

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
Маковійчук 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 баричного режиму Антарктичного півострова
та його зв'язок з геомагнітною активністю

Виконав студентв 2 курсу групи МНЗ- 2к
спеціальності 103 – “Науки по Землю”
Маковійчук Артем Борисович

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

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

Маковійчуку Артему Борисовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

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

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

(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 баричного режиму Антарктичного півострова проводилося за даними, отриманими з сайту Британської Антарктичної служби. Вихідні дані представляють собою середньомісячні значення атмосферного тиску на рівні моря 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 атмосферного тиску досліджуваного регіону; розрахувати та проаналізувати статистичні характеристики атмосферного тиску; визначити значущі періоди коливань атмосферного тиску на рівні моря; визначити та проаналізувати трендові складові атмосферного тиску; розрахувати та проаналізувати аномалії атмосферного тиску за десятирічні періоди з 1986 по 2015рр.; дослідити зв'язок між атмосферним тиском та геомагнітною активністю за допомогою кореляційного та взаємного спектрального аналізів.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Карто-схеми трендової складової атмосферного тиску на рівні моря, карто-схеми просторово-часового розподілу аномалій атмосферного тиску, гістограми сум аномалій атмосферного тиску за десятиріччя, графіки статистичних оцінок взаємної

спектральної щільності середньомісячних значень атмосферного тиску 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.	65	задовільно
	Формування бази даних атмосферного тиску на рівні моря та індексу Ар	06.11-09.11 2018р.	78	добре
	Розрахунок та аналіз статистичних характеристик атмосферного тиску на рівні моря.	10.11-12.11 2018р.	80	добре
	Розрахунок трендової складової атмосферного тиску та аналіз особливостей багаторічних змін атмосферного тиску на рівні моря.	13.11-16.11 2018р.	72	задовільно
	Розрахунок аномалій атмосферного тиску, аналіз їх динаміки та просторового розподілу.	17.11-19.11 2018р.	76	добре
	Рубіжна атестація	19.11-24.11 2018р.	74	добре
	Дослідження та аналіз глобальних статистичних взаємозв'язків між атмосферним тиском та геомагнітною активністю за допомогою взаємного спектрального аналізу	20.11-30.11 2018р.	75	добре
	Оформлення кваліфікаційної роботи, підготовка доповіді та презентації	01.12-10.12 2018р.	80	добре
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		75	добре

Студент _____ Маковійчук А.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Прокоф'єв О.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота на тему «Багаторічна динаміка баричного 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 баричного режиму антарктичного півострова, а також його зв'язку з геомагнітною активністю.

Об'єкт дослідження. Середньомісячні значення атмосферного тиску на рівні моря дванадцяти 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 атмосферного тиску Антарктичного півострову. Визначені характеристики статистичної структури атмосферного тиску в досліджуваному регіоні, виявлені приховані періодичності у часових рядах атмосферного тиску на рівні моря.

Досліджено динаміку атмосферного тиску 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 баричного режиму Антарктичного півострова проводилося за даними Британської Антарктичної служби. Вихідні дані представляють собою середньомісячні значення атмосферного тиску на рівні моря дванадцяти станцій Антарктичного півострова за період з 1950 по 2015рр. (на деяких станціях період спостережень зменшено у зв'язку з відсутністю даних).

Кількість сторінок – 77

Кількість рисунків – 25

Кількість таблиць – 12

Кількість використаної літератури – 28

Ключові слова: Антарктичний півострів, атмосферний тиск, індекс геомагнітної активності, аномалія, спектральна щільність, когерентність.

SUMMARY

The Master's qualification work on the topic "The Long-Term Dynamics of the Baric 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 pressure mode of the Antarctic peninsula, as well as its connection with geomagnetic activity.

Object of study. The average monthly atmospheric pressure 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 atmospheric pressure of the Antarctic peninsula is established in the work. The characteristics of the statistical structure of atmospheric pressure in the studied region are determined, and the hidden periodicity in the sea-level sea-level time series is revealed.

The dynamics of the atmospheric pressure 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. Research the pressure regime of the Antarctic Peninsula was conducted according to the British Antarctic Centre. The initial data represent the average monthly values of atmospheric pressure at the sea level 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 – 77

Number of figures – 25

Number of tables – 12

Number of references – 28

Keywords: Antarctic peninsula, atmospheric pressure, geomagnetic activity index, anomaly, spectral density, coherence.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 МЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ РЕЖИМ І КЛІМАТ АНТАРКТИДИ.....	10
1.1 Антарктична суша і своєрідність її як підстильної поверхні	10
1.2 Сучасні кліматичні зміни Південної полярної області.....	18
1.2.1 Кліматичні зміни Антарктиди	18
1.2.2 Характер сучасного регіонального клімату Антарктичного півострова	23
1.3 Річний хід величин тиску над Антарктидою.....	25
2 ВИХІДНА ІНФОРМАЦІЯ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	31
2.1 Характеристика вихідної інформації.....	31
2.2 Методи дослідження.....	33
2.2.1 Методи розрахунку основних статистичних параметрів атмосферного тиску	33
2.2.2 Методи розрахунку аномалій атмосферного тиску.....	37
3 СУЧАСНІ ЗМІНИ БАРИЧНОГО РЕЖИМУ АНТАРКТИЧНОГО ПІВОСТРОВА	39
3.1 Особливості багаторічних змін атмосферного тиску	39
3.2 Статистичні характеристики атмосферного тиску	41
3.3 Багаторічна мінливість атмосферного тиску Антарктичного півострова	43
4 МІНЛИВІСТЬ АНОМАЛІЙ АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ НА РІВНІ МОРЯ.....	50
4.1 Динаміка аномалій атмосферного тиску	50
4.2 Просторовий розподіл аномалій атмосферного тиску.....	54
4.3 Аналіз сум аномалій атмосферного тиску по регіону	62
5 ЗВ'ЯЗОК БАРИЧНОГО РЕЖИМУ АНТАРКТИЧНОГО ПІВОСТРОВА З ГЕОМАГНІТНОЮ АКТИВНІСТЮ.....	65

5.1 Кореляційний аналіз атмосферного тиску та індексу геомагнітної активності	65
5.2 Взаємний спектральний аналіз атмосферного тиску та індексу геомагнітної активності A_p	67
ВИСНОВКИ	72
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	75
ДОДАТКИ	78
Додаток А	79
Додаток Б	86

ВСТУП

Дипломний проект на тему «Багаторічна динаміка баричного режиму Антарктичного півострова та його зв'язок з геомагнітною активністю» присвячений аналізу сучасних змін атмосферного тиску на рівні моря в районі Антарктичного півострова, а також його зв'язку з геомагнітною активністю.

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 атмосферного тиску на рівні моря 12 станцій Антарктичного материка.

В ході виконання дипломного проекту реалізовані наступні завдання:

- проаналізовані тенденції багаторічних змін атмосферного тиску;
- розраховані та проаналізовані статистичні характеристики атмосферного тиску на рівні моря;
- визначені значущі періоди коливань атмосферного тиску;
- визначені трендові складові атмосферного тиску;
- розраховані та проаналізовані аномалії атмосферного тиску за десятирічні періоди з 1986 по 2015рр.;
- проаналізовані суми аномалій атмосферного тиску по досліджуваному регіону.

– досліджено зв'язок між атмосферним тиском 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.

Аналіз динаміки атмосферного тиску на рівні моря в районі Антарктичного півострову свідчить про наявність певних змін, які відбуваються в баричному режимі регіону, 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 майже в два рази зросли екстремальні значення аномалій атмосферного тиску, що може свідчити про порушення стабільності баричного режиму Антарктичного півострова.

Другий розділ роботи виконаний під керівництвом доцента кафедри фізики атмосфери та кліматології, к.геогр.н. Прокоф'єва О.М.

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.

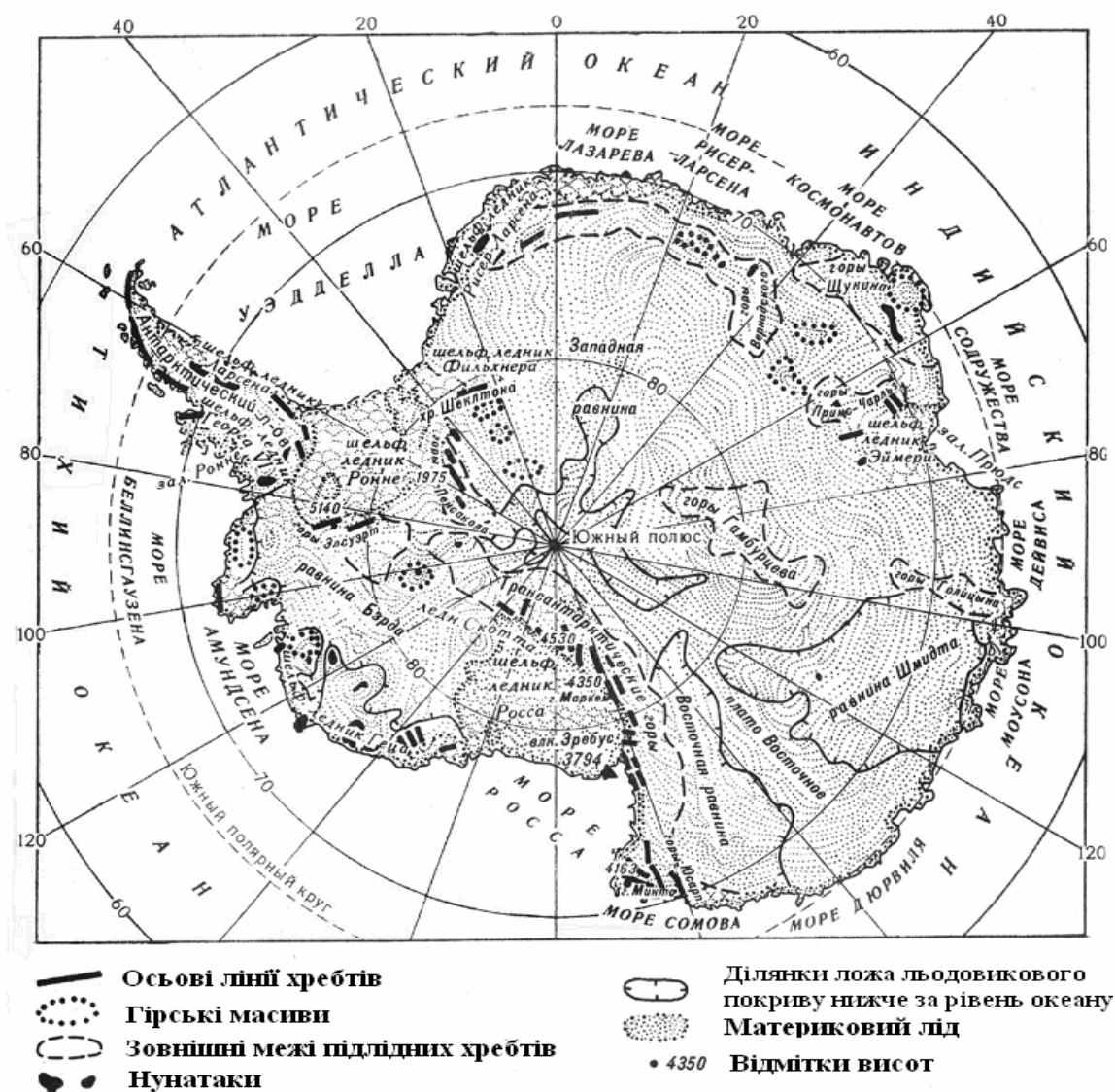


Рис. 1.1 – Антарктида

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

На захід від Грінвічського меридіана (0°) знаходяться наступні райони. Між 10° і 35° з. д. тягнеться Земля Котса. В південній частині моря Ведела розташовані шельфові льодовики Фільхнера і Роне, що примикають до Землі Едіт Ронне. На захід від цього району між 60° і 110° з.д. лежить Земля Елсуерта. В цьому секторі багато окремих гірських вершин – нунатаків, що підносяться над поверхнею льоду, а вища точка Антарктиди – масив Вінсон (4897 м) відноситься до хребта Сентініел. На схід від Землі Елсуерта розташований Антарктичний півострів, а західніше – Земля Мері Берд. На захід від Землі Мері Берд тягнеться обширний шельфовий льодовик Роса, який виходить до моря Роса. Антарктичний півострів і Земля Мері Берд є як би відособленою областю Антарктиди, оскільки подошва льодовикового

щита між льодовиками Ронне і Роса була прогнута нижче за рівень моря. Якби тут розтанув весь лід, Земля Мері Берд відділилася б протокою від решти Антарктиди. На захід від моря Роса розташована Земля Вікторії, край величних льодовиків, що спускаються до моря з гір заввишки 3000 – 4500м [2].

Земля Уїлкса, розташована між 150° і 90° сх.д., займає приблизно $1/5$ всієї площі Антарктиди. Тут вивідні і шельфові льодовики ускладнюють пересування дослідницьких загонів. В морі недалеко від берега напроти Землі Уїлкса знаходиться Південний магнітний полюс. Його координати 65° пд. ш. і 140° з.д. Квадрант між 0° і 90° з.д. включає Землю Королеви Мод, Землю Ендербі, Беріг Мак-Робертсона і Американську піднесеність.

Антарктичні моря Роса, Ведела, Беллінсгаузена і Амундсена мають зручні добре укрите підходи до материка.

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

Тільки 2% території Антарктиди вільні від льоду – головним чином в західній частині материка і Трансантарктичних горах. Це або ділянки 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 тане 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 Сентінеел 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 $-50 - -60^{\circ}\text{C}$ (середня температура найхолоднішого місяця $-70 - -72^{\circ}\text{C}$, а найтеплішого $-30 - -32^{\circ}$). 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. Кількість опадів в цій зоні складає 40–50 мм, а за даними останніх експедицій досягає 80 мм

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 $-20 - -25^{\circ}\text{C}$. 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.

Найсुворішими 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 2,0-3,0°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 антициклональний 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].

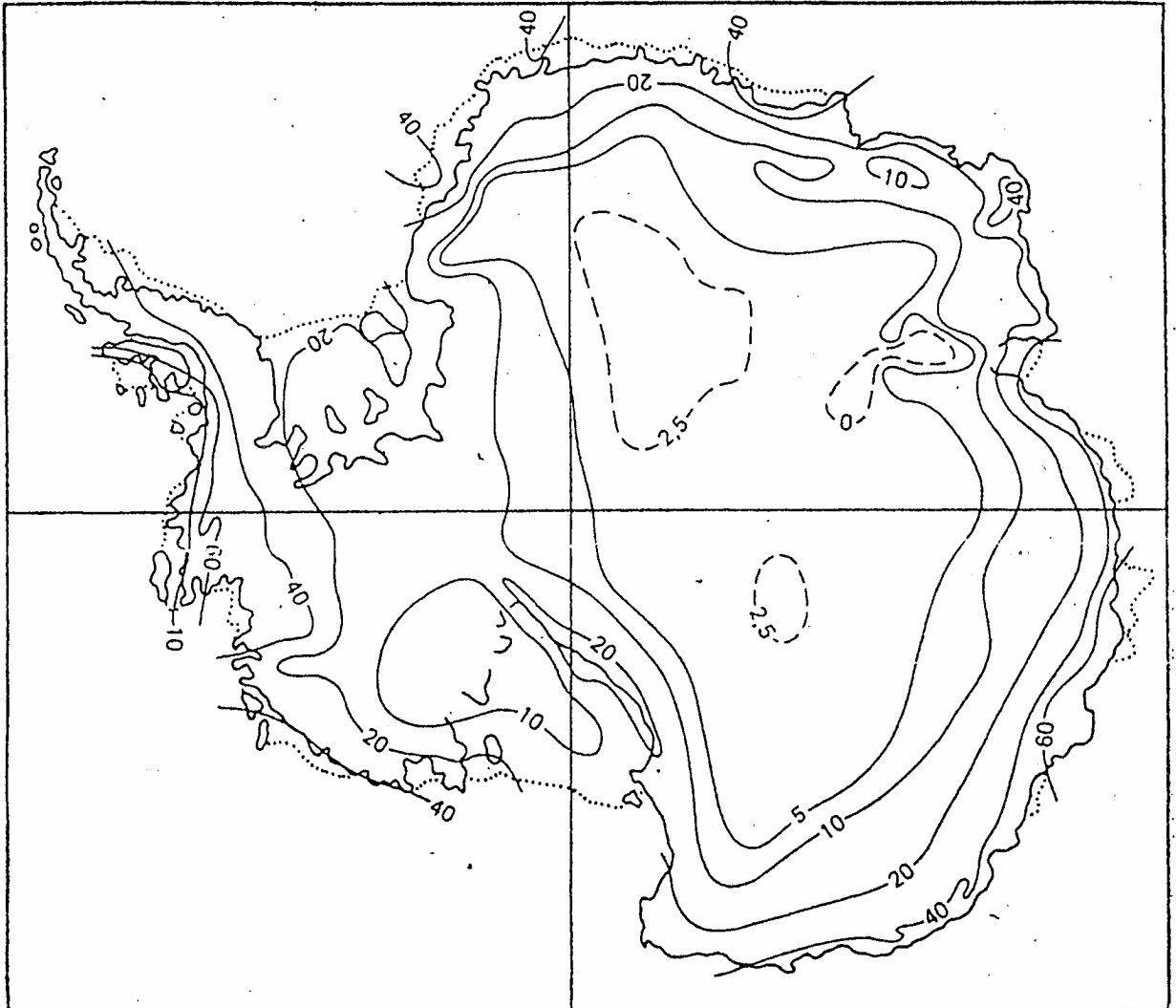


Рис. 1.2 – Швидкість акумуляції снігу, г/см^2 за рік [11].

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).

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.

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.

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].

1.3 Річний хід величин тиску над Антарктидою

Дані систематичних експедиційних спостережень дозволили метеорологам не тільки встановити наявність пояса низького тиску навкруги Антарктиди, але й намітити всередині цього поясу ряд баричних областей високого і низького тиску (кліматичних циклонів і гребенів високого тиску), які чергуються між собою.

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

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

Таким чином, пояс низького тиску навкруги Антарктиди виявляється єдиною зоною, де середні значення атмосферного тиску на рівні моря є найнижчими на земній кулі. Всі інші зони зниженого тиску на землі (екваторіальна зона і області низького тиску на південь від Ісландії та Аляски) мають більш високий тиск, ніж Субантарктична зона. В середньому за рік атмосферний тиск біля узбережжя Антарктиди складає 980–990 гПа, тоді як в екваторіальній зоні він складає близько 1010 гПа, а в центрі Ісландського мінімуму – близько 1000 гПа [3].

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

Тиск біля узбережжя Антарктиди на всіх станціях має яскраво виражений річний хід з двома максимумами (взимку і влітку) і двома мінімумами (в перехідні місяці), які пов'язані з характером загальної циркуляції над Антарктидою, оскільки саме в перехідні сезони на широтах 55-70° спостерігається найбільша повторюваність циклонічної діяльності (рис. 1.5) [3].

Однією з характерних особливостей атмосферного тиску в прибережній зоні є порівняно слабкий його зв'язок з іншими елементами погоди. Майже всіма експедиціями, які зимували на узбережжі Антарктиди, відмічалось, що, у той час коли всі ознаки погоди свідчать про наближення циклону, тиск повітря на станції при цьому не тільки не падає, а часом навіть підвищується.

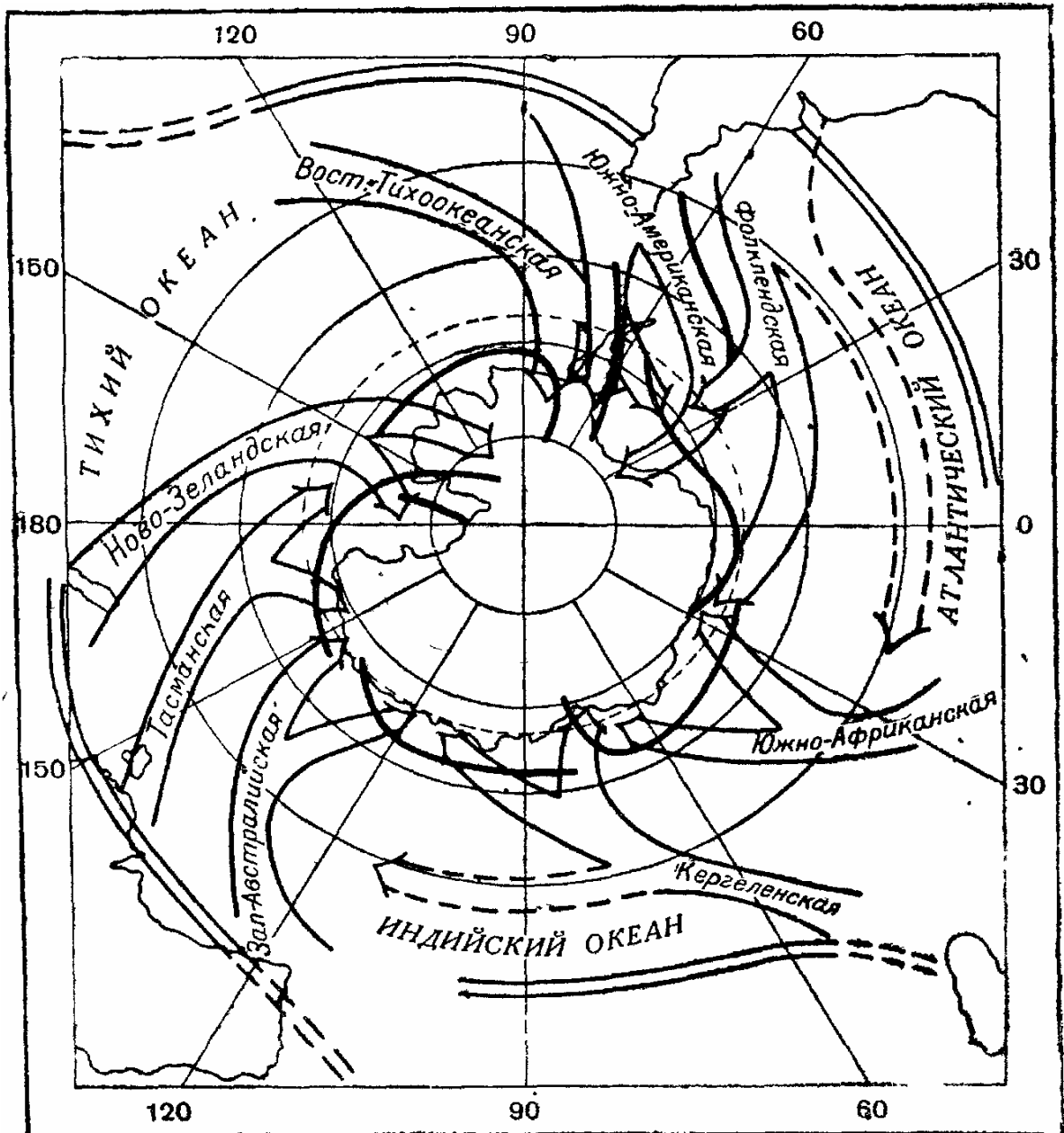


Рис. 1.3 – Шляхи переміщення циклонів (зимовий період) в Антарктиці
(за П.Д. Астапенком)

Середній тиск біля поверхні землі в Східній Антарктиді менше 700 гПа, а над самими піднесеними частинами центрального плато навіть менше 600 гПаб. Тому першим стандартним рівнем тиску, який може представляти вільну атмосферу всього материка, є рівень 500 гПа (рис. 1.6). Точніше кажучи, саме в Західній Антарктиді часто зустрічаються адвекція теплого

повітря та додатні вертикальні рухи, про що свідчить аналіз вертикального градієнта температури. В Східній Антарктиді – переважають протилежні умови.

