

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 ЗАХІДНОЇ АНТАРКТИКИ DYNAMICS OF THE BARIC REGIME OF THE WESTERN ANTARCTIC

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

Козаков Валентин Володимирович

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

Керівник к. геогр. н., доц. Прокоф'єв О.М.

(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 західної Антарктики»

**Автор:** Козаков Валентин Володимирович.

**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 західної Антарктиди.

**Задачі**, які були розв'язані відповідно до поставленої мети:

- 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 з метою виявлення довгоперіодних коливань та трендів.

**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 58 сторінки складається зі вступу, 3 розділів, висновків, переліку посилань з 13 джерел, а також містить 22 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 West Antarctic"

**Author:** Valentin Volodymyrovych Kozakov.

**Relevance:** Studies of the meteorological regime of Antarctica and its dynamics in the light of modern climate changes, starting from 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 the stations of western Antarctica.

Tasks that were solved in accordance with the set goal:

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

**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 58-page master's thesis consists of an introduction, 3 chapters, conclusions, a list of references from 13 sources, and also contains 22 figures and 11 tables.

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

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>5</b>
<b>1 ОСОБЛИВОСТІ ЦИРКУЛЯЦІЙНИХ АТМОСФЕРНИХ</b>	
<b>ПРОЦЕСІВ ПІВДЕННОЇ ПІВКУЛІ.....</b>	
1.1 Загальні особливості атмосферних процесів. Центри дії атмосфери.....	6
1.2 Особливості атмосферних процесів західної Антарктики .....	12
<b>2 ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНОЇ СТРУКТУРИ ПОЛІВ</b>	
<b>АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ .....</b>	
2.1 Характеристика вихідної інформації.....	16
2.2 Алгоритм дослідження статистичної структури.....	19
2.3 Статистичний аналіз часових рядів атмосферного тиску.....	21
<b>3 ДИНАМІКА АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ ЗАХІДНОЇ</b>	
<b>АНТАРКТИКИ.....</b>	
3.1 Динаміка атмосферного тиску.....	34
3.2 Приховані періодичності в часових рядах атмосферного тиску..	39
3.3 Особливості структури згладжених рядів атмосферного тиску	45
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	
<b>ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	
	<b>57</b>

## 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 вигинів 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 атмосферної 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

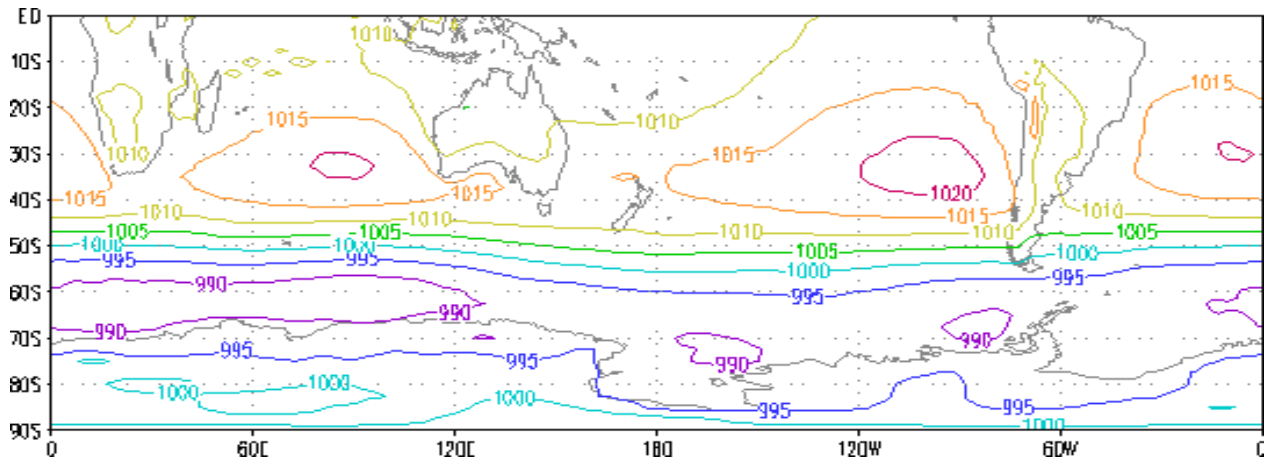
zareєстроване в районі Антарктичного півострова, де розташовано найбільша кількість працюючих станцій в межах Південної полярної області (ППО).

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

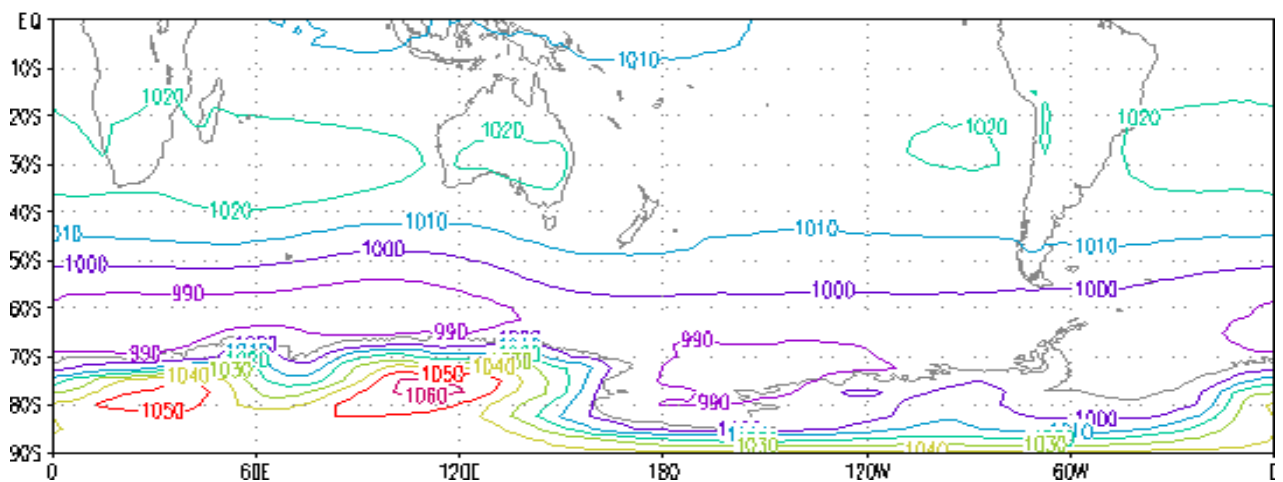


Рисунок 1.1 – Середні поля атмосферного тиску поверхні 1000 гПа в південній півкулі за період 1960 - 1990 (А - січень, Б - липень) [9]

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], 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.

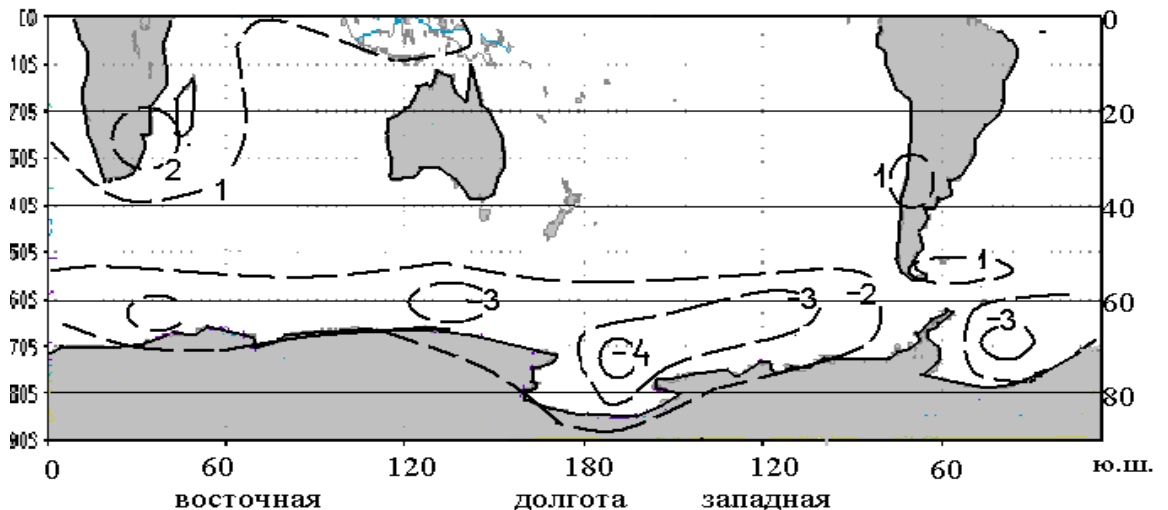


Рисунок 1.2 – Аномалії атмосферного тиску в Південній півкулі, 1977-1998 рр., порівняно з періодом 1957-1977 рр. [9]

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 західної 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 материку 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, 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 антарктичного повітря на периферію, що сприяє ще більшому відособленню в кліматичному відношенні полярних країн, своєрідність яких, головним чином, визначається особливостями радіаційного режиму.

Особливості великомасштабних циркуляційних процесів в атмосфері західного сектора південної півкулі досліджені в роботах Галич Є.А. та Школьного Є.П. [11, 12] Виявлені основні особливості статистичної структури полів геопотенціалу ізобаричних поверхонь 925, 850, 500 та 200 гПа у західному секторі Південної півкулі. Отримано основні компоненти цих полів. Встановлено двофазну осциляцію, що характеризує взаємозв'язок вихрової компоненти в західно-східному перенесенні між південними акваторіями Тихого та Атлантичного океанів. Показано особливості часової мінливості великомасштабних компонентів циркуляційних процесів в атмосфері у другій половині ХХ століття. Процедура дослідження статистичної структури полів геопотенціалу, ґрунтувалася на застосуванні методів багатовимірного статистичного аналізу.

Значний інтерес становлять поля другого власного вектору ізобаричної поверхні АТ-850. Вони мають вигляд біполярної структури протилежного

знаку, що можна ототожнювати з великомасштабним осциляційним процесом в системі загальної циркуляції атмосфери в західному секторі Південної півкулі. Цікавим є той факт, що подібний вигляд мають поля і в інші місяці року, причому центри їхньої симетрії розташовуються в обмеженому просторі. На рис.1.3 показані центри осциляції (центри «ваги»), які розташовуються над південними частинами Тихого та Атлантичного океанів у районі 60 півд.ш. для кожного місяця

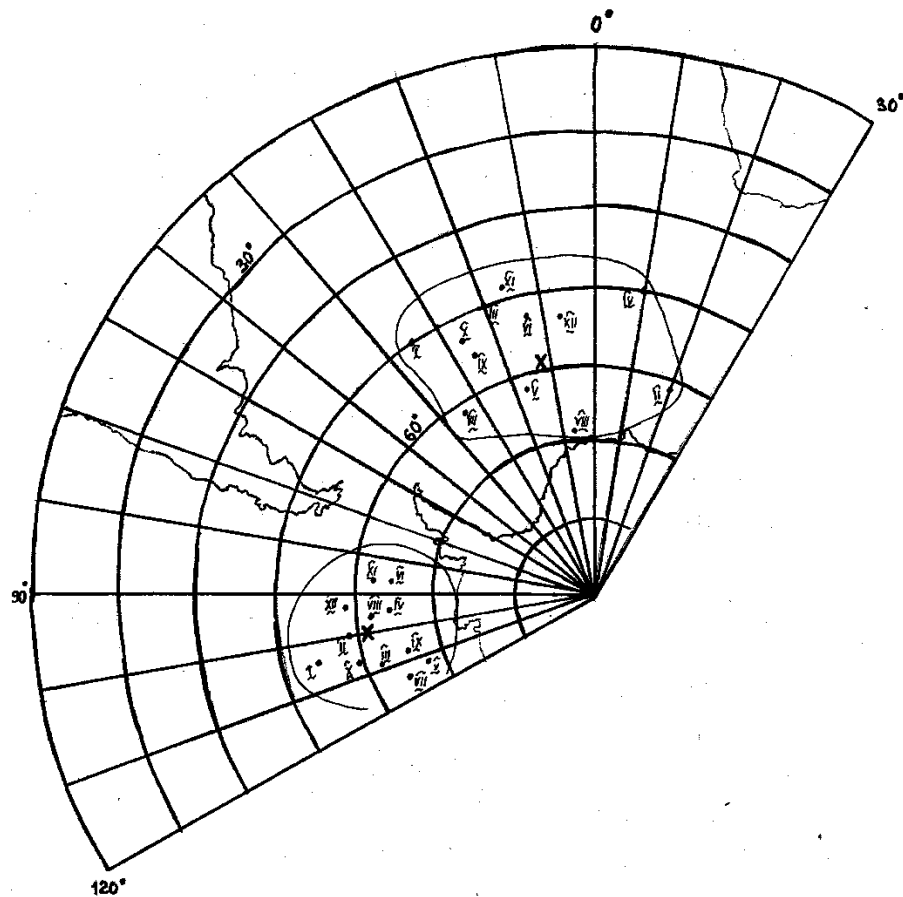


Рисунок 1.3 – Положення центрів біполярної структури у полях другого власного вектору в різні місяці року на рівні АТ850 [12]

Оскільки друга головна компонент, як вказувалося, відображає процеси розвитку вихрової структури в системі загальної циркуляції атмосфери у зазначених акваторіях Південного океану, можна розглядати зазначену біполярну моду як Південно-Тихоокеансько-Атлантичне зональне коливання (ПТОАЗК).

Згладжений часовий ряд другої головної компоненти (рис.1.4), що характеризує зазначену вище осциляцію, має яскраво виражений тренд зменшення амплітуди коливань загальної інтенсивності, тобто. зменшення інтенсивності взаємодії вихрових процесів у атмосфері між зазначеними акваторіями Південного океану.

