаємо на основі формули (2.24)

коваріаційну функцію у вигляді:

$$K_{x_i x_j} \left(\frac{T}{4} \right) = \int_{-\infty}^{\infty} Q_{x_i x_j}(\omega) d\omega . \quad (2.26)$$

За умови $\tau = 0$ на основі формули (2.24) будемо мати:

$$K_{x_i x_j}(0) = \int_{-\infty}^{\infty} C_{x_i x_j}(\omega) d\omega . \quad (2.27)$$

З останньої рівності виходить, що *ко-спектр* дає розкладання по різних частотах взаємної коваріаційної функції двох випадкових процесів при нульовому зсуві аргументу [20].

Аналогічно, якщо $\tau = \frac{\pi}{2\omega} = \frac{T}{4}$ отримаємо:

$$K_{x_i x_j} \left(\frac{T}{4} \right) = \int_{-\infty}^{\infty} Q_{x_i x_j}(\omega) d\omega. \quad (2.28)$$

Отже, квадратурний спектр характеризує внесок у загальну взаємну кореляцію двох випадкових процесів гармонік, що в них утримуються, при зсуві фаз цих гармонік на чверть періоду [20].

Комплексну функцію (2.21) можна записати у показниковій формі:

$$S_{x_i x_j}(\omega) = \left| S_{x_i x_j}(\omega) \right| e^{j\psi_{x_i x_j}(\omega)}. \quad (2.29)$$

Модуль взаємної спектральної щільності [20]:

$$\left| S_{x_i x_j}(\omega) \right| = \sqrt{C_{x_i x_j}^2(\omega) + Q_{x_i x_j}^2(\omega)} \quad (2.30)$$

називають амплітудним спектром, а функцію

$$\psi_{x_i x_j}(\omega) = \arctg \left[\frac{Q_{x_i x_j}(\omega)}{C_{x_i x_j}(\omega)} \right] \quad (2.31)$$

фазовим спектром [20].

При частотному зображенні процесів з'являється можливість порівняти взаємну енергію на фіксованій частоті з енергіями кожного з процесів на цій же частоті за допомогою такого співвідношення [20]:

$$\Gamma(\omega) = \frac{C_{x_i x_j}^2(\omega) + Q_{x_i x_j}^2(\omega)}{S_{x_i}(\omega) S_{x_j}(\omega)}. \quad (2.32)$$

Величина

$$\gamma(\omega) = \sqrt{\Gamma(\omega)} \quad (2.33)$$

має сенс спектрального коефіцієнта взаємної кореляції процесів $X_i(t)$ та $X_j(t)$, який визначає тісноту кореляційного зв'язку між цими процесами на фіксованих частотах. Вона має назву когерентності й може приймати значення від 0 до 1 [20].

Когерентність одночасно являє собою міру стійкості різниці фаз. Якщо різниця фаз двох процесів є стійкою, $\gamma(\omega) \rightarrow 1$, якщо різниця фаз нестійка, то $\gamma(\omega) \rightarrow 0$.

При визначенні міри взаємозв'язку спектральних компонентів двох процесів важливо з'ясувати, яким є співвідношення між взаємною енергією синхронної та несинхронної взаємодії, оскільки саме від характеру цієї взаємодії залежить різниця фаз коливань на фіксованій частоті [20].

Із рівняння (2.31) виходить, що за умов $C_{x_i x_j}(\omega) \neq 0$ та $Q_{x_i x_j}(\omega) = 0$, різниця фаз коливань повинна дорівнювати нулю, оскільки взаємозв'язок процесів буде існувати за рахунок синхронної їх взаємодії [20].

За умов $C_{x_i x_j}(\omega) = 0$ та $Q_{x_i x_j}(\omega) \neq 0$ різниця фаз спектральних компонент дорівнює $\frac{\pi}{2}$ (чверті періоду). Це означає, що взаємозв'язок коливань відбувається тільки в результаті несинхронної взаємодії процесів $X_i(t)$ і $X_j(t)$ [20].

У всіх інших випадках, тобто за умов $C_{x_i x_j}(\omega) \neq 0$ і $Q_{x_i x_j}(\omega) \neq 0$, різниця фаз спектральних компонентів (фазовий спектр) визначається рівнянням (2.31).

Фазовий спектр визначає відставання по фазі процесу $X_j(t)$ від процесу $X_i(t)$ за умови, що величину $\psi_{x_i x_j}(\omega)$ вважають додатною від 0° до 180° і від'ємною від 180° до 360° . Зсув фаз в 0 відповідає додатній

кореляції між процесами ("у фазі"), а зсув фаз в 180° – від'ємній кореляції ("у протифазі") [20].

Інколи зручніше аналізувати фазовий зсув не в градусах, а в одиницях часу. Щоб перейти до одиниць часу використовують формулу [20]:

$$\psi_{x_i x_j}^\tau(\omega) = \frac{T_k}{360^\circ} \psi_{x_i x_j}^0, \quad (2.34)$$

де $\psi_{x_i x_j}^0(\omega)$ – зсув фаз між двома процесами в градусах;

T_k – період коливання в одиницях часу, який відповідає частоті f_k

і розраховується як:

$$T_k = \frac{N_1 \Delta t}{k}, \quad \text{де} \quad (2.35)$$

$$N_1 = 2^m, \quad m = 1, 2, \dots, 3 \dots$$

3 СУЧАСНІ ЗМІНИ ТЕРМІЧНОГО РЕЖИМУ АНТАРКТИЧНОГО ПІВОСТРОВА

Останніми роками в обох полярних районах Землі – Арктиці та Антарктиці, спостерігаються явні ознаки впливу процесів, викликаних змінами клімату – глобальним потеплінням [21-24].

В антарктичних регіонах зафіксовані найбільші рівні виявлення ознак глобального потепління. Реальний вплив пов'язаних зі змінами клімату процесів показує глибоку регіональну різницю як в самих полярних регіонах, так і між ними – при значній складності цих взаємодій [25-26].

Вивчення динаміки термічного режиму є одним з найважливіших питань кліматичних змін, які відбуваються в Південній півкулі. Проаналізуємо середньомісячні значення приземної температури повітря за даними 12 станцій Антарктичного півострова. Систематизація, розрахунки та аналіз приземної температури були проведені для всіх місяців року за період з 1952 по 2015рр. На окремих станціях період дослідження зменшено через відсутність даних.

Як відомо, клімат будь-якого місця зазвичай визначається статистичними показниками, обчисленими на підставі довгих рядів спостережень метеорологічних величин, які характеризують режим погоди в даному регіоні.

3.1 Статистичні характеристики приземної температури повітря

Полярні райони є основним індикатором кліматичних змін, проведемо

оцінку коливань приземної температури повітря станцій Антарктичного півострова, для чого розрахуємо основні статистичні характеристики середньорічних значень приземної температури повітря [27]. Відзначимо, що деякі ряди, які досліджувались, не перевищують 25 років, але, тим не менш, можуть служити характеристикою кліматичних змін в даному районі (табл. 3.1).

Аналіз отриманих результатів показав, що за ступенем скошеності кривих розподілу, тобто по величині коефіцієнту A_s , в рядах приземної температури повітря станцій Антарктичного півострову зустрічається як правостороння так і лівостороння асиметрії. Це означає суттєву відмінність процесу змін клімату в південних полярних широтах від нормального та його нестационарність.

Звертаючись до аналізу коефіцієнтів ексцесу в табл. 3.1, треба відмітити, переважання плосковершинного ($E < 0$) розподілу над витягнутим ($E > 0$), тобто приземна температура повітря абсолютно на усіх станціях Антарктичного півострову змінюється у широкому діапазоні.

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

Якщо аналізувати середні значення приземної температури повітря, слід зазначити, що максимальні середньорічні значення температури фіксуються на станції Jubany ($-1,9^{\circ}\text{C}$). Також на станції Jubany фіксується найвище серед мінімальних середньорічне значення температури.

Таблиця 3.1

Статистичні характеристики приземної температури повітря

№ з/п	Назва станції	Широта	Довгота	Висота над рівнем моря	$x_{\text{сер.}}$	x_{min}	x_{max}	M_0	Sx^2	Sx	As	E
1	Jubany	62,2S	58,6 W	4m	-1,9	-3,1	-0,4	-1,8	0,24	0,49	0,13	0,62
2	King_Sejong	62,2S	58,7 W	11m	-2,9	-4,6	-1,0	-4,0	1,19	1,09	0,14	-1,57
3	Bellingshausen	62,2S	58,9 W	16m	-2,4	-4,0	-0,7	-1,8	0,57	0,75	-0,16	-1,01
4	Marsh	62,2S	58,9 W	10m	-8,5	-10,9	-6,2	-9,3	1,51	1,23	-0,61	-0,99
5	Great_Wall	62,2S	59,0 W	10m	-2,2	-3,4	-0,7	-3,1	0,57	0,75	0,04	-1,31
6	Arturo_Pratt	62,5S	59,7 W	5m	-2,3	-4,2	-0,5	-2,2	0,71	0,84	-0,08	-0,87
7	O_Higgins	63,3S	57,9 W	10m	-3,8	-5,4	-2,3	-4,2	0,57	0,76	0,12	-1,09
8	Esperanza	63,4S	57,0 W	13m	-5,3	-7,7	-3,0	-5,3	1,39	1,18	0,14	-0,97
9	Marambio	64,2S	56,7 W	198m	-8,5	-10,9	-6,2	-9,3	1,51	1,23	-0,05	-0,99
10	Faraday\ Vernadsky	65,4S	64,4 W	11m	-3,8	-8,1	-1,2	-2,5	2,74	1,66	-0,69	-0,28
11	Rothera	67,5S	68,1 W	32m	-4,4	-8,6	-1,8	-3,9	2,04	1,43	-0,77	0,35
12	San_Martin	68,1S	67,1 W	4m	-4,7	-6,8	-2,6	-4,2	1,12	1,06	0,02	-1,11

3.2 Особливості багаторічних змін приземної температури повітря

Проаналізуємо середні багаторічні значення приземної температури повітря на досліджених станціях Антарктичного півострову за дванадцять місяців та за рік. Аналіз рисунку 3.1 та таблиці 3.2 дозволяє стверджувати, що мінімальні значення приземної температури повітря спостерігаються в період антарктичної зими, максимальні – влітку. Найхолодніший місяць – липень (осереднене по території значення приземної температури складає $-8,2^{\circ}\text{C}$), найтепліший – січень ($1,1^{\circ}\text{C}$). Також максимальними значеннями температури повітря характеризуються станції, що знаходяться на максимальному віддаленні від Антарктичного материка – Bellingshausen, Marsh, Great_Wall та Arturo Prat вони в таблиці позначені жирним шрифтом.

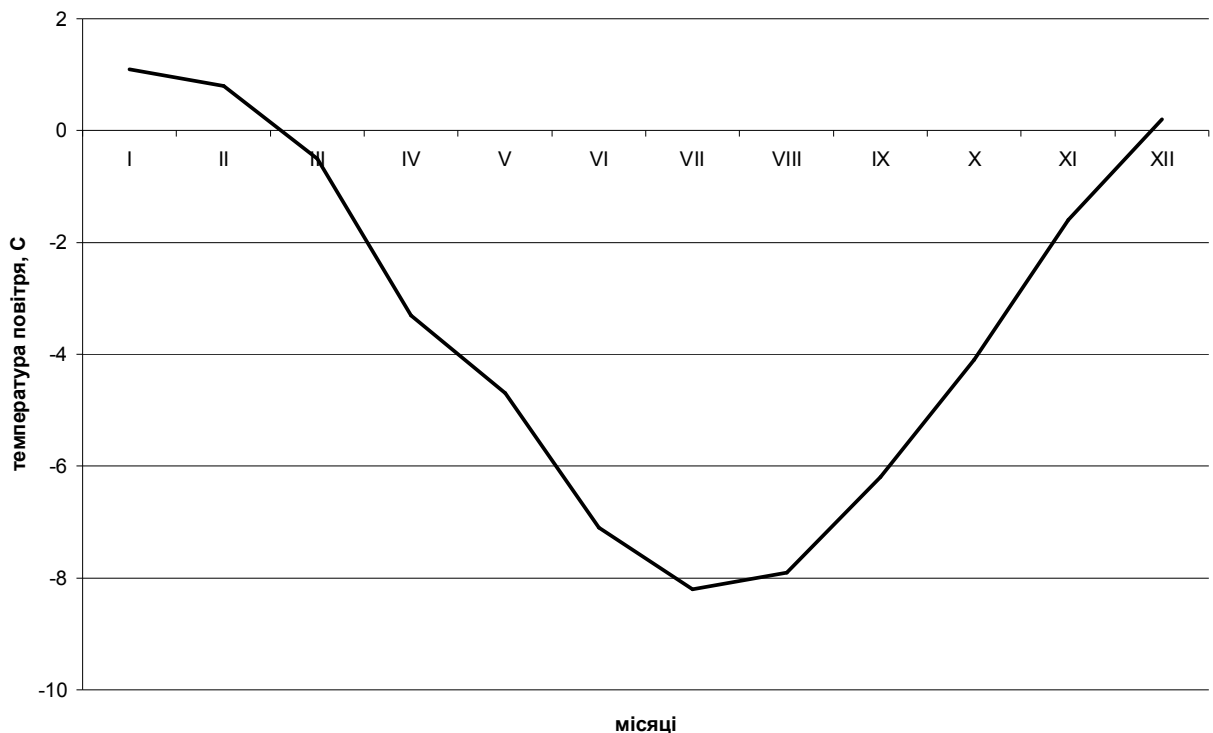


Рис. 3.1 – Річний хід осереднених по території середньомісячних значень приземної температури повітря

Найнижчі значення приземної температури протягом року спостерігаються на станції Marambio.

Всі данні були проаналізовані з метою виявлення прихованих періодичностей, яке проводилося за допомогою швидкого перетворення Фур'є з ймовірністю 68% (табл. 3.3).

Для станцій Антарктичного півострова найбільш характерні коливання з періодом 2 і 3 року. Також досить часто спостерігаються коливання з періодами від чотирьох до десяти років. На станціях Great_Wall та Faraday зафіксовані також квазідванадцятирічні коливання. За даними значень приземної температури повітря були побудовані графіки. Результати аналізу прихованих періодичностей використовувались при згладжуванні осереднених рядів приземної температури повітря.

В таблиці 3.4 представлені характеристики трендової складової приземної температури повітря, жирним шрифтом виділені найбільші додатні значення тренду, а жирним шрифтом та курсивом – найбільші від'ємні.

Аналіз табличного матеріалу показав, що для більшості досліджуваних станцій характерне зростання приземної температури повітря за досліджуваний період протягом більшості місяців року (рис. 3.4). Найбільші додатні тренди спостерігається в період антарктичної зими. Максимум зафіксовано на станціях Faraday\ Vernadsky та San_Martin 8,2 та 4,5 °C відповідно). Від'ємні значення тренду фіксуються переважно в літній період (грудень-січень). Слід зазначити, що на станції King_Sejong спостерігається стійке зменшення температури протягом усіх місяців року.

Проведемо картування отриманих результатів просторового розподілу багаторічних змін приземної температури (додаток А). Аналіз отриманих результатів показав плямистість в просторовому розподілі значень приземної температури повітря.

Таблиця 3.2

Середні багаторічні значення приземної температури повітря (°C)

Станції	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Marambio	-0,8	-1,4	-5,2	-11,4	-13,0	-15,6	-15,1	-13,3	-10,9	-8,2	-3,7	-1,0	-8,3
Esperanza	1,1	0,4	-1,3	-6,0	-8,1	-10,7	-10,7	-9,2	-6,9	-4,5	-1,5	0,6	-4,7
O Higgins	0,6	0,3	0,7	-3,1	-4,4	-6,9	-7,7	-7,3	-5,8	-3,9	-1,9	-0,1	-3,3
Jubany	1,9	1,8	0,6	-2,0	-2,6	-4,6	-5,9	-5,5	-3,9	-2,2	-0,3	0,9	-1,8
King Sejong	1,6	1,6	0,6	-1,6	-2,9	-5,0	-5,3	-5,3	-3,7	-2,1	-0,4	0,8	-1,8
Bellingshausen	1,4	1,4	0,3	-1,7	-3,5	-5,4	-6,3	-5,9	-4,4	-2,8	-1,0	0,4	-2,3
Marsh	1,1	1,1	0,2	-1,6	-3,0	-4,7	-5,9	-5,6	-4,3	-2,8	-1,1	0,1	-2,2
Great Wall	1,3	1,2	0,4	-1,8	-2,6	-4,6	-6,6	-5,8	-4,5	-2,7	-1,0	0,3	-2,2
Arturo Prat	1,5	1,5	0,5	-1,8	-2,4	-4,4	-6,1	-5,7	-4,6	-2,6	-1,0	0,4	-2,1
Faraday\ Vernadsky	0,8	0,6	-0,4	-2,0	-3,6	-5,5	-7,1	-7,9	-7,3	-5,0	-2,0	-0,2	-3,3
San Martin	1,4	0,8	-1,4	-3,4	-4,9	-9,3	-11,7	-12,7	-9,4	-6,4	-2,4	0,5	-4,9
Rothera	0,9	0,4	-1,5	-3,2	-5,1	-8,5	-10,3	-10,5	-8,6	-5,9	-2,6	0,1	-4,6

Таблиця 3.3

Значущі періоди коливань (рік) приземної температури повітря для станцій Антарктичного півострова

Станція	періоди коливань												рік
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Jubany	5,3	3,4	2,5	2,0	2,0	2,0	3,4	1,8	1,8	2,5	2,2	4,2	3,4
King_Sejong	3,9	3,2	2,1	3,9	3,9	2,0	3,9	3,9	2,1	2,5	6,7	2,4	3,9
Bellingshausen	2,4	2,0	8,7	3,3	1,9	1,9	8,7	2,3	6,5	2,9	2,1	2,4	6,8
Marsh	2,0	4,6	8,3	3,5	2,0	8,3	7,9	8,3	2,6	2,0	2,0	2,4	8,3
Great_Wall	2,9	2,2	11,5	2,2	2,0	2,9	2,9	1,8	2,9	2,0	2,2	4,2	2,5
Arturo_Pratt	3,4	2,0	7,9	5,1	2,1	2,7	2,0	4,6	5,6	3,2	1,9	2,7	2,1
O_Higgins	2,5	3,0	5,2	3,3	6,1	5,2	4,0	4,5	3,3	2,5	6,1	4,5	5,2
Esperanza	7,8	2,0	2,7	3,4	6,0	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	6,7	2,4	2,0
Marambio	2,0	2,0	4,9	6,2	3,8	7,9	3,8	2,3	3,4	2,1	7,9	3,8	3,4
Faraday	11,7	11,7	11,7	5,1	5,8	5,8	9,5	2,0	4,5	9,2	2,1	2,6	12,1
Rothera	2,0	4,4	2,6	3,8	2,0	2,6	5,4	2,0	3,3	2,0	2,0	2,9	2,0
San_Martin	2,0	4,4	2,3	2,0	2,3	3,5	2,4	2,0	3,3	2,0	2,0	2,0	3,1

Таблиця 3.4

Значення трендової складової приземної температури повітря (°C)

Станція	значення тренду												Рік
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Jubany	-0,1	-0,3	0,2	0,7	3,0	1,0	0,5	0,3	0,5	1,6	0,2	-0,2	0,3
King_Sejong	-0,8	-0,8	-0,3	-0,6	1,5	-0,6	-1,3	-0,6	-1,2	0,5	-0,4	-0,8	-0,4
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
Marsh	-0,2	-0,5	-0,1	-0,2	1,8	0,5	1,8	3,1	-0,1	-0,5	-0,5	-1,2	0,5
Great_Wall	-0,3	-0,4	-0,3	0,2	2,2	0,8	0,4	-0,2	0,1	1,0	0,3	0,1	0,3
Arturo_Pratt	1,4	1,5	1,6	1,3	4,0	2,8	1,0	3,0	-0,5	0,0	0,3	0,4	1,3
O_Higgins	0,4	1,1	1,0	0,6	3,8	2,7	1,0	2,5	0,5	0,0	0,3	-0,3	1,1
Esperanza	2,0	3,0	2,4	1,5	3,9	1,1	0,5	2,8	1,0	0,8	1,3	1,1	1,8
Marambio	2,0	2,5	2,0	1,0	2,1	0,0	-1,0	1,5	2,5	-0,4	1,3	0,9	1,2
Faraday\ Vernadsky	1,7	1,7	1,7	1,8	2,6	4,5	8,2	7,0	3,8	2,0	1,2	1,9	3,5
Rothera	0,3	0,8	1,2	1,5	4,0	2,5	4,0	4,0	3,0	3,0	1,3	0,0	2,3
San_Martin	1,4	2,0	1,7	1,6	4,5	2,0	2,0	3,2	3,9	2,8	0,1	0,7	1,8

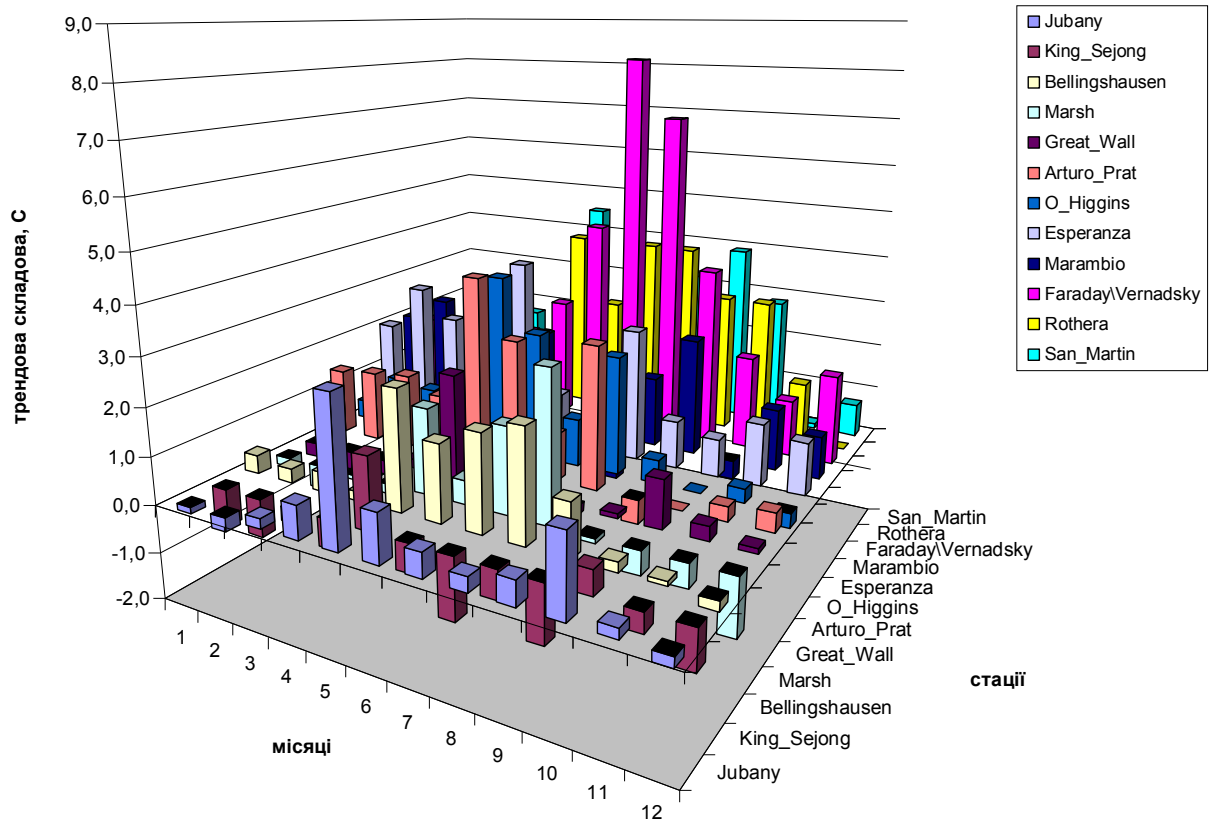


Рис. 3.2 – Гістограма трендової складової приземної температури повітря для усіх місяців року по станціям

На рисунку 3.3 представлені картосхеми трендової складової приземної температури повітря для центральних місяців сезонів.

