

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Гідрометеорологічний інститут

Кафедра метеорології та кліматології

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: **Особливості статистичної структури полів приземного
атмосферного тиску у регіоні виникнення явища Ель-Ніньо**

Виконала студентка 2 курсу групи МЗК–18
спеціальності 103 – “Науки по Землю”

Флюгерт Діана Ігорівна

Керівник к.геогр.н., доцент

Галич Єлизавета Анатоліївна

Рецензент к.геогр.н., доцент

Кирнасівська Наталя Василівна

Одеса 2020 р.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет Гідрометеорологічний інститут
 Кафедра метеорології та кліматології
 Рівень вищої освіти магістр
 Спеціальність 103 “Науки про Землю”
 (шифр і назва)
 Освітньо-наукова програма Кліматологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Прокоф'єв О.М.

“ 23 ” березня 2020 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Флюгерт Діані Ігорівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Особливості статистичної структури полів приземного атмосферного тиску у регіоні виникнення явища Ель-Ніньо.

керівник роботи Галич Єлизавета Анатоліївна, к.геогр.н., доцент,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від 04 березня 2020 р. № 23-с

2. Строк подання студентом роботи 12 травня 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи. Середньомісячні значення приземного атмосферного тиску в вузлах регулярної сітки точок 2.5° на 2.5° , в секторі, обмеженому широтно від 10° півд.ш. до 40° півд.ш. і меридіанально від 90° зах.д. до 150° зах.д., за період 2000 - 2018 р.р.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Розглянути особливості статистичної структури полів приземного атмосферного тиску за період 2000-2018 рр. Визначити сезонну динаміку полів тиску. За допомогою компонентного аналізу виявити важливі особливості структури та динаміки великомасштабних циркуляційних атмосферних процесів..

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

Поля середніх значень та мінливості приземного атмосферного тиску. Поля власних векторів атмосферного тиску. Часові ряди головних компонент приземного тиску

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 23 березня 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Вивчення літературних джерел за темою магістерської роботи.	23.03-20.04 2020 р.	80	добре
2	Підготовка даних метеорологічних спостережень до обробки.	23.03-30.03 2020 р.	85	добре
3	Обробка даних за допомогою графічно-розрахункового пакету «EXCEL».	30.03-10.04 2020 р.	85	добре
4	Побудова полів середніх значень, мінливості та власних векторів приземного атмосферного тиску. Побудова часових рядів головних компонент приземного тиску.	30.03-10.04 2020 р.	85	добре
5	Аналіз отриманих результатів.	10.04-20.04 2020 р.	80	добре
6	Рубіжна атестація	20.04-26.04 2020 р.	80	добре
7	Оформлення магістерської роботи.	26.04-5.05 2020 р.	80	добре
8	Підготовка комп'ютерної презентації та доповіді до захисту магістерської роботи.	5.04-10.05 2020 р.	85	добре
9	Попередній захист магістерської роботи	10.05.2020 р.	80	добре
10	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		85	добре

Студент Флюгерт Д.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи Галич Є.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема: «Особливості статистичної структури полів приземного атмосферного тиску у регіоні виникнення явища Ель-Ніньо»

Автор: Флюгерт Діана Ігорівна.

Актуальність: Ель-Ніньо-Південне коливання є найбільш яскравим прикладом короткоперіодної (у міжрічних масштабах) мінливості клімату. В останньому десятиріччі з цим явищем пов'язують не тільки кліматичні, але й соціально-економічні наслідки (посухи, повені, скорочення рибних уловів, втрати врожаю, збільшення кількості тропічних циклонів, загибелі коралів і т.інш.). Вивчення механізмів цього природного феномена є джерелом до поняття й прогнозування екстремальних погодних умов, а також розширює можливості адаптації суспільства до кліматичних змін.

Метою даної роботи є дослідження особливостей статистичної структури приземного атмосферного тиску та оцінити вплив явища Ель-Ніньо-Ла-Нінья на формування структури полів приземного атмосферного тиску.

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

- провести аналіз просторового розподілу приземного атмосферного тиску.
- дослідити особливості статистичної структури приземного атмосферного тиску.
- дослідити сезонну динаміку приземного атмосферного тиску.
- проаналізувати мінливість структури полів атмосферного тиску в південних тропічних акваторіях Тихого океану;
- шляхом розв'язання повної проблеми власних значень матриць коваріацій визначити власні значення й відповідні власні вектори полів атмосферного тиску.

- шляхом ортогонального перетворення у базисі власних векторів визначити головні компоненти полів атмосферного тиску.

Об’єкт дослідження – поля середньомісячних значень приземного атмосферного тиску.

Предмет дослідження – визначення реакції середньомісячних полів атмосферного тиску на прояви Ель-Ніньо-Південного коливання в умовах сучасних зміни клімату.

Методи дослідження – фізико-статистичний та багатовимірний статистичний аналіз.

Наукова новизна отриманих результатів – визначені та проаналізовані характеристики статистичної структури полів приземного атмосферного тиску в регіонах розвитку явища Ель-Ніньо-Південне коливання.

Практичне значення отриманих результатів. Може бути основою при розробці методики довгострокових прогнозів змін структури метеорологічних полів під впливом цих явищ і, як наслідок, інтенсивності розвитку атмосферних процесів у регіоні дослідження.

Магістерська робота в обсязі 66 сторінок складається зі вступу, 3 розділів, висновків, переліку посилань з 23 джерел, додатку, а також містить 23 рисунків та 1 таблиця.

Ключові слова: атмосферна циркуляція, поля тиску, центри дії атмосфери, поля мінливості, головні компоненти, тренди, коливання.

SUMMARY

Theme: "Peculiarities of the statistical structure of surface atmospheric pressure fields in the region of occurrence of the El Niño phenomenon"

Author: Flugert Diana.

Relevance: El Niño-Southern fluctuations are the most striking example of short-term (year-on-year) climate variability. In the last decade, this phenomenon is associated not only with climatic but also socio-economic consequences (droughts, floods, reduced fish catches, crop losses, increased numbers of tropical cyclones, coral deaths, etc.). The study of the mechanisms of this natural phenomenon is a source for the concept and forecasting of extreme weather conditions, as well as expands the possibilities of society's adaptation to climate change.

The purpose of this work is to study the features of the statistical structure of surface atmospheric pressure and to assess the impact of the phenomenon of El Niño-La Niña on the formation of the structure of the fields of surface atmospheric pressure.

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

- to analyze the spatial distribution of surface atmospheric pressure.
- to investigate the features of the statistical structure of surface atmospheric pressure.
- to study the seasonal dynamics of surface atmospheric pressure.
- to analyze the variability of the structure of atmospheric pressure fields in the southern tropical waters of the Pacific Ocean;

- to determine the eigenvalues and the corresponding eigenvectors of atmospheric pressure fields by solving the complete problem of eigenvalues of covariance matrices.

- to determine the main components of atmospheric pressure fields by orthogonal transformation in the basis of eigenvectors.

Object of scientific research – the fields of average monthly values of surface atmospheric pressure.

Subject of scientific research – determine the reaction of the average monthly atmospheric pressure fields to the manifestations of El Niño-Southern oscillations in the conditions of modern climate change.

Methods of scientific research – physical-statistical and multidimensional statistical analysis.

Scientific novelty of results obtained. The characteristics of the statistical structure of the surface atmospheric pressure fields in the regions of development of the El Niño-Southern oscillation phenomenon are determined and analyzed.

Practical importance of results obtained. It can be the basis for the development of methods for long-term forecasts of changes in the structure of meteorological fields under the influence of these phenomena and, as a consequence, the intensity of atmospheric processes in the study region.

The 66-page master's thesis consists of an introduction, 3 chapters, conclusions, a list of references from 23 sources, applications, and also contains 23 figures and 1 table.

Keywords: atmospheric circulation, pressure fields, centers of atmospheric action, fields of variability, main components, trends, fluctuations.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 ЕЛЬ-НІНЬО-ПІВДЕННЕ КОЛИВАННЯ І КЛІМАТИЧНА СИСТЕМА ЗЕМЛІ.....	11
1.1 Телеконекції між явищем Ель-Ніньо-Південним коливанням і атмосферними процесами	11
1.2 Вплив та прогнози щодо Ель-Ніньо.....	21
2 СТРУКТУРА ПОЛІВ ПРИЗЕМНОГО ТИСКУ ПІВДЕННОЇ ТРОПІЧНОЇ АКВАТОРІЇ ТИХОГО ОКЕАНУ	24
2.1 Характеристика вихідних даних	24
2.2 Методи дослідження статистичної структури полів приземного тиску	25
2.3 Поля середніх значень та мінливості.....	28
3 КОМПОНЕНТНИЙ АНАЛІЗ ПОЛІВ ПРИЗЕМНОГО ТИСКУ ПІВДЕННОЇ АКВАТОРІЇ ТИХОГО ОКЕАНУ.....	35
3.1 Алгоритм дослідження.....	35
3.2 Власні значення та власні вектори матриці коваріації.....	39
3.3 Часові ряди головних компонент полів атмосферного тиску...	47
ВИСНОВКИ.....	51
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	53
ДОДАТКИ.....	56

ВСТУП

Кліматичні зміни, які відбувалися протягом минулого сторіччя, з'явилися свого роду стимулом, який привів до значного зростання зусиль фахівців у вивченні процесів взаємодії різних ланок кліматичної системи, особливо найбільш енергоємних з них – атмосфери і океану.

Ель-Ніньо-Південне коливання є найбільш яскравим прикладом короткоперіодної (у міжрічних масштабах) мінливості клімату. В останньому десятиріччі з цим явищем пов'язують не тільки кліматичні, але й соціально-економічні наслідки (посухи, повені, скорочення рибних уловів, втрати врожаю, збільшення кількості тропічних циклонів, загибель коралів і т.д.). Вивчення механізмів цього природного феномена є джерелом до поняття й прогнозування екстремальних погодних умов, а також розширює можливості адаптації суспільства до кліматичних змін.

Задача прогнозу такого великомасштабного феномену пов'язана зі значними труднощами. Однією із головних проблем є нерегулярність його виникнення й зміни характеристик між подіями.

Існує декілька підходів для пояснення мінливості явища Ель-Ніньо. В одному з них вважається, що воно зумовлюється зміною у приекваторіальному поясі швидкості й напрямку поверхневих течій води під впливом пасатів, мінливість яких зумовлюється деформацією комірок Хедлі й Уокера, що приводить до зміни характеристик тепловмісту у діяльному шарі океану. Але експериментальні й теоретичні дослідження останніх років доводять, що це явище є океанічним феноменом і є наслідком процесів апвелінга й даунвелінга у приекваторіальній зоні Тихого океану, зумовлених океанічними хвилями Россбі. Існує ще одна гілка теорій, яка базується на припущенні, що нерегулярність ЕНПК може бути наслідком нестійкості взаємодії тропічного

океану й атмосфери на часових масштабах значно менших ніж саме Ель-Ніньо, тобто являє собою внутрішньо-сезонну й річну мінливість. Цей підхід являє собою один із окремих випадків стохастичного, тобто хаотичного впливу на великомасштабні процеси у кліматичній системі тропічного Тихого океану.

Отже, однозначного розуміння природи зародження і мінливості явища Ель-Ніньо ще не існує й тому воно залишається значною мірою загадковим. Тому всебічне його вивчення є надто актуальною задачею для світового наукового суспільства. Її розв'язання буде сприяти покращенню якості прогнозів атмосферних процесів й кліматичних змін у тропічній зоні, а також у високих широтах земної кулі у широкому спектрі часових масштабів.

Магістерська робота складається з 3 розділів: перший розділ є обзорним і присвячений дослідженню явища Ель-Ніньо-Південного коливання і кліматичній системі Землі, впливу та прогнозам Ель-Ніньо; другий – дослідженню структури полів приземного атмосферного тиску південної тропічної акваторії Тихого океану; третій – компонентному аналізу полів приземного атмосферного тиску південної акваторії Тихого океану.

1 ЕЛЬ-НІНЬО-ПІВДЕННЕ КОЛИВАННЯ І КЛІМАТИЧНА СИСТЕМА ЗЕМЛІ

1.1 Телеконекції між явищем Ель-Ніньо-Південним коливанням і атмосферними процесами

В екваторіально-тропічному поясі Землі епізодично виникають великомасштабні деформації гідрометеорологічних полів, у тому числі полів атмосферного тиску й приводної температури повітря, які спричиняють структурні зміни загальної циркуляції атмосфери не тільки у зазначеному регіоні, але і у кліматичній системі планети в цілому.

Однією з найбільш енергетичних деформацій є явище Ель-Ніньо-Південне коливання (ЕНПК).

Питання щодо зв'язку між цим феноменом з енергетичними характеристиками різних регіонів Південної півкулі, а також глобальної кліматичної системи у цілому, викликали зацікавленість вчених, починаючи з 70-х років минулого століття. Вивчення Ель-Ніньо проводиться у трьох напрямках: експериментальному [1, 2,], теоретичному [3] та чисельному моделюванні [4, 5].

У зазначеному явищі треба розрізняти пов'язані між собою океанічний феномен – теплу і холодну фази явища Ель-Ніньо–Ла-Нінья і атмосферний процес – Південне коливання (ПК). Параметром останнього є нормалізована різниця значень атмосферного тиску між пунктом Дарвін (Австралія) і островом Таїті [6]. Природа цього феномена до кінця не вивчена й залишається у визначеному сенсі загадковою.

Наявність взаємозв'язку між індексом Південного коливання й індексом циркуляції у середніх і високих широтах з високою значущістю встановлено Тренбергом.

Річний цикл характеризується розподілом амплітуд і фаз річних коливань атмосферного тиску на рівні моря у помірних й низьких широтах. З метою дослідження особливостей міжрічної мінливості просторового розподілу характеристик річної хвилі тиску, Е.І. Луценко [7] було застосовано гармонічний аналіз рядів середньомісячного тиску на рівні моря за період 1961-1972 р.р. з осередненням по семирічних періодах з річним зсувом. Аналіз цих матеріалів за шістьма періодами для Південної півкулі, показав, що у границях регіону, який досліджувався, має місце чергування трьох областей з мінімальними й трьох областей з максимальними значеннями амплітуд атмосферного тиску з постійною локалізацією, що є свідченням просторової сталості цього процесу.

Аналізу піврічних коливань атмосферного тиску у Південній півкулі присвячені роботи [7, 8]. Було встановлено, що найбільш суттєву роль піврічні коливання відіграють у високих широтах. Розподіл амплітуд і фаз піврічної гармоніки у приземному шарі атмосфері у Південній півкулі у всіх періодах є близьким до середнього річного. На картах чітко проявляються дві зональні області максимальних амплітуд у середніх й високих широтах, які розділяються кільцевою зоною мінімальних амплітуд, що розташована біля 40^0 - 60^0 пдн.ш. (рис. 1.1). На картах, крім осередку максимальних піврічних амплітуд над східною Антарктикою проявляється також дві області максимумів над Індійським океаном й західною частиною Тихого океану, де протягом всіх періодів спостерігається зростання амплітуд величиною біля 3 гПа.

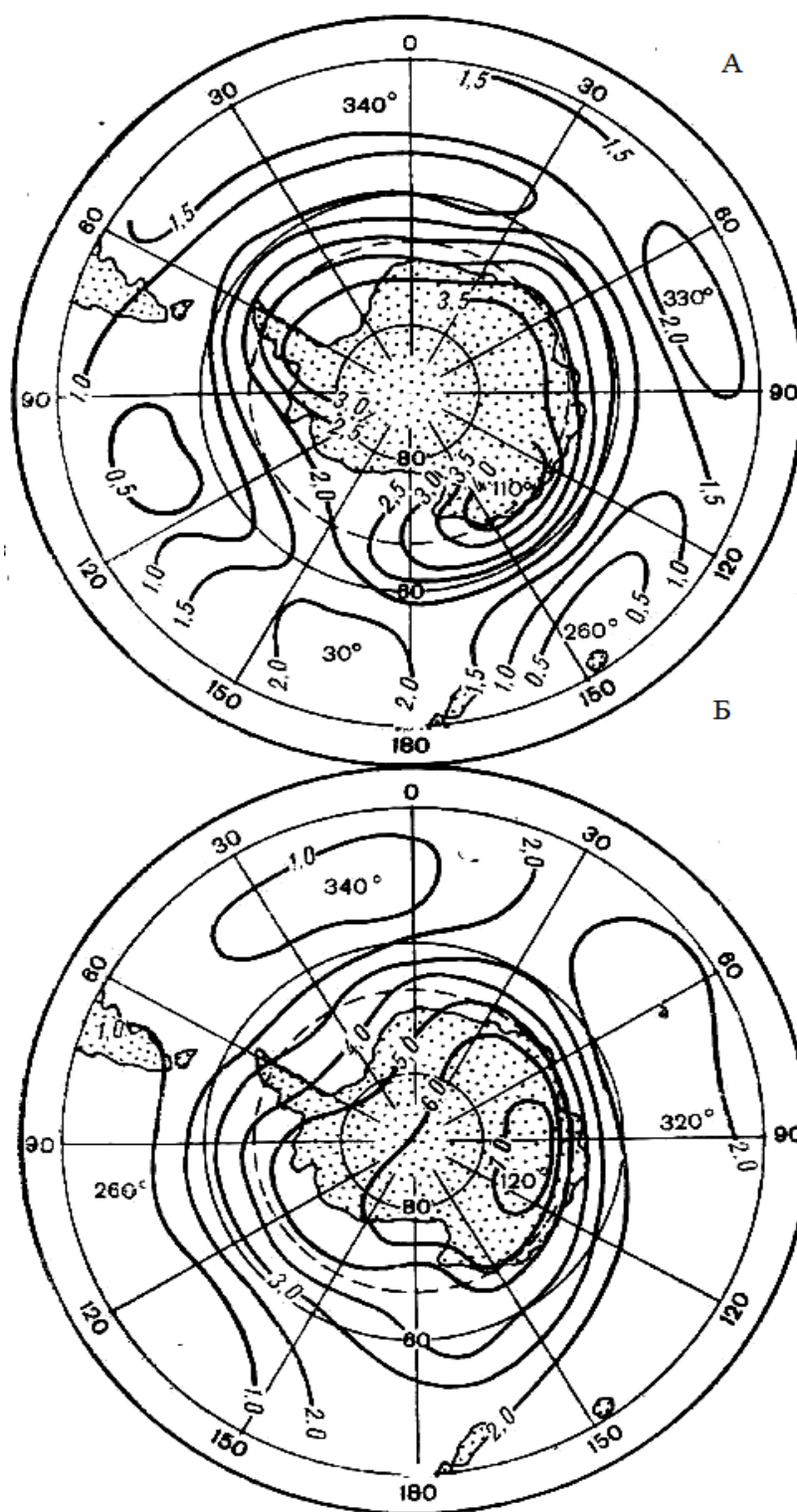


Рис. 1.1 – Амплітуди й фази піврічних коливань приземного тиску (А) й висот ізобаричної поверхні 500 гПа (Б) за даними 1963-1969 рр.[7]

Питання про чинники утворення піврічної хвилі коливань атмосферного тиску є дискусійним. За В. Швердтфегером і Ф. Прохазкою виникнення піврічної хвилі атмосферного тиску зумовлюється піврічною періодичністю зміни різниці інсоляції між помірними й полярними широтами. Але К.Н. Федоров [9] показав, що найбільш суттєвою піврічна складова у ході інсоляції спостерігається лише у приполярних областях. За його даними, піврічна варіація у полі тиску, а також пов'язаний з нею меридіональний градієнт тиску, який регулює інтенсивність зональних потоків, є таким коливанням, яке співпадає з частотою власних коливань усієї атмосферної термодинамічної системи. За уявленнями Ван Луна факт присутності піврічних коливань в метеорологічних параметрах у високих широтах Південної півкулі пов'язаний з термодинамічною взаємодією між континентом Антарктиди і поверхнею Південного океану у помірних широтах.

За даними Мо і Уайта [10], найбільш значна телеконекція між аномаліями геопотенціалу й індексом ПК спостерігається у субтропічній частині Тихого океану, поширюючись на південь. Крім того, було встановлено, що 30% варіацій тиску безпосередньо біля Антарктиди мають часовий масштаб, який співпадає з масштабом процесу Ель-Ніньо, тобто 30-50 місяців.

Як зазначалося вище, ПК є наслідком виникнення і розвитку явища Ель-Ніньо-Ла-Нінья у приекваторіальній частині Південного Тихого океану. У цей час проведена велика кількість досліджень, які показують можливість впливу цього явища на гідрометеорологічний й екологічний стан океанів і материків не лише екваторіальної зони, але й всієї земної кулі.

Існує декілька гіпотез щодо причин виникнення явища Ель-Ніньо-Ла-Нінья. Їх можна об'єднати у дві групи [3, 6, 11, 12, 13]. У поясненнях першої групи Ель-Ніньо формується екваторіальними великомасштабними течіями поверхневих океанічних вод при послабленні або припиненні дії пасатів. Але це можливо лише при зміні режиму циркуляційних атмосферних процесів, які

приводять до суттєвого зменшення меридіональних складових горизонтальних градієнтів атмосферного тиску в приекваторіальних акваторіях Північного й Південного Тихих океанів. Отже, згідно цієї гіпотези виникнення явища Ель-Ніньо і Ла-Нінья обумовлюється саме атмосферними умовами.

До цієї групи гіпотез можна віднести висновки досліджень, які отримуються в роботах [3, 12, 13]. Чинником Ель-Ніньо, як показують автори цих робіт є збільшення атмосферного тиску над Атлантичним, Індійським й західною частиною Тихого океану з екстремальними значеннями його аномалій в області планетарної атмосферної конвекції. При цьому над східною частиною Тихого океану атмосферний тиск знижується. Наслідком цих процесів є послаблення південно-східного пасата, що сприяє виникненню східного переносу повітря на екваторі при Ель-Ніньо. Таким чином, основний ефект цього явища проявляється у вигляді квазісинхронної зміни полярності великомасштабних океанічних диполів у полях температури поверхні океану (ТПО) й у зміні знаку атмосферних циркуляцій у відповідних комірках Уокера.