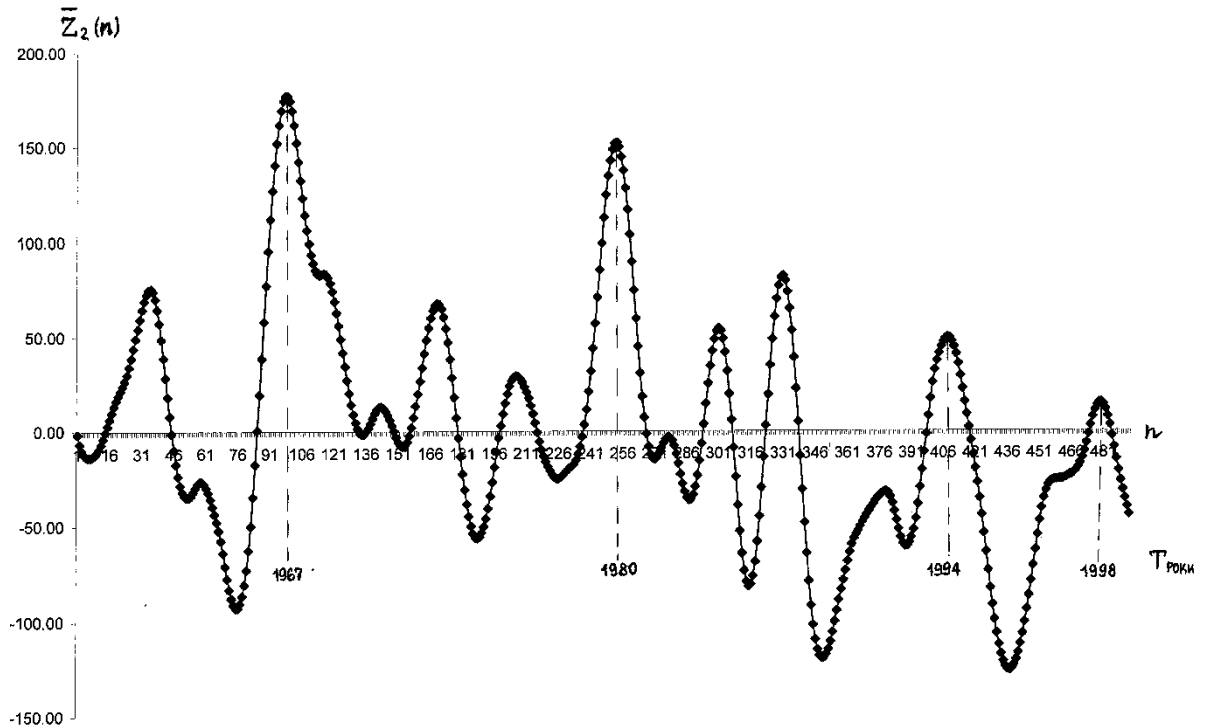


Рисунок 1.4 – Згладжені часові ряди другої головної компоненти ізобаричної поверхні АТ850 [12]

Ці особливості великомасштабних компонентів циркуляційних процесів є відображенням, мабуть, впливу глобального потепління планетарного клімату.

В часовому ряді присутні 11-ти, 4-х та 2-х літні статистично значущі періодичні коливання.

## 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 західної частини Антарктичного континенту, також вказані основні характеристики цих станцій: дата заснування, широта, довгота та період спостережень.

Таблиця 2.1 – Станцій західної частини Антарктичного континенту

№	Назва станції	Дата заснування	Широта	Довгота	Період спостережень
1	Ак.Вернадський	1947	65°14' пд. ш.	64°15' зх. д.	1947-2024
2	<u>Ротера</u>	<u>1975</u>	67°34' пд. ш.	68°07' зх. д.	1976-2024
3	Амундсен Скотт	<u>1956</u>	90° пд. ш .	0° сх. д.	1958-2024
4	Бельграно II	1955	77°52' пд. ш.	34°38' зх. д.	1980-2024
5	Ноймайер	1981	70°39' пд. ш. .	8°15' зх. д	1981-2024

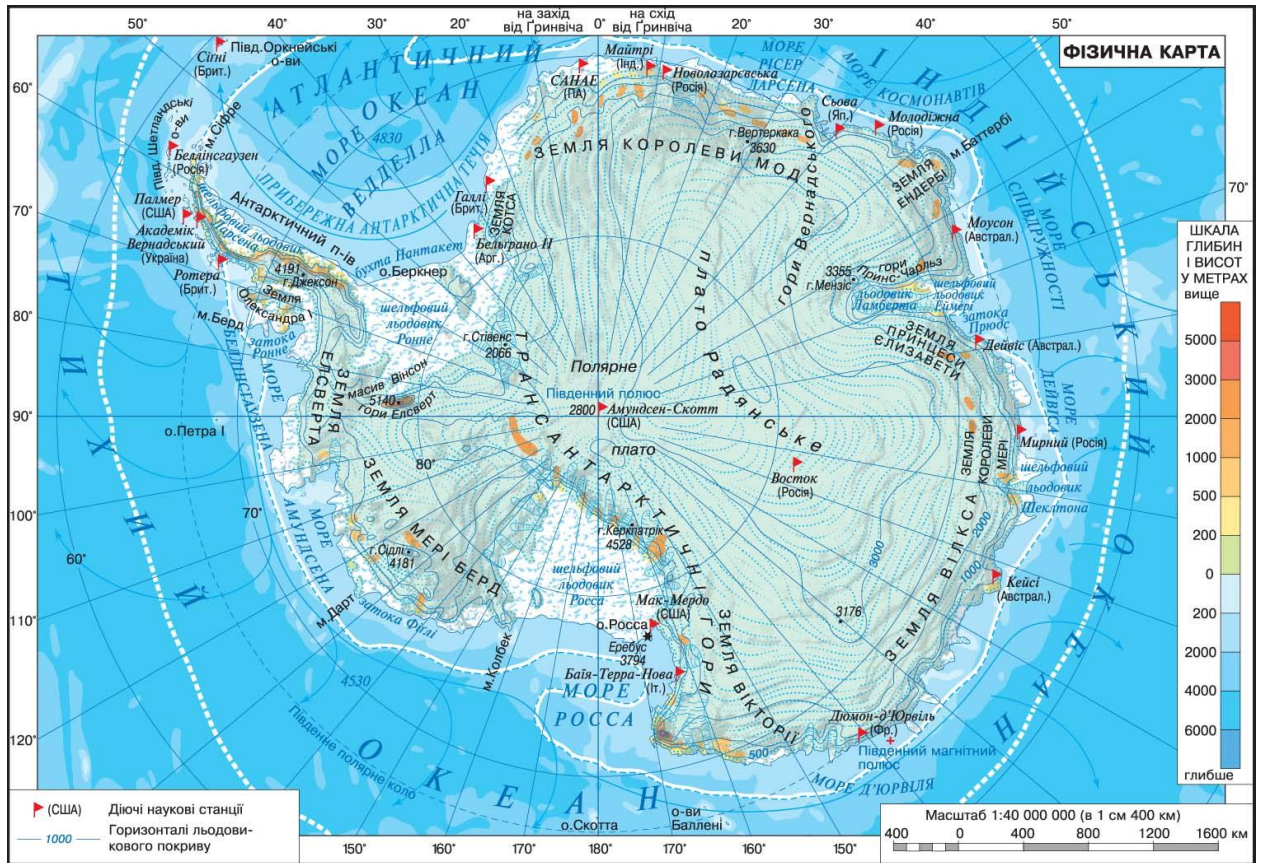


Рисунок 2.1 – Карта Антарктиди

Дослідницька станція Академік Вернадський (до 1996 – Фарадей; англ. *Faraday Station*) – єдина українська антарктична станція. Розташована на мисі Марина острова Галіндеза 7 км від західного узбережжя Антарктичного півострова. Вона працює постійно і є метеорологічною та геофізичною обсерваторією. Головне призначення станції – проведення наукових досліджень в Антарктиці. Для виконання цієї задачі підпорядковано всю життєдіяльність станції та Національного антарктичного наукового центру (НАНЦ).

Дослідницька станція Ротера – британська науково-дослідна станція в Антарктиці. Станція відіграє стратегічну роль в антарктичній логістиці та авіації, оперуючи однойменним аеродромом та продовольчо-матеріальними складами. Вигідне географічне положення дозволяє приймати морські судна та літаки тривалий період протягом року.

Полярна станція Амундсена-Скотта – американська науково-дослідна станція, розташована в Антарктиді, в найпівденнішій точці Землі – Південному полюсі, на висоті 2835 м над рівнем моря.

Бельграно II (англ. *General Belgrano II Base*) – аргентинська науково-дослідна полярна станція, розташована в Антарктиді, на березі моря Ведделла. Ця станція є найпівденнішою постійною станцією Аргентини. 1955 року генерал Герман Пухато заснував першу станцію Бельграно. 5 лютого 1979 року була відкрита станція Бельграно II як послідовниця першої бази. Бельграно III функціонувала 4 роки, в 1980-1984 роках. Зараз функціонує тільки Бельграно II, яка з 2006 року є найпівденнішою постійною аргентинською станцією.

Ноймайєр III (нім. *Neumayer-Station III*) – німецька науково-дослідна полярна станція інституту Альфреда Вегенера, розташована в Антарктиді, на шельфовому льодовику Екстрем, завтовшки близько 200 метрів, за кілька кілометрів на південь від станції Ноймайєр II. Названо на честь геофізика Георга фон Ноймайєра. Комплект для складання станції було перевезено на її нинішнє місце на початку листопада 2007 року. Станція рухається разом із шельфовим льодом зі швидкістю близько 200 метрів на рік у бік відкритого моря.

Робота над проектом станції, включаючи розробку концепції, оцінку впливу на довкілля, етапи планування та будівництва, стартувала у жовтні 1999 року. Регулярна експлуатація станції почалася десять років потому 20 лютого 2009 року. Ноймайєр III замінила станцію Ноймайєр II і станцію Георга фон Ноймайєра, що передувала їй. Очікуваний термін служби станції становить від 25 до 30 років, а вартість проекту оцінюється в 39 мільйонів євро.

## 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 ( $\nu$ ), центральними ( $\mu$ ) та основними ( $r$ ) моментами [13].

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  $S_x^2$  [13]:

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

Статистичну оцінку середнього квадратичного відхилення 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:

$$\hat{r}_1 = \frac{\hat{\mu}_1}{S_x}. \quad (2.6)$$

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  $As = 0$ .

Крім асиметрії, крива розподілу, порівняно з кривою, може бути витягнутою або сплюсненою. Мірою цього є коефіцієнт ексцесу  $E$  [13]:

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

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 [13]:

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

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 Ак.Вернадський, Ротера, Амундсен Скотт, Бельграно та Ноймайер.

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 Ак.Вернадський за період 1947-2024 р.р.

Як видно з табл. 2.2, в середньому за рік найбільший атмосферний тиск спостерігається в липні і досягає 992,3 гПа, послаблюється навесні. В жовтні

значення атмосферного тиску зменшуються до 985,2 гПа. Максимальні значення тиску спостерігаються в серпні і досягають 1008,8 гПа, а найменші у листопаді 972,2 гПа.

Щодо значень середньоквадратичних відхилень середньомісячних значень атмосферного тиску, то треба відмітити, що взимку вони мають найбільші значення і в серпні досягають 6,51 гПа, а найменші – в лютому 3,92 гПа.

Стосовно коефіцієнта асиметрії, треба відмітити, що впродовж майже всього року він має незначні додатні значення, а значить крива розподілу має правосторонню асиметрію відносно нормального розподілу, тільки в червні незначне від'ємне значення, а значить крива розподілу має лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу.

Коефіцієнт ексцесу впродовж всього року, має як додатні так і від'ємні незначні значення, тому крива розподілу є витягнутою або сплюснутою відносно нормального розподілу.

В таблиці 2.3 наводяться значення статистичних оцінок моментів розподілу середньої місячної температури повітря на станції Ротера за період 1976-2024 р.р.

Як видно з табл. 2.3, в середньому за рік найбільший атмосферний тиск спостерігається в липні і досягає 990,4 гПа, тиск на станції послаблюється в перехідні сезони. В листопаді значення атмосферного тиску зменшуються до 982,6 гПа. Максимальні значення тиску спостерігаються взимку і в червні досягають 1004,7 гПа, а найменші – у листопаді 970,3 гПа.

Щодо середньоквадратичних відхилень середньомісячних значень атмосферного тиску, то треба відмітити, що взимку вони мають найбільші значення і в серпні досягають 6,97 гПа, а також в грудні 6,77 гПа. Найменші значення середньоквадратичних відхилень спостерігаються влітку і в січні 3,85 гПа.

Таблиця 2.2 – Значення статистичних оцінок моментів розподілу атмосферного тиску на станції Ак.Вернадський за період 1947-2024 р.р.

Місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$\bar{x}$ , гПа	989,6	988,4	988,4	988,6	992,2	991,9	<b>992,3</b>	990,4	989,3	985,8	<b>985,2</b>	989,0
$X_{\max}$ , гПа	999,3	999,0	1001,4	999,3	1004,0	1007,0	1005,5	<b>1008,8</b>	1002,3	1001,2	1002,7	1003,7
$X_{\min}$ , гПа	979,0	979,7	977,2	978,8	979,8	976,3	976,0	978,2	976,5	975,2	<b>972,2</b>	979,3
$S_x$ , гПа	4,02	<b>3,92</b>	4,92	4,54	5,82	6,11	5,90	<b>6,51</b>	5,62	4,99	5,54	5,78
$M_0$ , гПа	991,9	986,9	988,7	986,8	998,4	992,9	991,6	996,4	991,2	984,4	983,5	995,4
$M_6$ , гПа	989,6	987,6	988,8	987,6	991,9	992,3	992,2	989,9	988,9	985,5	984,4	988,3
$As=r_3$	0,04	0,43	0,08	0,17	0,00	<b>-0,09</b>	0,02	0,36	0,15	0,13	0,40	0,25
$E$	-0,25	0,13	0,29	-0,52	-0,67	0,22	-0,04	-0,28	-0,38	0,29	0,30	-0,64

Таблиця 2.3 – Значення статистичних оцінок моментів розподілу атмосферного тиску на станції Ротера за період 1976-2024 р.р.

Місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$\bar{x}$ , гПа	987,5	986,5	986,8	986,6	990,2	990,2	<b>990,4</b>	987,4	987,0	982,9	<b>982,6</b>	986,4
$X_{\max}$ , гПа	996,9	994,1	999,5	995,6	1003,1	<b>1004,7</b>	1003,1	1002,0	1001,2	999,8	995,1	1005,9
$X_{\min}$ , гПа	977,4	979,3	975,2	975,5	975,8	976,8	974,3	972,5	971,5	972,9	<b>970,3</b>	974,7
$S_x$ , гПа	<b>3,85</b>	4,16	5,33	4,96	6,57	6,49	6,63	<b>6,97</b>	6,19	5,43	5,93	6,77
$M_0$ , гПа	989,5	984,6	997,6	983,1	998,1	993,4	983,7	983,4	987,3	980,7	989,1	990,0
$M_6$ , гПа	988,0	986,1	987,5	985,5	989,9	991,3	990,3	986,6	987,3	982,9	982,5	984,8
$As=r_3$	-0,19	0,21	0,16	-0,03	-0,25	-0,17	-0,05	0,38	0,04	0,33	0,08	0,58
$E$	0,32	-0,86	0,14	-0,59	-0,78	-0,14	-0,32	-0,51	0,33	0,78	-0,77	0,07

Таблиця 2.4 – Значення статистичних оцінок моментів розподілу атмосферного тиску на станції Амундсен Скотт за період 1957-2024 р.р.

Місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$\bar{x}$ , гПа	689,3	685,4	681,2	680,3	680,0	680,9	676,7	676,2	675,9	677,3	682,8	687,9
$X_{\max}$ , гПа	697,1	695,5	690,1	687,7	689,6	691,9	691,6	689,2	685,9	689,9	693,1	699,2
$X_{\min}$ , гПа	680,0	679,6	671,0	670,0	656,7	671,3	663,2	665,4	666,0	669,1	673,8	680,0
$S_x$ , гПа	3,93	3,44	3,29	3,29	5,32	4,49	5,33	5,39	4,42	3,71	4,26	4,72
$M_0$ , гПа	690,1	684,2	682,2	682,4	680,9	685,8	675,3	672,9	677,3	676,0	679,2	689,2
$M_e$ , гПа	689,6	684,9	681,8	680,9	680,7	680,8	676,5	675,7	676,5	676,8	682,5	688,1
$As=r_3$	-0,17	0,70	-0,31	-0,51	-1,41	0,22	-0,05	0,45	-0,05	0,72	0,09	0,38
$E$	-0,33	0,31	0,96	0,76	4,62	0,01	0,90	-0,12	-0,37	1,16	-0,47	-0,65

Таблиця 2.5 – Значення статистичних оцінок моментів розподілу атмосферного тиску на станції Бельграно за період 1980-2024 р.р.

Місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$\bar{x}$ , гПа	991,4	990,0	988,3	988,9	990,3	992,6	989,2	989,1	987,8	985,5	986,6	989,6
$X_{\max}$ , гПа	1001,3	998,4	994,5	997,8	1002,8	1002,6	1001,0	999,7	999,1	1003,0	996,5	1002,0
$X_{\min}$ , гПа	982,6	983,0	981,1	980,3	977,4	985,0	973,5	978,9	978,3	976,3	976,9	977,5
$S_x$ , гПа	4,18	3,84	3,01	4,35	5,14	4,48	5,16	5,12	4,82	4,42	4,39	6,34
$M_0$ , гПа	998,3	994,7	988,8	993,0	987,0	994,4	990,3	989,2	989,3	986,9	982,8	987,4
$M_e$ , гПа	991,4	990,0	988,4	989,5	989,8	992,6	988,8	989,2	987,8	986,0	987,0	989,5
$As=r_3$	0,03	0,09	0,05	-0,16	0,19	0,25	-0,27	0,26	0,04	1,08	0,10	0,25
$E$	-0,10	-0,61	0,43	-0,73	0,20	-0,46	1,07	-0,52	0,03	4,97	-0,62	-0,82

Таблиця 2.6 – Значення статистичних оцінок моментів розподілу атмосферного тиску на станції Ноймайер за період 1981-2024 р.р.

Місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$\bar{x}$ , гПа	989,1	987,1	985,4	985,9	987,1	989,7	986,4	985,5	985,8	983,3	984,4	987,0
$X_{\max}$ , гПа	996,7	995,4	993,8	994,2	997,8	999,6	1000,8	995,8	994,5	1000,2	994,2	998,9
$X_{\min}$ , гПа	979,8	980,5	976,4	978,4	977,1	980,9	972,7	975,9	975,9	976,5	975,5	976,7
$S_x$ , гПа	4,14	3,68	3,83	3,86	4,60	4,74	4,95	4,42	5,09	4,72	4,78	5,86
$M_0$ , гПа	989,5	988,9	988,8	986,8	992,9	989,8	985,2	987,3	985,4	983,7	982,3	983,2
$M_e$ , гПа	989,5	987,1	985,5	985,6	986,5	989,8	986,7	985,3	985,2	982,6	983,9	986,3
$As=r_3$	-0,29	0,23	-0,03	0,20	0,35	0,12	0,16	0,22	0,11	1,11	0,00	0,29
$E$	-0,10	-0,70	-0,10	-0,17	-0,09	-0,61	1,72	-0,39	-0,80	2,41	-0,86	-0,78

Коефіцієнти асиметрії впродовж року має як додатні так і від'ємні значення, а значить крива розподілу має або правосторонню асиметрію, або лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу. Коефіцієнт ексцесу впродовж всього року, має як додатні так і від'ємні незначні значення, в жовтня, де ексцес досягає 0.78, тому крива розподілу є витягнутою відносно нормального розподілу, а в лютому -0.86.

В таблиці 2.4 наводяться значення статистичних оцінок моментів розподілу середньої місячної температури повітря на станції Амундсен Скотт за період 1957-2024 р.р.

Аналіз табл. 2.4 показав, що в середньому за рік найбільший атмосферний тиск спостерігається в січні і досягає 689,3 гПа, тиск послаблюється влітку і в вересні знижується до 675,9 гПа. Максимальні значення тиску на станції Амундсен Скотт спостерігаються влітку і грудні досягають 699,2 гПа, а найменші – у травні 656,7 гПа.

Щодо середньоквадратичних відхилень середньомісячних значень атмосферного тиску, то треба відмітити, що взимку вони мають найбільші значення і в серпні досягають 5,39 гПа. Найменші значення середньоквадратичних відхилень спостерігаються восени та влітку, в березні та квітні 3,29 гПа.

Коефіцієнти асиметрії впродовж року має як додатні так і від'ємні значення, а значить крива розподілу має або правосторонню асиметрію, або лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу, в травні, від найбільший -1.41, а значить крива розподілу має значну лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу. Коефіцієнт ексцесу впродовж всього року, має як додатні так і від'ємні незначні значення, і в травні ексцес досягає 4.62, 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 Бельграно за період 1980-2024 р.р.

Аналіз табл. 2.5 показує, що в середньому за рік найбільший атмосферний тиск спостерігається взимку і в червні досягає 992,6 гПа, тиск на станції

послаблюється в перехідні сезони. В жовтні значення атмосферного тиску зменшуються до 985,5 гПа. Максимальні значення тиску на станції Бельграно відмічаються в жовтні і досягають 1003,0 гПа, а найменше значення атмосферного тиску у липні 973,5 гПа.

Середньоквадратичні відхилення середньомісячних значень атмосферного тиску взимку мають найбільші значення і в липні досягають 5,16 гПа та в грудні 6,34 гПа. Найменші значення середньоквадратичних відхилень спостерігаються в перехідні сезони в березні 3,01 гПа.

Коефіцієнти асиметрії також впродовж більшої частини року має незначні додатні значення, а значить крива розподілу має правосторонню асиметрію відносно нормального розподілу, тільки в квітні та липні вони від'ємні, а значить крива розподілу має лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу, найбільша асиметрія у жовтні 1.08.

Коефіцієнт ексцесу впродовж всього року, має незначні як додатні так і від'ємні значення, окрім жовтня, де ексцес досягає 4.97, 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 Ноймайер за період 1981-2024 р.р.

Як видно з табл. 2.6, в середньому за рік найбільший атмосферний тиск спостерігається взимку і в червні досягає 989,7 гПа. Тиск на станції Ноймайер послаблюється навесні і у жовтні знижується до 983,3 гПа. Максимальні та мінімальні значення тиску на станції відмічаються у липні: максимальне 1000,8 гПа, мінімальне 972,7 гПа.

Аналіз середньоквадратичних відхилень середньомісячних значень атмосферного тиску показав, що влітку вони мають найбільші значення і в грудні досягають 5,86 гПа. Найменші значення середньоквадратичних відхилень спостерігаються в перехідні сезони та влітку і в лютому зменшується до 3,68 гПа.

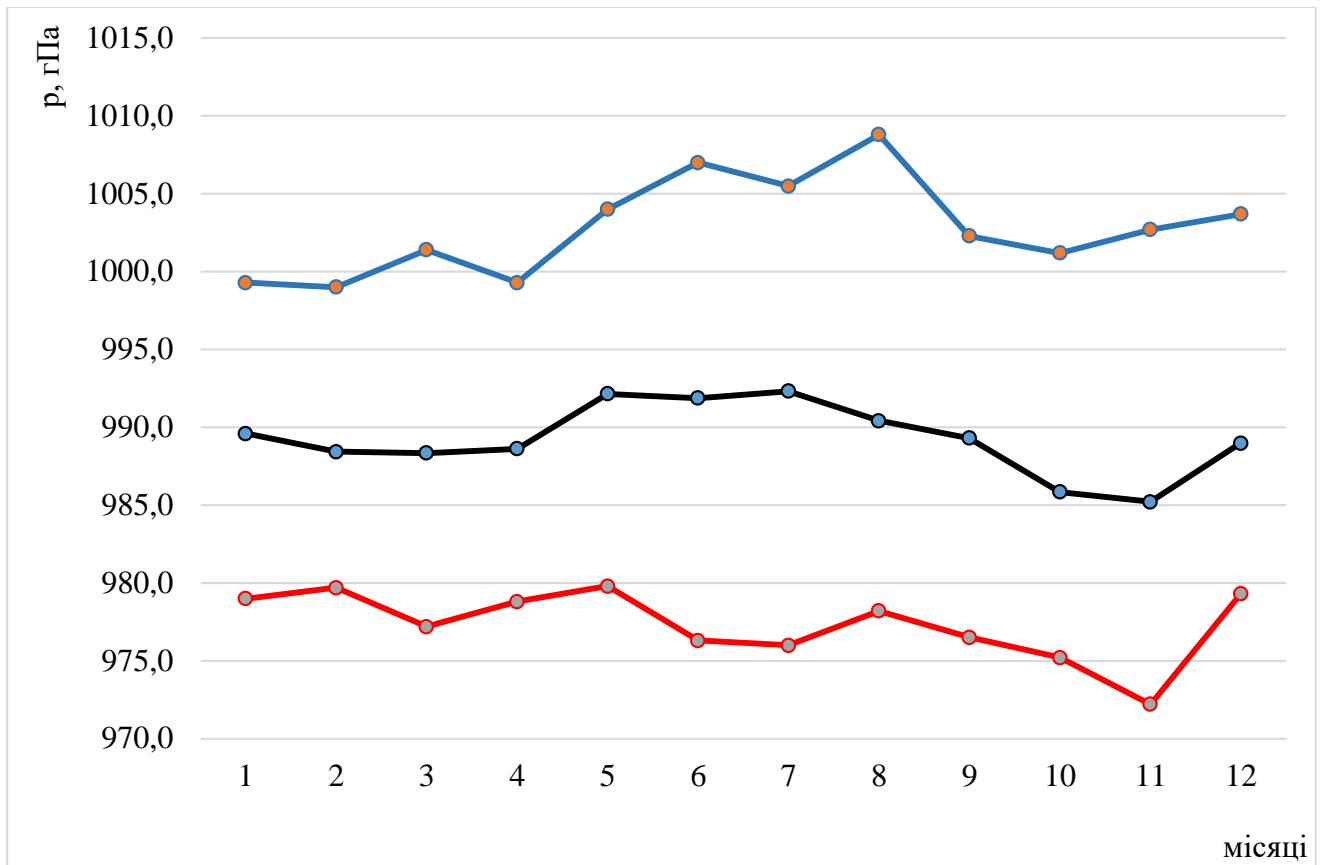


Рисунок 2.2 – Річний хід багаторічних середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Ак.Вернадский

Коефіцієнти асиметрії впродовж року має більше додатні значення, а значить крива розподілу має правосторонню асиметрію та в січні і березні лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу Найбільша правостороння асиметрія у жовтні 1.11. Коефіцієнт ексцесу впродовж всього року має більш від'ємні незначні значення, окрім липня та жовтня, де ексцес досягає 1.72 та 2.41, 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 рис. 2.2 та 2.3 середньомісячних значень атмосферного тиску на станціях Ак.Вернадский та Ротера, що розташовані на Антарктичному півострові, простежується значне зростання атмосферного тиску в зимовий період та зниження в листопаді та восени.

