МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та аспірантської підготовки
Кафедра метеорології та кліматології

Комплексна магістерська кваліфікаційна робота

Особливості термобаричного режиму Причорноморського регіону та їх зв'язок з явищем ЕНПК

СКЛАД:

1. Особливості баричного режиму Причорноморського регіону та їх зв'язок з явищем ЕНПК

Виконав студент групи МНЗ- 2к
Григор'єв В.І.
Керівник: к.геог.н. Сущенко А.І.

2. Особливості термічного режиму Причорноморського регіону та їх зв'язок з явищем ЕНПК

Виконав студент групи МНЗ- 2к
Ніколаєв М.В.
Керівник: к.геог.н., доц. Прокоф'єв О.М.

Провідний науковий керівник: к.геог.н., доц. Прокоф'єв О.М.

Рецензент: д.геог.н., доц.Овчарук В.А.

Одеса 2018 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та аспірантської підготовки
Кафедра метеорології та кліматології

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: ОСОБЛИВОСТІ БАРИЧНОГО РЕЖИМУ ПРИЧОРНОМОРСЬКОГО РЕГІОНУ ТА ЇХ ЗВ'ЯЗОК З ЯВИЩЕМ ЕНПК

Виконав студент 2 курсу групи МНЗ- 61к
спеціальності 103 - "Науки по Землю"
Григор'єв Вячеслав Іванович

Керівник к.геогр.н.
Сущенко Андрій Іванович

Рецензент д.геогр.н.
Овчарук Валерія Анатоліївна

Одеса 2018

АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота студента гр. МНЗ-2к Григор'єва В.І. на тему «Особливості баричного режиму Причорноморського регіону та їх зв'язок з явищем ЕНПК»

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

Метою досліджень Метою роботи є дослідження особливостей баричного режиму Причорноморського регіону за останні 30 років, а також виявлення впливу кліматичної осциляції ЕНПК на формування полів атмосферного тиску.

Об'єкт дослідження. Поля середньомісячних значень атмосферного тиску в Причономорському регіоні.

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

Теоретичне та практичне значення. У роботі встановлено степінь зв'язку явища ЕНПК зі структурами полів атмосферного тиску у Причорноморсьскому регіоні. Визначені характеристики статистичної структури полів атмосферного тиску в досліджуваному регіоні, виявлені приховані періодичності у часових рядах головних компонент зазначених полів Причорноморського регіону.

Одержані характеристики віддалених за просторовим і часовим масштабами відгуків головних компонент полів атмосферного тиску в Причорноморському регіоні на мінливість головних компонент цих полів в регіонах дії явища ЕНПК. Результати, які отримані у роботі можуть бути використані при розробці методики довгострокових прогнозів змін структури метеорологічних полів під впливом явища ЕНПК і, як наслідок, інтенсивності розвитку атмосферних процесів у регіоні дослідження.

Вихідні дані. Дослідження термобаричного режиму Причорноморського регіону проводилося за даними проекту ERA Interim Європейського Центру середньострокових прогнозів погоди (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) Рідінг, Великобританія. Вихідні дані представляють собою середньомісячні значення приземної температури повітря та атмосферного тиску на рівні моря в вузлах регулярної мережі 1 на 1^{o} в діапазоні 38° - 50° півн.ш. і 25° - 45° сх.д. площею близько 3 млн. км^2 за період з 1979 по 2015рр.

Кількість сторінок **–** 134

Кількість рисунків **–** 50

Кількість таблиць **–** 6

Кількість використаної літератури – 30

Ключові слова: баричний режим, головна компонента, дисперсія.

SUMMARY

Master's qualification work student gr. MNZ-2K I.V Grigoriev on " Features of the baric regime of the Black Sea region and their connection with the phenomenon of the ENSO.

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

The purpose of research is to study the features of the baric regime in the Black Sea region over the past 30 years, as well as to identify the influence of the climate oscillation of the EPPC on the formation of atmospheric pressure fields.

Object of study. Fields of average monthly atmospheric pressure in the Black Sea region.

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

Theoretical and practical importance. In this paper, the degree of connection of the phenomenon of EPPK with the structures of atmospheric pressure fields in the Black Sea region is established. The characteristics of the statistical structure of the atmospheric pressure fields in the studied region are determined, and the hidden periodicity in the time series of the main components of these fields in the Black Sea region is revealed.

The characteristics of the spatial and temporal scales remote from the main components of atmospheric pressure fields in the Black Sea region are obtained for the variability of the main components of these fields in the regions of the effect of the phenomenon of ENSO. The results obtained in this work can be used in the elaboration of a long-term forecasting methodology for changes in the structure of meteorological fields under the influence of the ENSO phenomenon and, as a consequence, the intensity of the development of atmospheric processes in the region of research.

