

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА

Факультет гідрометеорології і екології

Кафедра метеорології та кліматології

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

ДИНАМІКА БАРИЧНОГО РЕЖИМУ СХІДНОЇ АНТАРКТИКИ DYNAMICS OF THE BARIC REGIME OF THE EAST ANTARCTICA

Виконав студент 2 курсу очної форми навчання
спеціальності 103 «Науки про Землю»
Освітньо-професійна програма Метеорологія і кліматологія

Заворотний Денис Георгійович

(прізвище, ім'я, по-батькові здобувача)

Керівник к. геогр. н., доц. Галич Є.А.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент д. геогр. н., доц. Кирнасівська Н.В.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Рекомендовано до захисту:
Протокол засідання кафедри
метеорології та кліматології
№ ___ від ____ . ____ . 2024 р.

Завідувач кафедри
ПРОКОФ'ЄВ Олег
(підпис) (прізвище, ім'я)

Захищено на засіданні ЕК № 2
протокол № __ від ____ . ____ . 2024 р.

Оцінка _____ / _____ / _____
(за національною шкалою/шкалою ECTS/ бали)

Голова ЕК
ТАРНАВСЬКА Олена
(підпис) (прізвище, ім'я)

Одеса 2024

АНОТАЦІЯ

Тема: «Динаміка баричного режиму східної Антарктики»

Автор: Заворотний Денис Георгійович.

Актуальність: Дослідження метеорологічного режиму Антарктиди та його динаміки в світлі сучасних кліматичних змін, починаючи з середини минулого століття, проводяться вченими багатьох країн під егідою Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО).

Метою даної роботи є дослідження особливостей статистичної структури та багаторічної динаміки атмосферного тиску на станціях східної Антарктиди.

Задачі, які були розв'язані відповідно до поставленої мети полягали у наступному:

- провести статистичний аналіз часових рядів атмосферного тиску.
- дослідити динаміку атмосферного тиску та атмосферної циркуляції.
- визначити приховані періодичності в часових рядах атмосферного тиску та провести процедуру їх згладжування.

Об'єкт дослідження – баричний режим Антарктиди.

Предмет дослідження – середньомісячні значення атмосферного тиску на антарктичних станціях.

Методи дослідження – фізико-статистичний та кліматичний аналіз.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у дослідженні динаміки кліматичних показників атмосферного тиску за даними багаторічних спостережень.

Практичне значення отриманих результатів. Розраховані статистичні характеристики рядів атмосферного тиску та досліджено динаміка циркуляційних процесів, які можуть бути використані у вирішенні багатьох прикладних задач, а також при розробці фізико-статистичних моделей довгострокових прогнозів погоди для Південної полярної області.

Магістерська робота в обсязі 62 сторінки складається зі вступу, 3 розділів, висновків, перелік використаних джерел з 13 джерел, а також містить 24 рисунки та 11 таблиць.

Ключові слова: атмосферний тиск, максимальний тиск, мінімальний тиск, статистичні оцінки, динаміка часових рядів атмосферного тиску, тренди, періодичності.

ANNOTATION

Theme: "Dynamics of the baric regime of the East Antarctic"

Author: Zavorotnyi Denys Georgiyovych.

Relevance: Studies of the meteorological regime of Antarctica and its dynamics in the light of modern climate changes, since the middle of the last century, have been conducted by scientists from many countries under the auspices of the World Meteorological Organization (WMO).

The purpose of this work is to study the peculiarities of the statistical structure and long-term dynamics of atmospheric pressure at stations in East Antarctica.

The tasks that were solved in accordance with the set goal were as follows:

- conduct a statistical analysis of atmospheric pressure time series.
- to study the dynamics of atmospheric pressure and atmospheric circulation.
- determine the hidden periodicities in the time series of atmospheric pressure and carry out the procedure of their smoothing.

The object of research is the baric regime of Antarctica.

The subject of the study is the average monthly values of atmospheric pressure at Antarctic stations.

The research methods are physical-statistical and climatic analysis.

The scientific novelty of the obtained results lies in the study of the dynamics of climatic indicators of atmospheric pressure based on the data of long-term observations.

Practical significance of the obtained results. The statistical characteristics of atmospheric pressure series were calculated and the dynamics of circulation processes were studied, which can be used in solving many applied problems, as well as in the development of physical and statistical models of long-term weather forecasts for the South Polar region.

The 62-page master's thesis consists of an introduction, 3 chapters, conclusions, a list of used sources from 13 sources, and also contains 24 figures and 11 tables.

Keywords: atmospheric pressure, maximum pressure, minimum pressure, statistical estimates, dynamics of atmospheric pressure time series, trends, periodicities.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ОСОБЛИВОСТІ ЦИРКУЛЯЦІЙНИХ АТМОСФЕРНИХ	
ПРОЦЕСІВ ПІВДЕННОЇ ПІВКУЛІ.....	
1.1 Загальні особливості атмосферних процесів. Центри дії атмосфери.....	6
1.2 Особливості атмосферних процесів східної Антарктики	12
2 ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНОЇ СТРУКТУРИ ПОЛІВ	
АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ	
2.1 Характеристика вихідної інформації.....	14
2.2 Алгоритм дослідження статистичної структури.....	16
2.3 Статистичний аналіз часових рядів атмосферного тиску.....	19
2.4 Особливості полів середніх значень та мінливості приземного атмосферного тиску.....	31
3 ДИНАМІКА АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ СХІДНОЇ	
АНТАРКТИКИ.....	
3.1 Динаміка атмосферного тиску.....	39
3.2 Приховані періодичності в часових рядах атмосферного тиску..	44
3.3 Особливості структури згладжених рядів атмосферного тиску	50
ВИСНОВКИ.....	58
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	61

ВСТУП

Зміни клімату, які відбувалися протягом минулого століття, привели до значного зростання зусиль фахівців у дослідженні процесів взаємодії різних ланок кліматичної системи, особливо найбільш енергоємних з них – атмосфери і океану. Незважаючи на значні успіхи, досягнуті світовим гідрометеорологічним науковим співтовариством, залишається ще багато нез'ясованих питань щодо особливостей структури та динаміки великомасштабних атмосферних процесів, з одного боку, і чинників їх визначають, з іншого. Особливо це відноситься до Південній півкулі, велика частина якого покрита Південним океаном і в якому розташовується найбільш значний за площею та інтенсивності «холодильник» - Антарктида.

Дослідження гідрометеорологічного режиму Антарктиди і його впливу на циркуляцію атмосфери, проводяться вченими багатьох країн під егідою Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО). У ці дослідження активно включилися і українські вчені, після того як Україна отримала у володіння антарктичну науково-дослідницьку станцію Академік Вернадський, яка розташовується в районі Антарктичного півострова.

У Резолюції Міжнародної конференції «Україна в Антарктиці – національні пріоритети та глобальна інтеграція (Київ, 23-25 травня 2008 р)» вказується, що «...наукові дослідження в Антарктичному регіоні є серед головних пріоритетів світової науки... Продемонстрований на Конференції науковий потенціал українських дослідників та запропоновані учасниками з різних країн напрямки міжнародної кооперації, дозволяють з оптимізмом дивитися на перспективу участі України у майбутніх антарктичних дослідженнях».

1 ОСОБЛИВОСТІ ЦИРКУЛЯЦІЙНИХ АТМОСФЕРНИХ ПРОЦЕСІВ ПІВДЕННОЇ ПІВКУЛІ

1.1 Загальні особливості атмосферних процесів. Центри дії атмосфери

Кліматичні особливості в Південній півкулі більшою мірою формуються під впливом Антарктиди. Особливості цього континенту визначаються його навколо полюсним положенням, великими абсолютними висотами і властивостями сніжно-льодяної поверхні. Сукупність цих умов призводить до неповторного ніде більше на земній кулі поєднань географічних умов, атмосферної циркуляції і сонячної радіації-чинників, під впливом яких формується клімат [1-4].

В результаті сильного вихолодження в центрі материка створюється зона підвищеного тиску-антарктичний антициклон. Він визначає природні умови Центральної Антарктиди.

До теперішнього часу основні риси великомасштабної циркуляції атмосфери Південної полярної області вивчені досить добре, причому відомо, що вона в цілому простіше, ніж в Північній півкулі. Західно-східне перенесення в помірних широтах Південної півкулі інтенсивніше, з наявністю поясу низького тиску в Південній полярній області (ППО), що обумовлює меншу інтенсивність антициклонального блокування. Практично усі баричні утворення переміщуються тут над океанською поверхнею, обмеженою з крайнього півдня льодовиковим бар'єром або гірськими системами Антарктиди. Як правило, кліматичні улоговини (циклони) орієнтуються до увігнутостей берегової лінії Антарктиди (моря Роса, Беллінсгаузена, Уедделла), а гребні - до опуклостей (Антарктичний півострів, Земля Елсуорта, Земля Мері Берд, Земля Королеви Мод).

Зміну клімату в Південній полярній області пов'язують передусім зі зміною в атмосферній циркуляції. Детальне вивчення регіонального клімату

стало можливим з другої половини 1950-х років, коли за час МГГ 1957-1959 рр. сформувалася мережа постійно діючих станцій. За результатами досліджень Г.М. Таубер який уперше охарактеризував центри дії атмосфери (ЦДА) в поясі зниженого тиску навколо Антарктиди, С.С. Гайгеров уперше описав вертикальну будову тропосфери і нижньої стратосфери, а також були встановлені умови формування стокових вітрів (Атлас Антарктики, 1969).

Деталізація атмосферних процесів з порівнянням особливостей в обох півкулях землі проведена Б.Л. Дзердзеевським у 1977 р. Він встановив зв'язок атмосферних процесів Північної і Південної півкуль, а також обґрунтував гляціолостичні ефективні "елементарні циркуляційні механізми", які сприяють акумуляції і абляції твердих опадів, що актуально для полярних і гірських районів. Одним з перших він вказав, що у "зв'язку з багаторічними коливаннями ЗЦА треба мати набір середніх кліматичних даних по циркуляційним епохам, оскільки одна середня багаторічна величина за увесь період спостережень будь-якої метеорологічної величини, приведена в довідниках, не цілком характеризує особливості сучасного клімату". Це положення особливо актуально зараз, коли циркуляційні процеси в епоху потепління значно змінилися в порівнянні з серединою ХХ століття. На їх фоні у ряді регіонів неодноразово повторювалися рідкісні погодні явища, вірогідність виникнення яких в середньому дуже мала. У типізації Б.Л. Дзердзеевського виділений тип меридіональної південної циркуляції з незвичайним положенням циклону на полюсі, відсутністю блокуючих процесів-прообраз циркумполярній циркуляції, яка властива атмосфері Південної півкулі. Узагальнення форм циркуляції склало одну з перших типізацій синоптичних процесів в Антарктиці, виконана Г.Я. Рижаківим по традиційних методиках Г.Я. Вангенгейма. Усі атмосферні процеси Південної півкулі узагальнені в три форми циркуляції : зональну і дві меридіональні. На відміну від Північної півкулі, на середньому рівні в Південній півкулі переважає синоптична хвиля з хвилевим числом 4 по кількості улоговин і гребенів. Вже на сучасному етапі дослідження це було підтверджено,

причому відзначається зміна переважаючої хвилевої структури між різними кліматичними епохами.

Впродовж багатьох років учені дотримувалися теорії льодовикового антициклону, висуненою В. Хоббсом [5]. Ця теорія припускала розвиток в нижніх шарах атмосфери стійкого антициклону, що супроводжується стоком холодного повітря від центру, а над ним - полярного циклону, в якому вітри спрямовані до центру. В. Мейнардус [6] представляв собі антициклон як розподіл тиску, характерний лише для нижніх шарів атмосфери. Він визначив межу між антициклоном і полярним циклоном на висоті 2 км над рівнем моря. Оскільки внутрішні області Антарктиди значно вищі за цей рівень, високий тиск не поширюється на увесь материк, і, отже, антарктичний антициклон існує у вигляді кільця лише в низьких прибережних районах материка.

Сучасні дослідження показують, що антициклон над Антарктидою займає шар невеликої потужності, і перехід льодовикового антициклону у вище розміщений циклон відбувається на висоті близько 2-3 км.

В області антарктичного антициклону спостерігаються вітри східної складової, а в циклоні – західною. Південний полярний антициклон - це явище, що періодично повторюється, підкоряється більшій частині закономірностей, властивих системам високого тиску. Антициклони в 60-70% випадків зосереджені над східною Антарктидою. Антарктичний антициклон – це мінлива і нестійка особливість циркуляції атмосфери Антарктики.

Дослідження тропосферної циркуляції стали пріоритетними упродовж останніх десятиліть у зв'язку з тим, що вона в цілому пояснює сучасну мінливість клімату на різних часових масштабах (в межах століття і окремих десятиліть). Потепління у ряді районів помірних і полярних широт північної півкулі, включаючи Атлантико-Європейський сектор, Арктику і центральний Сибір, пов'язане зі змінами положення і інтенсивності центрів дії атмосфери (ЦДА) [7]. Найбільш інтенсивне потепління в Південній півкулі

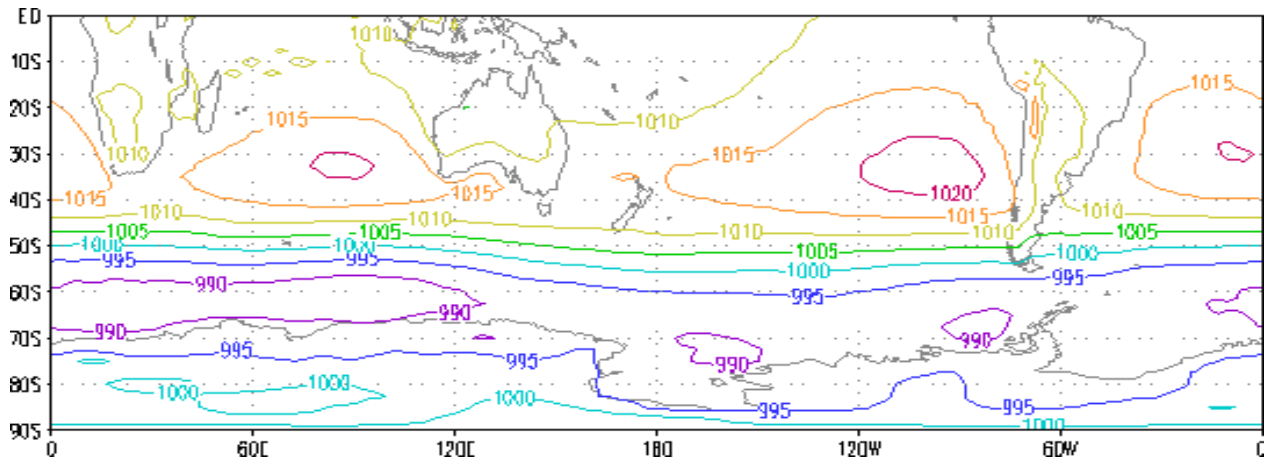
zareєстроване в районі Антарктичного півострова, де розташовано найбільша кількість працюючих станцій в межах Південної полярної області (ППО).

Цікаві результати зіставлення середніх полів тиску і їх аномалій за даними реаналіза NCEP/NCAR і ВНИГМИ-МЦД [8]. Визначено, що в помірних широтах Південної півкулі існує більше виражене західно-східне перенесення, ніж в північній півкулі, з поясом низького тиску уздовж 60-70° півд.ш., причому північна частина Антарктичного півострова (Земля Грейама) розташовується в зоні його впливу. За даними реаналіза, усередненим за 1960-1990 рр., у січні в тропічній зоні південної півкулі виражені три центри підвищеного тиску з центральною ізобарою 1020 гПа, а в червні Атлантичний максимум з'єднується з Індійським, причому якщо середній тиск залишається тим же, то площа максимумів значно зменшується (рис. 1.1).

Згідно з середніми даними ВНИГМИ-МЦД за аналогічний період, упродовж обох сезонів чітко проявляються чотири тропічні центри дії [9, 10]. Найбільш стабільний ЦДА в східній частині Тихого океану, оскільки "західний" ЦДА над Тихим океаном може не проявлятися в окремі сезони. У січні атмосферний тиск в ЦДА над океанами однаковий - 1020 гПа, а в зимовий період найбільш інтенсивним стає Індійський ЦДА, середні значення тиску в нім досягають 1027 гПа, які на 7 гПа вище, ніж за даними реаналіза. Другим по інтенсивності в червні являється Південно-атлантичний ЦДА (1024 гПа), значення якого перевищує на 4 гПа, визначеного за даними реаналіза. Відповідно зональні градієнти на північ від 40° півд.ш. різкіше виражені, ніж за даними реаналіза. Найбільш активний циклогенез спостерігається в районі між 40-70° півд.ш.

В середньому, в червні, за даними реаналіза 1960-1990 рр., відмічені дві великі області низького тиску : над морем Роса і в східному секторі ППО, а в січні виділяються кліматичні циклони над морями Беллінгаузена і Роса, з центральними ізобарами 990 гПа.

А



Б

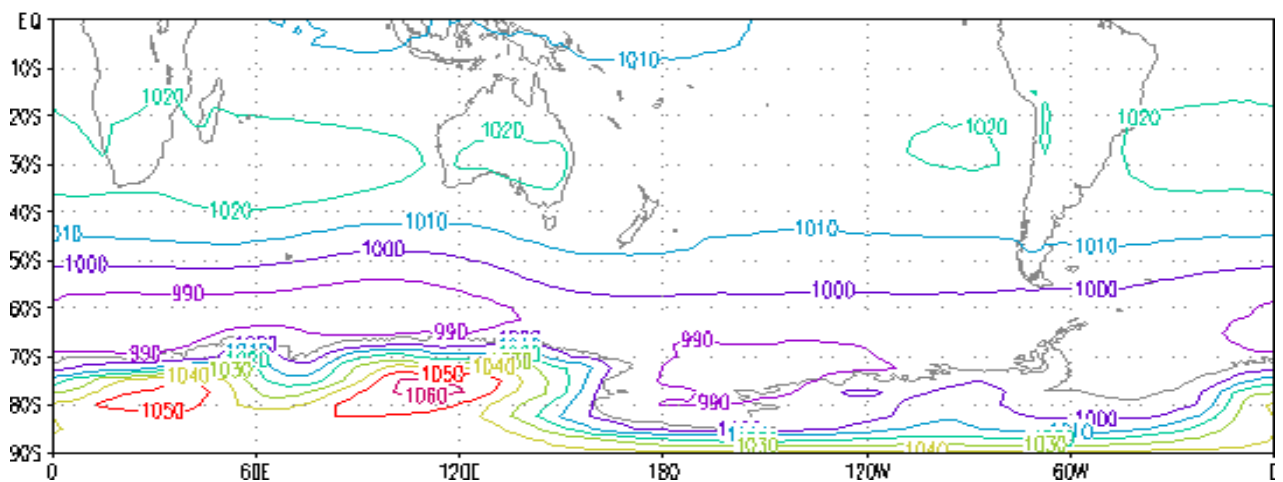


Рисунок 1.1 – Середні поля атмосферного тиску поверхні 1000 гПа в південній півкулі за період 1960 - 1990 (А - січень, Б - липень) [9]

Як взимку, так і влітку, в районі Антарктичного півострова формується барична улоговина або мало виражений гребінь. На картах ВНИГМИ-МЦД кліматичні циклони над приантарктичними морями виражені в обидва сезони, з центральною ізобарою 985 гПа в червні і 987 гПа в січні. За результатами робіт Разанової І.В. були визначені положення трьох циклонних ЦДА за 44 роки спостережень (1957-2000): Південно-атлантичний (69° півд.ш., 30° зах.д.), середнє значення якого 982 гПа, Південно-

тихоокеанський з середнім значенням 982 гПа (71° півд.ш., 160° зах.д.) і Індоокеанський ЦДА з середнім значенням 981 гПа (64° півд.ш., 99° сх.д.).