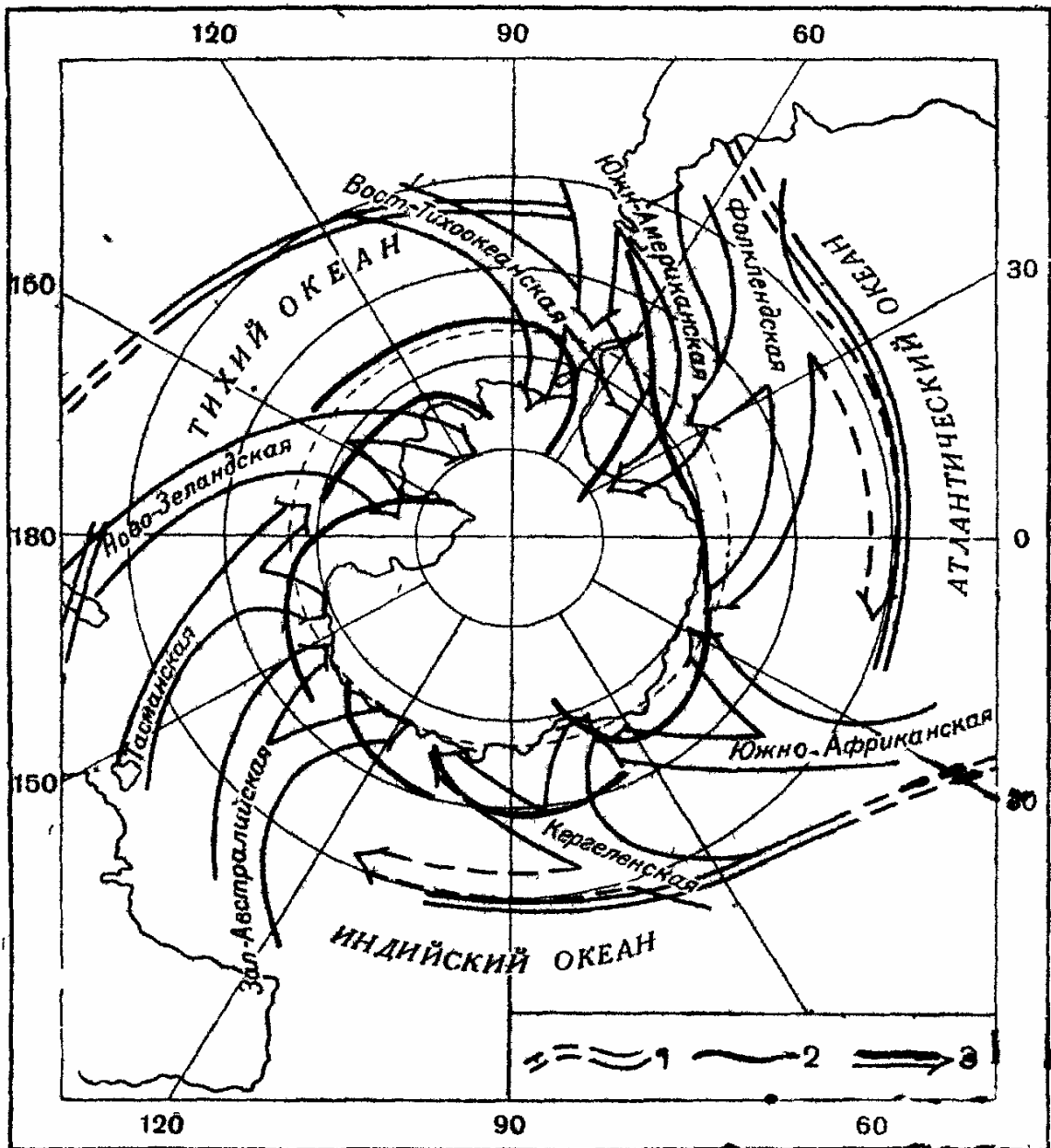


Рис. 1.4 – Шляхи переміщення циклонів (літній період) в Антарктиці (по П.Д. Астапенко):

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

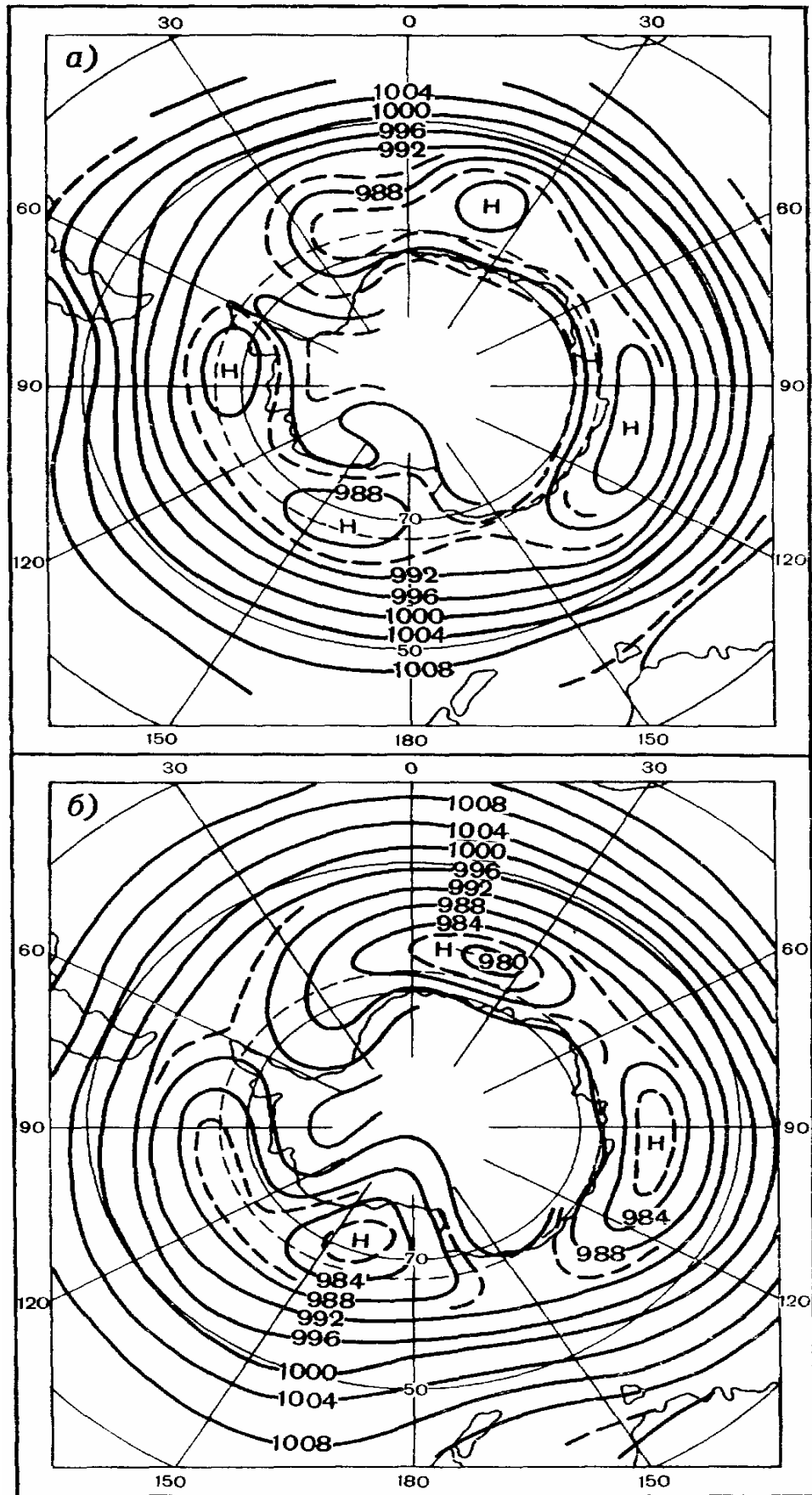


Рис. 1.5 – Середній тиск на рівні моря в січні (а) і липні (б)

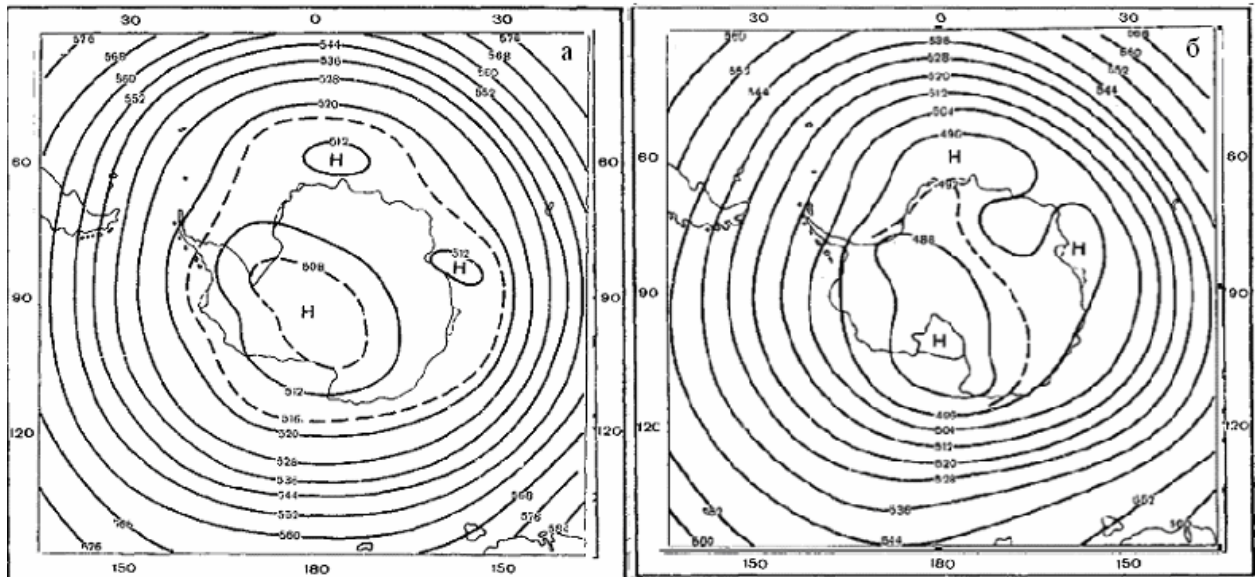


Рис. 1.6 – Середня висота поверхні 500 мб в січні (а) і липні (б)

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

У всіх шарах певні сезонні коливання відображаються на основному полі вихору, яке в тропосфері і нижній стратосфері завжди є циклонним, а вище 20 км переходить в теплий антициклонний вихор в літні місяці. Річна крива середнього тиску між 40 і 50° пд.ш. має два максимуми протягом місяців рівнодення, тоді як в полярних районах коло 70° пд.ш. максимуми фіксуються під час сонцестояння [3]. Це приводить до помітного піврічного коливання меридіонального градієнта тиску.

2 ВИХІДНА ІНФОРМАЦІЯ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Характеристика вихідної інформації

В якості матеріалу дослідження використовувались середньомісячні значення атмосферного тиску на станціях Антарктичного півострову, приведені до рівні моря. Оскільки метою роботи є дослідження та аналіз багаторічної мінливості баричного режиму Антарктичного півострова, то для дослідження були використані всі доступні дані по всіх існуючих або коли-небудь існувалих станціях, які проводили на Антарктичному півострові кліматичний моніторинг атмосфери.

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

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_Pratt	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

У таблиці 2.1 представлені всі станції, які були використані, 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 Marambio (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.

2.2 Методи дослідження

2.2.1 Методи розрахунку основних статистичних параметрів атмосферного тиску

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:

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

або

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

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 ($\hat{\nu}_1$) 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 [6].

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

Крім асиметрії, крива розподілу, порівняно з кривою нормального розподілу, може бути *втягнутою* або *сплюснутою*. 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 .

2.2.2 Методи розрахунку аномалій атмосферного тиску

Для встановлення характерних особливостей зміни атмосферного тиску на рівні моря за тридцятирічний період було прийняте рішення розрахувати та проаналізувати аномалії атмосферного тиску за десятирічні періоди з 1986 по 2015рр.

Для розрахунків аномалій атмосферного тиску використовувалась формула 2.16:

$$Pa_i = \bar{P}_i - \bar{P}_{30} \quad (2.16)$$

де, \bar{P}_i – середнє значення атмосферного тиску на рівні моря за кожне десятиріччя;

\bar{P}_{30} – середнє значення атмосферного тиску на рівні моря за тридцятирічний період (1986-2015pp.);

Pa_i – аномалія атмосферного тиску.

Розрахунки аномалій проведені для усіх місяців року та всіх досліджуваних стацій Антарктичного півострова.

3 СУЧАСНІ ЗМІНИ БАРИЧНОГО РЕЖИМУ АНТАРКТИЧНОГО ПІВОСТРОВА

3.1 Особливості багаторічних змін атмосферного тиску

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 баричного режиму є одним з найважливіших питань кліматичних змін, які відбуваються в Південній півкулі. Проаналізуємо середньомісячні значення атмосферного тиску на рівні моря за даними 12 станцій Антарктичного півострова. Систематизація, розрахунки та аналіз атмосферного тиску були проведені для всіх місяців року за період з 1960 по 2015рр. На окремих станціях період дослідження зменшено через відсутність даних.

С першу були виявлені періоди стійкого підвищення або зменшення атмосферного тиску, були визначені якісні та кількісні характеристики трендових складових атмосферного тиску на рівні моря, які є фоновими для досліджуваного району. Для характеристики фонового режиму атмосферного тиску на рівні моря побудовані графіки міжрічної мінливості середньорічних значень атмосферного тиску (рис. 3.1). Для Антарктичного півострову можна виділити періоди стійкого підвищення та зменшення атмосферного тиску:

– період стрімко підвищення атмосферного тиску – 1960-1986рр. (0,9 гПа);

– період слабкого підвищення атмосферного тиску – 1986-2001рр.
(0,4 гПа);

– період стрімко зниження атмосферного тиску – 2001-2015рр.
(1,6 гПа).

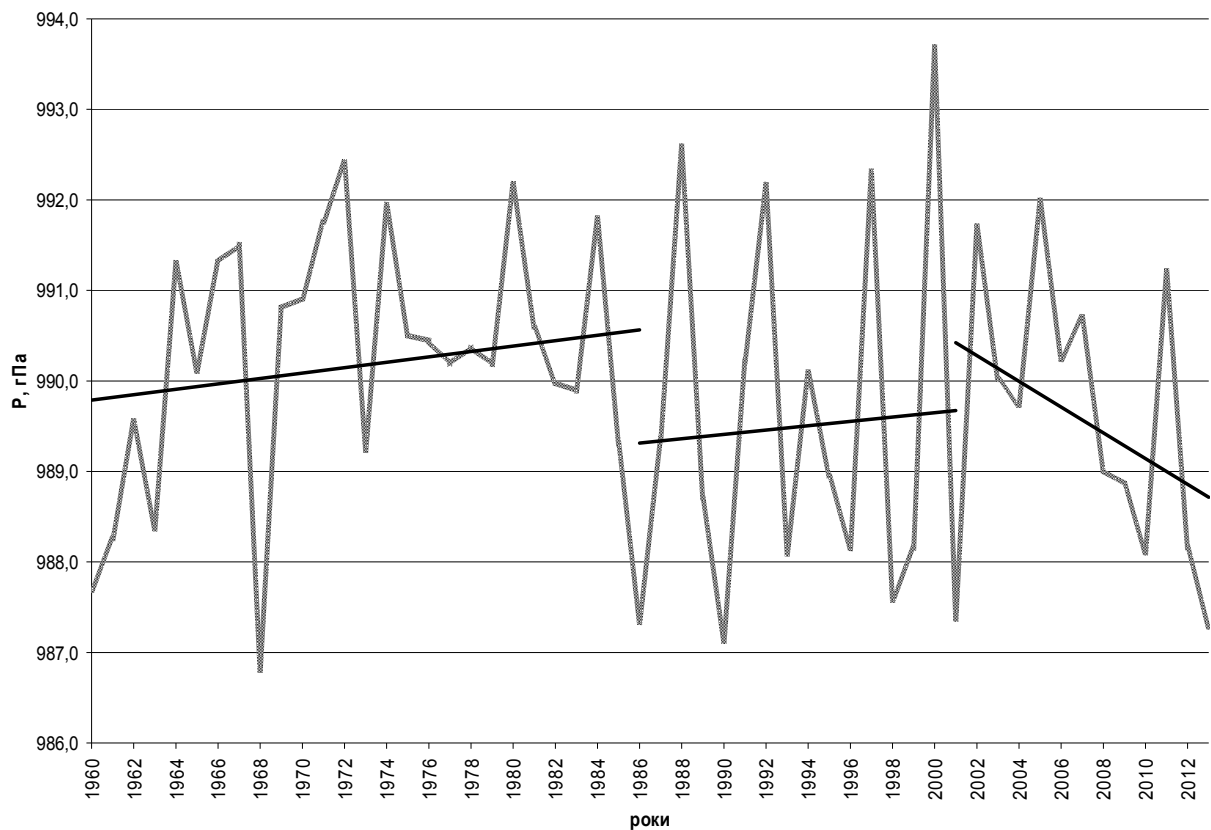


Рис. 3.1 – Міжрічна мінливість атмосферного тиску на рівні моря, за даними 12 станцій Антарктичного півострова

Як бачимо, в останні роки фіксується значне зменшення атмосферного тиску на усіх станціях Антарктичного півострова.

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.

3.2 Статистичні характеристики атмосферного тиску

Полярні райони є основним індикатором кліматичних змін, проведемо оцінку коливань атмосферного тиску станцій Антарктичного півострова, для чого розрахуємо основні статистичні характеристики середньорічних значень атмосферного тиску на рівні моря [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 атмосферного тиску станцій Антарктичного півострову помітне переважання сильної ($|A_s| \geq 0,5$) асиметрії. Це означає суттєву відмінність процесу змін клімату в південних полярних широтах від нормального та його нестационарність.

Для більшості станцій характерна правостороння асиметрія, що може вказувати на тенденцію до зменшення атмосферного тиску на рівні моря за досліджуваний період.

Звертаючись до аналізу коефіцієнтів ексцесу в табл. 3.1, треба відмітити, переважання плосковершинного ($E < 0$) розподілу над витягнутим ($E > 0$), тобто атмосферний тиск на рівні моря абсолютно на усіх станціях Антарктичного півострову змінюється у широкому діапазоні. Максимальними значеннями дисперсії характеризуються ст. San_Martin, O_Higgins, Esperanza. Враховуючи це, можна зробити висновок, що в досліджуваному районі спостерігаються різкі коливання атмосферного тиску, які характеризуються великими значеннями амплітуди та зменшенням періоду коливань.

Якщо аналізувати середні значення атмосферного тиску, слід зазначити, що максимальні середньорічні значення атмосферного тиску фіксуються на станції Jubany (991,3 гПа).

Таблиця 3.1

Статистичні характеристики атмосферного тиску на рівні моря

№ з/п	Назва станції	Широта	Довгота	$X_{\text{сеп.}}$	X_{min}	X_{max}	Sx^2	Sx	As	E
1	Jubany	62,2S	58,6 W	991,3	988,8	995,0	3,23	1,80	3,12	-1,06
2	King_Sejong	62,2S	58,7 W	989,2	986,7	992,8	3,08	1,75	2,10	-1,16
3	Bellingshausen	62,2S	58,9 W	991,1	988,1	994,2	2,53	1,59	-0,26	-1,05
4	Marsh	62,2S	58,9 W	991,1	988,0	995,0	3,06	1,75	0,08	-0,98
5	Great_Wall	62,2S	59,0 W	990,9	988,5	995,4	2,98	1,73	2,48	-0,79
6	Arturo_Pratt	62,5S	59,7 W	990,9	986,9	994,3	3,31	1,82	-0,68	-0,96
7	O_Higgins	63,3S	57,9 W	990,1	987,1	993,9	3,43	1,85	1,80	-1,15
8	Esperanza	63,4S	57,0 W	990,1	985,1	993,9	3,69	1,92	-0,44	-0,77
9	Marambio	64,2S	56,7 W	989,9	987,1	993,4	2,78	1,67	1,38	-1,16
10	Faraday\Vernadsky	65,4S	64,4 W	989,3	986,1	993,0	2,72	1,65	-0,51	-0,82
11	Rothera	67,5S	68,1 W	987,3	983,9	991,7	4,35	2,09	0,15	-1,19
12	San_Martin	68,1S	67,1 W	987,4	984,1	992,0	4,26	2,06	0,43	-1,06

Це пояснюється розташуванням станції в районі, що знаходиться зовні впливу Південно-Американської гілки переміщення циклонів. Саме цим також можна пояснити той факт, що на станції Jubany фіксується найвище серед мінімальних середньорічне значення атмосферного тиску.

3.3 Багаторічна мінливість атмосферного тиску Антарктичного півострова

Проаналізуємо середні багаторічні значення атмосферного тиску на рівні моря на досліджених станціях Антарктичного півострову за дванадцять місяців та за рік. Аналіз рисунку 3.2 та таблиці 3.2 дозволяє стверджувати, що мінімальні значення атмосферного тиску спостерігаються в період антарктичної весни (листопад), максимальні – на початку зими (травень). Також максимальними значеннями атмосферного тиску характеризуються станції, що знаходяться на максимальному віддаленні від Антарктичного материка – Bellingshausen, Marsh та Great_Wall вони в таблиці позначені жирним шрифтом.

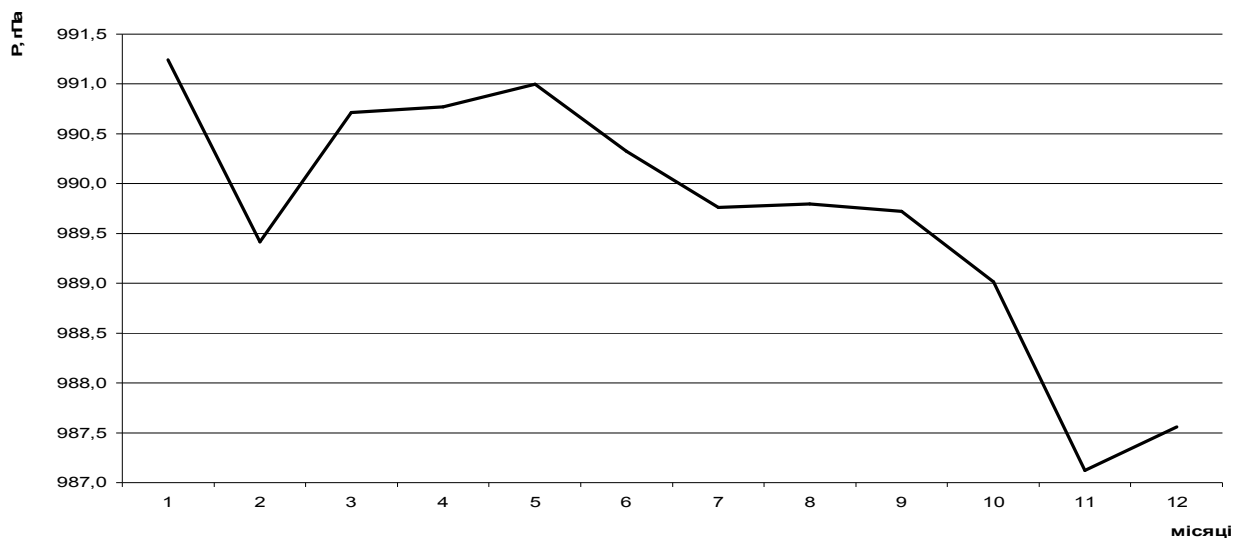


Рис. 3.2 – Річний хід осереднених по території середньомісячних значень атмосферного тиску на рівні моря

Найменші значення атмосферного тиску протягом року спостерігаються на станції Rothera та San_Martin, це пов'язане з розташуванням станції: вони знаходяться південніше усіх інших, тобто в безпосередній близькості від материкової частини Антарктиди.

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. На станціях Bellingshausen, Marsh, Esperanza, Faraday\ Vernadsky спостерігаються також чотирьох – семирічні періодичності. За даними значень атмосферного тиску на рівні моря були побудовані графіки. Результати аналізу прихованих періодичностей використовувались при згладжуванні осереднених рядів атмосферного тиску.

В таблиці 3.4 представлені характеристики трендової складової, 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 зменшення атмосферного тиску на рівні моря за досліджуваний період протягом більшості місяців року (рис. 3.3). Максимальне зменшення зафіксовано на станціях Great_Wall та Arturo_Pratt (–10,5 та –7,0 гПа відповідно). Найбільші від'ємні значення тренду для усіх станцій спостерігаються в літній період (грудень).

Зростання атмосферного тиску для усіх досліджуваних станцій зафіксовано, переважно, наприкінці зими (серпень-вересень). Найбільшим ростом в ці місяці характеризуються станції San_Martin (7,1 гПа), King_Sejong (6,9 гПа) та Marambio (6,6 гПа).