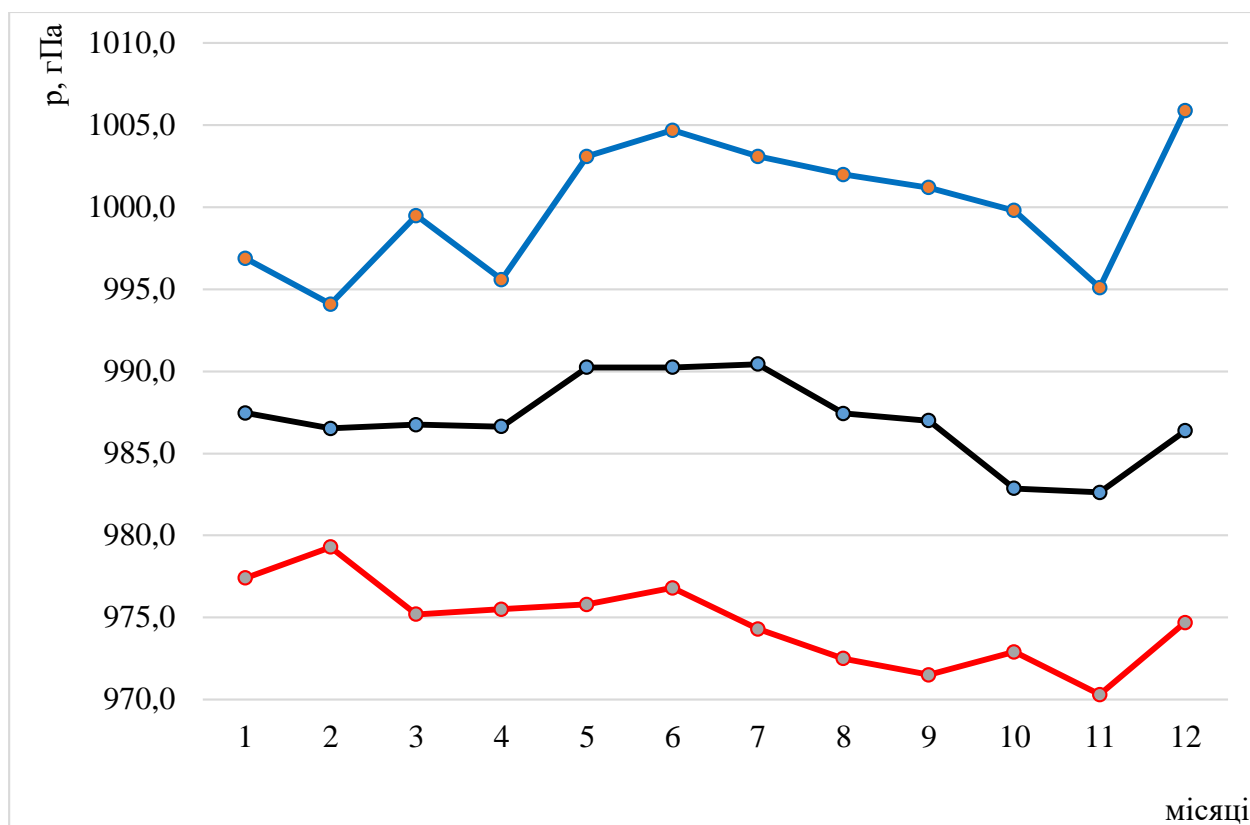


Рисунок 2.3 – Річний хід багаторічних середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Ротера

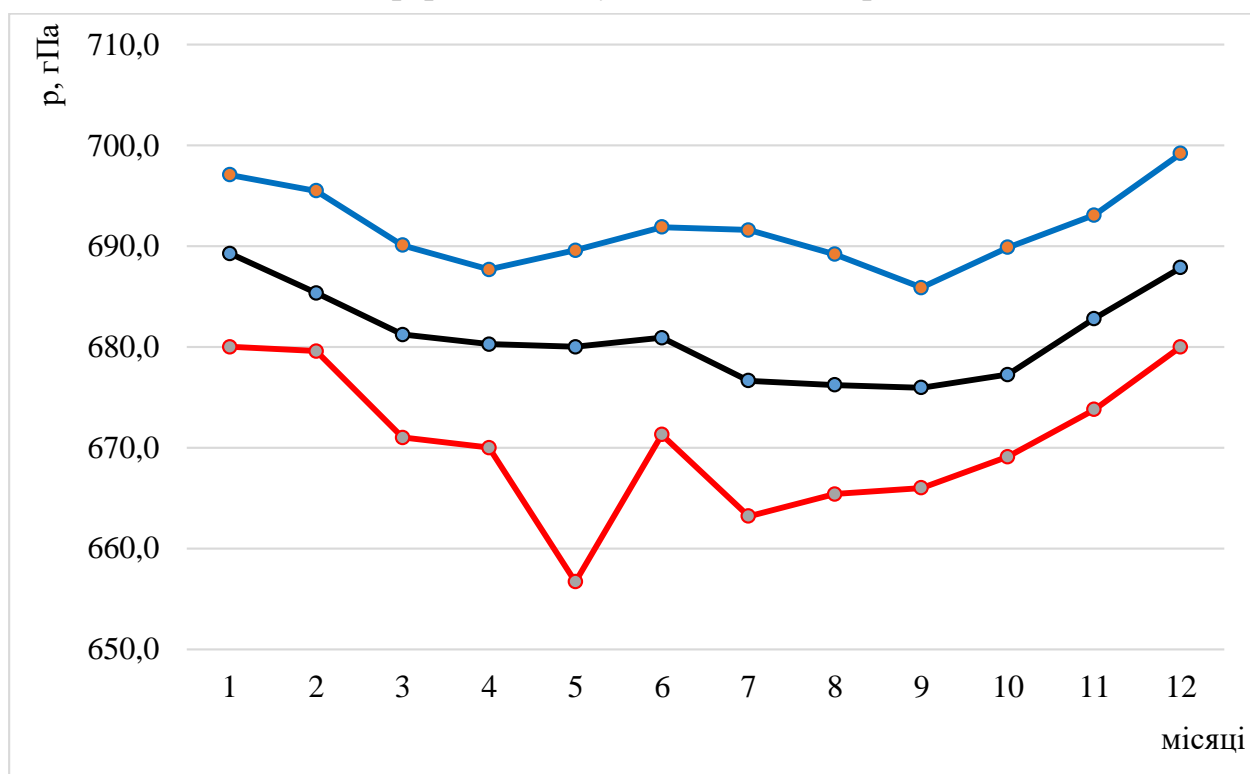


Рисунок 2.4 – Річний хід багаторічних середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Амундсен Скотт

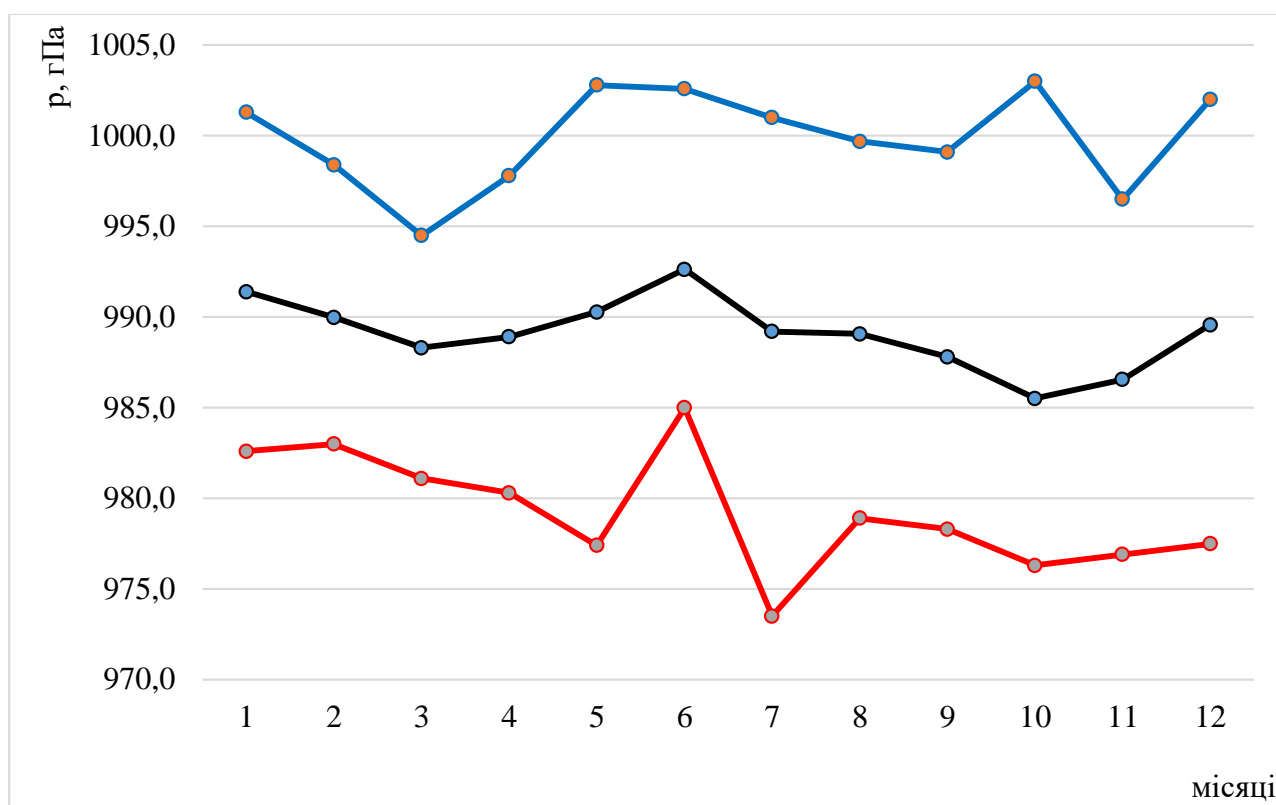


Рисунок 2.5 – Річний хід багаторічних середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Бельграно

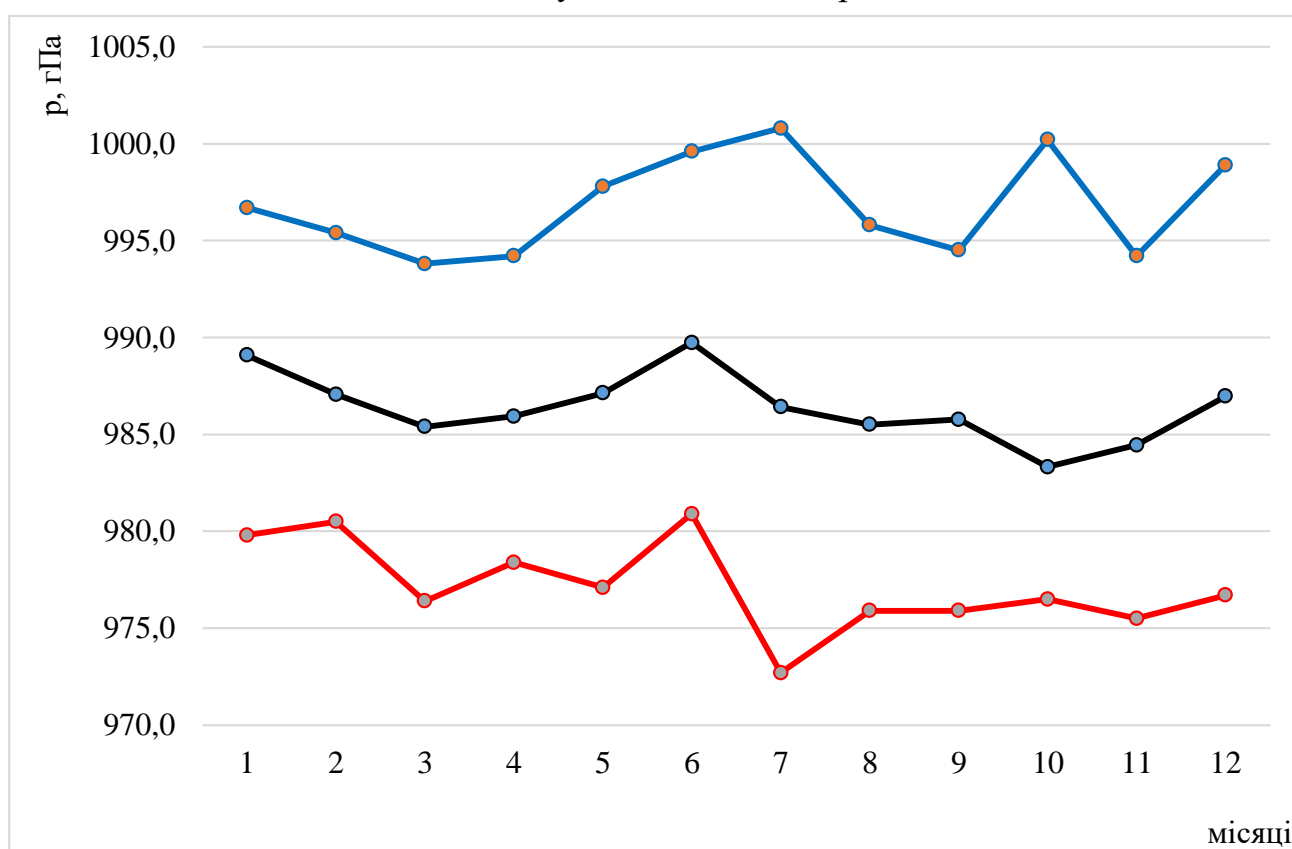
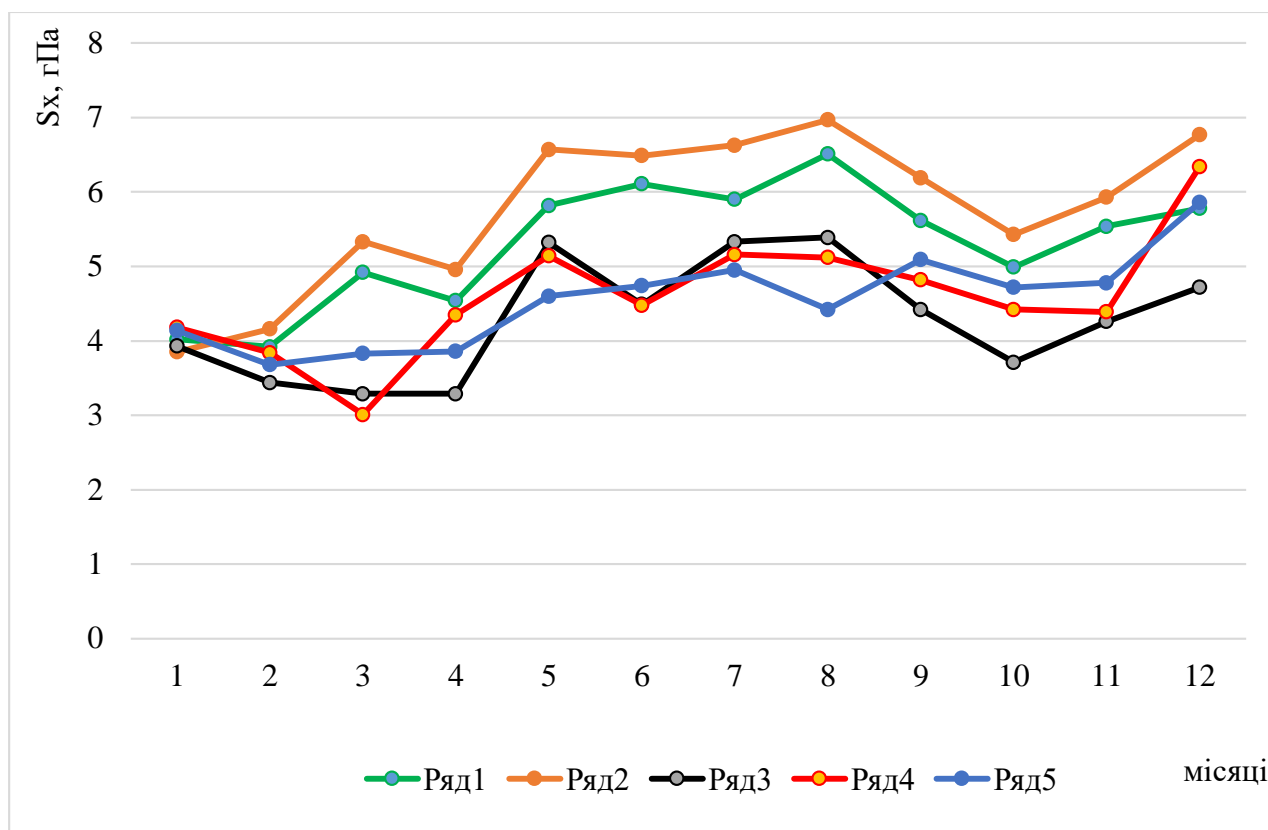