Гіпотеза другої групи [11] полягає у тому, що чинником Ель-Ніньо є океанічні планетарні хвилі Россбі, які генеруються пасатами на широтах 10^0 - 20^0 . Хвилі Россбі поширюються у західному напрямку, досягають західних окраїн океанів й відбиваються, далі пересуваються у східному напрямку й утворюють Ель-Ніньо. Інструментальні вимірювання в процесі виконання міжнародної програми ТОГА наприкінці 20-го сторіччя показали, що основна частина кінетичної енергії океанічних хвиль Россбі знаходиться у границях 2^0 - 3^0 широти біля екватора. Екваторіальні хвилі Россбі представляють собою безперервний ряд сформованих у модуляції великих – малих–великих хвиль, які пов'язані взаємодією між собою хвиль з різними періодами. Усталеність поля хвиль Россбі і пов'язаних з ними великомасштабних течій перевищує 102 періоди хвиль, що дорівнює близько 10 рокам [6, 11]. При чітких модуляціях хвилі Россбі з великою амплітудою коливань спостерігається добре розвинута течія у

приєкваторіальній зоні у західному напрямку, що приводить до виникнення апвелінгу у східній частині Тихого океану, тобто холодної фази явища - Ла-Нінья. Коли хвильові коливання у модуляціях характеризуються малими амплітудами, то океанічна течія має напрямок на схід. З такими процесами пов'язана тепла стадія явища - Ель-Ніньо. Існує припущення, що модуляції хвиль Россбі виникають під впливом коливань системи Земля-океан-атмосфера, що проявляється у вільних нутаційних рухах полюсів, які мають такий же період, як і період модуляцій, тобто біля одного року [14].

Хоскінс і Керолі [15] вважають, що генератором хвиль Россбі може стати глибока волога конвекція, яка, як відомо, постійно діє в приєкваторіальній зоні атмосфері. Вище зазначалося, що екваторіальні хвилі Россбі, що рухаються на захід, на західних окраїнах Південного Тихого океану, де розташовується континент Австралія і південна частина Індонезії, відбиваються й рухаються у протилежному напрямку, тобто на схід. Керолі і Хоскінс [15] показують, що хвилі Россбі, відбиваючись на західні окраїні Південного Тихого океану, рухаються і на північний, і на південний схід від екватора. Вони є причиною появи телеконекцій між ЕНПК й температурою поверхні океану (ТПО) в зонах середніх широт обох півкуль.

Хелд [16] висловив думку, що тропічне посилення переміщення хвиль Россбі у меридіональному напрямку відбувається тільки при великій їх амплітуді. Це дає можливість переносити південніше потоки океанічного шторм-трека так, щоб відносно невеликі зміни у тропічній температурі поверхні океану обумовлювали значні позатропічні дії атмосфери.

За допомогою гармонічного аналізу даних Худзико [17] встановив наявність поширення від'ємних аномалій висот геопотенціальних поверхонь й аномалій температури від субтропіків до зон високих широт Південного Тихого океану протягом холодних періодів явища Ель-Ніньо-Ла-Нінья із сталою аномалією у субполярних широтах. Для всіх теплих періодів за винятком Ель-

Ніньо 1982 року спостерігається розповсюдження додатних аномалій температури й тиску з максимальними значеннями у субтропіках.

Результати, отримані у роботі Хоскінса і Керолі [15, 18], які були обговорені вище, підтверджені у роботі Петерсона і Уайта [19]. Вони визначили важливу роль аномалій ТПО в зоні західної субтропічної акваторії Південного океану у генерації Антарктичної циркумполярної хвилі (АЦХ). Антарктична циркумполярна хвиля проявляється у тому, що у Південному океані великомасштабні аномалії ТПО, атмосферного тиску, морського льоду хвильоподібно поширюються на схід зі швидкістю 6-8 см/с з періодом хвилі 3-5 років. За 8-10 років аномалії здійснюють повний оберт навколо Антарктиди.

Існують різні точки зору про походження АЦХ. Деякі дослідники [19] вважають, що АЦХ є результатом лише динамічної взаємодії атмосфери і океану. У роботі показується, що над Антарктичною круговою течією атмосферні характеристики мають хвильову великомасштабну структуру, подібну структурі АЦХ. Це підтверджує той факт, що АЦХ впливає на розвиток атмосферних процесів над Південним океаном.

Але існують й інші більш обґрунтовані гіпотези. Наприклад, у роботі [18] показується, що у генерації АЦХ велику роль відіграють аномалії температури поверхні води у зоні західної субтропічної частині Південного океану. Це сприяє посиленню сигналу ЕНПК навколо земної кулі. Більша частина аномалій тропічної температури поверхні океану під дією адвективних процесів поступає у Південну Атлантику й Індійський океан, досягая тропічної зони кожного басейну приблизно через 6-8 років після появи їх в приекваторіальній зоні Тихого океану. У дослідженнях [20] представлена схема течій теплої води у Південній півкулі. Вона відображена на рисунку 1.2. На схемі на схід від Австралії у тропічній зоні визначена акваторія, яка знаходиться під впливом Ель-Ніньо, та від якої на південний схід поширюється потік теплої океанічної води, який вливається у Циркумполярну антарктичну течію і впливає на

формування АЦХ. Більш виразно цей процес представлено на рисунках 1.3 і 1.4 у роботі [8], де показується збурення у полях атмосферного тиску й поля приповерхневої температури повітря при явищі Ель-Ніньо.

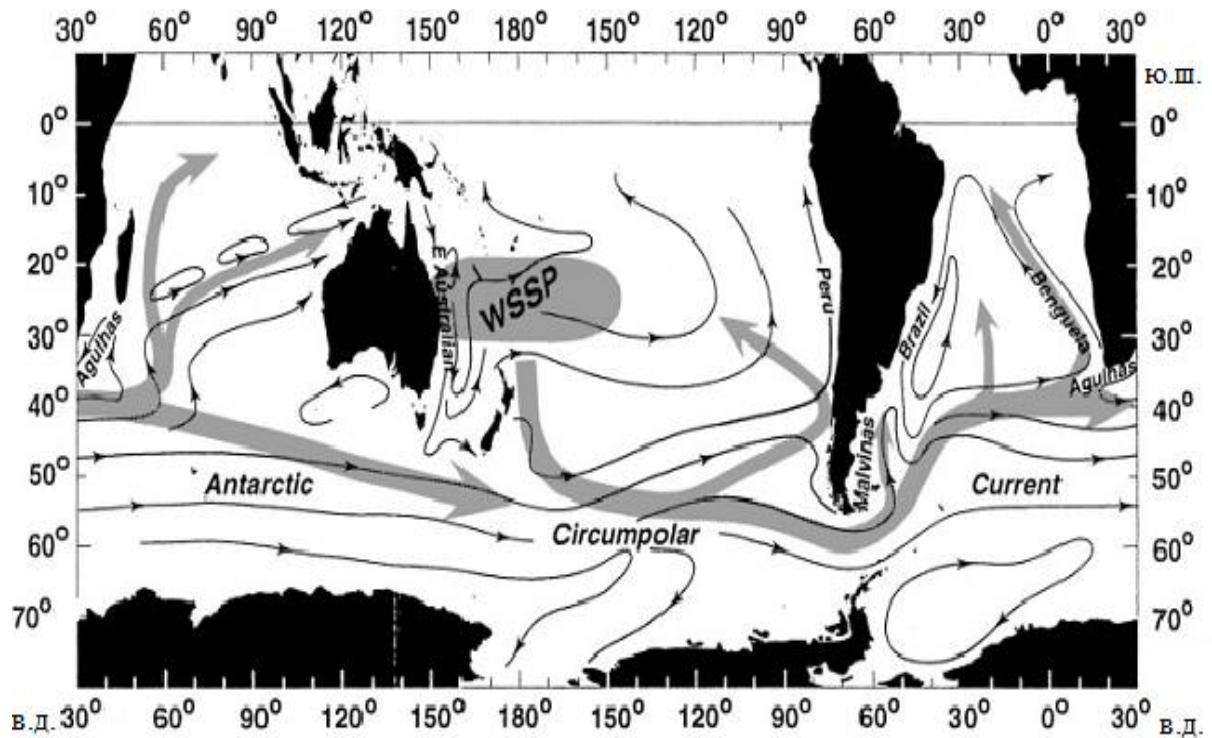


Рис. 1.2 – Схема загального поширення від екватору міжрічних аномалій температури поверхні океану від джерела, розташованого у районі субтропічної зони західної частини південного Тихого океану (затемнений овал). Суцільні лінії відповідають середній геострофічній циркуляції на поверхні океану [20]

Як зазначив Керолі [18], хвилі Россбі, які пересуваються на південний схід, впливають на розвиток атмосферних процесів, що сприяє посиленню циклонічної діяльності в акваторії морів Беллінсгаузена й Ведделла і, як наслідок, на формування структури полів морського антарктичного льоду.

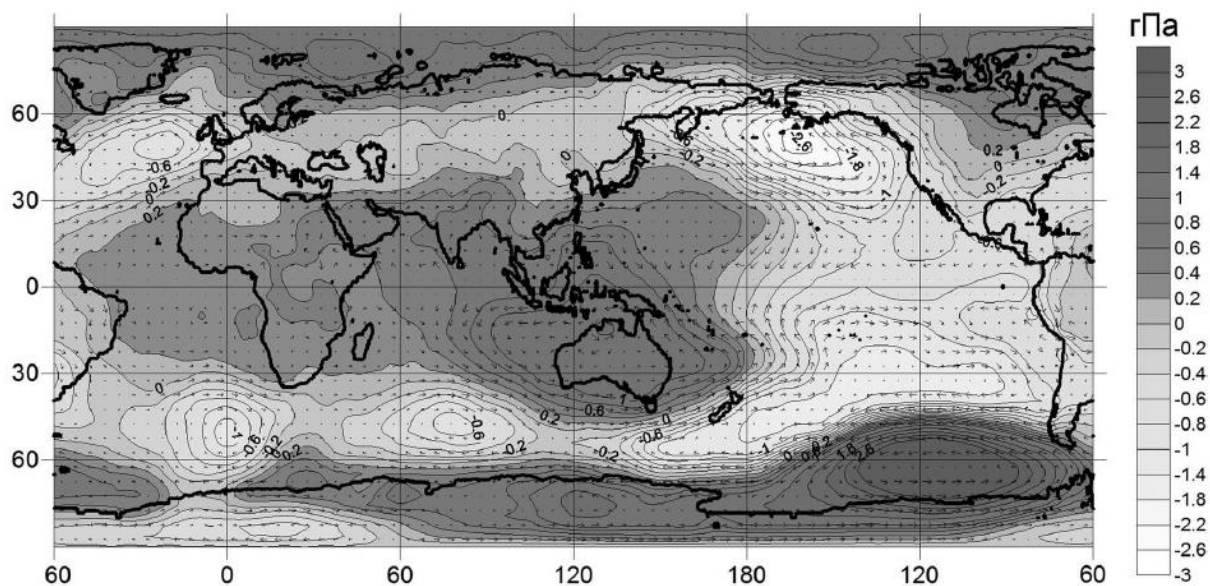


Рис. 1.3 – Збурення полів атмосферного тиску на рівні моря і відповідні поля геострофічного вітру в нижній тропосфері при Ель-Ніньо. Використано ансамблі подій 1950-2010 рр.: 14 епізодів Ель-Ніньо 13 епізодів Ла-Нінья [3]

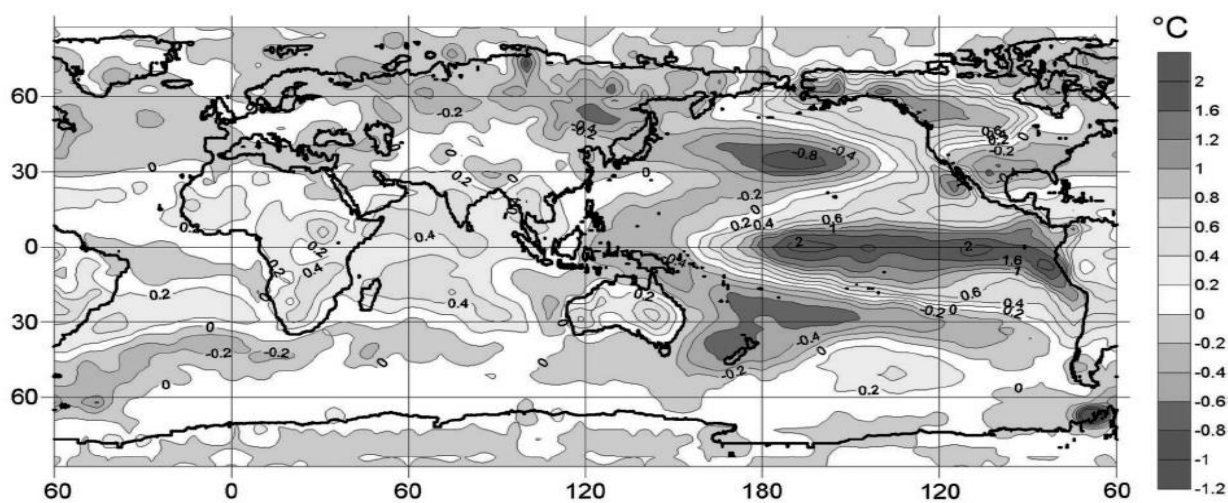


Рис. 1.4 – Збурення полів приповерхневої температури при Ель-Ніньо. Використано ансамблі подій 1950-2010 рр.: 14 епізодів Ель-Ніньо 13 епізодів Ла-Нінья [3]

Суперечливість деяких результатів досліджень, не додаючи великого оптимізму, одночасно допомагає визначити коло проблем, які потребують подальшого дослідження. Однією з них є проблема дослідження безпосередньо зв'язку полів приповерхневої температури й атмосферного тиску з проявами ЕНПК. Можливість вирішення цієї проблеми полягає: по-перше, у прийнятті однієї з розглянутих вище гіпотез, щодо причини виникнення явища Ель-Ніньо-Ла-Нінья і походження течій теплої води, як у екваторіально-тропічному поясі, так і у середніх широтах, і; по-друге у застосуванні методів параметризації полів атмосферного тиску й приповерхневої температури повітря. З нашої точки зору, з розглянутих вище гіпотез про вплив хвиль Россбі на формування течій теплої води від екваторіально-тропічного поясу у південно-східному напрямку, тобто у середні широти, утворення Антарктичної циркумполярної хвилі у Південному океані і, як наслідок розвитку циркуляційних процесів, під дією яких формуються структури полів атмосферного тиску й приповерхневої температури є схема Петерсона й Уайта, яка представлена на рисунку 1.2. Вона й була покладена в основу досліджень.

Параметризацію фізичних полів можна втілити шляхом їх розкладу по ортогональних поліномах, а саме по поліномах Лехандра, Ерміта, Лаггера, Чебишева [21] у системі ортогональних функцій. Але такі розклади мають формальний характер, тобто коефіцієнти таких розкладів не несуть в собі фізичної сутності.

Інші властивості має компонентний аналіз, який інколи називають методом природних функцій, саме тому, що його розклад по цих функціях має властивість визначати основні характеристики статистичної структури метеорологічних полів, оскільки вони визначаються із вихідних полів. У нашому дослідженні за основу параметризації полів було обрано компонентний аналіз.

Тому ми прийняли за основу параметризації полів – компонентний аналіз. Враховуючи ці особливості компонентного аналізу, ми прийняли його за основу для здійснення параметризації вихідних метеорологічних полів

1.2 Вплив та прогнози щодо Ель-Ніньо

Дослідження, проведені в останні 50 років, дозволили з'ясувати, що Ель-Ніньо означає щось більше, ніж просто синхронні коливання приземного тиску і температури води океану. Ель-Ніньо і Ла-Нінья – найбільше яскраво виражені прояви міжрічної мінливості клімату в глобальному масштабі. Ці явища являють собою великомасштабні зміни океанських температур, опадів, атмосферної циркуляції, вертикальних рухів повітря над тропічною частиною Тихого океану.

У тропіках відбувається збільшення опадів над районами до сходу від центральної частини Тихого океану і зменшення від норми до півночі Австралії, в Індонезії й на Філіппінах. У грудні-лютому опади вище норми спостерігаються на узбережжі Еквадору, на північно-заході Перу, над південною Бразилією, центральною Аргентиною і над екваторіальною, східною частиною Африки, на протязі червня-серпня на заході США і над центральною частиною Чилі. Явища Ель-Ніньо також відповідальні за великомасштабні аномалії температури повітря в усьому світі. В ці роки бувають різкі підвищення температури. У грудні-лютому тепліші, ніж звичайно, умови були над південно-східною Азією, Японією, Японським морем, над південно-східною Африкою і Бразилією, південно-східною Австралією. Вищі, ніж звичайно, температури відзначаються в червні-серпні на західному узбережжі Південної Америки і над південно-східною Бразилією.

На території Європи в роки Ель-Ніньо також виділяються ділянки значних аномалій температури повітря. Навесні поле температури характеризується від'ємними аномаліями, тобто весна в роки Ель-Ніньо, здебільшого, прохолодна на більшій частині сходу Європи. Улітку зберігається область від'ємних аномалій над Далеким Сходом і Східним Сибіром, а над Західним Сибіром і східною частиною Європи з'являються вогнища позитивних аномалій температури повітря. В осінні місяці значних аномалій температури повітря над цією територією не відмічено. В роки Ель-Ніньо здебільшого спостерігаються теплі зими. Область від'ємних аномалій простежується лише над північним сходом Євразії.

Холодніші зими (грудень-лютий) бувають на південно-західному узбережжі США. Протягом періодів Ла-Нінья опади підсилюються над західною екваторіальною частиною Тихого океану, Індонезією і Філіппінами і майже цілком відсутні в східній частині. Більше опадів випадає в грудні-лютому на півночі Південної Америки і над Південною Африкою, і в червні-серпні над південно-східною Австралією. Сухіші за звичайні умови спостерігаються над узбережжям Екватору, над північно-заходом Перу й екваторіальною частиною східної Африки протягом грудня-лютого, і над південною Бразилією і центральною Аргентиною в червні-серпні. В усьому світі відзначаються великомасштабні відхилення від норми з найбільшою кількістю областей, що випробують аномально прохолодні умови. Холодні зими в Японії й у Примор'ї, над Південною Аляскою і західною, центральною Канадою. Прохолодні літні сезони над південно-східною Африкою, над Індією і південно-східною Азією. Тепліші зими над південним-заходом США.

Попри те, що головні події, пов'язані з Ель-Ніньо, відбуваються в тропічній зоні, вони тісно зв'язані з процесами в інших регіонах земної кулі. Це простежується на далеких зв'язках по території і за часом – телеконекції. В роки Ель-Ніньо збільшується перенесення енергії в тропосферу тропічних і помірних

широт. Це виявляється в збільшенні температурних контрастів між тропічними і полярними широтами, активізацією циклонічної й антициклонічної діяльності в помірних широтах.

В роки Ель-Ніньо:

- послаблені Гонолульський і Азійський антициклони;
- поглиблення літньої депресії над півднем Євразії, що є головною причиною послаблення мусону над Індією;
- більше, ніж звичайно розвинута літня депресія над басейном Амуру, а також зимова Алеутська й Ісландська депресії.

Ель-Ніньо ще називають Південною осциляцією – по суті, це відхилення температури поверхневого шару води в екваторіальній частині Тихого океану від середнього нормального значення, що помітно впливає на клімат різних регіонів Землі.

До ознак Ель-Ніньо відносять підвищення атмосферного тиску над Індійським океаном, Індонезією та Австралією і, навпаки, зниження тиску повітря над островом Таїті, центральної та східної частинами Тихого океану, послаблення пасатів, дощі в перуанських пустелях. Особливо сильно вплив Ель-Ніньо на клімат відчувається в Південній Америці. У Північній Америці зими можуть стати тепліше.

Останній найбільш інтенсивний Ель-Ніньо стався в 2015 році. Грунтуючись на моделях прогнозування та експертних оцінках, ВМО зробила висновки, що найближчим часом можлива чергова подібна фаза зміни температури.

2 СТРУКТУРА ПОЛІВ ПРИЗЕМНОГО ТИСКУ ПІВДЕННОЇ ТРОПІЧНОЇ АКВАТОРІЇ ТИХОГО ОКЕАНУ

2.1 Характеристика вихідних даних

В якості вихідної інформації використовувалися дані реаналіза ERA-40. Дослідження були проведені ECMWF, працюючої при співпраці з великою кількістю інститутів. Отримані дані досліджень ECMWF, були доповнені і зібрані, в основному Американським Національним Центром Атмосферних Досліджень (NCAR), Національними Центрами Прогнозів Навколишнього Середовища (NCEP) та іншими організаціями.

Дані ERA-40 доступні через [22]:

- публічний Інтернет, що включає набір даних у вузлах регулярної сітки точок 2.5° на 2.5° , на ECMWF (<http://data.ecmwf.int/data>);
- пряме звернення в Метеорологічний Архів ECMWF і систему передачі даних, користувачам з авторизованих інститутів і співробітників ECMWF;
- Служба даних ECMWF (<http://www.ecmwf.int/products/data>).

При дослідженні полів атмосферного тиску у регіоні виникнення явища Ель-Ніньо були використані дані реаналіза ERA-40 Європейського Центру середньострокових прогнозів погоди (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) Рідінг, Великобританія. Вихідні дані представляють собою середньомісячні значення атмосферного тиску на рівні моря з 2000 по 2018 р.р. в вузлах регулярної мережі $2,5$ на $2,5^\circ$ в секторі, обмеженому широтно 10° - 40° півд.ш. і 150° - 90° зах.д. (рис. 2.1).

Матриця (2.1) містить великий об'єм інформації. Її стовпці є відповідними метеорологічними об'єктами (міститься інформація про n таких об'єктів) [23]. Рядками матриці є часові ряди відповідної метеорологічної величини. Таке матричне зображення метеорологічних об'єктів є дуже раціональним, оскільки дає можливість побудувати прості алгоритми дослідження її статистичної структури.

Найбільш важлива інформація про статистичну структуру метеорологічних об'єктів міститься в матриці коваріації. Алгоритм розрахунку матриці складається з декількох етапів. По-перше, визначається вектор середніх значень шляхом усереднювання по рядках

$$\bar{X} = \begin{pmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \dots \\ \bar{x}_i \\ \dots \\ \bar{x}_n \end{pmatrix}, \quad (2.2)$$

де

$$\bar{x}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x_{ij} \quad (i = \overline{1, n}). \quad (2.3)$$

На підставі матриці (2.1) і вектора (2.2) будується відповідна матриця центрованих елементів

$$K_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{s=1}^m \Delta x_{is} \Delta x_{js} . \quad (2.9)$$

З формул (2.8) і (2.9) видно, що на головній діагоналі матриці (2.7) 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. Решта елементів матриці (2.7) – відповідні коваріації.

2.3 Поля середніх значень та мінливості

Як відомо, закономірності сезонних змін циркуляції атмосфери пов'язані з нерівномірним надходженням сонячної радіації. Завдяки сезонним змінам притоку сонячної радіації відбувається загальне зміщення планетарних зон тиску до полюсу влітку відповідної півкулі і до екватора – взимку.

В якості прикладу на рис. 2.1-2.4 представлені поля середніх значень приземного атмосферного тиску для центральних місяців сезонів осереднених за останні 18 років, розглянемо їх основні особливості. Для всіх інших місяців поля середніх значень приземного атмосферного тиску представлені у додатку (А.1-А.7).