Таблиця 3.2

Середні багаторічні значення атмосферного тиску на рівні моря (гПа)

Станції	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Jubany	989,2	990,6	991,5	991,2	994,1	993,6	993,5	992,8	994,1	987,7	987,9	988,8	991,2
King_Sejong	987,5	988,9	990,0	989,3	992,1	991,5	991,3	991,0	992,3	985,8	986,2	987,1	989,4
Bellingshausen	989,5	990,2	990,6	990,6	994,0	992,9	992,9	991,8	992,7	987,8	986,8	988,9	990,7
Marsh	989,8	990,5	990,5	990,8	994,1	993,0	992,7	991,5	992,8	987,8	986,9	989,0	990,8
Great_Wall	989,1	990,5	991,1	990,8	993,9	993,1	992,8	992,7	994,1	987,6	987,7	988,6	991,0
Arturo Prat	989,4	989,7	990,3	990,5	994,5	994,0	992,0	989,9	991,4	987,7	985,8	988,8	990,3
O_Higgins	989,0	989,4	990,1	989,9	993,2	992,3	991,7	990,3	991,4	986,2	985,7	987,9	989,8
Esperanza	989,2	988,8	989,4	990,5	993,5	992,9	992,2	991,1	990,7	986,4	985,2	987,9	989,8
Marambio	988,8	988,6	989,8	990,8	994,1	993,6	992,5	990,3	990,2	985,9	984,6	987,5	989,7
Faraday\Vernadsky	988,4	988,6	988,6	988,7	992,3	991,7	991,3	989,8	990,5	985,7	984,9	987,6	989,0
Rothera	987,2	986,9	986,7	986,7	990,2	990,8	989,7	987,4	987,6	983,0	982,9	986,3	987,1
San_Martin	987,6	987,3	987,1	987,1	990,8	991,3	989,9	987,9	988,2	983,5	983,4	986,8	987,6

Таблиця 3.3

Значущі періоди коливань (рік) атмосферного тиску на рівні моря для станцій Антарктичного півострова

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

Таблиця 3.4

Значення трендової складової атмосферного тиску на рівні моря (гПа)

Станція	значення тренду												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Jubany	-2,6	-2,5	2,4	-2,2	-5,8	-3,9	1,2	4,3	6,3	-4,6	3,0	-2,1	-0,8
King_Sejong	-0,1	-1,1	3,2	-2,0	-3,6	-4,1	-0,2	7,0	6,9	0,9	3,6	-2,6	1,1
Bellingshausen	-6,8	0,9	-0,5	0,1	-2,5	-5,6	-3,3	2,1	4,8	-5,2	-2,4	-6,2	-2,2
Marsh	-5,5	1,0	-0,8	-2,5	-2,5	-6,5	-3,2	1,3	4,7	-5,3	-2,8	-6,9	-2,1
Great_Wall	0,8	-2,8	-0,2	-2,2	-5,6	-10,5	1,4	8,1	4,8	-4,4	-0,6	-1,2	-1,0
Arturo_Pratt	-6,0	-1,9	-0,6	0,1	0,3	-1,4	-7,1	-5,9	2,0	-5,2	-2,1	-7,0	-1,9
O_Higgins	-5,0	-0,2	-1,9	-1,1	-7,0	-3,6	-3,2	3,8	3,2	-4,9	-0,1	-5,7	-2,5
Esperanza	-2,0	-1,9	1,7	0,4	2,1	-1,5	-1,2	0,2	4,9	-0,1	0,1	-5,1	0,0
Marambio	-6,3	-0,3	1,3	1,1	-1,3	-4,0	1,5	4,1	6,6	-0,8	-1,0	-6,0	-0,3
Faraday\ Vernadsky	-3,8	-0,4	2,1	-0,1	1,8	-1,0	-3,2	-2,1	4,7	-0,9	0,0	-5,8	-0,6
Rothera	-3,9	0,3	-1,5	-1,2	-8,2	-3,1	-1,4	-3,8	3,5	-5,0	0,1	-4,9	-1,7
San_Martin	0,7	3,0	2,5	-1,7	-5,2	-3,0	0,5	5,7	7,1	-2,5	4,5	-0,8	1,1

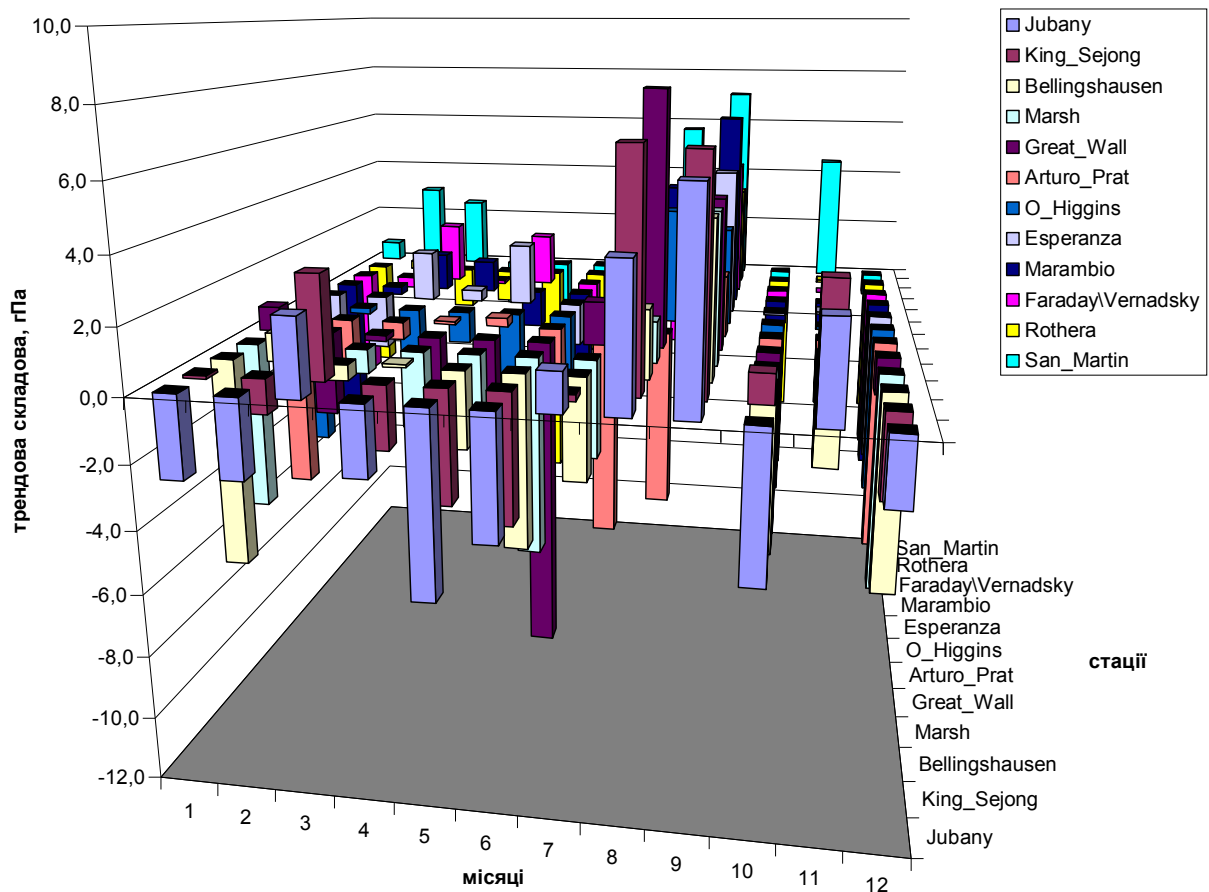


Рис. 3.3 – Гістограма трендової складової атмосферного тиску на рівні моря для усіх місяців року по станціям

Проведемо картування отриманих результатів просторового розподілу багаторічних змін приземного атмосферного тиску (додаток А). Аналіз отриманих результатів показав плямистість в просторовому розподілі значень атмосферного тиску.

На рисунку 3.4 представлені картосхеми трендової складової атмосферного тиску для центральних місяців сезонів.

Як бачимо, в літній період (грудень-січень) для всієї досліджуваної території характерні від'ємні значення тренду. Така тенденція зберігається до початку зими. Найбільші додатні значення тренду фіксуються в серпні-вересні і охоплюють майже всю територію Антарктичного півострова. Восени – картина змінюється на протилежну: над усією територією спостерігаються від'ємні значення тренду.

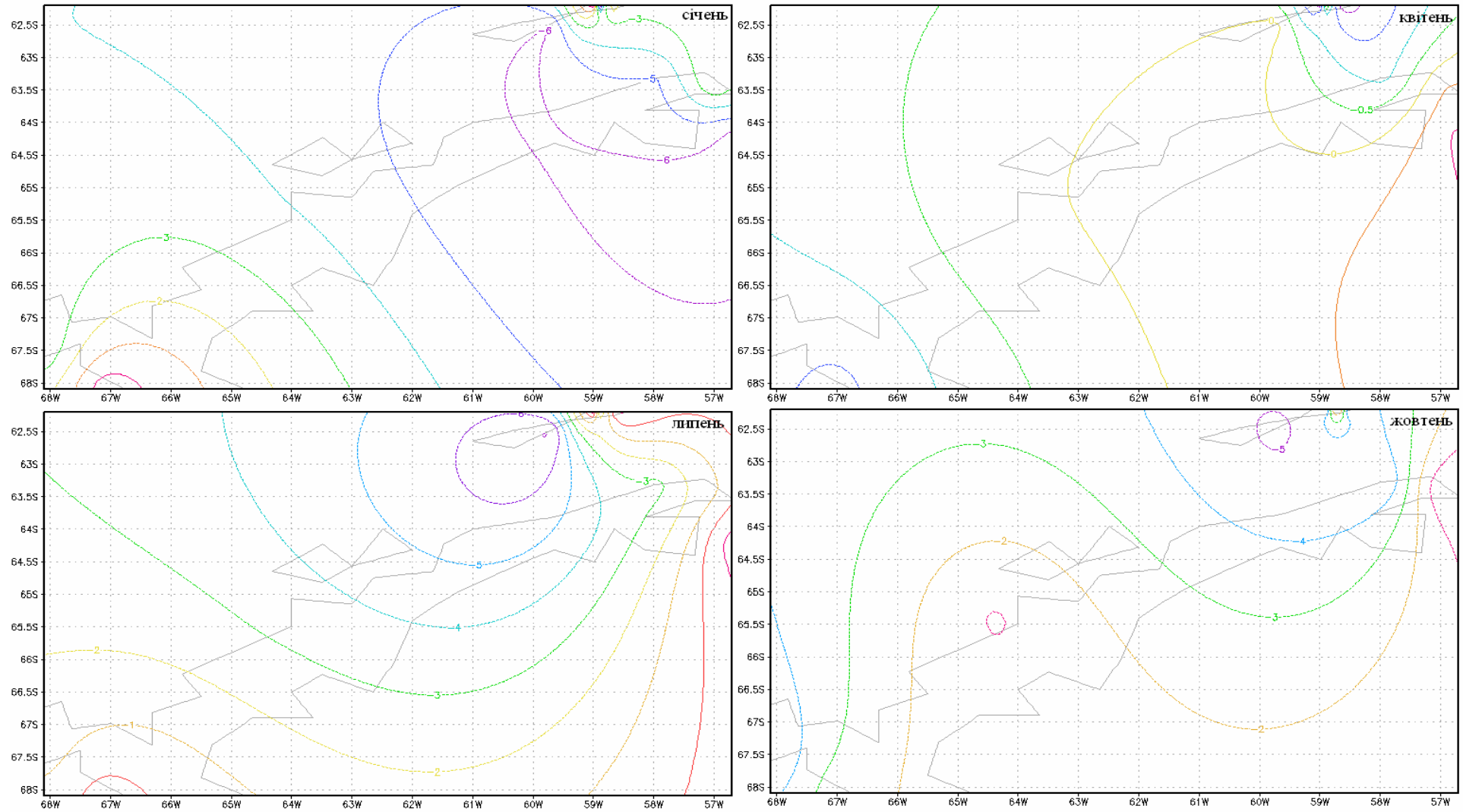


Рис. 3.4 – Картосхеми трендової складової приземного атмосферного тиску для центральних місяців сезонів

4 МІНЛИВІСТЬ АНОМАЛІЙ АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ НА РІВНІ МОРЯ

4.1 Динаміка аномалій атмосферного тиску

Для встановлення характерних особливостей зміни атмосферного тиску на рівні моря за останні 30 років було прийняте рішення розрахувати та проаналізувати аномалії атмосферного тиску 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 атмосферного тиску на рівні моря за тридцятирічний період \bar{P}_{30} – з 1986 по 2015рр.,
- середнє значення атмосферного тиску на рівні моря за кожне десятиріччя \bar{P}_{10} ;
- аномалія атмосферного тиску, розрахована як різниця між $\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$ для кожної станції.

Методика розрахунку аномалій атмосферного тиску викладена в розділі 2.

В даному випадку ми використовували відхилення середнього значення атмосферного тиску на рівні моря для даної станції за кожне десятиріччя від багаторічного середнього значення атмосферного тиску.

Проведемо дослідження просторово-часових змін аномалій атмосферного тиску Антарктичного півострову за три десятиріччя. Результати розрахунків аномалій атмосферного тиску для всіх місяців року представлені в додатку Б. В таблицях 4.1-4.4 представлені зміни аномалій

середньомісячних значень атмосферного тиску на рівні моря 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 атмосферного тиску на рівні моря за даними станцій Антарктичного півострова (січень)

Станції	\bar{P}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{P}_{10}	Pa_i	\bar{P}_{10}	Pa_i	\bar{P}_{10}	Pa_i
Jubany	989,2			988,8	0,4	989,5	<u>-0,3</u>
King_Sejong	987,5			986,6	0,8	988,3	<u>-0,8</u>
Bellingshausen	989,5	991,4	<u>-1,9</u>	988,3	1,3	989,0	0,6
Marsh	989,8	991,4	<u>-1,6</u>	988,8	0,9	989,1	0,7
Great_Wall	989,1			989,0	0,1	989,2	<u>-0,1</u>
Arturo_Pratt	989,4	990,8	<u>-1,4</u>	988,0	1,4		
O_Higgins	989,0	991,1	<u>-2,1</u>	988,0	1,0	987,9	1,1
Esperanza	989,2	990,6	<u>-1,4</u>	987,8	1,3	989,1	0,1
Marambio	988,8	991,2	<u>-2,4</u>	987,5	1,3	987,8	1,1
Faraday\ Vernadsky	988,4	990,4	<u>-2,0</u>	986,8	1,6	988,1	0,4
Rothera	987,2	989,4	<u>-2,2</u>	985,3	2,0	987,0	0,2
San_Martin	987,6	988,7	<u>-1,1</u>	985,8	1,8	988,2	<u>-0,6</u>
Середнє значення	988,7	990,5	<u>-1,8</u>	987,6	1,2	988,5	0,2

Аналіз табличного матеріалу показав, що в перше десятиріччя 1986-1995рр. влітку (грудень-січень) на станціях Антарктичного півострова фіксуються від'ємні аномалії атмосферного тиску. В перехідні періоди (весна, осінь) спостерігаються переважно додатні аномалії. В зимовий період (квітень-вересень) переважають додатні аномалії атмосферного тиску.

Друге десятиріччя (1996-2005рр.) характеризується перебудовою баричного поля: в літні місяці спостерігаються додатні аномалії майже на усіх досліджуваних станціях. Максимальне зростання зафіксоване в січні місяці на станціях Rothera та San_Martin (2,0 та 1,8 гПа відповідно).

Таблиця 4.2

Зміна аномалій середньомісячних значень атмосферного тиску на рівні моря
за даними станцій Антарктичного півострова (квітень)

Станції	\bar{P}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{P}_{10}	Pa_i	\bar{P}_{10}	Pa_i	\bar{P}_{10}	Pa_i
Jubany	991,2			991,7	-0,6	990,6	0,6
King Sejong	989,3			989,7	-0,3	989,0	0,3
Bellingshausen	990,6	991,0	-0,4	991,0	-0,5	989,7	0,9
Marsh	990,8	991,0	-0,2	991,8	-0,9	989,7	1,1
Great Wall	990,8			991,7	-0,9	989,9	0,9
Arturo Prat	990,5	990,1	0,4	990,9	-0,4		
O Higgins	989,9	990,3	-0,4	990,5	-0,6	989,0	0,9
Esperanza	990,5	990,1	0,4	990,4	0,1	990,9	-0,4
Marambio	990,8	991,6	-0,8	990,6	0,3	990,3	0,5
Faraday\ Vernadsky	988,7	989,5	-0,8	988,9	-0,2	987,7	1,0
Rothera	986,7	987,9	-1,2	986,0	0,7	986,3	0,4
San Martin	987,1	987,7	-0,6	986,3	0,9	987,4	-0,3
Середнє значення	989,7	989,9	-0,4	989,9	-0,2	989,1	0,5

Таблиця 4.3

Зміна аномалій середньомісячних значень атмосферного тиску на рівні моря
за даними станцій Антарктичного півострова (липень)

Станції	\bar{P}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{P}_{10}	Pa_i	\bar{P}_{10}	Pa_i	\bar{P}_{10}	Pa_i
Jubany	993,5			992,4	1,1	994,5	-1,1
King Sejong	991,3			990,1	1,2	992,5	-1,2
Bellingshausen	992,9	993,7	-0,8	991,5	1,4	993,5	-0,6
Marsh	992,7	993,6	-0,8	992,0	0,7	992,6	0,1
Great Wall	992,8			992,1	0,7	993,5	-0,7
Arturo Prat	992,0	992,7	-0,7	991,3	0,7		
O Higgins	991,7	992,0	-0,3	991,2	0,5	991,8	-0,1
Esperanza	992,2	990,3	1,8	991,7	0,5	994,5	-2,4
Marambio	992,5	991,0	1,4	991,9	0,6	994,4	-2,0
Faraday\ Vernadsky	991,3	991,9	-0,6	990,0	1,3	992,0	-0,7
Rothera	989,7	989,3	0,4	988,9	0,8	990,9	-1,2
San Martin	989,9	988,4	1,5	989,2	0,7	992,1	-2,2
Середнє значення	991,9	991,4	0,2	991,0	0,8	992,9	-1,1

Таблиця 4.3

Зміна аномалій середньомісячних значень атмосферного тиску на рівні моря за даними станцій Антарктичного півострова (жовтень)

Станції	\bar{P}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{P}_{10}	Pa_i	\bar{P}_{10}	Pa_i	\bar{P}_{10}	Pa_i
Jubany	987,7			988,1	-0,3	987,4	0,3
King Sejong	985,8			986,0	-0,1	985,7	0,1
Bellingshausen	987,8	989,3	-1,5	987,4	0,4	986,7	1,1
Marsh	987,8	989,1	-1,4	988,1	-0,3	986,1	1,7
Great Wall	987,6			988,0	-0,5	987,1	0,5
Arturo Prat	987,7	988,2	-0,5	987,1	0,5		
O Higgins	986,2	987,5	-1,3	986,3	-0,1	984,8	1,4
Esperanza	986,4	986,3	0,1	986,2	0,1	986,6	-0,2
Marambio	985,9	986,8	-1,0	985,6	0,3	985,2	0,7
Faraday\ Vernadsky	985,7	987,7	-2,1	985,3	0,3	983,9	1,8
Rothera	983,0	985,2	-2,2	983,0	0,0	980,8	2,2
San Martin	983,5	984,7	-1,2	983,7	-0,2	982,0	1,5
Середнє значення	986,2	987,2	-1,2	986,2	0,0	985,1	1,0

Весною переважають від'ємні аномалії на більшості досліджуваних станцій. Такий розподіл аномалій атмосферного тиску зберігається до середини зими, починаючи з червня-липня відбувається перехід аномалій до додатних значень. Восени спостерігається плямистість у розподілі аномалій атмосферного тиску Антарктичного півострову.

Третє десятиріччя (2006-2015рр.) також характеризується перебудовою баричного поля: від'ємні аномалії атмосферного тиску на рівні моря фіксуються на більшості станцій з липня по листопад. Найнижчі значення спостерігаються в серпні на станціях Esperanza (-5,6 гПа), San Martin (-3,7 гПа) та Marambio (-3,6 гПа). Отримані результати добре узгоджуються з дослідженнями науковців, які стверджують, що над Антарктичним півостровом в ці роки спостерігалась область низького тиску, яка насувалася з заходу [28]. В інші місяці року переважають додатні аномалії з максимумом в червні на станціях Rothera, Faraday\ Vernadsky та Marsh (3,7, 3,4 та 3,3 гПа відповідно).

4.2 Просторовий розподіл аномалій атмосферного тиску

Проаналізуємо просторовий розподіл аномалій атмосферного тиску на рівні моря за десятиріччями для центральних місяців сезонів (рис. 4.1 – 4.12). Розглянемо просторовий розподіл аномалій атмосферного тиску для січня місяця, розрахованих для трьох десятиріч та представлених на рисунку 4.1-4.3. Для тридцяти років спостерігаються кардинальна перебудова полів аномалій атмосферного тиску.

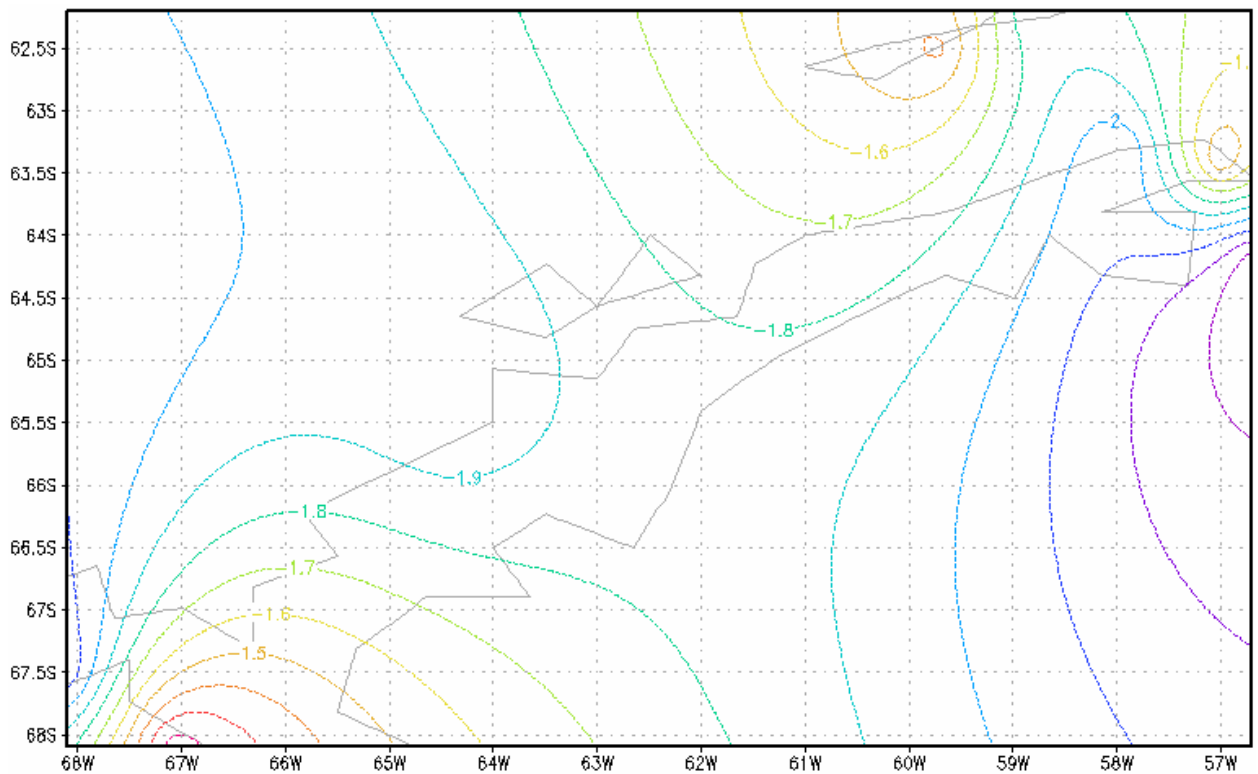


Рис. 4.1 – Просторово-часовий розподіл аномалій атмосферного тиску (січень, 1986-1995рр.)

Перше десятиріччя 1986-1995 рр. представлене виключно від’ємними аномаліями від -1,1 до -2,2 гПа (рис. 4.1). Зона мінімальних значень аномалій розташована на краю Антарктичного півострова – ст. Rothera.

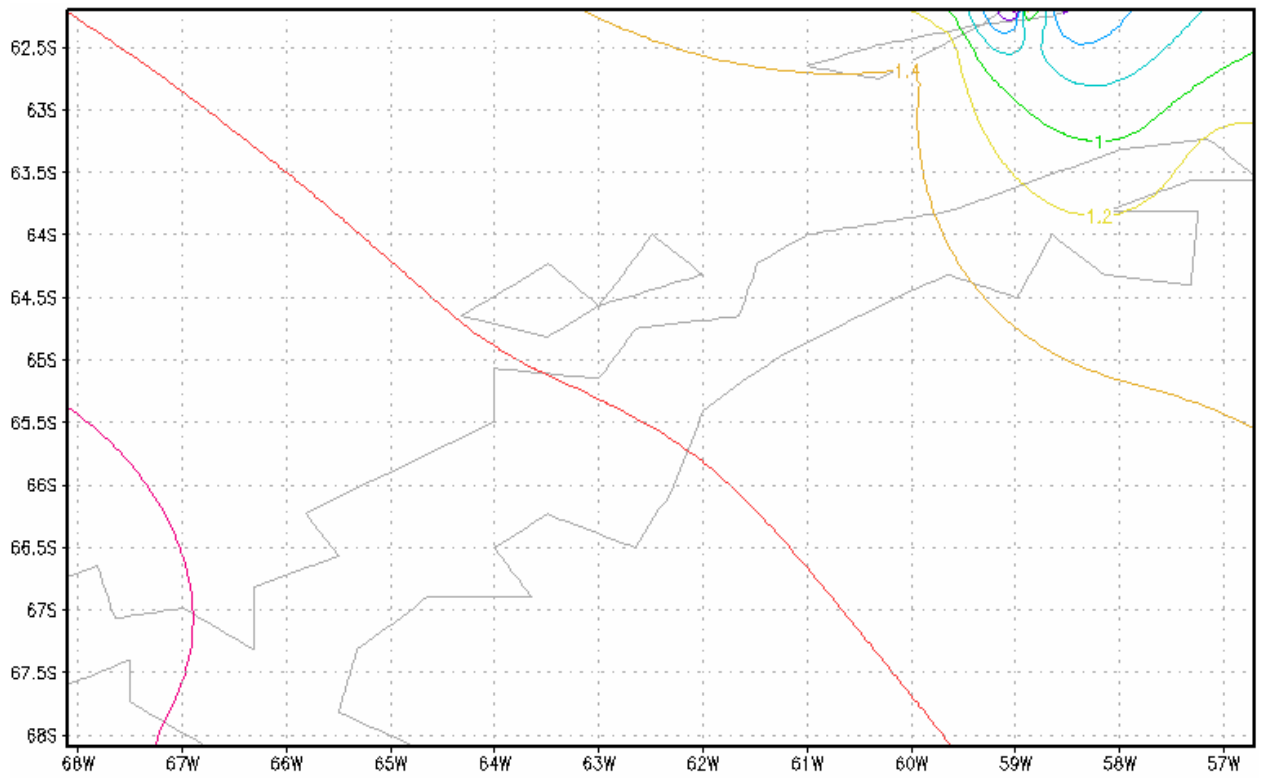


Рис. 4.2 – Просторово-часовий розподіл аномалій атмосферного тиску (січень, 1996-2005рр.)