Рисунок 2.6 – Річний хід багаторічних середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Ноймайер



Ряд1 – Ак.Вернадский, Ряд2 – Ротера, Ряд3 – Амундсен Скотт, Ряд4 – Бельграно,  
Ряд5 - Ноймайер

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

На станції Амундсен Скотт (рис.2.4) впродовж року тиск зменшується влітку і посилюється влітку. Це може бути пов'язано з посиленням Антарктичного антициклону у літній період.

Загальними рисами володіють і річні розподіли тиску на станціях Бельграно та Ноймайер, спостерігається збільшення в зимовий період та в грудні та зниження восени. Загальними рисами володіють і річні розподіли значень середньоквадратичних відхилень атмосферного тиску на станціях західної Антарктики (рис.2.7).

Максимальні значення спостерігаються в зимовий період та в грудні, що може бути пов'язано із значною мінливістю атмосферного тиску в ці сезони, а мінімальні значення восени. Мінливість на станції Ротера найбільша.

## 3 ДИНАМІКА АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ ЗАХІДНОЇ АНТАРКТИКИ

### 3.1 Динаміка приземного 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 Ак.Вернадський, Ротера, Амундсен Скотт, Бельграно та Ноймайер.

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 [13]. 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.

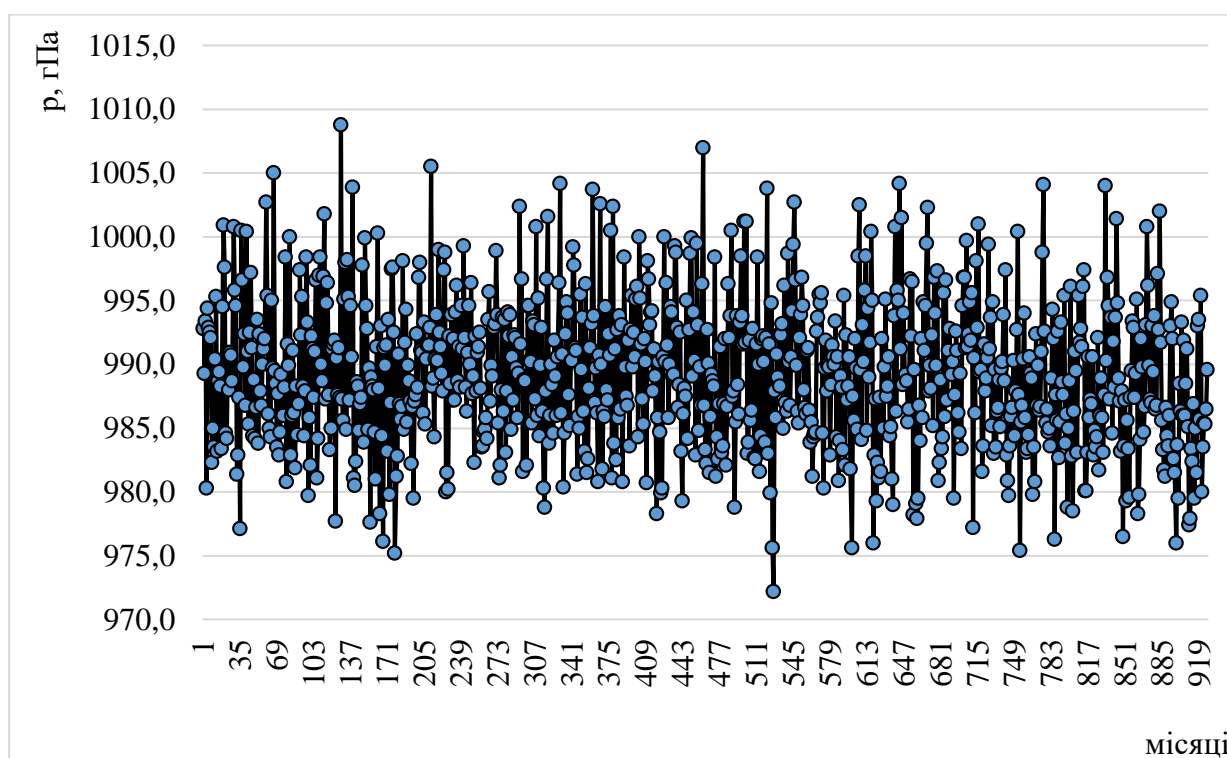


Рисунок 3.1 – Часовий ряд середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Ак.Вернадський 1954-2024 р.р.

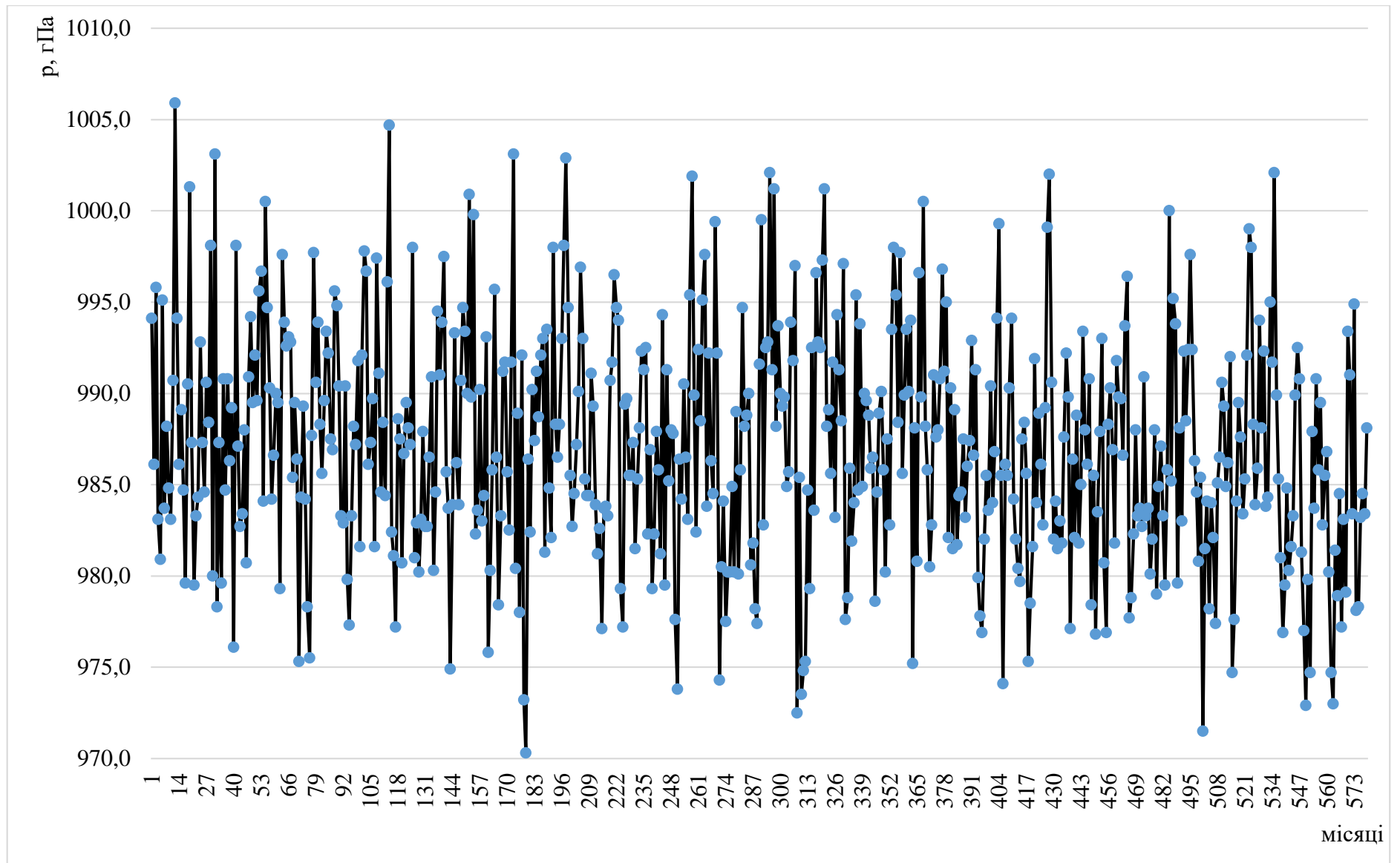


Рисунок 3.2 – Часовий ряд середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Ротера 1976-2024 р.р.

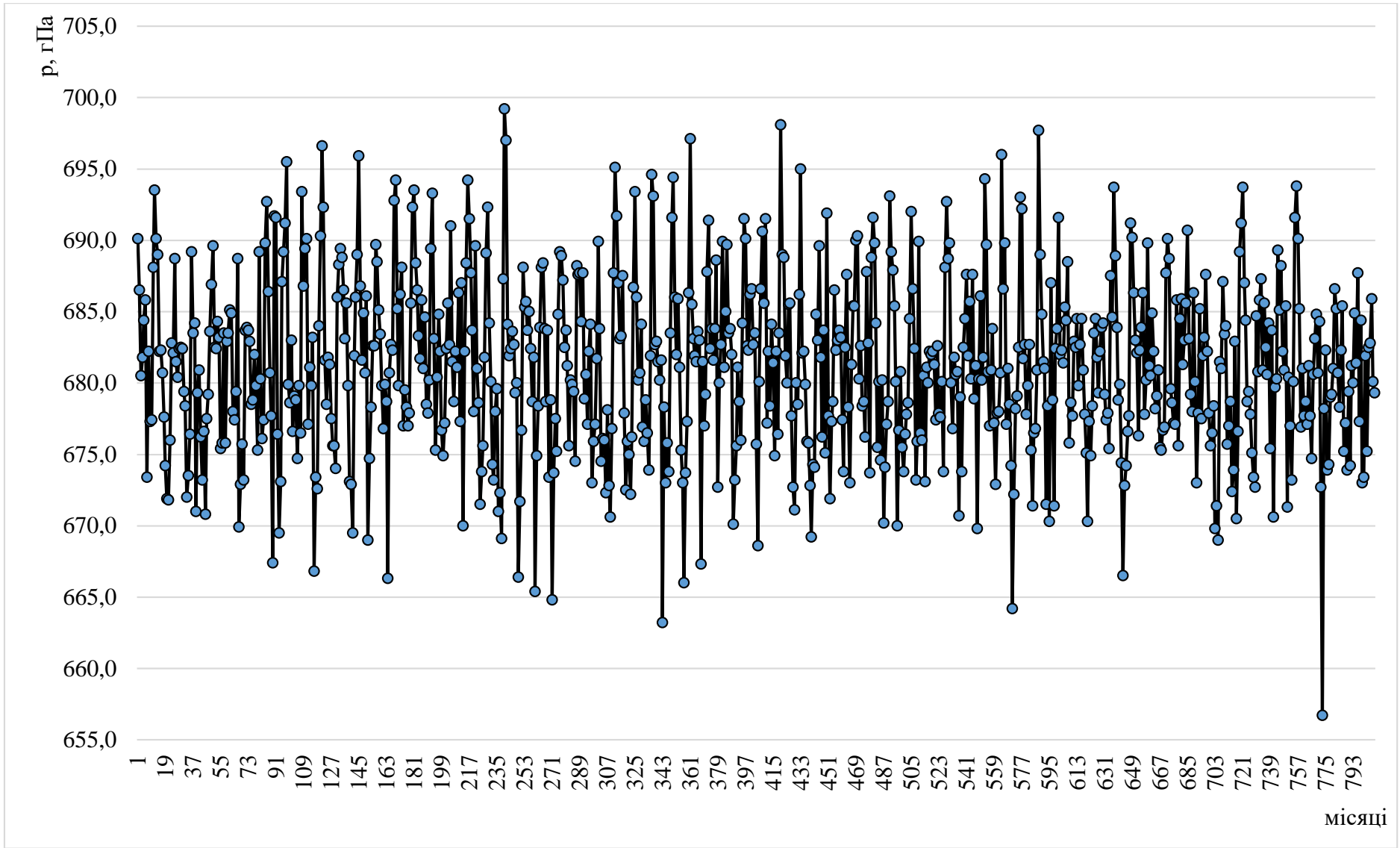


Рисунок 3.3 – Часовий ряд середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Амундсен Скотт 1958-2024 р.р.