Виражене зростання баричних градієнтів у береговій зоні Антарктиди і позитивні аномалії над східною частиною Антарктиди, що проявляються в червні за даними реаналіза, не відображають реальної картини циркуляції. Це пов'язано з неадекватністю первинного відновлення поля тиску у зв'язку зі значними висотами цього району і помилками в процедурі приведення тиску до рівня моря в умовах інверсії температури, інтенсивність якої максимальна взимку. Дані реаналіза, усереднені за період 1977-1998 рр. і за 1957-1977 рр. [9, 10], показали деяке зниження середніх значень тиску в ППО, який найбільш інтенсивно проявляється в районах кліматичних циклонів над морями Роса (- 4 гПа) і Уедделла (рис. 1.2), що повинне свідчити про деяке посилення циклонної активності в цьому районі.

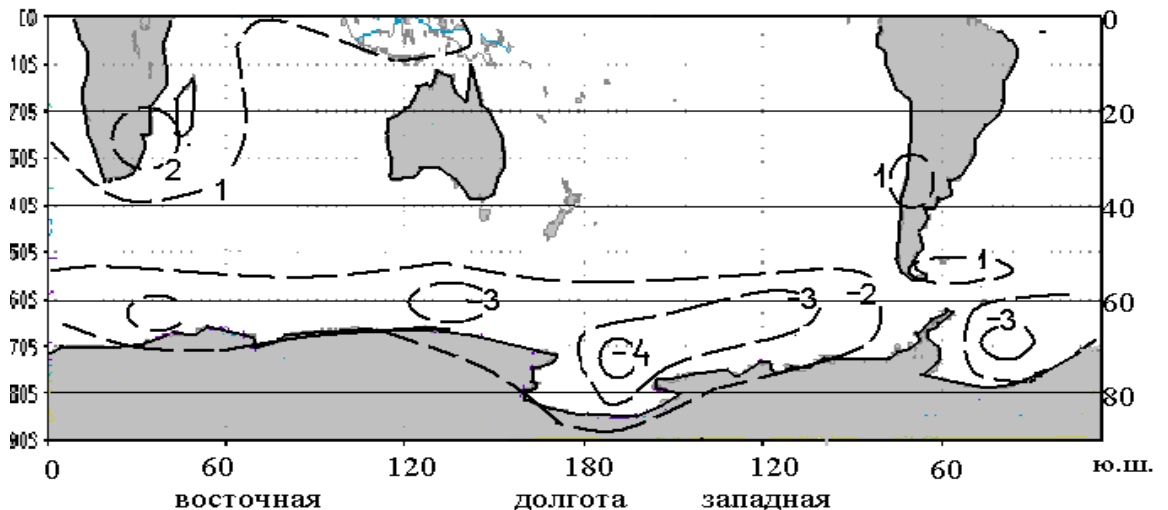


Рисунок 1.2 – Аномалії атмосферного тиску в Південній півкулі, 1977-1998 рр., порівняно з періодом 1957-1977 рр. [9]

Позитивні аномалії тиску відмічені тільки для Південної Африки і окремих районів Південної Америки. У низьких широтах Тихого океану, де розвивається явище Ель-Ніньо, відсутні які-небудь аномалії в полі тиску. На жаль, це виведення неможливо порівняти з даними ВНИГМИ-МЦД у зв'язку

з їх відсутністю. Проте ці результати узгоджуються із загальним результатом про перехід до негативної тенденції тиску в ЮПО з початку 1980 рр., як за даними інструментальних вимірів, так і інших масивів реаналіза ERA - 40 і ECMWF, у тому числі і за даними геопотенціальних висот середньої тропосфери.

1.2 Особливості атмосферних процесів східної Антарктики

Циркуляційні процеси в Антарктичних районах більш стабільні у часі і просторі, але за характером та інтенсивністю відрізняються від процесів в Арктиці, що зумовлено різними фізико-географічними характеристиками цих полярних регіонів: Арктика – це водна або льодяна рівнина, яка оточена континентами, а Антарктида – суша, яка покрита шаром льоду в 3-4 км і оточена з усіх боків теплими водними поверхнями. До того ж річний радіаційний баланс майже на всьому материка від’ємний.

Над Антарктидою, безумовно, переважним є режим високого тиску. Але навіть тут антициклону не властива надзвичайна стабільність. На середніх картах поверхні 700 гПа, яка розташована приблизно на середній висоті материка, над Східною Антарктидою в усі місяці року спостерігається антициклон. Взимку в більш високих шарах атмосфери відбувається перехід до циркумполярного циклонічного вихору, як і в Північній півкулі. Над океаном навколо Антарктиди інтенсивно розвинена циклонічна діяльність. Материк оточений поясом найнижчого на Земній кулі атмосферного тиску. Середній за рік тиск на рівні моря у цьому поясі становить 990-985 гПа. Узбережні райони Антарктиди між широтами 60 і 70 ° є «гніздом» для багатьох активних депресій і менш масштабних областей низького тиску. Ця зона відома як циркумполярна улоговина.

Поле тиску в полосі широт 40-60 ° півд.ш. має зональний характер. Це пов’язано з тим, що тут відсутні материки. Тому циклони і антициклони

розвиваються над океаном на будь-яких меридіанах. При русі циклонів на південний схід, а антициклонів на північний схід у зазначеній зоні області високого та низького тиску взаємно гасяться, і ізобари тут розташовані зонально. Але кінцеві стадії розвитку циклонів сприяють формуванню кільця областей низького тиску навколо Антарктиди, а антициклонів – кільця субтропічного поясу високого тиску. На материк Антарктиди циклони проникають переважно в західній його частині, де берегова лінія достатньо зрізана і є затоки (моря), які далеко вриваються у материк. У Східну Антарктиду циклони потрапляють досить рідко.

Вітри над Антарктидою, як і над Арктикою, спрямовані від полюса до помірних широт. Під дією сили Коріоліса південні вітри переходять у південно-східні. Таким чином, у полярних областях Південної та Північної півкуль у нижній тропосфері відбувається винос арктичного і антарктичного повітря на периферію, що сприяє ще більшому відособленню в кліматичному відношенні полярних країн, своєрідність яких, головним чином, визначається особливостями радіаційного режиму.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНОЇ СТРУКТУРИ ПОЛІВ АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ

2.1 Характеристика вихідної інформації

В якості вихідних даних для дослідження використано середньомісячні значення атмосферного тиску на станціях східної частини Антарктичного континенту, отримані з бази даних Британського Антарктичного центру (табл. 2.1, рис 2.1).

У таблиці 2.1 представлені п'ять станцій, що використовувались при дослідженні динаміки атмосферного тиску східної частини Антарктичного континенту, також вказані основні характеристики цих станцій: дата заснування, широта, довгота та період спостережень.

Таблиця 2.1 – Станцій східної частини Антарктичного континента

№	Назва станції	Дата заснування	Широта	Довгота	Період спостережень
1	Дейвіс	1957	68°34' пд. ш.	77°58' сх. д.	1957-2024
2	Сьова Syowa	1957	69°00' пд. ш. .	39°35' сх. д	1957-2024
3	Кейсі Casey	1960	66°17' пд. ш..	110°31' сх. д	1960-2024
4	Мак-Мердо McMurdo	1956	77°51' пд. ш. .	166°40' сх. д	1956-2024
5	Восток	1958	78°27' пд. ш. .	106°50' сх. д	1958-2024

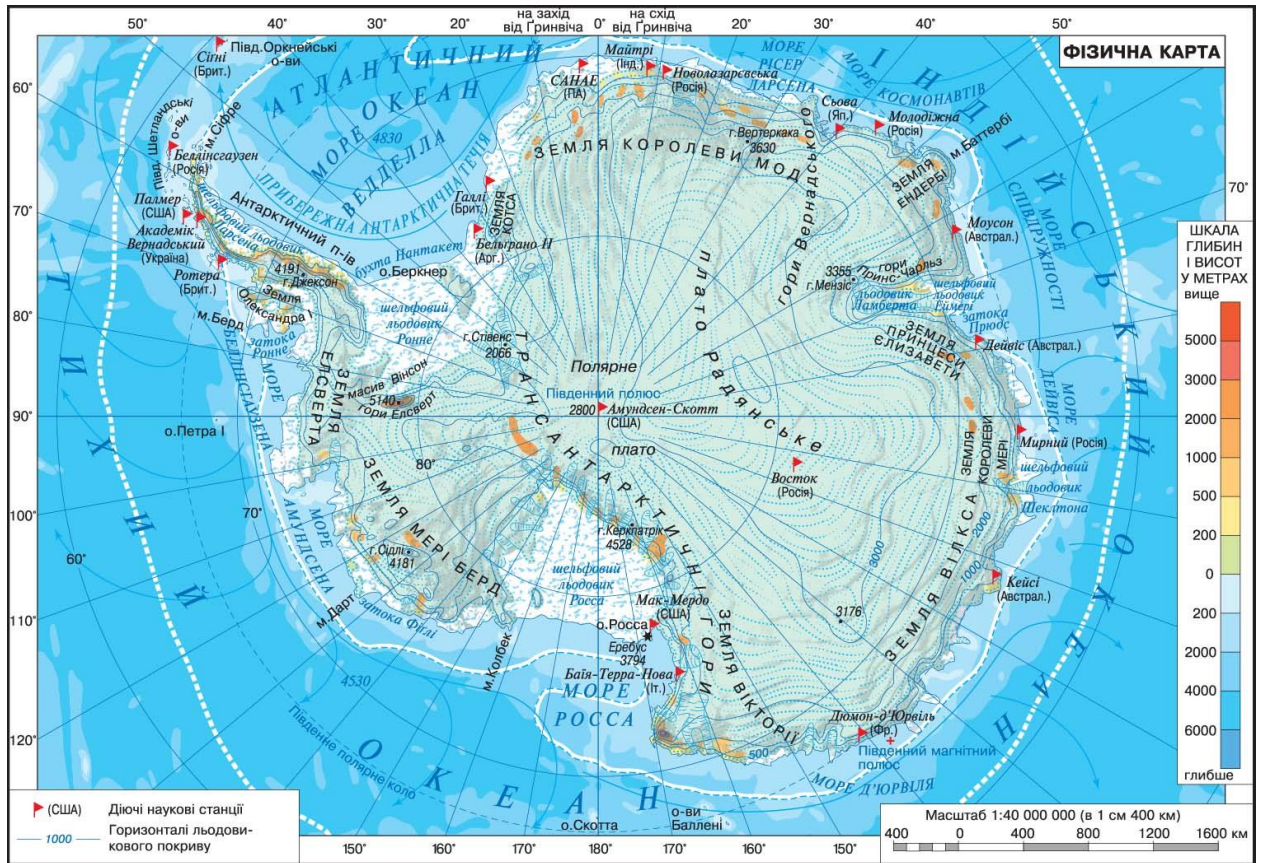


Рисунок 2.1 – Карта Антарктиди

Дослідницька станція Дейвіс – діюча полярна науково-дослідна антарктична станція Австралії в Східній Антарктиді на узбережжі затоки Прюдс (мис Співдружності). Розташована на Землі Принцеси Єлизавети на Вестфолд-Гілз.

Сьова - японська цілорічна науково-дослідна станція в Антарктиді. На Сьові з моменту відкриття постійно ведуться метеорологічні спостереження, крім того, проводиться ряд спостережень з геофізики, гляціології, океанології, біології і запуск геофізичних ракет.

Кейсі – діюча постійна (на протязі всього року) науково-дослідна антарктична станція Австралії, що була створена у 1964–1969 роках. Розташована у затоці Вінсенеса, разом із двома іншими австралійськими станціями на Землі Вілкса.

Мак-Мердо – діюча постійна науково-дослідна антарктична станція США, що була створена 1955 року.

Це найбільша антарктична станція, розташована на півострові Хат-Поїнт, що на Острові Росса, на березі протоки Мак-Мердо. За 32 км від станції знаходиться вулкан Еребус. Керується Антарктичною програмою США та є логістичним центром програми.

Науково-дослідна станція Восток розташована в центральній частині антарктичного континенту, на відстані 1253 км від Південного полюса і за 1260 км від найближчого узбережжя моря. Розташований поблизу Південного магнітного полюса Землі і є одним з найкращих місць для дослідження змін у магнітному полі нашої планети.

2.2 Алгоритм дослідження статистичної структури

В подальших наших дослідженнях були отримані основні значення статистичних оцінок моментів розподілу приземної температури повітря.

Методами дослідження є загальні статистичні методи обробки вибіркового статистичного сукупностей випадкових величин.

На основі статистичних сукупностей можна знайти статистичні оцінки. Відомо, що властивості випадкових величин можуть характеризуватися початковими (ν), центральними (μ) та основними (r) моментами [11].

Оцінкою першого початкового моменту є середнє значення

$$\hat{\nu}_1 = \hat{m}_x = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i m_i; \quad (2.1)$$

або

$$\hat{\nu}_1 = \hat{m}_x = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i p_i; \quad (2.2)$$

Оцінкою центрального моменту є середнє квадратичне відхилення

$$\mu_2 = \hat{\sigma}_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - \bar{x})^2 * m_i. \quad (2.3)$$

Оцінку дисперсії випадкової величини X (це вимоги, яким повинні задовольняти статистичні оцінки параметрів) розраховують за формулою і позначають S_x^2 [11]:

$$S_x^2 = \frac{n}{n-1} \hat{\mu}_2. \quad (2.4)$$

Статистичну оцінку середнього квадратичного відхилу цієї величини можна визначити, як

$$S_x = \sqrt{S_x^2}. \quad (2.5)$$

Статистична оцінка основного моменту для випадкової величини X розраховується за формулою:

$$\hat{r}_l = \frac{\hat{\mu}_l}{S_x^l}. \quad (2.6)$$

Очевидно, що $r_1 = 0$, та $r_2 = 1$.

Тому обчислюються тільки статистичні оцінки третього та четвертого моменту:

$$\hat{r}_3 = \frac{\hat{\mu}_3}{S_x^3}; \quad (2.7)$$

$$\hat{r}_4 = \frac{\hat{\mu}_4}{S_x^4}. \quad (2.8)$$

Оцінка третього основного моменту характеризує асиметрію кривої розподілу інтервальних частот і має сенс коефіцієнта асиметрії

$$\hat{r}_3 = As. \quad (2.9)$$

Як відомо, крива розподілу має правосторонню асиметрію за умови $As > 0$, і лівосторонню – за умови $As < 0$. Крива розподілу є симетричною відносно центру розподілу, якщо $As = 0$ [14].

Крім асиметрії, крива розподілу, порівняно з кривою, може бути витягнутою або сплюсненою. Мірою цього є коефіцієнт ексцесу E [11]:

$$E = \hat{r}_4 - 3. \quad (2.10)$$

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

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

Інколи при статистичних дослідженнях метеорологічних рядів необхідно визначити їх модальне значення M_o та медіану M_e . нормального розподілу

Медіану розраховують за формулою [9]:

$$M_e = x_e + \frac{c * (\frac{n}{2} - m^*)}{m_e}, \quad (2.11)$$

де

n – об'єм вибірки.

m^* - накопичена частота до медіанного інтервалу;

x_e, c, m_e – відповідно початок, довжина та частота медіанного інтервалу.

Модальне значення випадкової величини, що трапляється найчастіше в сукупності спостережень. Це таке значення x , в якому функція мас ймовірностей набуває максимального значення.

2.3 Статистичний аналіз часових рядів атмосферного тиску

Для проведення статистичного аналізу часових рядів атмосферного тиску були розраховані значення статистичних оцінок моментів розподілу середньомісячних значень атмосферного тиску на станціях Девіс, Сьова, Кейсі, Мак-Мердо та Восток.

В таблицях 2.2 – 2.6 представлені результати розрахунків та значення статистичних оцінок моментів середньомісячних значень атмосферного тиску на антарктичних станціях східної Антарктики.

В таблиці 2.2 представлені результати розрахунків та значення статистичних оцінок моментів розподілу середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Дейвіс за період 1957-2024 р.р.

Як видно з табл. 2.2, в середньому за рік найбільший атмосферний тиск спостерігається в червні і досягає 990,2 гПа, послаблюється в перехідні сезони. В жовтні значення атмосферного тиску зменшуються до 983,0 гПа, а в березні до 986,3 гПа. Максимальні значення тиску спостерігаються в липні і досягають 1006,5 гПа, а найменші у вересні 972,2 гПа.

Щодо значень середньоквадратичних відхилень середньомісячних значень атмосферного тиску, то треба відмітити, що взимку вони мають найбільші значення і в липні досягають 5,4 гПа, а найменші – в березні 3,24 гПа.

Стосовно коефіцієнта асиметрії, треба відмітити, що впродовж січня-травня він має від'ємні значення, а значить крива розподілу має лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу. Впродовж червня – грудня він має додатні значення, а значить крива розподілу має правосторонню асиметрію відносно нормального розподілу.

Коефіцієнт ексцесу впродовж всього року, має як додатні так і від'ємні незначні значення, окрім липня, де ексцес досягає 2,19, тому крива розподілу є витягнутою відносно нормального розподілу.

В таблиці 2.3 наводяться значення статистичних оцінок моментів розподілу середньої місячної температури повітря на станції Сьова за період 1957-2024 р.р.

Таблиця 2.2 – Значення статистичних оцінок моментів розподілу атмосферного тиску на станції Дейвіс за період 1957-2024 р.р.

Місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
\bar{x} , гПа	989,2	987,5	986,3	987,4	988,6	990,2	986,7	984,7	983,2	983,0	986,0	988,3
X_{\max} , гПа	997,2	994,7	993,8	995,8	997,3	1001,9	1006,5	999,4	994,6	993,5	995,7	1001,0
X_{\min} , гПа	979,9	979,4	978,6	977,0	976,1	978,7	976,2	977,0	972,2	972,5	977,1	979,2
S_x , гПа	3,82	3,48	3,24	3,57	4,44	5,09	5,40	5,00	4,53	3,79	4,09	5,06
M_0 , гПа	986,6	985,8	988,2	984,9	989,0	996,9	986,4	980,8	981,2	985,9	983,4	995,2
M_e , гПа	989,3	987,5	986,7	987,8	989,0	989,8	986,7	983,6	982,8	982,8	986,0	987,3
$As=r_3$	-0,30	-0,03	-0,18	-0,26	-0,14	0,21	0,79	0,77	0,12	0,15	0,01	0,34
E	-0,37	-0,39	0,24	0,03	-0,06	-0,50	2,19	0,25	-0,28	0,82	-0,23	-0,54

Таблиця 2.3 – Значення статистичних оцінок моментів розподілу атмосферного тиску на станції Сьова за період 1957-2024 р.р.

Місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
\bar{x} , гПа	989,3	987,1	984,8	985,1	987,6	989,4	985,8	984,9	983,6	983,5	985,9	988,4
X_{\max} , гПа	995,6	995,8	991,3	992,5	998,4	1001,5	998,7	998,7	995,8	995,7	997,2	1003,2
X_{\min} , гПа	979,6	979,0	977,0	973,9	979,3	976,2	975,9	976,4	973,3	975,5	975,6	980,0
S_x , гПа	3,90	3,69	3,52	3,70	4,86	4,93	4,89	5,05	4,60	3,55	4,57	5,42
M_0 , гПа	988,8	985,8	988,5	988,2	989,6	987,6	986,5	988,3	980,4	984,6	991,3	987,9
M_e , гПа	989,6	987,1	985,2	985,4	988,2	990,0	985,9	983,9	982,2	983,3	986,0	988,1
$As=r_3$	-0,45	0,02	-0,28	-0,41	0,17	-0,50	0,25	0,52	0,34	0,96	0,06	0,47
E	-0,42	-0,60	-0,63	0,22	-0,66	0,48	-0,26	-0,11	-0,37	2,05	-0,17	-0,31

Таблиця 2.4 – Значення статистичних оцінок моментів розподілу атмосферного тиску на станції Кейсі за період 1960-2024 р.р.

Місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
\bar{x} , гПа	987,8	985,5	982,9	984,0	985,8	988,1	984,0	981,9	980,0	980,2	984,5	987,4
X_{\max} , гПа	995,4	995,8	991,3	994,5	997,0	1003,5	1002,5	998,2	994,0	991,2	994,7	998,5
X_{\min} , гПа	978,1	977,0	971,0	974,2	972,5	977,8	971,4	969,2	970,0	972,1	972,1	977,1
S_x , гПа	3,88	3,88	4,12	3,78	5,02	5,25	6,19	5,65	5,00	3,97	4,13	4,95
M_0 , гПа	986,4	989,3	982,4	985,1	984,9	983,5	982,9	979,9	974,0	978,4	987,8	984,0
M_e , гПа	987,8	985,1	982,8	984,4	985,6	988,6	983,3	980,9	979,8	980,2	984,9	987,0
$As=r_3$	-0,28	0,44	-0,38	0,16	-0,15	0,32	0,70	0,51	0,30	0,33	-0,27	0,19
E	-0,54	-0,05	0,42	0,41	-0,04	-0,12	1,48	0,69	-0,19	0,41	0,26	-0,77

Таблиця 2.5 – Значення статистичних оцінок моментів розподілу атмосферного тиску на станції Мак-Мердо за період 1956-2024 р.р.

Місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
\bar{x} , гПа	993,2	991,7	990,8	990,4	991,7	993,0	990,8	989,8	986,7	983,7	986,9	991,5
X_{\max} , гПа	1004,0	1005,3	998,2	1002,1	1003,8	1005,9	1007,7	1006,3	996,7	996,1	996,9	1007,4
X_{\min} , гПа	982,9	981,1	981,5	956,5	979,7	979,0	975,4	978,6	977,9	972,7	976,7	979,1
S_x , гПа	4,98	4,81	3,84	5,92	5,35	6,10	6,58	5,81	5,27	4,06	5,02	6,03
M_0 , гПа	994,7	992,1	996,0	994,5	991,4	997,0	986,7	988,8	990,1	979,9	984,4	996,9
M_e , гПа	993,0	992,1	991,0	990,2	991,4	993,6	990,8	989,7	986,7	984,2	987,1	991,4
$As=r_3$	0,03	0,17	-0,14	-2,70	0,03	-0,04	0,35	0,32	0,15	0,01	0,11	0,08
E	-0,55	0,28	-0,23	15,63	-0,09	-0,66	0,20	-0,04	-1,01	0,63	-0,77	-0,51

Таблиця 2.6 – Значення статистичних оцінок моментів розподілу атмосферного тиску на станції Восток за період 1958-2024 р.р.

Місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
\bar{x} , гПа	633,4	628,9	623,9	622,7	623,1	624,0	621,1	620,0	618,5	619,8	626,3	632,1
X_{\max} , гПа	642,1	642,3	633,1	630,3	634,4	634,0	633,0	634,8	633,3	631,1	635,1	644,8
X_{\min} , гПа	625,2	621,3	612,0	611,7	611,0	612,3	608,2	607,4	608,6	612,9	616,2	621,2
S_x , гПа	3,96	3,94	4,04	3,76	5,12	5,03	5,98	6,14	5,12	3,78	4,43	4,84
M_0 , гПа	636,2	628,1	622,4	625,5	622,3	631,4	622,3	622,8	614,1	620,0	623,3	632,7
M_e , гПа	633,4	628,2	624,6	622,5	622,4	623,7	621,5	620,3	618,7	619,5	625,7	632,1
$As=r_3$	0,06	0,86	-0,69	-0,21	-0,12	-0,11	-0,26	0,08	0,19	0,33	0,00	0,32
E	-0,88	1,83	1,24	-0,09	0,13	-0,52	-0,46	-0,36	-0,25	0,08	-0,32	-0,25

Як видно з табл. 2.3, в середньому за рік найбільший атмосферний тиск спостерігається в червні і досягає 989,4 гПа та січні 989,3 гПа, тиск на станції послаблюється в перехідні сезони. В жовтні значення атмосферного тиску зменшуються до 983,5 гПа, а в березні до 984,8 гПа. Максимальні значення тиску спостерігаються в червні і досягають 1001,5 гПа, а найменші – у вересні 973,3 гПа.

Щодо середньоквадратичних відхилень середньомісячних значень атмосферного тиску, то треба відмітити, що взимку вони мають найбільші значення і в серпні досягають 5,05 гПа, а також в грудні 5,42 гПа. Найменші значення середньоквадратичних відхилень спостерігаються в перехідні сезони в березні 3,52 гПа та в жовтні 3,55 гПа.

Коефіцієнти асиметрії впродовж більшої частини року має додатні значення, а значить крива розподілу має правосторонню асиметрію відносно нормального розподілу, тільки в січні, березні, квітні та червні вони від'ємні, а значить крива розподілу має лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу. Коефіцієнт ексцесу впродовж всього року, має як додатні так і від'ємні незначні значення, окрім жовтня, де ексцес досягає 2,05, тому крива розподілу є достатньо витягнутою відносно нормального розподілу.

В таблиці 2.4 наводяться значення статистичних оцінок моментів розподілу середньої місячної температури повітря на станції Кейсі за період 1960-2024 р.р.

Аналіз табл. 2.4 показав, що в середньому за рік найбільший атмосферний тиск спостерігається в червні і досягає 988,1 гПа та січні 987,8 гПа, тиск на станції Кейсі послаблюється в перехідні сезони. В вересні значення атмосферного тиску зменшуються до 980,0 гПа та в жовтні до 980,2 гПа. Максимальні значення тиску на станції Кейсі спостерігаються в червні і досягають 1003,5 гПа, а найменші – у вересні 970,0 гПа.

Щодо середньоквадратичних відхилень середньомісячних значень атмосферного тиску, то треба відмітити, що взимку вони мають найбільші значення і в липні досягають 6,19 гПа. Найменші значення середньоквадратичних відхилень спостерігаються весною та влітку, в жовтні 3,52 гПа та в січні-лютому 3,88 гПа.

Коефіцієнти асиметрії також впродовж більшої частини року має додатні значення, а значить крива розподілу має правосторонню асиметрію відносно нормального розподілу, тільки в січні, березні, травні та листопаді вони від'ємні, а значить крива розподілу має лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу. Коефіцієнт ексцесу впродовж всього року, має як додатні так і від'ємні незначні значення, окрім липня, де ексцес досягає 1,48, тому крива розподілу є достатньо витягнутою відносно нормального розподілу.

В таблиці 2.5 наводяться значення статистичних оцінок моментів розподілу середньої місячної температури повітря на станції Мак-Мердо за період 1956-2024 р.р.

Аналіз табл. 2.5 показує, що в середньому за рік найбільший атмосферний тиск спостерігається в січні і досягає 993,2 гПа та в червні 993,0 гПа, тиск на станції Мак-Мердо послаблюється в перехідні сезони. В жовтні значення атмосферного тиску зменшуються до 983,7 гПа. Максимальні значення тиску на станції Мак-Мердо відмічаються в липні і досягають 1007,7 гПа та у грудні 1007,4 гПа, а найменше значення атмосферного тиску у квітні 956,5 гПа.

Як видно з аналізу середньоквадратичних відхилень середньомісячних значень атмосферного тиску, то треба відмітити, що взимку вони мають найбільші значення і в липні досягають 6,58 гПа. Найменші значення середньоквадратичних відхилень спостерігаються в перехідні сезони в жовтні 4,06 гПа та в березні 3,84 гПа.

Коефіцієнти асиметрії також впродовж більшої частини року має додатні значення, а значить крива розподілу має правосторонню асиметрію відносно нормального розподілу, тільки в березні, квітні та червні вони від'ємні, а значить крива розподілу має лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу, найбільша асиметрія у квітні.

Коефіцієнт ексцесу впродовж всього року, має як додатні так і від'ємні незначні значення, окрім квітня, де ексцес досягає 15,63, тому крива розподілу є достатньо витягнутою відносно нормального розподілу.

В таблиці 2.6 наводяться значення статистичних оцінок моментів розподілу середньої місячної температури повітря на станції Восток за період 1958-2024 р.р.

Аналіз табл. 2.6 показує, що в середньому за рік найбільший атмосферний тиск спостерігається влітку і в січні досягає 633,4 гПа. Тиск на станції Восток послаблюється навесні і у вересні знижується до 618,5 гПа. Максимальні значення тиску на станції відмічаються у грудні 644,8 гПа, а мінімальне значення атмосферного тиску у серпні 607,4 гПа.

Аналіз середньоквадратичних відхилень середньомісячних значень атмосферного тиску показав, що взимку вони мають найбільші значення і в серпні досягають 6,14 гПа. Найменші значення середньоквадратичних відхилень спостерігаються в перехідні сезони в жовтні 3,78 гПа та в квітні 3,76 гПа.

Коефіцієнти асиметрії впродовж року має, як додатні так і від'ємні значення, а значить крива розподілу має правосторонню асиметрію відносно нормального розподілу та лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу у березні, квітні, травні, червні та липні. Найбільша правостороння асиметрія у лютому.

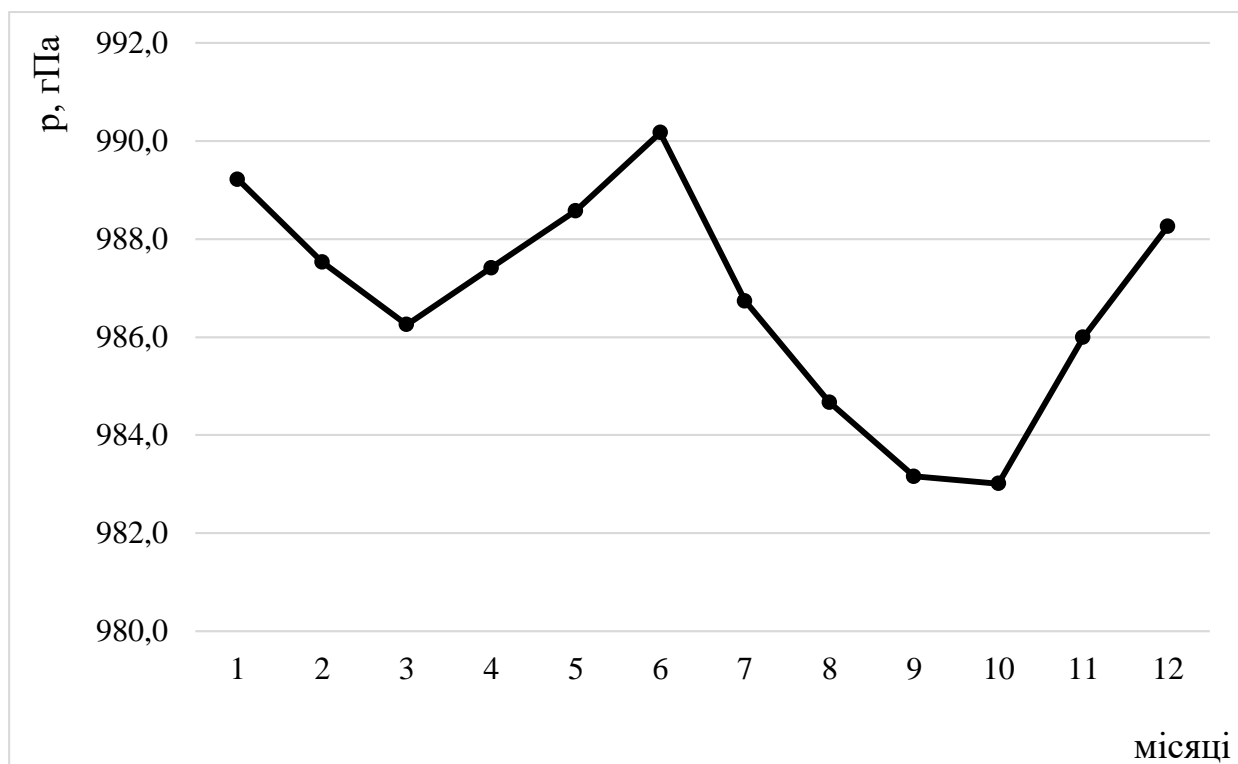


Рисунок 2.2 – Річний хід багаторічних середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Дейвіс

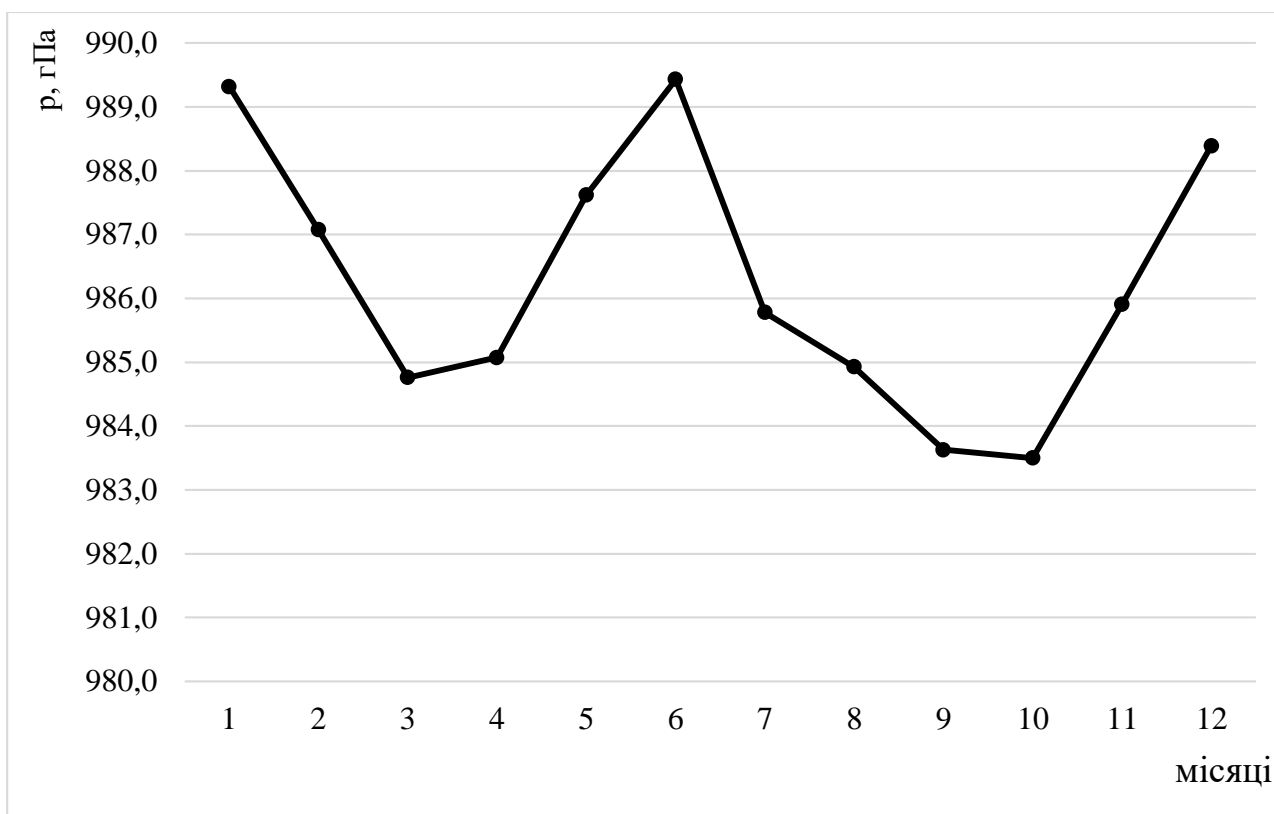


Рисунок 2.3 – Річний хід багаторічних середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Сьова