Output data. Investigation of the thermobaric regime of the Black Sea region was carried out according to the ERA Interim project of the European Center for Medium-Range Weather Forecasts in Reading, United Kingdom. The initial data represent the average monthly mean values of the surface air temperature and atmospheric pressure at sea level in the nodes of the regular network 1 on 1^o in the range of 38 ° - 50 ° north. and 25 ° - 45 ° east an area of about 3 million km^2 for the period from 1979 to 2015.

Number of Pages - 134

Number of figures - 50

Number of tables - 6

Number of references - 30

Keywords: baric mode, main component, variance.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Комплексна магістерська кваліфікаційна робота на тему «Особливості термобаричного режиму Причорноморського регіону та їх зв'язок з явищем ЕНПК» виконувалась на кафедрі метеорології та кліматології під керівництвом доцента кафедри, кандидата географічних наук Прокоф'єва Олега Милославовича та старшого викладача кафедри, кандидата географічних наук Сущенка Андрія Івановича студентами групи МНЗ-2к Ніколаєвим Миколою Віталійовичем – тема: «Особливості термічного режиму Причорноморського регіону та їх зв'язок з явищем ЕНПК» та Григор'євим В'ячеславом Івановичем – тема: «Особливості баричного режиму Причорноморського регіону та їх зв'язок з явищем ЕНПК».

Актуальність теми визначається необхідністю постійного моніторингу метеорологічного режиму та його динаміки в світлі сучасних кліматичних змін. Як відомо, кліматичні коливання істотно впливають на діяльність людини та економіку в різних регіонах. Навіть зовсім малі зміни середньої температури півкулі можуть відповідати великим регіональним коливанням. Зміни клімату в значній мірі впливають на всі сторони нашого життя. Зокрема, на стійкість сільськогосподарського розвитку та міського планування, безпеку водопостачання та ефективність заходів захисту від стихійних лих. Також впливають на різноманітність сільськогосподарських культур та їх урожайність; рентабельність проектів, пов'язаних з поновлюваними джерелами енергії; стійкість транспортної інфраструктури; охорону здоров'я і кампанії по боротьбі з захворюваннями, і це лише кілька видів їх впливу.

Регіональні зміни клімату проявляються: у підвищенні температури повітря (особливо в зимовий період), від'ємних аномаліях повторюваності опадів у вигляді снігу, які свідчать про дефіцит снігонакопичення і запас вологи в ґрунті, що є основним сигналом для різних галузей народного господарства країн, які входять в регіон Причорномор'я, а також, в динаміці числа екстремальних метеорологічних явищ.

Метою роботи є дослідження особливостей термобаричного режиму Причорноморського регіону за останні 30 років, а також виявлення впливу кліматичної осциляції ЕНПК на формування полів приземної температури повітря та атмосферного тиску.

В магістерській кваліфікаційній роботі, яку виконував Ніколаєв М.В. – тема: «Особливості термічного режиму Причорноморського регіону та їх зв'язок з явищем ЕНПК» представлені результати дослідження особливостей термічного режиму Причорноморського регіону за даними проекту ERA Interim Європейського Центру середньострокових прогнозів погоди (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) Рідінг, Великобританія. Виявлено, що головні сезонні особливості погоди в середземноморській кліматичній зоні, і над Чорним морем, формуються під впливом Сибірського та Азорського максимумів, Азіатського мінімуму та Середземноморського зимового циклону.

За допомогою взаємного спектрального аналізу було досліджено глобальні статистичні взаємозв'язки між головними компонентами приземної температури повітря і характеристиками осциляції: Ель-Ніньо-Південне коливання (ЕНПК). Аналіз когерентності дозволив визначити статистичний зв'язок гармонік різного періоду, що дозволило порівняти взаємну енергію досліджуваних процесів на фіксованій частоті з енергією кожного з цих процесів на тій же частоті.

Кваліфікаційна магістерська робота Григор'єва В.І. на тему: «Особливості баричного режиму Причорноморського регіону та їх зв'язок з явищем ЕНПК» присвячена дослідженню особливостей атмосферної циркуляції у Причорноморському регіоні. Та дослідженню впливу осциляції ЕНПК на формування полів атмосферного тиску.

ЗМІСТ

ВСТУП

Магістерська кваліфікаційна робота на тему «Особливості баричного режиму Причорноморського регіону та їх зв’язок з явищем ЕНПК» є частиною комплексної кваліфікаційної роботи «Особливості термобаричного режиму Причорноморського регіону та їх зв’язок з явищем ЕНПК».