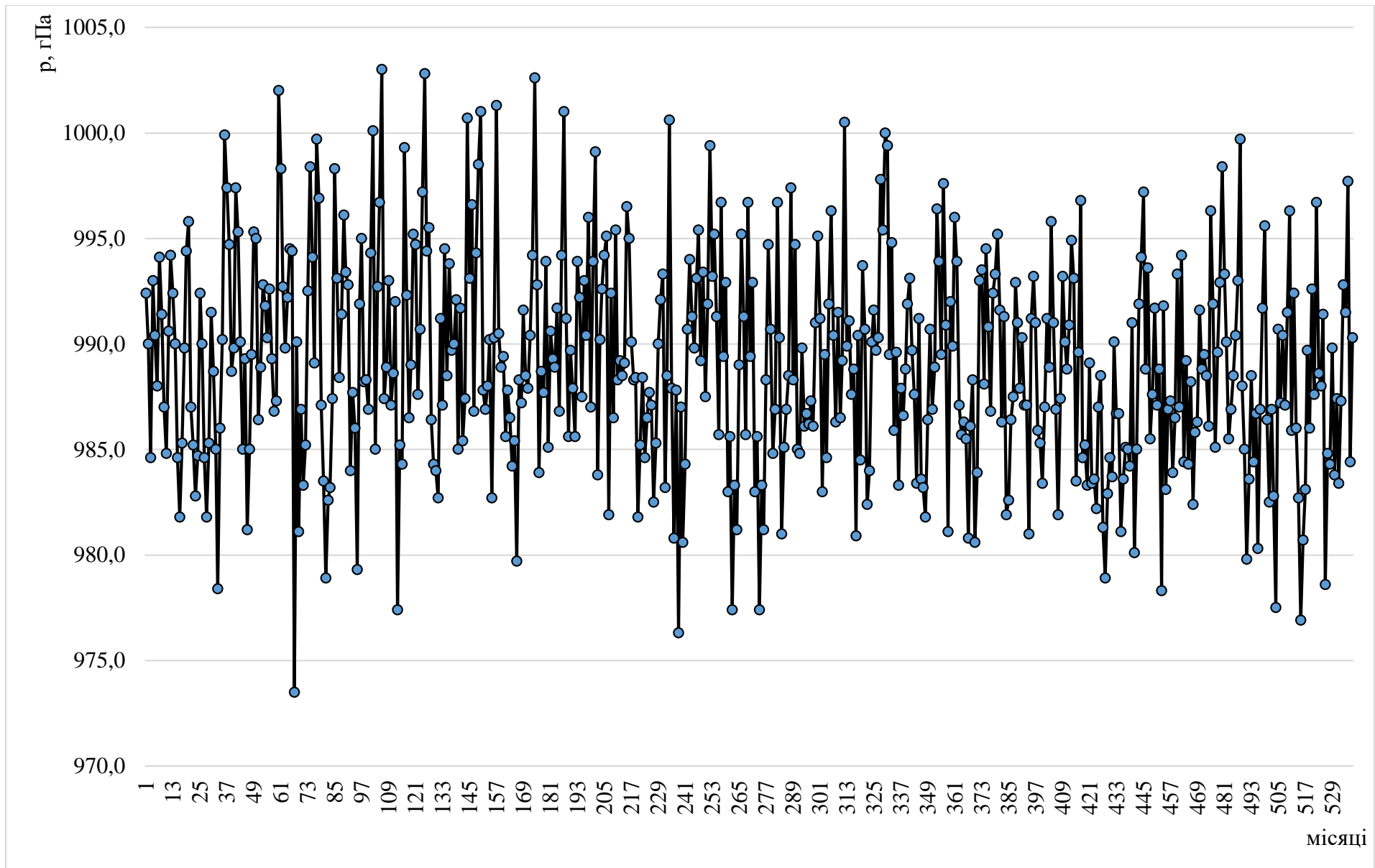


Рисунок 3.4 – Часовий ряд середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Бельграно 1980-2024 р.р.

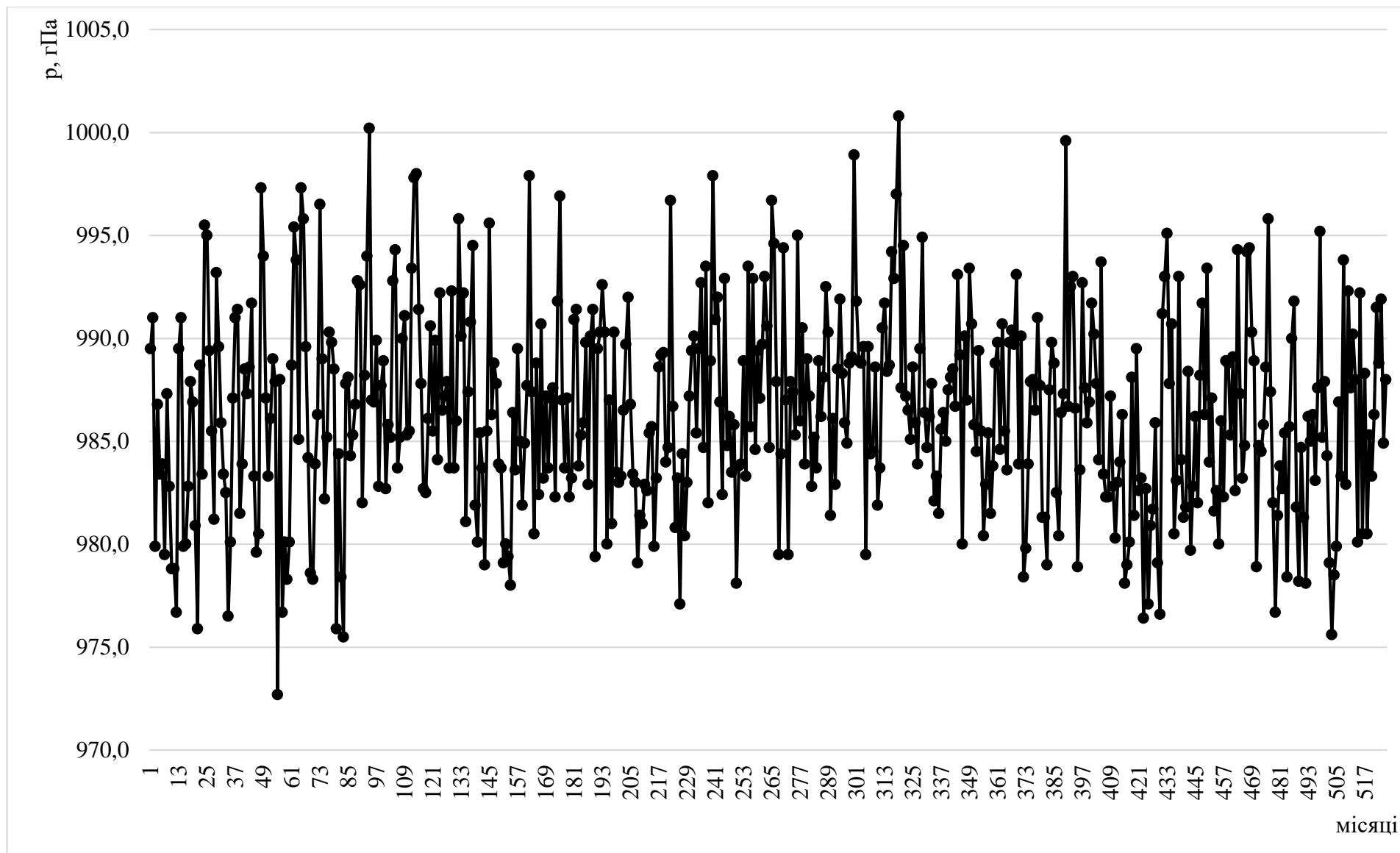


Рисунок 3.5 – Часовий ряд середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Ноймайєр 1981-2024 р.р.

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 подальшому 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 [13].

Часовий ряд  $p(t)$ , визначений на інтервалі  $t \in [-\tau, \tau]$  можна розглядати як кусково-гладку функцію часу. 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  $\omega_k$  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  $\omega_k$ , 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,  $\sigma_A$  – 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 західної Антарктики, отриманих за допомогою інтегрального перетворення Фур'є.

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

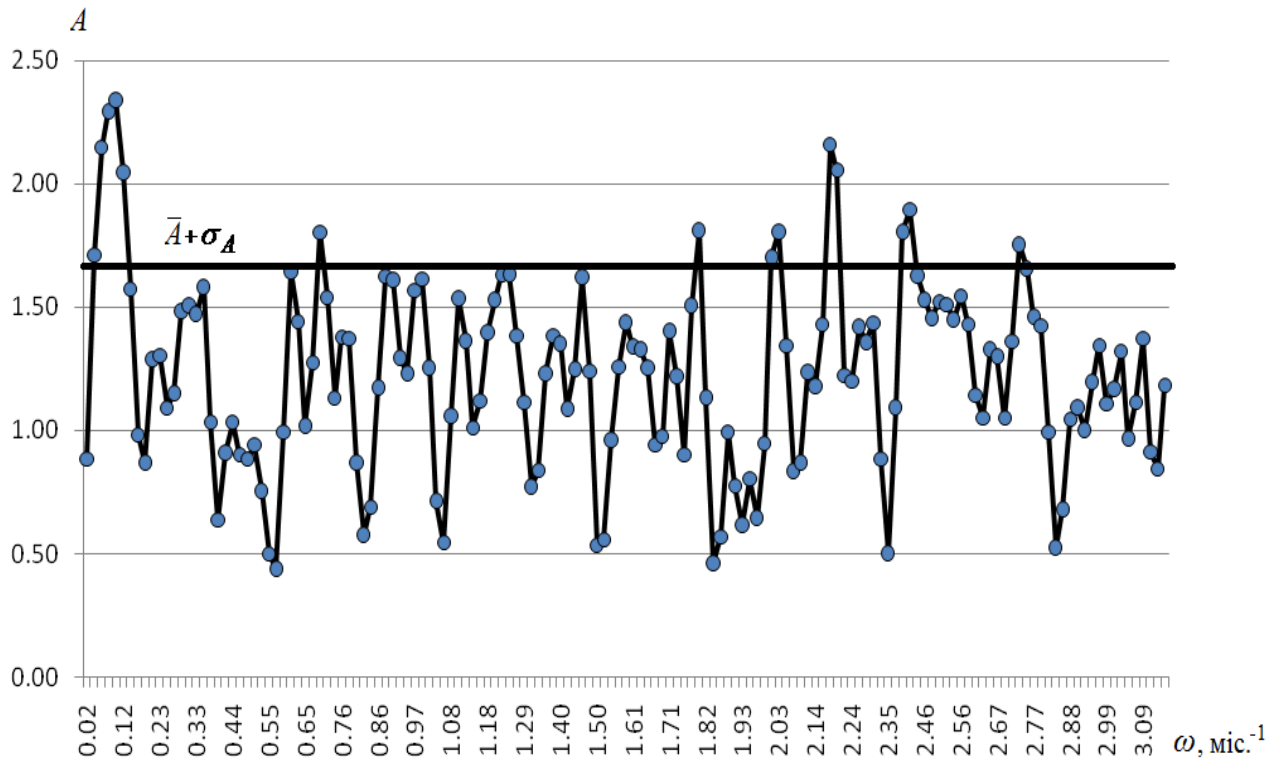


Рисунок 3.6 – Амплітудно-частотна характеристика ( $p = 0,68$ ) для часового ряду атмосферного тиску

Таблиця 3.1 – Статистично значущі періодичні компоненти часового ряду атмосферного тиску для станції Ак.Вернадський

№ п/п ( $i$ )	$\omega_i$	$T_i$ , місяці	$A_i$ , гПа
5	0.086	73.267	6.323
9	0.146	43.048	5.896
12	0.191	32.877	6.644
16	0.251	25.002	5.628
45	0.688	9.136	5.522
53	0.808	7.775	5.762
63	0.959	6.554	5.586
88	1.335	4.707	5.695
104	1.576	3.987	5.640
158	2.388	2.631	5.516
194	2.930	2.144	5.519

Аналіз табл. 3.1 свідчить про те, що часовий ряд атмосферного тиску для станції Ак.Вернадський містить статистично значущі коливання з періодами 6 років, 3.5 років, 2.5 роки, квазідворічні, 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 Ротера.

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

№ п/п ( <i>i</i> )	$\omega_i$	$T_i$ , місяці	$A_i$ , гПа
5	0.089	70.326	6.647
9	0.152	41.320	5.905
20	0.325	19.361	6.438
32	0.513	12.255	5.979
38	0.607	10.355	5.883
128	2.018	3.114	5.803
176	2.771	2.268	5.766
187	2.943	2.135	5.902
196	3.084	2.037	6.134
200	3.147	1.997	5.867

З табл. 3.2 видно, що часовий ряд атмосферного тиску для станції Ротера, містить також статистично значущі гармоніки з періодами 6 років, 3.5 років, 1.5 роки, квазірічні, а також сезонні та 2 місячні періодичні коливання.

У табл. 3.3 представлені характеристики статистично значущих періодичних коливань часового ряду атмосферного тиску для станції Амундсен Скотт. Аналіз табл. 3.3 свідчить про те, що часовий ряд атмосферного тиску для станції

Амундсен Скотт, як і на попередніх двох станціях, містить статистично значущі коливання з періодами 6 років, квазірічні, а також піврічні, сезонні та 2 місячні періодичні коливання.

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

№ п/п ( $i$ )	$\omega_i$	$T_i$ , місяці	$A_i$ , гПа
5	0.086	73.267	4.936
39	0.597	10.516	4.011
48	0.733	8.573	3.861
69	1.049	5.990	4.978
84	1.275	4.929	3.943
104	1.576	3.987	3.922
110	1.666	3.771	3.879
172	2.599	2.417	3.968
187	2.825	2.224	3.882

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

Аналіз табл. 3.4 свідчить про те, що часовий ряд атмосферного тиску для станції Бельграно 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 Ноймайер.