Як бачимо, в літній період (грудень-січень) для більшості досліджуваної території характерні додатні значення тренду в межах 1-1,5 °С. Зниження температури спостерігається тільки на півночі досліджуваної території: станції Jubany та King_Sejong.

В квітні-місяці зберігається така сама тенденція. Максимальне зростання температури фіксується на станції Faraday\ Vernadsky (1,8 °С). Найбільші додатні значення тренду фіксуються в липні і охоплюють практично всю територію Антарктичного півострова (максимум Faraday\ Vernadsky 8,2 °С). Восени спостерігається така ж картина: для всієї території спостерігається підвищення приземної температури повітря на величину до 3,0 °С.

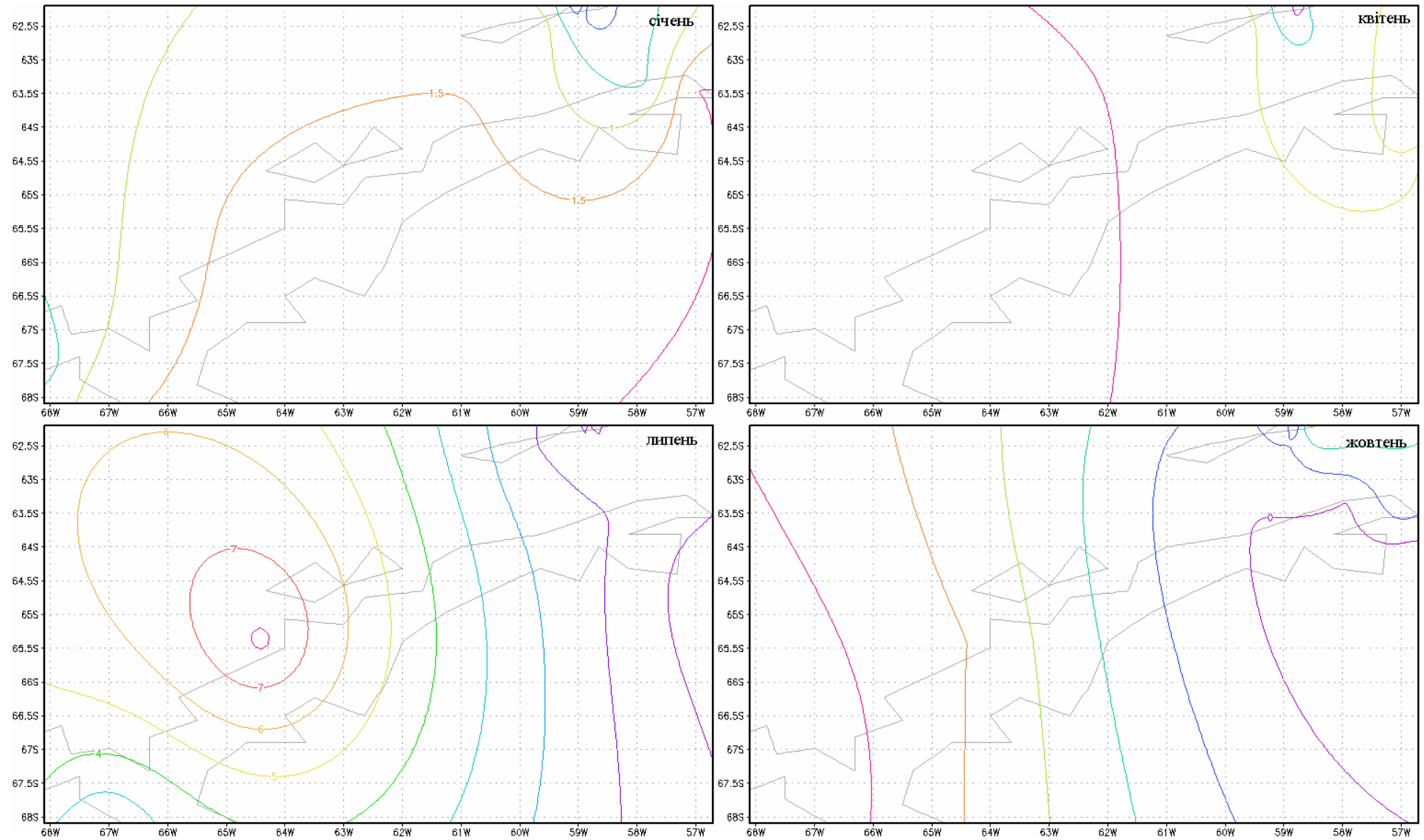


Рис. 3.3 – Картосхеми трендової складової приземної температури повітря для центральних місяців сезонів

4 АНАЛІЗ АНОМАЛІЙ ПРИЗЕМНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ

4.1 Динаміка аномалій приземної температури повітря

Для встановлення характерних особливостей змін приземної температури повітря за останні 30 років було прийняте рішення розрахувати та проаналізувати аномалії температури повітря за десятирічні періоди з 1986 по 2015рр.

Таким чином, для кожної станції, були сформовані три десятиріччя: 1) 1986-1995рр., 2) 1996-2005рр., 3) 2006-2015рр. За данні періоди років аналізувалися:

- середнє значення температури повітря за тридцятирічний період \bar{t}_{30} – з 1986 по 2015рр.,
- середнє значення приземної температури повітря за кожне десятиріччя \bar{t}_{10} ;
- аномалія приземної температури повітря, розрахована як різниця між $\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$ для кожної станції.

Методика розрахунку аномалій приземної температури повітря викладена в розділі 2.

В даному випадку ми використовували відхилення середнього значення приземної температури повітря для даної станції за кожне десятиріччя від багаторічного середнього значення температури повітря.

Проведемо дослідження просторово-часових змін аномалій приземної температури повітря Антарктичного півострову за три десятиріччя. Результати розрахунків аномалій приземної температури повітря для всіх місяців року представлені в додатку Б. В таблицях 4.1 – 4.4 представлені зміни аномалій середньомісячних значень приземної температури повітря по

даним 12 станцій Антарктичного півострова для центральних місяців сезонів (від'ємні значення виділені жирним шрифтом та підкреслені, а додатні – виділені жирним шрифтом).

Таблиця 4.1

Зміна аномалій середньомісячних значень приземної температури повітря за даними станцій Антарктичного півострова (січень)

Станції	\bar{t}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$
Marambio	-0,8	-1,8	-1,0	-0,7	<u>0,1</u>	-0,4	<u>0,4</u>
Esperanza	1,1	0,7	-0,4	1,1	0,0	1,6	<u>0,4</u>
O Higgins	0,6	-	-	0,8	<u>0,1</u>	0,6	-0,1
Jubany	1,9	1,0	-0,9	2,1	<u>0,1</u>	1,9	0,0
King Sejong	1,6	-	-	1,8	<u>0,2</u>	1,3	-0,3
Bellingshausen	1,4	1,3	-0,2	1,5	<u>0,1</u>	1,4	0,0
Marsh	1,1	-	-	1,2	<u>0,2</u>	1,0	-0,1
Great Wall	1,3	-	-	1,5	<u>0,2</u>	1,0	-0,2
Arturo Prat	1,5	-	-	1,6	<u>0,1</u>	1,3	-0,2
Faraday\ Vernadsky	0,8	0,6	-0,2	0,9	<u>0,1</u>	0,8	0,0
San Martin	1,4	0,8	-0,6	1,7	<u>0,2</u>	1,5	<u>0,1</u>
Rothera	0,9	0,8	-0,2	1,2	<u>0,2</u>	0,9	0,0
середнє значення	1,1	0,5	-0,6	1,2	0,0	1,1	0,0

Аналіз табличного матеріалу показав, що в перше десятиріччя 1986-1995рр. на станціях Антарктичного півострова фіксуються переважно від'ємні аномалії приземної температури повітря. Найбільше зниження температури фіксується в зимовий період

Друге десятиріччя (1996-2005рр.) характеризується перебудовою термічного режиму: з листопада по березень спостерігаються додатні аномалії приземної швидкості вітру, з квітня по жовтень – від'ємні. Максимальне зниження температури в цей період фіксується в вересні (станції O Higgins, -1,4°C, Marambio -1,0 °C).

Таблиця 4.2

Зміна аномалій середньомісячних значень приземної температури повітря
за даними станцій Антарктичного півострова (квітень)

Станції	\bar{t}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$
Marambio	-11,4	-12,8	-1,5	-11,7	-0,3	-10,1	<u>1,3</u>
Esperanza	-6,0	-5,9	<u>0,1</u>	-6,7	-0,7	-5,4	<u>0,6</u>
O Higgins	-3,1			-3,1	0,0	-3,2	<u>0,0</u>
Jubany	-2,0			-2,3	-0,4	-1,4	<u>0,6</u>
King Sejong	-1,6			-1,9	-0,4	-1,1	<u>0,5</u>
Bellingshausen	-1,7	-1,8	-0,1	-2,1	-0,4	-1,3	<u>0,4</u>
Marsh	-1,6			-1,9	-0,3	-1,4	<u>0,3</u>
Great Wall	-1,8	-3,4	-1,6	-2,3	-0,5	-1,2	<u>0,6</u>
Arturo Prat	-1,8	-3,7	-1,9	-2,2	-0,4	-0,6	<u>1,2</u>
Faraday\ Vernadsky	-2,0	-2,3	-0,3	-2,1	-0,1	-1,6	<u>0,4</u>
San Martin	-3,4	-4,1	-0,7	-3,0	<u>0,4</u>	-3,5	-0,1
Rothera	-3,2	-3,9	-0,7	-2,9	<u>0,3</u>	-2,8	<u>0,4</u>
середнє значення	-3,3	-4,7	-1,4	-3,5	-0,2	-2,8	0,5

Таблиця 4.3

Зміна аномалій середньомісячних значень приземної температури повітря
за даними станцій Антарктичного півострова (липень)

Станції	\bar{t}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$
Marambio	-15,1	-17,0	-1,9	-14,5	<u>0,7</u>	-15,3	-0,1
Esperanza	-10,7	-10,4	<u>0,3</u>	-11,0	-0,3	-10,7	<u>0,0</u>
O Higgins	-7,7	-	-	-8,5	-0,8	-7,1	<u>0,6</u>
Jubany	-5,9	-13,9	-8,0	-5,0	<u>0,9</u>	-5,6	<u>0,3</u>
King Sejong	-5,3	-5,0	<u>0,3</u>	-5,9	-0,6	-4,4	<u>0,9</u>
Bellingshausen	-6,3	-6,9	-0,6	-6,4	-0,1	-5,7	<u>0,7</u>
Marsh	-5,9	-	-	-6,5	-0,6	-5,6	<u>0,4</u>
Great Wall	-6,6	-14,2	-7,6	-7,5	-0,9	-4,9	<u>1,7</u>
Arturo Prat	-6,1	-	-	-7,2	-1,0	-4,6	<u>1,5</u>
Faraday\ Vernadsky	-7,1	-9,3	-2,2	-6,7	<u>0,4</u>	-5,2	<u>1,9</u>
San Martin	-11,7	-15,1	-3,4	-11,7	<u>0,0</u>	-10,4	<u>1,3</u>
Rothera	-10,3	-11,8	-1,5	-10,0	<u>0,3</u>	-9,0	<u>1,3</u>
середнє значення	-8,2	-11,5	-3,0	-8,4	-0,2	-7,4	0,8

Таблиця 4.4

Зміна аномалій середньомісячних значень приземної температури повітря за даними станцій Антарктичного півострова (жовтень)

Станції	\bar{V}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{V}_{10}	$\bar{V}_{30} - \bar{V}_{10}$	\bar{V}_{10}	$\bar{V}_{30} - \bar{V}_{10}$	\bar{V}_{10}	$\bar{V}_{30} - \bar{V}_{10}$
Marambio	-8,2	-7,6	<u>0,6</u>	-9,1	-0,9	-7,1	<u>1,0</u>
Esperanza	-4,5	-4,4	<u>0,1</u>	-5,3	-0,8	-3,7	<u>0,8</u>
O Higgins	-3,9	-3,5	<u>0,4</u>	-3,8	<u>0,1</u>	-4,0	-0,1
Jubany	-2,2	-3,5	-1,3	-2,1	<u>0,1</u>	-2,1	<u>0,1</u>
King Sejong	-2,1	-2,6	-0,5	-2,2	-0,1	-1,9	<u>0,2</u>
Bellingshausen	-2,8	-3,1	-0,3	-2,8	<u>0,0</u>	-2,5	<u>0,3</u>
Marsh	-2,8	-3,4	-0,6	-2,7	<u>0,1</u>	-2,8	<u>0,0</u>
Great Wall	-2,7	-3,9	-1,2	-2,6	<u>0,1</u>	-2,7	<u>0,0</u>
Arturo Prat	-2,6	-3,4	-0,8	-2,5	<u>0,1</u>	-2,6	<u>0,0</u>
Faraday\ Vernadsky	-5,0	-5,9	-0,9	-5,0	<u>0,0</u>	-3,8	<u>1,1</u>
San Martin	-6,4	-7,2	-0,8	-6,7	-0,3	-5,6	<u>0,8</u>
Rothera	-5,9	-7,0	-1,0	-5,7	<u>0,3</u>	-5,2	<u>0,7</u>
середнє значення	-4,1	-4,6	-0,5	-4,2	-0,1	-3,7	0,4

Третє десятиріччя (2006-2015рр.) характеризується переважанням додатних аномалій температури повітря на більшості станцій у всі місяці року, окрім червня. Найбільше зниження температури фіксується на станціях Jubany та Esperanza (-0,7 °С, червень). Максимальні додатні аномалії спостерігаються в зимовий період на станціях Faraday\ Vernadsky (1,9 °С, липень) та Great Wall (1,7 °С, липень).

Отримані результати дозволяють стверджувати, що в останнє десятиріччя спостерігається зростання приземної температури повітря на Антарктичному півострові у всі місяці року. Найбільш теплішими стали місяці зимового сезону.

4.2 Просторовий розподіл аномалій приземної температури повітря

Проаналізуємо просторовий розподіл аномалій приземної температури повітря за десятиріччями для центральних місяців сезонів (рис. 4.1 – 4.12). Розглянемо просторовий розподіл аномалій температури для січня місяця, розрахованих для трьох десятиріч та представлених на рисунку 4.1 – 4.3. Для тридцяти років спостерігається значна перебудова просторового розподілу аномалій приземної температури повітря.

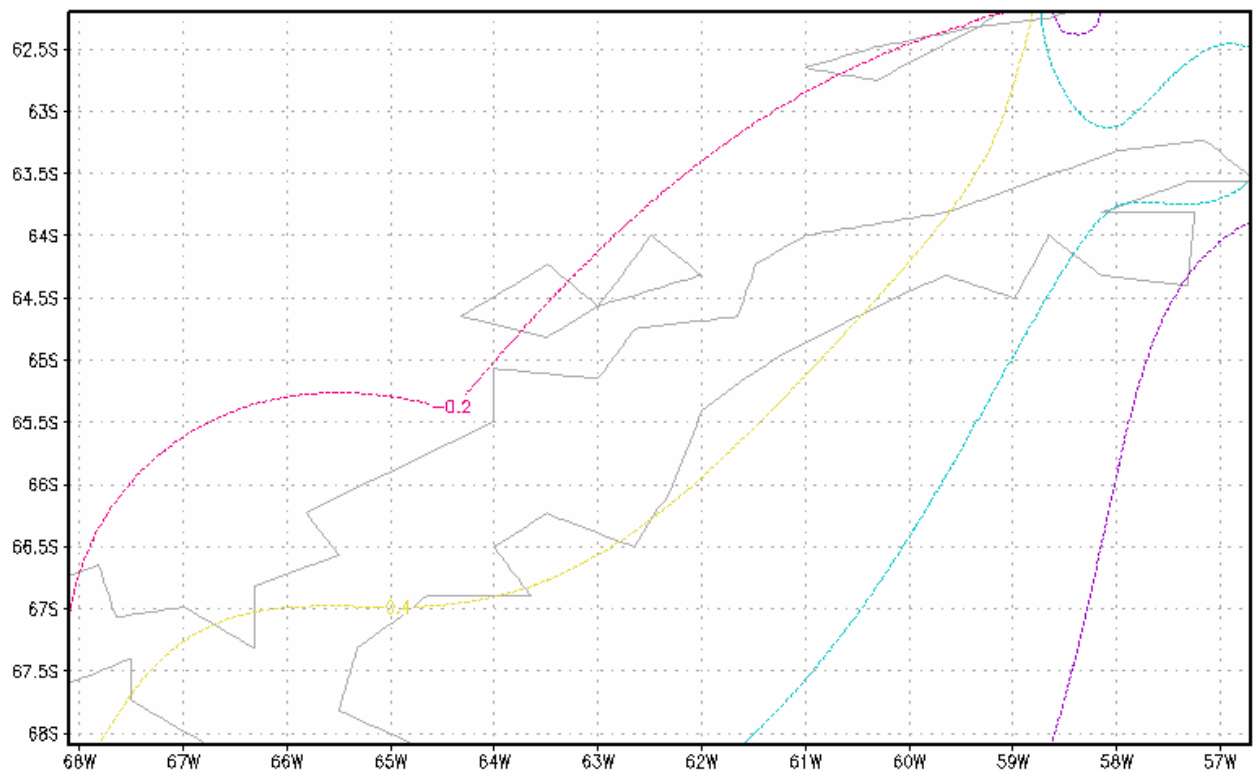


Рис. 4.1 – Просторово-часовий розподіл аномалій приземної температури повітря (січень, 1986-1995рр.)

Перше десятиріччя 1986-1995 рр. представлене переважно від'ємними значеннями аномалій температури повітря (рис. 4.1). Зона невеликих додатних значень аномалій розташована на південній околиці Антарктичного півострова.

Період 1996-2005 рр. характеризується виключно додатними аномаліями приземної температури повітря, але зафіксоване зростання температури незначне і коливається в межах 0,1-0,2 °С (рис. 4.2).

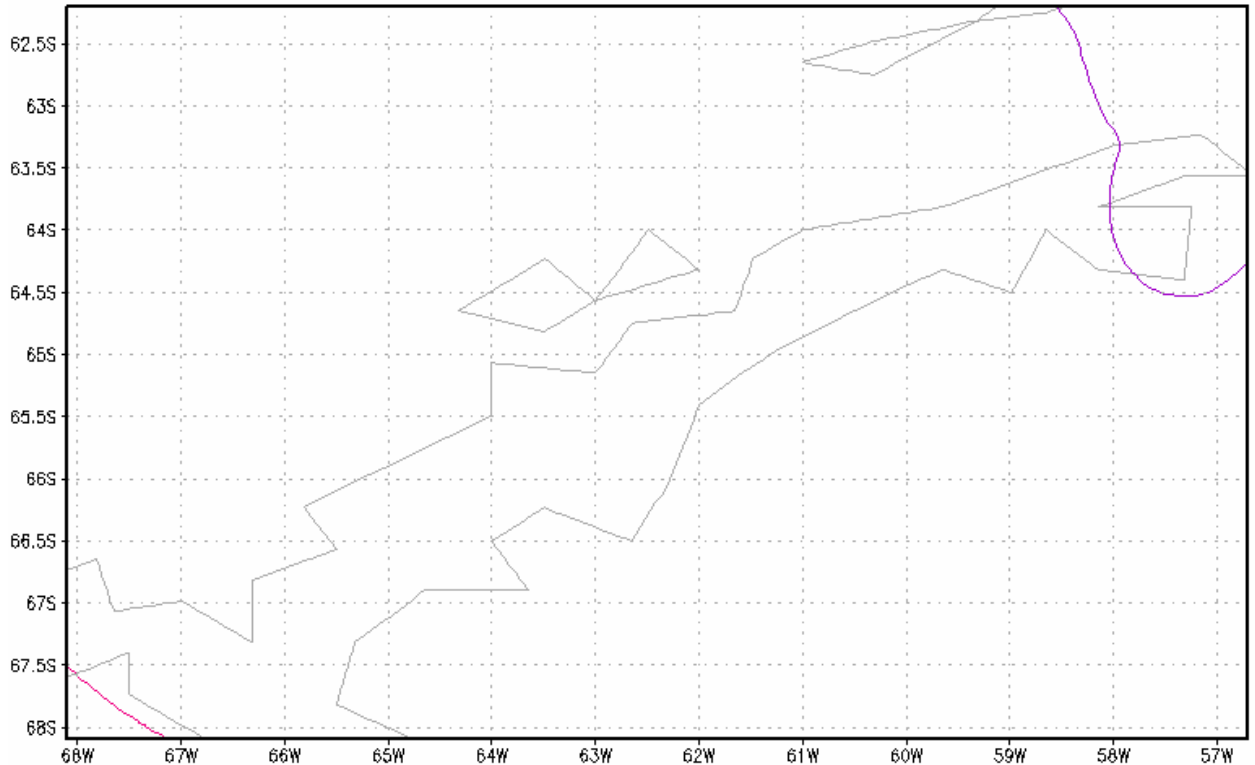


Рис. 4.2 – Просторово-часовий розподіл аномалій приземної температури повітря (січень, 1996-2005рр.)

В наступному десятиріччі 2006-2015 рр. в січні-місяці спостерігаються як від'ємні, так і додатні аномалії температури повітря (рис. 4.3). Від'ємні аномалії спостерігаються в південно-східній частині Антарктичного півострова (район моря Веддела), додатні – в північно-західній. Максимальне зростання температури в січні третього десятиріччя спостерігається на станціях Marambio та Esperanza (0,4°C). Таким чином, можна стверджувати, що в останнє десятиріччя для січня-місяця яскраво вираженої тенденції в змінах приземної температури повітря не зафіксовано.