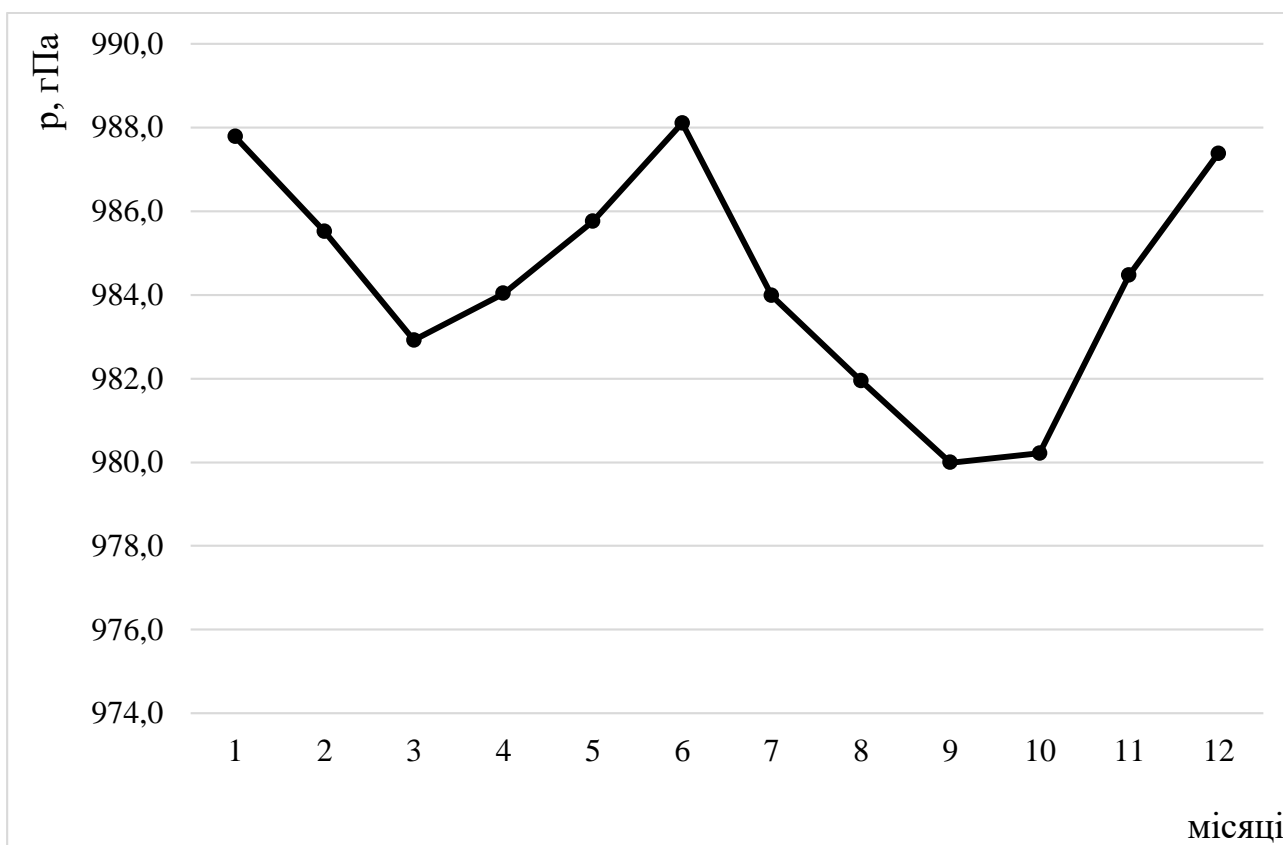


Рисунок 2.4 – Річний хід багаторічних середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Кейсі

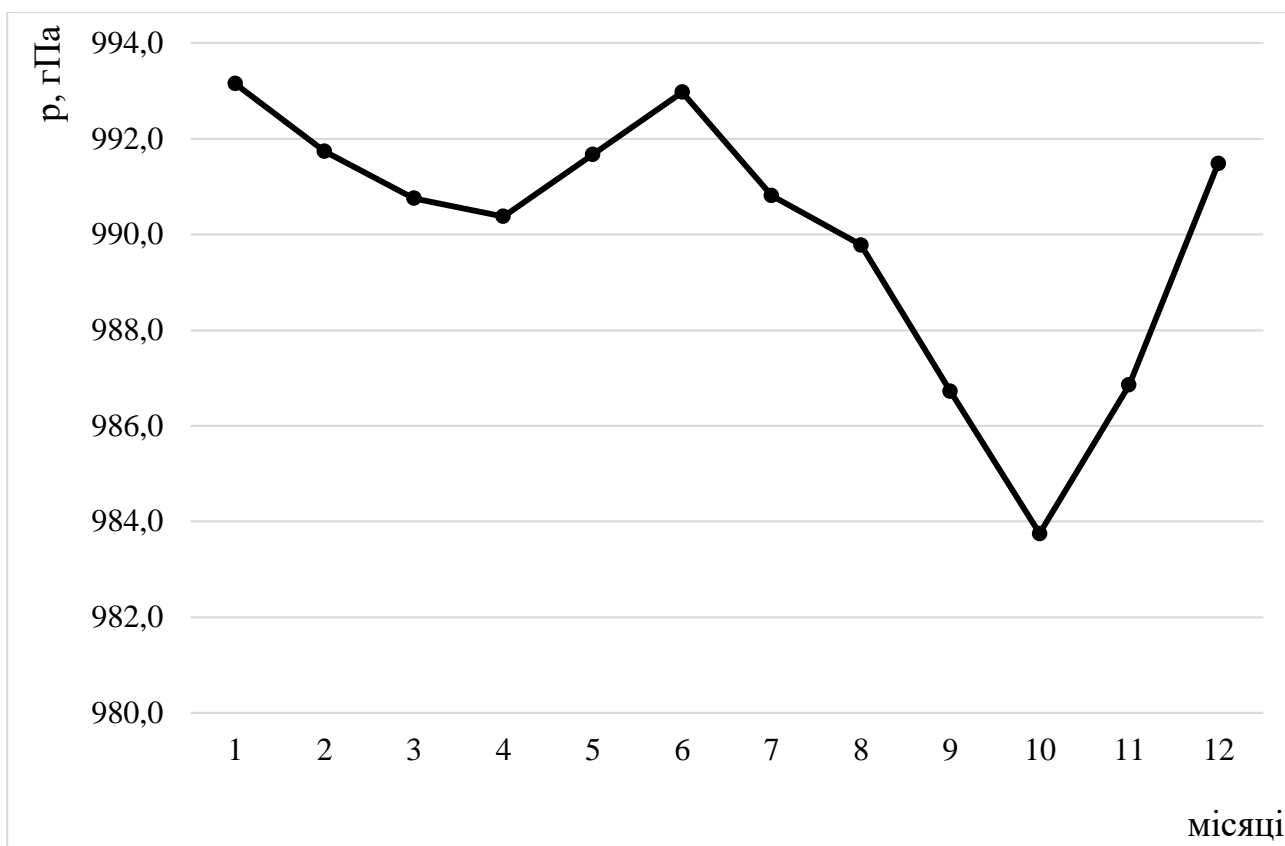


Рисунок 2.5 – Річний хід багаторічних середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Мак-Мердо



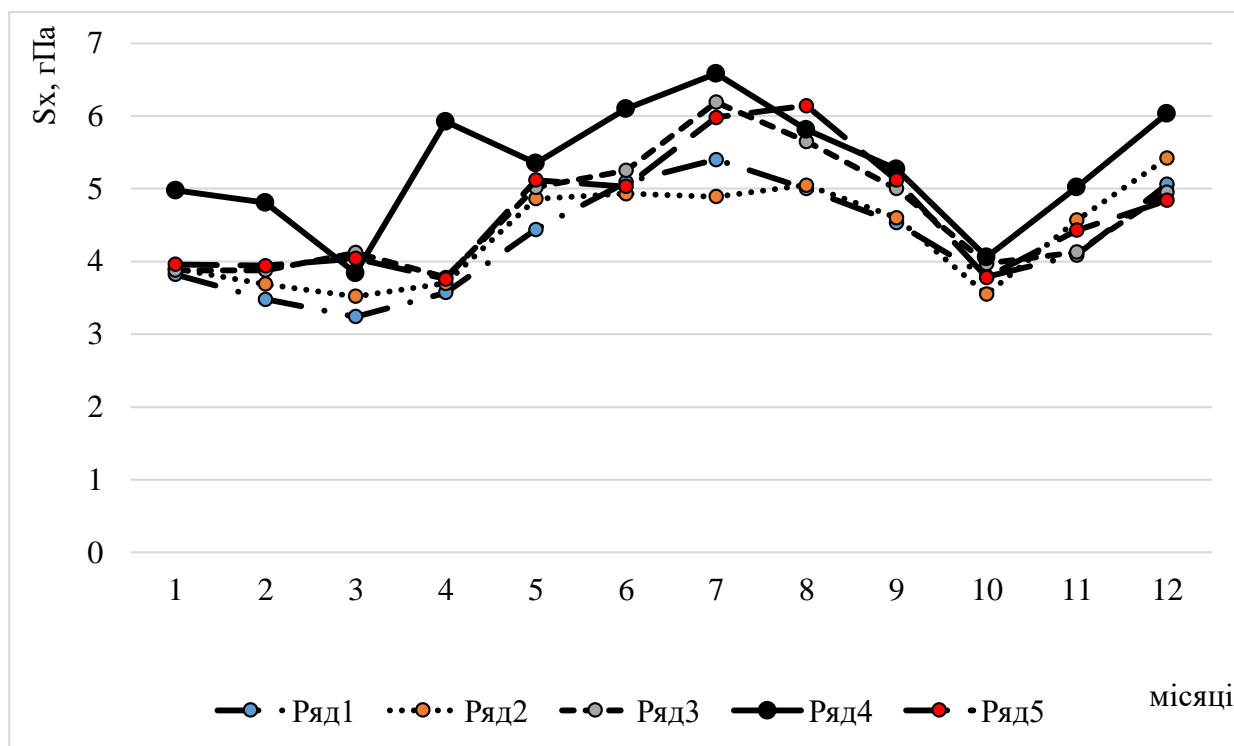
Рисунок 2.6 – Річний хід багаторічних середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Восток

Коефіцієнт ексцесу впродовж всього року, теж має як додатні так і від'ємні незначні значення, окрім лютого, де ексцес досягає 1,83 та березня 1,24, тому крива розподілу є витягнутою відносно нормального розподілу.

На рис. 2.2-2.6 представлений річний хід багаторічних середньомісячних значень атмосферного тиску на станціях, що досліджуються.

Як видно з графіків річного ходу середньомісячних значень атмосферного тиску на всіх станціях простежується значне зростання атмосферного тиску в червні та січні-грудні й зменшенням в перехідні сезони, окрім станції Восток, де посилення в червні незначне. Це може бути пов'язано з посиленням сталого Антарктичного антициклону у зимовий період та з посиленням стокових вітрів.

Загальними рисами володіють і річні розподіли значень середньоквадратичних відхилень атмосферного тиску на станціях східної Антарктики. Максимальні значення спостерігаються в зимовий період та в грудні, що може бути пов'язано із значною мінливістю атмосферного тиску в ці сезони.

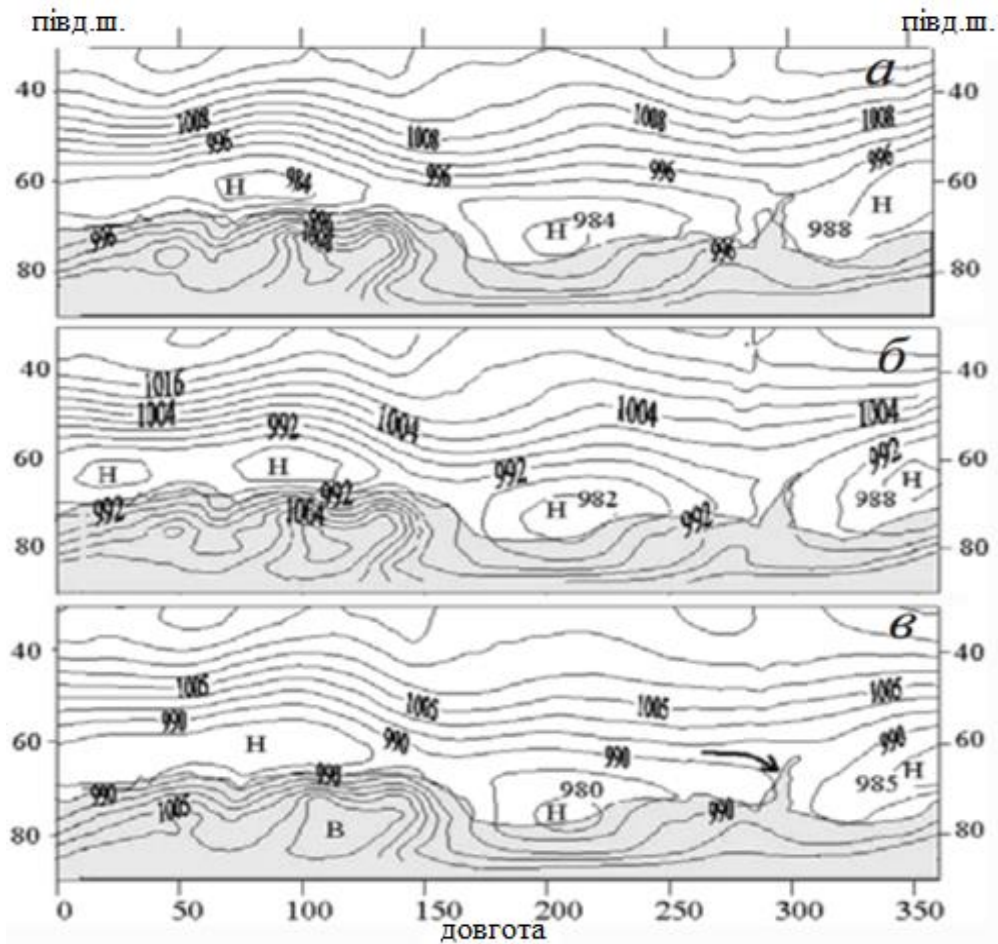


Ряд1 – Дейвіс, Ряд2 – Сьова, Ряд3 – Кейсі, Ряд4 – Мак-Мердо, Ряд5 – Восток

Рисунок 2.7 – Річний розподіл значень середньоквадратичних відхилень атмосферного тиску на станціях східної Антарктики

2.4 Особливості полів середніх значень та мінливості приземного атмосферного тиску

Циркуляційні особливості південної полярної області (ППО) детально досліджуються в багатьох роботах. Дослідження В.Ф. Мартазінової [12]. На картах середнього атмосферного тиску (рис.2.8), які були побудовані за кожне десятиріччя для зимового сезону (липень) позатропічних широт південної півкулі починаючи з 1961-1970 р.р. до 1991-2000 р.р. На середніх полях тиску виділяють три центи дії атмосфери зниженого тиску (кліматичні циклони), причому найбільшим являється циклон в районі моря Роса, який простягається найбільш близько до полюсу, а над східним сектором південної полярної області розташовується кліматична область низького тиску.



а-1961-1971 р.р., б-1971-1980 р.р., в-1991-2000 р.р.

Рисунок 2.8 – Середні поля тиску в ППО окремих десятиріч (липень) [12]

Площа циклонічної циркуляції в західному секторі південної полярної області збільшується до 1991-2000 р.р. за рахунок поширення улоговини в морі Беллінсгаузена, що супроводжується зниженням тиску в цій області.

Дві інші кліматичні області зниженого тиску розташовуються над морями Беллінсгаузена і Уедделла, а зміна знаку циклонічної циркуляції відбувається в районі Антарктичного півострова, з наявністю баричного гребня, або сідловини. Найбільш виразний гребінь спостерігається в 1960 р. у зв'язку з посиленням континентального антициклону, в наступні десятиріччя він послаблюється, з деяким зсувом на схід. Послаблення гребеня супроводжується посиленням зональності в регіоні [13].

Подалі були досліджені особливості статистичної структури полів приземного атмосферного тиску, обумовленої великомасштабними атмосферними процесами, тому в якості апарата дослідження використовувалися методи статистичного аналізу, які вимагають побудови матриць початкових даних дуже великого розміру.

Сукупність m метеорологічних полів, з певними межами термінів виміру, можна представити у вигляді матриці порядку $n \times m$ [11] (у нашому випадку поля приземного атмосферного тиску)

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{im} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nj} & \dots & x_{nm} \end{pmatrix} \quad (2.12)$$

Матриця (2.12) містить великий об'єм інформації. Її стовпці є відповідними метеорологічними об'єктами (міститься інформація про n таких об'єктів). Рядки матриці є часовими рядами що відповідають метеорологічній величині. Таке

Операція, яка проведена над матрицею (2.16), називається операцією центрування. Тоді матриця коваріації (K_x) визначається таким матричним рівнянням:

$$K_x = \frac{1}{m} \Delta X \Delta X' . \quad (2.17)$$

Ця матриця має таку структуру:

$$K_x = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & K_{12} & \dots & K_{1j} & \dots & K_{1n} \\ K_{21} & \sigma_2^2 & \dots & K_{2j} & \dots & K_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{i1} & K_{i2} & \dots & K_{ij} & \dots & K_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{n1} & K_{n2} & \dots & K_{nj} & \dots & \sigma_n^2 \end{pmatrix} . \quad (2.18)$$

Елементи матриці (2.18) розраховуються по формулах:

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{m} \sum_{s=1}^m \Delta x_{is}^2 , \quad (2.19)$$

$$K_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{s=1}^m \Delta x_{is} \Delta x_{js} . \quad (2.20)$$

З формул (2.19) і (2.20) видно, що на головній діагоналі матриці (2.18) розташовані дисперсії метеорологічних величин. Порядковий номер дисперсії на діагоналі відповідає номеру метеорологічної станції, якщо це стосується

метеорологічного поля, номеру стандартної висоти, якщо досліджуються вертикальні профілі метеорологічних величин або номеру предиктора, якщо досліджуються статистичні особливості системи предикторів при побудові моделі прогнозу. Інші елементи матриці (2.18) - відповідні коваріації.

Матриця коваріацій має властивості, вона дійсна, симетрична і позитивно визначена. Матриці коваріацій включають важливу інформацію про особливості статистичної структури метеорологічних об'єктів. Якщо, наприклад, йдеться про метеорологічні поля, то окрім поля середніх значень, яке характеризує вектор (2.13), можна побудувати за допомогою матриці коваріацій поле дисперсії метеорологічної величини або середньоквадратичних відхилень. У матриці кореляцій міститься інформація про структуру n полів кореляції. Елементи цієї матриці характеризують лінійний кореляційний зв'язок між метеорологічною величиною на i - тій і j - тій станціях. Інші елементи матриці кореляції характеризують аналогічні кореляційні зв'язки з іншими метеорологічними станціями, тобто рядок або відповідний стовпець матриці представляє поле кореляції.

При дослідженні особливостей великомасштабних циркуляційних процесів над Антарктичним півостровом були використані дані масиву Era-intherim за 1959-2024 роки середньомісячних значень приземного атмосферного тиску, шаг сітки $2,5 \times 2,5^\circ$ ізобаричних поверхонь АТ-850 та АТ-500. Східний сектор, обмежений широтами від 90° півд.ш. до 30° півд.ш. У зазначений сектор увійшли південна частина Тихого океану з морями Ларсена і Росса.