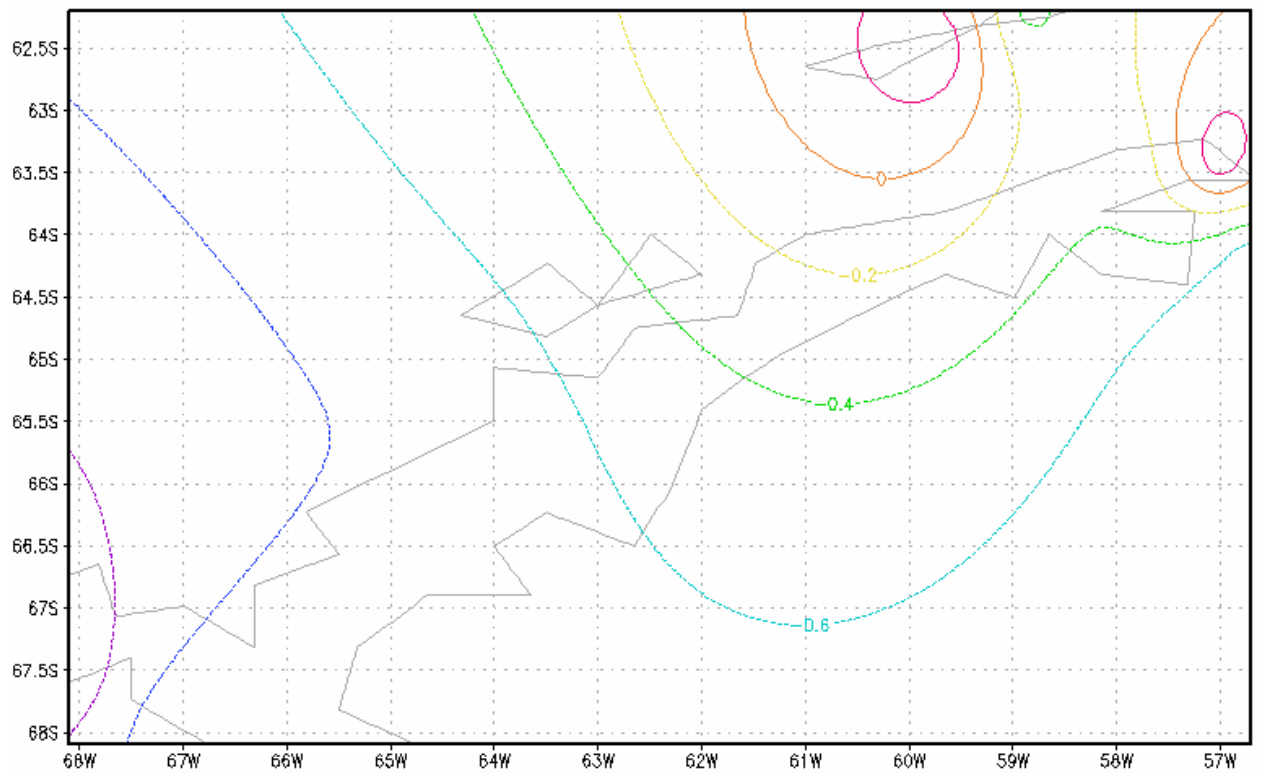


Рис. 4.3 – Просторово-часовий розподіл аномалій атмосферного тиску (січень, 2006-2015рр.)

Період 1996-2005 рр. характеризується наявністю виключно додатних аномалій, які характерні для всієї досліджуваної території. Максимум спостерігається в районі Південних Шетландських островів – найпівнічніша частина досліджуваного регіону (рис. 4.2).

В наступному десятиріччі 2004-2013 рр. в січні-місяці від'ємні аномалії спостерігаються над переважною частиною Антарктичного півострова, мінімум фіксується в південній його частині і складає $-0,8$ гПа (рис. 4.3). В районі Південних Шетландських островів спостерігається область додатних аномалій атмосферного тиску (ст. O_Higgins та Marambio). Таким чином, можна зробити висновок, що в останнє десятиріччя спостерігаються тенденції до зниження атмосферного тиску в січні-місяці.

Динаміка змін просторового розподілу атмосферного тиску в квітні має іншу картину (рис. 4.4-4.6). В перше десятиріччя фіксується зменшення атмосферного тиску над усією досліджуваною областю. Тільки в районі Південних Шетландських островів є область додатних аномалій (рис. 4.4).

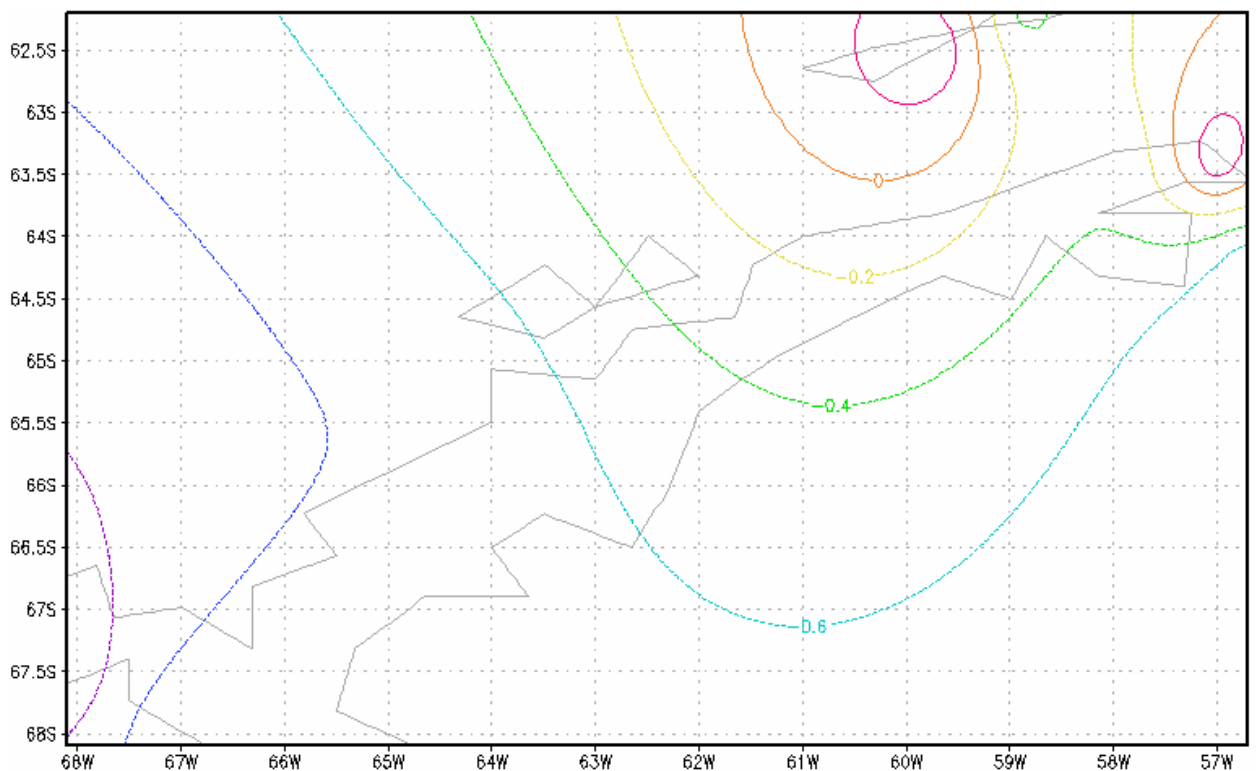


Рис. 4.4 – Просторово-часовий розподіл аномалій атмосферного тиску (квітень, 1986-1995рр.)

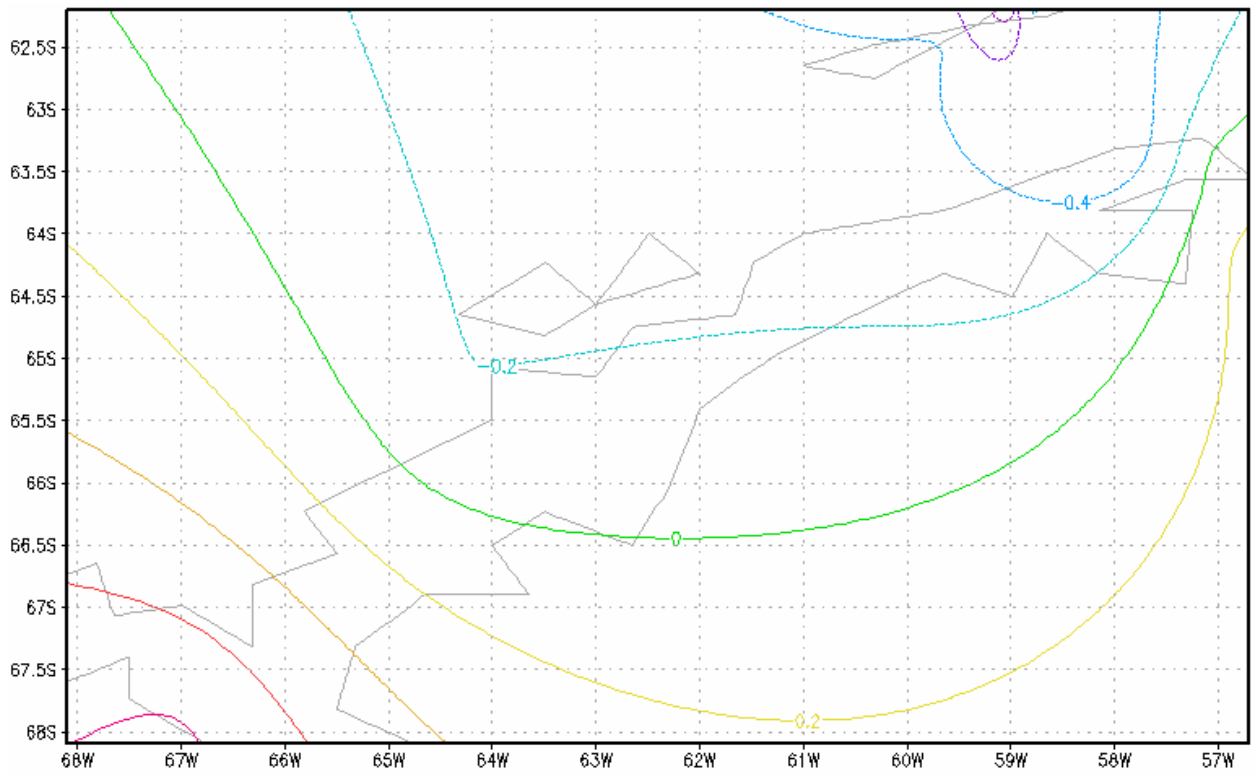


Рис. 4.5 – Просторово-часовий розподіл аномалій атмосферного тиску
(квітень, 1996-2005рр.)

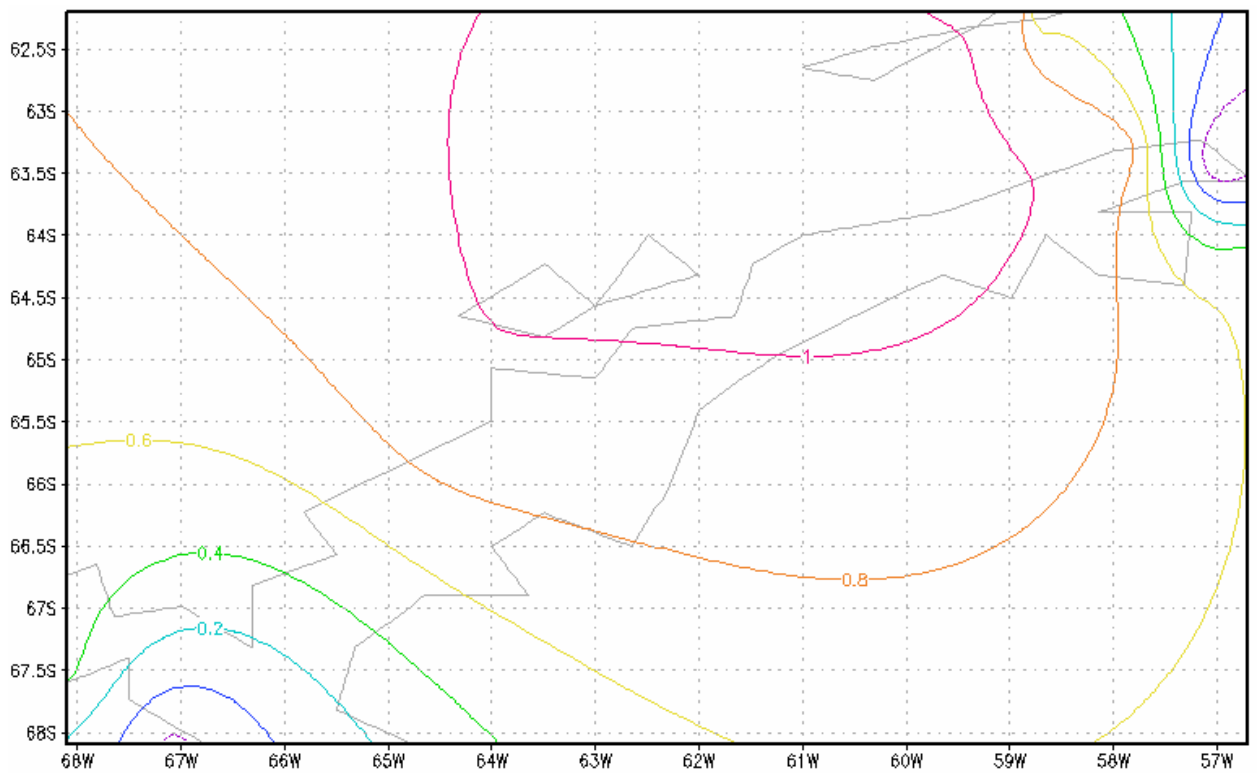


Рис. 4.6 – Просторово-часовий розподіл аномалій атмосферного тиску
(квітень, 2006-2015рр.)

Друге десятиріччя (1996-2005pp.) характеризується наявністю як додатних, так і від'ємних аномалій атмосферного тиску. Межа поділу проходить в районі станції San_Martin. На південь від неї розташовується зона додатних значень атмосферного тиску, на північ – від'ємних (рис. 4.5).

Останнє десятиріччя (2006-2015pp.) представлене виключно додатними аномаліями з максимумом в районі станції Marsh та Faraday\ Vernadsky (1,1 та 1,0 гПа відповідно), що дає змогу стверджувати про підвищення атмосферного тиску в осінній період останнього десятиріччя (рис. 4.6).

Аналізуючи динаміку змін просторового розподілу атмосферного тиску за досліджуваний період для липня-місяця (рис. 4.7 – 4.9) треба відмітити, що в перше десятиріччя (1986-1995pp.) Антарктичний півострів розділений на дві частини з протилежними тенденціями змін атмосферного тиску: в районі моря Беллінсгаузена (східна частина Антарктичного півострова) фіксуються від'ємні значення атмосферного тиску, в районі моря Веддела (західна) – додатні.

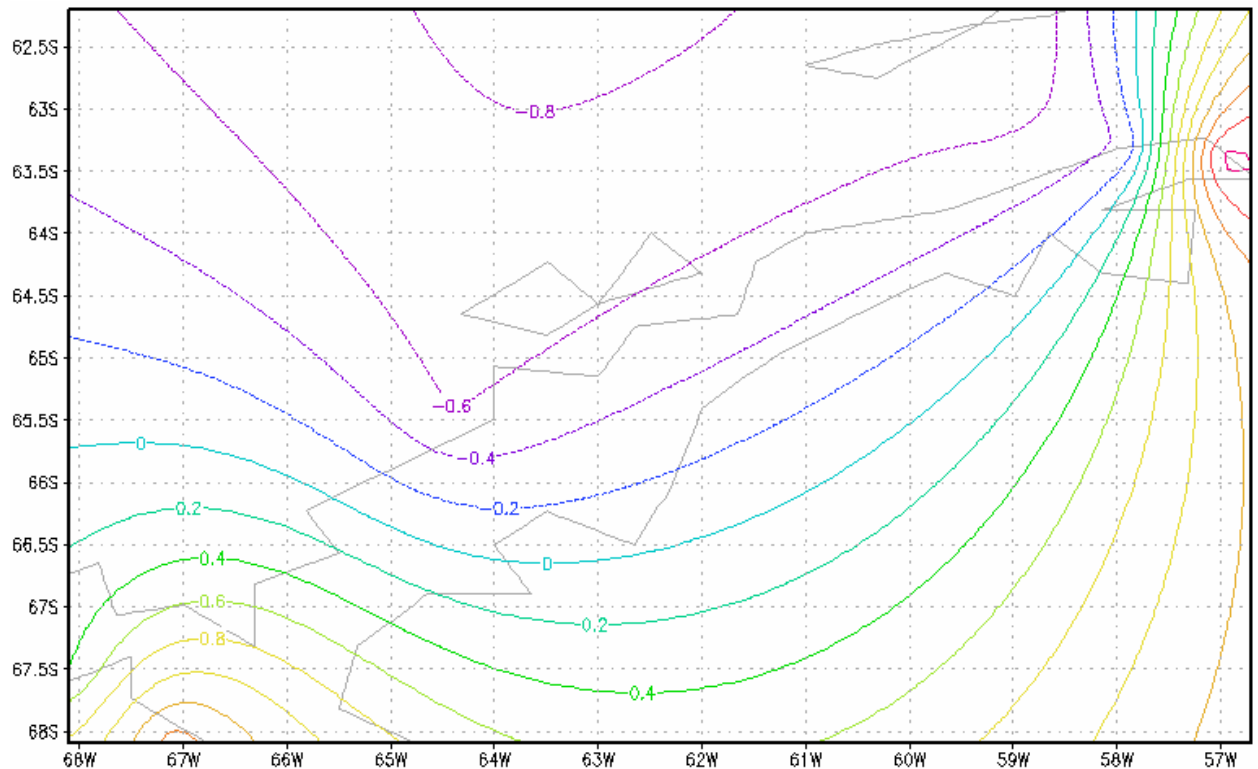


Рис. 4.7 – Просторово-часовий розподіл аномалій атмосферного тиску (липень, 1986-1995pp.)

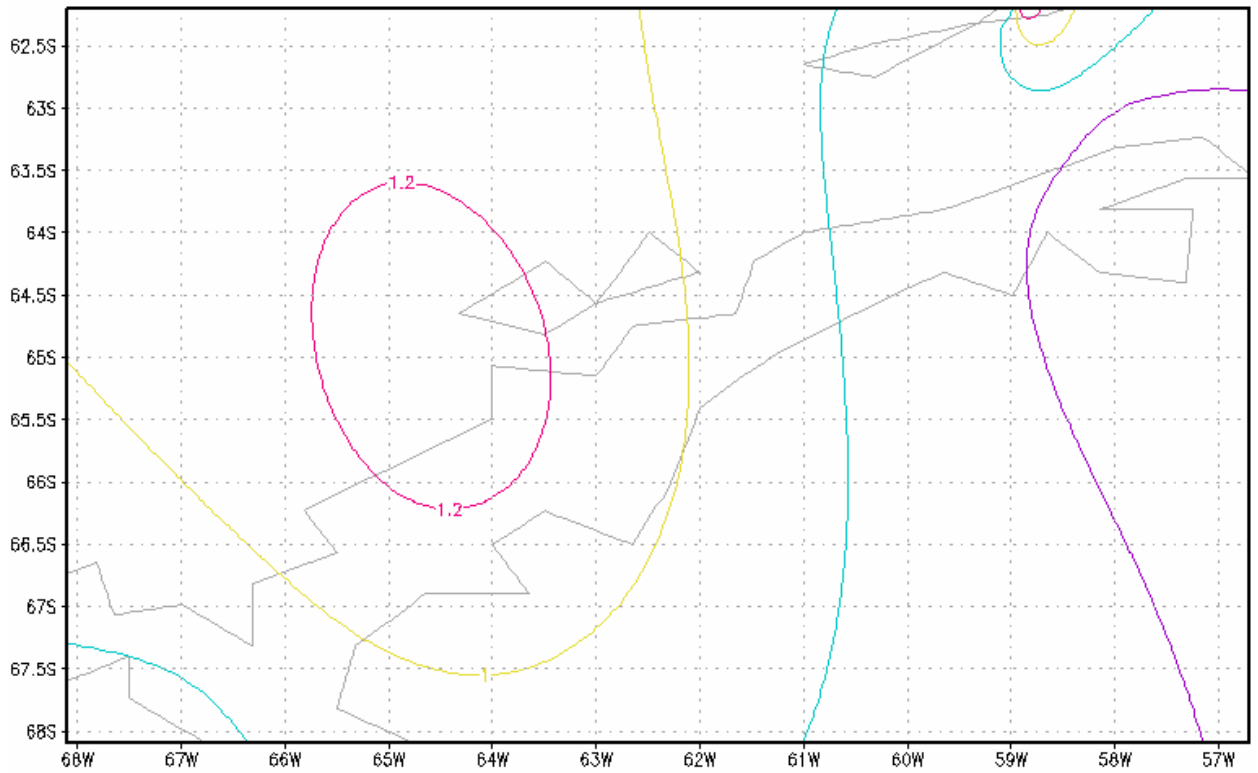


Рис. 4.8 – Просторово-часовий розподіл аномалій атмосферного тиску
(липень, 1996-2005рр.)

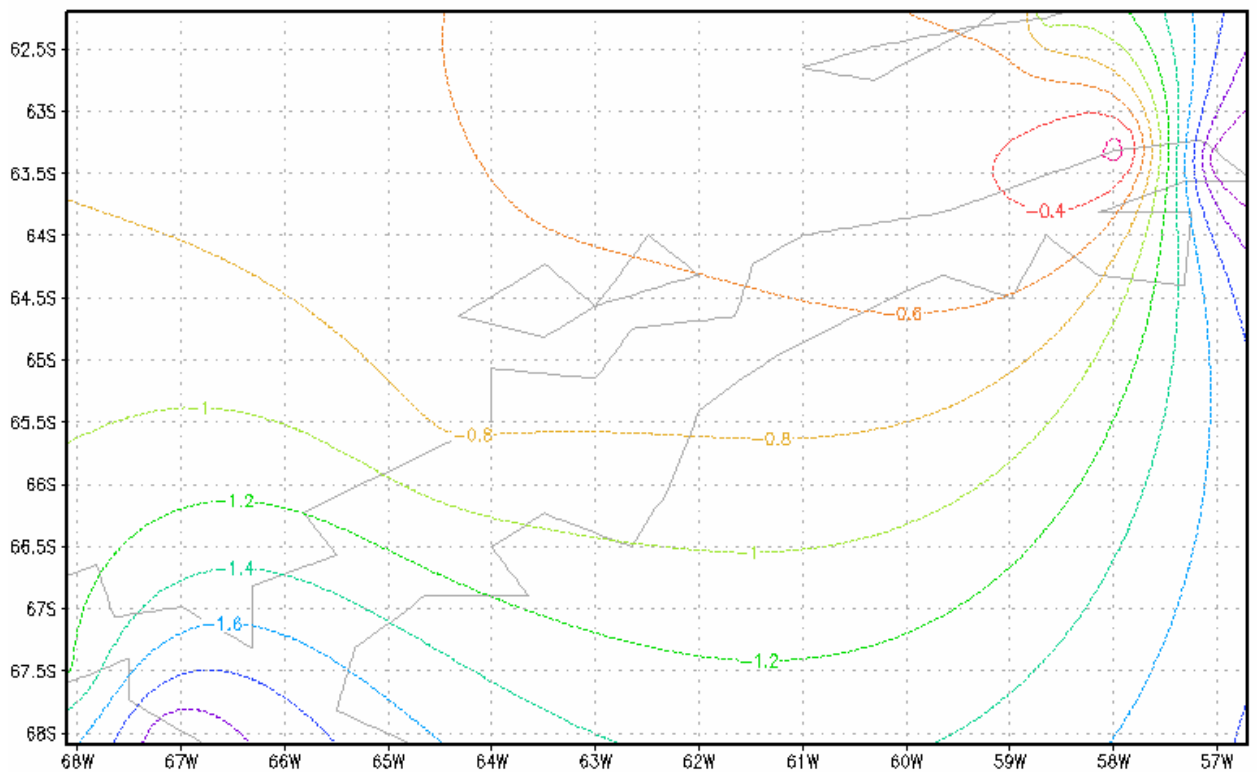


Рис. 4.9 – Просторово-часовий розподіл аномалій атмосферного тиску
(липень, 2006-2015рр.)