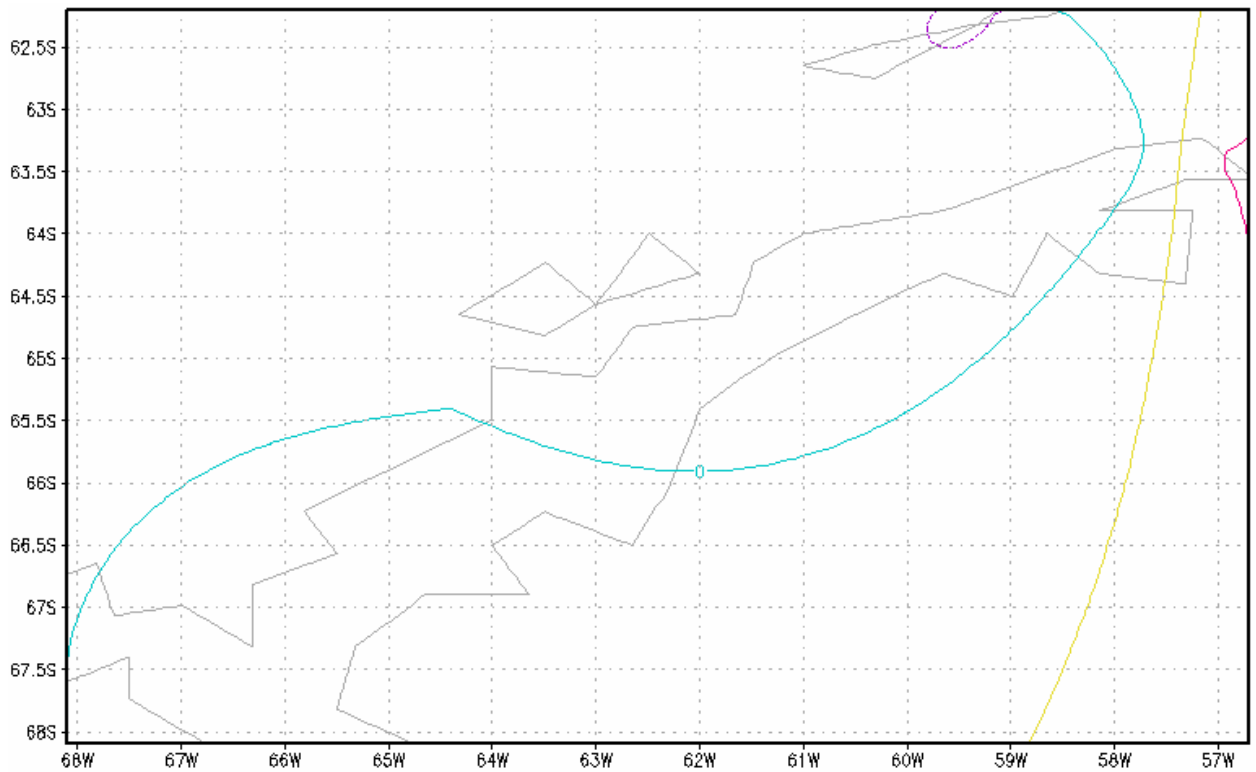


Рис. 4.3 – Просторово-часовий розподіл аномалій приземної температури повітря (січень, 2006-2015рр.)

Динаміка змін просторового розподілу аномалій приземної температури повітря в квітні має дещо іншу картину (рис. 4.4 – 4.6). В перше десятиріччя для більшої частини Антарктичного півострова фіксується зниження приземної температури повітря на величину до $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 4.4). Додатні аномалії температури фіксуються тільки на станції Esperanza ($-0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Такий характер розподілу аномалій зберігається і в другому десятиріччі (1996-2005рр.). Зона додатних аномалій приземної температури повітря спостерігається тільки в районі моря Беллінсгаузена (рис. 4.5). Решта території Антарктичного півострова представлена від'ємними аномаліями, найбільше зниження температури фіксується на станції Esperanza ($-0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Останнє десятиріччя (2006-2015рр.) характеризується перерозподілом поля аномалій приземної температури повітря (рис. 4.6). Весь Антарктичний півострів представлений додатними аномаліями. Найбільші додатні аномалії спостерігаються в районі станції Marambio ($1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$) та Arturo Prat ($1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$).

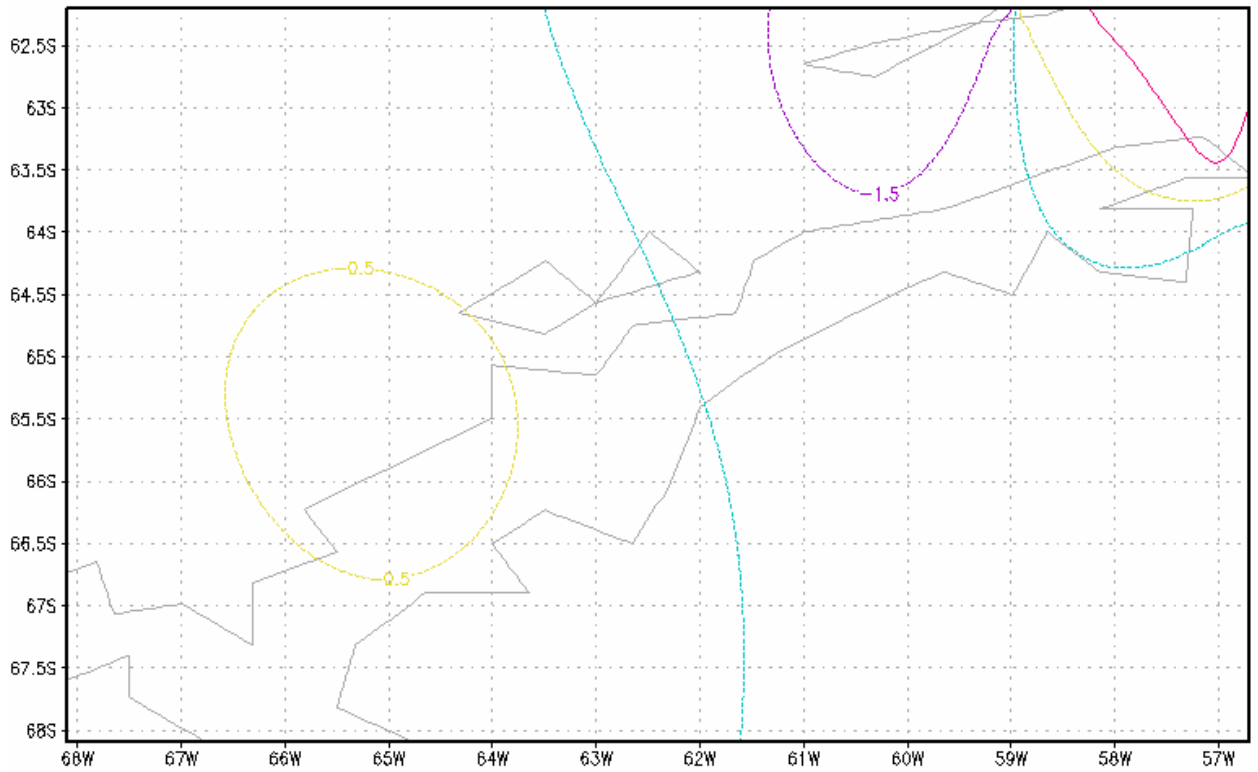


Рис. 4.4 – Просторово-часовий розподіл аномалій приземної температури повітря (квітень, 1986-1995рр.)

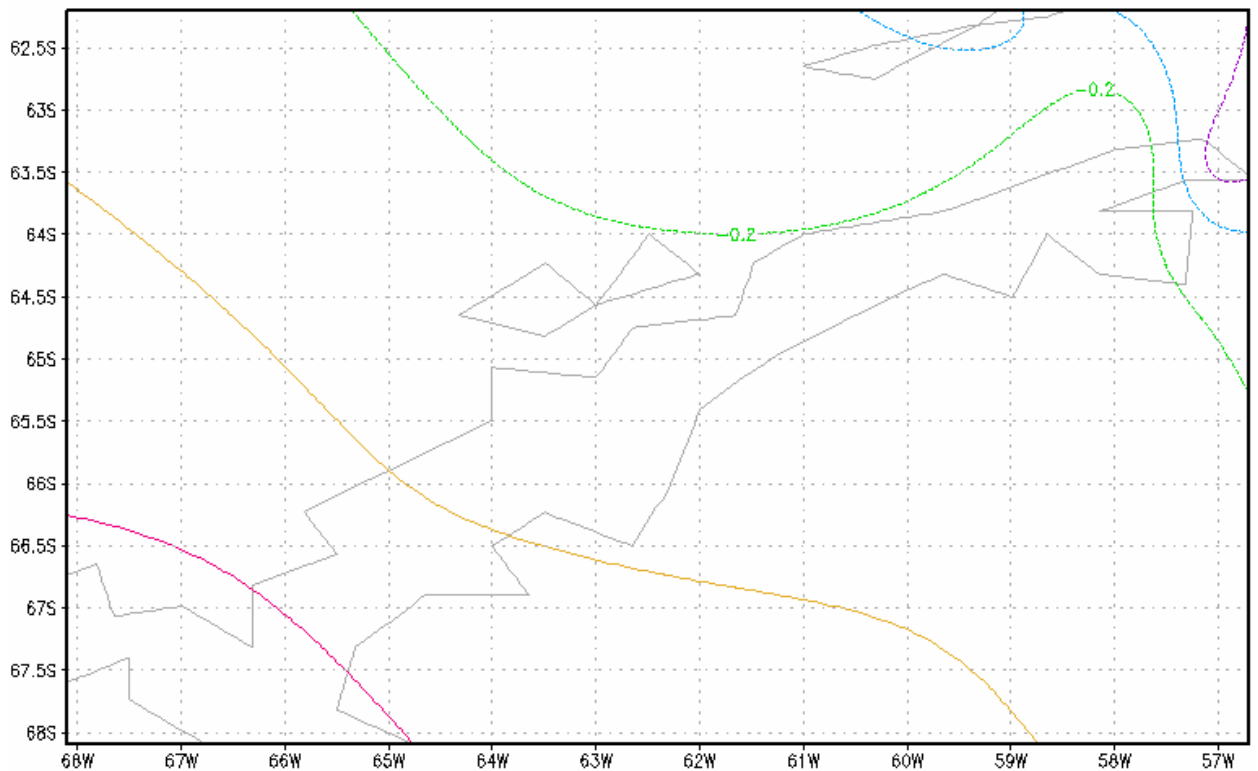


Рис. 4.5 – Просторово-часовий розподіл аномалій приземної температури повітря (квітень, 1996-2005рр.)

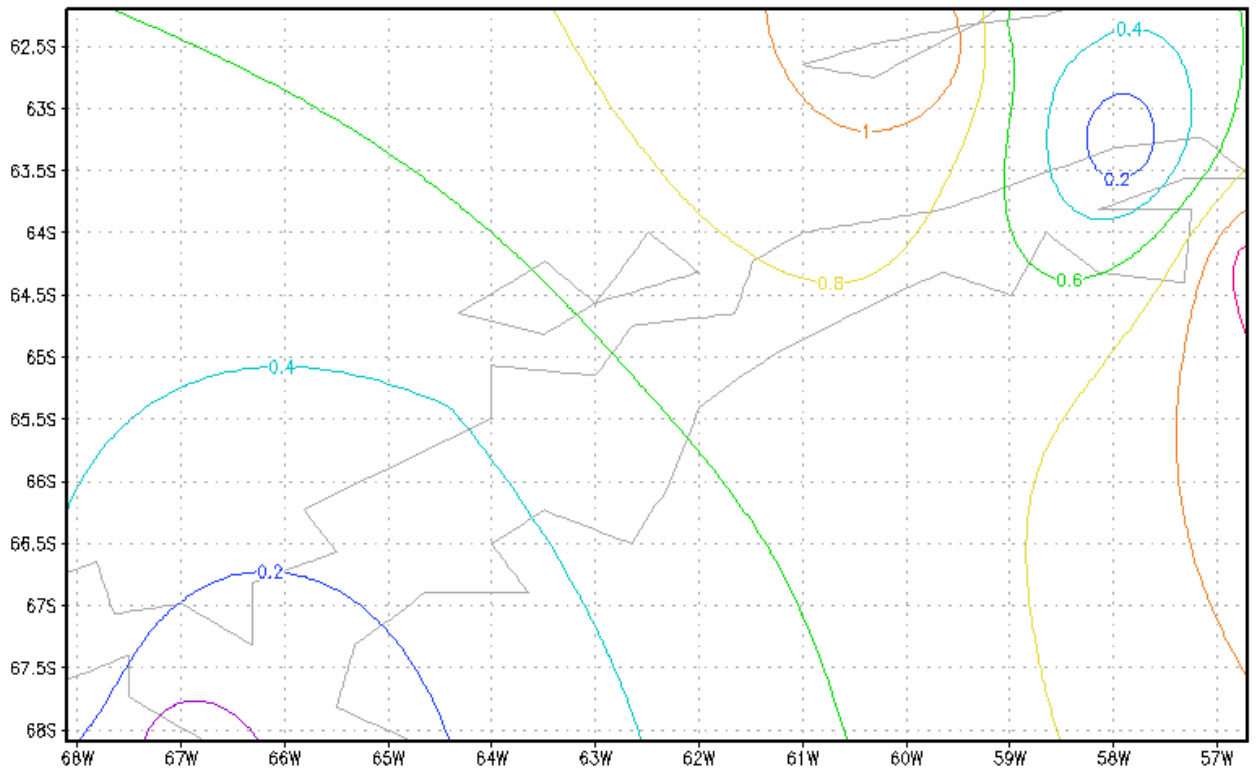


Рис. 4.6 – Просторово-часовий розподіл аномалій приземної швидкості вітру (квітень, 2006-2015рр.)

Аналізуючи динаміку змін просторового розподілу приземної температури повітря за досліджуваний період для липня (рис. 4.7 – 4.9), треба відмітити, що характер розподілу аномалій в цьому місяці схожий з характером розподілу аномалій в квітні (рис. 4.8).

Перше десятиріччя (1986-1995рр.) представлене переважно від'ємними аномаліями приземної температури повітря, які коливаються в межах від -1,9 (станція Marambio) до -8,0 °C (станція Jubany). Додатні аномалії фіксуються тільки в районі Південних Шетландських островів.

В друге десятиріччя (1996-2005рр.) картина дещо змінюється: в районі моря Беллінсгаузена фіксується зона додатних значень аномалій приземної температури повітря (станція Faraday\ Vernadsky, 0,4 °C). На решті досліджуваної території спостерігається зниження приземної температури повітря, про що свідчать розраховані аномалії (рис. 4.8).

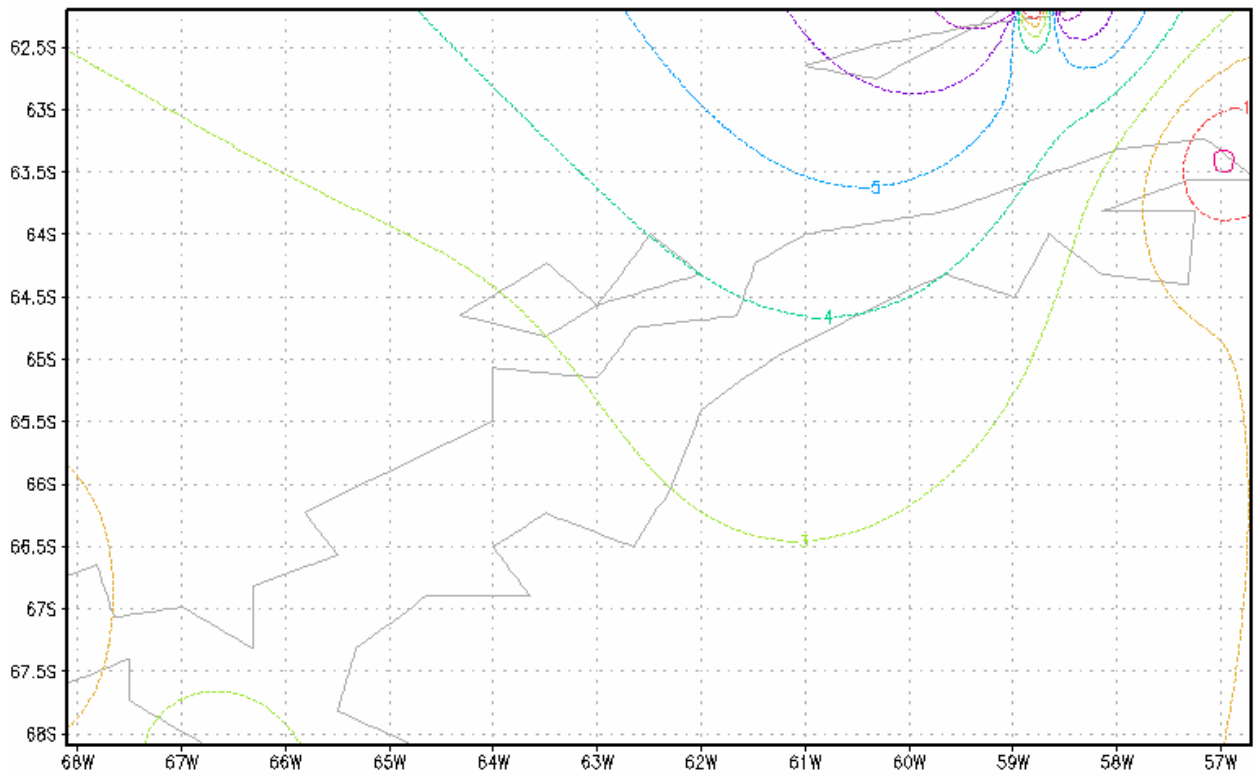


Рис. 4.7 – Просторово-часовий розподіл аномалій приземної температури повітря (липень, 1986-1995рр.)

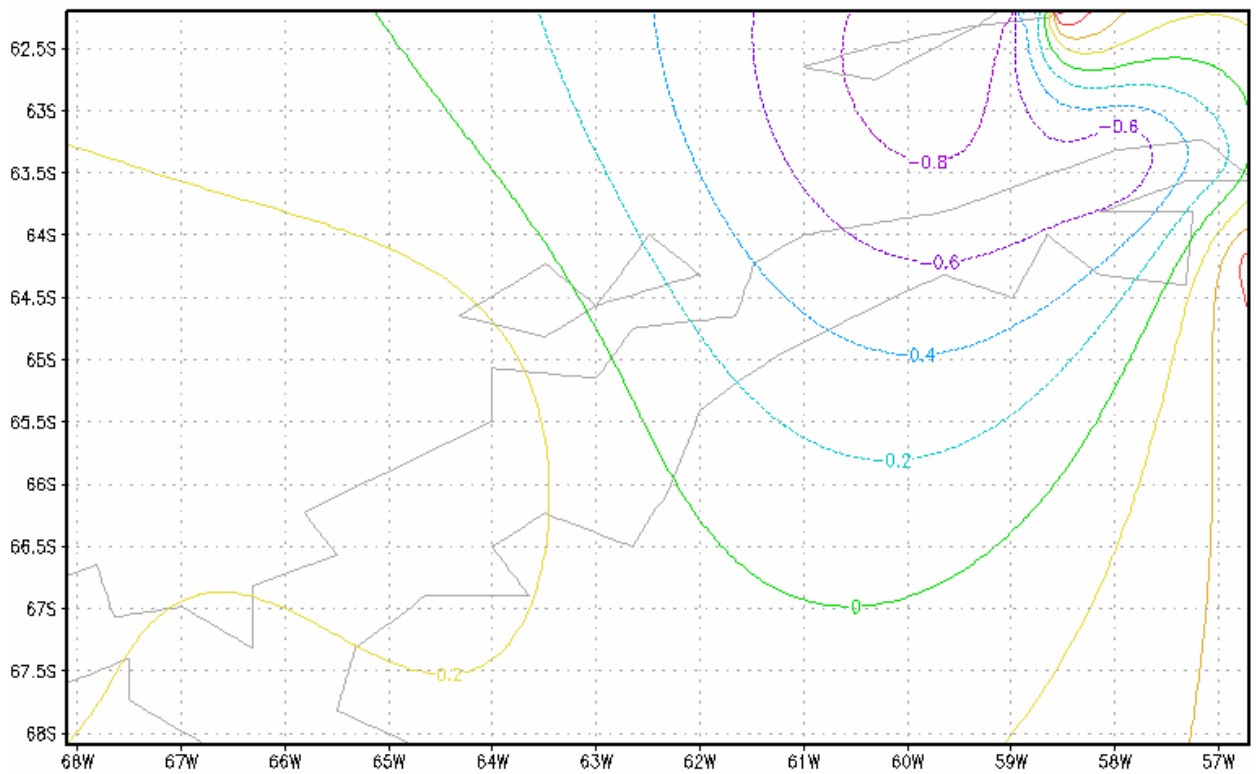


Рис. 4.8 – Просторово-часовий розподіл аномалій приземної температури повітря (липень, 1996-2005рр.)

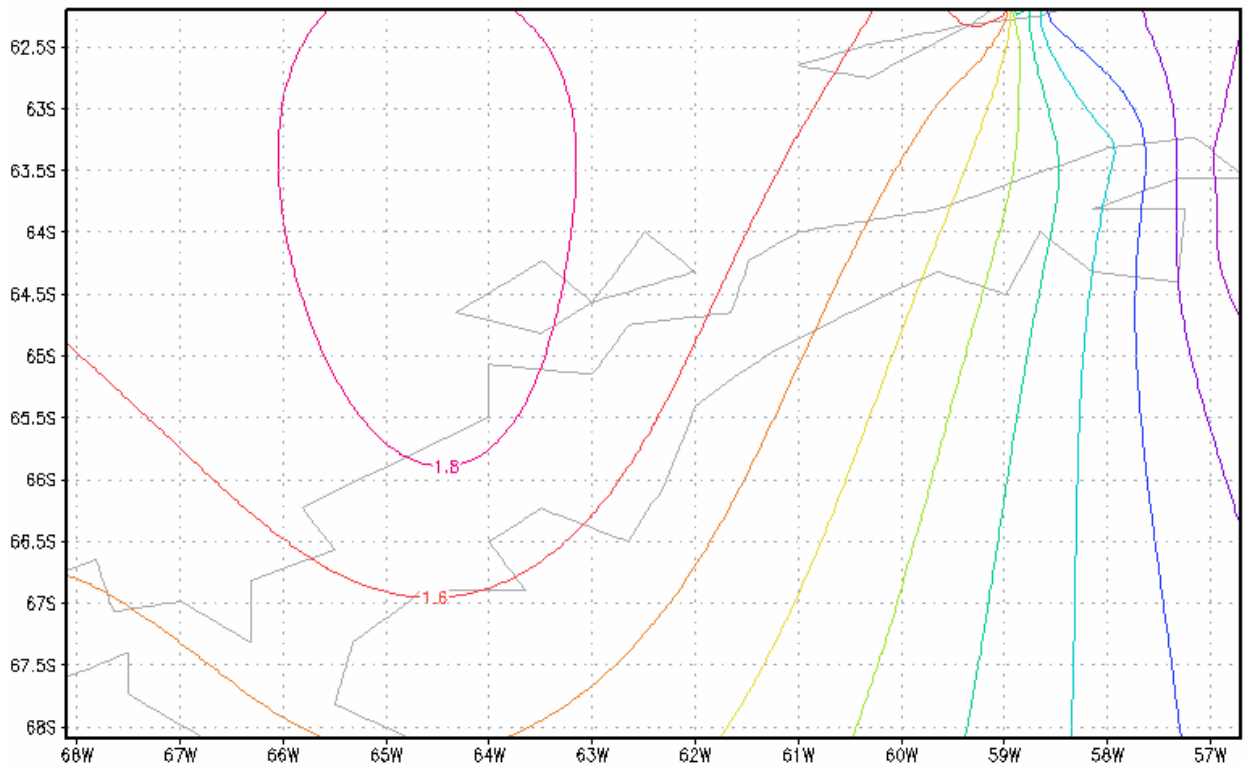


Рис. 4.9 – Просторово-часовий розподіл аномалій приземної температури повітря (липень, 2006-2015рр.)