Розглянемо особливості полів середніх значень приземного атмосферного тиску для центральних місяців сезонів (рис.2.9-2.10). Поля середніх значень геопотенційних висот у всі місяці року є системами ліній, практично паралельних колам широт з градієнтом геопотенціалу, спрямованим від Південного полюса до екватора. На рис. 2.9 представлено поле середніх значень атмосферного тиску для липня. Як видно над більшою частиною регіону формується західний перенос, який посилюється у зимовий період за рахунок збільшення температурних контрастів між екватором і полюсом. Також добре відмічається пояс низького

тиску навколо Антарктиди, з кліматичними циклонічними центрами над морями Ларсена, Співдружності та Росса.

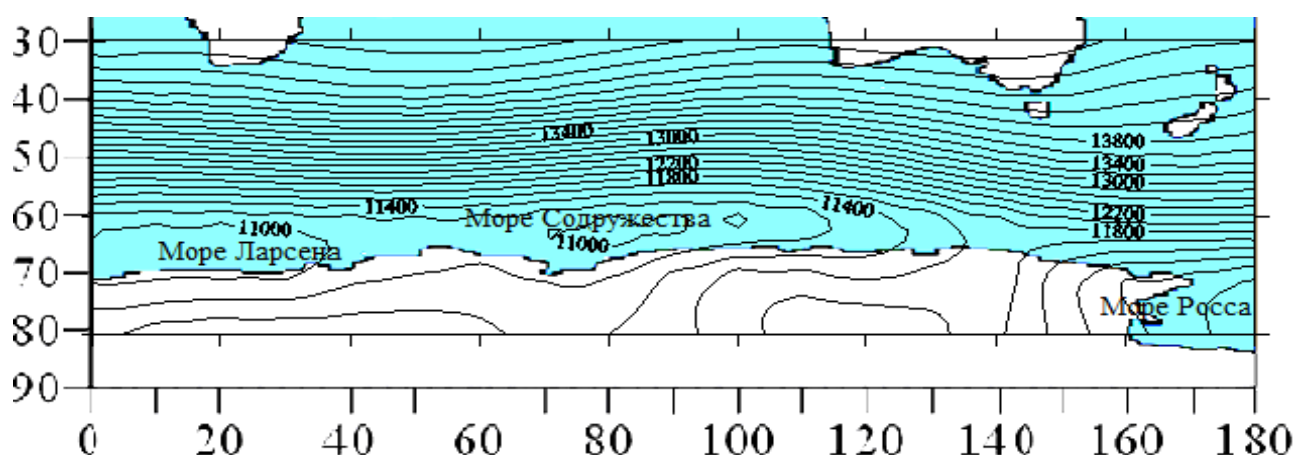


Рисунок 2.9 – Поле середніх значень атмосферного тиску в липні АТ-850

У тепле півріччя зона великих меридіональних градієнтів звужується і простягається, між паралелями 40 і 60 півд.ш., рис. 2.10.

Зональна структура середніх полів геопотенційних висот порушується в субтропічній зоні південної півкулі: проявляються області високого тиску, які є південними краями Індійського, Південно-Атлантичного та Південно-Тихоокеанського максимумів.

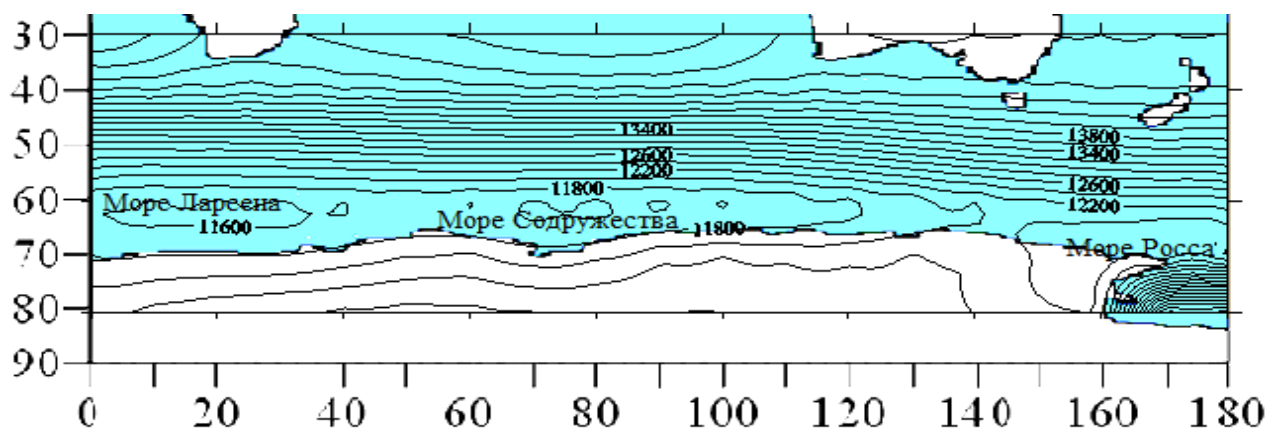


Рисунок 2.10 – Поле середніх значень атмосферного тиску в січні АТ-850

Також необхідно відзначити добре виражені три кліматичні центри дії атмосфери зниженого тиску: над морем Співдружності, який поєднується з центром над морем Ларсена, формуючи суцільну смугу зниженого тиску і третій центр з найбільшими градієнтами над морем Росса, що розташовується на південь від інших.

Структура середніх полів ізобаричних поверхонь на всіх висотах, що розглядаються, відображає той факт, що в тропосфері і нижній стратосфері південної півкулі в усі місяці року переважає західно-східний перенос, який стає більш інтенсивним в холодне півріччя.

Подалі розглянемо поля мінливості рис. 2.11 та 2.12. Найбільша мінливість геопотенціалу спостерігається вздовж 50-70 ° півд.ш., відбиваючи переважаючі траєкторії циклонічних вихорів, які переміщуються із заходу на схід під дією західно-східного перенесення.

Поля мінливості геопотенційних висот у всі місяці року мають подібну структуру на всіх поверхнях, що розглядаються. На північ від 40-45° півд.ш. ізолінії середніх квадратичних відхилень розташовані майже зонально зі зменшенням мінливості у бік тропічних широт.

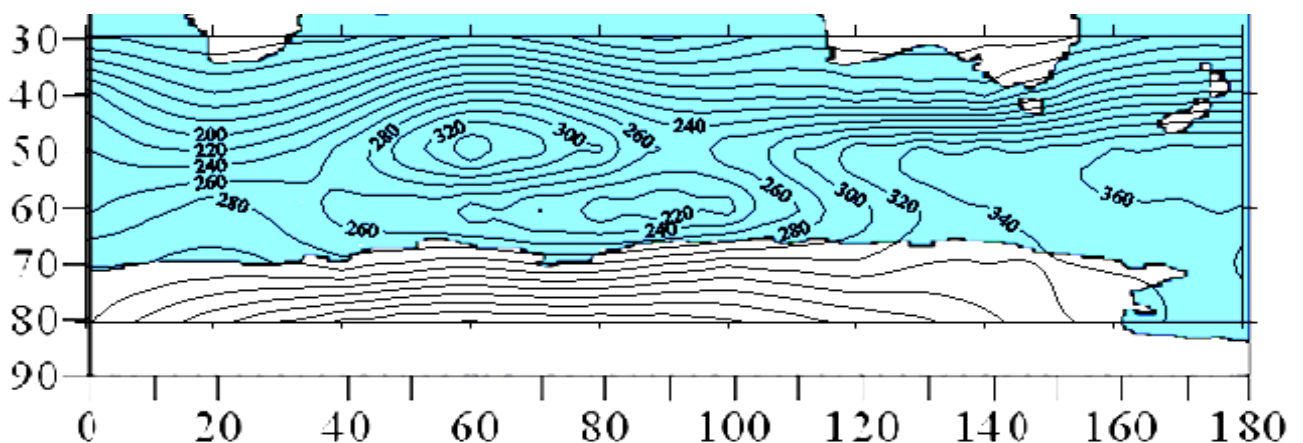


Рисунок 2.11 – Поле мінливості атмосферного тиску в січні АТ-850

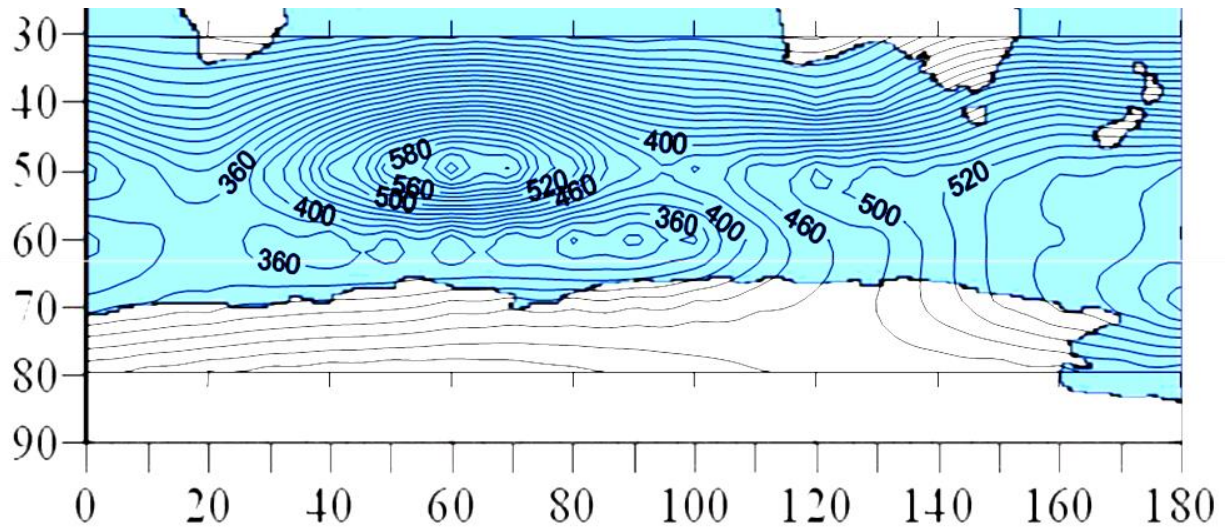


Рисунок 2.12 – Поле мінливості атмосферного тиску в січні АТ-500

У місяці літа (рис. 2.11) утворюється пояс максимальних значень із низкою центрів. Вісь поясу максимумів нахилена від 50° півд.ш. на заході області до $60\text{--}70^\circ$ півд.ш. на сході поблизу моря Росса.

Друга зона великих значень середніх квадратичних відхилень розташовується над сусідніми до узбережжя частинами південного континенту. Між цими зонами максимуму розташовується вузька смуга порівняно менших значень середньоквадратичних відхилень.

Північна зона максимуму мінливості обумовлена треками полярнофронтових циклонічних утворень, а південна – циклонами на антарктичному фронті. У зимові місяці спостерігається збільшення значень середньоквадратичних відхилень і розширення зони максимальної мінливості, що може бути обумовлено інтенсифікацією циклонічної діяльності в регіоні Південної полярної області.

3 ДИНАМІКА АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ СХІДНОЇ АНТАРКТИКИ

3.1 Динаміка атмосферного тиску

Проаналізуємо багаторічні середні значення приземного атмосферного тиску на досліджуваних станціях. На рис. 3.1-3.5 представлені часові ряди середньомісячних значень атмосферного тиску на станціях Дейвіс, Сьова, Кейсі, Мак-Мердо та Восток.

Графіки часових рядів атмосферного тиску свідчать про те, що вони містять не тільки коливання, які обумовлені циркуляційними атмосферними процесами в даному регіоні, але і шумову компоненту. Позбавитися від неї можна шляхом операції фільтрації за допомогою ковзного осереднення [11]. Вагові множники при цьому має вигляд, який прийнято називати косинус – фільтром. Він дозволяє проводити ковзне осереднення так, щоб максимальне значення приписувалося точці, яка є серединою інтервалу згладжування.

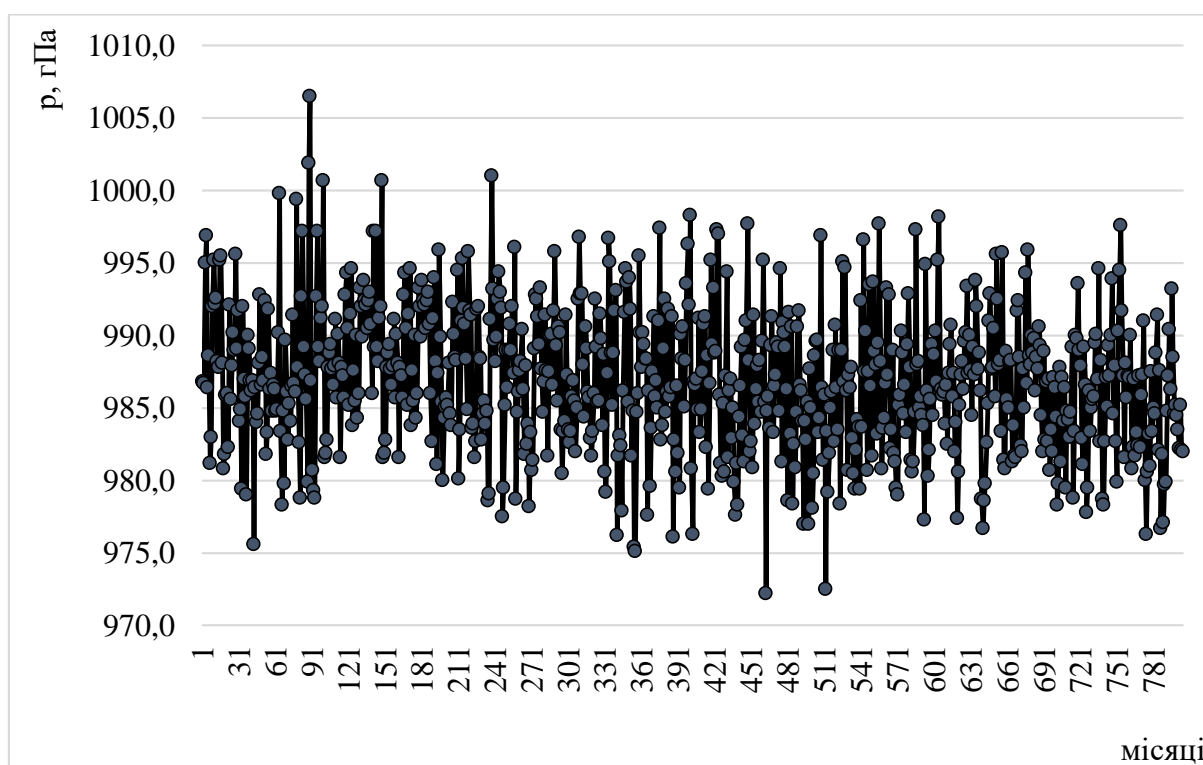


Рисунок 3.1 – Часовий ряд середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Дейвіс 1954-2024 р.р.

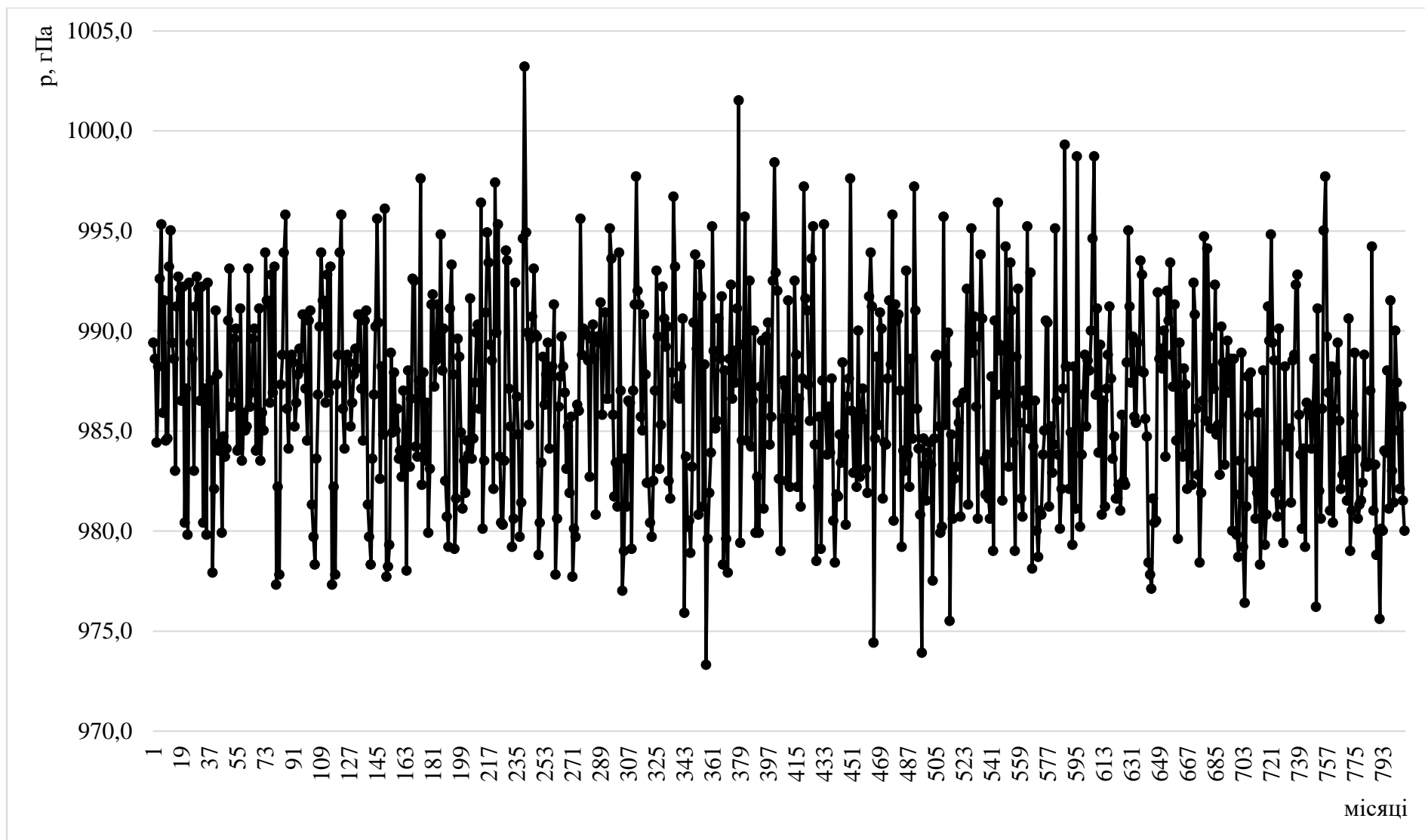


Рисунок 3.2 – Часовий ряд середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Сьова 1957-2024 р.р.