В друге десятиріччя картина кардинально змінюється: на всьому Антарктичному півострові спостерігалось підвищення атмосферного тиску, про що свідчать розраховані аномалії (рис. 4.8). Максимальне зростання фіксується в районі станцій Marambio (1,4 гПа) та San_Martin (1,5 гПа).

Третє десятиріччя (2006-2015pp.) представлено виключно від'ємними аномаліями зі збільшенням їх значень в напрямку материку (рис. 4.9). Таким чином, можна стверджувати, що в останній час спостерігається зменшення атмосферного тиску в літні місяці над досліджуваною територією.

Аналіз просторово-часового розподілу аномалій атмосферного тиску на рівні моря в весняний період представлена на рис. 4.10 – 4.12. Як видно з рис. 4.10, в перше десятиріччя вся територія Антарктичного півострова характеризується зменшенням атмосферного тиску – від'ємні аномалії коливаються в межах в -0,5 до -2,2 гПа і зменшуються в напрямку моря Беллінсгаузена (рис. 4.10).

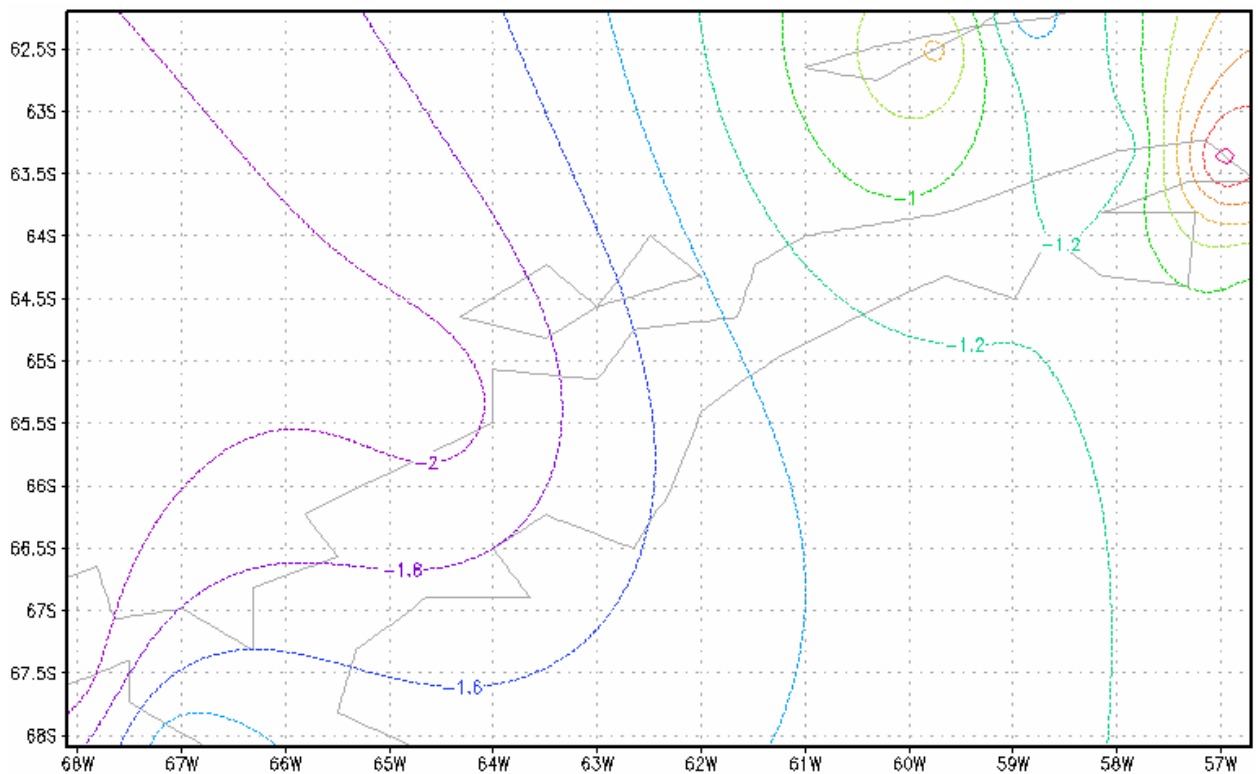


Рис. 4.10 – Просторово-часовий розподіл аномалій атмосферного тиску (жовтень, 1986-1995pp.)

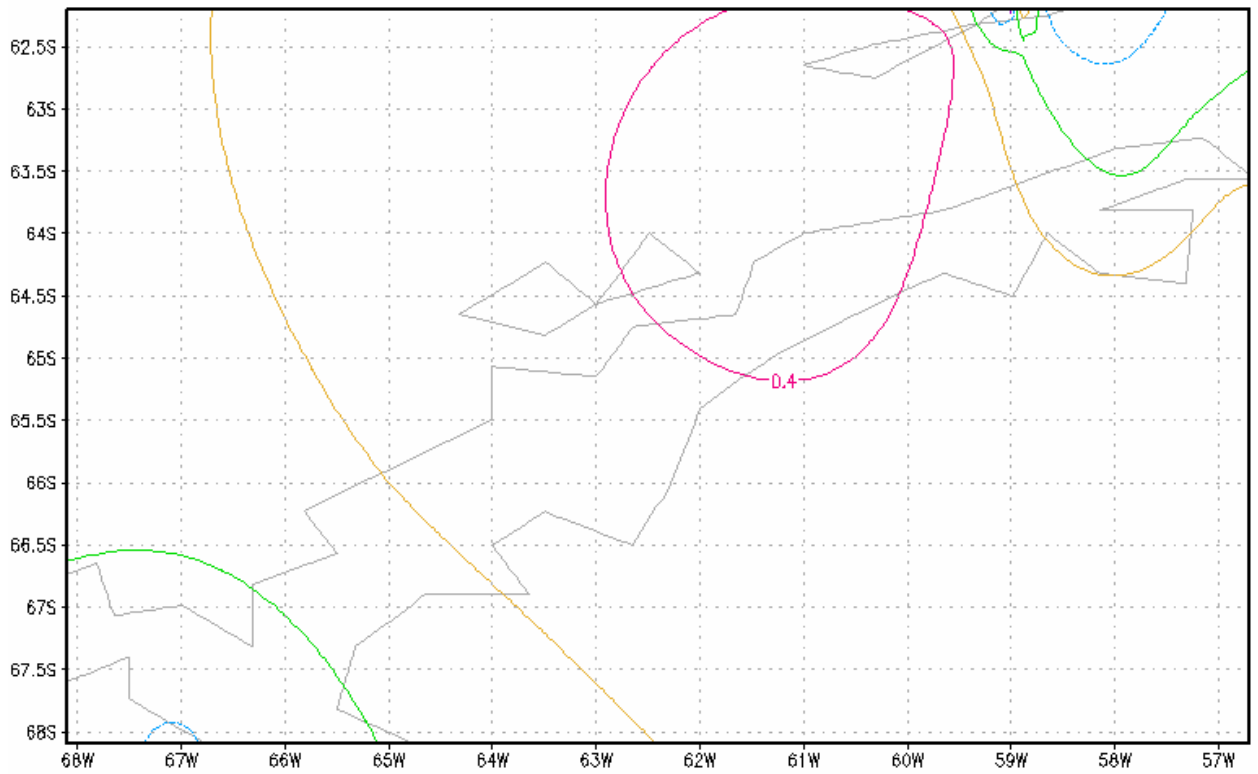


Рис. 4.11 – Просторово-часовий розподіл аномалій атмосферного тиску
(жовтень, 1996-2005рр.)

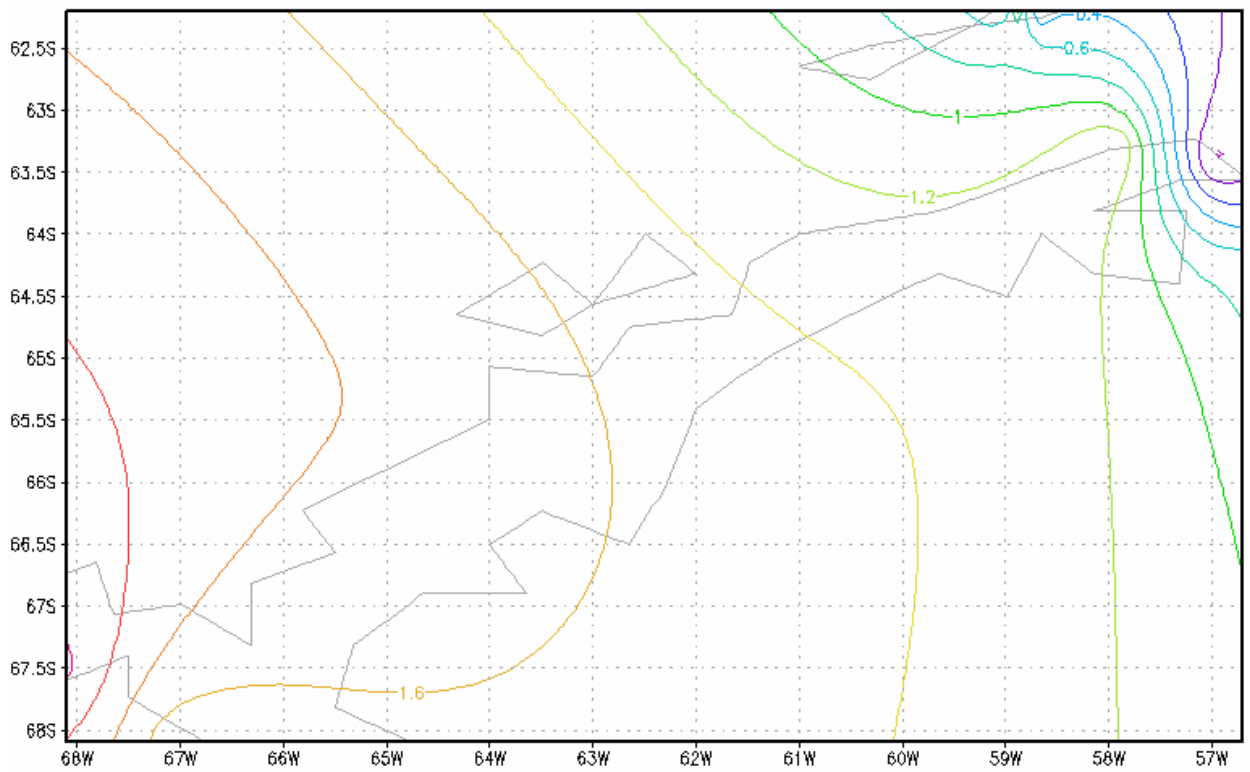


Рис. 4.12 – Просторово-часовий розподіл аномалій атмосферного тиску
(жовтень, 2006-2015рр.)

Наступне десятиріччя (1996-2005pp.) характеризується перебудовою поля аномалій атмосферного тиску. Додатні аномалії спостерігаються в районі архіпелагу Палмера та зменшуються як в північному, так і в південному напрямках. Третє десятиріччя (2006-2015pp.) представлене виключно додатними аномаліями, які збільшуються в напрямку материка.

Таким чином, аналіз просторово-часового розподілу аномалій атмосферного тиску на території Антарктичного півострову дозволяє стверджувати, що зменшення тиску на рівні моря в останні роки відбувається переважно в літні місяці року, у всі інші сезони атмосферний тиск в досліджуваному регіоні збільшується.

4.3 Аналіз сум аномалій атмосферного тиску по регіону

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

Як бачимо, за тридцятирічний період 1986-2015 pp. спостерігається стійка тенденція до зростання атмосферного тиску в регіоні. Хоча треба відмітити, що зростання середньорічних значень тиску на рівні моря досить незначне: сума аномалій коливається в межах $\pm 0,1$ гПа.

Для з'ясування динаміки змін атмосферного тиску протягом року побудуємо діаграму аномалій для усіх місяців за три десятиріччя (рис. 4.14). Аналіз побудованої діаграми показав, що зменшення атмосферного тиску фіксується переважно в літні місяці для усіх трьох десятиріч. Зростання атмосферного тиску має місце переважно в літні місяці та перехідні сезони.

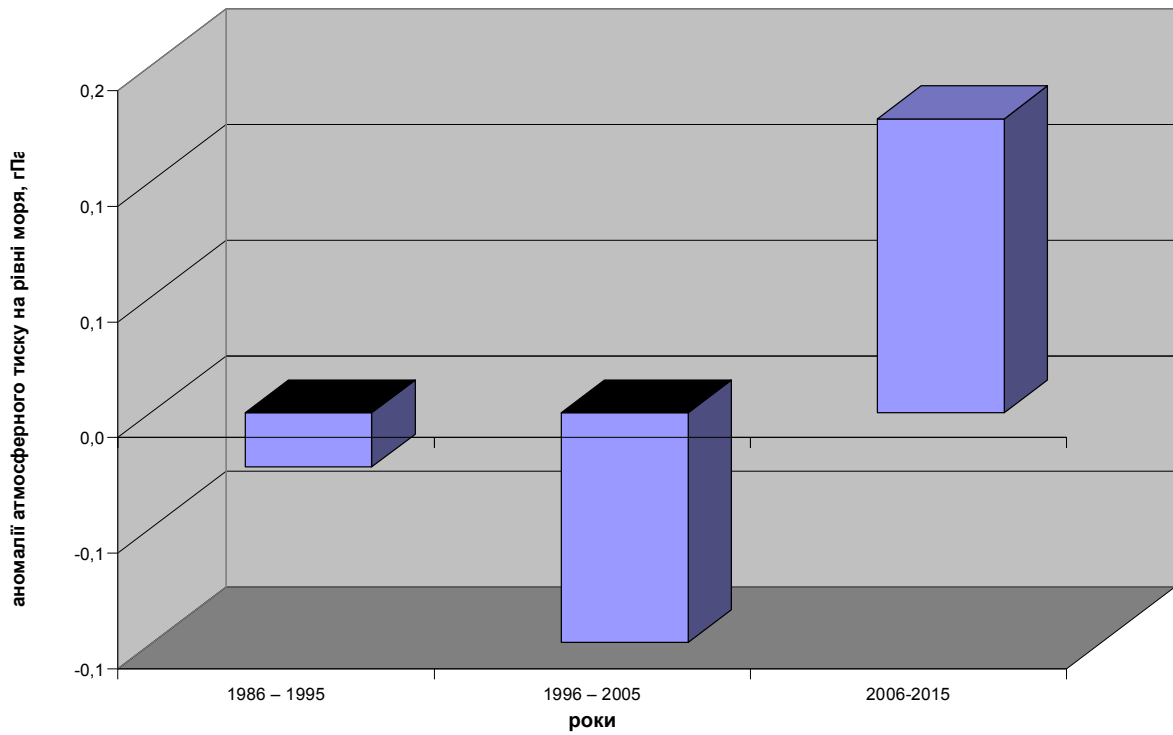


Рис. 4.13 – Суми аномалій атмосферного тиску за десятиріччя по регіону

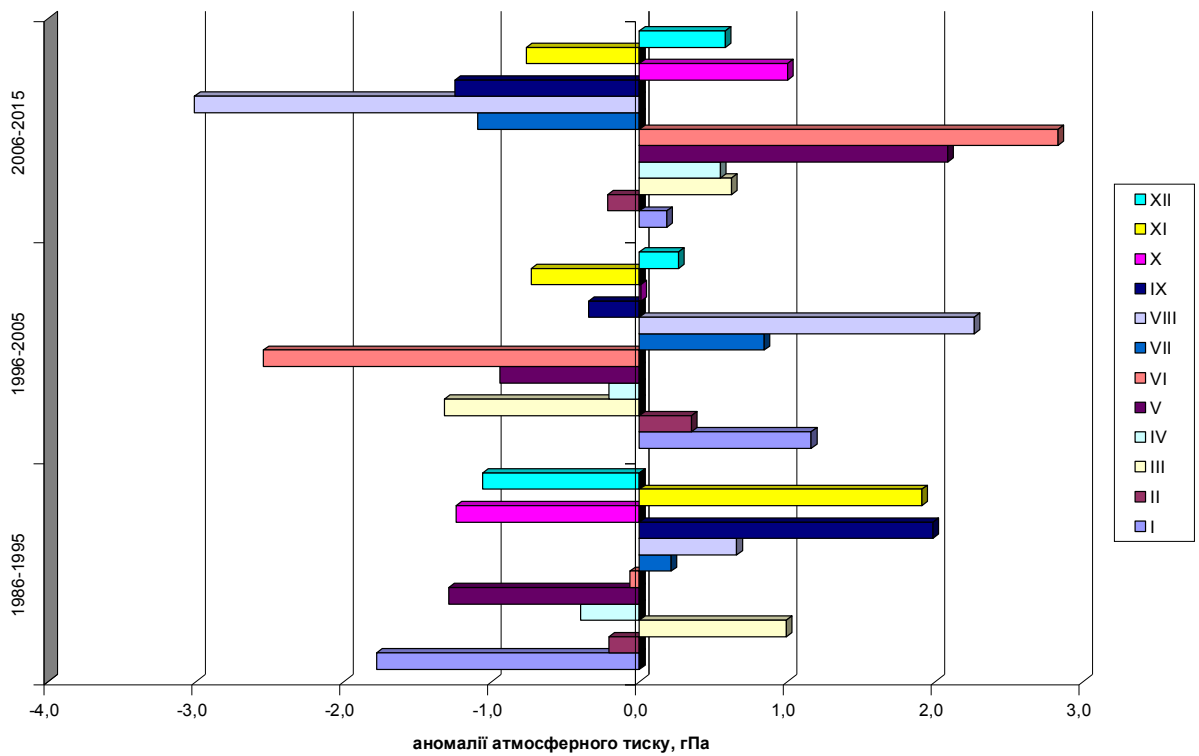


Рис. 4.14 – Суми аномалій атмосферного тиску за десятиріччя по місяцях

Особливий інтерес викликає останнє десятиріччя, оскільки саме в період 2006-2015рр. зафіксовані найекстремальніші значеннями аномалій атмосферного тиску. Зростання атмосферного тиску спостерігається з січня по червень (максимум 2,8 гПа, червень), а зменшення – з липня по листопад (мінімум -3,0 гПа, липень).

Аналіз динаміки атмосферного тиску на рівні моря в районі Антарктичного півострову свідчить про наявність певних змін, які відбуваються в баричному режимі регіону, 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 майже в два рази зросли екстремальні значення аномалій атмосферного тиску, що може свідчити про порушення стабільності баричного режиму Антарктичного півострова.

5 ЗВ'ЯЗОК БАРИЧНОГО РЕЖИМУ АНТАРКТИЧНОГО ПІВОСТРОВА З ГЕОМАГНІТНОЮ АКТИВНІСТЮ

5.1 Кореляційний аналіз атмосферного тиску та індексу геомагнітної активності

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

- атмосферний тиск на рівні моря;
- індекс геомагнітної активності A_p .

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

В роботі використовуються середньомісячні значення атмосферного тиску на рівні моря та середньомісячні значення індексу геомагнітної активності (індексу A_p). На їх основі розраховані коефіцієнти кореляції. 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 (жовтим кольором виділені додатні значення коефіцієнта кореляції, блакитним – від'ємні). Як бачимо, протягом року на всіх досліджуваних станціях спостерігаються як від'ємні, так і додатні значення коефіцієнту кореляції. Від'ємні значення на більшості станціях спостерігаються у лютому, серпні та вересні. Коефіцієнти кореляції за модулем невеликі та не перевищують 0,33. Виняток становить ст. Arturo_Pratt, для якої коефіцієнт кореляції в січні становить 0,43.

Проведено перевірку гіпотези про статистичну значущість оцінки отриманих коефіцієнтів кореляції. Результати перевірки представлені в таблиці 5.2 (кольором виділені ті значення критерію Стьюдента, які більші за критичне значення, тобто випадки, коли коефіцієнт кореляції є значимим).

Як бачимо, для абсолютної більшості випадків розрахований критерій Стьюдента менший за критичний, що дозволяє зробити висновок про статистичну незначущість розрахованих коефіцієнтів кореляції між атмосферним тиском та індексом геомагнітної активності.

Таблиця 5.1

Коефіцієнти кореляції між середньомісячними значеннями атмосферного тиску на рівні моря та індексом Ap

Станція	Jubany	King_Sejong	Bellingshausen	Marsh	Great_Wall	Arturo_Pratt	O_Higgins	Esperanza	Marambio	Faraday\ Vernadsky	Rothera	San_Martin
I	0,06	0,04	0,15	0,16	-0,26	0,43	0,08	0,07	0,22	0,12	0,12	0,03
II	-0,09	-0,15	-0,17	-0,17	-0,09	-0,26	-0,17	-0,14	-0,15	-0,11	-0,15	-0,26
III	0,06	-0,05	0,08	0,06	0,26	-0,08	0,04	-0,06	-0,08	0,00	0,07	0,04
IV	0,14	0,09	0,01	0,03	0,19	-0,03	0,00	-0,15	-0,11	-0,01	0,07	0,08
V	0,22	0,24	0,28	0,28	0,25	0,15	0,28	0,22	0,19	0,26	0,35	0,25
VI	0,02	-0,02	0,09	0,07	0,12	-0,01	0,01	-0,04	0,02	0,07	0,05	-0,01
VII	0,02	0,04	0,02	0,06	0,02	0,12	0,07	-0,02	-0,05	0,08	0,04	-0,08
VIII	-0,22	-0,33	-0,05	0,03	-0,30	-0,02	-0,23	-0,26	-0,13	-0,11	-0,26	-0,33
IX	-0,04	-0,10	0,00	0,02	0,05	-0,01	-0,05	-0,09	-0,12	-0,02	0,04	-0,05
X	0,00	-0,03	0,03	0,04	0,10	-0,16	0,06	0,01	0,02	0,10	0,22	0,12
XI	0,25	0,21	0,15	0,18	0,26	0,13	0,19	-0,09	0,11	-0,02	0,10	0,10
XII	0,20	0,22	0,29	0,30	0,15	0,27	0,32	0,12	0,29	0,18	0,28	0,23
Весь період	0,04	0,00	0,04	0,06	0,07	-0,02	0,04	-0,06	-0,01	0,00	0,03	-0,02

Таблиця 5.2

Розраховані значення критерію Стьюдента

Станція	Jubany	King_Sejong	Bellingshausen	Marsh	Great_Wall	Arturo_Pratt	O_Higgins	Esperanza	Marambio	Faraday\ Vernadsky	Rothera	San_Martin
I	0,31	0,20	1,01	1,06	-1,11	2,41	0,49	0,50	1,40	0,95	0,74	0,20
II	-0,47	-0,73	-1,11	-1,13	-0,38	-1,39	-1,04	-1,08	-0,96	-0,88	-0,88	-1,53

Продовження таблиці 5.2

III	0,32	-0,23	0,53	0,36	1,12	-0,42	0,23	-0,45	-0,49	0,02	0,42	0,22
IV	0,74	0,44	0,07	0,19	0,83	-0,18	0,03	-1,16	-0,68	-0,07	0,40	0,48
V	1,14	1,16	1,87	1,86	1,10	0,81	1,69	1,74	1,21	2,09	2,18	1,48
VI	0,11	-0,11	0,56	0,48	0,50	-0,03	0,07	-0,31	0,11	0,53	0,31	-0,05
VII	0,08	0,19	0,15	0,42	0,07	0,62	0,39	-0,18	-0,32	0,61	0,25	-0,46
VIII	-1,17	-1,65	-0,33	0,21	-1,32	-0,11	-1,39	-2,04	-0,86	-0,87	-1,57	-2,01
IX	-0,22	-0,47	-0,02	0,15	0,21	-0,06	-0,32	-0,73	-0,79	-0,13	0,26	-0,32
X	0,01	-0,16	0,20	0,27	0,44	-0,87	0,36	0,06	0,13	0,81	1,31	0,71
XI	1,31	1,03	0,99	1,16	1,11	0,69	1,12	-0,66	0,69	-0,16	0,62	0,59
XII	1,02	1,08	1,99	1,99	0,64	1,49	1,98	0,89	1,92	1,38	1,71	1,34
Весь період	0,22	0,00	0,27	0,37	0,29	-0,11	0,21	-0,49	-0,09	0,02	0,20	-0,12

5.2 Взаємний спектральний аналіз атмосферного тиску та індексу геомагнітної активності A_p

В цьому розділі представлено результати дослідження зв'язку між геомагнітною активністю та кліматичними характеристиками Антарктичного півострова (атмосферний тиск на рівні моря). В роботі використовуються середньомісячні дані приземної температури повітря, атмосферного тиску на рівні моря та індексу геомагнітної активності (індекс A_p). Для спектрального аналізу були використані дані 12 станцій Антарктичного півострова.