Як відомо, кліматичні коливання істотно впливають на діяльність людини та економіку в різних регіонах. Навіть зовсім малі зміни середньої температури півкулі можуть відповідати великим регіональним коливанням. Зміни клімату в значній мірі впливають на всі сторони нашого життя. Зокрема, на стійкість сільськогосподарського розвитку та міського планування, безпеку водопостачання та ефективність заходів захисту від стихійних лих. Також впливають на різноманітність сільськогосподарських культур та їх урожайність; рентабельність проектів, пов'язаних з поновлюваними джерелами енергії; стійкість транспортної інфраструктури; охорону здоров'я і кампанії по боротьбі з захворюваннями, і це лише кілька видів їх впливу [1-6].

Регіональні зміни клімату проявляються: у підвищенні температури повітря (особливо в зимовий період) [7, 8], від’ємних аномаліях повторюваності опадів у вигляді снігу, які свідчать про дефіцит снігонакопичення і запас вологи в ґрунті, що є основним сигналом для різних галузей народного господарства країн, які входять в регіон Причорномор'я [9-14], а також, в динаміці числа екстремальних метеорологічних явищ [15-17].

Зміни глобального клімату, що спостерігаються протягом останніх десятиліть, зумовлюють виражені зміни водних ресурсів [9, 11]. У зв'язку з підвищенням температури повітря Північної півкулі продовольча безпека країн в значній мірі буде залежати від того, наскільки ефективно адаптується сільське господарство до очікуваних змін клімату, майбутніх агрокліматичних умов вирощування сільськогосподарських культур [18, 19].

Метою роботи є дослідження особливостей баричного режиму Причорноморського регіону за останні 30 років, а також виявлення впливу кліматичної осциляції ЕНПК на формування полів атмосферного тиску.

В якості вихідної інформації використовувались дані проекту ERA Interim Європейського Центру середньострокових прогнозів погоди (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) Рідінг, Великобританія, які представляють собою середньомісячні значення атмосферного тиску у вузлах регулярної сітки 1 на 1° в діапазоні 38° - 50° півн.ш. і 25° - 45° сх.д. за період з 1979 по 2015рр.

В ході виконання дипломного проекту реалізовані наступні завдання:

– проаналізовані поля середніх значень та середньоквадратичних відхилів атмосферного тиску за досліджуваний період для усіх місяців року;

– виявлені важливі особливості циркуляційних процесів в атмосфері досліджуваного регіону;

– за допомогою компонентного аналізу виявлений вклад головних компонент на формування полів атмосферного тиску;

– проаналізовані амплітудно-частотні характеристики головних компонент та виявлені приховані періодичності, які містяться в рядах головних компонент;

– за допомогою взаємного спектрального аналізу досліджено глобальні статистичні взаємозв'язки між головними компонентами атмосферного тиску і характеристиками осциляції: Ель-Ніньо-Південне коливання (ЕНПК).

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

Магістерська кваліфікаційна робота складається з п’яти розділів. В першому розділі представлена кліматична характеристика дослідженого регіону. Другий розділ присвячений регіональним особливостям формування полів атмосферного тиску та температури повітря. Третій розділ є розрахунковим та присвячений аналізу статистичної структури полів приземної температури та тиску. В четвертому розділі представлено аналіз часових рядів головних компонент атмосферного тиску і температури повітря, а також прихованих періодичностей, які містяться в цих рядах. П’ятий розділ присвячено взаємному спектральному аналізу головних компонент полів атмосферного тиску та індексу Ель-Ніньо – Південне коливання.

1 КЛІМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РЕГІОНУ

1.1 Фізико-географічний опис Причорноморського регіону.

Причорномор'я – територіальна область, яка розташована біля Чорного моря і складається з: північного Причорномор'я, південного Причорномор'я, західного Причорномор'я, східного Причорномор'я (рис. 1.1).

Північне Причорномор'я – назва земель, розташованих на північ від басейну Чорного моря. Південною межею регіону є Чорне море, а північне – область причорноморських степів і лісостепів. На заході межею Північного Причорномор'я є пониззя Дунаю, річка Прут і верхів'я Дністра. Західною межею регіону є північні відроги Кавказького хребта, середня течія річки Кубань, річка Єгорлик і течії річки Дон [20].