Третє десятиріччя (2006-2015рр.) характеризується виключно додатними аномаліями приземної температури повітря на всій досліджуваній території (рис. 4.9). Максимальне зростання температури фіксується на станції Faraday\ Vernadsky (1,9 °C). Таким чином, можна стверджувати, що в останній час спостерігається зростання приземної температури повітря в зимові місяці на Антарктичному півострові.

Аналіз просторово-часового розподілу аномалій приземної температури повітря в весняний період представлена на рис. 4.10 – 4.12. Як видно з рис. 4.10, в перше десятиріччя територія Антарктичного півострова характеризується від'ємними аномаліями температури повітря. Максимальне зниження температури фіксується в районі станції Jubany (-1,3 °C).

Наступне десятиріччя (1996-2005рр.) характеризується перебудовою поля аномалій приземної температури повітря, але для більшої частини півострова аномалії температури зберігаються свій знак.

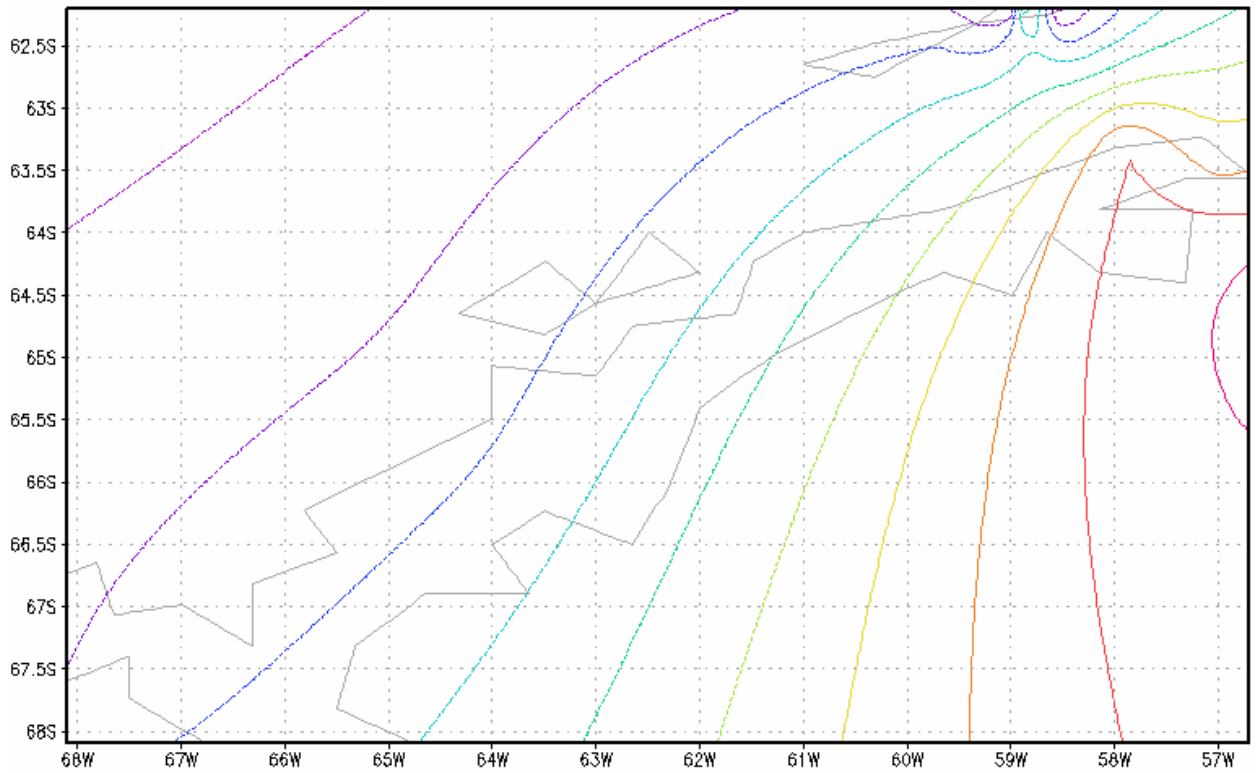


Рис. 4.10 – Просторово-часовий розподіл аномалій приземної температури повітря (жовтень, 1986-1995рр.)

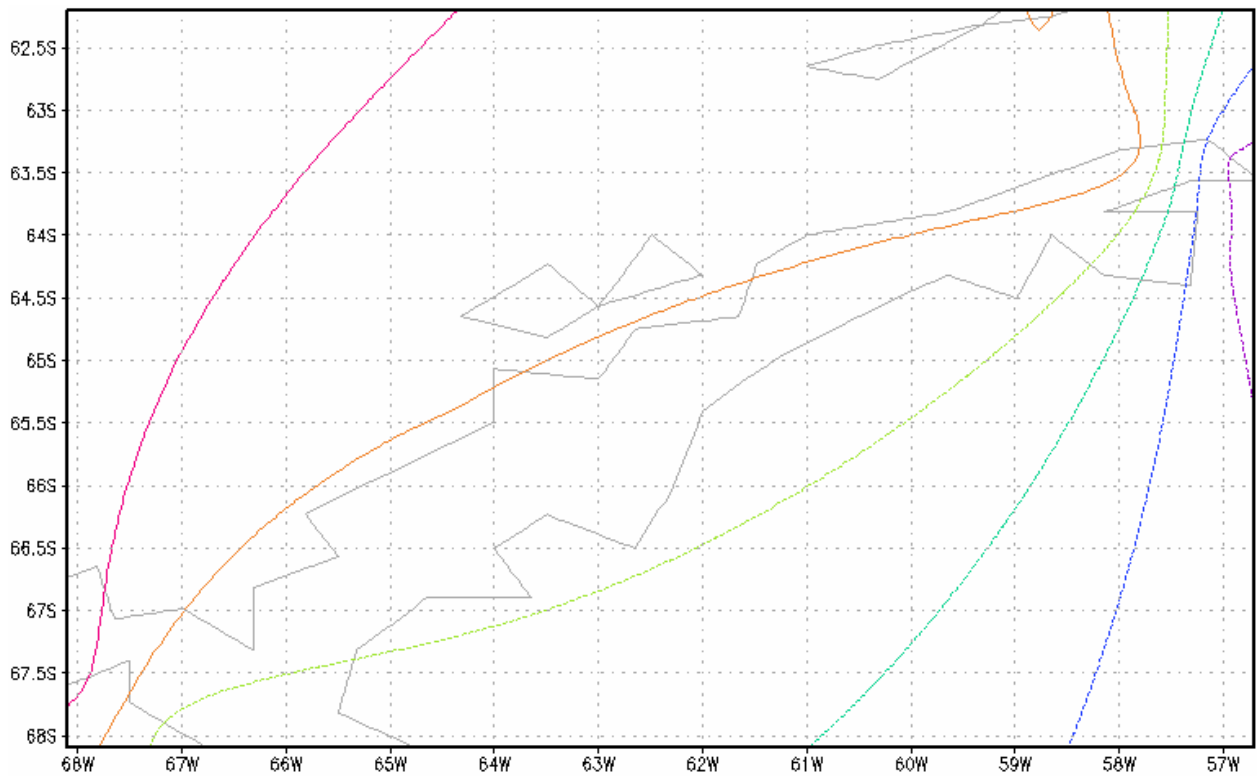


Рис. 4.11 – Просторово-часовий розподіл аномалій приземної температури повітря (жовтень, 1996-2005рр.)

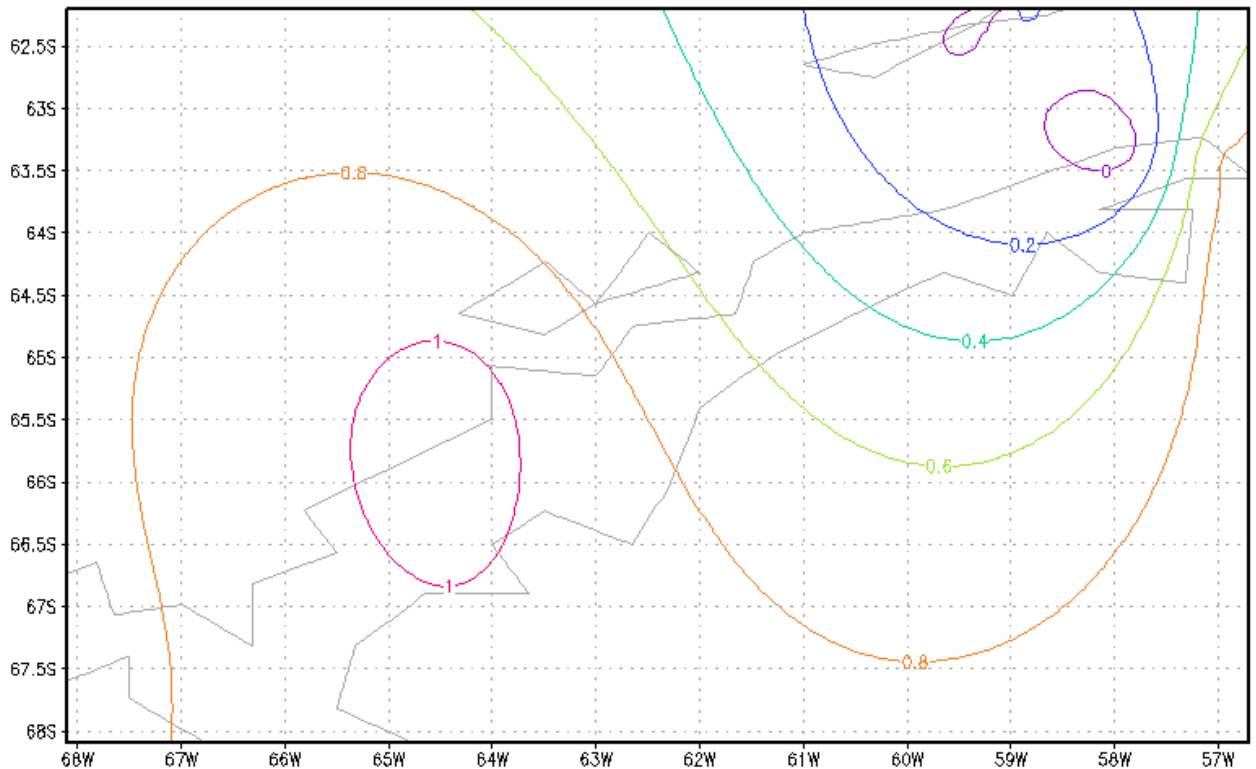


Рис. 4.12 – Просторово-часовий розподіл аномалій приземної температури повітря (жовтень, 2006-2015рр.)

Максимальне зниження температури фіксується в районі станцій Marambio та Esperanza (-0,9 та -0,8 °C відповідно). Хоча слід відмітити, що аномалії температури повітря стали значно меншими за величиною. Додатні аномалії спостерігаються тільки на півдні досліджуваного регіону в районі Південних Шетланських островів.

Таким чином, аналіз просторово-часового розподілу аномалій приземної температури повітря на території Антарктичного півострову дозволяє стверджувати, що в наш час відбувається зростання приземної температури повітря по відношенню до тридцятирічного середнього значення протягом більшості місяців року. Величина потепління в деяких випадках сягає 7-8 °C.

4.3 Аналіз сум аномалій приземної температури повітря по регіону

Для оцінки змін аномалій приземної температури повітря по всьому дослідженому регіону було проведено підсумовування значень аномалій для кожного десятиріччя, за отриманими даними побудована гістограма сум аномалій для середньорічних значень приземної швидкості вітру (рис. 4.13).

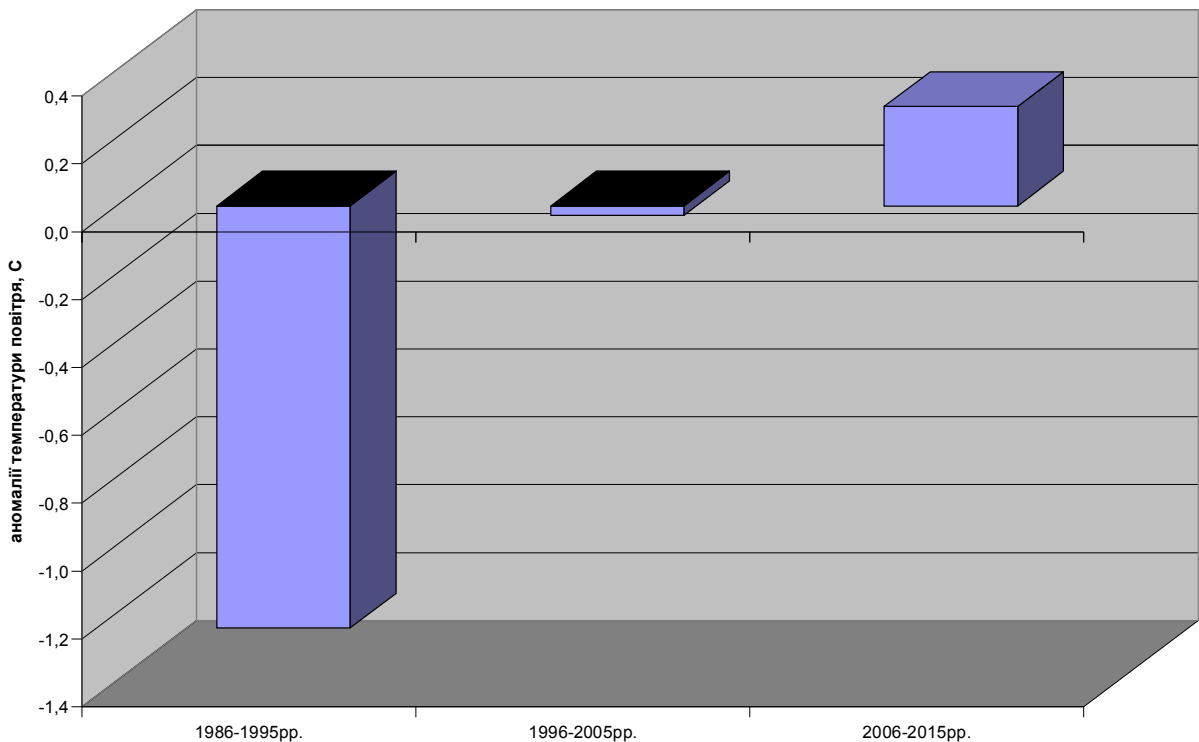


Рис. 4.13 – Суми аномалій приземної температури повітря за десятиріччя по регіону

Як бачимо, за тридцятирічний період 1986-2015 рр. спостерігається стійка тенденція до збільшення приземної температури повітря в регіоні: в перше десятиріччя (1986-1995pp.) для всього регіону спостерігалось зменшення температури (1,3 °C відносно середнього значення за тридцятиріччя), в друге та третє десятиріччя (1996-2015pp.) – зростання (на величину 0,2 °C).

Для з'ясування динаміки змін приземної температури повітря протягом року побудуємо діаграму аномалій для усіх місяців за три десятиріччя

(рис. 4.14). Аналіз побудованої діаграми показав, що зменшення температури мало місце лише в першому десятиріччі (1986-1995рр.), при чому спостерігалось воно у всі місяці року. Найбільші значення від'ємних аномалій приземної температури фіксувалися в зимовий період (-3,0 °С, липень). В другому десятиріччі відбувається перебудова поля температури: від'ємні аномалії спостерігаються тільки наприкінці зими, з липня по жовтень, в інші місяці спостерігаються вже додатні аномалії з максимумом в квітні (0,5 °С).

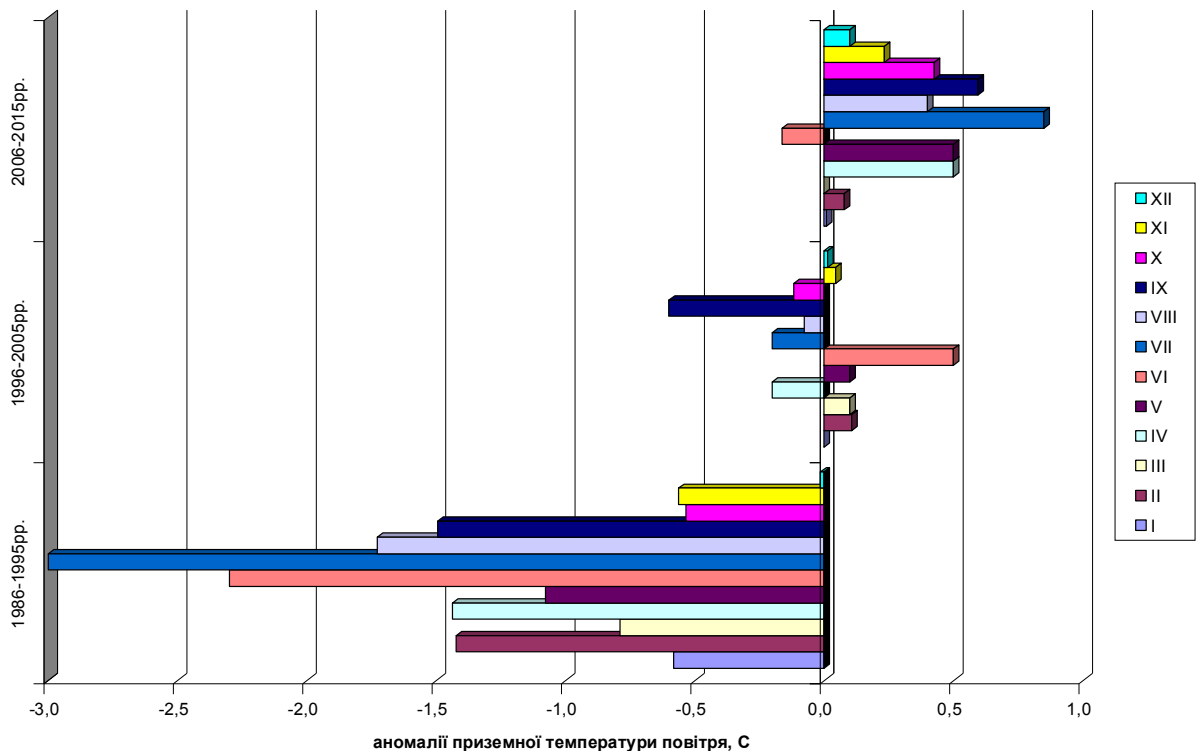


Рис. 4.14 – Суми аномалій приземної температури повітря за десятиріччя по місяцях

В третє десятиріччя (2006-2015рр.) фіксується зростання приземної температури повітря протягом майже всіх місяців року (за винятком квітня). Зростання приземної температури повітря досягає максимальних значень взимку (липень, 0,8 °С).

Динаміка приземної температури повітря в районі Антарктичного півострову свідчить про наявність певних змін, які відбуваються в термічному режимі регіону, а саме впливу загальнопланетарного підвищення

температури. За останні тридцять років фіксується стійка тенденція до збільшення приземної температури повітря протягом більшості місяців року, що може свідчити про порушення стабільності термічного режиму Антарктичного півострова.

5 ЗВ'ЯЗОК ТЕРМІЧНОГО РЕЖИМУ АНТАРКТИЧНОГО ПІВОСТРОВА З ГЕОМАГНІТНОЮ АКТИВНІСТЮ

Дослідження зв'язку геомагнітної активності та кліматичних характеристик Антарктичного півострову виконувалось за допомогою кореляційного аналізу. Для аналізу були вибрані наступні характеристики:

- приземна температура повітря;
- індекс геомагнітної активності A_p .

Певний інтерес представляє характер залежності приземної температури повітря станцій Антарктичного півострову від індексу геомагнітної активності. Основною метою даної роботи є визначення загальних рис цього зв'язку.

На основі рядів середньомісячних значень приземної температури повітря та індексу геомагнітної активності (індексу A_p) було розраховані коефіцієнти кореляції, які є кількісною мірою лінійного кореляційного зв'язку.

5.1 Кореляційний зв'язок геомагнітної активності та приземної температури повітря

В роботі використовуються середньомісячні значення приземної температури повітря та середньомісячні значення індексу геомагнітної активності (індексу A_p). На їх основі були розраховані коефіцієнти кореляції, які є кількісною мірою лінійного кореляційного зв'язку між вказаними величинами. Розрахунки були проведені для усіх місяців року та для повного

періоду спостережень. Для аналізу використовувались дані 12 станцій Антарктичного півострову.

Результати розрахунків представлені в таблиці 5.1. В таблиці жовтим кольором виділені додатні значення коефіцієнта кореляції, блакитним – від’ємні.