Зв'язок між періодичними складовими в часових рядах середньомісячних значень атмосферного тиску на рівні моря та індексу геомагнітної активності також досліджувався за допомогою взаємного спектрального аналізу [20]. Аналізувалися статистичні оцінки взаємної спектральної щільності середньомісячних значень атмосферного тиску на рівні моря та індексу A_p для усіх 12 станцій Антарктичного півострова, в якості прикладу представлені вищевказані характеристики для ст. Faraday\ Vernadsky (вибірка складала 71 рік) (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Статистичні оцінки взаємної спектральної щільності для середньомісячних значень атмосферного тиску на рівні моря та індексу A_p
(ст. Faraday\ Vernadsky)

№ з/п	$S_x(\omega)$	$S_y(\omega)$	$C_{xy}(\omega)$	$Q_{xy}(\omega)$	$\gamma(\omega)$	$T_{\hat{e}, i}^{3\ddot{y}\ddot{o}\ddot{i}}$	$\psi_{xy}(\omega)$, град.
21	26,00	28,21	24,31	2,37	0,90	24,4	5,6
35	20,76	14,51	-3,70	-16,15	0,95	14,6	77,1
60	18,91	43,71	24,04	11,79	0,93	8,5	26,1
75	8,24	36,26	6,69	14,75	0,94	6,8	65,6
86	226,26	257,27	-206,58	-76,75	0,91	6,0	20,4
109	17,26	16,6	-2,52	15,15	0,91	4,7	279,4
144	38,87	5,39	3,81	-12,96	0,93	3,6	286,3
159	21,60	28,05	21,90	-9,35	0,97	3,2	336,9
184	14,44	18,46	9,00	-12,16	0,93	2,8	306,5
198	4,96	17,15	0,11	-8,32	0,90	2,6	270,7

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).

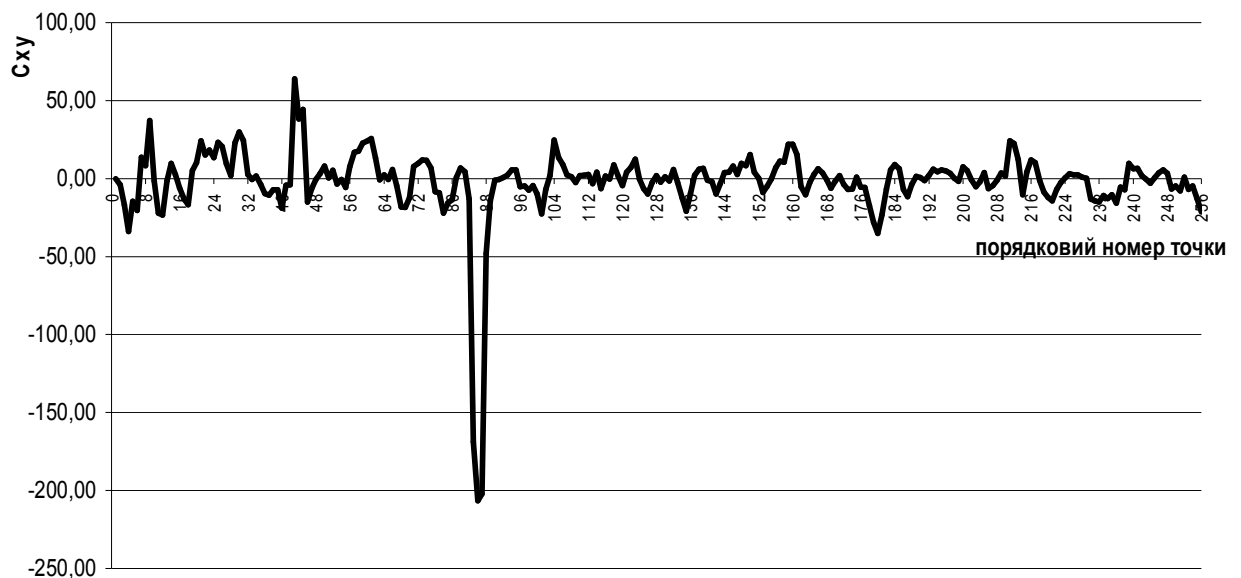


Рис. 5.1 – Ко-спектр процесів: атмосферний тиск на рівні моря (ст. Faraday\ Vernadsky) та індекс A_p

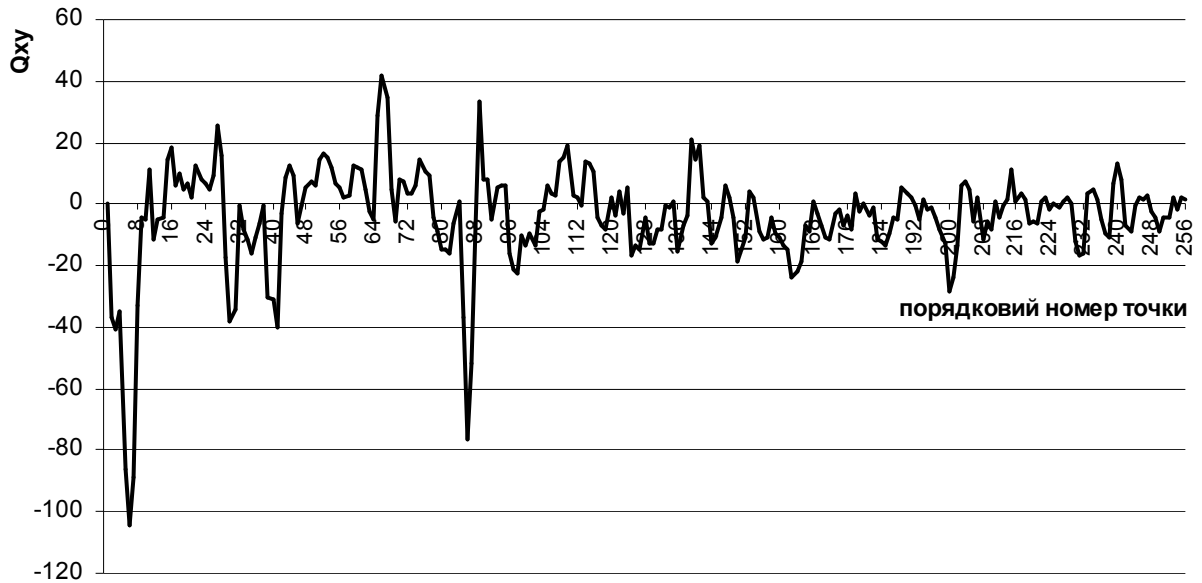


Рис. 5.2 – Квадратурний спектр процесів: атмосферний тиск на рівні моря (ст. Faraday\ Vernadsky) та індекс A_p

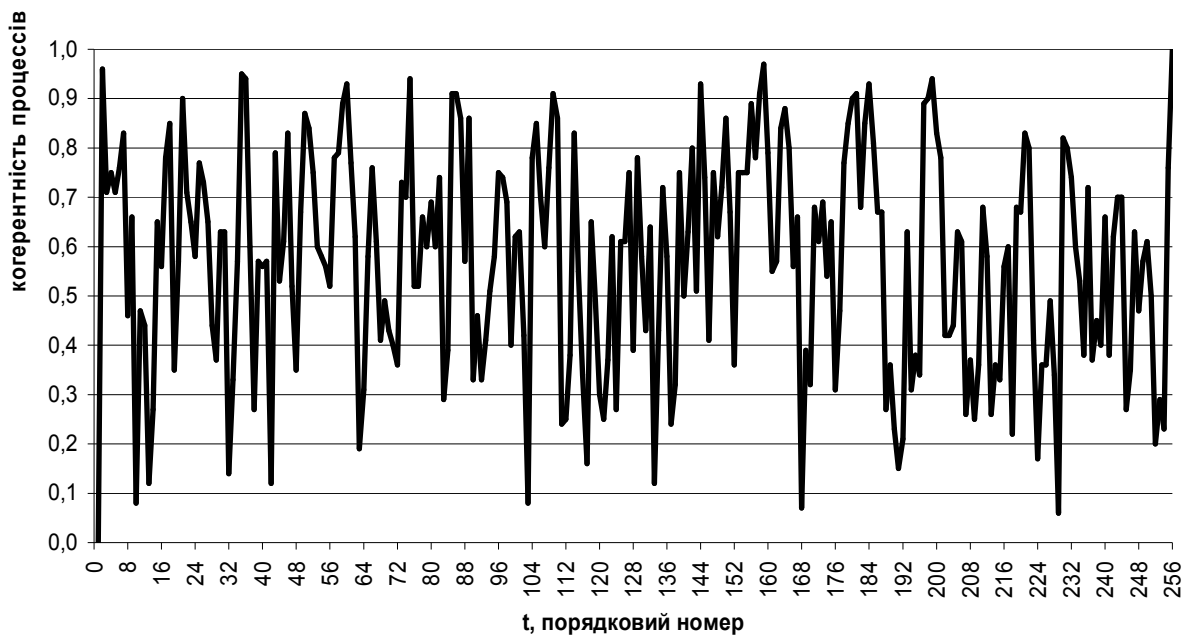


Рис. 5.3 – Когерентність процесів: атмосферний тиск на рівні моря (ст. Faraday\ Vernadsky) та індекс A_p

Вірогідність статистичних оцінок взаємної спектральної щільності визначаємо по когерентності за умови $\gamma(\omega) \geq 0.90$. Взаємна когерентність

процесів, як вже зазначалось, 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 атмосферного тиску на рівні моря [процес $X(t)$] та індексу A_p [процес $Y(t)$]. На рис. 5.4 та 5.5 представлені відповідні спектрограми.

Як впливає з рис. 5.4 в спектральній щільності середньомісячних значень атмосферного тиску на рівні моря для ст. Faraday\ Vernadsky виявлені квазірічні коливання з періодом 11,9 місяця, піврічні коливання – 5,9 місяця та сезонні коливання – 5,0 та 2,1 місяця. Також виявлені коливання з періодом 17,7 місяця (1,5 року).

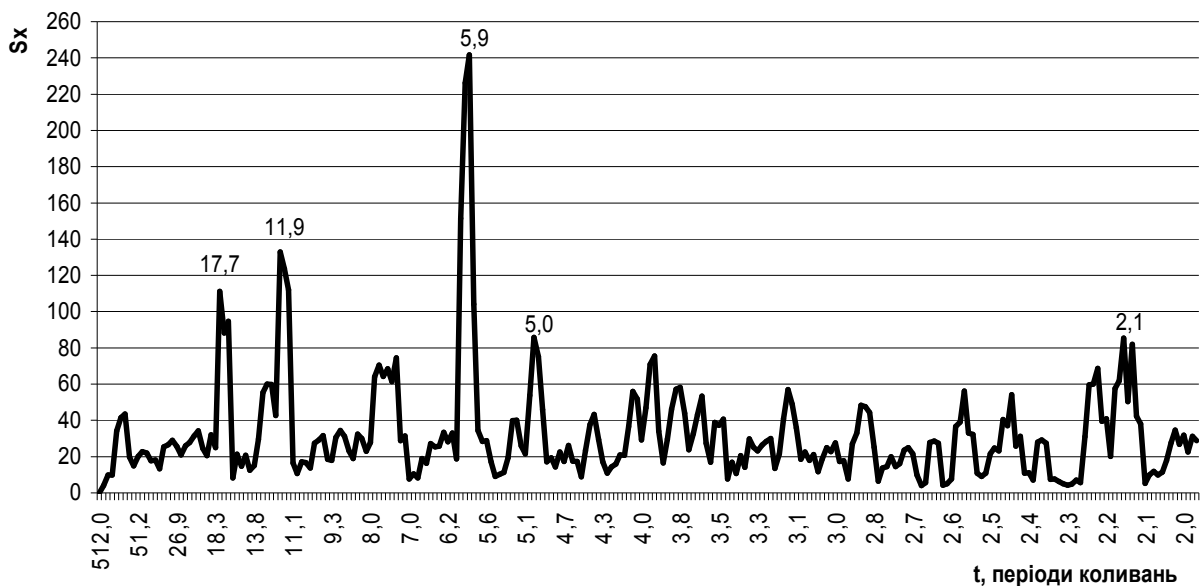


Рис. 5.4 Спектрограма середньомісячних значень атмосферного тиску на рівні моря (ст. Faraday\ Vernadsky)

В спектральній щільності середньомісячних значень індексу A_p (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. 5.3).

Як показали розрахунки, для усіх сезонних гармонік (від 2,6 до 4,7 місяця) спостерігається випередження процесу Y (який характеризує індекс A_p) по відношенню до процесу X (який характеризує атмосферний тиск на ст. Faraday\Veradsky) при цьому фазовий зсув складає від 270,7 до 336,9 градусів. Для усіх інших гармонік спостерігається випередження процесу X по відношенню до процесу Y на величину від 5,6 до 77,1 градусів. Це може свідчити про наявність деякого великомасштабного процесу, який впливає і на зміну атмосферного тиску і на індекс A_p .

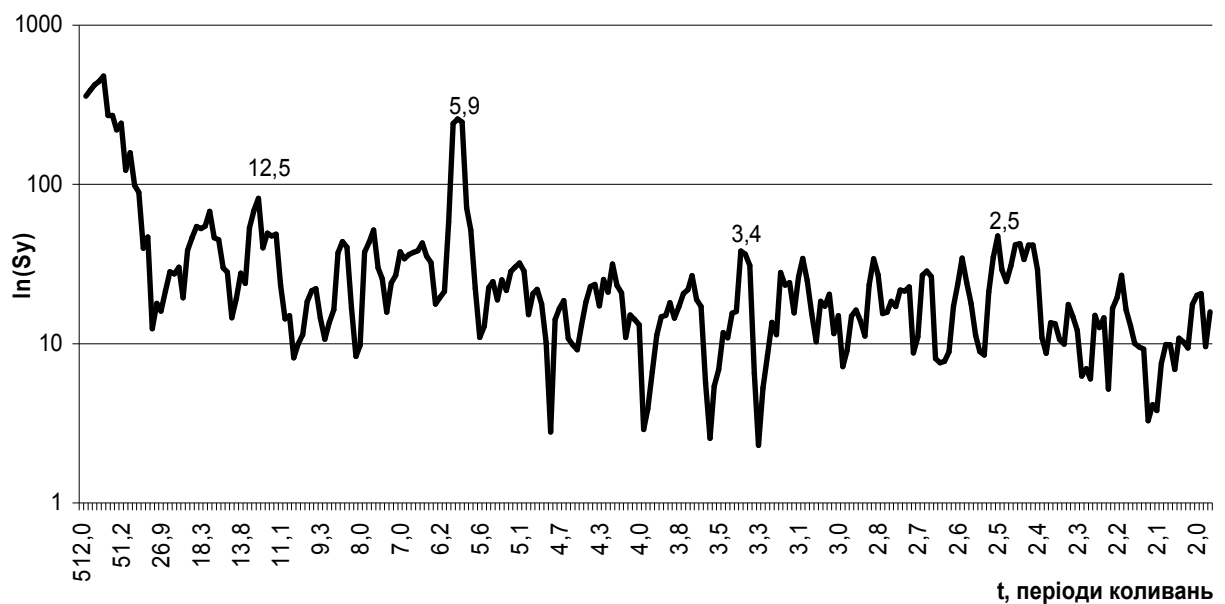


Рис. 5.5 Спектрограма середньомісячних значень індексу A_p

Такі самі розрахунки були проведені для 12 станцій Антарктичного півострова. Аналіз одержаних результатів показав, що як і в спектральній щільності атмосферного тиску на рівні моря, так і в спектральній щільності індексу A_p присутні квазірічні, піврічні та сезонні коливання.

Одержані висновки довели існування тісного кореляційного зв'язку між періодичними складовими в часових рядах атмосферного тиску на рівні моря та індексу A_p . Виявлена залежність атмосферного тиску від індексу A_p . Ця залежність спостерігається із зсувом від 270,7 до 336,9 градусів (для сезонних гармонік).

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження динаміки і просторово-часового розподілу атмосферного тиску на основі метеорологічних даних дванадцяти станцій Антарктичного півострову та його зв'язку з геомагнітною активністю на основі метеорологічних даних дванадцяти станцій, дозволили зробити наступні висновки:

1. Для Антарктичного півострову можна виділити періоди стійкого підвищення та зменшення атмосферного тиску: період стрімко підвищення атмосферного тиску – 1960-1986рр. (0,9 гПа); період слабкого підвищення атмосферного тиску – 1986-2001рр. (0,4 гПа); період стрімко зниження атмосферного тиску – 2001-2013рр. (1,6 гПа).

2. по величині коефіцієнту асиметрії в рядах атмосферного тиску станцій Антарктичного півострову помітне переважання сильної асиметрії, що означає суттєву відмінність процесу змін клімату в південних полярних широтах від нормального та його нестационарність.

3. переважання плосковершинного розподілу над витягнутим свідчить, що атмосферний тиск на рівні моря абсолютно на усіх станціях Антарктичного півострову змінюється у широкому діапазоні.

4. мінімальні значення атмосферного тиску спостерігаються в період антарктичної весни (листопад), максимальні – на початку зими (травень). Максимальними значеннями атмосферного тиску характеризуються станції, що знаходяться на максимальному віддаленні від Антарктичного материка – Bellingshausen, Marsh та Great_Wall;

5. для станцій Антарктичного півострова найбільш характерні коливання з періодом 2 і 3 року. На станціях Bellingshausen, Marsh, Esperanza, Faraday\ Vernadsky спостерігаються також чотирьох – семирічні періодичності;

6. для більшості досліджуваних станцій характерне зменшення атмосферного тиску на рівні моря за досліджуваний період (1984-2013рр.) протягом більшості місяців року. Максимальне зменшення зафіксовано на станціях Great_Wall та Arturo_Pratt (-10,5 та -7,0 гПа відповідно). Найбільші від'ємні значення тренду для усіх станцій спостерігаються в літній період (грудень).

7. зростання атмосферного тиску для усіх досліджуваних станцій зафіксовано, переважно, наприкінці зими (серпень-вересень). Найбільшим ростом в ці місяці характеризуються станції San_Martin (7,1 гПа), King_Sejong (6,9 гПа) та Marambio (6,6 гПа).

8. аналіз просторово-часового розподілу аномалій атмосферного тиску на території Антарктичного півострову дозволяє стверджувати, що зменшення тиску на рівні моря в останні роки (2004-2013рр.) відбувається переважно в літні місяці року, у всі інші сезони атмосферний тиск в досліджуваному регіоні збільшується.

Аналіз динаміки атмосферного тиску на рівні моря в районі Антарктичного півострову свідчить про наявність певних змін, які відбуваються в баричному режимі регіону, 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 майже в два рази зросли екстремальні значення аномалій атмосферного тиску, що може свідчити про порушення стабільності баричного режиму Антарктичного півострова.

За допомогою взаємного спектрального аналізу виявлено, що для спектральної щільності середньомісячних значень атмосферного тиску на рівні моря, 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 на рівні моря від індексу A_p , яка спостерігається з зсувом від 270,7 до 336,9 градусів (для сезонних гармонік).

Розрахунки початку фази кожного процесу показали, що на станціях, для гармонік з періодом більше дванадцяти місяців, зв'язок геомагнітної активності з баричним режимом регіону здійснюється у фазі з незначним випередженням процесу, який характеризує баричний режим регіону, відносно процесу, який характеризує геомагнітну активність. Це свідчить про наявність крупномасштабного процесу, який одночасно впливає на зміну і баричного режиму, 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. Шкільний. – 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. Мартазинова В.Ф. Состояние циркуляции нижней тропосферы южной полярной области в период современного потепления / В.Ф. Мартазинова, В.Е. Тимофеев, Е.К. Иванова // Украинский Антарктический журнал. – 2008. – №6-7. – С. 175-183.

ДОДАТКИ

Додаток А

Картосхеми трендової складової атмосферного тиску на рівні моря

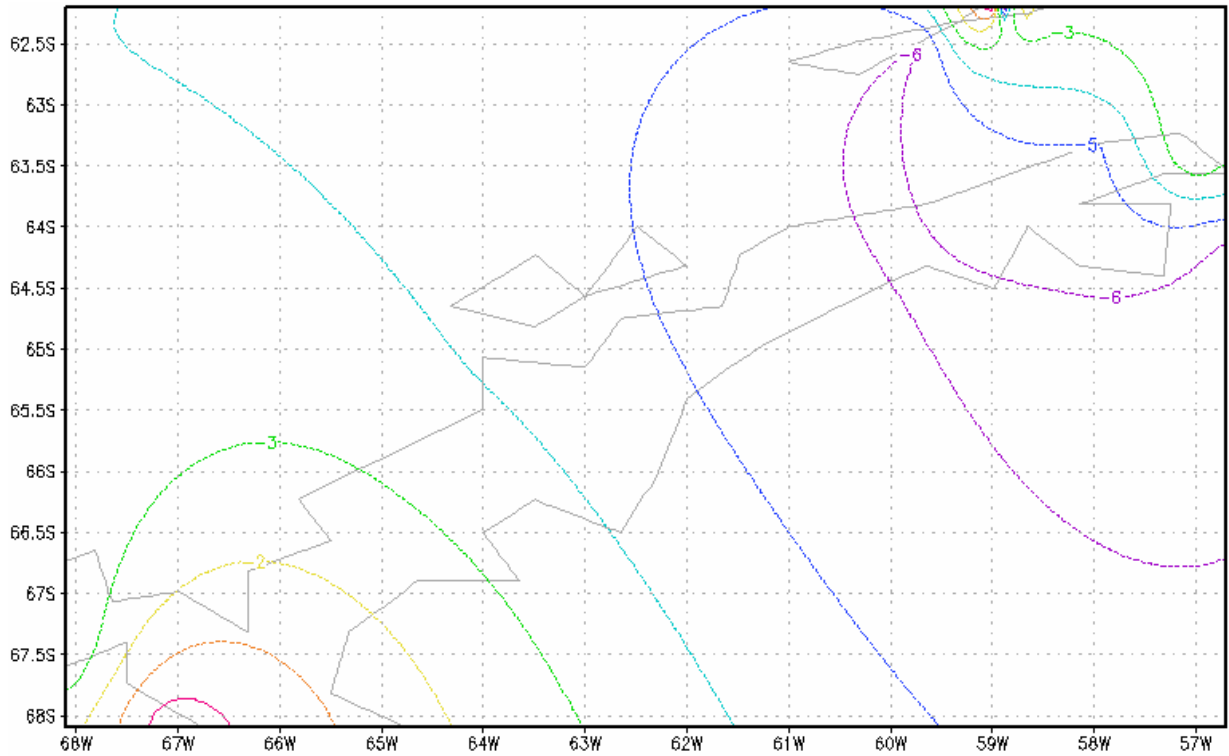


Рис. А.1 – Картосхеми трендової складової атмосферного тиску
(січень)

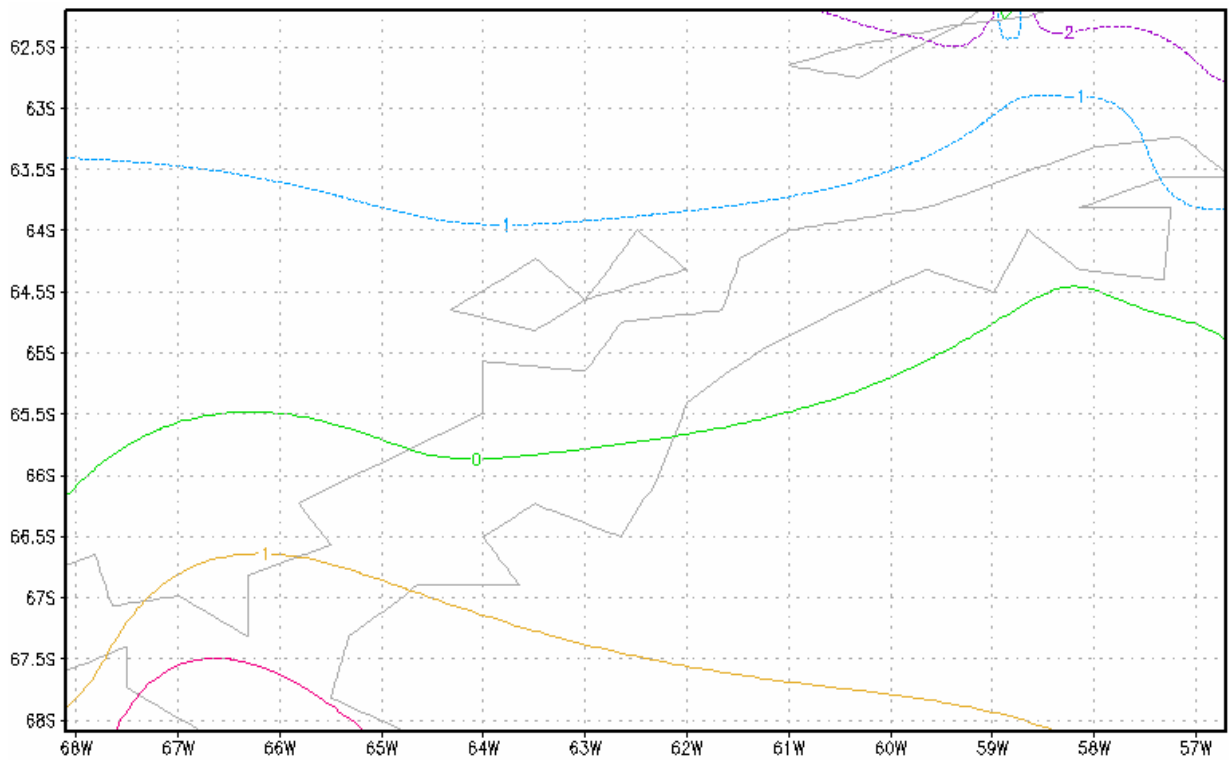


Рис. А.2 – Картосхеми трендової складової атмосферного тиску
(лютий)