Південне Причорномор'я – назва південних земель басейну Чорного моря. Чорноморський регіон – один з семи регіонів Туреччини, складається з 18 провінцій: Амасья, Артвін, Бартин, Байбурт, Болу, Чорум, Дюздже, Гіресун, Гюмюшхане, Карабюк, Кастамону, Орду, Ризі, Самсун, Синоп, Токат, Трабзон, Зонгулдак.

Західне Причорномор'я – назва західних земель басейну Чорного моря. На його території знаходиться частина узбережжя України (південь Одеської області), Румунські та Болгарські берега, а так само маленька частина узбережжя Туреччини [20].

Східне Причорномор'я – назва східних земель басейну Чорного моря. Включає в себе територію Краснодарського краю (Росії), частина Абхазії і Грузії [20].

Чорне море займає площу понад 420 тис. км^2. Особливості водних мас Чорного моря (відсутність льоду на його поверхні взимку, висока температура води влітку) визначаються, насамперед, кліматом. Море також надає пом'якшувальну вплив на клімат прибережних районів.

Рис. 1.1 – Причорномор’я, розділення на території держав [20]

Північне узбережжя Чорного моря представлено Причорноморською низовиною, тільки на Кримському півострові уздовж берега простягаються пасма Кримських гір. На північному заході північного узбережжя берега плоскі, а від гирла Дністра до Дніпровського лиману – круті, на цьому відрізку практично немає заток (крім Одеської), все узбережжя рясніє безліччю лиманів, відокремлених від моря пересипами. Лимани являють собою дрібні часто солоні озера, які сильно прогріваються в літній час до 35-40ºС. Сильний прогрів дрібних лиманів стимулює розвиток конвективних рухів, а при проходженні розвинених конвективних хмар над ними відбувається стрімке зростання всіх показників хмар, і, як наслідок випадання зливових опадів [20].

Далі на схід до мису Сарич берегова лінія порізана затоками – Каркинітською, Каламітської, Дніпровський лиман. У море виступають Тарханкутський півострів і намиті піщані коси-острови – Тендрівська та

Джарилгач. На півдні Кримського півострова практично до моря підходять схили гір, берег стає високим і крутим, і тільки в окремих місцях є невеликі затоки-бухти – гавані для морських кораблів (Севастопольська, Балаклавська). На цій ділянці чорноморського узбережжя Криму мальовничі середземноморські ландшафти створюють найкращі умови для відпочинку. На сході Кримського півострова в берег врізається Феодосійська затока [20].

Чорноморське узбережжя Кавказу – частина східного узбережжя Чорного моря, що простягається від Анапи до кордону Грузії з Туреччиною (рис. 2.1). Чорноморське узбережжя Туреччини досягає в довжину +1595 км, що складає приблизно 46,9% берегової лінії Чорного моря [4].

Чорне море є внутрішнім морем, самим східним з морів Атлантичного басейну. На південному заході воно з'єднується з Мармуровим морем через протоку Босфор, на північному сході – з Азовським морем через Керченську протоку. Зрізаність берегової лінії Чорного моря незначна, самими великими формами рельєфу, що впливають на загальну циркуляцію моря, є Кримський півострів і північний виступ Анатолійського півострова [20].

Характерна риса, яка відрізняє Чорне море від інших морів, це наявність у воді шару сірководню. Він починається з глибини приблизно 200 м і займає 87% об'єму моря. Шар сірководню не придатний для життя організмів, тому на значних глибинах є лише бактерії. Поява великої кількості сірководню пояснюється рядом хімічних перетворень сполуки сірки з участю бактерій і під впливом вуглекислоти [20].

1.2 Кліматична характеристика Причорноморського регіону

У кліматології існують різні підходи до класифікації клімату, запропоновані в роботах Л.С. Берга, А.І. Воєйкова, Б.П. Алісова, М.І. Будико, L. Holdridge та ін. [21]. Найбільш поширеною є класифікація

В. Кеппена [22, 23], яка заснована на сезонному ході температури повітря і опадів та враховує домінуючі типи ландшафту й рослинності. Оцінки географічного розподілу типів клімату по Кеппеном [22, 23] для басейну Чорного моря останнім часом зазнали значних змін. За первинними оцінками, які в подальшому часто використовувалися в кліматичних описах, північне узбережжя Чорного моря відносилося до степового і континентального клімату, західне і кавказьке узбережжя – до помірного морського клімату, узбережжя Туреччини і південний берег Криму – до середземноморського.