На рис. 2.1 представлено поле середніх значень атмосферного тиску в січні. Як видно, формується обширна область високого атмосферного тиску, а саме майже весь регіон знаходиться під впливом Південно-Тихоокеанського максимуму. Центр якого знаходиться приблизно на 35° півд.ш. та 140° зах.д. Дуже багато робіт присвячується вивченню центрів дії атмосфери (ЦДА), так

деякі автори стверджують, що Південно-Тихоокеанський максимум є найбільш стабільним.

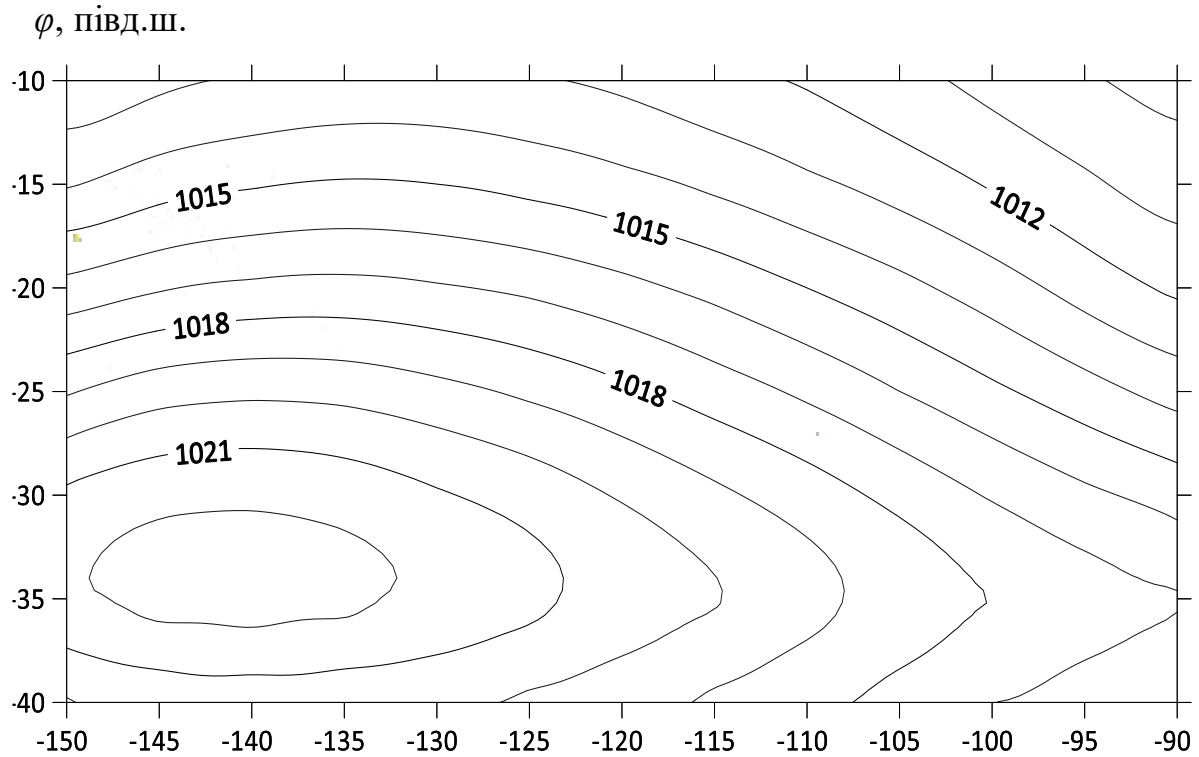


Рис. 2.1 – Поле середніх значень приземного атмосферного тиску (січень)

У квітні (рис. 2.2) відбуваються деякі зміни у структурі поля середніх значень атмосферного тиску, а саме у цей період можна бачити незначне зменшення атмосферного тиску у центрі Південно-Тихоокеанського максимуму та незначне переміщення його на північ. У північній частині регіону ізобари мають квазіширотний вигляд.

В липні (рис 2.3) область максимальних значень атмосферного тиску ще більше зміщується на північ, центр якої (області) знаходиться приблизно на 27° південної широти, за рахунок посилення західного переносу в південній півкулі взимку. В жовтні (рис 2.4) відбувається незначна зміна структури поля атмосферного тиску, а саме область максимального тиску, яка розташовується у північно-західній частині досліджуваного регіону зміщується південніше.

Можна відмітити, що у перехідні поля атмосферного тиску мають схожу структуру, яка характеризується гребнем.

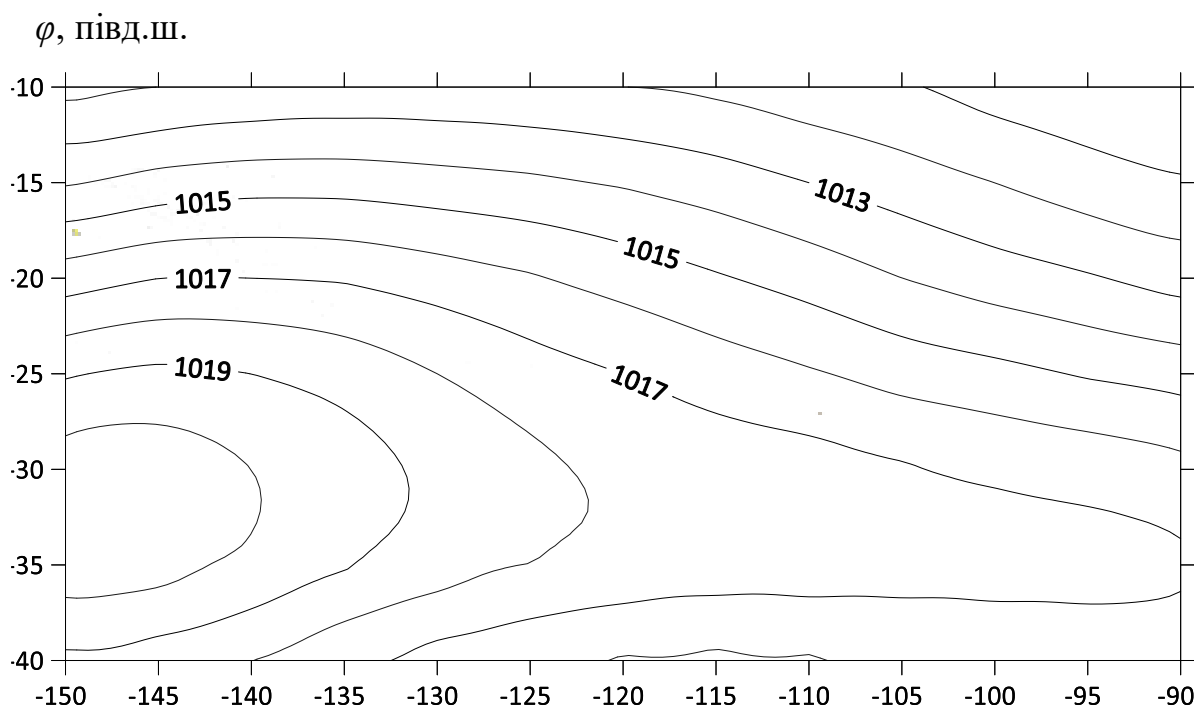


Рис. 2.2 – Поле середніх значень приземного атмосферного тиску (квітень)

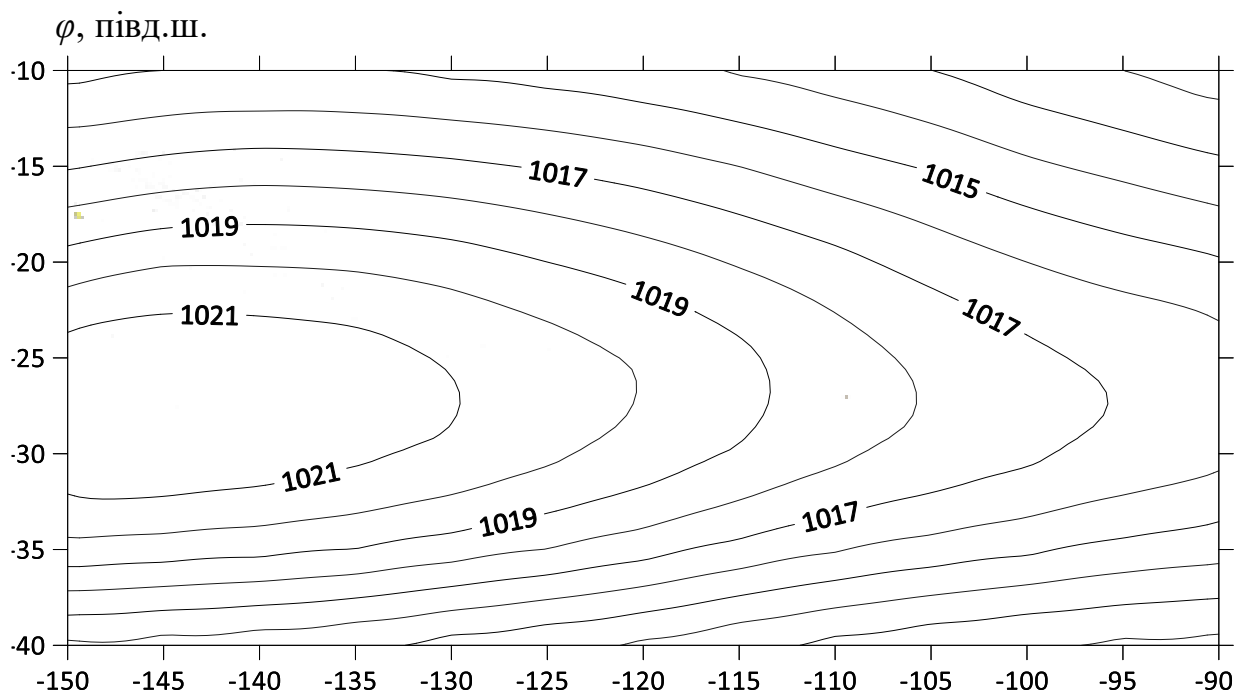


Рис. 2.3 – Поле середніх значень приземного атмосферного тиску (липень)

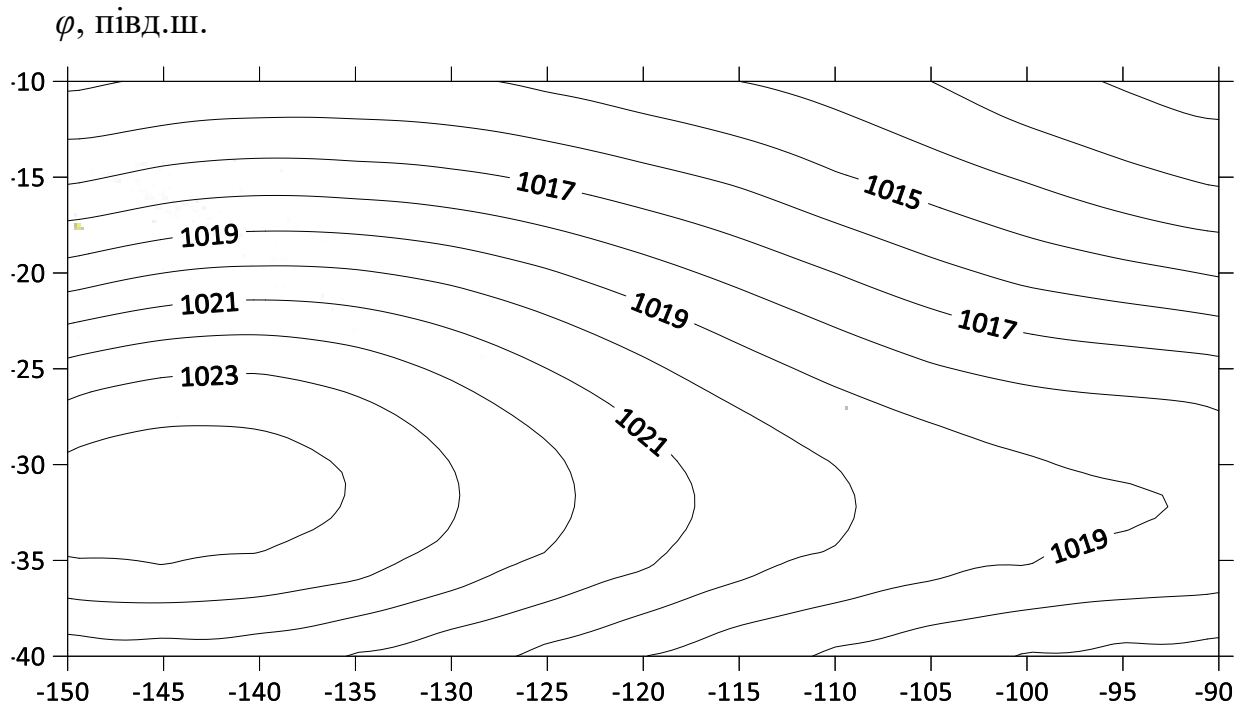


Рис. 2.4 – Поле середніх значень приземного атмосферного тиску (жовтень)

Особливості полів мінливості приземного атмосферного тиску у різних областях розглядаємого регіону обумовлені виникненням та розвитком атмосферних вихорів.

Осереднений характер цих флуктуацій висвітлюють поля середніх квадратичних відхилень. В якості прикладу на рис. 2.5-2.8 представлені поля середніх квадратичних відхилень приземного атмосферного тиску для центральних місяців сезонів.

При аналізі поля середніх квадратичних відхилів атмосферного тиску за січень (рис. 2.5) можна побачити, що найбільші значення спостерігається у південній частині регіону у вигляді улоговини з виссю у північно-східному напрямку. Мінімальні значення середніх квадратичних відхилів спостерігається у північно-західній частині досліджуваного регіону.

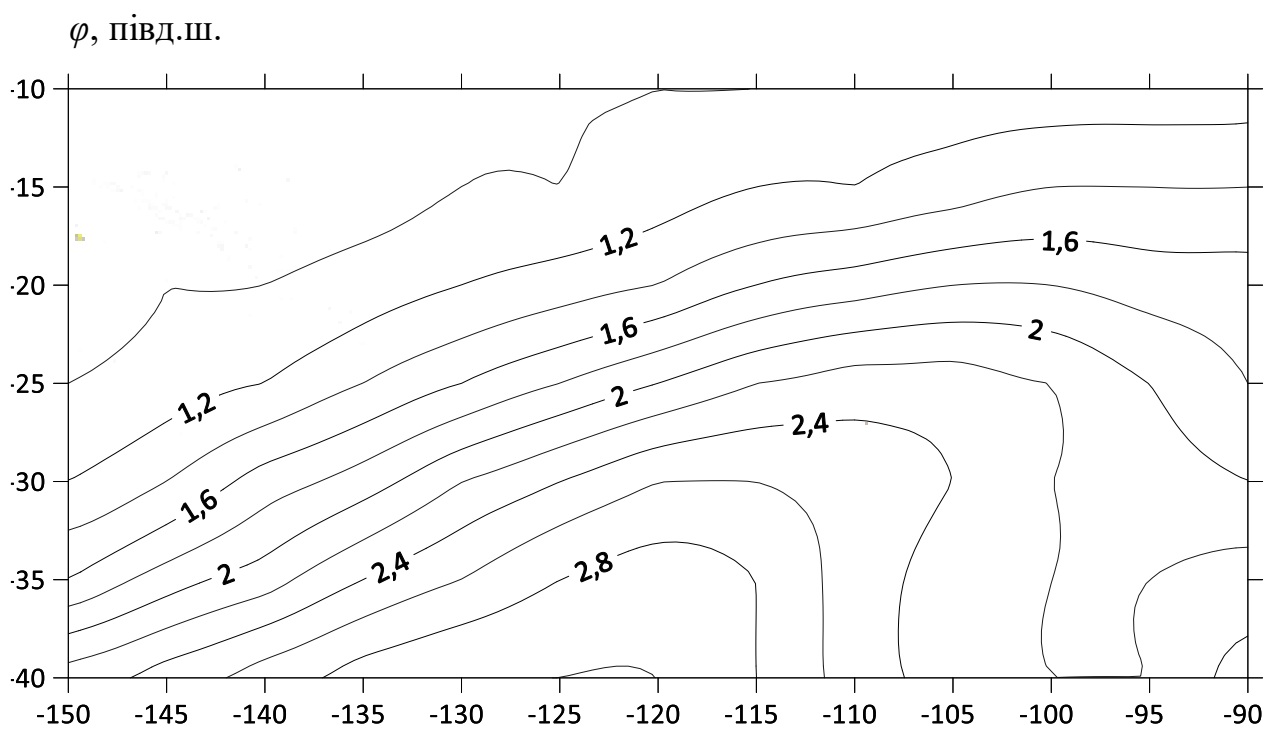


Рис. 2.5 – Поле середніх квадратичних відхилів приземного атмосферного тиску
(січень)

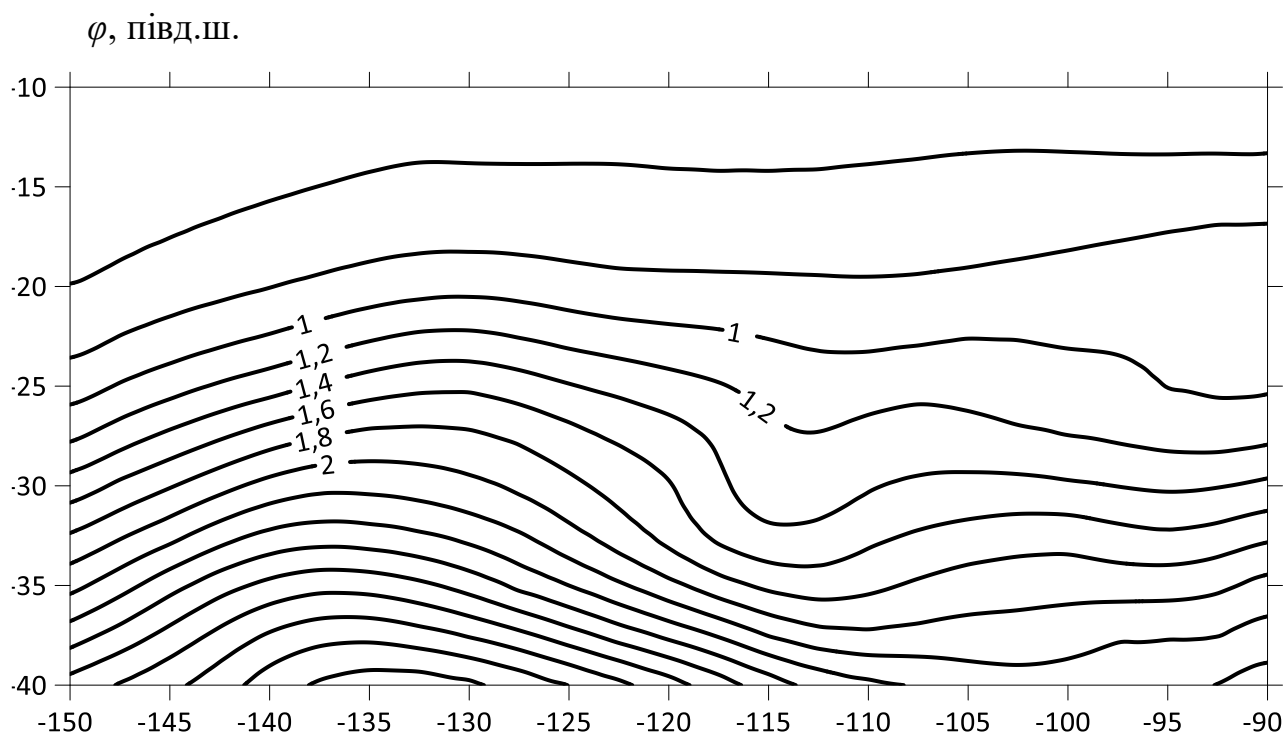


Рис. 2.6 – Поле середніх квадратичних відхилів приземного атмосферного тиску
(квітень)

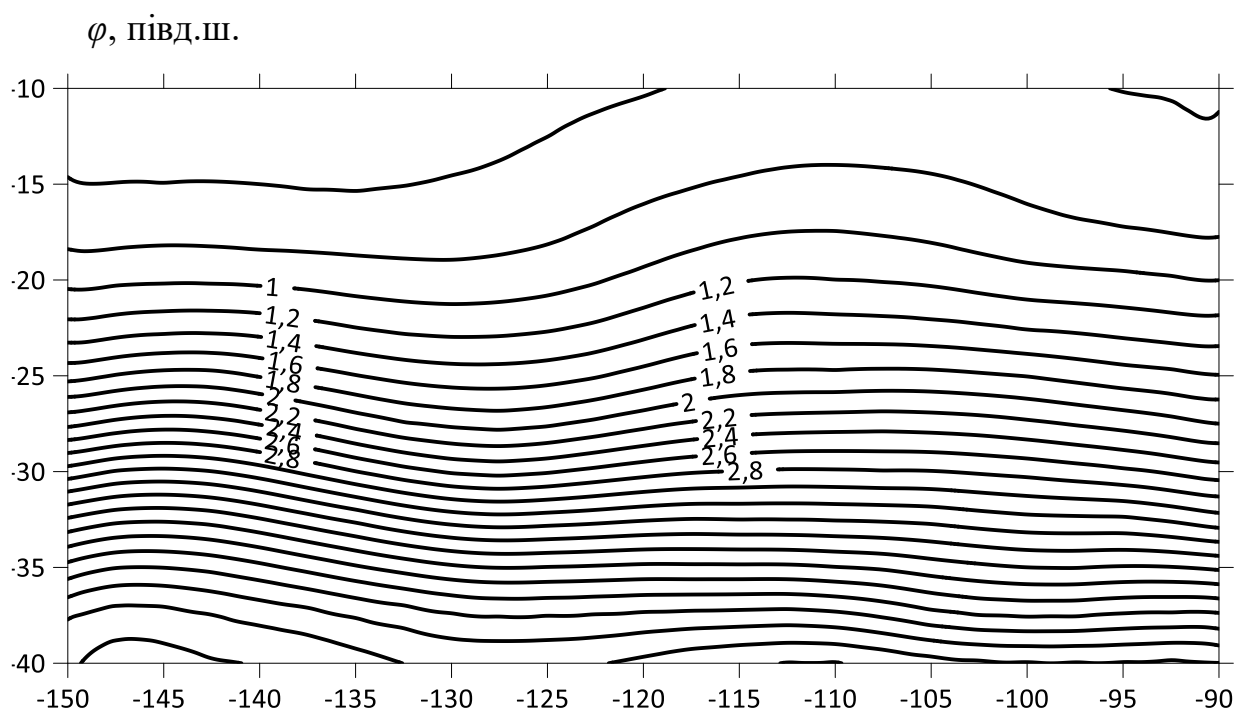


Рис. 2.7 – Поле середніх квадратичних відхилів приземного атмосферного тиску
(липень)

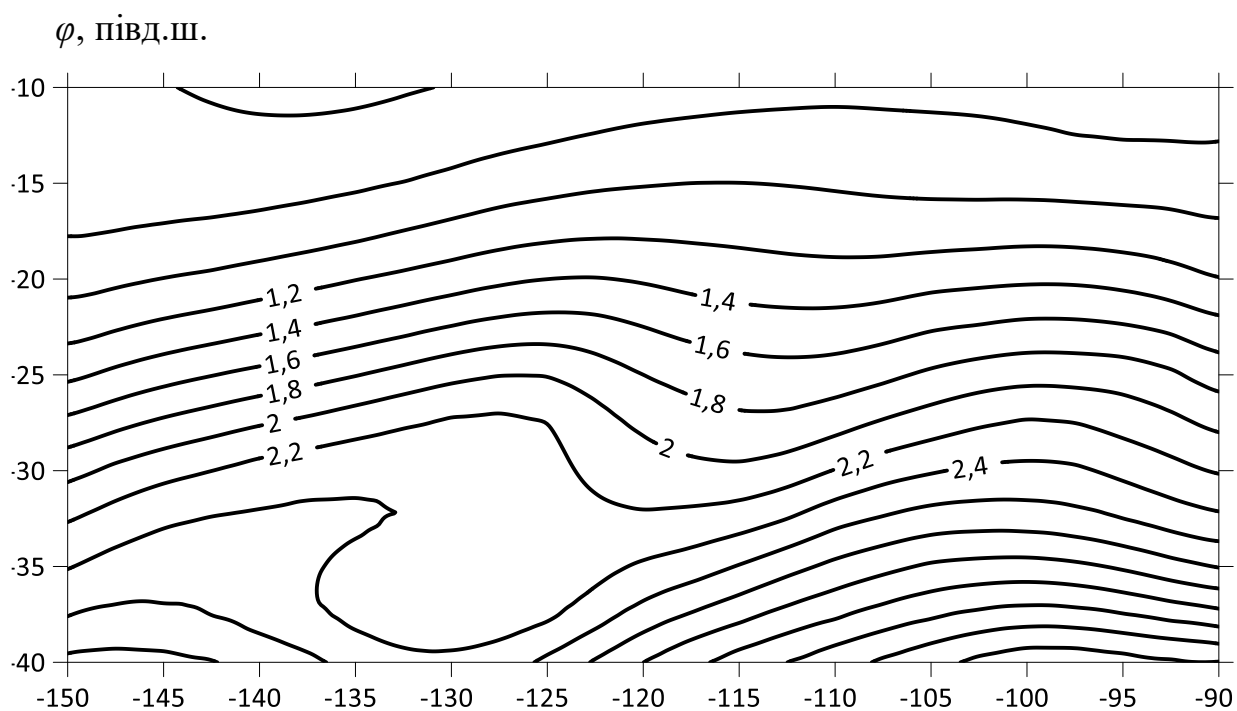


Рис. 2.8 – Поле середніх квадратичних відхилів приземного атмосферного тиску
(жовтень)

Восени (рис. 2.6) мінливість збільшується і область максимальних значень зміщується на захід, досягаючи на півдні регіону значень середніх квадратичних відхилів 3,6 гПа.