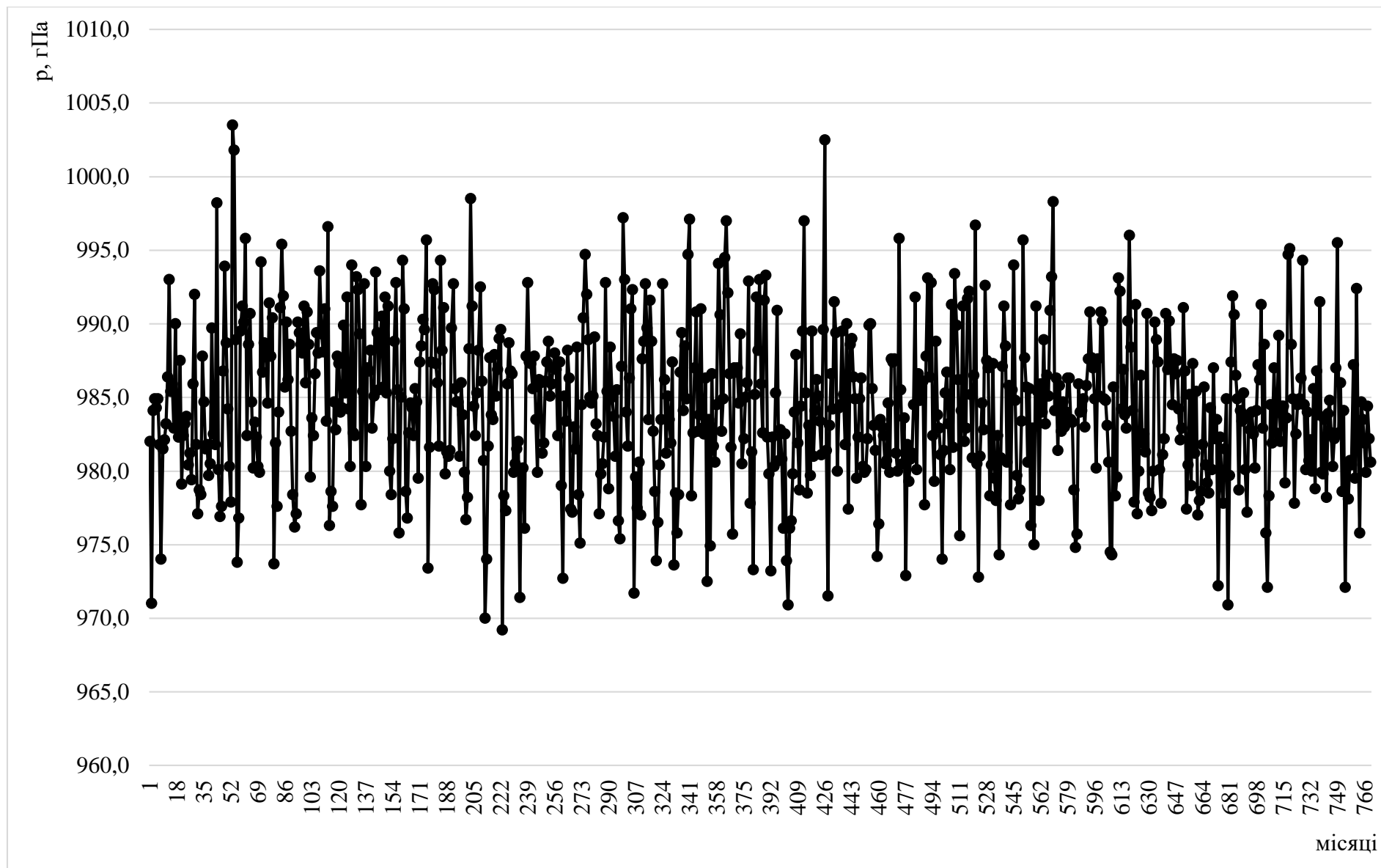


Рисунок 3.3 – Часовий ряд середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Кейси 1960-2024 р.р.

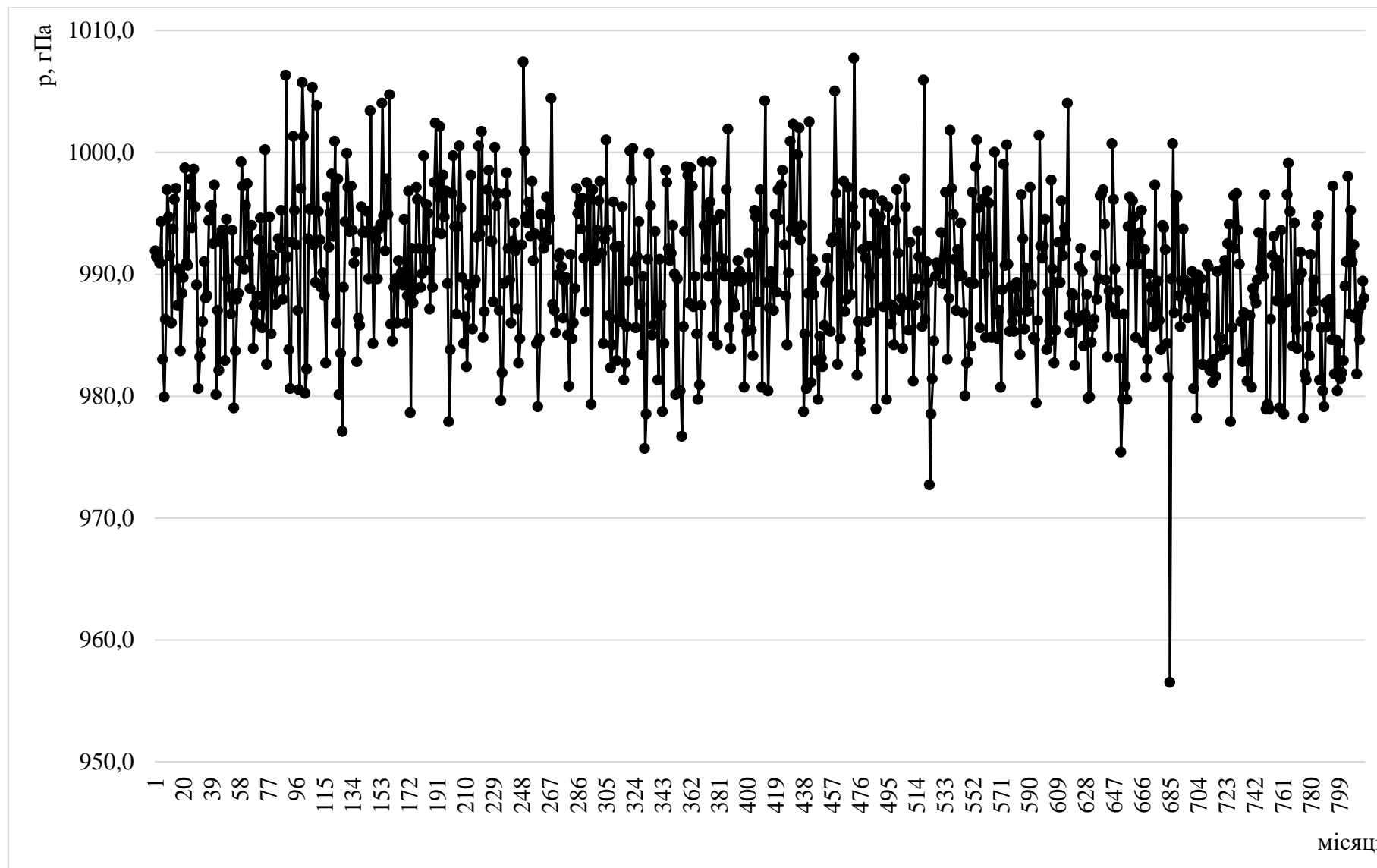


Рисунок 3.4 – Часовий ряд середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Мак-Мердо 1956-2024 р.р.

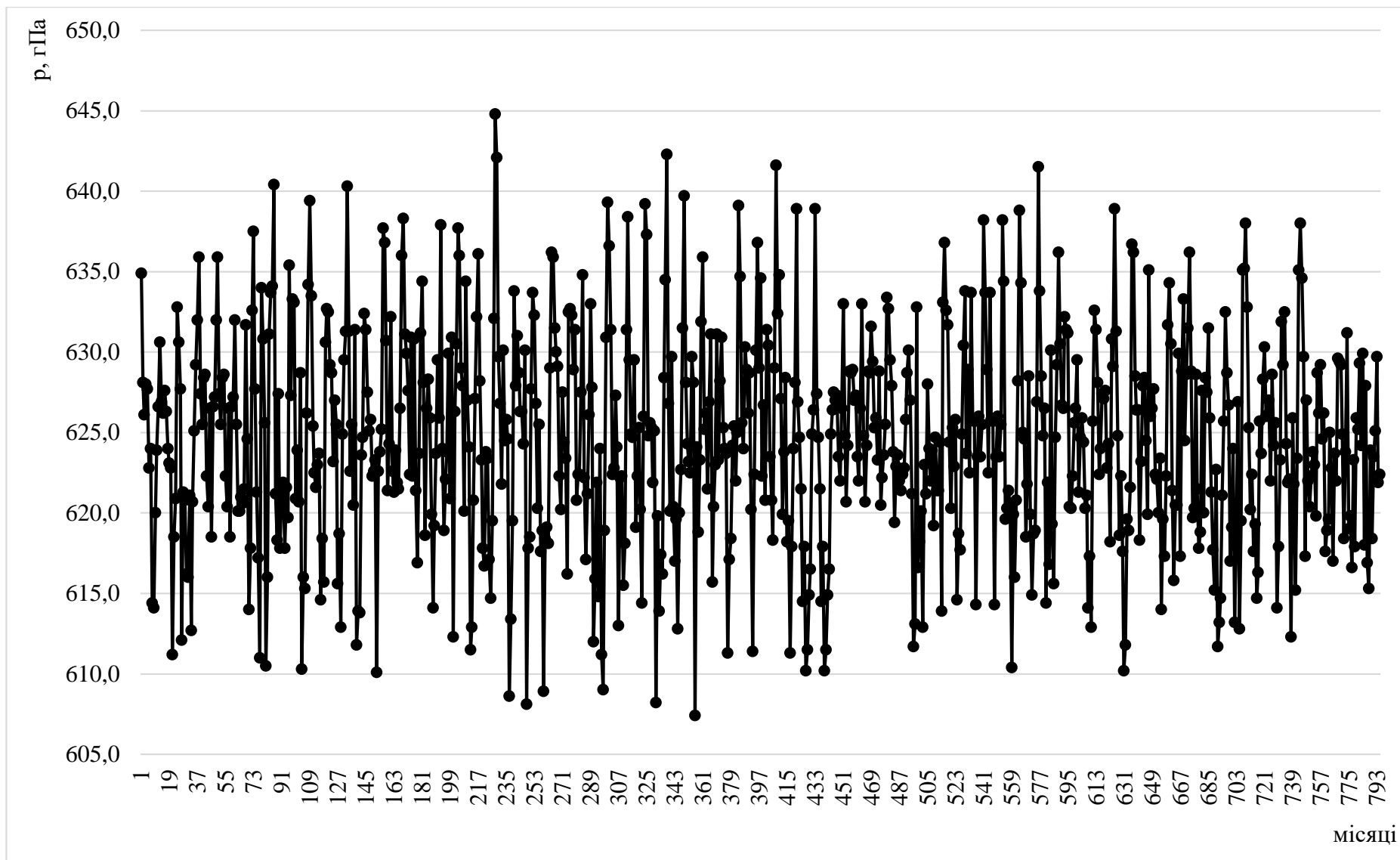


Рисунок 3.5 – Часовий ряд середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Восток 1958-2024 р.р.

Від останнього залежить і жорсткість фільтру, а також його реакція. Тому вибір інтервалу згладжування є важливим завданням. Існують різні підходи для вирішення цієї задачі. На наш погляд, доцільно як період згладжування вибирати інтервал, який відповідає періодичності, що має велику енергію коливання з одного боку, і достатньо великий інтервал згладжування – з іншого. Такі періодичності можна встановити за допомогою інтегрального перетворення Фур'є. Тому в подальшій роботі будуть проведені відповідні дослідження.

3.2 Приховані періодичності в часових рядах атмосферного тиску

Аналіз часових рядів атмосферного тиску дає підстави вважати, що кожен з них утримує в собі періодичні коливання. Тому спробуємо відфільтрувати ці періодичності за допомогою інтегрального перетворення Фур'є.

Часовий ряд $p(t)$, визначений на інтервалі $t \in [-\tau, \tau]$ можна розглядати як кусково-гладку функцію часу [11]. Таку функцію згідно з теоремою Діріхле можна виразити суперпозицією простих гармонік. Оскільки $M[Z_{ij}] = 0$, то відповідний вираз має вигляд

$$Z(t) = \sum_{k=1}^{\infty} A_k \sin(\omega_k t + \varphi_k), \quad (3.1)$$

або за теоремою синусів

$$Z(t) = \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cos \omega_k t + b_k \sin \omega_k t]. \quad (3.2)$$

Якщо позначити

$$a_k = A_k \sin \varphi_k, \quad (3.3)$$

$$b_k = A_k \cos \varphi_k, \quad (3.4)$$

то очевидно,

$$A_k = [a_k^2 + b_k^2]^{1/2}, \quad (3.5)$$

$$\varphi_k = \arctg \frac{a_k}{b_k}. \quad (3.6)$$

Така функція може утримувати періодичні компоненти, які характеризуються амплітудою (3.5), частотою ω_k і початковою фазою (3.6). Для визначення періодичностей, які приховані у часових рядах атмосферного тиску будемо застосовувати інтегральне перетворення Фур'є з вікном Гіббса.

Визначення прихованих періодичностей, характерних для процесу, базується на побудові верхньої довірчої границі для амплітуд з заданою ймовірністю. Періоди T_k гармонік ω_k , які відповідають пікам амплітуд A_k , що виходять за довірчу границю, ототожнюються з статистично значущими періодами гармонічних коливань, які утримуються у випадковому процесі рядів атмосферного тиску.

Результати розрахунків дали можливість отримати амплітудно – частотні характеристики $A(\omega_i)$ для кожної станції.

Як вказувалось вище, значущими є ті частоти, піки амплітуд, яких виходять за довірчий інтервал $\bar{A} + \sigma_A$, відповідний ймовірності $p = 0.68$, де \bar{A} – середнє значення амплітуди періодограми, σ_A – середньоквадратичне відхилення.

На рис. 3.6, в якості прикладу представлена амплітудно-частотна характеристика для часового ряду атмосферного тиску.

У табл. 3.1-3.5 представлені характеристики статистично значущих періодичних коливань часових рядів атмосферного тиску для п'яти станцій східної Антарктики, отриманих за допомогою інтегрального перетворення Фур'є.

У табл. 3.1 представлені характеристики статистично значущих періодичних коливань часового ряду атмосферного тиску для станції Дейвіс.

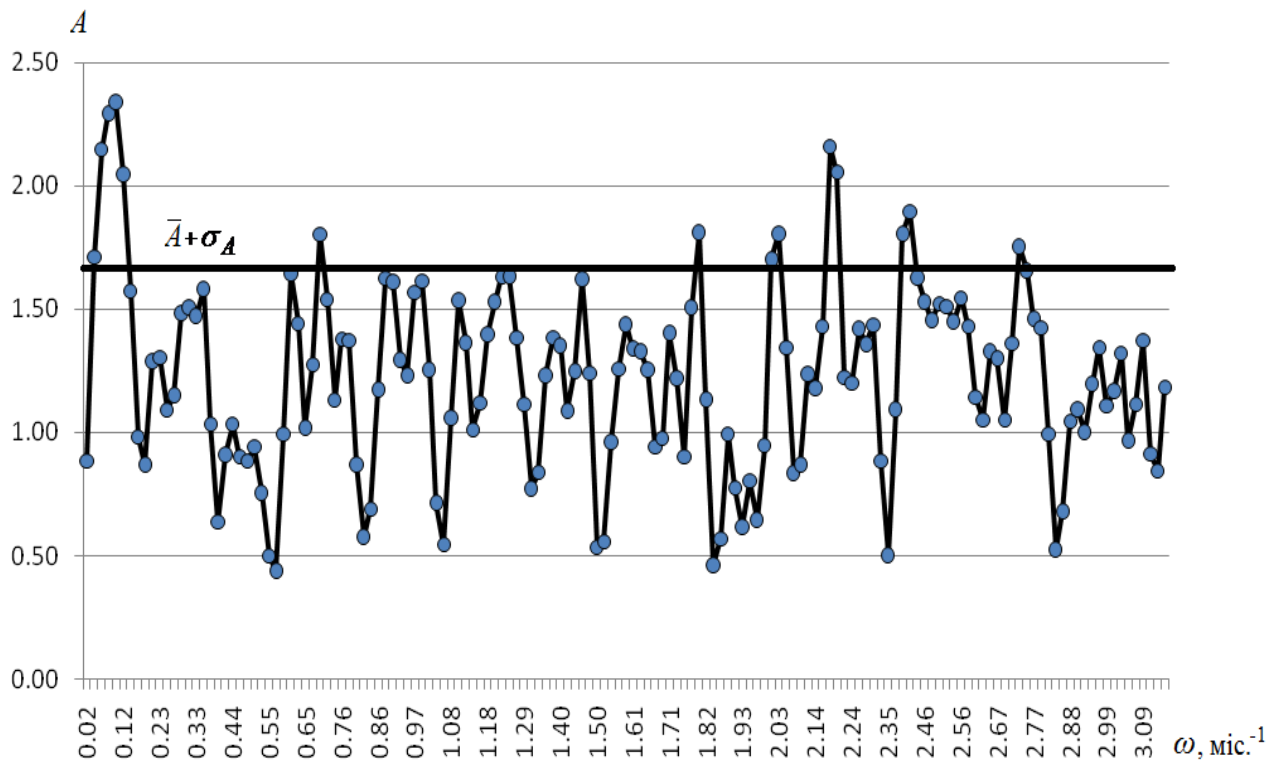


Рисунок 3.6 – Амплітудно-частотна характеристика ($p = 0,68$) для часового ряду атмосферного тиску

Таблиця 3.1 – Статистично значущі періодичні компоненти часового ряду атмосферного тиску для станції Дейвіс

№ п/п (i)	ω_i	T_i , місяці	A_i , гПа
5	0.086	73.267	6.960
9	0.146	43.048	5.650
12	0.191	32.877	5.718
38	0.582	11.788	5.486
48	0.733	8.573	5.521
69	1.049	5.990	6.256
84	1.275	4.929	5.477
118	1.786	3.517	5.572
171	2.584	2.431	5.610
187	2.825	2.224	5.610

Аналіз табл. 3.1 свідчить про те, що часовий ряд атмосферного тиску для станції Дейвіс містить статистично значущі коливання з періодами 6 років, 3.5 років, 2.5 роки, квазірічні, а також піврічні, сезонні та 2 місячні періодичні коливання. Останні, очевидно, треба інтерпретувати як хвилі Маддена-Джуліана.