Таблиця 5.1

Коефіцієнти кореляції між середньомісячними значеннями приземної температури повітря та індексом Ap

Станція	Jubany	King_Sejong	Bellingshausen	Marsh	Great_Wall	Arturo_Pratt	O_Higgins	Esperanza	Marambio	Faraday\ Vernadsky	Rothera	San_Martin
I	0,00	0,07	0,08	0,22	0,01	0,06	-0,01	-0,29	-0,26	-0,04	-0,02	0,15
II	-0,04	0,06	0,14	0,28	0,06	0,11	0,10	-0,21	-0,20	-0,21	-0,26	-0,46
III	0,08	0,14	0,10	0,30	0,16	0,23	0,01	0,01	-0,01	-0,02	0,14	-0,03
IV	-0,24	-0,23	-0,01	0,07	-0,12	-0,01	-0,01	-0,11	0,02	-0,11	-0,02	-0,22
V	-0,30	-0,38	-0,16	-0,12	-0,26	0,05	-0,24	-0,24	-0,05	-0,32	-0,27	-0,50
VI	-0,23	-0,33	-0,19	-0,15	-0,28	-0,14	-0,13	-0,06	0,00	-0,22	-0,26	-0,31
VII	0,10	0,12	0,12	0,13	0,12	0,18	0,11	-0,04	0,13	-0,26	-0,01	0,05
VIII	0,19	0,20	0,10	0,08	0,20	0,05	0,08	0,10	0,12	-0,03	0,02	0,00
IX	-0,01	0,17	0,09	0,16	0,06	0,11	0,04	0,07	0,14	-0,29	-0,17	-0,34
X	-0,36	-0,30	-0,24	-0,15	-0,34	-0,18	-0,28	-0,29	-0,24	-0,13	-0,36	-0,40
XI	0,01	0,12	0,02	0,12	-0,08	0,08	0,01	-0,07	0,01	-0,16	0,07	0,05
XII	0,06	0,16	0,24	0,47	-0,09	-0,09	0,23	-0,05	-0,16	-0,16	0,20	0,16
Весь період	-0,03	-0,03	0,02	0,04	-0,01	0,04	-0,02	-0,07	-0,03	-0,10	-0,05	-0,08

Як видно з таблиці 5.1, протягом року на всіх досліджуваних станціях спостерігаються як від’ємні, так і додатні значення коефіцієнту кореляції. Від’ємні значення на більшості станціях спостерігаються у перехідні сезони: на початку зими (травень, червень) та навесні (жовтень) Слід зазначити, що на ст. Faraday\ Vernadsky від’ємні значення коефіцієнта кореляції спостерігаються протягом усіх місяців року.

Коефіцієнти кореляції за модулем невеликі та не перевищують 0,38. Виняток становить ст. San_Martin, для якої коефіцієнт кореляції в травні становить -0,50.

Було проведено перевірку гіпотези про статистичну значущість оцінки коефіцієнта кореляції, яка отримана на основі випадкових вибірок. Нульову гіпотезу формулюють так [20]: H_0 : На рівні значущості α коефіцієнт кореляції є статистично незначущим як і його оцінка: $\rho_{xy} = 0$; $\hat{\rho}_{xy} = r_{xy} = 0$. Альтернативна гіпотеза H_1 , очевидно, є такою: H_1 : На рівні значущості $\alpha = 0,05$ коефіцієнт кореляції є статистично значущим як і його оцінка: $\rho_{xy} \neq 0$; $\hat{\rho}_{xy} = r_{xy} \neq 0$. Перевірка гіпотези H_0 втілюється за допомогою критерію Стюдента [20]:

$$t = \frac{|\hat{z}|}{\sigma_z} \quad (5.1)$$

де:

$$\hat{z} = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r_{\neq i}}{1-r_{\neq i}}, \quad (5.2)$$

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{n-3}}; \quad (5.3)$$

Розраховане за формулою (4.1) значення критерію Стюдента порівнюють з $t_{кр}(\alpha, \nu)$, яке наводиться в таблицях [20]. Рівень значущості $\alpha = 0,05$ та число степенів вільності, розраховане за формулою $\nu = n - 1$. Якщо

$$t < t_{кр}(\alpha, \nu), \quad (5.4)$$

то приймається гіпотеза H_0 про статистичну незначущість коефіцієнта кореляції, тобто про випадковість отриманої статистичної оцінки коефіцієнта кореляції. У протилежному випадку, якщо

$$t > t_{kp}(\alpha, \nu), \quad (5.5)$$

гіпотеза H_0 відкидається й приймається альтернативна гіпотеза H_1 про те, що коефіцієнт кореляції є статистично значущим [20]. Це означає, що він дійсно виражає характер лінійного кореляційного зв'язку між величинами.

Результати перевірки гіпотези про статистичну значущість оцінки коефіцієнта кореляції представлені в таблиці 5.2. В цій таблиці наведені розрахункові значення критерію Стюдента (кольором виділені ті значення критерію, які більші за критичне значення, тобто випадки, коли коефіцієнт кореляції є значимим).

Таблиця 5.2

Розраховані значення критерію Стюдента

Станція	Jubany	King_Sejong	Bellingshausen	Marsh	Great_Wall	Arturo_Pratt	O_Higgins	Esperanza	Marambio	Faraday\ Vernadsky	Rothera	San_Martin
I	0,00	0,33	0,52	1,46	0,06	0,41	-0,05	-2,27	-1,71	-0,35	-0,13	0,83
II	-0,18	0,27	0,90	1,88	0,31	0,73	0,67	-1,67	-1,32	-1,67	-1,55	-2,80
III	0,41	0,74	0,67	2,03	0,80	1,60	0,04	0,09	-0,09	-0,12	0,85	-0,19
IV	-1,18	-1,17	-0,06	0,43	-0,62	-0,06	-0,09	-0,88	0,11	-0,90	-0,12	-1,25
V	-1,50	-2,05	-1,09	-0,78	-1,37	0,36	-1,71	-1,89	-0,31	-2,60	-1,64	-3,08
VI	-1,10	-1,77	-1,26	-0,99	-1,46	-0,91	-0,93	-0,46	0,02	-1,78	-1,54	-1,78
VII	0,50	0,62	0,82	0,84	0,60	1,20	0,76	-0,33	0,87	-2,09	-0,03	0,29
VIII	0,90	1,03	0,66	0,55	1,05	0,33	0,53	0,77	0,74	-0,24	0,11	-0,02
IX	-0,03	0,88	0,59	1,07	0,33	0,74	0,26	0,56	0,91	-2,34	-0,99	-2,00
X	-1,83	-1,60	-1,58	-0,99	-1,82	-1,25	-2,01	-2,27	-1,56	-1,01	-2,17	-2,38
XI	0,06	0,60	0,13	0,79	-0,42	0,52	0,05	-0,55	0,09	-1,25	0,41	0,27
XII	0,31	0,82	1,62	3,29	-0,43	-0,58	1,63	-0,35	-1,04	-1,26	1,16	0,90
Весь період	-0,14	-0,17	0,14	0,27	-0,05	0,25	-0,14	-0,52	-0,19	-0,81	-0,31	-0,45

Як бачимо, для абсолютної більшості випадків розрахований критерій Стюдента менший за критичний, що дозволяє зробити висновок про статистичну незначущість розрахованих коефіцієнтів кореляції.

5.2 Взаємний спектральний аналіз приземної температури повітря та індексу геомагнітної активності

Зв'язок між періодичними складовими в часових рядах середньомісячних значень приземної температури повітря та індексу геомагнітної активності досліджувався за допомогою взаємного спектрального аналізу [20]. Алгоритм дослідження стаціонарних випадкових процесів було реалізовано на ПЕОМ за допомогою комп'ютерної програми "Spektr". Були одержані статистичні оцінки взаємної спектральної щільності середньомісячної температури повітря та індексу A_p для усіх 12 станцій Антарктичного півострова, в якості прикладу представимо вищевказані характеристики для ст. Faraday\Vernadsky (вибірка складала 71 рік) (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Статистичні оцінки взаємної спектральної щільності для середньомісячної приземної температури повітря та індексу A_p (ст. Faraday\Vernadsky)

№ з/п	$S_x(\omega)$	$S_y(\omega)$	$C_{xy}(\omega)$	$Q_{xy}(\omega)$	$\gamma(\omega)$	$T_{\hat{\epsilon}, i}$	$\psi_{xy}(\omega)$, град.
18	6,30	17,9	-0,40	-9,78	0,92	28,4	87,7
50	15,50	9,99	-8,27	-7,88	0,92	10,2	43,6
58	7,51	16,3	-10,03	2,33	0,93	8,8	359,7
87	16,86	246,55	-0,01	59,66	0,93	5,9	270,0
164	3,25	34,38	-4,49	-8,52	0,91	3,1	62,2
223	4,46	9,93	-3,07	-5,43	0,94	2,3	60,5
240	1,68	9,55	-3,52	-1,18	0,93	2,1	18,5

В таблиці 5.3 представлені статистичні оцінки взаємної спектральної щільності середньомісячної температури повітря та індексу A_p (ст. Faraday\Vernadsky), де $S_x(\omega)$ – спектральна щільність процесу X (приземна температура повітря), $S_y(\omega)$ – спектральна щільність процесу Y

(індекс A_p), $C_{xy}(\omega)$ – ко-спектр, $Q_{xy}(\omega)$ – квадратурний спектр, $\gamma(\omega)$ – взаємна когерентність процесів X та Y , $\psi_{xy}(\omega)$ – фазовий спектр процесів X та Y .

За даними таблиці 5.3 побудовані графіки функцій: ко-спектра $C_{xy}(\omega)$ (рис. 5.1), квадратурного спектра $Q_{xy}(\omega)$ (рис. 5.2) та взаємної когерентності процесів $\gamma(\omega)$ (рис. 5.3).

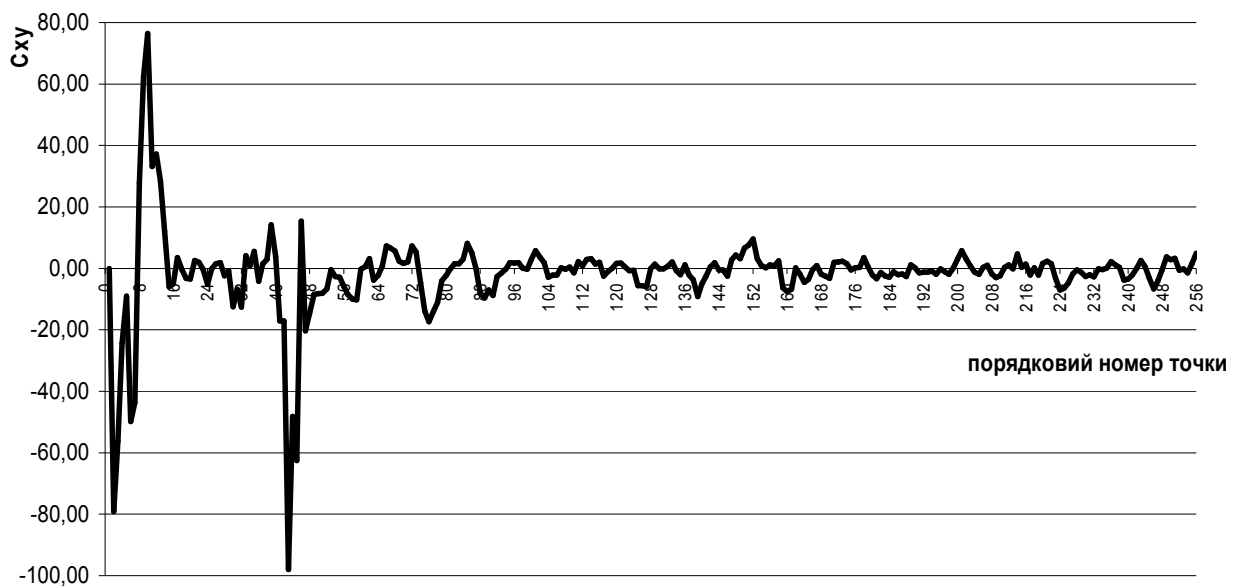


Рис. 5.1 – Ко-спектр процесів: середньомісячна температура повітря (ст. Faraday\ Vernadsky) та індекс A_p

Вірогідність статистичних оцінок взаємної спектральної щільності визначаємо по когерентності за умови $\gamma(\omega) \geq 0.90$. Взаємна когерентність процесів має сенс коефіцієнта взаємної кореляції процесів X та Y і визначає тісноту кореляційного зв'язку між цими процесами на фіксованих частотах.

За допомогою методики, яка була викладена у [20], були розраховані спектральні щільності окремих випадкових процесів, а саме середньомісячної приземної температури повітря [процес $X(t)$] та індексу A_p [процес $Y(t)$]. На рис. 5.4 та 5.5 представлені відповідні спектрограми.

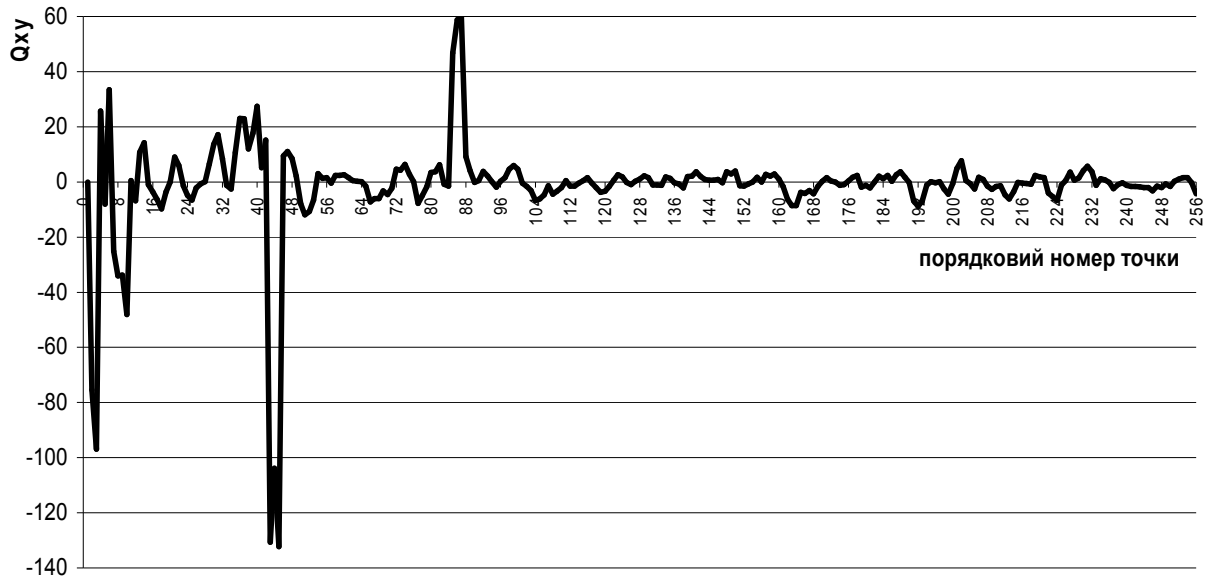


Рис. 5.2 – Квадратурний спектр процесів: середньомісячна температура повітря (ст. Faraday\ Vernadsky) та індекс A_p

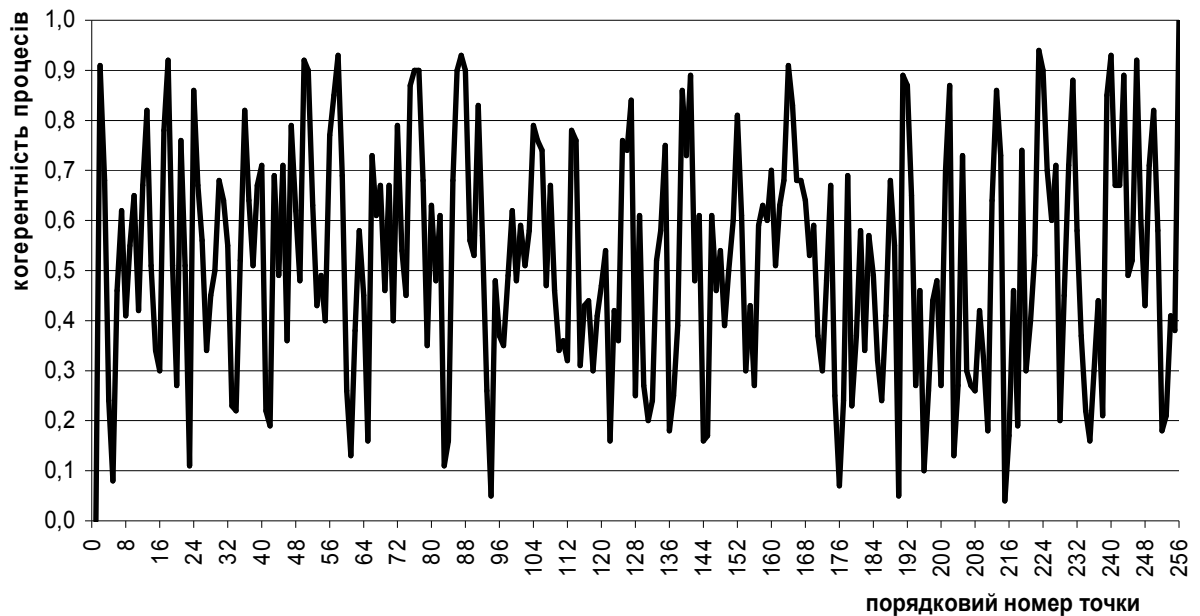


Рис. 5.3 – Когерентність процесів: середньомісячна температура повітря (ст. Faraday\ Vernadsky) та індекс A_p

Мінімальний період коливань, що може бути виявлений у випадковому процесі, визначається „частотою Найквіста”, яка являє собою подвійний інтервал дискретності. В нашому випадку дискретність дорівнює одному

місяцю, а мінімальний період коливань, який при цьому може бути виявлений, дорівнює двом місяцям.

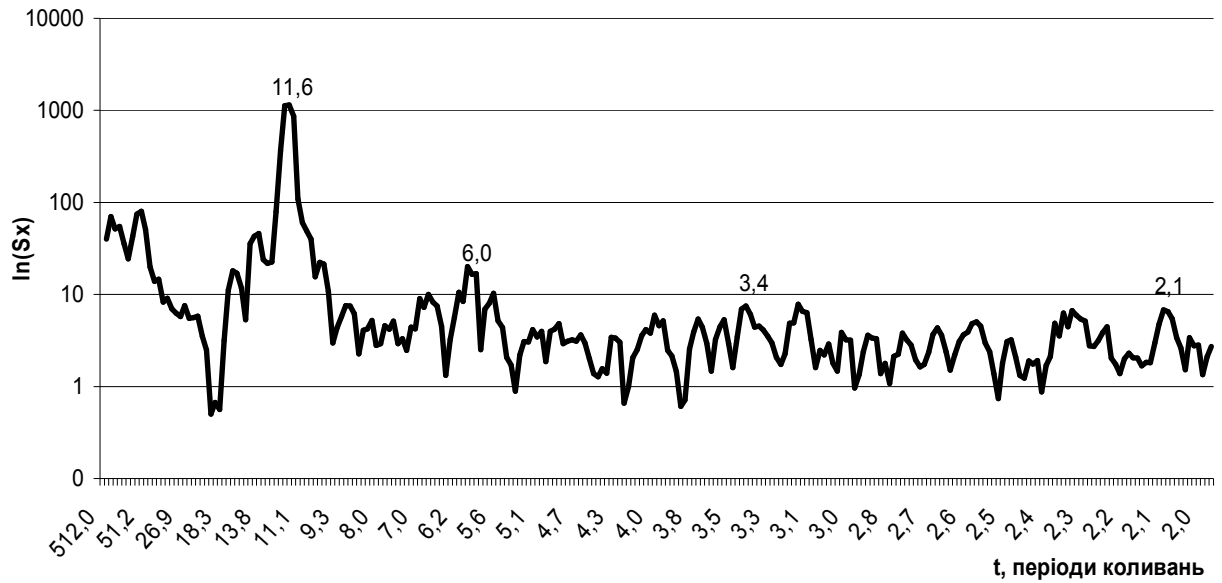


Рис. 5.4 Спектрограма середньомісячних значень приземної температури повітря (ст. Faraday\ Vernadsky)

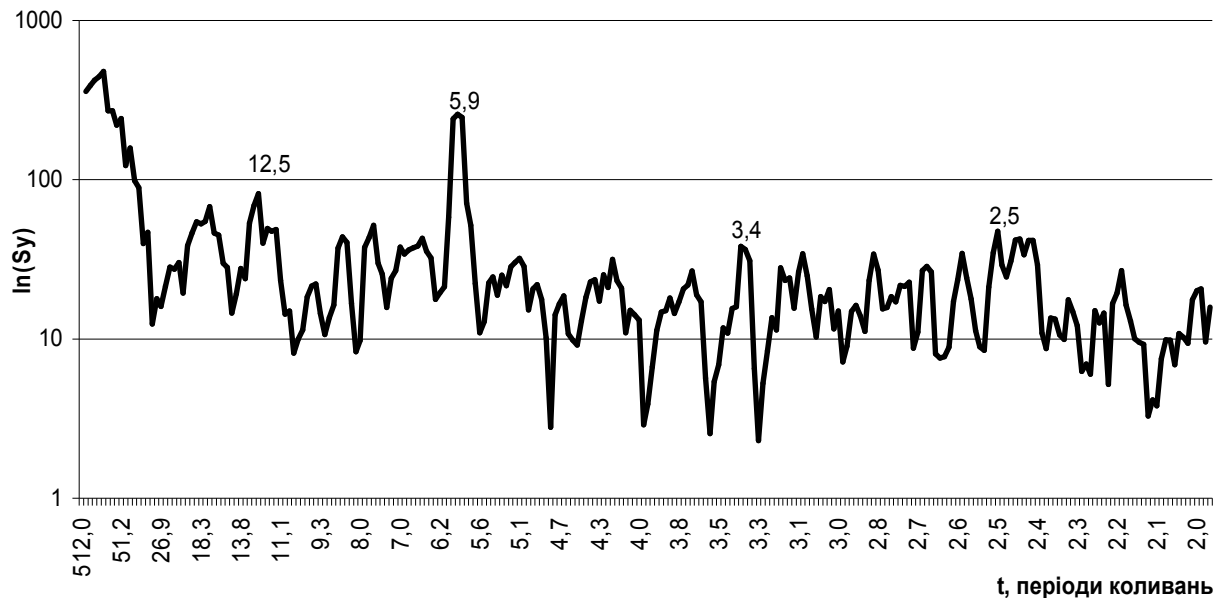


Рис. 5.5 Спектрограма середньомісячних значень індексу A_r

Як випливає з рис. 5.4 в спектральній щільності середньомісячних значень приземної температури повітря для ст. Faraday\ Vernadsky виявлені

квазірічні коливання з періодом 11,6 місяця, піврічні коливання – 6,0 місяця та сезонні коливання – 3,4, 2,1 місяця.

В спектральній щільності середньомісячних значень індексу Ар (рис. 5.5) також виявлені квазірічні (12,5 місяця), піврічні (5,9 місяця) та сезонні (3,4, 2,5) коливання.

Далі було визначено початок фази кожного процесу (табл. 5.5). Як показали розрахунки, для гармонік 8,8 та 5,9 місяця спостерігається випередження процесу Y (який характеризує індекс Ар) по відношенню до процесу X (який характеризує приземну температуру повітря на ст. Faraday\ Vernadsky) при цьому фазовий зсув складає 359,7 та 270,0 градусів відповідно. Для усіх інших гармонік спостерігається випередження процесу X по відношенню до процесу Y на величину від 18,5 до 87,7 градусів. Це може свідчити про наявність деякого великомасштабного процесу, який впливає і на зміну приземної температури повітря і на індекс Ар.

Такі самі розрахунки були проведені для 12 станцій Антарктичного півострова. Аналіз одержаних результатів показав, що як і в спектральній щільності приземної температури повітря, так і в спектральній щільності індексу Ар присутні квазірічні, піврічні та сезонні коливання.