В липні (рис. 2.7) структура полів мінливості має майже квазіширотний вигляд з більш значними градієнтами. Слід зазначити, що влітку спостерігаються найбільші значення середніх квадратичних відхилів, значення яких досягають 5,0 гПа на півдні регіону.

В жовтні (рис. 2.8) зональних характер розподілу ізоліній поступово порушується на півдні регіону і значення середніх квадратичних відхилів зменшуються.

3 КОМПОНЕНТНИЙ АНАЛІЗ ПОЛІВ ПРИЗЕМНОГО ТИСКУ

3.1 Алгоритм дослідження

Використання статистичних методів при вирішенні метеорологічних задач пов'язано з рядом труднощів, таких як, не підпорядкованість у багатьох випадках метеорологічних величин нормальному закону розподілу, неоднорідність і не ізотропність метеорологічних полів, не стаціонарність випадкових процесів та ін. Ефективним при цьому є такий шлях вирішення, який полягає в тому, що проводиться параметризація складу факторів: у моделі використовуються нові величини, що є лінійними комбінаціями початкових параметрів. Нові фактори повинні бути взаємно некорельованими (ортогональними) і щоб при можливо меншій їх кількості враховувалася значна частина мінливості початкових параметрів. Перерахованим вимогам відповідає компонентний аналіз, який часто в літературі називають методом «емпіричних ортогональних функцій».

Компонентний аналіз застосовується і при вирішенні інших метеорологічних задач. Однією з них є стиснення метеорологічної інформації (значне скорочення кількості інформації при збереженні основного її змісту).

Іншим важливим завданням, є фільтрації метеорологічної інформації. Її суть полягає в наступному. Поля метеорологічних величин, а також інші метеорологічні об'єкти, формуються під дією атмосферних процесів різних масштабів: процесів макромасштабу, синоптичного масштабу, мезомасштаба і процеси ще дрібнішого масштабу. В результаті метеорологічна інформація набуває шумової компоненти, обумовлену дрібномасштабними флуктуаціями, погрішностями вимірювань і первинною обробкою результатів спостережень. Часто з'являється необхідність, залежно від характеру завдання при вивченні

явищ погоди, зосередити увагу на найбільш великомасштабних процесах і не враховувати складові, які обумовлені впливом процесів дрібного масштабу. Для цього також застосовується компонентний аналіз Розглянемо стисло його ідеї [23].

Маємо деяке поле центрованих значень метеорологічної величини ΔX_j :

$$\Delta X_j = \begin{pmatrix} \Delta x_{1j} \\ \Delta x_{2j} \\ \dots\dots \\ \Delta x_{nj} \end{pmatrix}. \quad (3.1)$$

Здійснимо параметризацію цього поля, тобто виразимо поле, яке визначене значеннями метеорологічної величини на безлічі точок простору, за допомогою декількох некорельованих параметрів, лінійно пов'язаних з компонентами випадкового вектора (3.1) і які включають основну інформацію про поле. У основі рішення цієї задачі лежить лінійне ортогональне перетворення початкового поля (3.1) в базисі власних векторів матриці коваріацій (або кореляцій) полів цієї метеорологічної величини. Матричне рівняння повної проблеми власних значень має вигляд:

$$K_x u_i = \lambda_i u_i. \quad (3.2)$$

У цьому рівнянні K_x - n – вимірна матриця коваріації; u_i - i – тий власний вектор; λ_i - відповідні власне значення матриці K_x .

Існує така теорема: власні значення позитивно визначеної, симетричної і дійсної матриці є дійсними, позитивними і простими числами. Оскільки матриця коваріації задовольняє умовам цієї теореми, власні значення мають відмічені в теоремі властивості.

Власні значення розташовуються в порядку їх зменшення

$$\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \dots > \lambda_n. \quad (3.3)$$

Першому власному значенню λ_1 відповідає перший власний вектор

$$u_i = \begin{pmatrix} u_{11} \\ u_{21} \\ \dots \\ u_{n1} \end{pmatrix}, \quad (3.4)$$

другому власному значенню λ_2 - відповідає другий власний вектор і так далі.

Найчастіше власні вектори нормуються: замість векторів $u_i (i = \overline{1, n})$ використовуються власні вектори

$$W_i = \frac{u_i}{|u_i|}. \quad (3.5)$$

Відмічені властивості власних векторів дають можливість розглядати їх як базис n – мірного евклидового простору R^n [23]. Виходячи з цього, проведемо розкладання вектора ΔX , що представляє який-небудь метеорологічний об'єкт, в цьому базисі. Відповідне перетворення має вигляд:

$$W' \Delta X_j = z_j. \quad (3.6)$$

Оскільки базис власних векторів є ортогональним, то компоненти

$z_{ij} (i = \overline{1, n})$ вектора z_j

$$Z_j = \begin{pmatrix} Z_{1j} \\ Z_{2j} \\ \dots \\ Z_{ij} \\ \dots \\ Z_{nj} \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

є лінійно незалежними, а в статистичному сенсі некорельованими.

Як відомо, чим більшим є масштаб збурень у полях метеорологічної величини, що вивчається, тим більше значення має дисперсія, яка характеризує мінливість цієї величини. Тому $\lambda_1 = \sigma_{Z_1}^2$ відбиває властивості найбільш великомасштабних процесів у цьому полі, які містяться у ортогональних компонентах $Z_{11}, Z_{12}, Z_{13}, \dots, Z_{1m}$.

Власне значення $\lambda_2 = \sigma_{Z_2}^2$ характеризує властивості процесів меншого масштабу, як і послідовність других ортогональних компонентів $Z_{21}, Z_{22}, Z_{23}, \dots, Z_{2m}$. Таким чином, можна визначити за допомогою формули

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^k \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (3.8)$$

Кількість k ортогональних компонентів, сумарна дисперсія яких $\sum_{i=1}^k \lambda_i$ ураховує η долю сумарної дисперсії вихідного метеорологічного поля. Ці перші k ортогональних компонентів називають головними компонентами. Саме вони утримують основну інформацію про статистичну структуру полів

метеорологічної величини, що досліджується. Останні $n-k$ ортогональні компоненти характеризують дрібномасштабні збурення та шумову компоненту.

Оскільки головні компоненти отримують шляхом ортогонального перетворення кожного вихідного вектора (поля) відповідним власним вектором, то перші k власні вектори також відбивають впливи відповідних великомасштабних процесів, формуючих метеорологічні поля. Причому перший власний вектор $W_1 = \{W_{s1}\} \ (s = \overline{1, n})$ характеризує особливості процесів найбільшого масштабу, другий власний вектор $W_2 = \{W_{s2}\} \ (s = \overline{1, n})$ – меншого масштабу і т.д. Виявленню зазначених особливостей цих процесів допомагає аналіз структури полів цих власних векторів.

3.2 Власні значення та власні вектори матриці коваріації

У розділі 3.1 було відмічено, що власні значення мають сенс дисперсій ортогональних компонент полів приземного тиску. Оскільки сума всіх власних значень дорівнює сумарній дисперсії досліджуємих полів та власні значення упорядковані, а саме, розташовуються у порядку зменшення і характеризуються швидкою сходимістю, то як правило перші з них вичерпують значний відсоток від сумарної дисперсії полів. Саме цей відсоток і відноситься до найбільш великомасштабних циркуляційним атмосферним процесам. Властивості цих процесів висвітлюють ортогональні компоненти полів приземного тиску, які називають головними компонентами. Їх значення отримують шляхом ортогонального перетворення полів приземного тиску власними векторами, які відповідають вказаним вище власним значенням. Тому поля цих перших власних векторів відбивають властивості досліджуємих полів, а саме властивості найбільш великомасштабних циркуляційних процесів.

У табл. 3.1 містяться величини перших двох власних значень, які вичерпують більшу частину (більше 60%) від сумарної дисперсії полів приземного тиску.

Таблиця 3.1 – Власні значення матриці коваріації полів приземного тиску

Місяць	Власні значення		$\sum_{i=1}^2 \lambda_i, \%$
	$\lambda_1, \%$	$\lambda_2, \%$	
Січень	46	18,1	64,1
Лютий	51,8	22,3	74,1
Березень	50	21	71
Квітень	47,1	17,8	64,9
Травень	54,6	18,2	72,8
Червень	53	21,4	74,4
Липень	54,9	20,5	75,4
Серпень	63,9	15,4	79,3
Вересень	49,2	21	70,2
Жовтень	69,7	11,2	80,9
Листопад	55,4	20,6	76

Аналіз табл. 3.1 вказує на те, що найбільша енергія циркуляційних процесів на зимовий період (серпень) та весняний період (жовтень), коли активується і досягає максимального розвитку антициклонічний вихор (Південно-Тихоокеанський максимум). Слід зазначити, що влітку (рис. 2.7) спостерігаються найбільші значення середніх квадратичних відхилів, значення яких досягають 5,0 гПа на півдні регіону.

Найменша сумарна дисперсія спостерігається у літній сезон (січень) та осінній період (квітень), що може бути пов'язано зі зміщенням на південь Південно-Тихоокеанського максимуму та розвитком антициклональної циркуляції майже над усім регіоном що розглядається (рис.3.1).

$\sigma_{x_i}^2, \%$

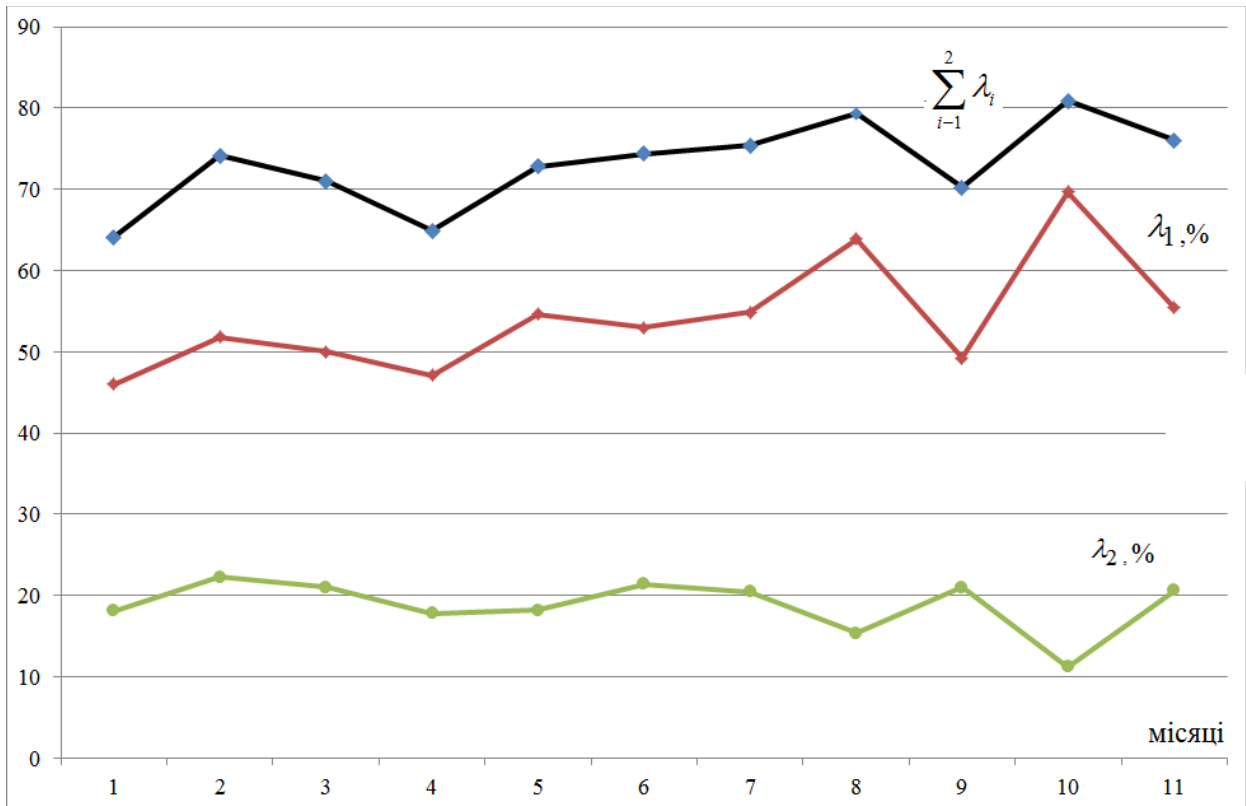


Рис. 3.1 – Річний хід дисперсій (власних значень матриці коваріацій) полів атмосферного тиску

Як видно з рис. 3.1, перше власне значення вносить найбільший вклад у сумарну дисперсію полів приземного тиску, тому перший власний вектор, що відповідає цьому власному значенню, відбиває найбільш великомасштабні риси циркуляційних атмосферних процесів. В якості прикладу на рис. 3.2 – 3.5, представлені поля перших власних векторів приземного тиску для центральних місяців календарних сезонів. Для всіх інших місяців поля перших власних векторів представлені у додатку (А.8-А.14).

φ , півд.ш.

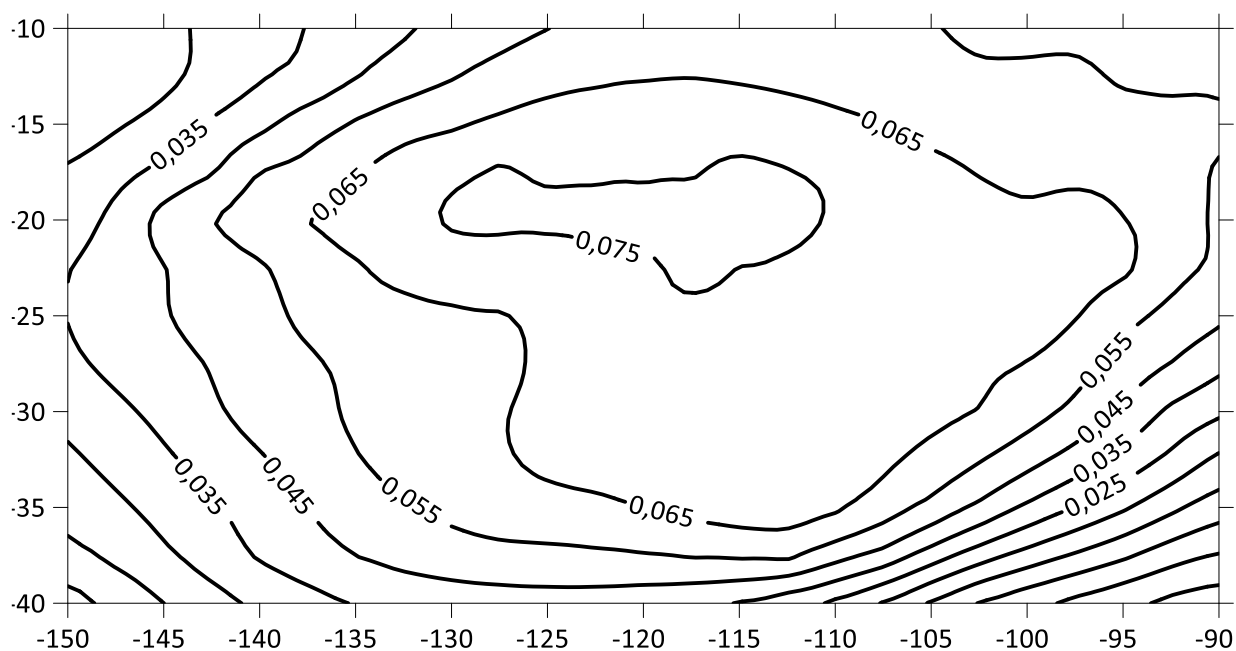


Рис. 3.2 – Поле першого власного вектора приземного атмосферного тиску
(січень)

φ , півд.ш.

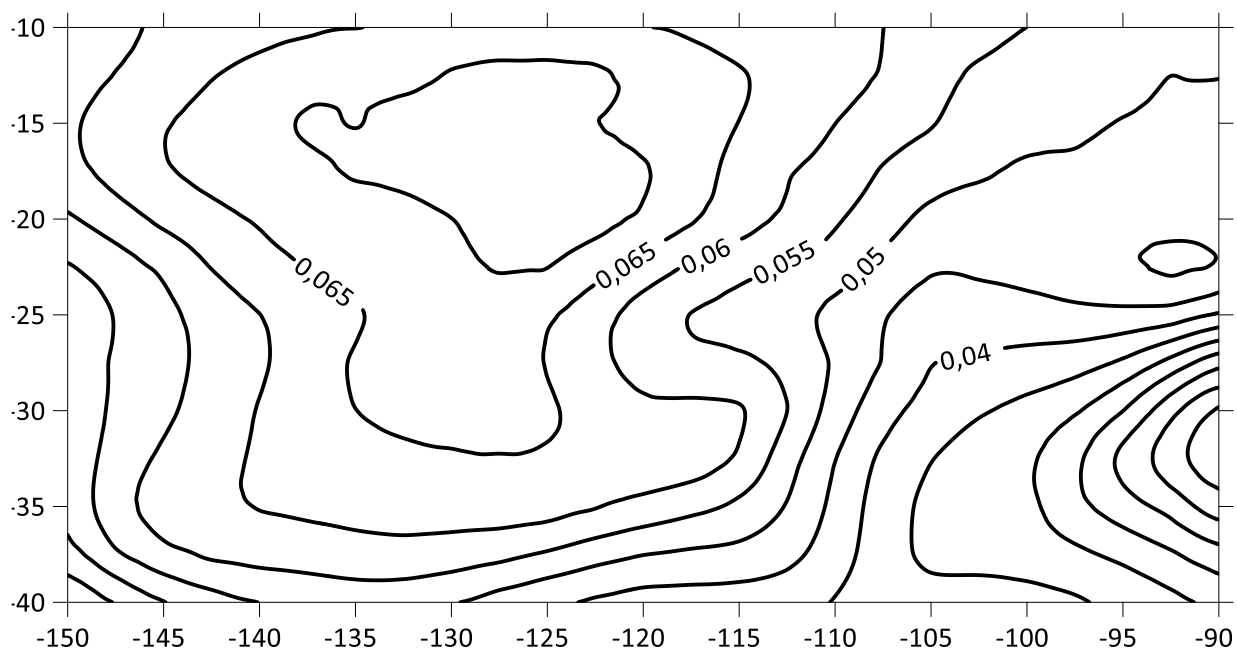


Рис. 3.3 – Поле першого власного вектора приземного атмосферного тиску
(квітень)

φ , півд.ш.

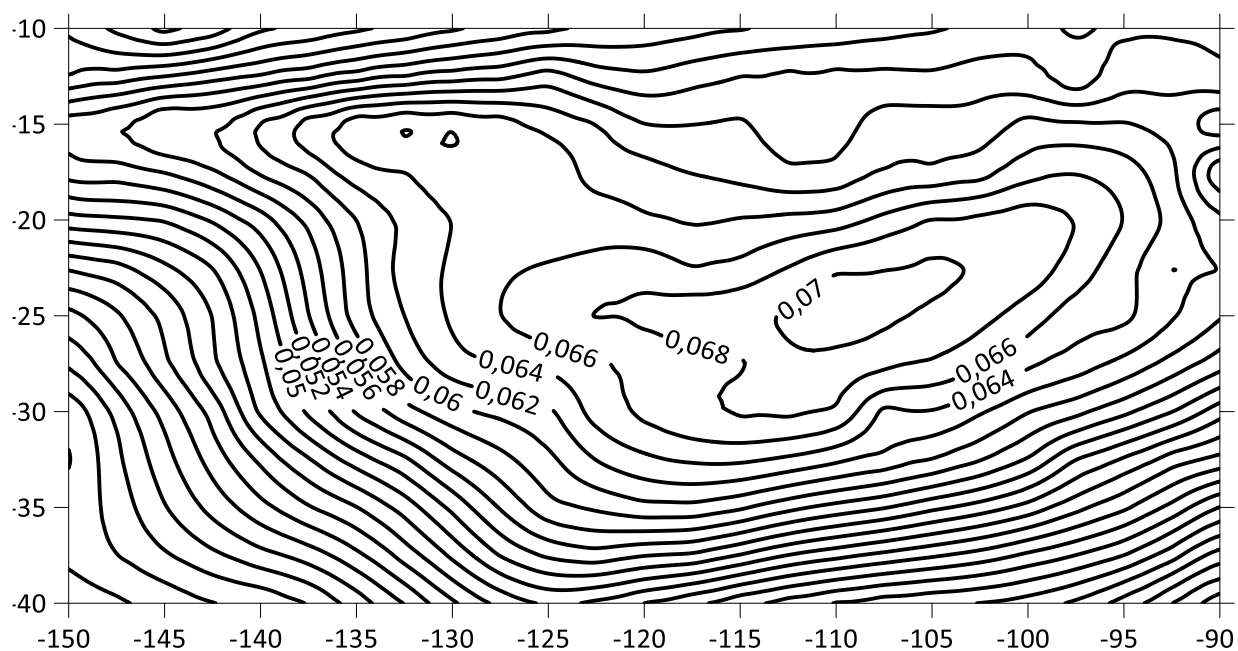


Рис. 3.4 – Поле першого власного вектора приземного атмосферного тиску
(липень)

φ , півд.ш.