У табл. 3.2 представлені характеристики статистично значущих періодичних коливань часового ряду атмосферного тиску для станції Сьова.

Таблиця 3.2 – Статистично значущі періодичні компоненти часового ряду атмосферного тиску для станції Сьова

№ п/п (<i>i</i>)	ω_i	T_i , місяці	A_i , гПа
5	0.086	73.267	7.082
9	0.146	43.048	5.725
12	0.191	32.877	5.630
39	0.597	11.516	5.624
69	1.049	5.990	6.277
104	1.576	3.987	5.488
110	1.666	3.771	5.598
171	2.584	2.431	5.501
188	2.840	2.212	5.499

З табл. 3.2 видно, що часовий ряд атмосферного тиску для станції Сьова, містить також статистично значущі гармоніки з періодами 6 років, 3.5 років, 2.5 роки, квазірічні, а також піврічні, сезонні та 2 місячні періодичні коливання.

У табл. 3.3 представлені характеристики статистично значущих періодичних коливань часового ряду атмосферного тиску для станції Кейсі. Аналіз табл. 3.3 свідчить про те, що часовий ряд атмосферного тиску для станції Кейсі, як і на попередніх двох станціях, містить статистично значущі коливання з періодами 6 років, 3.5 років, 2.5 роки, квазірічні, а також піврічні, сезонні та 2 місячні періодичні коливання.

Таблиця 3.3 – Статистично значущі періодичні компоненти часового ряду атмосферного тиску для станції Кейсі

№ п/п (<i>i</i>)	ω_i	T_i , місяці	A_i , гПа
5	0.086	73.267	7.155
9	0.146	43.048	5.535
12	0.191	32.877	5.619
39	0.597	11.516	5.538
48	0.733	8.573	5.584
69	1.049	5.990	6.635
84	1.275	4.929	5.554
119	1.801	3.488	5.580
171	2.584	2.431	5.508

Таблиця 3.4 – Статистично значущі періодичні компоненти часового ряду атмосферного тиску для станції Мак-Мердо

№ п/п (<i>i</i>)	ω_i	T_i , місяці	A_i , гПа
5	0.086	73.267	6.918
9	0.146	43.048	5.537
12	0.191	32.877	5.854
52	0.793	7.922	5.540
62	0.944	6.659	5.560
69	1.049	5.990	6.114
101	1.531	4.105	5.542
110	1.666	3.771	5.824
188	2.840	2.212	5.642
193	2.915	2.155	5.554
203	3.066	2.050	5.553

У табл. 3.4 представлені характеристики статистично значущих періодичних коливань часового ряду атмосферного тиску для станції Мак-Мердо.

Аналіз табл. 3.4 свідчить про те, що часовий ряд атмосферного тиску для станції Мак-Мердо містить статистично значущі коливання з періодами 6 років, 3.5 років, 2.5 роки, а також піврічні, сезонні та 2 місячні періодичні коливання.

У табл. 3.5 представлені характеристики статистично значущих періодичних коливань часового ряду атмосферного тиску для станції Восток.

Таблиця 3.5 – Статистично значущі періодичні компоненти часового ряду атмосферного тиску для станції Восток

№ п/п (<i>i</i>)	ω_i	T_i , місяці	A_i , гПа
5	0.086	73.267	5.019
12	0.191	32.877	3.714
31	0.477	13.171	3.759
37	0.567	11.074	3.640
69	1.049	5.990	4.848
110	1.666	3.771	3.843
203	3.066	2.050	3.758

Аналіз табл. 3.5 свідчить про те, що часовий ряд атмосферного тиску для станції Восток містить статистично значущі коливання з періодами 6 років, 2.5 роки, квазірічні, а також піврічні, сезонні та 2 місячні періодичні коливання.

Щодо річної та сезонної циклічностей, то вони є природними, що відображають вплив руху Землі по орбіті й пов'язані з особливостями надходження сонячної радіації.

Загальною особливістю просторового розподілу амплітуд піврічних варіацій приземного атмосферного тиску є локалізація областей значних амплітуд над районами, розміщеними переважно у середніх і високих широтах. Стосовно 6-ти річних коливань, які містяться в часових рядах приземного тиску, то вони

привертають особливу увагу, бо зустрічається в таких відомих осциляціях як Ель-Ніньо Південне коливання та Північноатлантичне коливання.

3.3 Особливості структури згладжених рядів атмосферного тиску

Більшість метеорологічних величин являють собою нестационарні випадкові процеси. Багаторічні змінення характеру кліматоутворюючих факторів приводить до виникнення трендів, а також великомасштабних коливань, які не можуть бути виявленими за допомогою перетворення Фур'є через обмеженість інтервалу визначення часових рядів атмосферного тиску, що аналізуються. Для виявлення трендів та великомасштабних коливань проводиться процедура згладжування часових рядів [11]. Одним із видів згладжування є ковзне осереднення, яке у загальному виді можна зобразити формулою

$$Z(t_k) = \frac{1}{l} \sum_{i=k-l/2}^{k+l/2} \alpha_i Z(t_i), \quad (3.7)$$

де α_i – ваговий множник;

l – кількість точок, по яких проводиться згладжування,

$$k = 1 + \frac{l}{2}; 2 + \frac{l}{2}; \dots; N' + \frac{l}{2}; \quad N' = N - l + 1,$$

N – кількість членів ряду.

Ваговий множник потрібно вибирати таким, щоб найбільшу вагу мала точка, яка знаходиться на середині відрізка згладжування, а зі збільшенням відстані від цієї точки вага α_i – зменшувалася. Цій вимозі відповідає тригонометричний ваговий множник (косинус – фільтр).

$$\alpha_i = 1 + \cos \frac{2\pi(k-i)}{l}. \quad (3.8)$$

Він і буде використовуватися при згладжуванні часових рядів атмосферного тиску на антарктичних станціях, що розглядаються.

Окрім виду вагового множника, результат фільтрації залежить й від кількості точок, по яких виконується згладжування. Чим менше l , тим швидше реакція фільтру (3.7), але тим гіршим є його фільтруючі якості і навпаки. Отже задача полягає у правильному виборі періоду згладжування. Існують рекомендації період згладжування ототожнювати з періодом найбільшої за масштабом періодичності, яка виявляється в результаті процедури виявлення періодичностей, яка розглядалася вище. Можна також при виборі періоду згладжування використовувати апіорну інформацію про періодичності у атмосферних процесах, які формують метеорологічні поля, що підлягають дослідженню.

Аналіз періодичностей виявлених у часових рядах атмосферного тиску дає підстави проводити операцію згладжування для станції Дейвіс, Сьова, Кейсі, та Восток з періодом 1 рік (12 точок), а станцію Мак-Мердо ще і з періодом 2.5 роки (32 точки).

На рис. 3.7 – 3.11 наводяться результати згладжування часових рядів приземної температури повітря для станціях Дейвіс, Сьова, Кейсі, Мак-Мердо та Восток (потрібно пам'ятати, що при використанні алгоритму, який застосовується, ряд значень осереднених величин скорочується в порівнянні з вихідним часовим рядом зліва та справа на половину періоду згладжування) [11].

Аналіз згладженого часового ряду станції Дейвіс (рис.3.7) вказує на те, що у випадковому процесі, спостерігається квазіп'ятирічна періодичність, а також дворічні коливання. Також необхідно відмітити, що у часовому ряді спостерігається значний тренд зменшення амплітуди коливання атмосферного тиску, що може бути пов'язано з послабленням впливу антарктичного антициклону та посиленням циркумполярного циклонічного вихору, що утворює пояс низького тиску навколо Антарктиди впродовж всього року.

Аналіз згладжених часових рядів станції Сьова та Кейсі, рис.3.8 та 3.9, вказують на те, що у випадкових процесах, також спостерігаються квазіп'ятирічні періодичності, а також дворічні коливання.

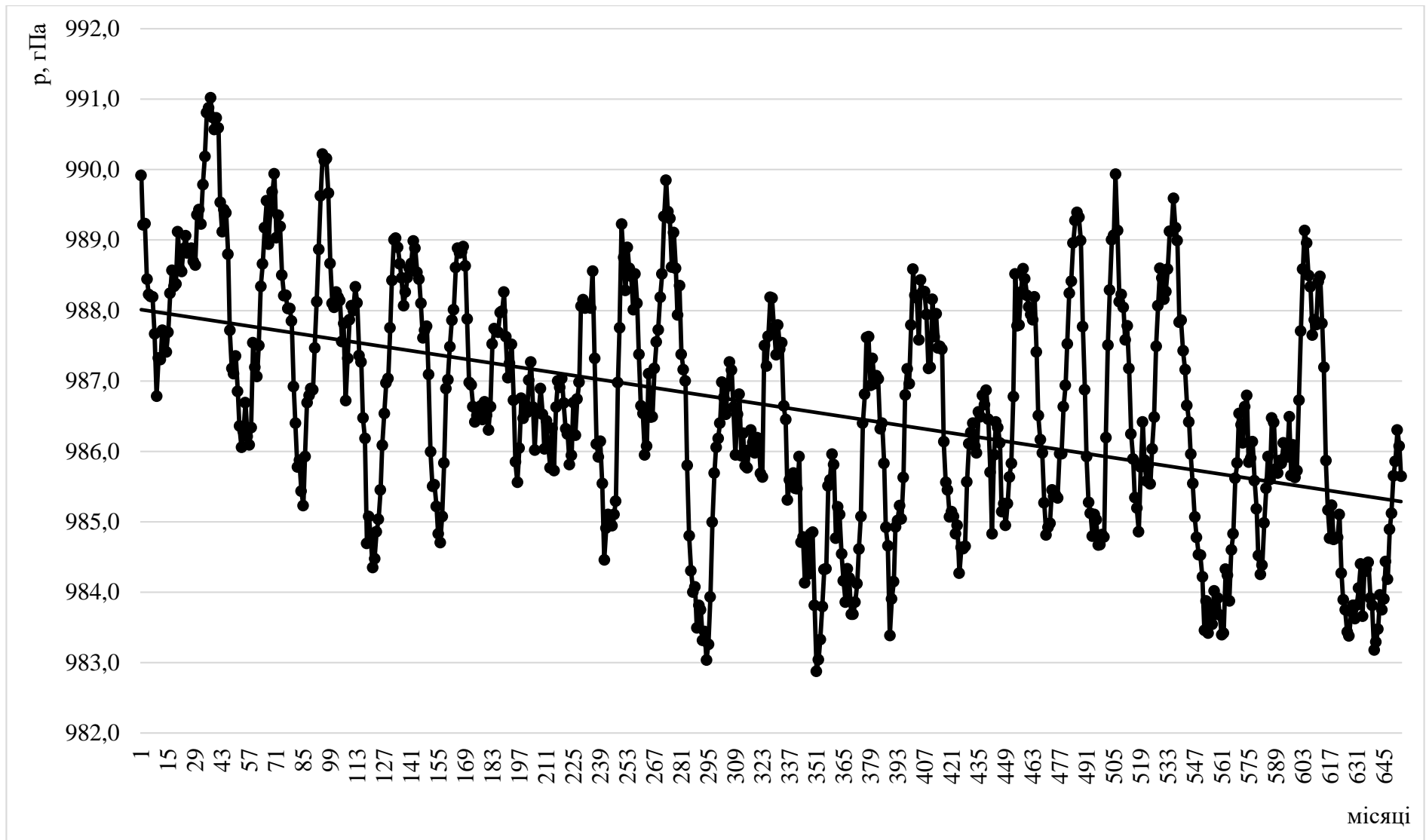


Рисунок 3.7 – Згладжений часовий ряд середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Дейвіс

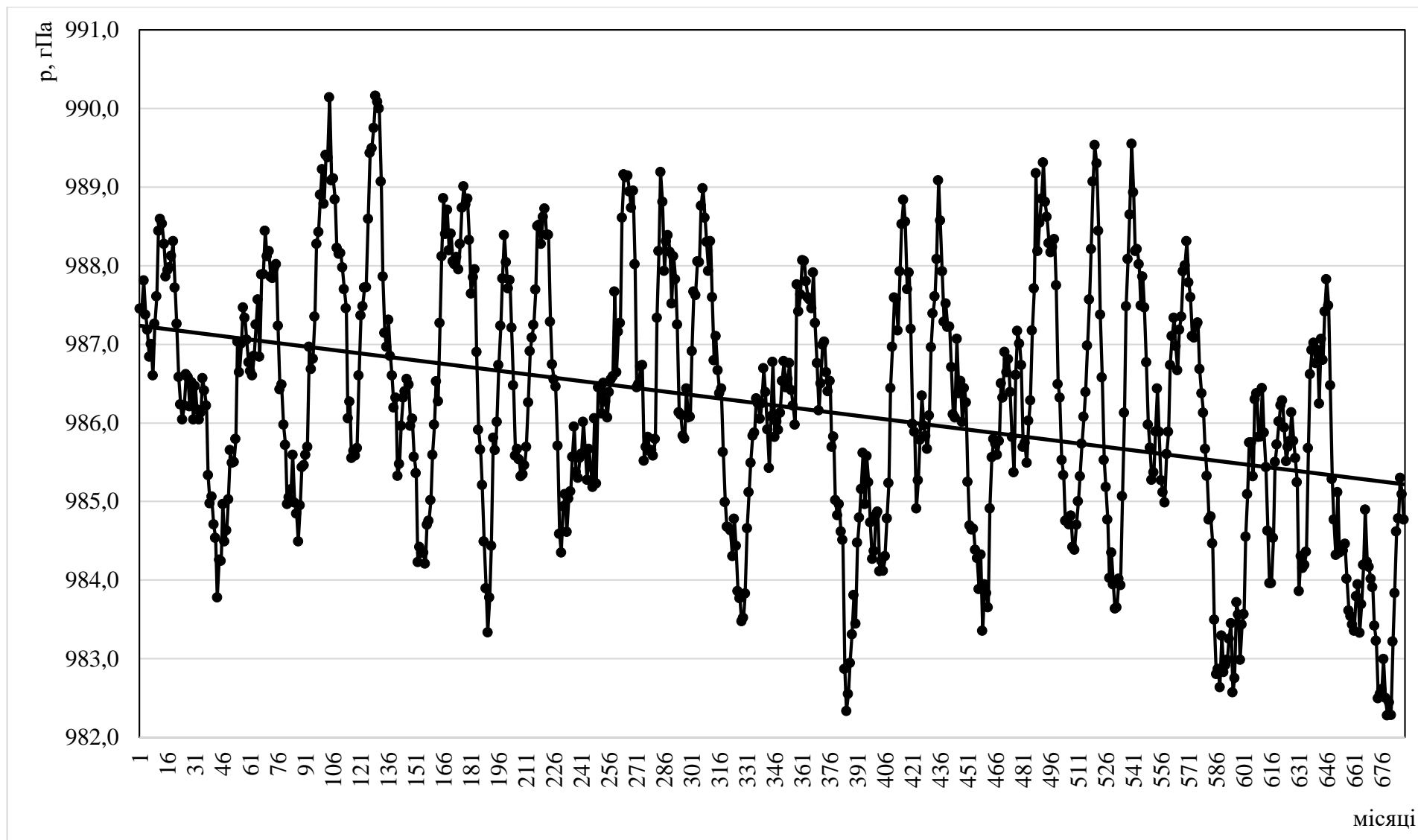


Рисунок 3.8 – Згладжений часовий ряд середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Сьова

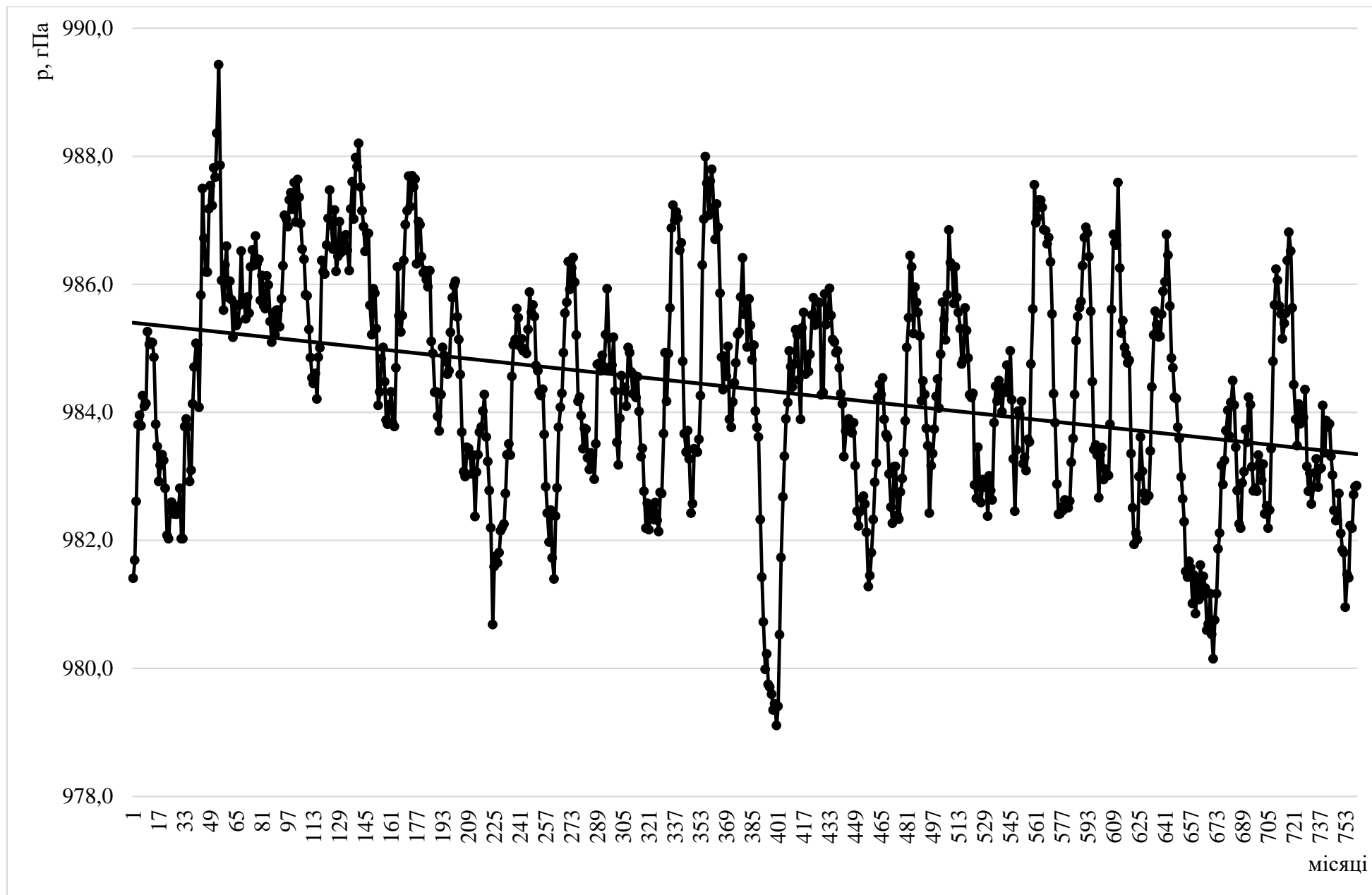


Рисунок 3.9 – Згладжений часовий ряд середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Кейсі