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.

Таблиця 3.4 – Статистично значущі періодичні компоненти часового ряду атмосферного тиску для станції Бельграно

№ п/п ( <i>i</i> )	$\omega_i$	$T_i$ , 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
31	0.477	13.171	3.759
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

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

№ п/п ( <i>i</i> )	$\omega_i$	$T_i$ , 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

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. Для виявлення трендів та великомасштабних коливань проводиться процедура згладжування часових рядів [13]. 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  $\alpha_i$  – 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  $\alpha_i$  – 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 апріорну 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 Ак.Вернадський з періодом 2 роки (24 точки), а Ротера, Амундсен Скотт, Бельграно та Ноймайер з періодом 1 рік (12 точок).

На рис. 3.7 – 3.11 наводяться результати згладжування часових рядів приземної температури повітря для станціях Ак.Вернадський, Ротера, Амундсен Скотт, Бельграно та Ноймайер (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) [13].

Аналіз згладженого часового ряду станції Ак.Вернадський (рис.3.7) вказує на те, що у випадковому процесі, спостерігається 11 річні коливання, квазіп'ятирічна періодичність, а також дворічні коливання.

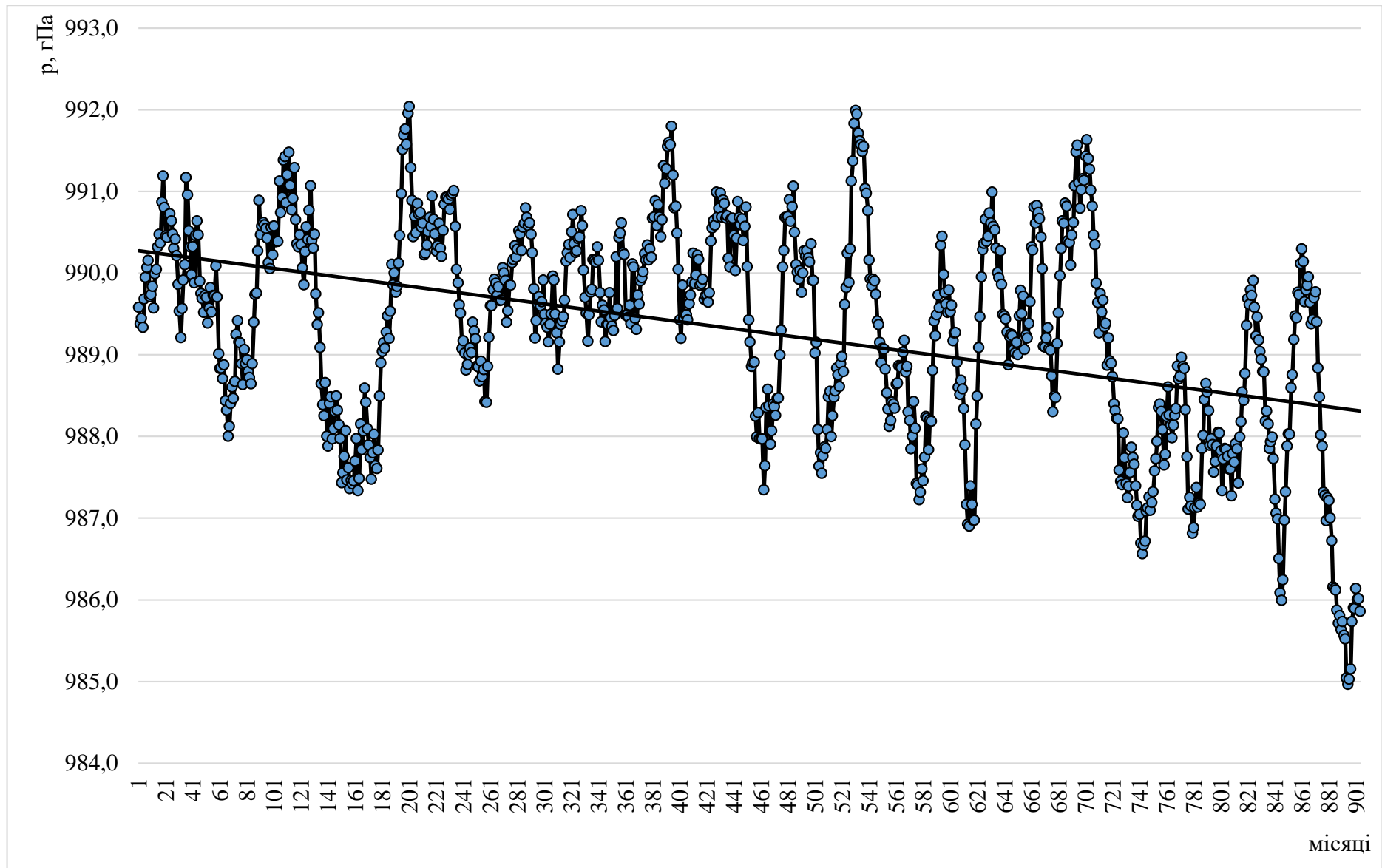


Рисунок 3.7 – Згладжений часовий ряд середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Ак.Вернадський

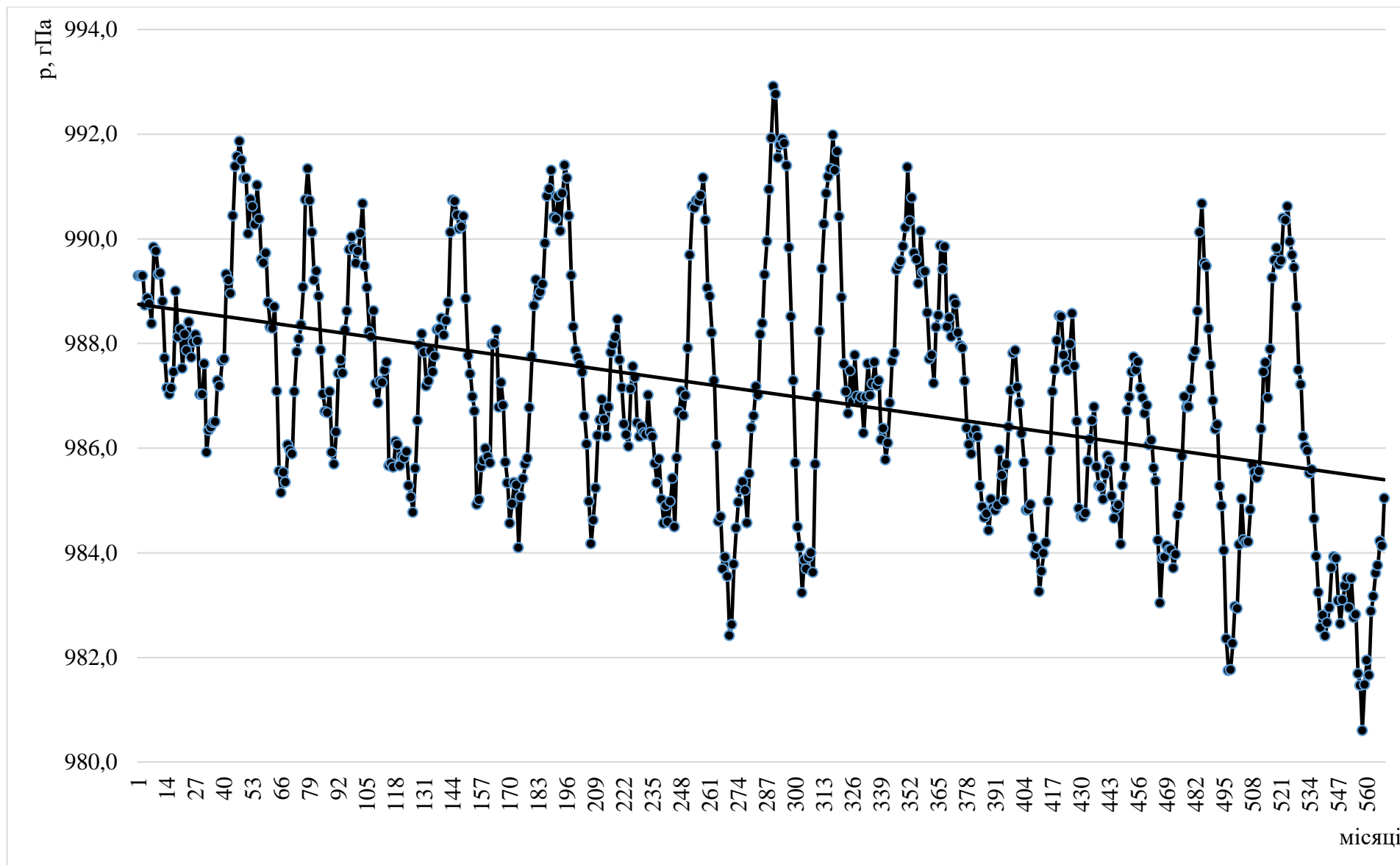


Рисунок 3.8 – Згладжений часовий ряд середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Ротера

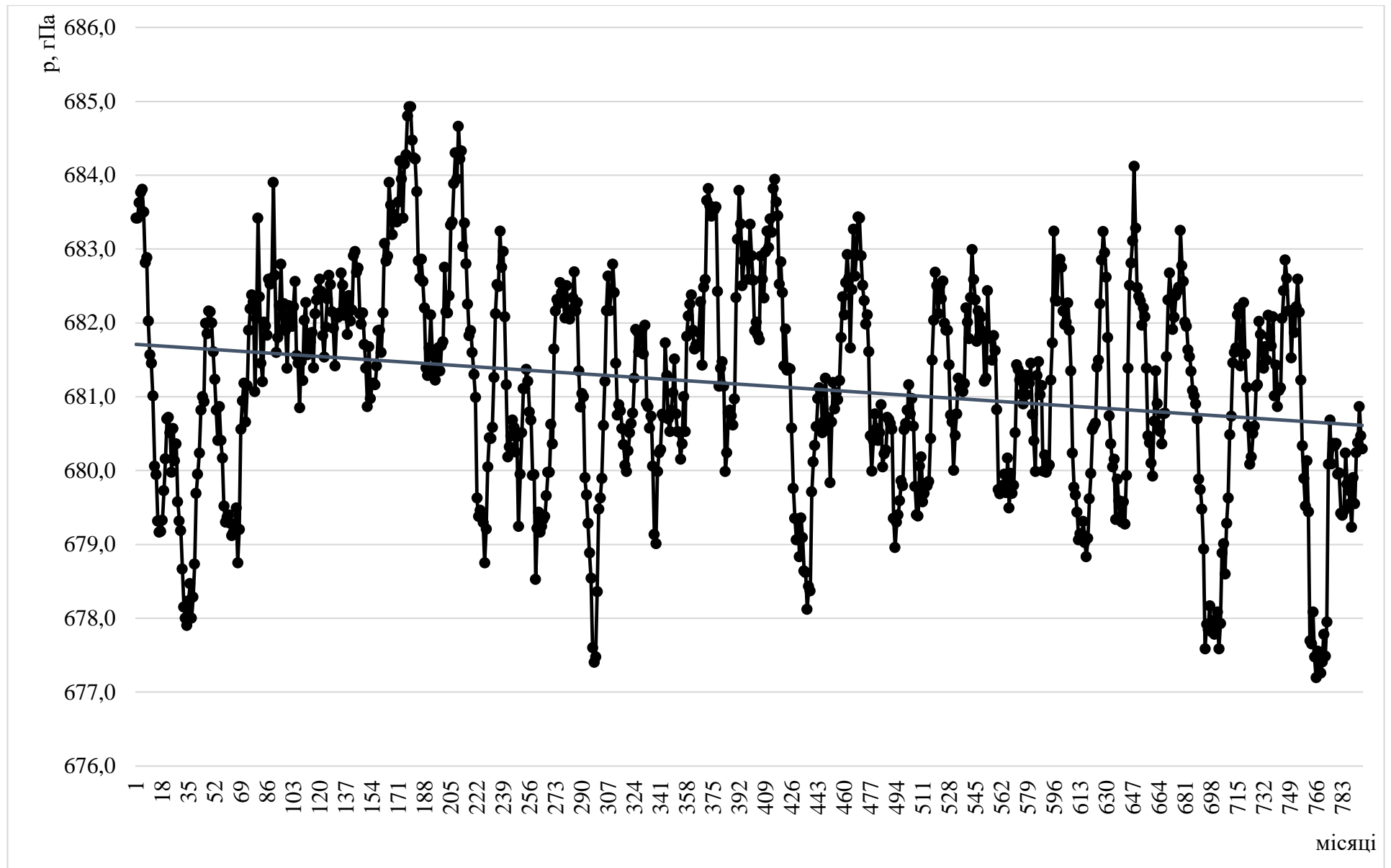


Рисунок 3.9 – Згладжений часовий ряд середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Амундсен Скотт