Одержані висновки довели існування тісного кореляційного зв'язку між періодичними складовими в часових рядах приземної температури повітря та індексу Ар. Виявлена залежність приземної температури від індексу Ар. Ця залежність спостерігається із зсувом від 270,0 до 359,7 градусів (для гармонік 8,8 та 5,9 місяця).

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження термічного режиму Антарктичного півострова та його зв'язку з геомагнітною активністю на основі метеорологічних даних дванадцяти станцій, дозволили зробити наступні висновки:

На більшості досліджуваних станцій фіксується зростання приземної температури повітря за досліджуваний період протягом більшості місяців року. Найбільші додатні тренди спостерігаються в період антарктичної зими. Максимум зафіксовано на станціях Faraday\ Vernadsky та San_Martin (8,2 та 4,5 °C відповідно). Від'ємні значення тренду фіксуються переважно в літній період (грудень-січень).

Аналіз аномалій температури повітря показав, що в останнє десятиріччя (2006-2015pp.) спостерігається зростання приземної температури повітря на Антарктичному півострові у всі місяці року. Найбільші аномалії температури фіксуються в зимовий період.

Аналіз просторово-часового розподілу аномалій приземної температури повітря на території Антарктичного півострову дозволяє стверджувати, що в наш час відбувається зростання приземної температури на всій досліджуваній території по відношенню до тридцятирічного середнього значення протягом більшості місяців року. Величина потепління в деяких випадках сягає 7-8 °C.

Аналіз термічного режиму Антарктичного півострову свідчить про наявність певних змін, які відбуваються в регіоні, а саме посилення ролі циклонів північно-західних траєкторій (Східно-Тихоокеанська та Південно-Американська гілки переміщення циклонів) в літній період року, та ослаблення їх в зимовий. За останні тридцять років фіксується стійка тенденція до збільшення приземної температури повітря протягом більшості місяців року, що може свідчити про порушення стабільності термічного режиму Антарктичного півострова.

За допомогою взаємного спектрального аналізу виявлено, що для спектральної щільності середньомісячних значень приземної температури повітря властиві річні, піврічні та сезонні коливання. Коливання з таким самим періодом виявлені і в спектральній щільності середньомісячних значень індексу A_p .

Взаємний спектральний аналіз приземної температури повітря та індексу геомагнітної активності A_p , також дозволив встановити існування тісного кореляційного зв'язку між періодичними складовими в часових рядах досліджуваних величин. Виявлена залежність приземної температури повітря від індексу A_p . Ця залежність спостерігається із зсувом від 270,0 до 359,7 градусів (для гармонік 8,8 та 5,9 місяця).

Розрахунки початку фази кожного процесу показали, що на станціях, для гармонік з періодом більше дванадцяти місяців, зв'язок геомагнітної активності з приземною температурою повітря здійснюється у фазі з незначним випередженням процесу, який характеризує приземну температуру, відносно процесу, який характеризує геомагнітну активність. Це свідчить про наявність крупномасштабного процесу, який одночасно впливає на зміну і приземної температури в регіоні, і геомагнітної активності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Климатический режим Арктики на рубеже XX и XXI вв. Под ред. Крутский Б.А. С.-Петербург, Гидрометеиздат, 1991. – 200с.
2. Энциклопедия «Кругозор». Разделы Арктика и Антарктика.
3. Русин Н.П. Метеорологический и радиационный режим Антарктиды. Л.; Гидрометеиздат, 1961. – 448с.
4. 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.
5. Payne A.J. Recent dramatic thinning of largest West Antarctic ice stream triggered by oceans / A.J. Payne [et al.] // *Geophysical Research Letters*. – 2004. – V. 31, № 23. – P. 401.
6. Shepherd A. Warm ocean is eroding West Antarctic ice sheet / A. Shepherd, D. Wingham, E. Rignot // *Geophysical Research Letters*. – 2004. – V. 31, № 23. – P. 402.
7. Vaughan D.G. Recent rapid regional climate warming on the Antarctic Peninsula / D.G. Vaughan [et al.] // *Climatic change*. – 2003. – V. 60, № 3. – P. 243-274.
8. Velicogna I. Measurements of time-variable gravity show mass loss in Antarctica / I. Velicogna, J. Wahr // *Science*. – 2006. – V. 311, № 5768. – P. 1754-1756.
9. Wingham D.J. Mass balance of the Antarctic ice sheet / D.J. Wingham [et al.] // *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. – 2006. – V. 364, № 1844. – P. 1627-1635.
10. Котляков В.М. Ледовый баланс Антарктиды / В.М. Котляков, К.С. Лосев, И.А. Лосева // *Изв. АН СССР. Сер. геогр.*, 1977. – №. 1. – С. 5-15.
11. Петров В.Н. Атмосферное питание ледникового покрова Антарктиды / В.Н. Петров. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 152с.

12. Гернет Е.С. Ледяные лишай / Е.С. Гернет. – М.: Наука, 1981. – 120 с.
13. Аверьянов В.Т. Гляциоклиматология Антарктиды. / В.Т. Аверьянов. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 198 с.
14. Брезгин Н.Н. Особенности климата и современного оледенения о. Кинг-Джордж / Н.Н. Брезгин, Л.С. Говоруха // Метеорологические исследования в Антарктике. Труды II Всес. симп. – 1986. – Т4, №II. – С. 31-36.
15. Говоруха Л.С. Гляциоклиматологическая характеристика Земли Грейама / Л.С. Говоруха // Бюлетень УАЦ. –1998. – Т. 2. – С. 70-76.
16. Швердфегер В. Климат Антарктиды / В. Швердфегер В. // Климат полярных районов. – Л., Гидрометеиздат, 1973. – С. 318-434.
17. Воронов П.С. Опыт реставрации ледникового щита Антарктиды эпохи максимального оледенения Земли / П.С. Воронов // Инф. бюлл. САЭ. – 1960. – № 23. – С. 10-24.
18. Гожик П.Ф. Материковая окраина индоокеанского сектора Антарктиды / Гожик П.Ф. и др. – Киев: ИГН НАН Украины, 1984. – 53 с. – (Препринт / НАН Украины, Ин-т. геолог. наук; 1984-6)
19. Мартазинова В.Ф. Атмосферная циркуляция Южной полярной области и климат Антарктического полуострова / В.Ф. Мартазинова, В.Е. Тимофеев, Е.К. Иванова. – К.: АБЕРС, 2010. – 92 с.
20. Гончарова Л.Д. Методи обробки та аналізу гідрометеорологічної інформації (збірник задач і вправ): навчальний посібник / Л.Д. Гончарова, Є.П. Школьний. – Одеса: Екологія, 2007. – 454 с.
21. Гавреленя Е. Статистические характеристики приземной температуры воздуха Антарктического полуострова / Е. Гавреленя, О. Прокофьев // Конференція молодих вчених ОДЕКУ, 11-16 трав. 2009 р.: тез. доп. – Одеса, 2009. – С. 83.
22. Карпішин В.Ю. Багаторічні зміни аномалій температури повітря високих широт Південної півкулі / В.Ю. Карпішин, О.М. Прокоф'єв //

Матеріали VII наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ. – Одеса: ОДЕКУ, 2008. – С. 90.

23. Прокоф'єв О.М. Взаємний спектральний аналіз глобальних кліматичних індексів та приземної температури повітря станцій Антарктиди / О.М. Прокоф'єв // Український гідрометеорологічний журнал. – 2010. – Вип. 6, – С. 93-101.

24. Zhengqiu Z. Recent variations of Antarctic temperature, sea-ice and ozone / Z. Zhengqiu // Chinese Journal of Polar Science. – 1999. – V. 10, № 1. – P. 1-9.

25. Anisimov O.A. Polar regions (Arctic and Antarctic) / O.A. Anisimov [et al.] // Climate change. – Cambridge, 2007. – V. 15. – P. 653-685.

26. Rogers J.C. Spatial variability of Antarctic temperature anomalies and their association with the Southern Hemisphere atmospheric circulation / J.C. Rogers // Annals of the Association of American Geographers. – 1983. – V. 73, № 4. – P. 502-518.

27. Данова Т.Е. Статистические характеристики приземной температуры воздуха прибрежных станций Антарктиды и Антарктического полуострова / Т.Е. Данова, О.М. Прокофьев // Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей. – 2009. – №1. –С. 189-196.

28. Bartels J. Collection of geom. Planetary index K_p and denived daily index A_p and C_p / J. Bartels // IAGA bull. 1962. V.18. – P. 153-165.

29. Courtillot V. Gallet Y. Fluteau F. Genevey A. Response to Comment on “Are there connections between Earth’s magnetic field and climate? Earth planet/ V.Courtillot, Y.Gallet, F.Fluteau, A.Genevey // Sci let., in press. 2008 V.265. P. 308-311.

30. Courtillot V. Are there connections between Earth’s magnetic field and climate? / V.Courtillot, Y.Gallet, F.Fluteau, A.Genevey // Earth planet sci.let. 2007 V.253. P. 328-339.

31. Bard E. Frank M. Climate change and solar variability: what’s new under the sun? / E. Bard, M. Frank // Earth planet sci.let. 2007 V.248. P. 1-14.

ДОДАТКИ

Додаток А

Картосхеми трендової складової приземної температури повітря

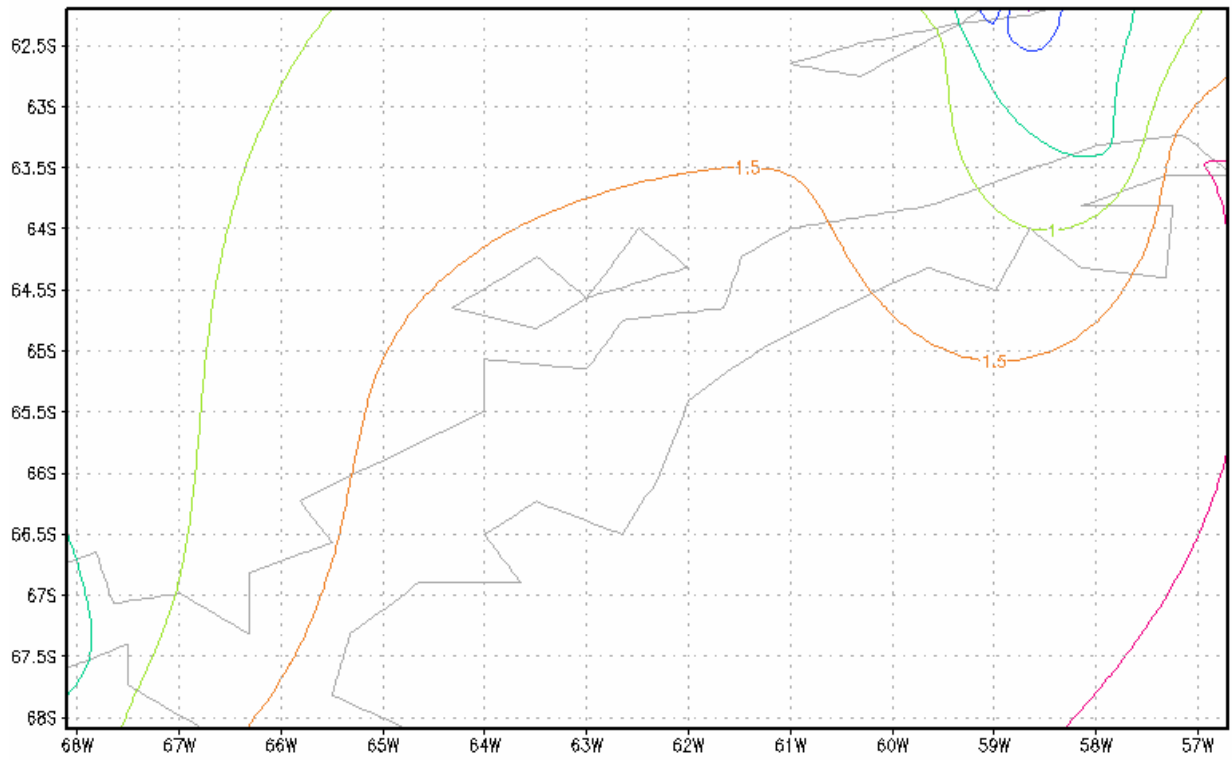


Рис. А.1 – Картосхеми трендової складової приземної температури
(січень)

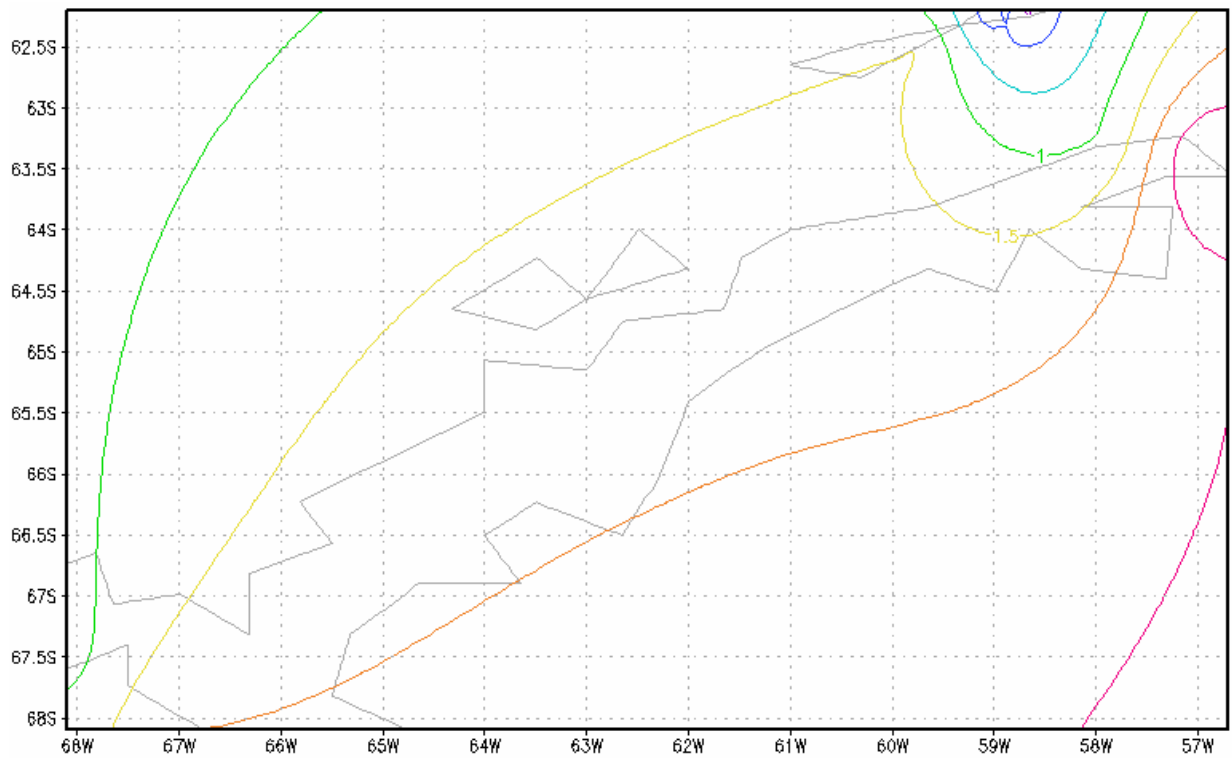


Рис. А.2 – Картосхеми трендової складової приземної температури
(лютий)

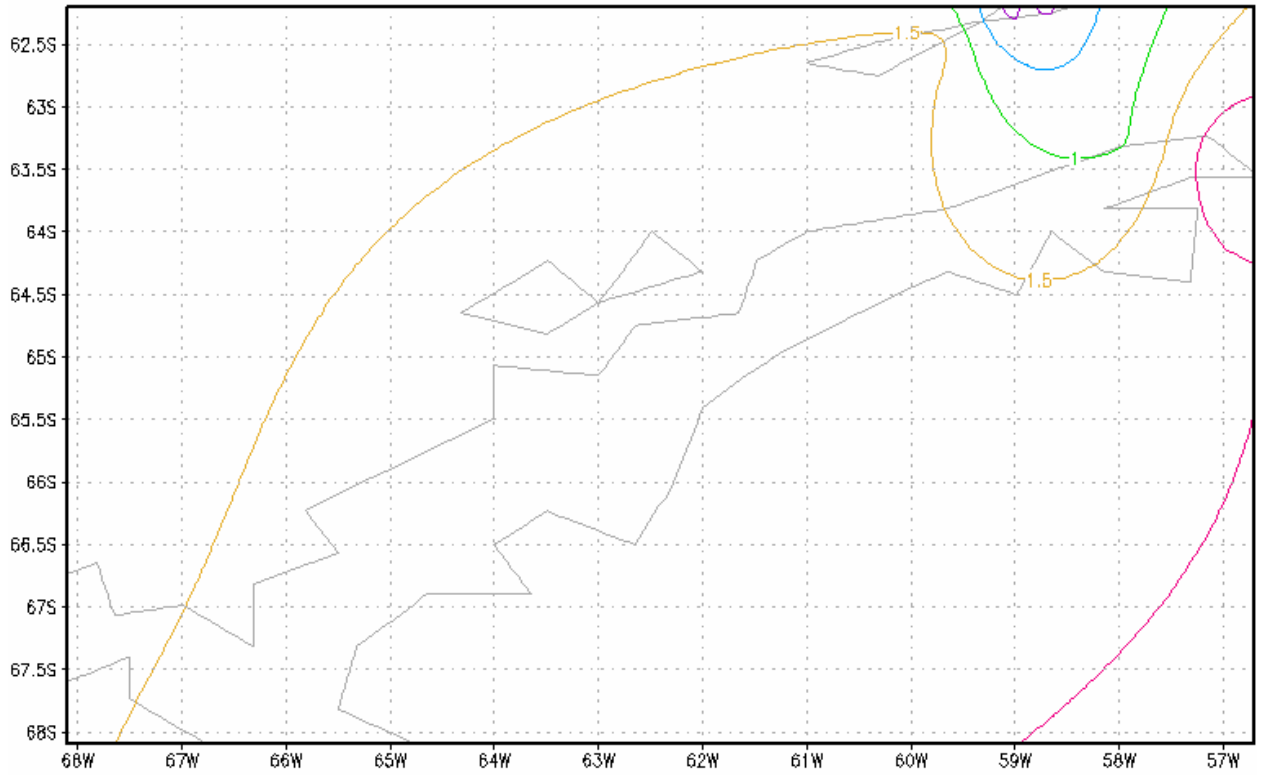


Рис. А.3 – Картосхеми трендової складової приземної температури
(березень)

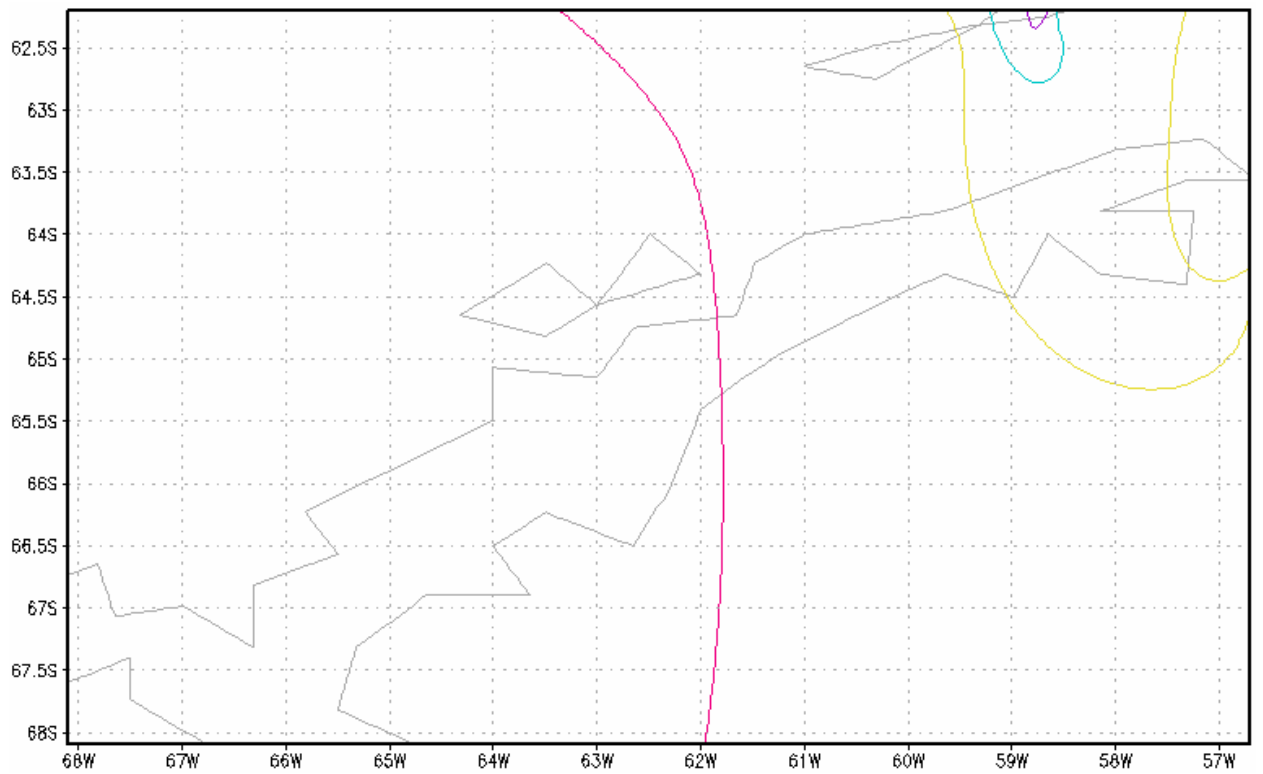


Рис. А.4 – Картосхеми трендової складової приземної температури
(квітень)