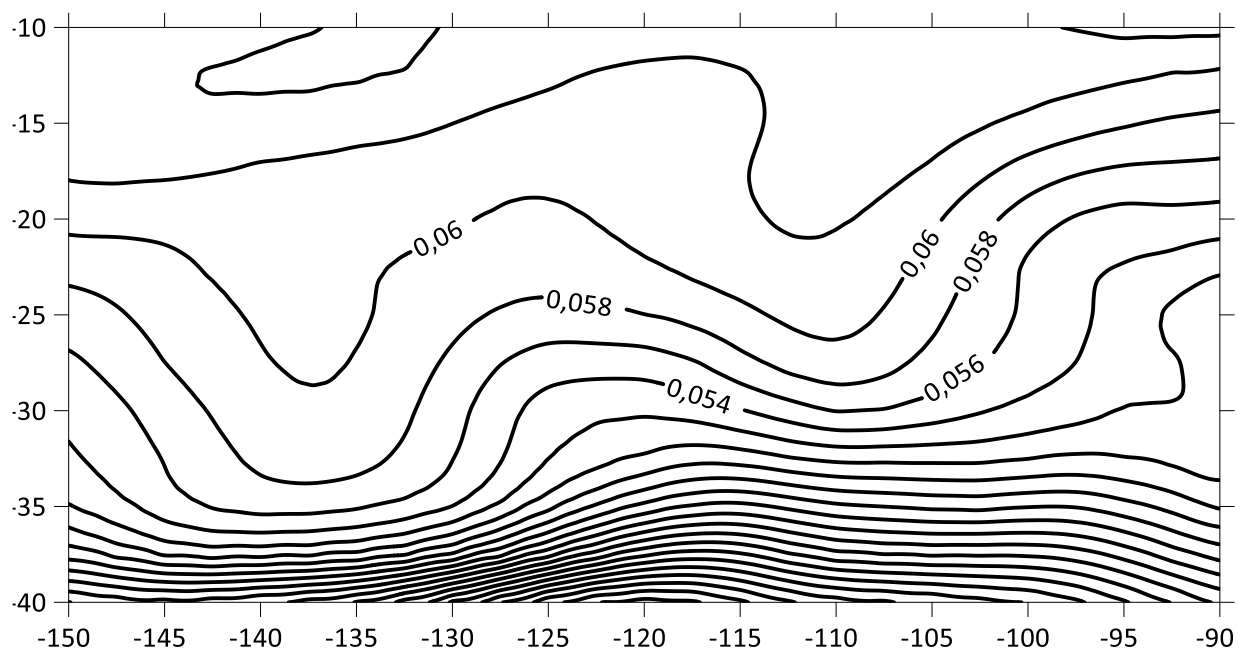


Рис. 3.5 – Поле першого власного вектора приземного атмосферного тиску
(жовтень)

Поле першого власного вектора змінює свою конфігурацію у продовж року. Як видно у січні (рис. 3.2), поле охоплює значна область додатних значень власного вектора з центром 20° півд.ш. та 120° зах.д., яка може бути пов'язана з максимальним розвиненням антициклонічного центру дії атмосфери (Південно-Тихоокеанський максимум).

У осінній період (рис. 3.3), поле першого власного вектора змінює свою конфігурацію і розділяється на дві області з однаковими знаками у центрах.

У зимовий сезон (рис. 3.4), спостерігається перебудова поля першого власного вектора, а саме поле знову охоплює значна область додатних значень власного вектора з центром 25° півд.ш. та 110° зах.д., яка може бути пов'язана з розвиненням антициклонічного центру дії атмосфери (Південно-Тихоокеанський максимум).

В жовтні (рис. 3.5), знову спостерігається перебудова поля першого власного вектора, а саме зникає замкнена область додатних значень та на півдні формується пояс значних градієнтів з майже зональним розподілом ізоліній, тоді як на півночі послідовно формуються гребені та улоговини.

Як видно з представлених полів перших власних векторів, вони дійсно відбивають найбільш великомасштабні риси циркуляційних атмосферних процесів в регіоні, а саме центри дії атмосфери південної частини Тихого океану.

Подалі розглянемо поля других власних векторів для центральних місяців сезонів (рис. 3.6-3.9). Поля других власних векторів для всіх інших місяців року представлені у Додатку (А.15-А.23). Як видно відповідні поля другого власного вектора мають більш складний вигляд, утворюються бімодальні, а інколи й трьох модальні області впродовж року. Така структура полів другого власного вектора свідкує про постійну наявність осциляції, яка може відповідати розташуванням двох атмосферної циркуляції протилежного знаку.

φ , півд.ш.

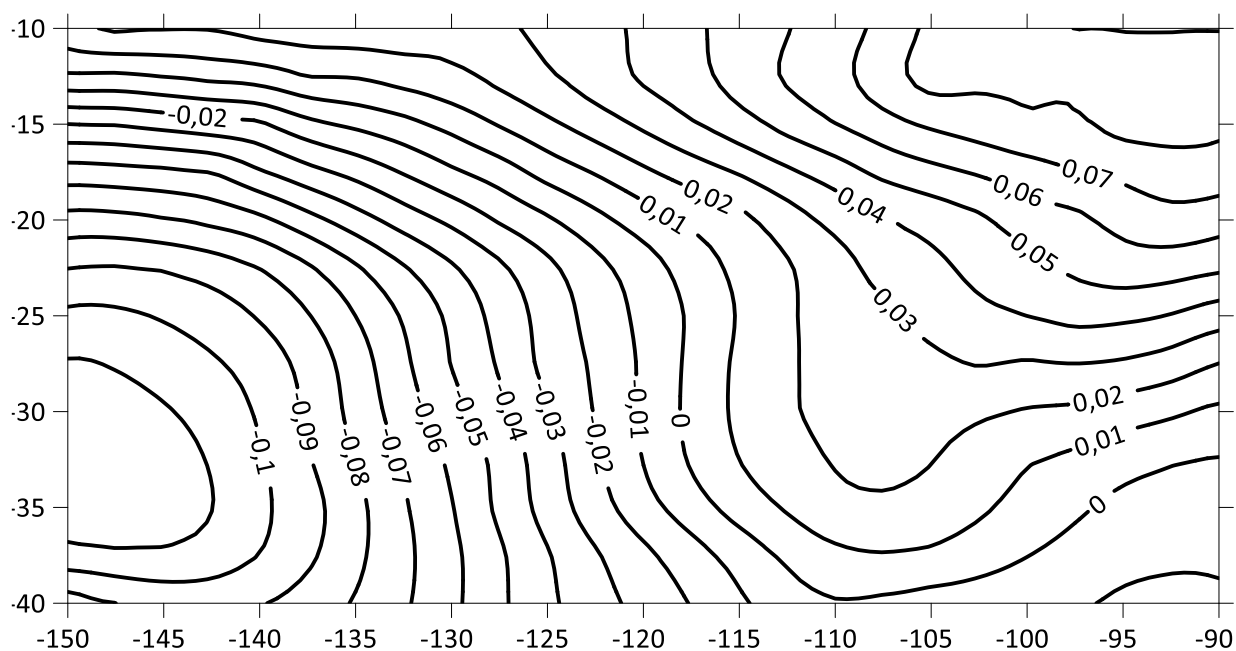


Рис. 3.6 – Поле другого власного вектора приземного атмосферного тиску
(січень)

φ , півд.ш.

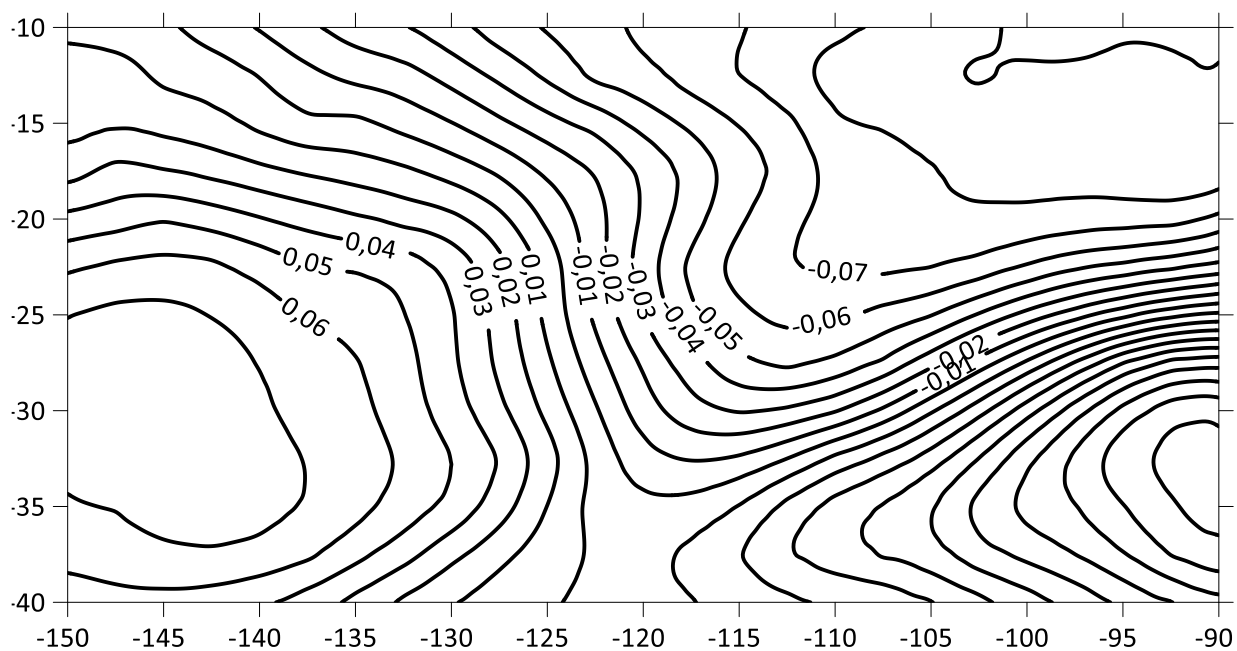


Рис. 3.7 – Поле другого власного вектора приземного атмосферного тиску
(квітень)

φ , півд.ш.

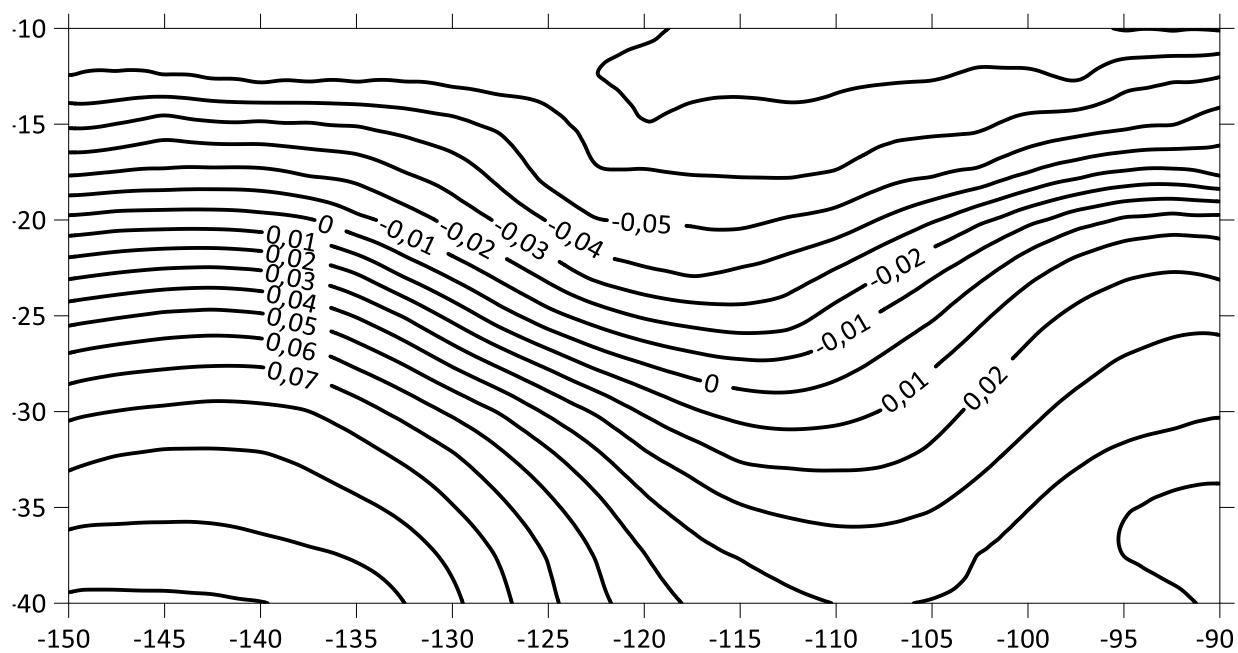


Рис. 3.8 – Поле другого власного вектора приземного атмосферного тиску
(липень)

φ , півд.ш.

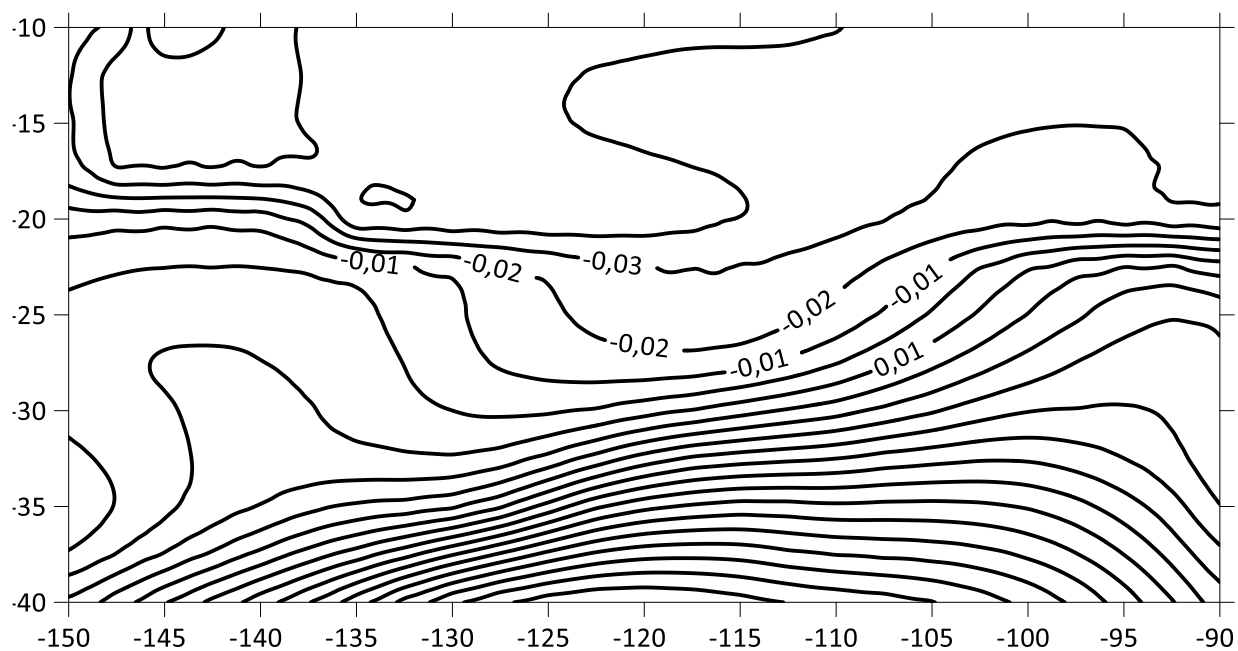


Рис. 3.9 – Поле другого власного вектора приземного атмосферного тиску
(жовтень)

3.3 Статистична структура часових рядів головних компонент полів атмосферного тиску

Як відмічалось в пункті 3.2, шляхом ортогонального перетворення полів приземного тиску в базису власних векторів були отримані ортогональні компоненти. Аналіз власних значень показав, що більше 60% сумарної дисперсії полів приземного тиску вичерпують перші два власні значення. Їх докладний аналіз приводиться в пункті 3.2. Оскільки, як було вказано вище, власними значеннями є дисперсії ортогональних компонент, перші компоненти несуть в собі основну інформацію про статистичну структуру полів приземного тиску, тобто грають роль головних компонент цих полів.

Аналіз полів власних векторів підтвердив той факт, що загальні найбільш важливі риси процесів, що впливають на циркуляційний режим регіону, відбиваються в їх структурі. Тому подальшій більш детально розглянемо перші дві головні компоненти.

Для кожної компоненти були побудовані графіки часових рядів $Z_i(t)$ ($i=1, 2$), з дискретністю 1 місяць, довжина ряду склала 228 значень. На рис. 3.10 та 3.11 представлені графіки першої $Z_1(t)$ і другої $Z_2(t)$ головних компонент приземного атмосферного тиску.

Графіки часових рядів головних компонент приземного атмосферного тиску свідчать про те, що вони містять не тільки коливання, які обумовлені циркуляційними процесами в даному регіоні, але і шумову компоненту. Позбавитися від неї можна шляхом операції фільтрації за допомогою ковзного осереднення [23]. Вагові множники при цьому мають вигляд, який прийнято називати косинус – фільтром.

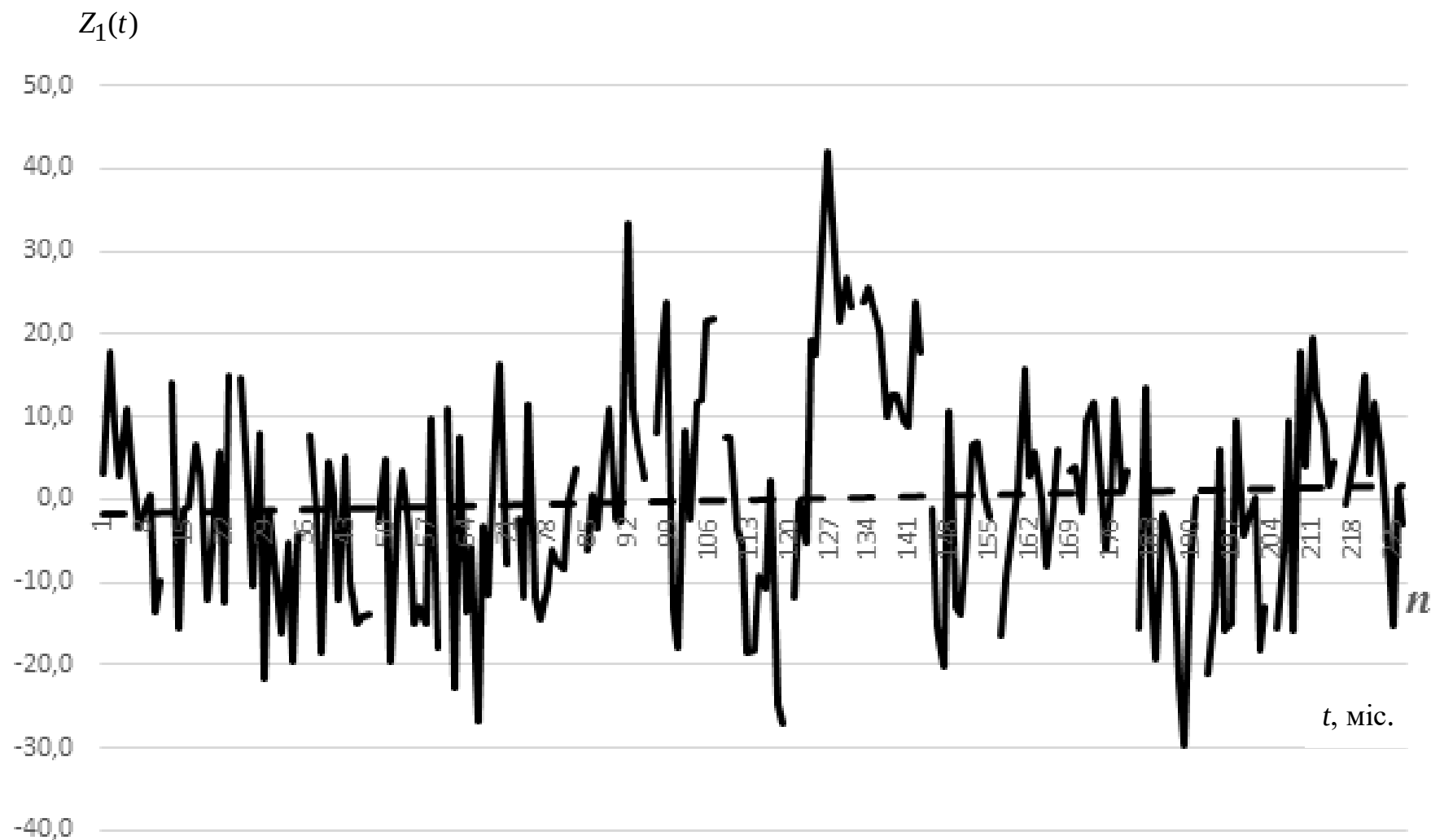


Рис. 3.10 – Часовий ряд першої головної компоненти приземного тиску за період 2000 – 2018 рр.