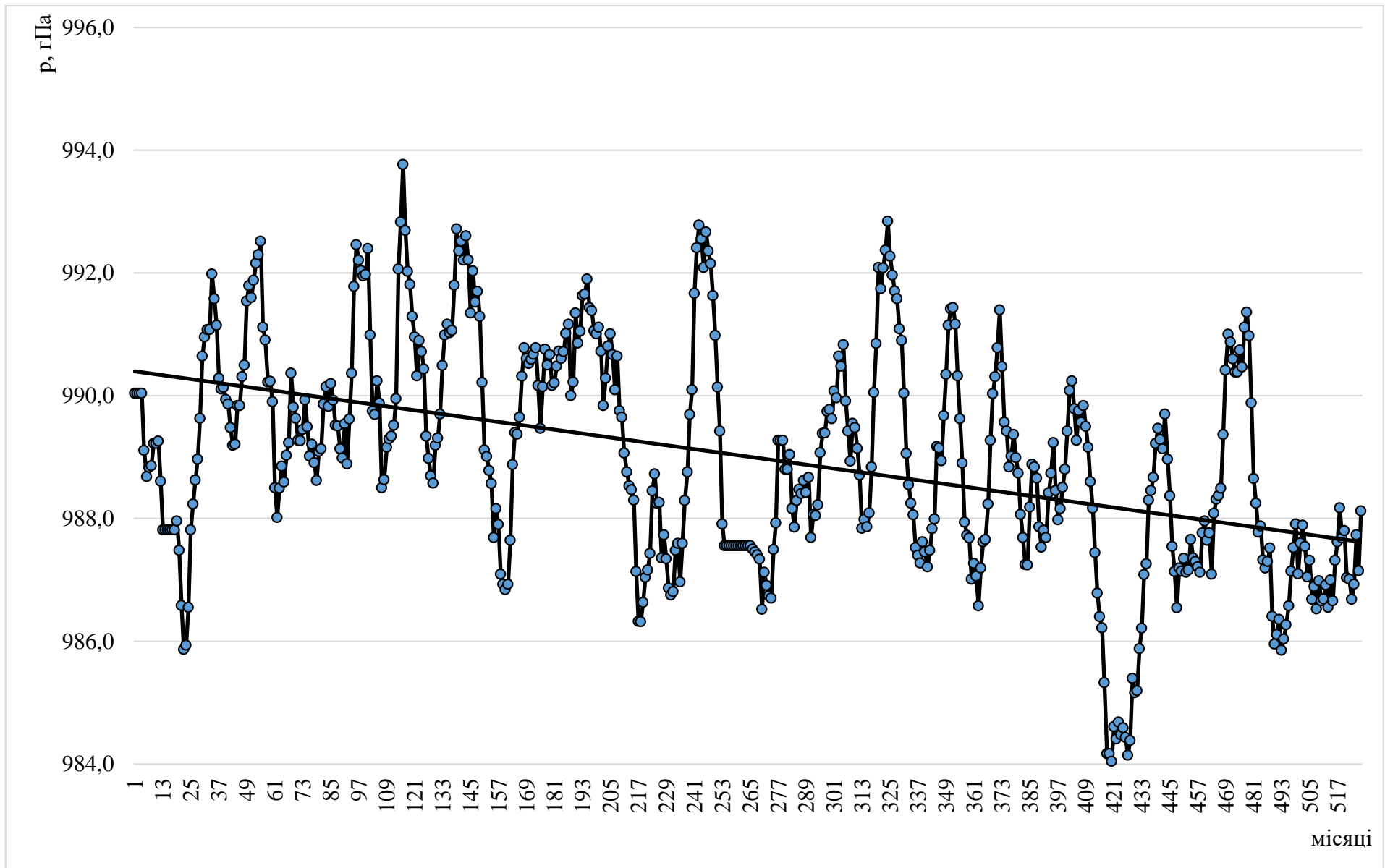


Рисунок 3.10 – Згладжений часовий ряд середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Бельграно

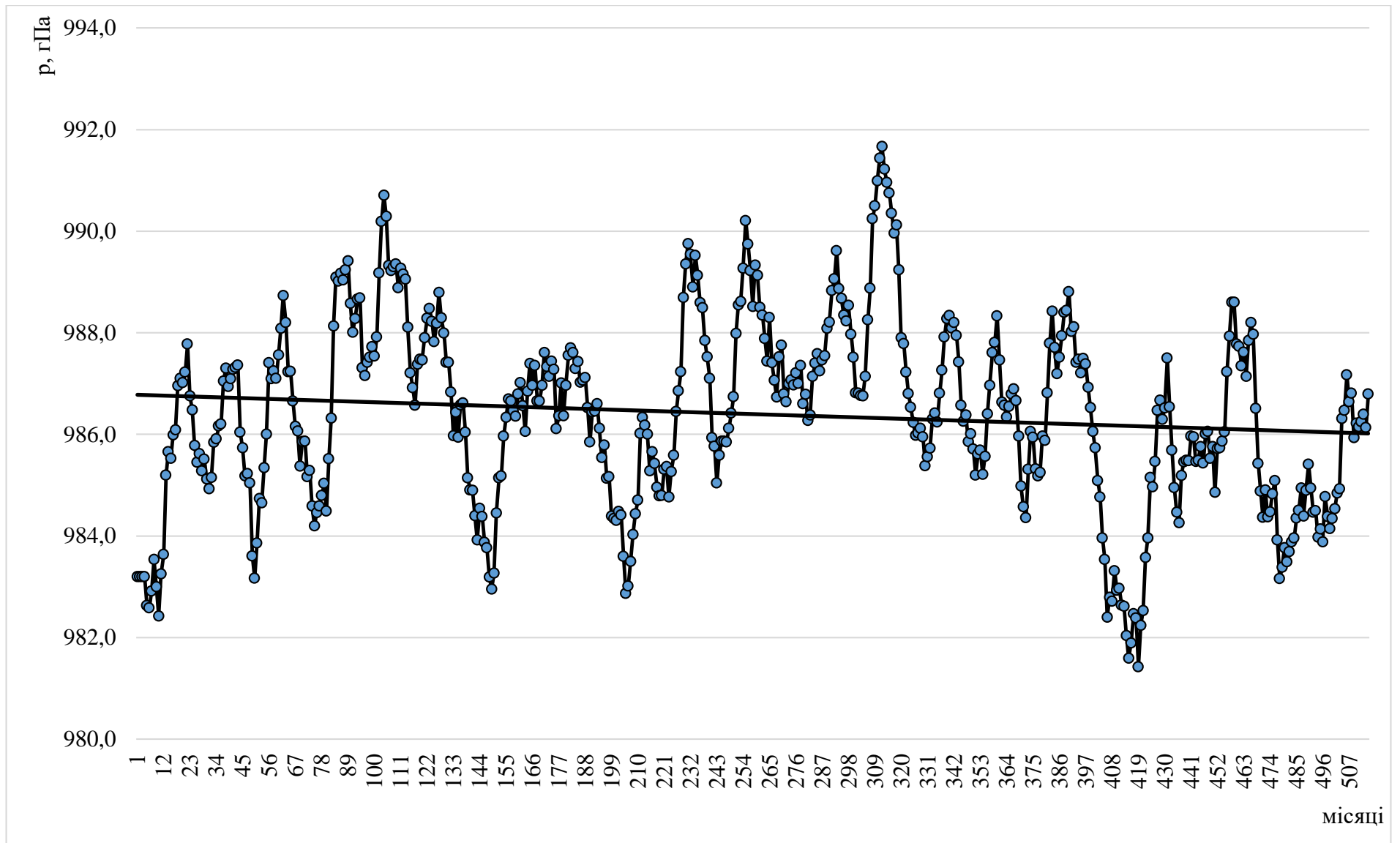


Рисунок 3.11 – Згладжений часовий ряд середньомісячних значень атмосферного тиску на станції Ноймайер

Також необхідно відмітити, що у часовому ряді спостерігається значний тренд зменшення амплітуди коливання атмосферного тиску, що може бути пов'язано з посиленням циркумполярного циклонічного вихору, що утворює пояс низького тиску навколо Антарктиди впродовж всього року.

Аналіз згладжених часових рядів станції Ротера та Бельграно, рис.3.8 та 3.10, вказують на те, що у випадкових процесах, також спостерігаються квазіп'ятирічні періодичності, а також дворічні коливання. Також необхідно відмітити, що у часових рядах спостерігаються значні тренди зменшення амплітуди коливання атмосферного тиску, що пов'язано з посиленням циркумполярного циклонічного вихору.

Згладжений часовий ряд атмосферного тиску на станції Амундсен Скотт (рис.3.9) має гармоніки з 2-3-річними періодами із змінною за часом амплітудою. Крім того, має місце тренд у бік зменшення інтенсивності коливань, але не такий значний, як на станціях Ак.Вернадський, Ротера та Бельграно, що може бути пов'язано з послабленням Антарктичного антициклону.

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

Причиною трендів зменшення амплітуди коливань атмосферного тиску на всіх станціях західної Антарктиди, що пов'язано з 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 11-річні коливання і більше 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 і клімат не однаковий й навіть не однозначний в різних частинах планети. Тому отримані результати досліджень, 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 Ак.Вернадський, Ротера, Амундсен Скотт, Бельграно та Ноймайер:

– на станції Ак.Вернадський за період 1947-2024 р.р. в середньому за рік найбільший атмосферний тиск спостерігається в липні і досягає 992,3 гПа, послаблюється навесні. Максимальні значення тиску спостерігаються в серпні і досягають 1008,8 гПа, а найменші у листопаді 972,2 гПа. Значення середньоквадратичних відхилень взимку мають найбільші значення і в серпні досягають 6,51 гПа, а найменші – в лютому 3,92 гПа.

Стосовно коефіцієнта асиметрії, треба відмітити, що впродовж майже всього року він має незначні додатні значення, а значить крива розподілу має правосторонню асиметрію відносно нормального розподілу, тільки в червні незначне від'ємне значення. Коефіцієнт ексцесу впродовж всього року, має як додатні так і від'ємні незначні значення, тому крива розподілу є витягнутою або сплюснутою відносно нормального розподілу.

– на станції Ротера за період 1976-2024 р.р. в середньому за рік найбільший атмосферний тиск спостерігається в липні і досягає 990,4 гПа та послаблюється в перехідні сезони. Максимальні значення тиску спостерігаються взимку і в червні досягають 1004,7 гПа, а найменші – у листопаді 970,3 гПа. Середньоквадратичні відхилення середньомісячних значень атмосферного тиску мають найбільші значення в серпні і досягають 6,97 гПа, а також в грудні 6,77 гПа. Найменші – влітку і в січні 3,85 гПа.

Коефіцієнти асиметрії впродовж року має як додатні так і від'ємні значення, а значить крива розподілу має або правосторонню асиметрію, або лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу. Коефіцієнт ексцесу впродовж всього року, має як додатні так і від'ємні незначні значення, в

жовтня, де ексцес досягає 0.78, тому крива розподілу є витягнутою відносно нормального розподілу, а в лютому -0.86.

– на станції Амундсен Скотт за період 1957-2024 р.р. в середньому за рік найбільший атмосферний тиск спостерігається в січні і досягає 689,3 гПа, тиск послаблюється влітку і в вересні знижується до 675,9 гПа. Максимальні значення тиску на станції Амундсен Скотт спостерігаються влітку і грудні досягають 699,2 гПа, а найменші – у травні 656,7 гПа. Мінливість атмосферного тиску взимку має найбільші значення і в серпні досягають 5,39 гПа. Найменші значення середньоквадратичних відхилень спостерігаються восени та влітку, в березні та квітні 3,29 гПа.

Коефіцієнти асиметрії впродовж року має як додатні так і від’ємні значення, в травні, він найбільший -1.41, а значить крива розподілу має значну лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу. Коефіцієнт ексцесу впродовж всього року, має як додатні так і від’ємні незначні значення, і в травні досягає 4.62, тому крива розподілу є достатньо витягнутою відносно нормального розподілу.

– на станції Бельграно за період 1980-2024 р.р. в середньому за рік найбільший атмосферний тиск спостерігається взимку і в червні досягає 992,6 гПа, а послаблюється в перехідні сезони. Максимальні значення тиску відмічаються в жовтні і досягають 1003,0 гПа, а найменше значення у липні 973,5 гПа. Середньоквадратичні відхилення мають найбільші значення в липні і досягають 5,16 гПа та в грудні 6,34 гПа. Найменші значення спостерігаються в перехідні сезони і в березні 3,01 гПа.

Коефіцієнти асиметрії також впродовж більшої частини року має незначні додатні значення, тільки в квітні та липні вони від’ємні, а значить крива розподілу має лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу, найбільша асиметрія у жовтні 1.08. Коефіцієнт ексцесу впродовж всього року, має незначні як додатні так і від’ємні значення, окрім жовтня, де ексцес досягає 4.97, тому крива розподілу є достатньо витягнутою відносно нормального розподілу.

– на станції Ноймайер за період 1981-2024 р.р. в середньому за рік найбільший атмосферний тиск спостерігається взимку і в червні досягає 989,7 гПа. Тиск послаблюється навесні і у жовтні знижується до 983,3 гПа. Максимальні та мінімальні значення тиску на станції відмічаються у липні: максимальне 1000,8 гПа, мінімальне 972,7 гПа. Мінливість тиску найбільша в грудні і досягає 5,86 гПа. Найменші значення середньоквадратичних відхилень спостерігаються в лютому і зменшується до 3,68 гПа.

Коефіцієнти асиметрії впродовж року має більше додатні значення, а в січні і березні лівосторонню асиметрію відносно нормального розподілу. Найбільша правостороння асиметрія у жовтні 1.11. Коефіцієнт ексцесу впродовж всього року має більш від'ємні незначні значення, окрім липня та жовтня, де ексцес досягає 1.72 та 2.41, 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 Ак.Вернадський, Ротера, Амундсен Скотт, Бельграно та Ноймайер 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 була проведена процедура згладжування часових рядів для станції Ротера, Амундсен Скотт, Бельграно та Ноймайер 1 рік (12 точок), а для станції Ак.Вернадський з періодом 24 місяці. Аналіз згладжених часових рядів вказує на те, що спостерігаються квазіп'ятирічні періодичності, а також дворічні коливання. На станції Ак.Вернадський спостерігається ще і 11 річні коливання. Також необхідно відмітити, що у часових рядах станції Ак.Вернадський, Ротера та Бельграно спостерігаються значні тренди зменшення амплітуди коливання атмосферного тиску, що може бути пов'язано з 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. Галич Е.А. Особенности статистической структуры полей геопотенциала в западном секторе высоких широт Южного полушария / Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2006. – Вип. 2. – С. 135-140.
12. Галич Е.А., Школьный Е.П. Особенности крупномасштабных циркуляционных процессов в атмосфере западного сектора южного полушария / Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2007. – Вип. 4. – С. 127-134.
13. Школьный Є.П., Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / Є.П. Школьний, І.Д. Лоева, Л.Д. Гончарова.- К.: Міносвіти України, 1999.- С. 331-421.