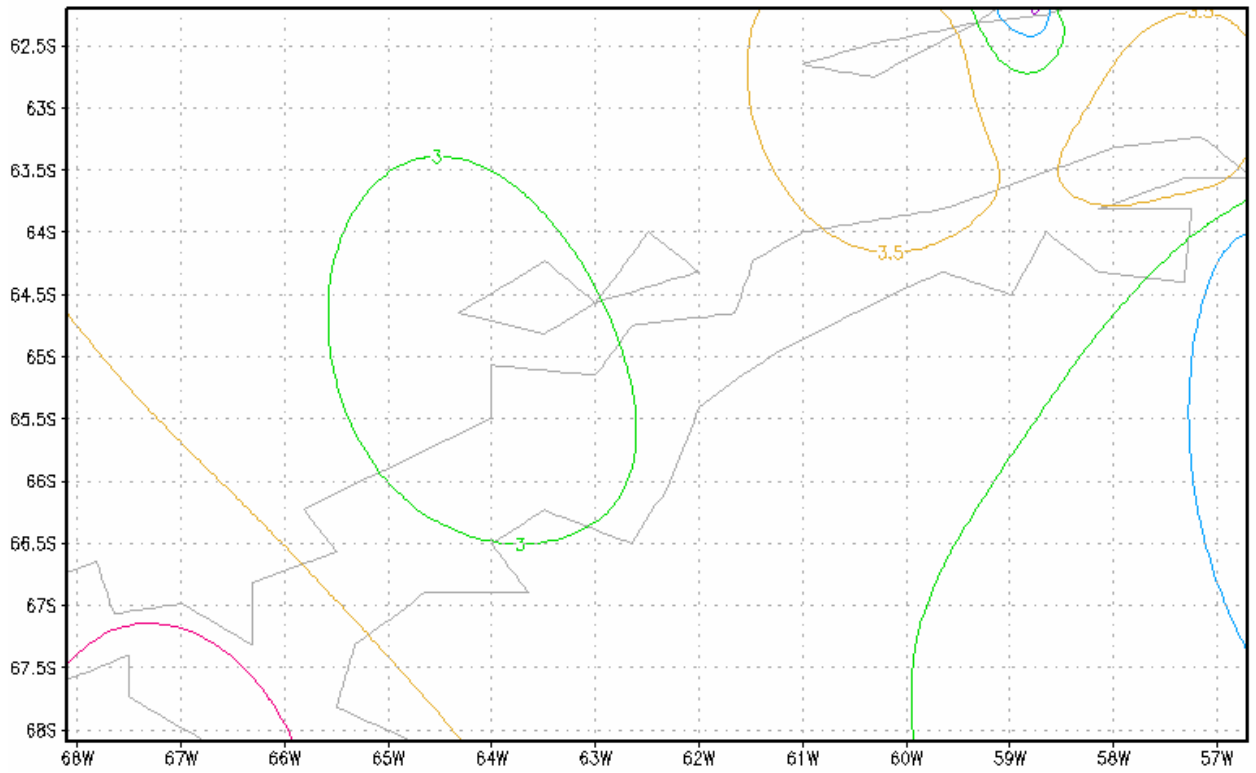


Рис. А.5 – Картосхеми трендової складової приземної температури
(травень)

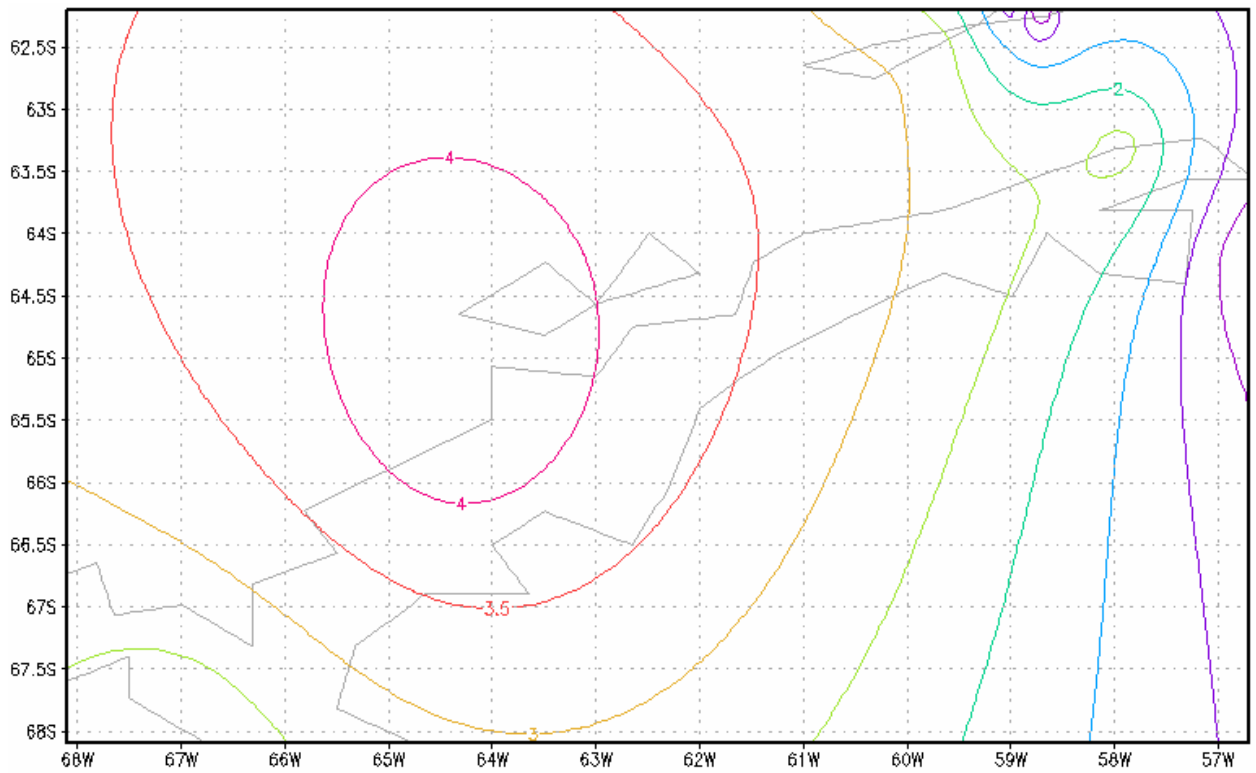


Рис. А.6 – Картосхеми трендової складової приземної температури
(червень)

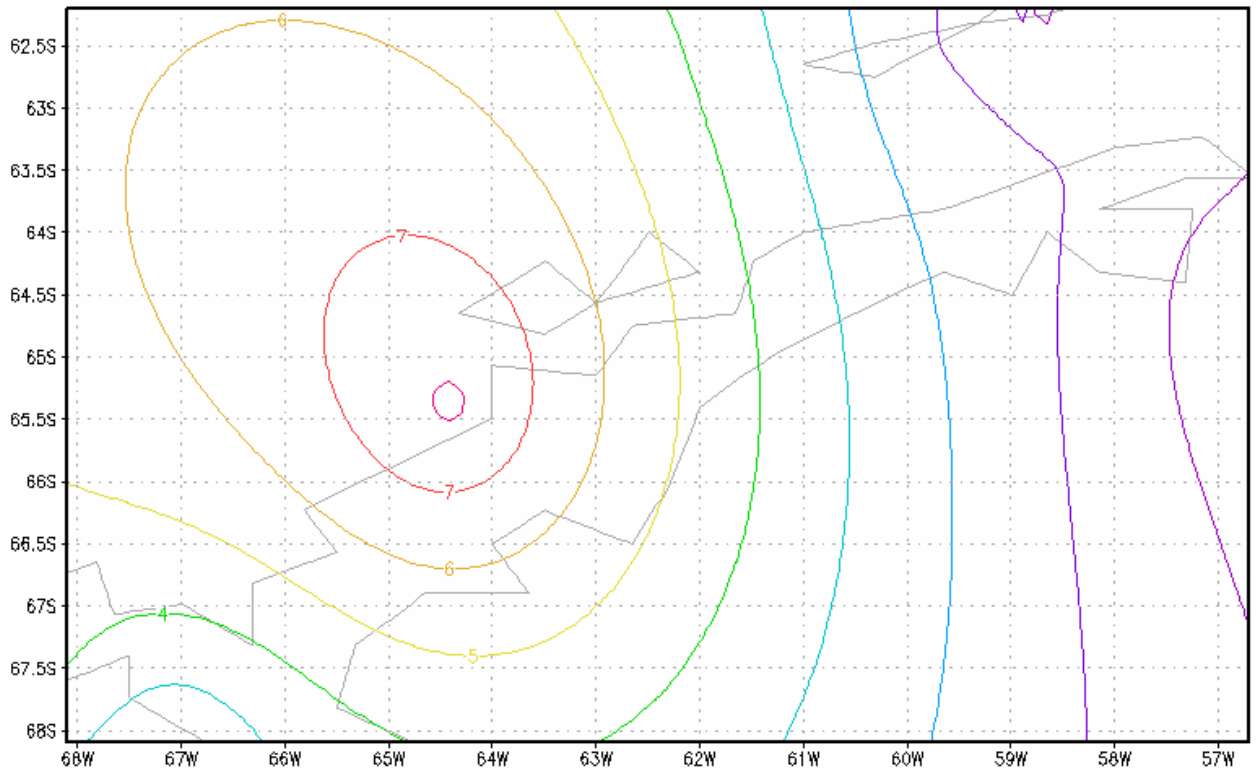


Рис. А.7 – Картосхеми трендової складової приземної температури
(липень)

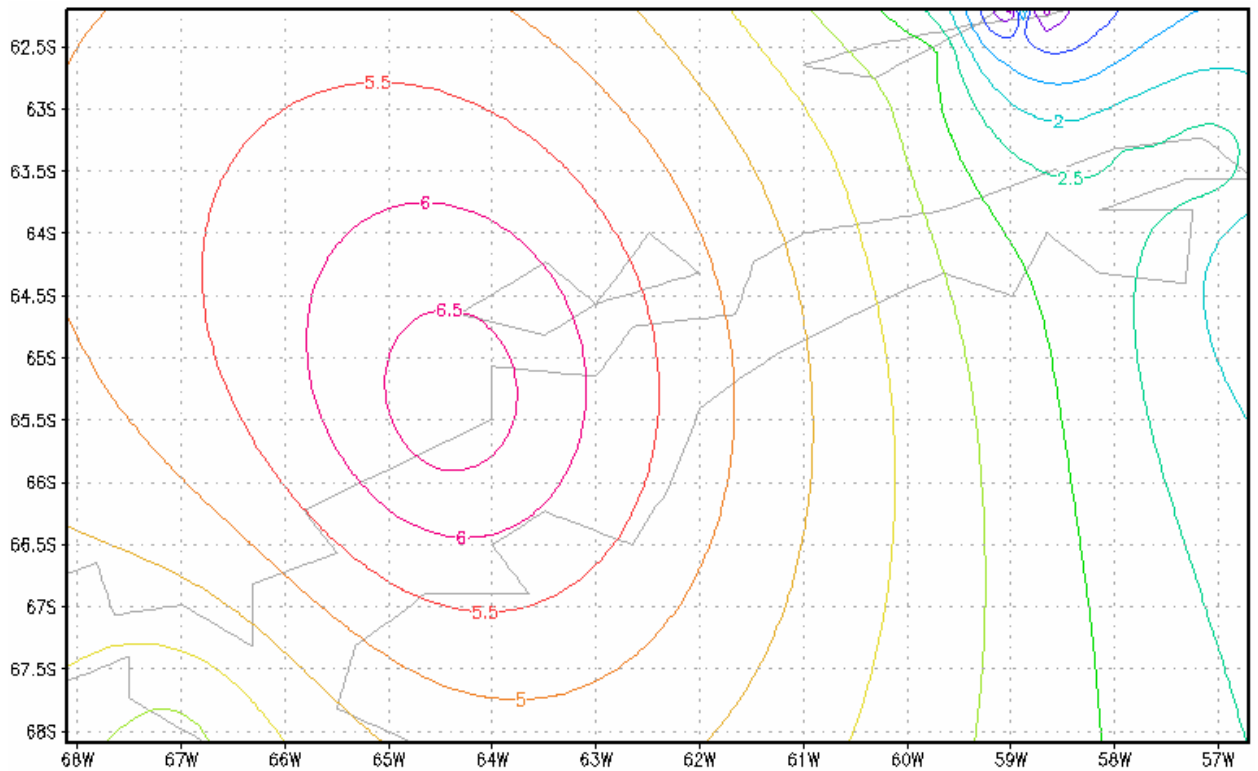


Рис. А.8 – Картосхеми трендової складової приземної температури
(серпень)

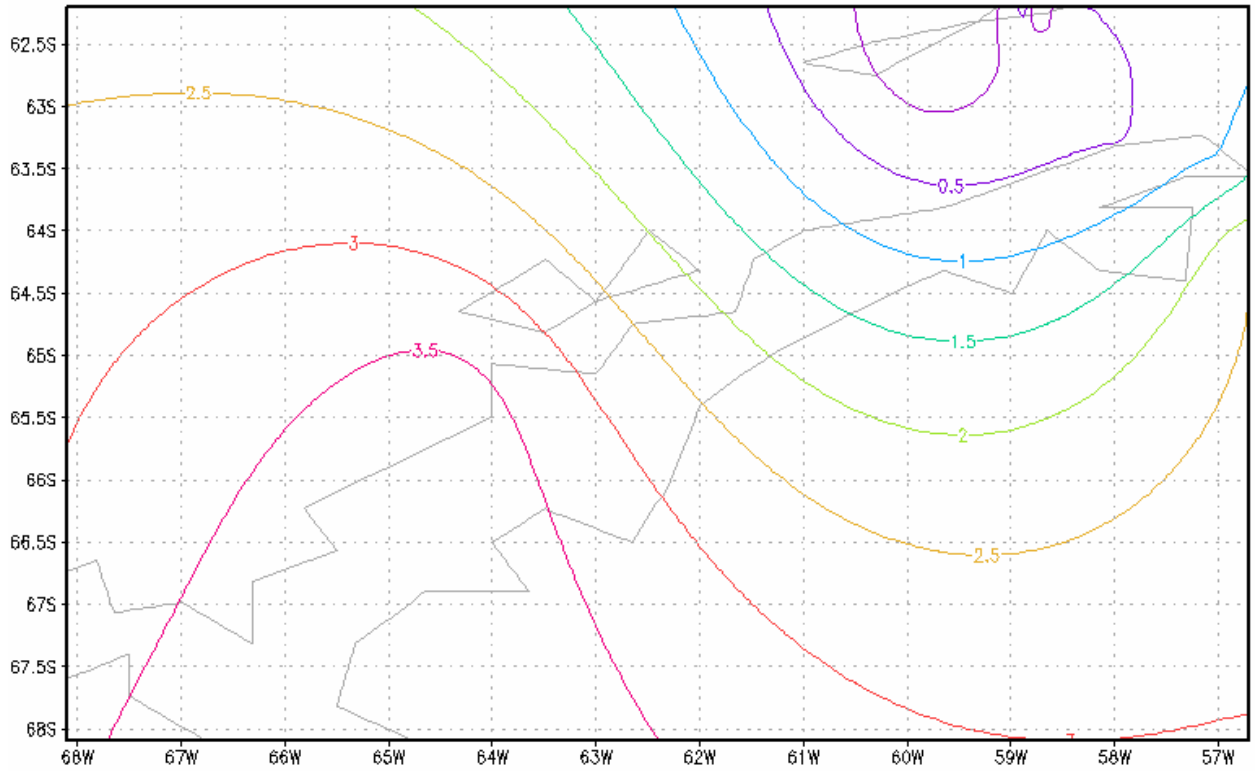


Рис. А.9 – Картосхеми трендової складової приземної температури
(вересень)

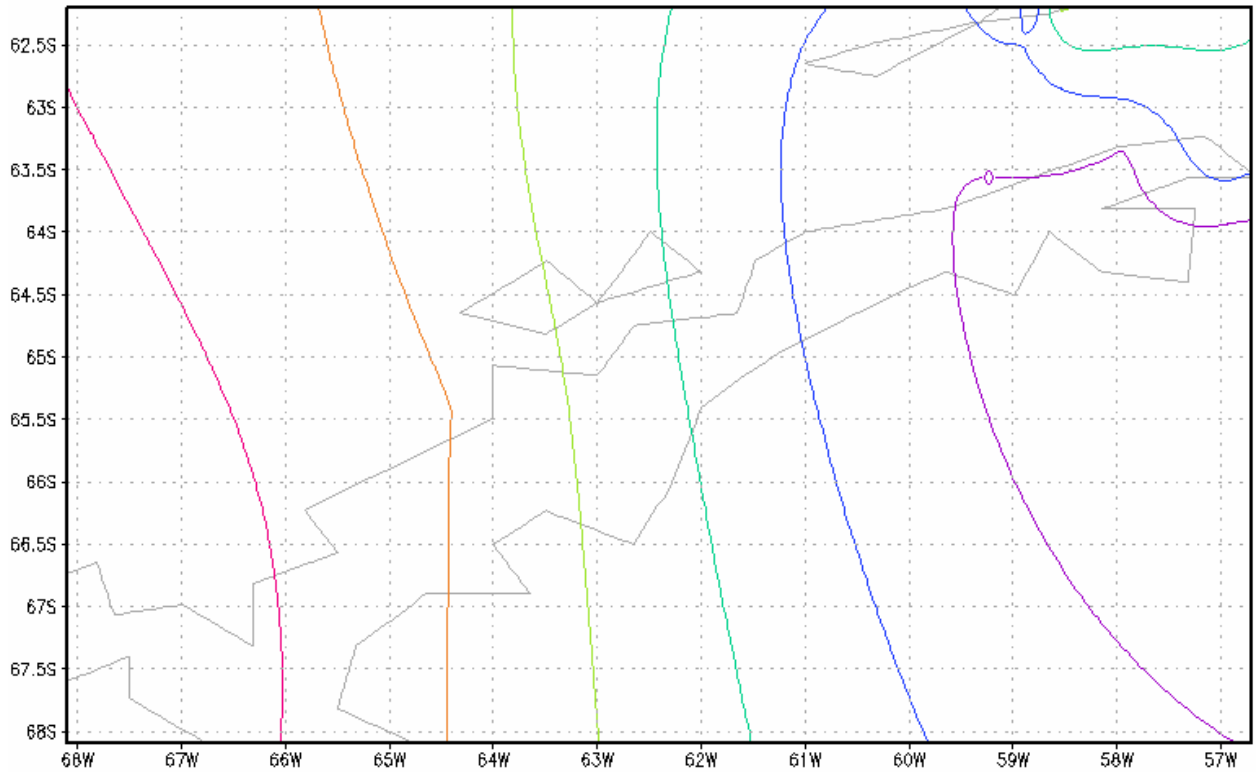


Рис. А.10 – Картосхеми трендової складової приземної температури
(жовтень)

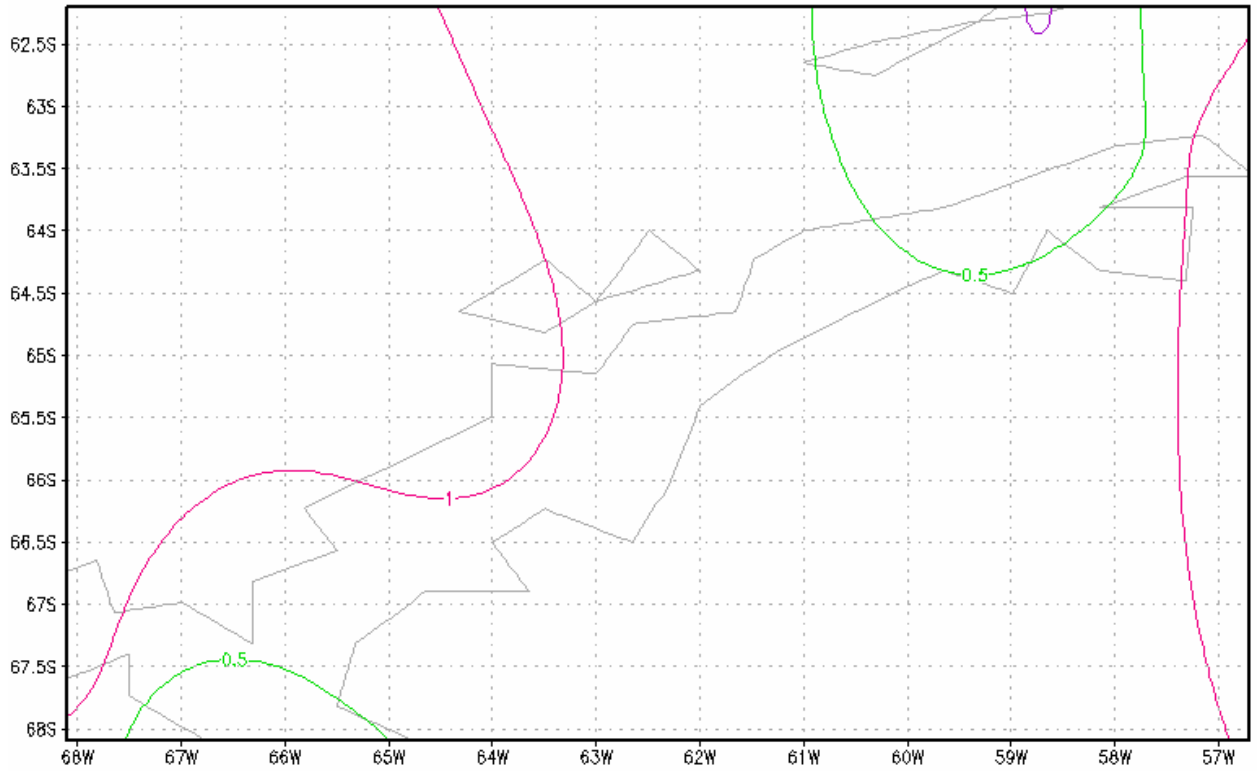


Рис. А.11 – Картосхеми трендової складової приземної температури
(листопад)

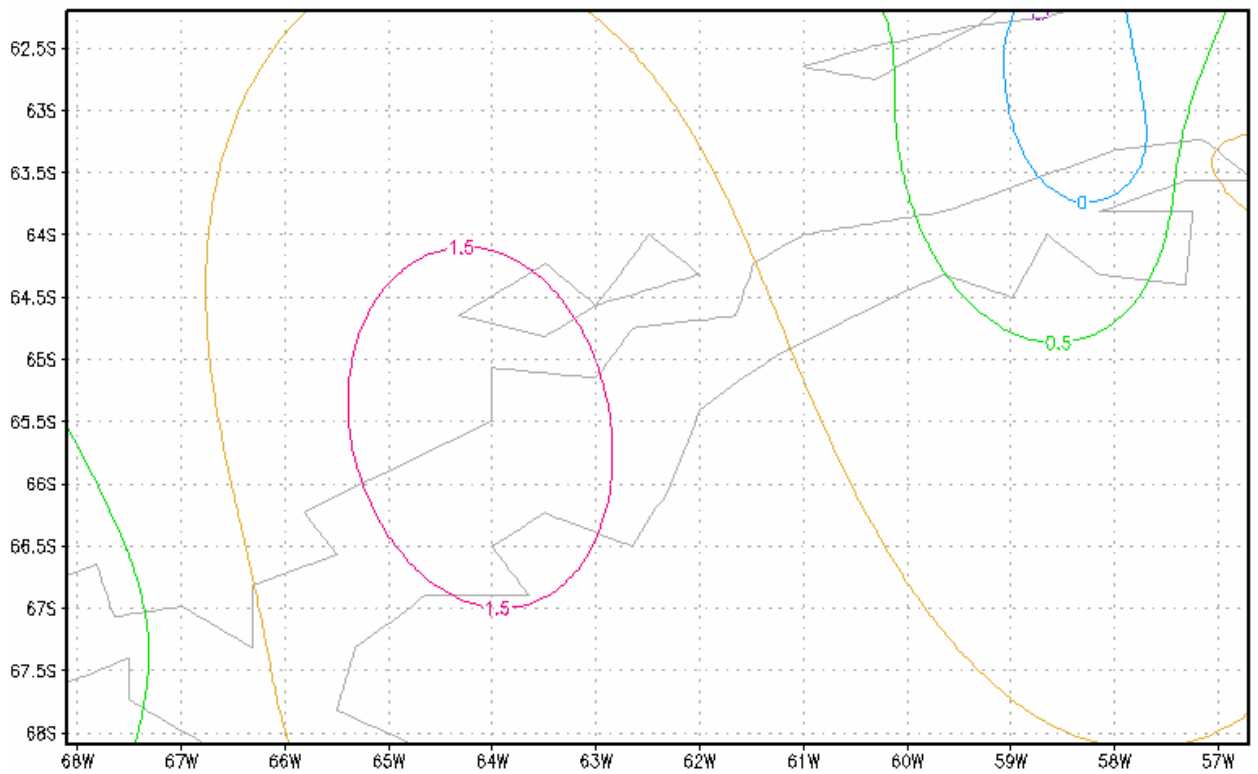


Рис. А.12 – Картосхеми трендової складової приземної температури
(грудень)