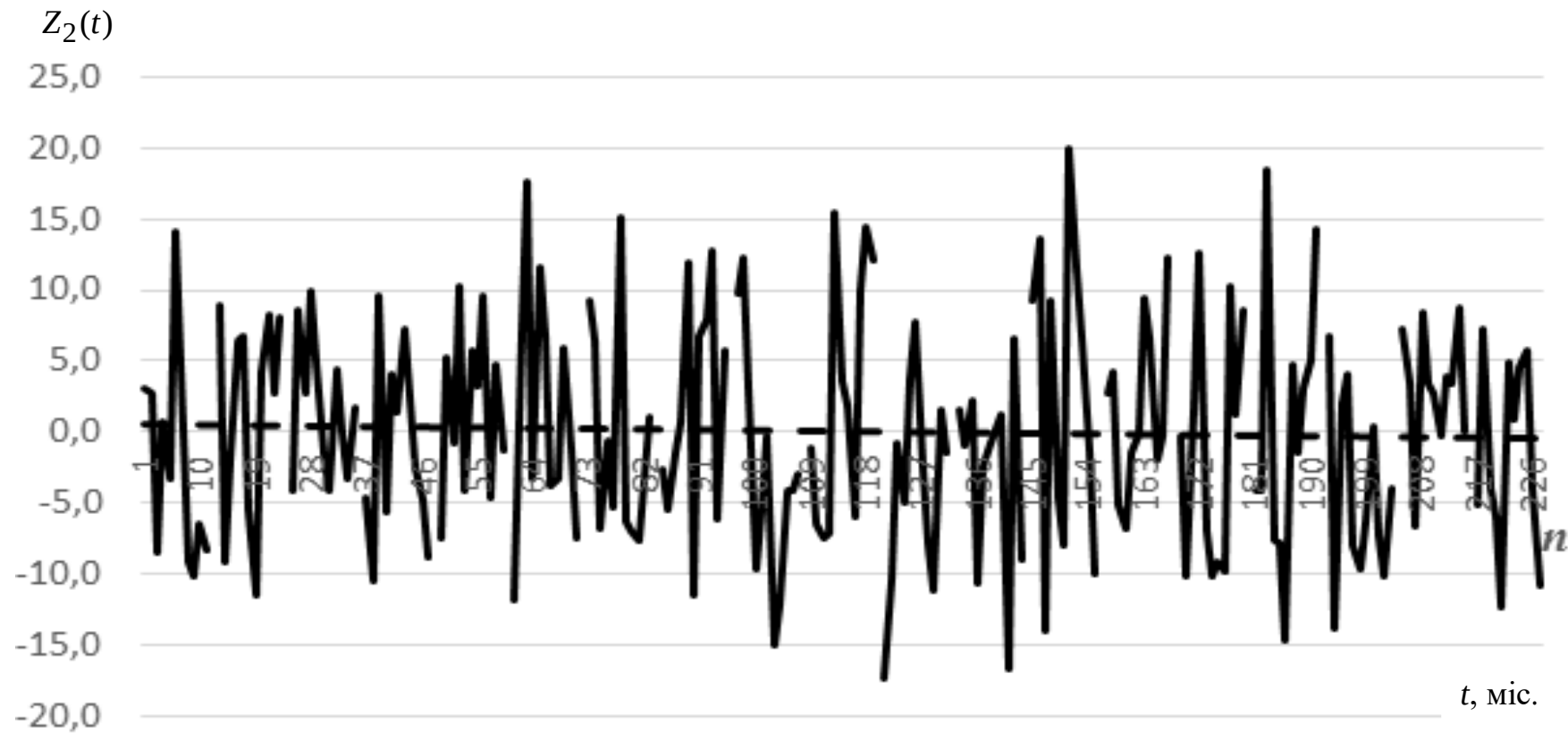


Рис. 3.11 – Часовий ряд другої головної компоненти приземного тиску за період 2000 – 2018 рр.

Більшість метеорологічних величин являють собою нестационарні випадкові процеси. Багаторічні змінення характеру кліматоформуючих факторів приводить до виникнення трендів, а також великомасштабних коливань.

Аналіз графіків багаторічних коливань часових рядів головних компонент приземного тиску дає підстави вважати, що кожен з них утримує в собі періодичні компоненти – статистично значущі приховані періодичності, визначити які можливо за допомогою інтегрального перетворення Фур'є, що заплановано в подальших дослідженнях.

Визначення довгоперіодних коливань (5 і 10 років), зустрічається в таких відомих осциляціях, як Північноатлантичне коливання (ПАК), Ель-Ніньо-Південне коливання (ЕНПК) і Північно-Тихоокеанське коливання (ПТОК), 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.

ВИСНОВКИ

При виконанні даної наукової роботи були отримані наступні результати:

1. На основі великої сукупності полів приземного атмосферного тиску виявлені загальні особливості їх статистичної структури. Досліджені поля середніх значень атмосферного тиску. Визначено динаміку центру дії атмосфери південної частини Тихого океану (Південно-Тихоокеанського максимуму). Південно-Тихоокеанський максимум є стабільним впродовж всього року, центр якого в січні знаходиться приблизно на 35° півд.ш. та 140° зах.д., а в липні зміщується на північ на 27° півд.ш. та 140° зах.д, за рахунок посилення західного переносу в південній півкулі взимку.

2. Особливості полів мінливості приземного атмосферного тиску у обумовлені виникненням та розвитком атмосферних вихорів. Осереднений характер цих флуктуацій висвітлюють поля середніх квадратичних відхилень. Досліджені поля середніх квадратичних відхилень атмосферного тиску та визначено, що максимальна мінливість спостерігається в зимовий період у південній частині регіону і розповсюджується у вигляді гребеня з виссю у північно-східному напрямку. Структура ізолій середніх квадратичних відхилів має майже квазіширотний вигляд.

3. Компонентний аналіз полів приземного тиску дав можливість провести процедуру стиснення та фільтрації вихідної метеорологічної інформації від шумової компоненти, обумовленої дрібномасштабними флуктуаціями, погрішностями вимірювань. Більшу частину сумарної дисперсії полів (60%) вичерпують в усі місяці року перші два власних значення, тому відповідні перші власні вектори полів атмосферного тиску відображають найбільш великомасштабні атмосферні процеси.

Поле першого власного вектора має вигляд значної області додатних значень з центром 20° півд.ш. та 120° зах.д., яка може характеризувати сталий центр дії атмосфери субтропічного поясу високого тиску – Південно-Тихоокеанський максимум.

Поля другого власного вектора мають більш складний вигляд: бімодальні, а інколи й трьохмодальні області протилежного знаку впродовж всього року. Така структура полів другого власного вектора відображає наявність постійної осциляції, яка може відповідати розташуванням баричних утворень протилежного знаку

4. Перші дві ортогональні компоненти приземного тиску, дисперсії яких вичерпують більшу частину від сумарної дисперсії полів в усі місяці року, є головними й відображають особливості часової мінливості найбільш великомасштабних циркуляційних атмосферних процесів.

Аналіз графіків часових рядів головних компонент приземного тиску показав, що кожен з них утримує в собі періодичні компоненти – статистично значущі приховані періодичності, визначити які можливо за допомогою інтегрального перетворення Фур'є, що заплановано в подальших дослідженнях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бондаренко А.Л. О переносе масс воды морскими и океаническими длиннопериодическими волнами / А.Л. Бондаренко, В.В. Жмур, Ю.Г. Филиппов, В.А. Шевцов // Морской гидрофизический журнал // Севастополь. –2004. –№5 –С.24-34.
2. Розанова И.В. Изменчивость интенсивности и положения циклонического центра действия в атлантическом секторе Южного океана во второй половине 20-го столетия / И.В. Розанова, Н.П. Смирнов, Э.И. Саарухунян // Метеорология и гидрология. - 2003. - №1. - С. 75 – 82.
3. Бышев В.И. О глобальном характере явления Эль-Ниньо в климатической системе Земли / В.И. Бышев, В.Г. Нейман, Ю.А. Романов, И.В. Серых // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011.–№4, – С. 200-208.
4. Галич Е.А. Особенности метеорологических полей в регионе формирования явления Эль-Ниньо / Е.А. Галич, А.И. Сущенко // Вісник Одеського державного екологічного університету. - 2012. – Вип. 13. – С. 124-131.
5. Петросянц М.А. Крупномасштабное взаимодействие глобальной циркуляции атмосферы с температурой поверхности экваториального Тихого океана / М.А. Петросянц, Д.Ю. Гущина // Метеорология и гидрология. - 1998. - №5. - С. 5-24.
6. Бондаренко А.Л. Закономерности формирования явления Эль-Ниньо - Ла-Нинья / А.Л. Бондаренко, В.В. Жмур // Физические проблемы экологии (экологическая физика). М.: МАКС ПРЕСС. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Физический факультет.2005. - № 13. - С. 35-44.

7. Луценко Е.И. Полугодовые колебания термобарических полей в северном и южном полушариях / Э.И. Луценко, С.М. Прямиков, Э.И. Саруханян, Н.П. Смирнов // Тр. ААНИИ.-Л.: Гидрометеиздат.- 1983 .- Т.371.- С.6-18.
8. Бышев В.И. О годовых и полугодовых колебаниях некоторых характеристик приводного слоя атмосферы / В.И. Бышев // Изв. АН СССР. Сер. Физика атмосферы и океана.- 1968.-Т. 4, № 5.-С. 540-547.
9. Федоров К.Н. О причинах полугодовой периодичности в атмосферных и океанических процессах / К.Н. Федоров //Изв. АН СССР. Сер. География.- 1959.- №4.- С. 17-25.
10. Mo K.C. Teleconnections in the Southern Hemisphere / K.C. Mo, G.H. White // Monthly Weather Review . - 1985. - №113. - pp. 22-37.
11. Бондаренко А.Л. О природе и возможности прогнозирования явления Эль-Ниньо-Ла-Нинья / А.Л. Бондаренко, В.В. Жмур // Метеорология и гидрология, – 2004. – №11. – С.39-52.
12. Гущина Д.Ю. Объединенная модель тропического Тихого океана и атмосферы. Прогноз явления ЭНЮК 1997-98 гг. / Д.Ю. Гущина, Б. Девитт, М.А. Петросянц // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана.. - 2000. - №5. - С. 581-604.
13. Гущина Д.Ю. О связи температуры поверхности экваториального Тихого океана с циркуляцией скорости ветра в центрах действия атмосферы / Д.Ю. Гущина, М.А. Петросянц // Метеорология и гидрология. - 1998. - №12. - С. 5-15.
14. Сидоренков Н.С. Межгодовые колебания системы Атмосфера-Океан-Земля / Н.С. Сидоренков // Природа. - 1999. - №7. - С. 26-34.
15. Hoskins B.J. The study linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing / B.J. Hoskins D.J. Karoly // Journal of the Atmospheric Sciences. - 1981. - №38. - pp. 1179-1196.

16. Held I.M. Transients and extratropical response to El Nino. / I.M. Held, S.W. Lyons, S. Nigam // *Journal of Atmospheric Sciences*. - 1989. - №36. - pp. 163-174.
17. Houseago R Climate anomaly wave train patterns linking southern low and high latitudes during South Pacific warm and cold events / R. Houseago, G.R. McGregor, J.C. King, S.A Haranzogo // *International Journal of Climatology*. - 1998. - №18. - pp. 1181-1193.
18. Karoly D.J. Southern Hemisphere circulation features associated with El Nino-southern oscillation events / D.J. Karoly // *Journal of Climate*. - 1989. - №2. - pp. 1239-1252.
19. White W.B. An Antarctic circumpolar wave in surface pressure, wind, temperature and sea-ice extent / W.B. White, R.G. Peterson // *Nature*. - 1996. - №380. - pp. 699-702.
20. Peterson R.G. Slow oceanic teleconnections linking the Antarctic circumpolar wave with tropical El Nino-southern oscillation / R.G. Peterson, W.B. White // *Journal of Geophysical Research*. - 1998. - №103. - pp. 24573-24583.
21. Калиткин Н.Н. Численные методы. - М.: Наука, 1978. - С.511.
22. Служба данных ECMWF ERA-40 URL: <http://www.ecmwf.int/products/data> (дата обращения: 12.03.2012).
23. Шкільний Є.П., Лосєва І.Д., Гончарова Л.Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: Підручник.- К.: Міносвіти України, 1999. – С. 600.

Додаток А

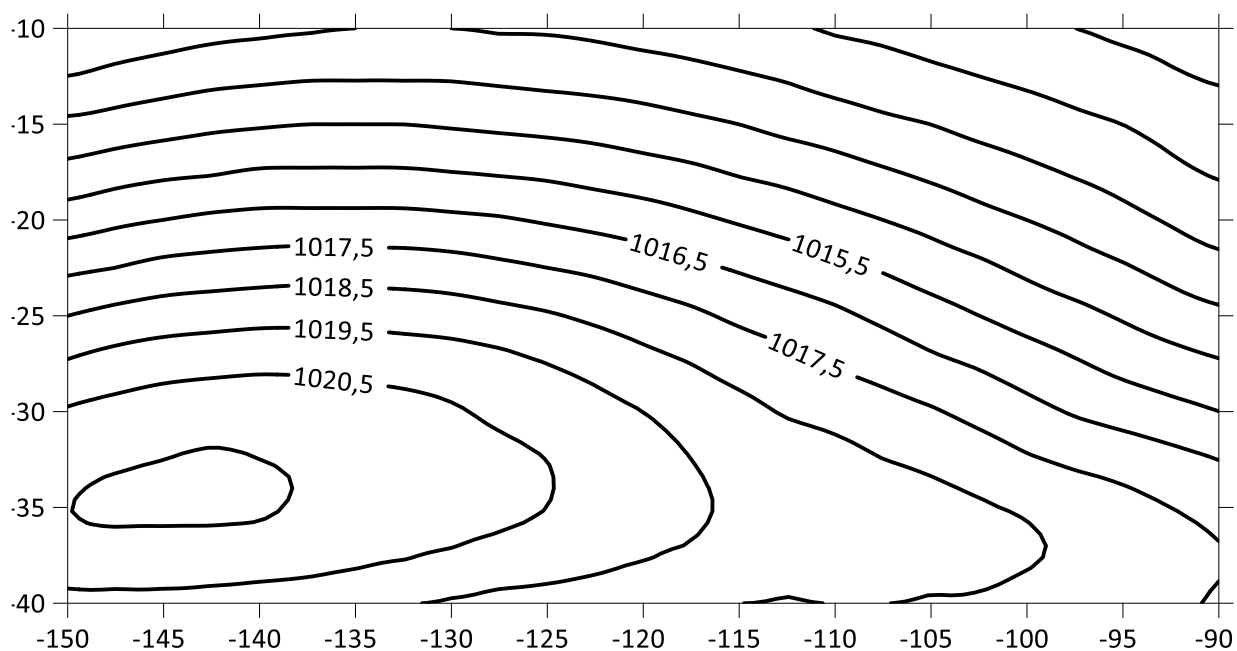


Рис. А.1 – Поле середніх значень приземного атмосферного тиску (лютий)

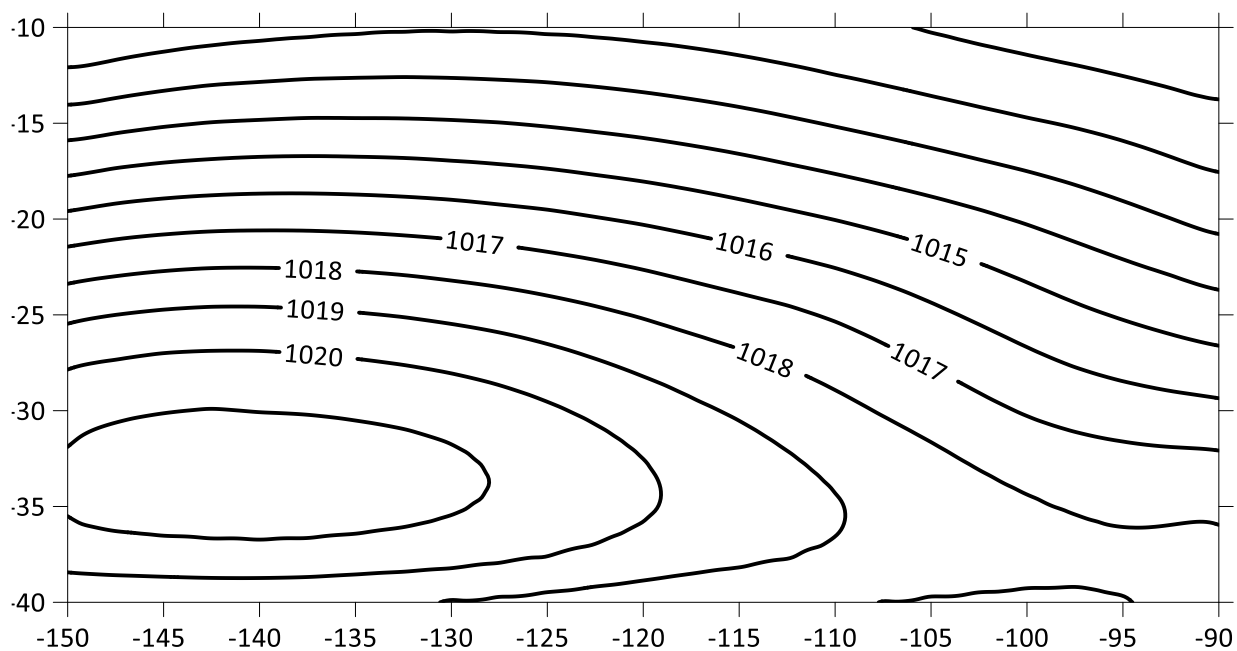


Рис. А.2 – Поле середніх значень приземного атмосферного тиску (березень)

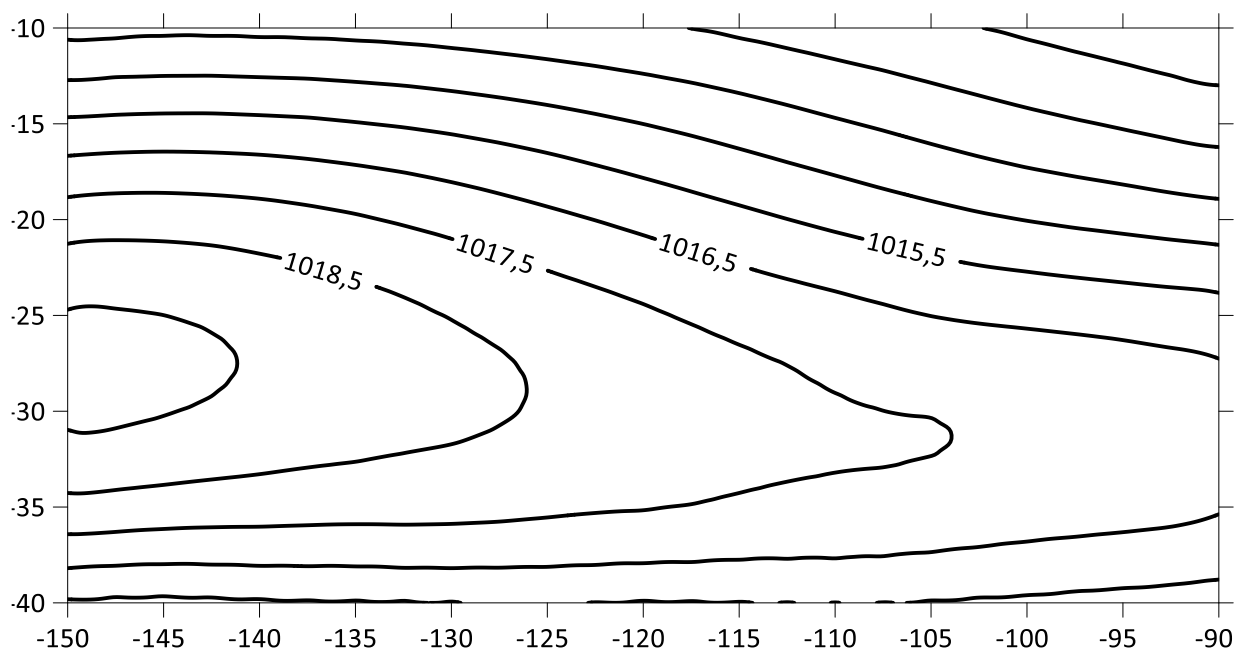


Рис. А.3 – Поле середніх значень приземного атмосферного тиску (травень)

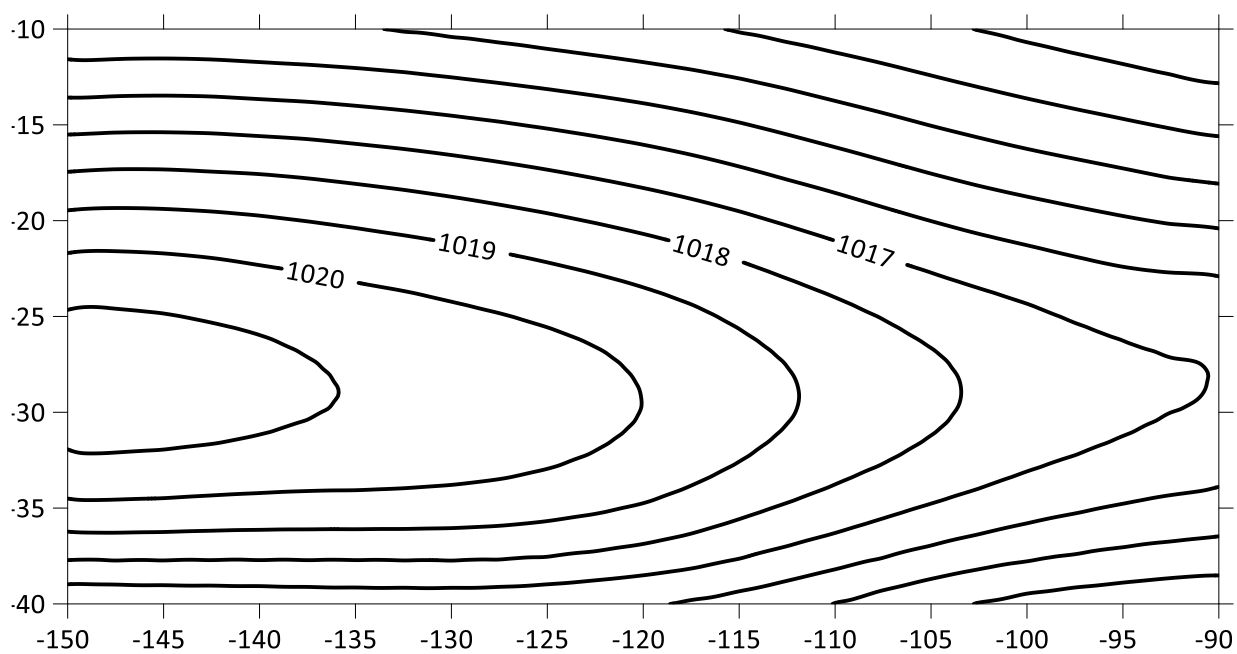


Рис. А.4 – Поле середніх значень приземного атмосферного тиску (червень)