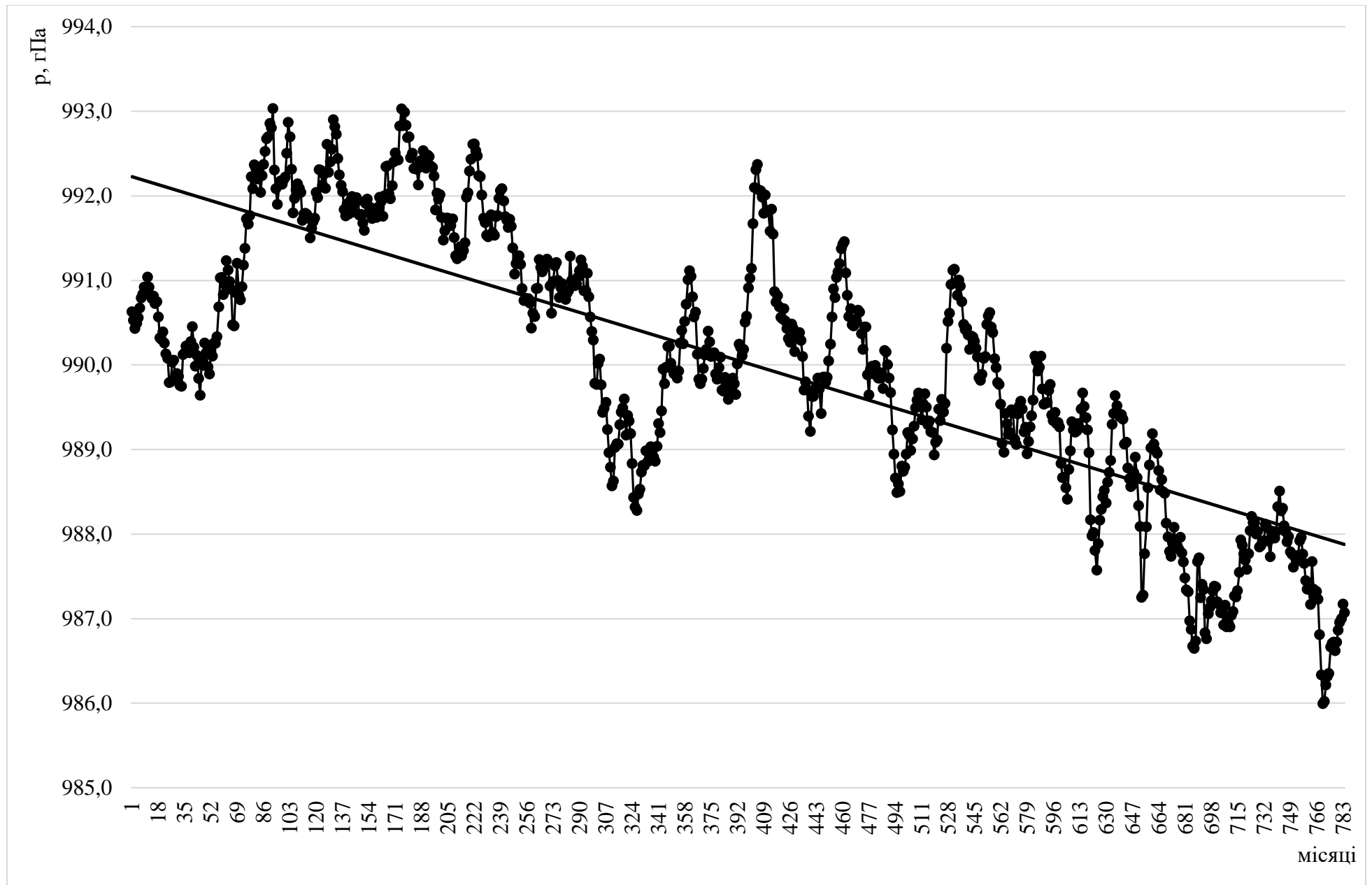


Рисунок 3.10 – Згладжений часовий ряд середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Мак-Мердо

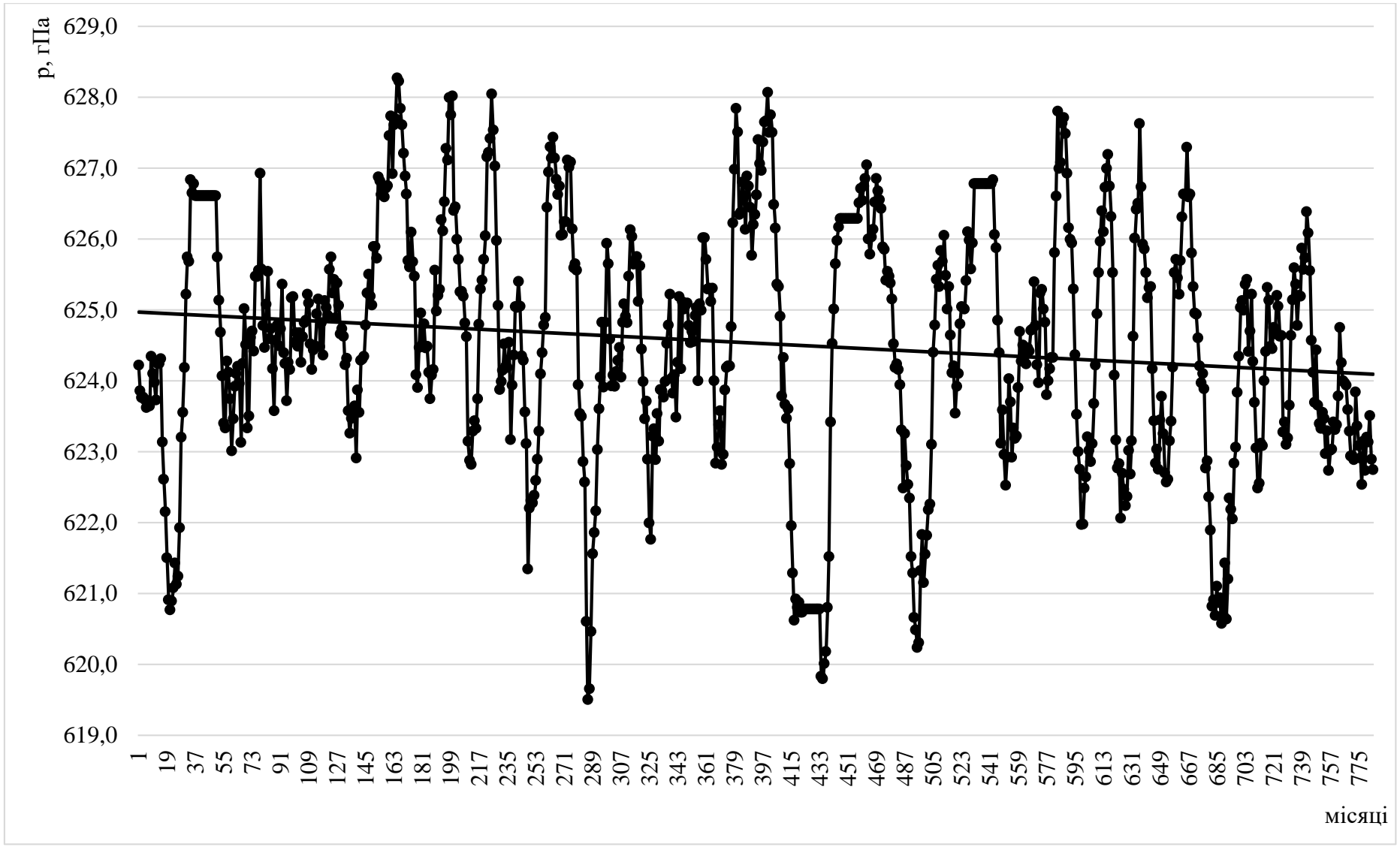


Рисунок 3.11 – Згладжений часовий ряд середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Восток

Також необхідно відмітити, що у часових рядах спостерігаються тренд зменшення амплітуди коливання атмосферного тиску.

Згладжений часовий ряд атмосферного тиску на станції Мак-Мердо (рис.3.10) має гармоніки з 2-5-річними періодами із змінною за часом амплітудою. Крім того, має місце добре виражений тренд у бік зменшення інтенсивності коливань.

Згладжений часовий ряд атмосферного тиску на станції Восток (рис.3.11) має також гармоніки з 2-5-річними періодами із змінною за часом амплітудою. Крім того, має місце тренд у бік зменшення інтенсивності амплітуди коливань.

Причиною трендів зменшення амплітуди коливань атмосферного тиску на всіх станціях східної Антарктиди, що пов'язано з послабленням антарктичного антициклону та посиленням циркумполярного циклонічного вихору, може бути результатом потепління, що спостерігається в більшості регіонів нашої планети. Перебудова великомасштабних циркуляційних атмосферних процесів пов'язана зі змінами клімату.

Визначені двох та п'ятирічні коливання, зустрічається в таких відомих осциляціях, як Північноатлантичне коливання, Ель-Ніньо- Південне коливання і Північно-Тихоокеанське коливання, а також у часових рядах параметрів сонячної активності (числах Вольфа). Деякі дослідження вказують на позитивну кореляцію між зростанням сонячної активності та розвитком сильних антициклонів, а також посиленням циклонних вихорів в широтній зоні 40-60°. У багатьох зв'язків Сонця та погоди відмічений вищий ступінь кореляції протягом зимового періоду, коли пряма дія сонячного випромінювання менш істотна. Ясно також те, що такий вплив на погоду не однаковий й навіть не однозначний в різних частинах планети. Отримані результати довгоперіодних коливань та причин їх утворення потребують подальших досліджень.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської роботи можна зробити наступні висновки:

1. Проведений статистичний аналіз часових рядів атмосферного тиску на антарктичних станціях Дейвіс, Сьова, Кейсі, Мак-Мердо та Восток:

– Як видно на станції Девіс, в середньому за рік найбільший атмосферний тиск спостерігається в червні і досягає 990,2 гПа, послаблюється в перехідні сезони. Максимальні значення тиску спостерігаються в липні і досягають 1006,5 гПа, а найменші у вересні 972,2 гПа. Щодо значень середньоквадратичних відхилень середньомісячних значень атмосферного тиску, то треба відмітити, що взимку вони мають найбільші значення і в липні досягають 5,4 гПа, а найменші – в березні 3,24 гПа.

Стосовно коефіцієнта асиметрії, треба відмітити, що впродовж січня-травня він має від'ємні значення, а значить крива розподілу має лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу. Впродовж червня – грудня він має додатні значення, а значить крива розподілу має правосторонню асиметрію відносно нормального розподілу. Коефіцієнт ексцесу впродовж всього року, має як додатні так і від'ємні незначні значення, окрім липня, де ексцес досягає 2,19, тому крива розподілу є витягнутою відносно нормального розподілу.

– Для станції Сьова в середньому за рік найбільший атмосферний тиск спостерігається в червні і досягає 989,4 гПа та січні 989,3 гПа, а послаблюється в перехідні сезони. Максимальні значення тиску спостерігаються в червні і досягають 1001,5 гПа, а найменші – у вересні 973,3 гПа. Щодо середньоквадратичних відхилень, то треба відмітити, що взимку вони мають найбільші значення і в серпні досягають 5,05 гПа, а також в грудні 5,42 гПа., а найменші спостерігаються в перехідні сезони в березні 3,52 гПа та в жовтні 3,55 гПа.

Коефіцієнти асиметрії впродовж більшої частини року має додатні значення, тільки в січні, березні, квітні та червні вони від'ємні, а значить крива

розподілу має лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу. Коефіцієнт ексцесу впродовж всього року, має як додатні так і від'ємні незначні значення, окрім жовтня, де ексцес досягає 2,05, тому крива розподілу є достатньо витягнутою відносно нормального розподілу.

– На станції Кейсі в середньому за рік найбільший атмосферний тиск спостерігається в червні і досягає 988,1 гПа та січні 987,8 гПа та послаблюється в перехідні сезони. Максимальні значення тиску спостерігаються в червні і досягають 1003,5 гПа, а найменші – у вересні 970,0 гПа. Середньоквадратичні відхилення взимку мають найбільші значення і в липні досягають 6,19 гПа. Найменші значення спостерігаються весною та влітку.

Коефіцієнти асиметрії також впродовж більшої частини року має додатні значення, тільки в січні, березні, травні та листопаді вони від'ємні. Коефіцієнт ексцесу впродовж всього року, має як додатні так і від'ємні незначні значення, окрім липня, де ексцес досягає 1,48, тому крива розподілу є достатньо витягнутою відносно нормального розподілу.

– На станції Мак-Мердо в середньому за рік найбільший атмосферний тиск спостерігається в січні і досягає 993,2 гПа та в червні 993,0 гПа, послаблюється в перехідні сезони. Максимальні значення відмічаються в липні і досягають 1007,7 гПа та у грудні 1007,4 гПа, а найменше значення атмосферного тиску у квітні 956,5 гПа. Мінливість атмосферного тиску взимку має найбільші значення і в липні досягає 6,58 гПа. Найменші значення середньоквадратичних відхилень спостерігаються в перехідні сезони.

Коефіцієнти асиметрії також впродовж більшої частини року має додатні значення, тільки в березні, квітні та червні вони від'ємні. Коефіцієнт ексцесу впродовж всього року, має як додатні так і від'ємні незначні значення, окрім квітня, де ексцес досягає 15,63, тому крива розподілу є достатньо витягнутою відносно нормального розподілу.

– На станції Восток в середньому за рік найбільший атмосферний тиск спостерігається влітку і в січні досягає 633,4 гПа, послаблюється навесні і у вересні знижується до 618,5 гПа. Максимальні значення тиску на станції

відмічаються у грудні 644,8 гПа, а мінімальне значення атмосферного тиску у серпні 607,4 гПа. Аналіз середньоквадратичних відхилень середньомісячних значень атмосферного тиску показав, що взимку вони мають найбільші значення і в серпні досягають 6,14 гПа, а найменші в перехідні сезони.

Коефіцієнти асиметрії впродовж року має, як додатні так і від'ємні значення, найбільша правостороння асиметрія у лютому.

Коефіцієнт ексцесу впродовж всього року, теж має як додатні так і від'ємні незначні значення, окрім лютого, де ексцес досягає 1,83 та березня 1,24, тому крива розподілу є витягнутою відносно нормального розподілу.

2. Визначені приховані періодичності в часових рядах атмосферного тиску за допомогою інтегрального перетворення Фур'є. У всіх часових рядах атмосферного тиску на станціях Дейвіс, Сьова, Кейсі, Мак-Мердо та Восток визначені статистично значущі коливання з періодами 6 років, 3.5 років, 2.5 роки, квазірічні, а також піврічні, сезонні та 2 місячні періодичні коливання.

3. Для виявлення трендів та довгоперіодних коливань провели процедуру згладжування часових рядів для станції Дейвіс, Сьова, Кейсі та Восток з періодом 1 рік (12 точок), а для станції Мак-Мердо, з періодом 32 місяці. Аналіз згладжених часових рядів вказує на те, що спостерігаються квазіп'ятирічні періодичності, а також дворічні коливання. Також необхідно відмітити, що у часових рядах спостерігаються значні тренди зменшення амплітуди коливання атмосферного тиску, що може бути пов'язано з послабленням впливу антарктичного антициклону та посиленням циркумполярного циклонічного вихору.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Климат полярных районов / [Под ред. С. Орвига; пер. с англ.]-Л.: Гидрометеиздат, 1973.- 443 с.
2. Метеорология южного полушария / [Под ред. Ч.У. Ньютона].- Л.: Гидрометеиздат, 1976.- 260 с.
3. Bromwich D.H. Global atmospheric responses to Antarctic forcing / Ann. Glaciol. Vol. 27. Pap. Int. Sump. Antarctic and Glob Change: Interact. and Impacts, Hobart, Tasmania, 13-18 july, 1997.- Cambridge, 1998.- P. 521-527.
4. Тимофеев В.Е. Организация метеорологических наблюдений и сравнительный анализ развития атмосферных процессов в 1996 году на антарктической станции Академик Вернадский / Бюл. УАЦ. - 1997. - Вып. 1. - С. 49 - 52.
5. Hobbs W.H. Characteristics of existing glaciers / W.H. Hobbs. - New York: Macmillan, 1911.- 301 p.
6. Meinardus W. Aufgaben und Probleme der meteorologischen Forschung in der Antarktis/ Geogr. Zeitschrift. Bd. 20.- 1914.-P. 18-34.
7. Мартазинова В.Ф. Зміни великомасштабної циркуляції повітря протягом ХХ століття та її вплив на погодні умови і регіональну циркуляцію в Україні / Український географічний журнал.- 2001.- № 2. - С. 28-34.
8. Артамонов Ю.В. Структура Антарктического, Полярного, Субантарктического фронтов в западной части моря Скотия в феврале и апреле 1998 г. / Бюл. УАЦ.- 2000.- Вып. 3.-С. 52-65.
9. Оцінка стану кліматичної системи Західної Антарктики (району Антарктичного півострова) у світлі мінливості циркуляційної тропосфери і низької стратосфери, термічних та динамічних характеристик Південного океану, а також динаміки зледеніння / [Звіт з НДР №71].- Одеса.: ТЕС, ОДЕКУ, 2004.- 219 с.
10. Милашенко Г.П. Карты повторяемости циклонов и антициклонов, траектории циклонов и распределение общей облачности по данным ИСЗ.

Материалы по климату и циркуляции южного полушария / Г.П. Милашенко.- Л.: Гидрометеиздат, 1978. - Вып. I. - 63 с.

11. Школьный Є.П., Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / Є.П. Школьний, І.Д. Лосєва, Л.Д. Гончарова.- К.: Міносвіти України, 1999.- С. 331-421.
12. Мартазінової В.Ф., Тимофеев В.Е. Современное состояние атмосферной циркуляции воздуха в Северном и Южном полушарии и региональные климатические особенности в Атлантико-Европейском секторе и районе Антарктического полуострова / Укр. антаркт. журн. – 2008. – №3 (80). – С. 17-37.
13. Martazinova V. Large-scale atmospheric circulation in southern extratropics and regional weather patterns at change at Antarctic Peninsula / V. Martazinova, E. Ivanova, V. Tymofeyev // Ukraine in Antarctica – National Priorities and Global Integration: int. Antarctic Conference IAC2008 23-25 may 2008.: – Kyiv, 2008.- P. 68.