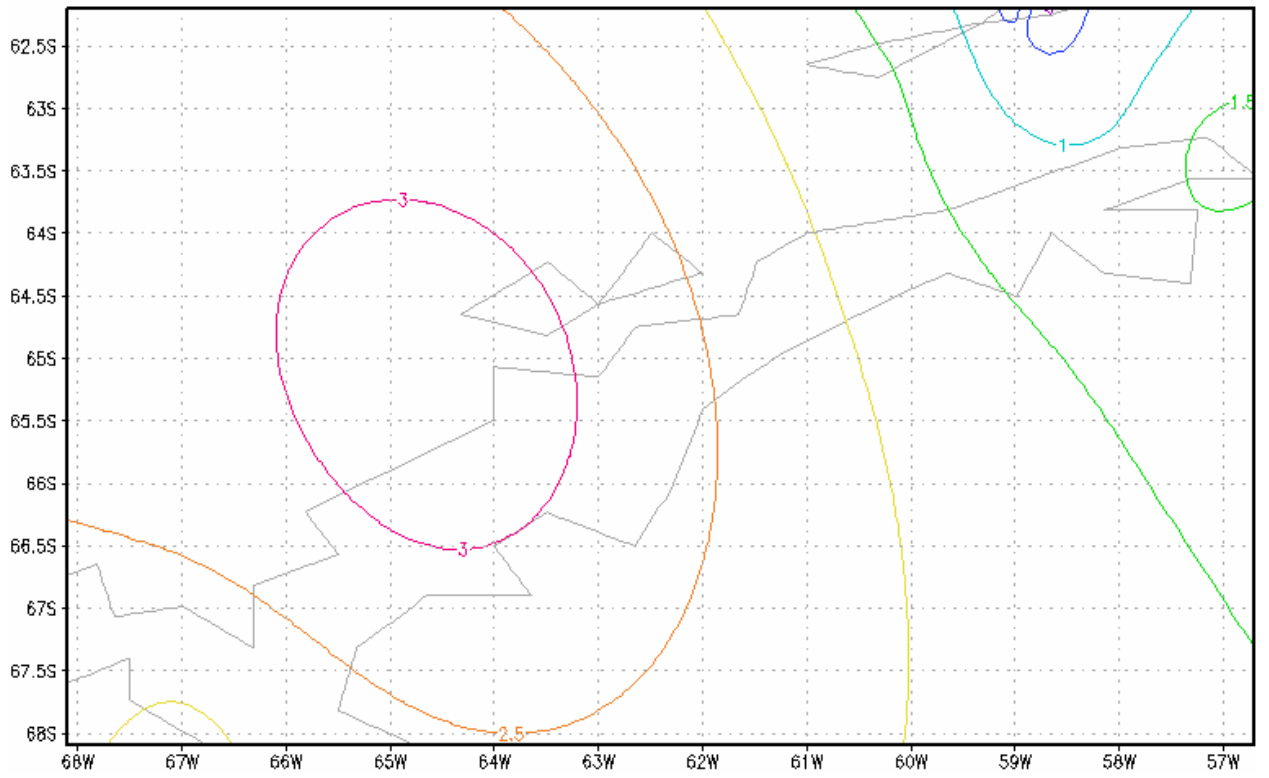


Рис. А.13 – Картографи трендової складової приземної температури
(середньорічні значення)

Додаток Б

Аномалії середньомісячних значень приземної температури повітря

Таблиця Б.1

Аномалії середньомісячних значень приземної температури повітря (січень)

Станції	\bar{t}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$
Marambio	-0,8	-1,8	-1,0	-0,7	<u>0,1</u>	-0,4	<u>0,4</u>
Esperanza	1,1	0,7	-0,4	1,1	0,0	1,6	<u>0,4</u>
O Higgins	0,6	-	-	0,8	<u>0,1</u>	0,6	-0,1
Jubany	1,9	1,0	-0,9	2,1	<u>0,1</u>	1,9	0,0
King Sejong	1,6	-	-	1,8	<u>0,2</u>	1,3	-0,3
Bellingshausen	1,4	1,3	-0,2	1,5	<u>0,1</u>	1,4	0,0
Marsh	1,1	-	-	1,2	<u>0,2</u>	1,0	-0,1
Great Wall	1,3	-	-	1,5	<u>0,2</u>	1,0	-0,2
Arturo Prat	1,5	-	-	1,6	<u>0,1</u>	1,3	-0,2
Faraday\ Vernadsky	0,8	0,6	-0,2	0,9	<u>0,1</u>	0,8	0,0
San Martin	1,4	0,8	-0,6	1,7	<u>0,2</u>	1,5	<u>0,1</u>
Rothera	0,9	0,8	-0,2	1,2	<u>0,2</u>	0,9	0,0
середнє значення	1,1	0,5	-0,6	1,2	0,0	1,1	0,0

Таблиця Б.2

Аномалії середньомісячних значень приземної температури повітря (лютий)

Станції	\bar{t}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$
Marambio	-1,4	-4,8	-3,4	-1,4	0,0	-1,0	<u>0,4</u>
Esperanza	0,4	-0,5	-0,9	0,6	<u>0,2</u>	1,0	<u>0,6</u>
O Higgins	0,3	-	-	0,4	<u>0,1</u>	0,2	<u>0,0</u>
Jubany	1,8	-	-	1,8	0,0	1,7	0,0
King Sejong	1,6	-	-	1,6	0,0	1,6	0,0
Bellingshausen	1,4	1,2	-0,2	1,7	<u>0,3</u>	1,3	-0,1
Marsh	1,1	-	-	1,0	-0,1	1,1	0,0
Great Wall	1,2	-	-	1,5	<u>0,2</u>	1,1	-0,1
Arturo Prat	1,5	-	-	1,7	<u>0,2</u>	1,2	-0,3
Faraday\ Vernadsky	0,6	0,4	-0,2	0,8	<u>0,2</u>	0,7	0,0
San Martin	0,8	0,0	-0,8	0,8	0,0	0,9	<u>0,1</u>
Rothera	0,4	-0,1	-0,4	0,5	<u>0,1</u>	0,7	<u>0,3</u>
середнє значення	0,8	-0,6	-1,4	0,9	0,1	0,9	0,1

Таблиця Б.3

Аномалії середньомісячних значень приземної температури повітря (березень)

Станції	\bar{t}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$
Marambio	-5,2	-6,2	-1,0	-5,3	-0,1	-4,9	<u>0,3</u>
O Higgins	-1,3	-	-	-1,1	<u>0,1</u>	-1,4	-0,1
Ferraz	0,7	0,9	<u>0,2</u>	0,7	0,0	0,7	0,0
Jubany	0,6	-	-	0,7	<u>0,1</u>	0,5	-0,1
King Sejong	0,6	-	-	0,6	<u>0,1</u>	0,5	-0,1
Bellingshausen	0,3	0,2	-0,1	0,4	<u>0,1</u>	0,3	0,0
Marsh	0,2			0,5	<u>0,3</u>	0,1	-0,1
Great Wall	0,4	0,0	-0,4	0,7	<u>0,3</u>	0,3	-0,2
Arturo Prat	0,5	-	-	0,6	0,0	0,4	-0,1
Faraday\ Vernadsky	-0,4	-0,6	-0,2	-0,3	<u>0,1</u>	-0,3	<u>0,1</u>
San Martin	-1,4	-1,8	-0,4	-1,5	0,0	-1,3	<u>0,1</u>
Rothera	-1,5	-1,8	-0,3	-1,3	<u>0,2</u>	-1,3	<u>0,2</u>
середнє значення	-0,5	-1,3	-0,8	-0,4	0,1	-0,5	0,0

Таблиця Б.4

Аномалії середньомісячних значень приземної температури повітря (квітень)

Станції	\bar{t}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$
Marambio	-11,4	-12,8	-1,5	-11,7	-0,3	-10,1	<u>1,3</u>
Esperanza	-6,0	-5,9	<u>0,1</u>	-6,7	-0,7	-5,4	<u>0,6</u>
O Higgins	-3,1			-3,1	0,0	-3,2	<u>0,0</u>
Jubany	-2,0			-2,3	-0,4	-1,4	<u>0,6</u>
King Sejong	-1,6			-1,9	-0,4	-1,1	<u>0,5</u>
Bellingshausen	-1,7	-1,8	-0,1	-2,1	-0,4	-1,3	<u>0,4</u>
Marsh	-1,6			-1,9	-0,3	-1,4	<u>0,3</u>
Great Wall	-1,8	-3,4	-1,6	-2,3	-0,5	-1,2	<u>0,6</u>
Arturo Prat	-1,8	-3,7	-1,9	-2,2	-0,4	-0,6	<u>1,2</u>
Faraday\ Vernadsky	-2,0	-2,3	-0,3	-2,1	-0,1	-1,6	<u>0,4</u>
San Martin	-3,4	-4,1	-0,7	-3,0	<u>0,4</u>	-3,5	-0,1
Rothera	-3,2	-3,9	-0,7	-2,9	<u>0,3</u>	-2,8	<u>0,4</u>
середнє значення	-3,3	-4,7	-1,4	-3,5	-0,2	-2,8	0,5

Таблиця Б.5

Аномалії середньомісячних значень приземної температури повітря (травень)

Станції	\bar{t}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$
Marambio	-13,0	-17,5	-4,5	-11,6	<u>1,4</u>	-11,7	<u>1,4</u>
Esperanza	-8,1	-9,4	-1,2	-8,4	-0,3	-6,6	<u>1,5</u>
O Higgins	-4,4	-	-	-3,9	<u>0,5</u>	-4,6	-0,2
Jubany	-2,6	-	-	-2,6	<u>0,1</u>	-2,6	0,0
King Sejong	-2,9	-1,9	<u>1,0</u>	-3,5	-0,5	-2,4	<u>0,5</u>
Bellingshausen	-3,5	-4,1	-0,6	-3,9	-0,4	-2,5	<u>1,0</u>
Marsh	-3,0	-	-	-3,4	-0,4	-2,9	<u>0,2</u>
Great Wall	-2,6	-2,0	<u>0,6</u>	-2,7	-0,1	-2,6	0,0
Arturo Prat	-2,4	-1,9	<u>0,5</u>	-2,6	-0,1	-2,3	<u>0,1</u>
Faraday\ Vernadsky	-3,6	-4,4	-0,8	-3,6	0,0	-2,8	<u>0,9</u>
San Martin	-4,9	-4,5	<u>0,5</u>	-5,3	-0,3	-4,8	<u>0,1</u>
Rothera	-5,1	-6,3	-1,2	-5,0	<u>0,2</u>	-4,1	<u>1,1</u>
середнє значення	-4,7	-5,8	-1,1	-4,7	0,1	-4,2	0,5

Таблиця Б.6

Аномалії середньомісячних значень приземної температури повітря (червень)

Станції	\bar{t}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$
Marambio	-15,6	-19,6	-4,0	-14,4	<u>1,2</u>	-15,9	-0,3
Esperanza	-10,7	-10,6	<u>0,1</u>	-10,1	<u>0,6</u>	-11,4	-0,7
O Higgins	-6,9	-	-	-6,2	<u>0,7</u>	-7,2	-0,3
Jubany	-4,6			-3,8	<u>0,8</u>	-5,4	-0,7
King Sejong	-5,0	-7,6	-2,6	-4,6	<u>0,4</u>	-5,2	-0,2
Bellingshausen	-5,4	-5,7	-0,3	-5,1	<u>0,3</u>	-5,4	0,0
Marsh	-4,7	-	-	-3,7	<u>1,0</u>	-5,4	-0,6
Great Wall	-4,6	-	-	-4,0	<u>0,5</u>	-5,1	-0,5
Arturo Prat	-4,4	-6,8	-2,4	-3,8	<u>0,6</u>	-4,9	-0,5
Faraday\ Vernadsky	-5,5	-6,3	-0,8	-5,3	<u>0,2</u>	-4,8	<u>0,7</u>
San Martin	-9,3	-9,9	-0,6	-9,7	-0,4	-8,5	<u>0,7</u>
Rothera	-8,5	-8,8	-0,3	-8,8	-0,3	-8,0	<u>0,5</u>
середнє значення	-7,1	-9,4	-2,3	-6,6	0,5	-7,3	-0,2

Таблиця Б.7

Аномалії середньомісячних значень приземної температури повітря (липень)

Станції	\bar{t}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$
Marambio	-15,1	-17,0	-1,9	-14,5	<u>0,7</u>	-15,3	-0,1
Esperanza	-10,7	-10,4	<u>0,3</u>	-11,0	-0,3	-10,7	<u>0,0</u>
O Higgins	-7,7	-	-	-8,5	-0,8	-7,1	<u>0,6</u>
Jubany	-5,9	-13,9	-8,0	-5,0	<u>0,9</u>	-5,6	<u>0,3</u>
King Sejong	-5,3	-5,0	<u>0,3</u>	-5,9	-0,6	-4,4	<u>0,9</u>
Bellingshausen	-6,3	-6,9	-0,6	-6,4	-0,1	-5,7	<u>0,7</u>
Marsh	-5,9	-	-	-6,5	-0,6	-5,6	<u>0,4</u>
Great Wall	-6,6	-14,2	-7,6	-7,5	-0,9	-4,9	<u>1,7</u>
Arturo Prat	-6,1	-	-	-7,2	-1,0	-4,6	<u>1,5</u>
Faraday\ Vernadsky	-7,1	-9,3	-2,2	-6,7	<u>0,4</u>	-5,2	<u>1,9</u>
San Martin	-11,7	-15,1	-3,4	-11,7	<u>0,0</u>	-10,4	<u>1,3</u>
Rothera	-10,3	-11,8	-1,5	-10,0	<u>0,3</u>	-9,0	<u>1,3</u>
середнє значення	-8,2	-11,5	-3,0	-8,4	-0,2	-7,4	0,8

Таблиця Б.8

Аномалії середньомісячних значень приземної температури повітря (серпень)

Станції	\bar{t}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$
Marambio	-13,3	-12,4	<u>0,9</u>	-13,7	-0,4	-13,1	<u>0,2</u>
Esperanza	-9,2	-9,4	-0,2	-9,4	-0,2	-8,7	<u>0,5</u>
O Higgins	-7,3	-	-	-8,5	-1,1	-6,7	<u>0,6</u>
Jubany	-5,5	-7,8	-2,3	-5,8	-0,3	-4,9	<u>0,7</u>
King Sejong	-5,3	-9,0	-3,7	-5,3	0,0	-4,8	<u>0,5</u>
Bellingshausen	-5,9	-6,7	-0,9	-5,9	0,0	-5,0	<u>0,9</u>
Marsh	-5,6	-	-	-6,6	-1,0	-5,2	<u>0,5</u>
Great Wall	-5,8	-7,5	-1,7	-6,1	-0,3	-5,2	<u>0,6</u>
Arturo Prat	-5,7	-7,5	-1,8	-5,9	-0,2	-4,8	<u>0,9</u>
Faraday\ Vernadsky	-7,9	-9,5	-1,6	-7,1	<u>0,8</u>	-7,0	<u>0,9</u>
San Martin	-12,7	-14,6	-1,9	-11,8	<u>0,9</u>	-12,8	-0,1
Rothera	-10,5	-11,8	-1,3	-9,6	<u>0,9</u>	-10,0	<u>0,4</u>
середнє значення	-7,9	-9,6	-1,7	-8,0	-0,1	-7,3	0,4

Таблиця Б.9

Аномалії середньомісячних значень приземної температури повітря (вересень)

Станції	\bar{t}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$
Marambio	-10,9	-11,4	-0,5	-11,8	-1,0	-9,5	<u>1,4</u>
Esperanza	-6,9	-6,9	0,0	-7,4	-0,5	-6,4	<u>0,5</u>
O Higgins	-5,8	-	-	-7,2	-1,4	-5,2	<u>0,6</u>
Jubany	-3,9	-	-	-4,3	-0,4	-3,5	<u>0,4</u>
King Sejong	-3,7	-3,3	0,4	-4,0	-0,3	-3,4	<u>0,3</u>
Bellingshausen	-4,4	-4,7	-0,3	-4,7	-0,3	-3,8	<u>0,6</u>
Marsh	-4,3	-	-	-5,1	-0,8	-3,9	<u>0,4</u>
Great Wall	-4,5	-	-	-5,2	-0,7	-3,9	<u>0,6</u>
Arturo Prat	-4,6	-	-	-5,1	-0,5	-3,9	<u>0,7</u>
Faraday\ Vernadsky	-7,3	-8,4	-1,1	-6,6	<u>0,7</u>	-6,7	<u>0,6</u>
San Martin	-9,4	-9,5	-0,1	-9,8	-0,4	-9,0	<u>0,4</u>
Rothera	-8,6	-9,5	-0,9	-8,2	<u>0,4</u>	-8,1	<u>0,5</u>
середнє значення	-6,2	-7,7	-1,5	-6,6	-0,6	-5,6	0,6

Таблиця Б.10

Аномалії середньомісячних значень приземної температури повітря (жовтень)

Станції	\bar{t}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$
Marambio	-8,2	-7,6	<u>0,6</u>	-9,1	-0,9	-7,1	<u>1,0</u>
Esperanza	-4,5	-4,4	<u>0,1</u>	-5,3	-0,8	-3,7	<u>0,8</u>
O Higgins	-3,9	-3,5	<u>0,4</u>	-3,8	<u>0,1</u>	-4,0	-0,1
Jubany	-2,2	-3,5	-1,3	-2,1	<u>0,1</u>	-2,1	<u>0,1</u>
King Sejong	-2,1	-2,6	-0,5	-2,2	-0,1	-1,9	<u>0,2</u>
Bellingshausen	-2,8	-3,1	-0,3	-2,8	<u>0,0</u>	-2,5	<u>0,3</u>
Marsh	-2,8	-3,4	-0,6	-2,7	<u>0,1</u>	-2,8	<u>0,0</u>
Great Wall	-2,7	-3,9	-1,2	-2,6	<u>0,1</u>	-2,7	<u>0,0</u>
Arturo Prat	-2,6	-3,4	-0,8	-2,5	<u>0,1</u>	-2,6	<u>0,0</u>
Faraday\ Vernadsky	-5,0	-5,9	-0,9	-5,0	<u>0,0</u>	-3,8	<u>1,1</u>
San Martin	-6,4	-7,2	-0,8	-6,7	-0,3	-5,6	<u>0,8</u>
Rothera	-5,9	-7,0	-1,0	-5,7	<u>0,3</u>	-5,2	<u>0,7</u>
середнє значення	-4,1	-4,6	-0,5	-4,2	-0,1	-3,7	0,4

Таблиця Б.11

Аномалії середньомісячних значень приземної температури повітря (листопад)

Станції	\bar{t}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$
Marambio	-3,7	-3,8	-0,1	-4,0	-0,4	-3,3	<u>0,4</u>
Esperanza	-1,5	-2,0	-0,6	-1,2	<u>0,3</u>	-1,2	<u>0,3</u>
O Higgins	-1,9	-	-	-2,0	-0,2	-1,8	<u>0,1</u>
Jubany	-0,3	-1,7	-1,4	-0,2	<u>0,1</u>	-0,3	<u>0,1</u>
King Sejong	-0,4	-0,7	-0,3	-0,3	<u>0,1</u>	-0,4	0,0
Bellingshausen	-1,0	-1,4	-0,3	-0,9	<u>0,2</u>	-0,9	<u>0,1</u>
Marsh	-1,1	-	-	-0,9	<u>0,1</u>	-1,2	-0,1
Great Wall	-1,0	-1,3	-0,3	-1,0	0,0	-1,0	0,0
Arturo Prat	-1,0	-1,6	-0,6	-0,9	<u>0,1</u>	-0,8	<u>0,2</u>
Faraday\ Vernadsky	-2,0	-2,5	-0,5	-1,9	<u>0,2</u>	-1,6	<u>0,4</u>
San Martin	-2,4	-2,8	-0,4	-2,9	-0,5	-1,6	<u>0,8</u>
Rothera	-2,6	-3,5	-0,9	-2,1	<u>0,4</u>	-2,1	<u>0,5</u>
середнє значення	-1,6	-2,1	-0,6	-1,5	0,0	-1,3	0,2

Таблиця Б.12

Аномалії середньомісячних значень приземної температури повітря (грудень)

Станції	\bar{t}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$	\bar{t}_{10}	$\bar{t}_{30} - \bar{t}_{10}$
Marambio	-1,0	-1,4	-0,4	-1,4	-0,4	-0,4	<u>0,6</u>
Esperanza	0,6	0,7	<u>0,1</u>	0,7	0,0	0,5	-0,1
O Higgins	-0,1	-	-	-0,2	0,0	-0,1	0,0
Jubany	0,9	1,0	<u>0,1</u>	1,0	0,0	0,9	0,0
King Sejong	0,8	0,9	<u>0,1</u>	0,9	<u>0,1</u>	0,6	-0,1
Bellingshausen	0,4	0,5	0,0	0,3	-0,1	0,7	<u>0,2</u>
Marsh	0,1	-	-	0,1	0,0	0,1	0,0
Great Wall	0,3	0,2	-0,1	0,5	<u>0,2</u>	0,3	-0,1
Arturo Prat	0,4	0,3	-0,2	0,5	<u>0,1</u>	0,4	0,0
Faraday\ Vernadsky	-0,2	-0,4	-0,2	-0,1	<u>0,1</u>	-0,1	<u>0,1</u>
San Martin	0,5	0,6	<u>0,1</u>	0,3	-0,2	0,6	<u>0,1</u>
Rothera	0,1	0,0	-0,1	0,4	<u>0,3</u>	-0,1	-0,2
середнє значення	0,2	0,2	0,0	0,3	0,0	0,3	0,1