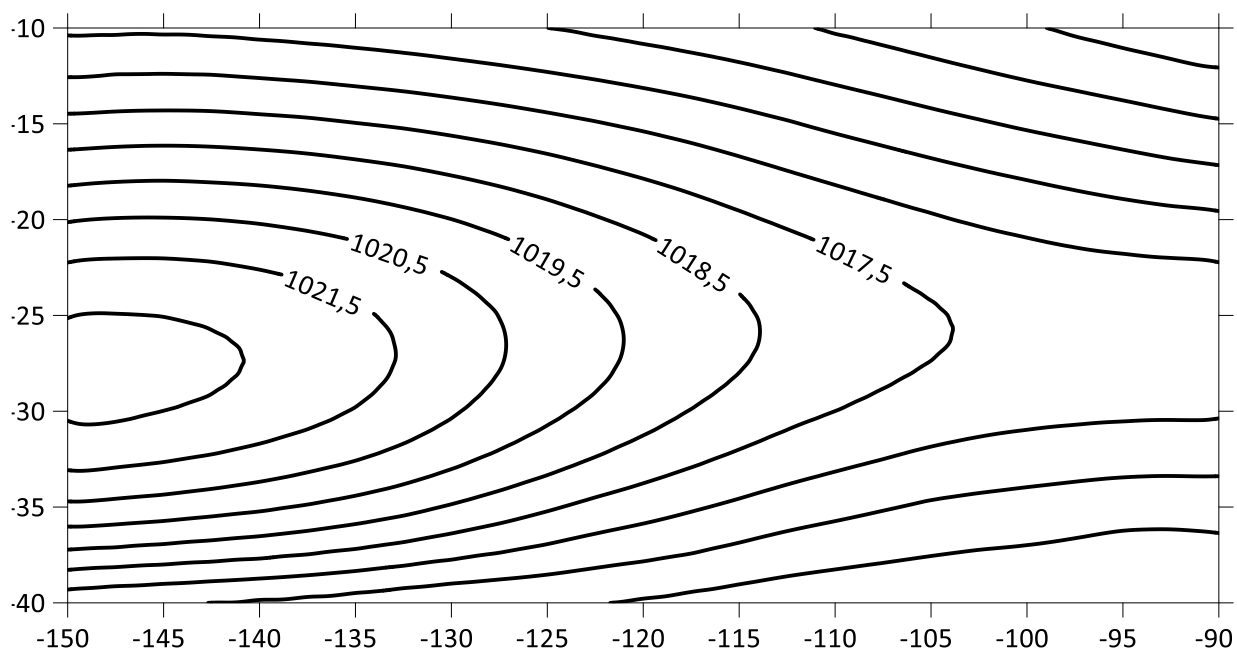


Рис. А.5 – Поле середніх значень приземного атмосферного тиску (серпень)

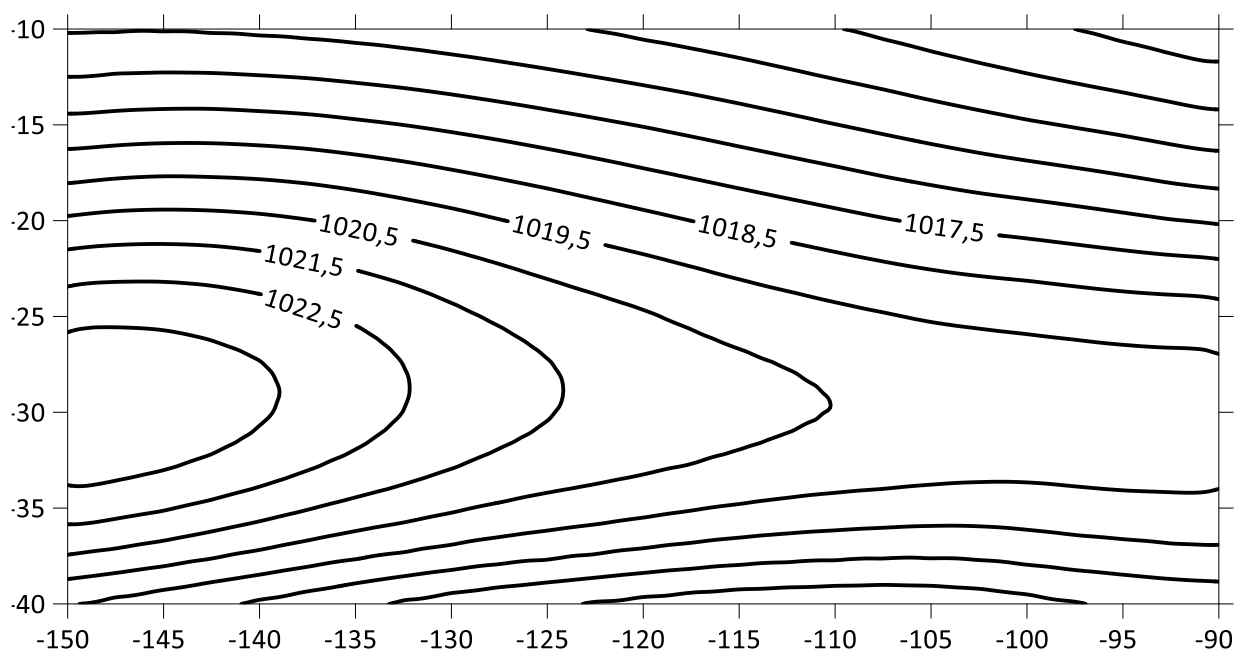


Рис. А.6 – Поле середніх значень приземного атмосферного тиску (вересень)

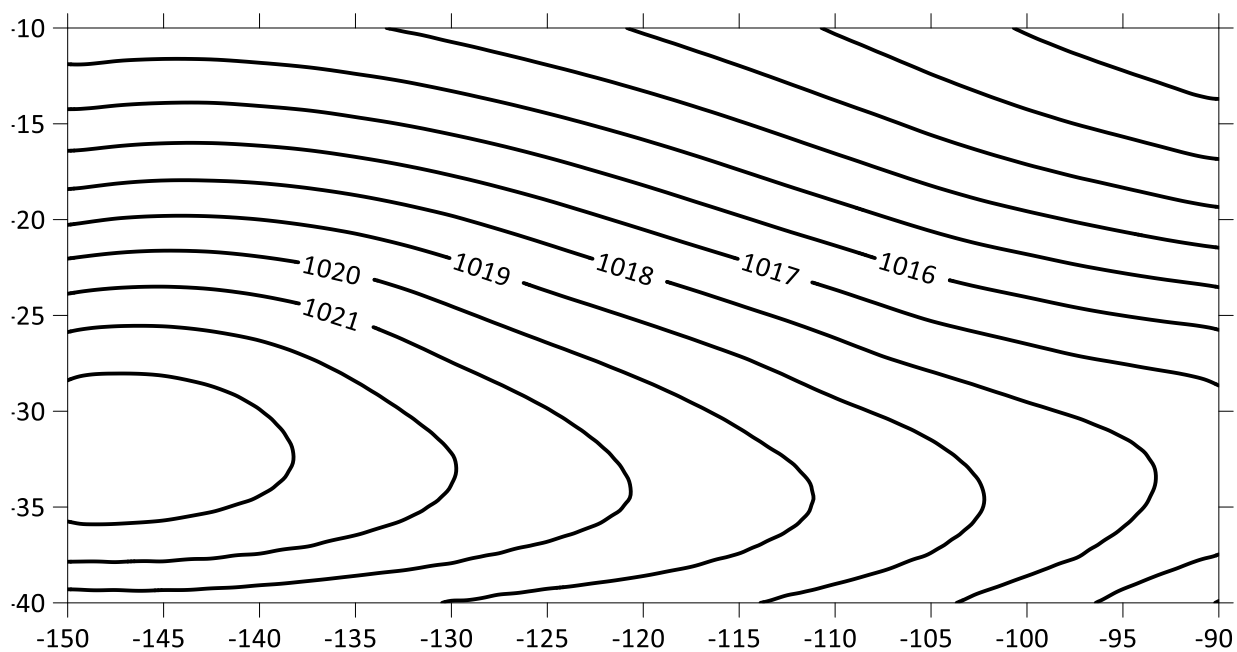


Рис. А.7 – Поле середніх значень приземного атмосферного тиску (листопад)

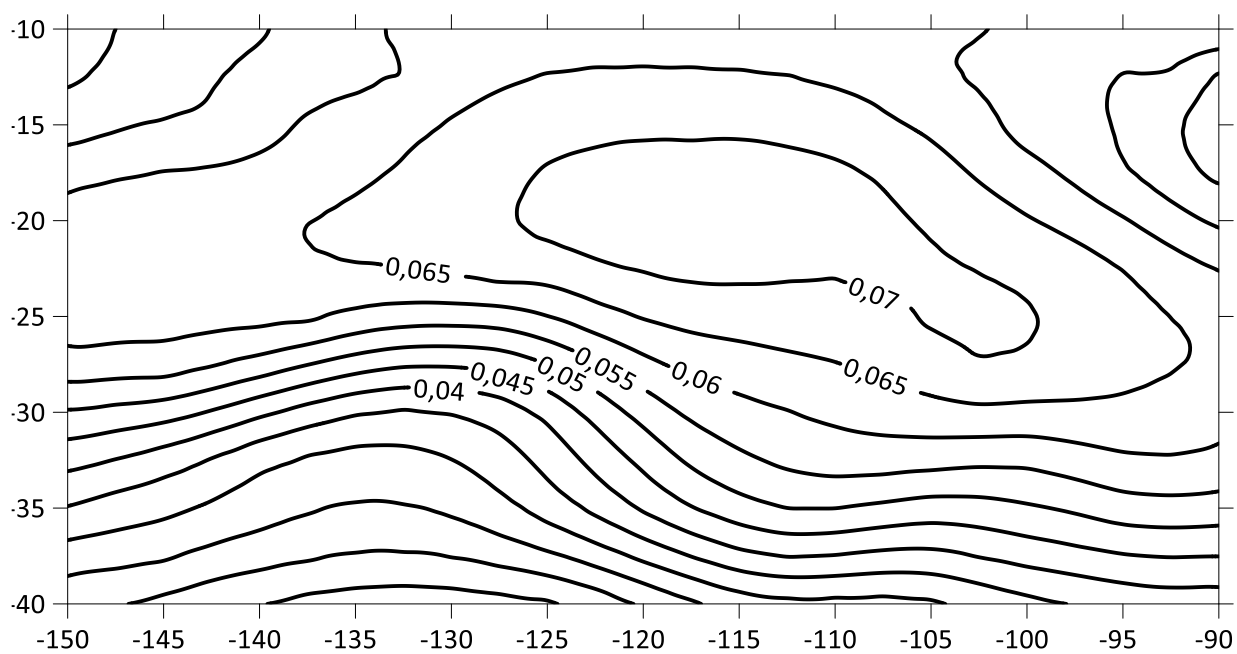


Рис. А.8 – Поле першого власного вектора приземного атмосферного тиску
(лютий)

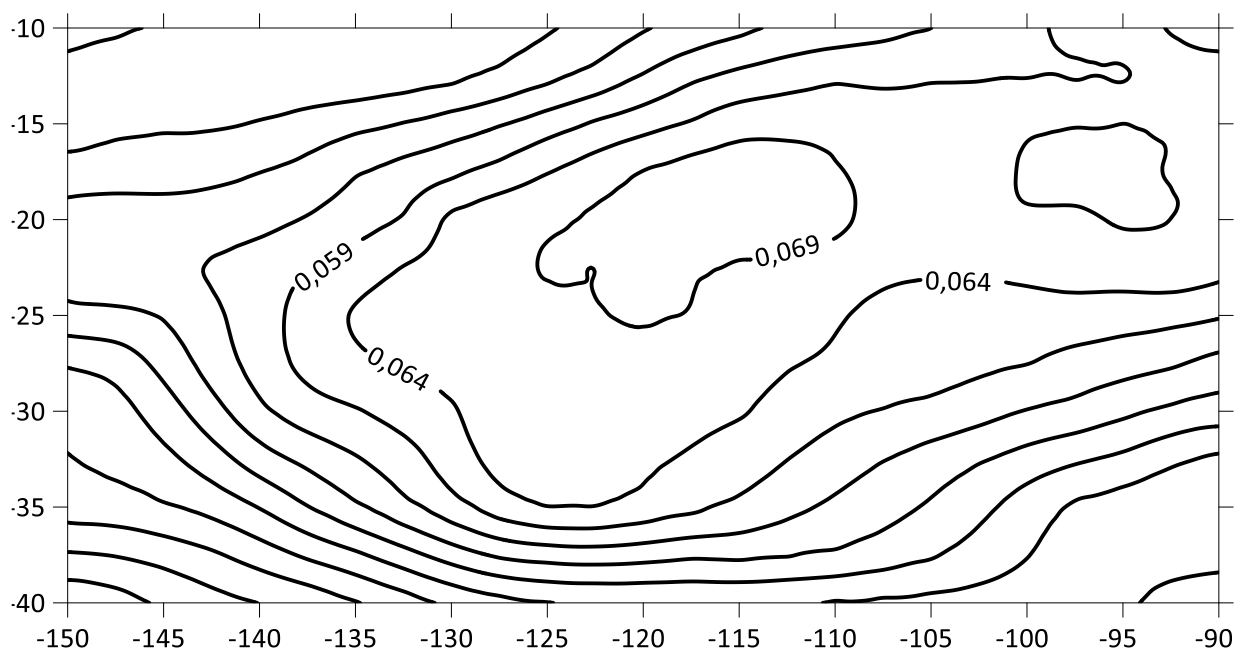


Рис. А.9 – Поле первого власного вектора приземного атмосферного тиску
(березень)

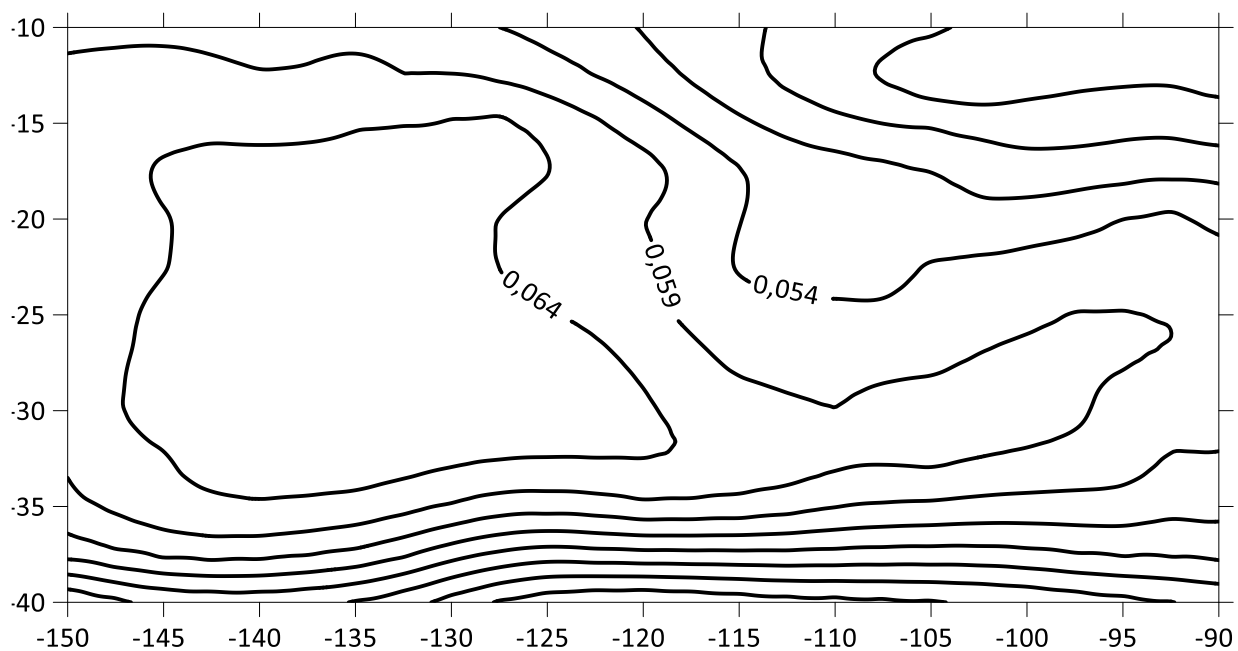


Рис. А.10 – Поле первого власного вектора приземного атмосферного тиску
(травень)

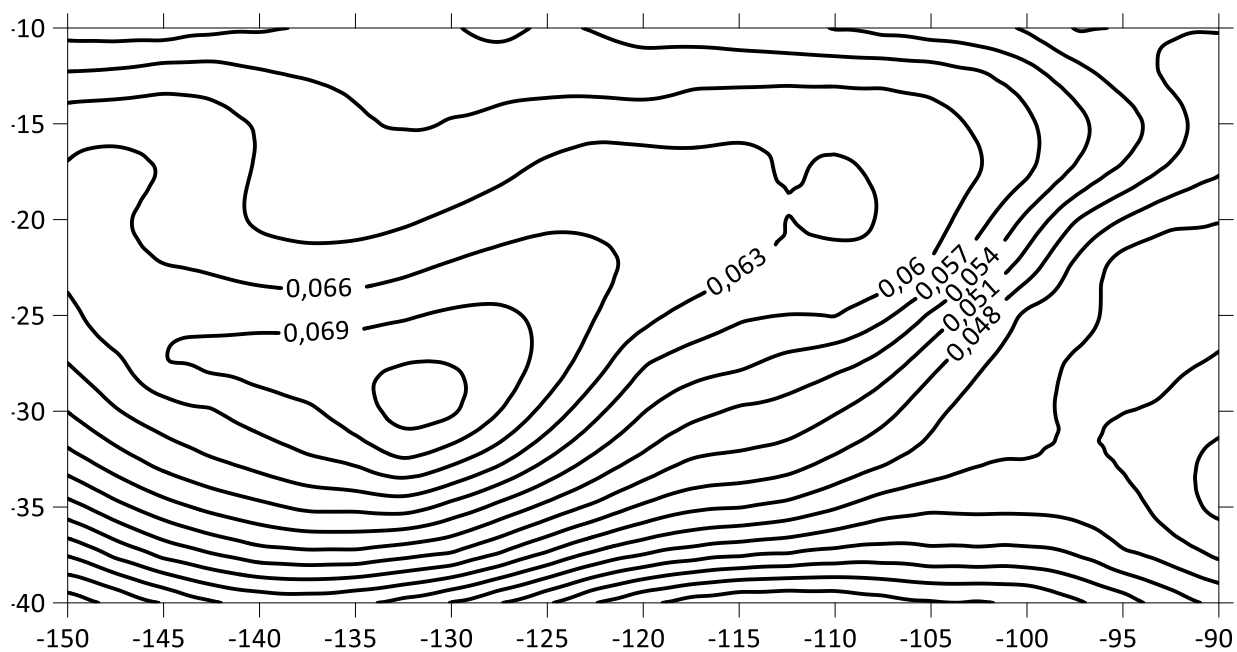


Рис. А.11 – Поле першого власного вектора приземного атмосферного тиску
(червень)

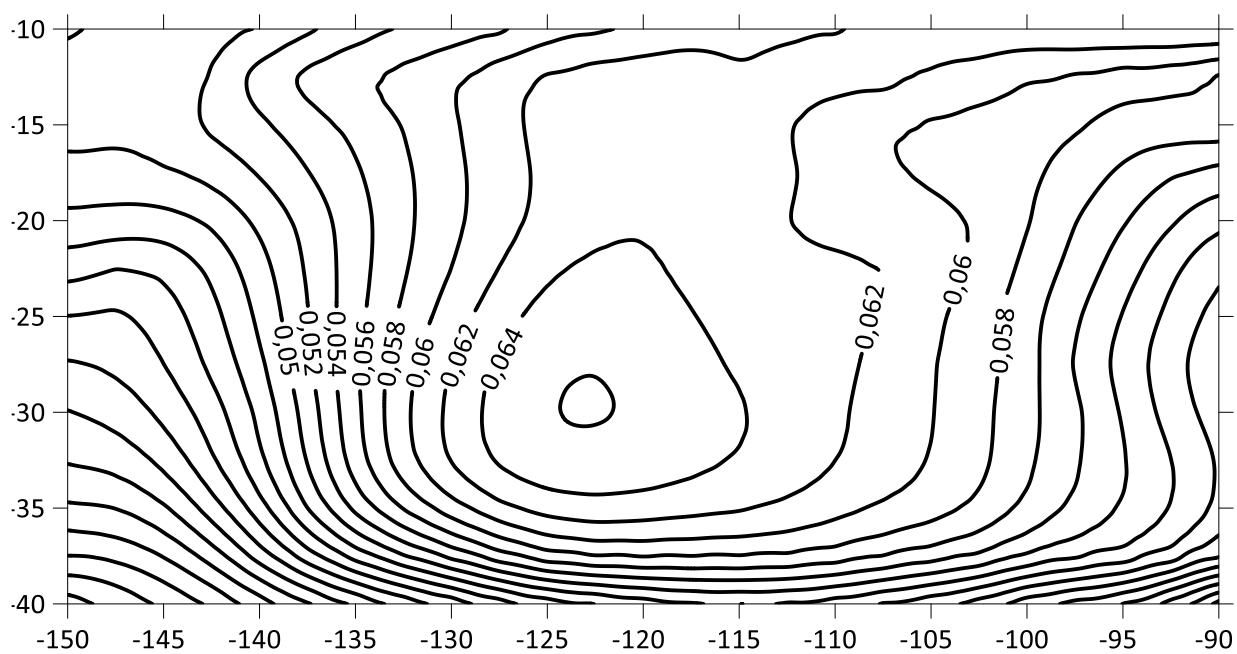


Рис. А.12 – Поле першого власного вектора приземного атмосферного тиску
(серпень)

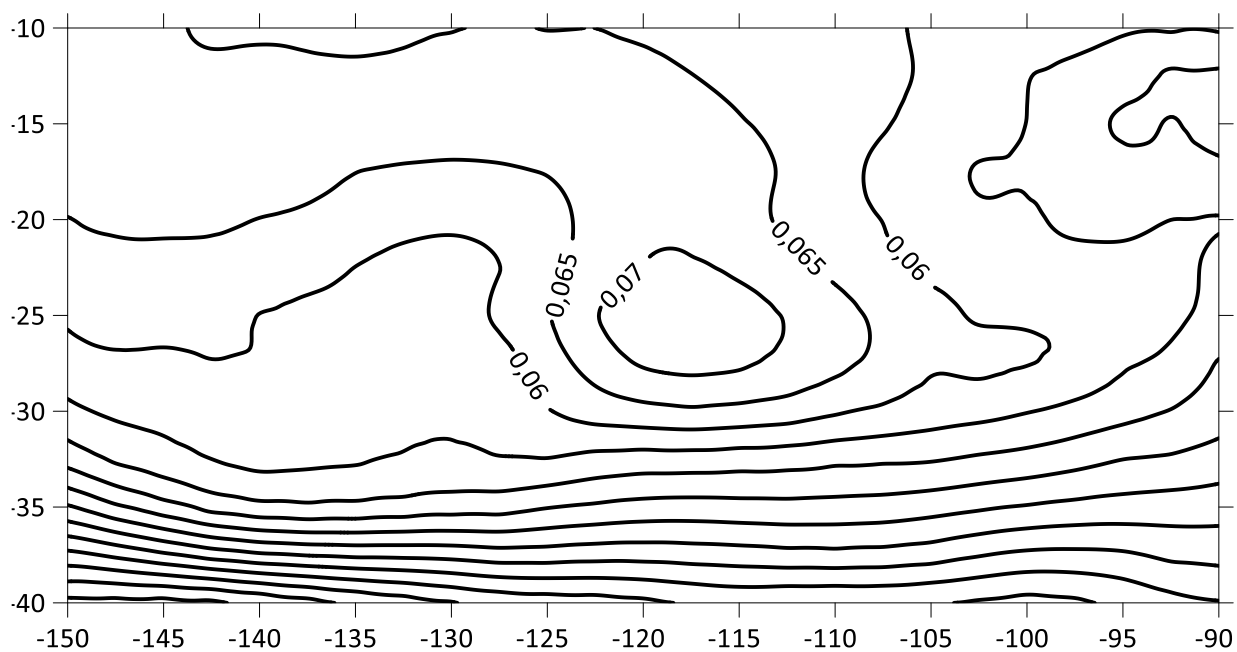


Рис. А.13 – Поле першого власного вектора приземного атмосферного тиску
(вересень)