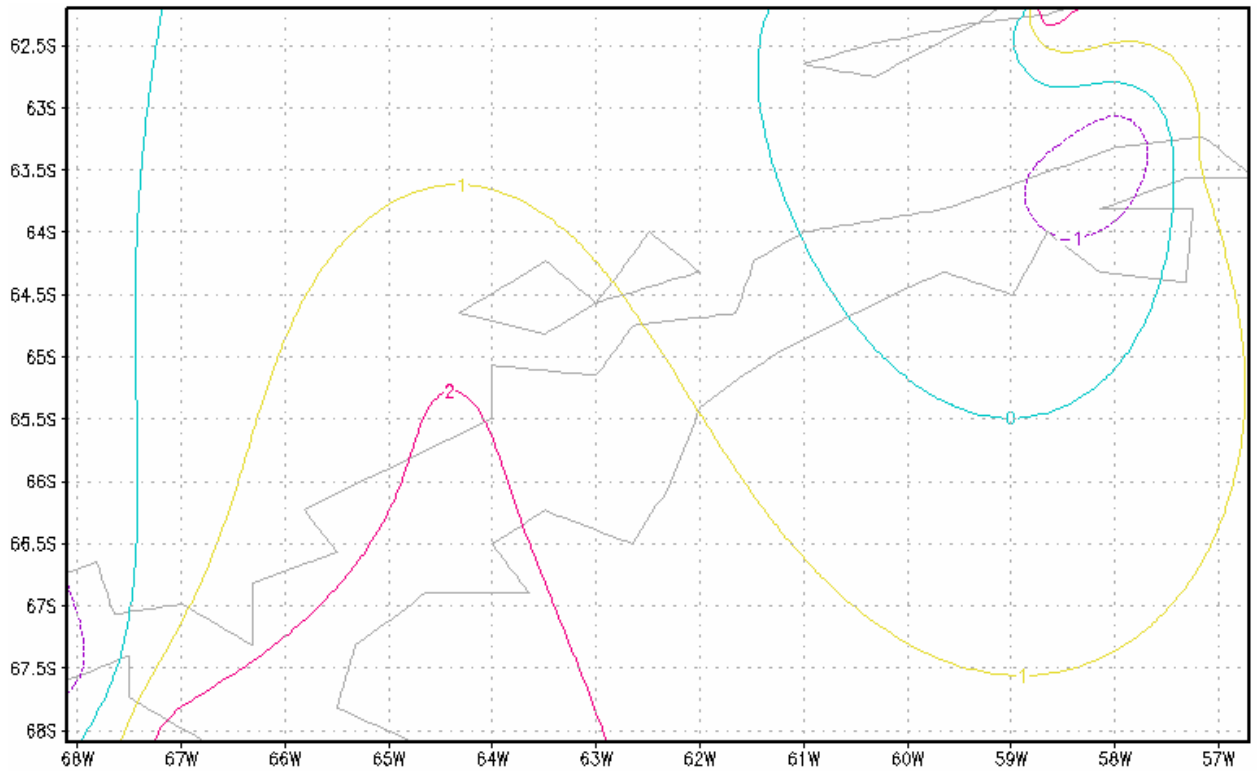


Рис. А.3 – Картосхеми трендової складової атмосферного тиску
(березень)

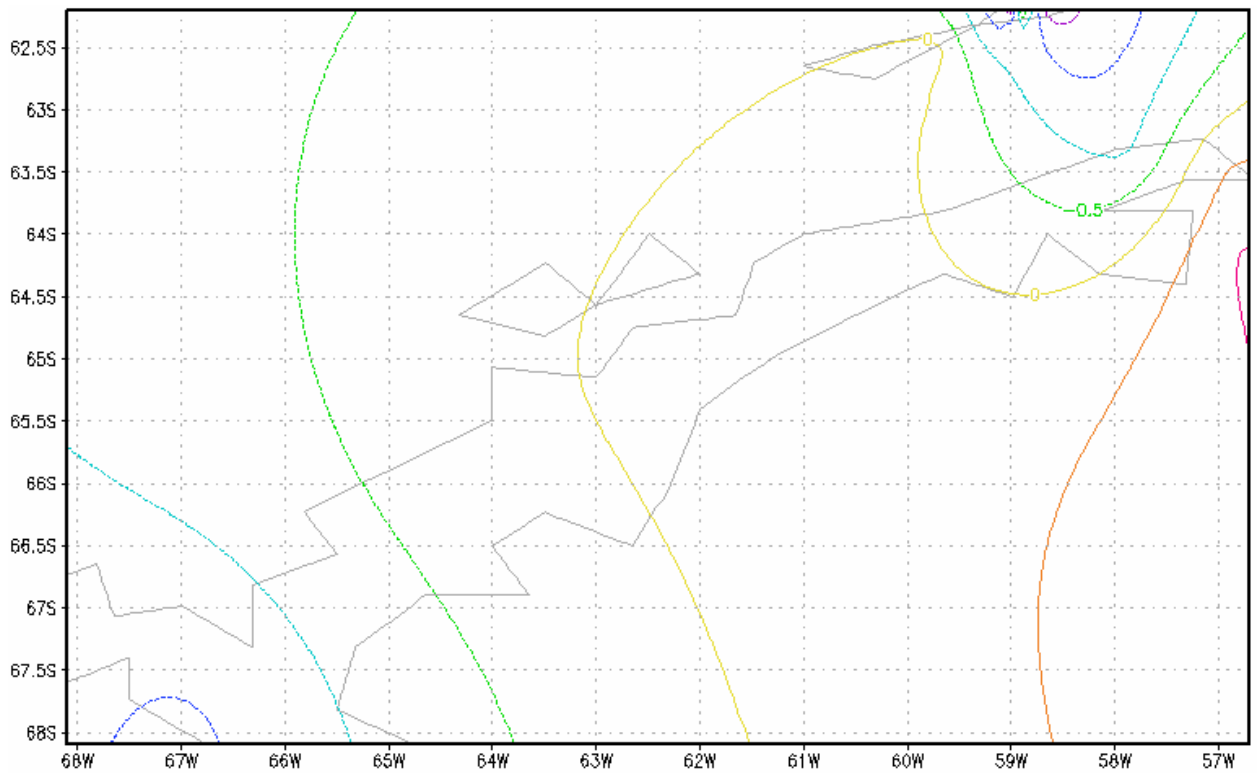


Рис. А.4 – Картосхеми трендової складової атмосферного тиску
(квітень)

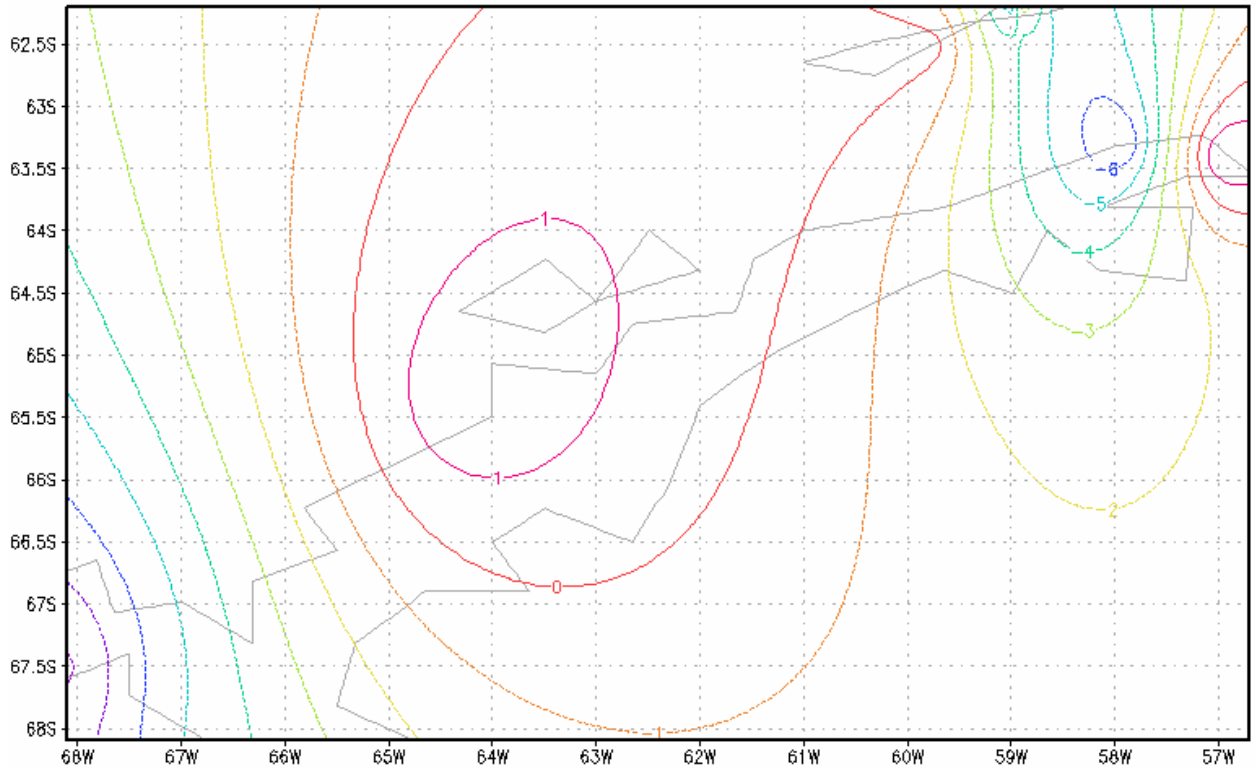


Рис. А.5 – Картосхеми трендової складової атмосферного тиску
(травень)

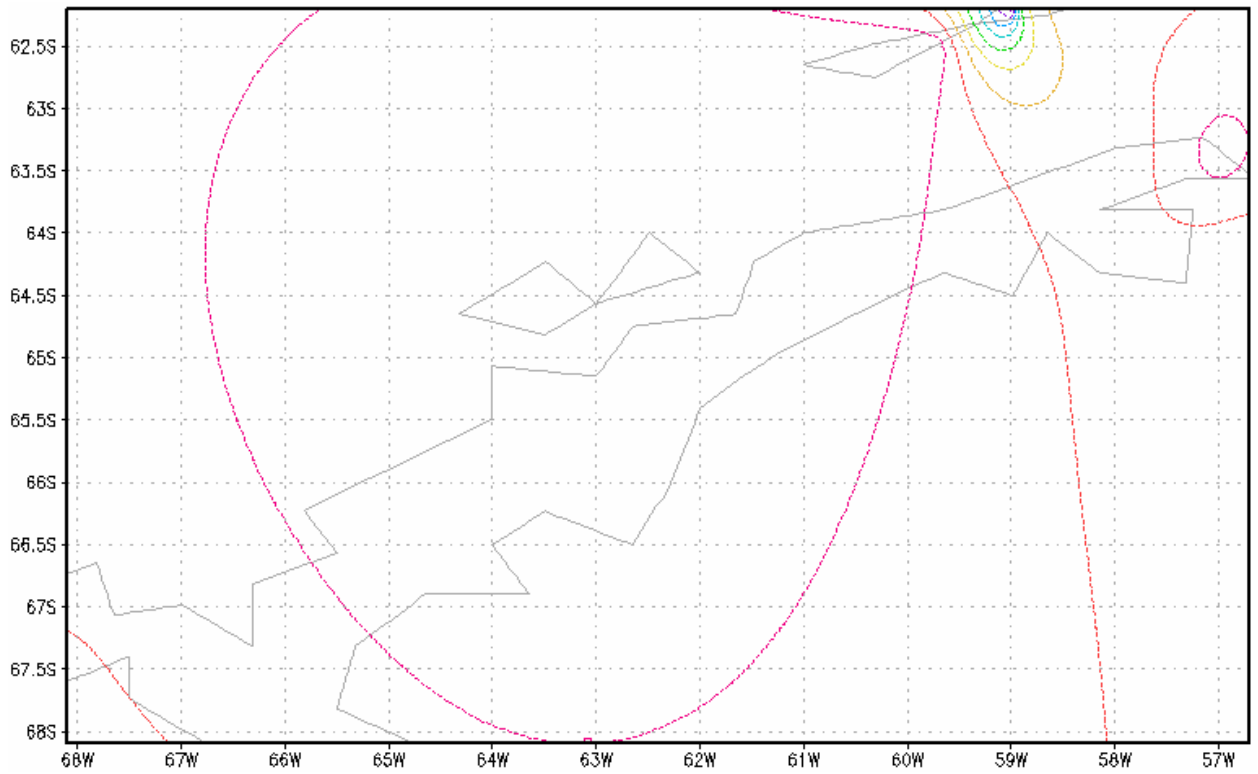


Рис. А.6 – Картосхеми трендової складової атмосферного тиску
(червень)

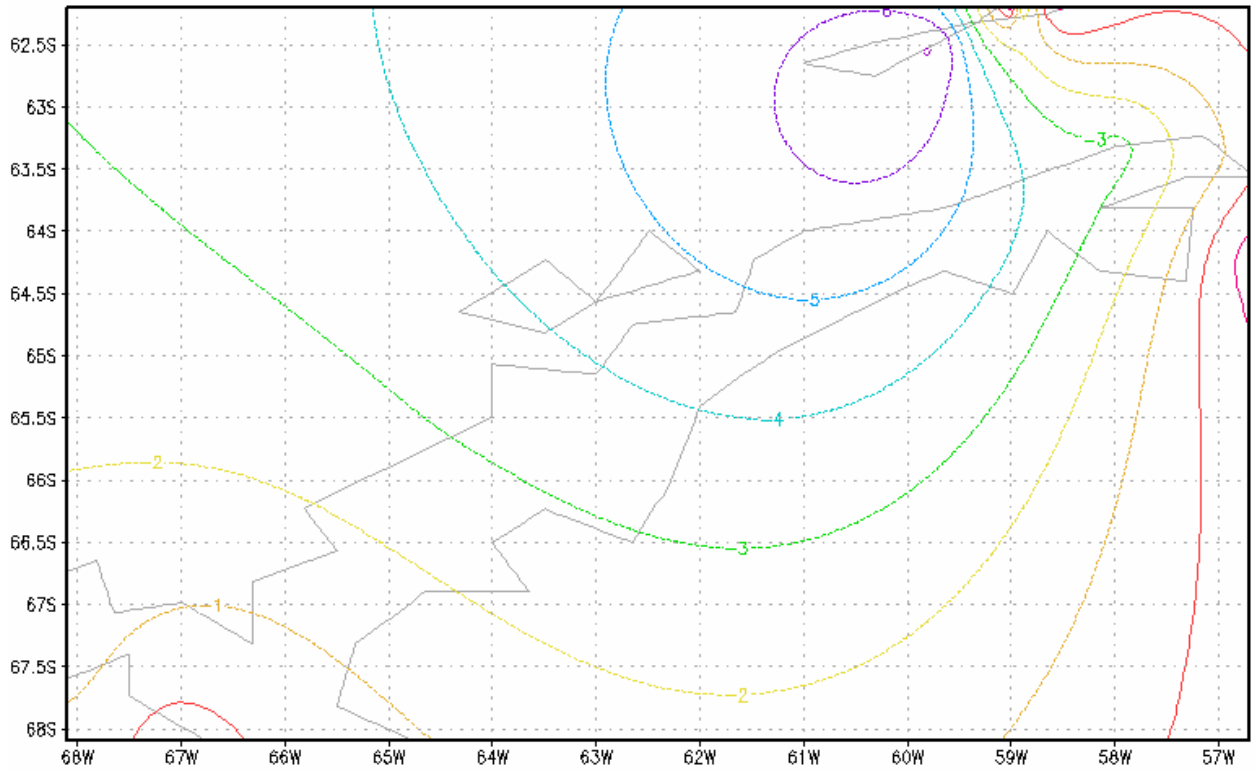


Рис. А.7 – Картоосхеми трендової складової атмосферного тиску
(липень)

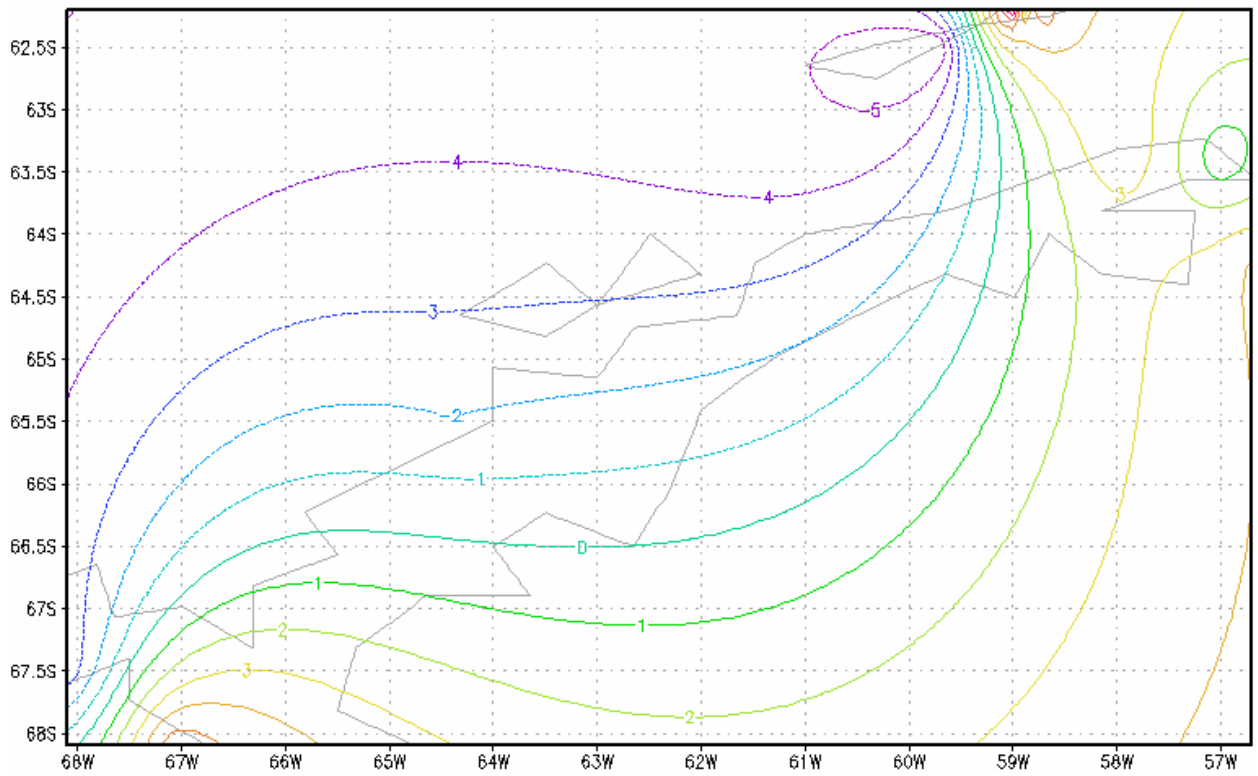


Рис. А.8 – Картоосхеми трендової складової атмосферного тиску
(серпень)

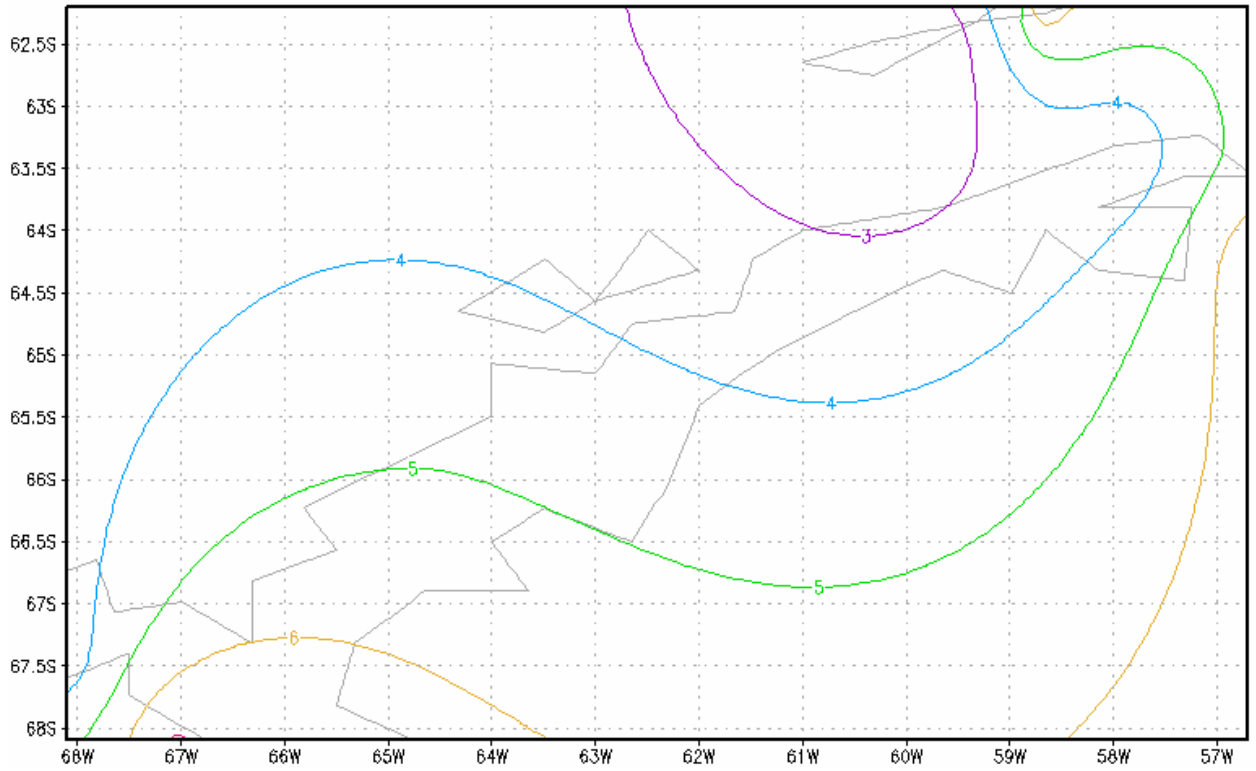


Рис. А.9 – Картосхеми трендової складової атмосферного тиску
(вересень)

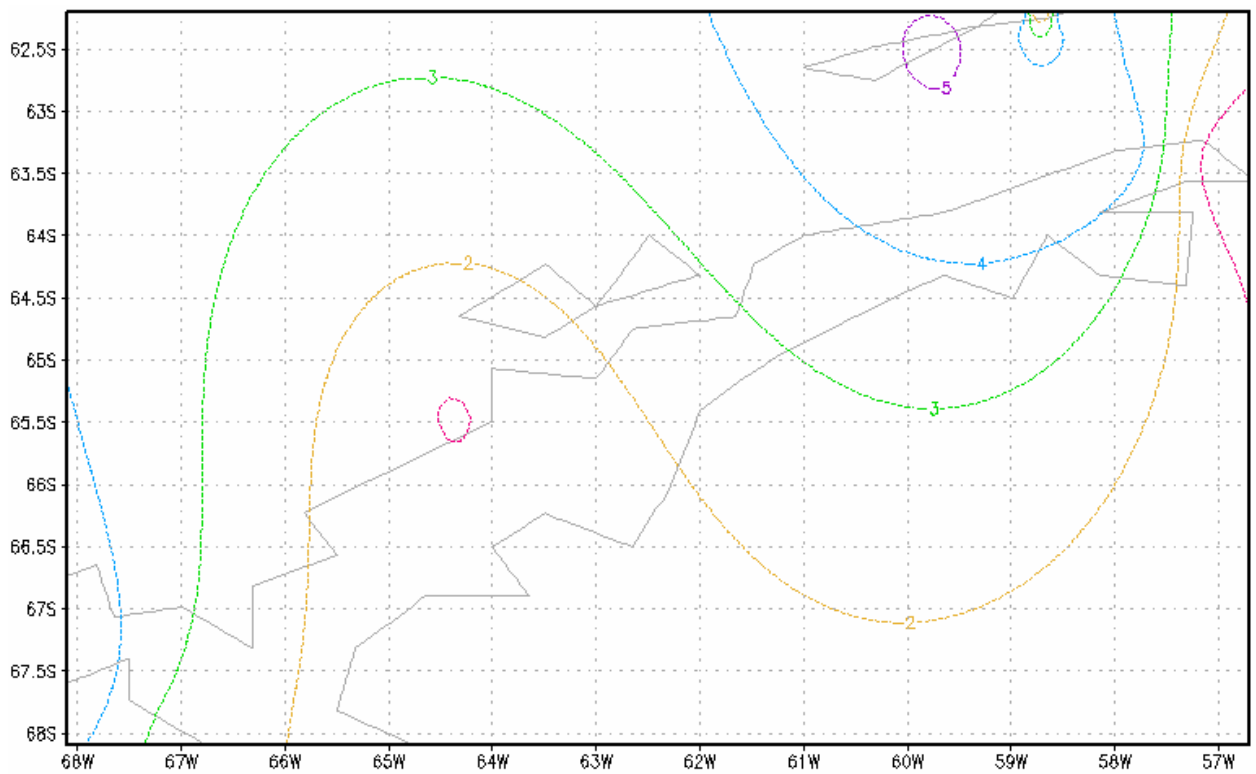


Рис. А.10 – Картосхеми трендової складової атмосферного тиску
(жовтень)