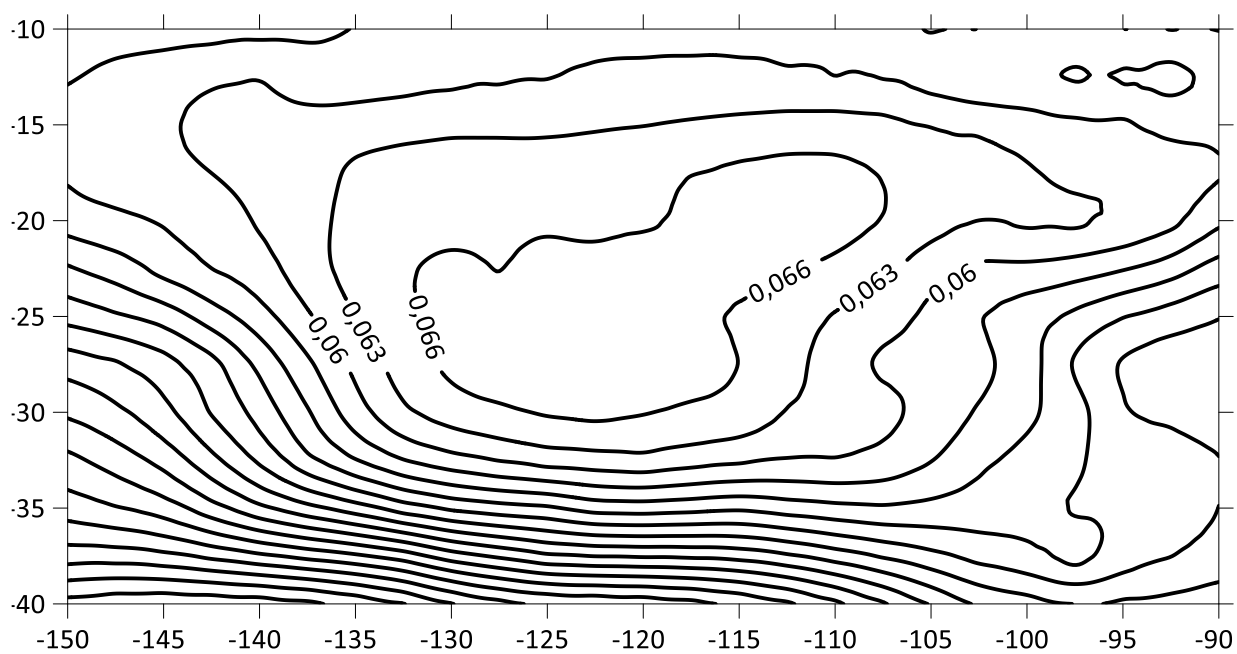


Рис. А.14 – Поле першого власного вектора приземного атмосферного тиску
(листопад)

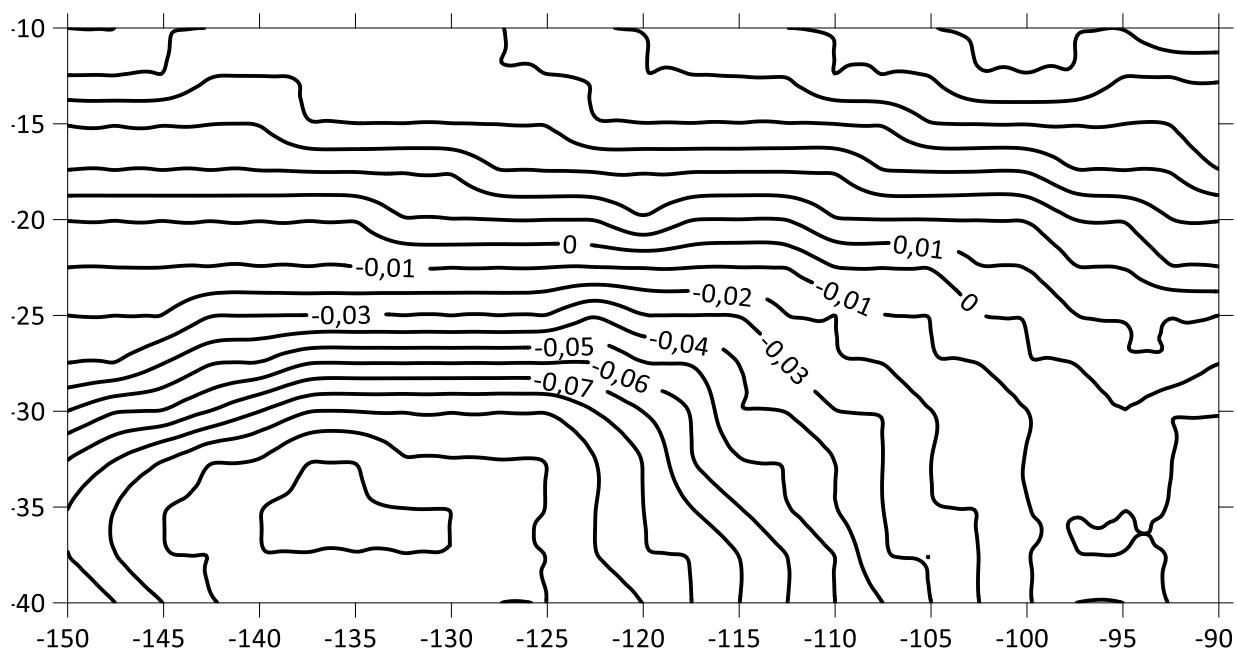


Рис. А.15 – Поле второго власного вектора приземного атмосферного тиску
(лютябрь)

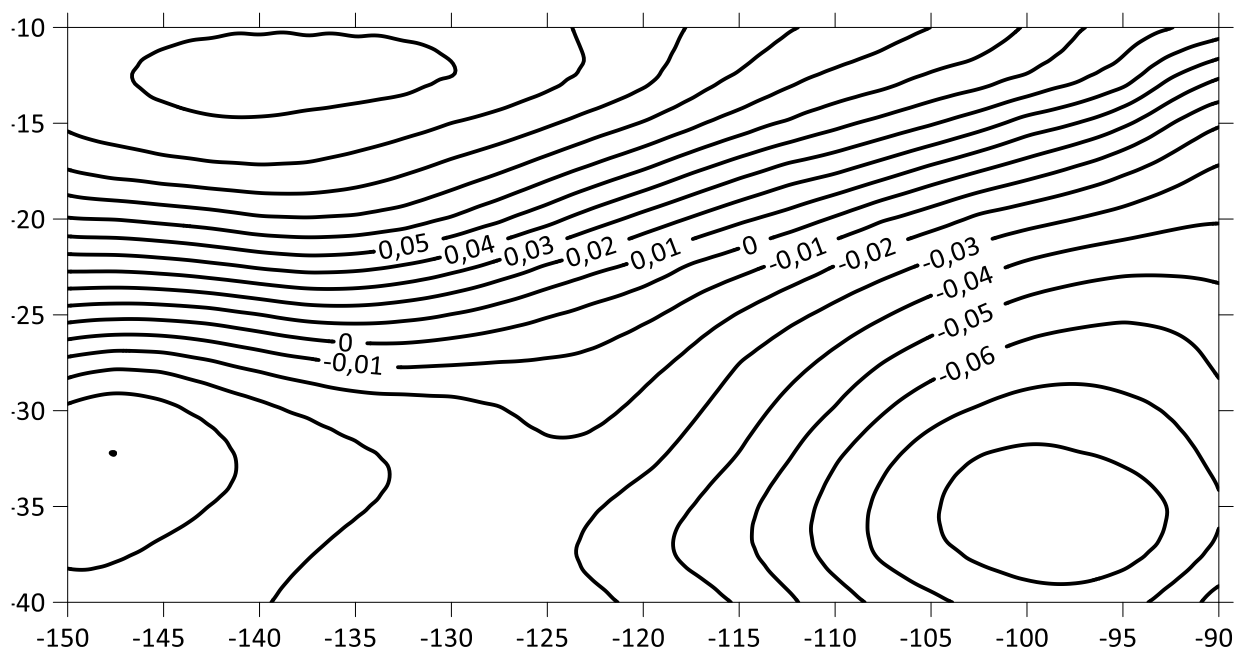


Рис. А.16 – Поле второго власного вектора приземного атмосферного тиску
(брезень)

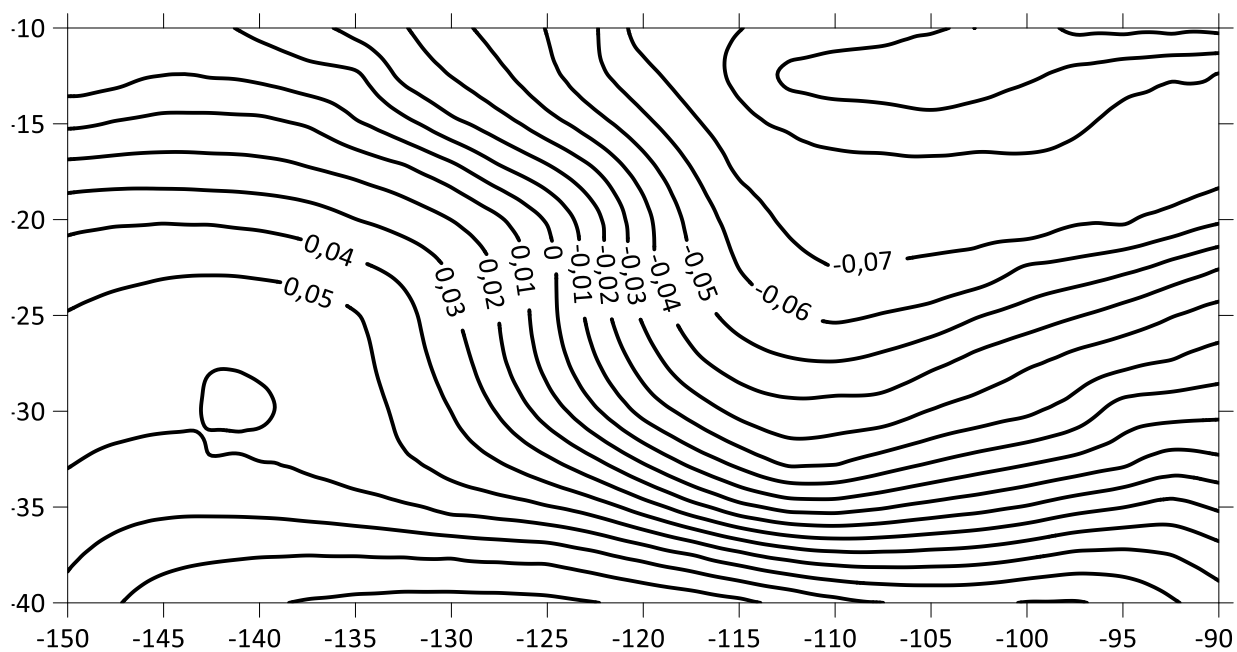


Рис. А.17 – Поле второго власного вектора приземного атмосферного тиску
(травень)

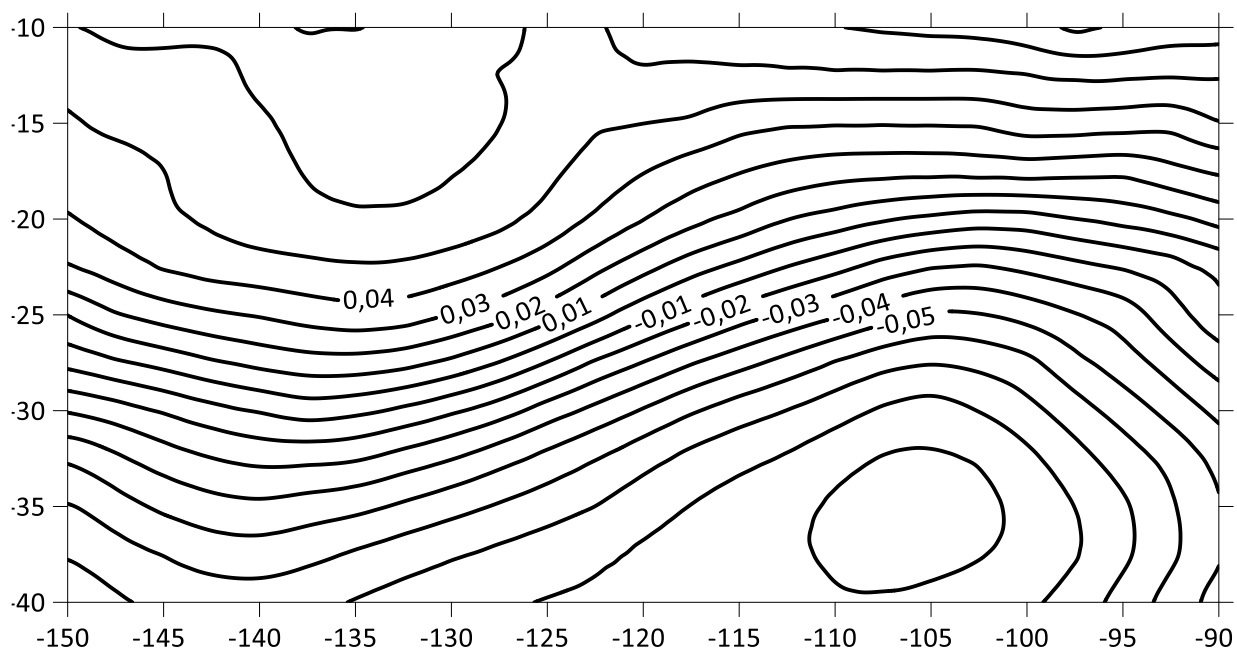


Рис. А.18 – Поле второго власного вектора приземного атмосферного тиску
(червень)

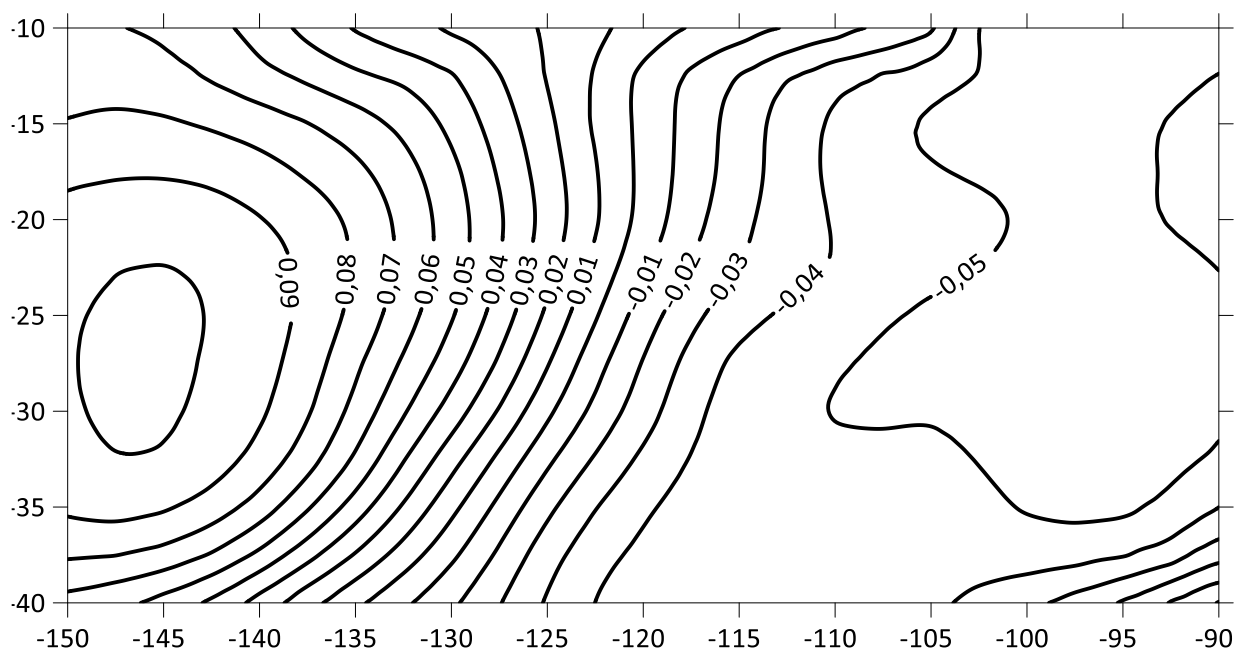


Рис. А.19 – Поле второго власного вектора приземного атмосферного тиску
(серпень)

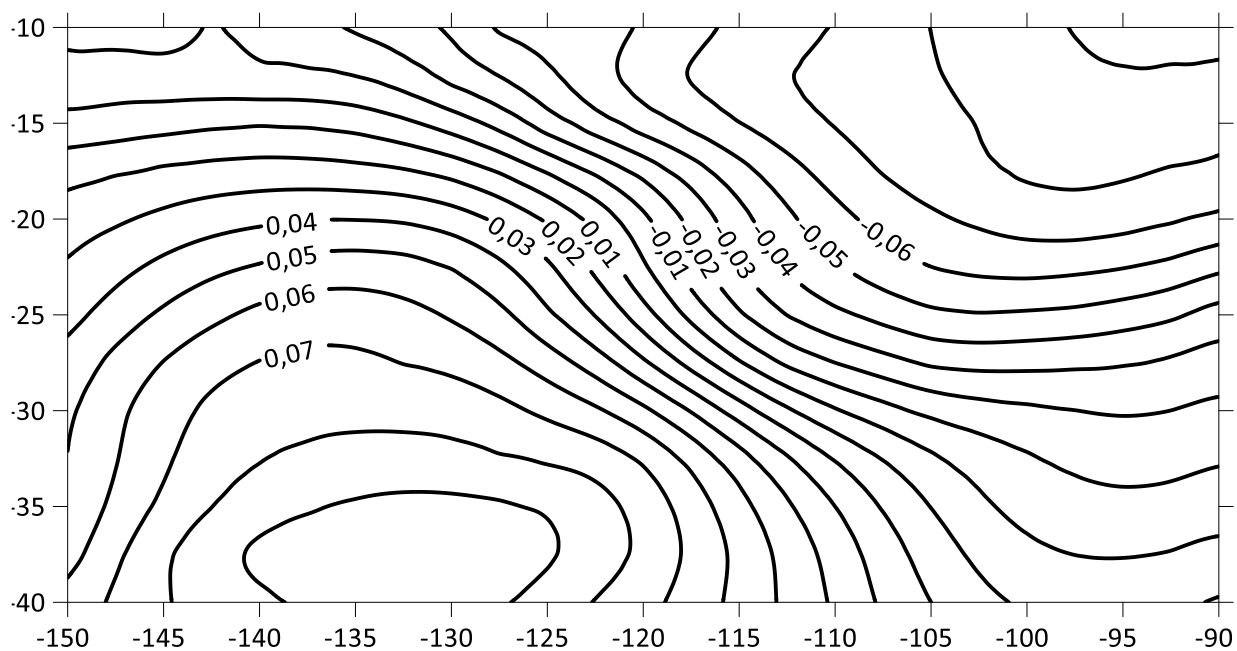


Рис. А.20 – Поле второго власного вектора приземного атмосферного тиску
(вересень)

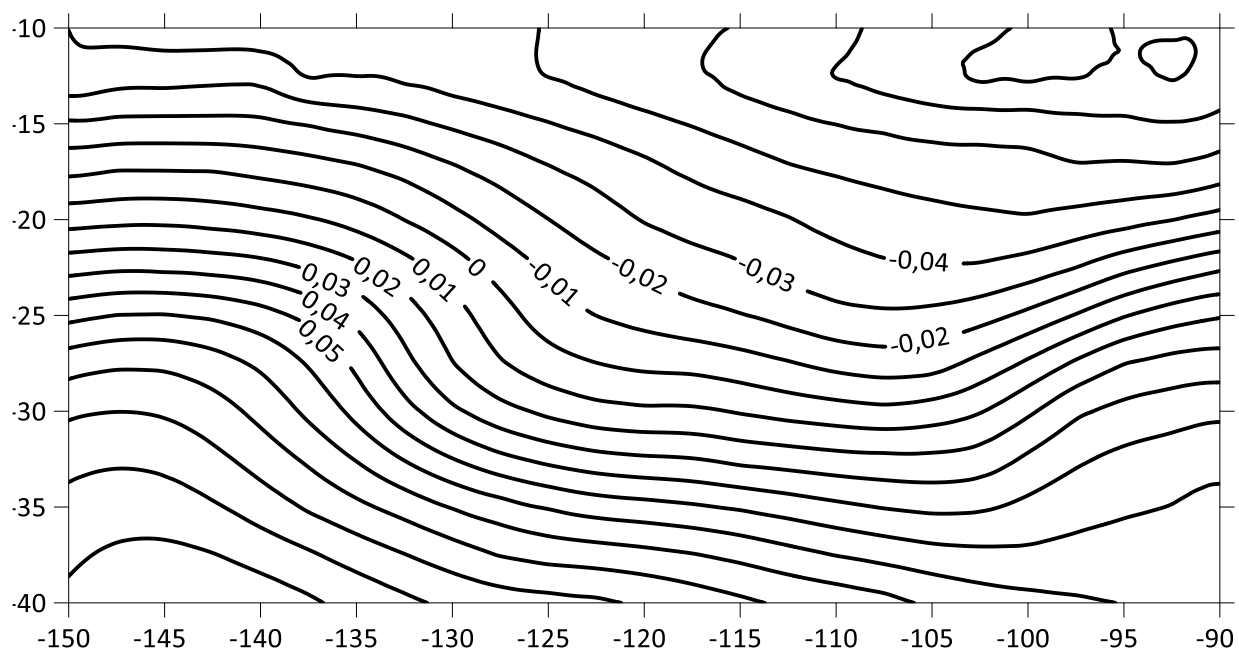


Рис. А.21 – Поле второго власного вектора приземного атмосферного тиску
(листопад)