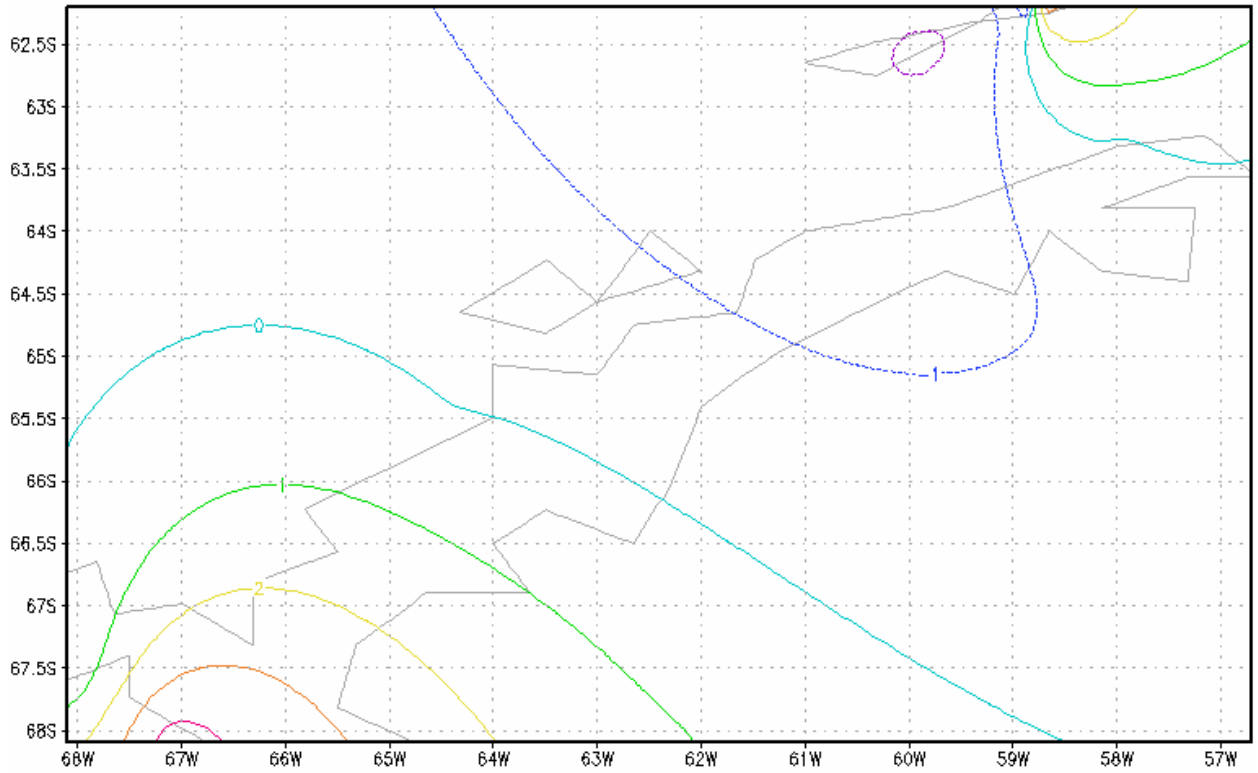


Рис. А.11 – Картосхеми трендової складової атмосферного тиску
(листопад)

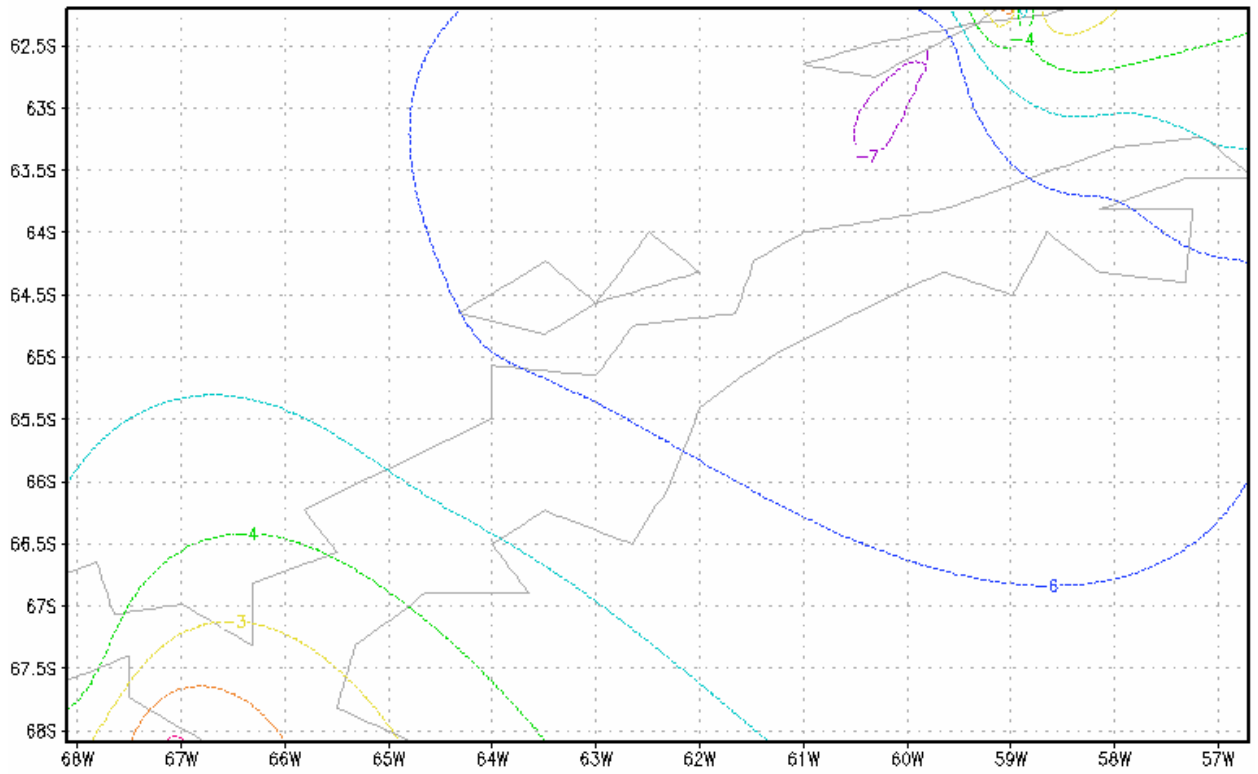


Рис. А.12 – Картосхеми трендової складової атмосферного тиску
(грудень)

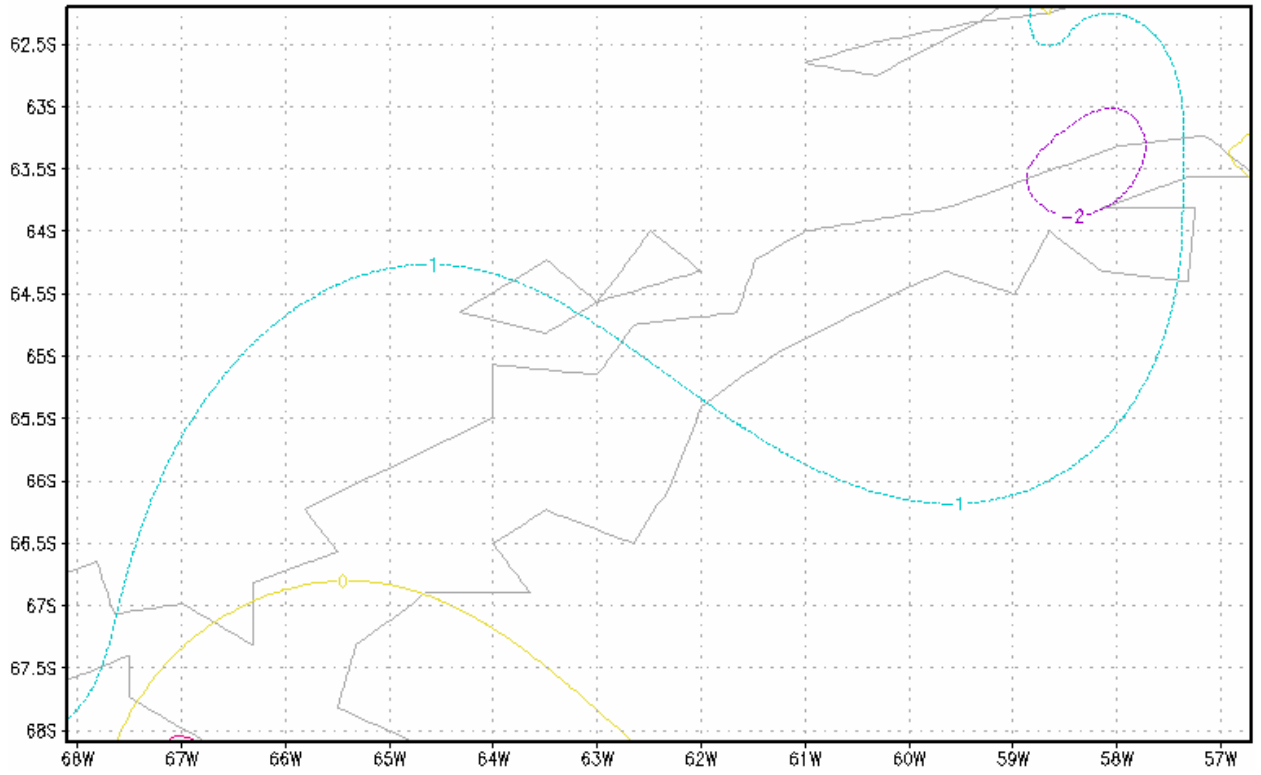


Рис. А.12 – Картосхеми трендової складової атмосферного тиску
(середньорічні значення)

Додаток Б

Аномалії середньомісячних значень атмосферного тиску на рівні моря

Таблиця Б.1

Аномалії середньомісячних значень атмосферного тиску (січень)

Станції	\bar{P}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$
Jubany	989,2			988,8	0,4	989,5	-0,3
King Sejong	987,5			986,6	0,8	988,3	-0,8
Bellingshausen	989,5	991,4	-1,9	988,3	1,3	989,0	0,6
Marsh	989,8	991,4	-1,6	988,8	0,9	989,1	0,7
Great Wall	989,1			989,0	0,1	989,2	-0,1
Arturo Prat	989,4	990,8	-1,4	988,0	1,4		
O Higgins	989,0	991,1	-2,1	988,0	1,0	987,9	1,1
Esperanza	989,2	990,6	-1,4	987,8	1,3	989,1	0,1
Marambio	988,8	991,2	-2,4	987,5	1,3	987,8	1,1
Faraday\ Vernadsky	988,4	990,4	-2,0	986,8	1,6	988,1	0,4
Rothera	987,2	989,4	-2,2	985,3	2,0	987,0	0,2
San Martin	987,6	988,7	-1,1	985,8	1,8	988,2	-0,6
Середнє значення	988,7	990,5	-1,8	987,6	1,2	988,5	0,2

Таблиця Б.2

Аномалії середньомісячних значень атмосферного тиску (лютий)

Станції	\bar{P}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$
Jubany	990,6			990,3	0,4	991,0	-0,4
King Sejong	988,9			988,3	0,6	989,6	-0,6
Bellingshausen	990,2	990,6	-0,4	989,7	0,5	990,4	-0,2
Marsh	990,5	990,4	0,1	990,4	0,1	990,7	-0,2
Great Wall	990,5			990,3	0,2	990,7	-0,2
Arturo Prat	989,7	989,7	0,0	989,7	0,0		
O Higgins	989,4	989,3	0,0	989,3	0,1	989,5	-0,1
Esperanza	988,8	988,9	-0,1	988,7	0,0	988,7	0,1
Marambio	988,6	989,4	-0,8	988,4	0,3	988,1	0,5
Faraday\ Vernadsky	988,6	989,0	-0,4	988,1	0,6	988,8	-0,2
Rothera	986,9	987,6	-0,7	986,0	0,9	987,1	-0,2
San Martin	987,3	987,1	0,3	986,8	0,6	988,2	-0,9
Середнє значення	989,2	989,1	-0,2	988,8	0,4	989,3	-0,2

Таблиця Б.3

Аномалії середньомісячних значень атмосферного тиску (березень)

Станції	\bar{P}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$
Jubany	991,5			992,4	-0,9	990,6	0,9
King_Sejong	990,0			990,2	-0,2	989,7	0,3
Bellingshausen	990,6	989,9	0,7	991,8	-1,2	990,0	0,5
Marsh	990,5	989,7	0,8	992,2	-1,7	989,6	0,9
Great_Wall	991,1			992,4	-1,3	989,8	1,3
Arturo_Pratt	990,3	989,0	1,2	991,5	-1,2		
O_Higgins	990,1	990,0	0,2	991,1	-0,9	989,4	0,8
Esperanza	989,4	987,9	1,5	990,9	-1,5	989,3	0,0
Marambio	989,8	988,6	1,2	991,1	-1,3	989,8	0,1
Faraday\ Vernadsky	988,6	987,9	0,7	990,3	-1,7	987,6	1,0
Rothera	986,7	985,9	0,8	988,5	-1,8	985,7	1,0
San_Martin	987,1	985,3	1,8	989,1	-2,0	986,9	0,2
Середнє значення	989,6	988,2	1,0	991,0	-1,3	989,0	0,6

Таблиця Б.4

Аномалії середньомісячних значень атмосферного тиску (квітень)

Станції	\bar{P}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$
Jubany	991,2			991,7	-0,6	990,6	0,6
King_Sejong	989,3			989,7	-0,3	989,0	0,3
Bellingshausen	990,6	991,0	-0,4	991,0	-0,5	989,7	0,9
Marsh	990,8	991,0	-0,2	991,8	-0,9	989,7	1,1
Great_Wall	990,8			991,7	-0,9	989,9	0,9
Arturo_Pratt	990,5	990,1	0,4	990,9	-0,4		
O_Higgins	989,9	990,3	-0,4	990,5	-0,6	989,0	0,9
Esperanza	990,5	990,1	0,4	990,4	0,1	990,9	-0,4
Marambio	990,8	991,6	-0,8	990,6	0,3	990,3	0,5
Faraday\ Vernadsky	988,7	989,5	-0,8	988,9	-0,2	987,7	1,0
Rothera	986,7	987,9	-1,2	986,0	0,7	986,3	0,4
San_Martin	987,1	987,7	-0,6	986,3	0,9	987,4	-0,3
Середнє значення	989,7	989,9	-0,4	989,9	-0,2	989,1	0,5

Таблиця Б.5

Аномалії середньомісячних значень атмосферного тиску (травень)

Станції	\bar{P}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$
Jubany	994,1			995,5	-1,4	992,7	1,4
King_Sejong	992,1			993,3	-1,2	991,0	1,2
Bellingshausen	994,0	995,4	-1,5	994,7	-0,8	991,7	2,3
Marsh	994,1	995,3	-1,2	995,4	-1,3	991,5	2,6
Great_Wall	993,9			995,4	-1,5	992,5	1,5
Arturo_Pratt	994,5	994,6	-0,1	994,5	0,1		
O_Higgins	993,2	994,5	-1,3	994,1	-0,9	991,0	2,2
Esperanza	993,5	994,5	-0,9	993,9	-0,4	992,2	1,3
Marambio	994,1	995,8	-1,7	994,1	0,0	992,3	1,8
Faraday\ Vernadsky	992,3	994,1	-1,7	993,5	-1,2	989,4	2,9
Rothera	990,2	992,3	-2,0	991,6	-1,4	986,8	3,4
San_Martin	990,8	991,9	-1,2	992,0	-1,3	988,3	2,4
Середнє значення	993,1	994,3	-1,3	994,0	-0,9	990,9	2,1

Таблиця Б.6

Аномалії середньомісячних значень атмосферного тиску (червень)

Станції	\bar{P}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$
Jubany	993,6			996,1	-2,5	991,1	2,5
King_Sejong	991,5			993,7	-2,3	989,2	2,3
Bellingshausen	992,9	993,6	-0,7	995,2	-2,3	989,9	2,9
Marsh	993,0	993,5	-0,6	995,7	-2,7	989,7	3,3
Great_Wall	993,1			995,7	-2,6	990,5	2,6
Arturo_Pratt	994,0	992,9	1,0	995,0	-1,0		
O_Higgins	992,3	992,7	-0,4	995,0	-2,7	989,2	3,1
Esperanza	992,9	992,2	0,7	995,6	-2,7	990,9	2,0
Marambio	993,6	993,4	0,2	996,2	-2,7	991,1	2,5
Faraday\ Vernadsky	991,7	992,4	-0,7	994,4	-2,7	988,4	3,4
Rothera	990,8	991,4	-0,6	993,9	-3,1	987,1	3,7
San_Martin	991,3	990,7	0,5	994,6	-3,4	988,4	2,8
Середнє значення	992,5	992,5	-0,1	995,1	-2,5	989,6	2,8

Таблиця Б.7

Аномалії середньомісячних значень атмосферного тиску (липень)

Станції	\bar{P}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$
Jubany	993,5			992,4	1,1	994,5	-1,1
King_Sejong	991,3			990,1	1,2	992,5	-1,2
Bellingshausen	992,9	993,7	-0,8	991,5	1,4	993,5	-0,6
Marsh	992,7	993,6	-0,8	992,0	0,7	992,6	0,1
Great_Wall	992,8			992,1	0,7	993,5	-0,7
Arturo_Pratt	992,0	992,7	-0,7	991,3	0,7		
O_Higgins	991,7	992,0	-0,3	991,2	0,5	991,8	-0,1
Esperanza	992,2	990,3	1,8	991,7	0,5	994,5	-2,4
Marambio	992,5	991,0	1,4	991,9	0,6	994,4	-2,0
Faraday\ Vernadsky	991,3	991,9	-0,6	990,0	1,3	992,0	-0,7
Rothera	989,7	989,3	0,4	988,9	0,8	990,9	-1,2
San_Martin	989,9	988,4	1,5	989,2	0,7	992,1	-2,2
Середнє значення	991,9	991,4	0,2	991,0	0,8	992,9	-1,1

Таблиця Б.8

Аномалії середньомісячних значень атмосферного тиску (серпень)

Станції	\bar{P}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$
Jubany	992,8			990,2	2,6	995,4	-2,6
King_Sejong	991,0			987,8	3,2	994,3	-3,2
Bellingshausen	991,8	991,6	0,3	989,6	2,3	994,4	-2,6
Marsh	991,5	991,4	0,1	990,3	1,2	992,8	-1,3
Great_Wall	992,7			990,2	2,5	995,2	-2,5
Arturo_Pratt	989,9	990,6	-0,7	989,1	0,7		
O_Higgins	990,3	989,7	0,7	988,3	2,0	992,9	-2,6
Esperanza	991,1	988,5	2,5	988,0	3,1	996,7	-5,6
Marambio	990,3	989,3	1,0	987,7	2,6	993,9	-3,6
Faraday\ Vernadsky	989,8	989,7	0,1	987,3	2,5	992,4	-2,6
Rothera	987,4	987,0	0,4	985,0	2,4	990,1	-2,7
San_Martin	987,9	986,3	1,6	985,8	2,1	991,6	-3,7
Середнє значення	990,5	989,3	0,7	988,3	2,3	993,6	-3,0

Таблиця Б.9

Аномалії середньомісячних значень атмосферного тиску (вересень)

Станції	\bar{P}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$
Jubany	994,1			993,4	0,7	994,8	-0,7
King_Sejong	992,3			990,9	1,4	993,7	-1,4
Bellingshausen	992,7	991,4	1,2	992,7	0,0	993,9	-1,2
Marsh	992,8	991,3	1,5	993,3	-0,5	993,7	-0,9
Great_Wall	994,1			993,3	0,8	994,8	-0,8
Arturo_Pratt	991,4	990,5	0,9	992,3	-0,9		
O_Higgins	991,4	989,5	1,8	991,9	-0,5	992,7	-1,3
Esperanza	990,7	987,5	3,2	991,9	-1,2	992,7	-2,0
Marambio	990,2	987,4	2,9	991,5	-1,2	991,9	-1,7
Faraday\ Vernadsky	990,5	989,0	1,5	990,9	-0,4	991,6	-1,1
Rothera	987,6	985,6	2,0	988,8	-1,2	988,4	-0,8
San_Martin	988,2	985,3	2,9	989,3	-1,1	990,0	-1,8
Середнє значення	991,3	988,6	2,0	991,7	-0,3	992,6	-1,2

Таблиця Б.10

Аномалії середньомісячних значень атмосферного тиску (жовтень)

Станції	\bar{P}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$
Jubany	987,7			988,1	-0,3	987,4	0,3
King_Sejong	985,8			986,0	-0,1	985,7	0,1
Bellingshausen	987,8	989,3	-1,5	987,4	0,4	986,7	1,1
Marsh	987,8	989,1	-1,4	988,1	-0,3	986,1	1,7
Great_Wall	987,6			988,0	-0,5	987,1	0,5
Arturo_Pratt	987,7	988,2	-0,5	987,1	0,5		
O_Higgins	986,2	987,5	-1,3	986,3	-0,1	984,8	1,4
Esperanza	986,4	986,3	0,1	986,2	0,1	986,6	-0,2
Marambio	985,9	986,8	-1,0	985,6	0,3	985,2	0,7
Faraday\ Vernadsky	985,7	987,7	-2,1	985,3	0,3	983,9	1,8
Rothera	983,0	985,2	-2,2	983,0	0,0	980,8	2,2
San_Martin	983,5	984,7	-1,2	983,7	-0,2	982,0	1,5
Середнє значення	986,2	987,2	-1,2	986,2	0,0	985,1	1,0

Таблиця Б.11

Аномалії середньомісячних значень атмосферного тиску (листопад)

Станції	\bar{P}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$
Jubany	987,9			987,8	0,2	988,1	-0,2
King_Sejong	986,2			985,8	0,4	986,6	-0,4
Bellingshausen	986,8	985,5	1,3	987,2	-0,4	987,6	-0,8
Marsh	986,9	985,4	1,5	987,8	-1,0	987,3	-0,5
Great_Wall	987,7			987,7	0,0	987,7	0,0
Arturo_Pratt	985,8	984,7	1,1	986,9	-1,1		
O_Higgins	985,7	984,2	1,5	986,8	-1,0	986,3	-0,5
Esperanza	985,2	982,1	3,0	986,4	-1,2	987,0	-1,8
Marambio	984,6	982,4	2,2	986,0	-1,4	985,4	-0,8
Faraday\ Vernadsky	984,9	983,3	1,6	985,6	-0,7	985,7	-0,8
Rothera	982,9	980,8	2,1	984,1	-1,2	983,9	-0,9
San_Martin	983,4	980,5	2,9	984,6	-1,3	985,0	-1,6
Середнє значення	985,7	983,2	1,9	986,4	-0,7	986,4	-0,8

Таблиця Б.12

Аномалії середньомісячних значень атмосферного тиску (грудень)

Станції	\bar{P}_{30}	1986 – 1995		1996 – 2005		2006-2015	
		\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$	\bar{P}_{10}	$\bar{P}_{30} - \bar{P}_{10}$
Jubany	988,8			989,0	-0,3	988,5	0,3
King_Sejong	987,1			987,1	0,1	987,2	-0,1
Bellingshausen	988,9	990,3	-1,4	988,4	0,5	987,9	0,9
Marsh	989,0	990,2	-1,2	989,0	-0,1	987,7	1,3
Great_Wall	988,6			989,1	-0,4	988,2	0,4
Arturo_Pratt	988,8	989,5	-0,6	988,2	0,6		
O_Higgins	987,9	989,3	-1,3	987,8	0,1	986,7	1,2
Esperanza	987,9	988,4	-0,5	987,4	0,5	987,9	0,0
Marambio	987,5	988,8	-1,3	986,9	0,6	986,8	0,7
Faraday\ Vernadsky	987,6	989,1	-1,5	987,2	0,4	986,6	1,1
Rothera	986,3	987,8	-1,5	985,6	0,7	985,5	0,8
San_Martin	986,8	987,0	-0,2	986,3	0,4	987,0	-0,2
Середнє значення	987,9	988,9	-1,1	987,7	0,3	987,3	0,6