В останніх оцінках глобального розподілу типів клімату за період 1950-2000 рр., На сітці 0,5 × 0,5 ° [22] та 0,1 × 0,1 ° [24], найбільші зміни для басейну Чорного моря відносяться до розподілу степового і середземноморського клімату. Кордон степового клімату змістився далеко на схід до Каспійського моря, розширивши зону континентального клімату. Зона клімату степів в Східному Криму виділяється лише при підвищеному просторовому вирішенні. До середземноморського клімату віднесена тільки частина південно-західного узбережжя біля Стамбула, на більшій частині узбережжя переважає помірний клімат (субтропічний або морський) [22].

Основними факторами, що визначають клімат будь-якого моря, є його географічне положення, рух повітряних мас над ним, характер берегів і рельєф суші. Чорне море розташоване в середніх широтах (41° - 46 ° пн.ш.). Внаслідок кулястої форми Землі кількість тепла, одержуваного її поверхнею в цих широтах, набагато більша, ніж в більш північних широтах, так як кількість тепла в значній мірі залежить від кута падіння сонячних променів на поверхню. Формуванню загальних однорідних кліматичних умов на всьому Чорному морі сприяє географічне розташування всередині материка, витягнутість уздовж паралелі та незначні різниці широт північної та південної частин узбережжя. Основні риси кліматичних умов Чорного моря формується під впливом макроциркуляційних процесів, що проходять в середземноморській кліматичній частині, поряд з ними існують і місцеві особливості: орографія, конфігурації окремих ділянок чорноморського узбережжя. На основній частині акваторії чорноморський клімат відповідає середземноморському, це тепла і волога зима, літо спекотне та сухе. З південно-східного боку, Чорне море захищено горами, що сприяє формуванню клімату вологих субтропіків, для яких характерні рясні опадам в зимовий час і спекотне літо. У літню пору середні температури на поверхневому шарі води коливаються від 21,6 - 22,0º до 25,0º С. Західна сторона прохолодніша, ніж центральна і східна [25, 26].

Головні сезонні особливості погоди в середземноморській кліматичній зоні, і над Чорним морем, формуються під впливом Сибірського та Азорського максимумів, Азіатського мінімуму і Середземноморського зимового циклону.

В зимовий час кліматична ситуація визначає переважання практично над усім Чорним морем північно-східних вітрів, середня місячна швидкість яких становить 7-8 м/с. Лише в південно-східній частині Чорного моря дмуть в основному східні вітри, із середньомісячною швидкістю 5-7 м/с. Формування більш сильних вітрів 10 м/с і, зокрема, ураганів пов'язане в основному з проходженням над морем циклонів. Температура повітря в зимовий час зменшується в зоні від відкритого моря до узбережжя до -2,0 ° С на північному заході, 0,0 °С на північному сході і до + 5,0 ° на південно-східній стороні. Мінімум температури повітря над частиною відкритого моря рідко опускається нижче 0,0° С, а ось в північно-західній частині вона досягає -5,0°С. Через особливості великомасштабного розподілу тиску в літній період на всій поверхні Чорного моря дмуть північно-західні вітри. У них середня швидкість над відкритими ділянками моря становить 5 м/с, а біля берегу – 4 м/с. Зокрема штормові вітри в літній період формуються рідко, так, як їх формування можливе лише при проходженні циклонів. Середньомісячна температура повітря в останній місяць літа змінюється від 22,0 ° С на північному заході до 23,0-24,0°С на заході і в центрі і до 24,0-25,0°С на сході моря [25, 26].

Рух повітряних мас над Чорним морем – частина загальної циркуляції атмосфери. На клімат Чорного моря в значній мірі впливають два антициклони Сибірський (взимку) і Азорський (влітку). Вплив антициклонів призводить до стійкої ясної погоди – холодною зимою і теплим літом. Крім того, клімат і погода на Чорному морі багато в чому визначаються проходженням циклонів з Атлантики або Середземного моря. Взимку відріг Азіатського (Сибірського) антициклону створює над Чорним морем стійкі північно-східні вітри.

Вплив Сибірського антициклону взимку і Азорського влітку іноді слабшає під впливом циклонів, які приходять з заходу, північного заходу або південного заходу на Чорне море. При проходженні циклону погода на море змінюється: спочатку, коли приходить східна частина циклону, починають діяти південні вітри, часто сильні, але нетривалі. Хвилювання розвивається швидко, температура повітря зростає, йдуть дощі. При проходженні південній частині циклона спостерігаються стійкі західні вітри, часом сильні, часто випадають опади. З приходом західній частині циклону, починаються північно-західні і північні вітри, нестійкі, іноді сильні, погода прояснюється, температура різко падає [25, 26].

1.3 Характеристика атмосферної циркуляції над Чорним морем

Зміна метеорологічних характеристик, поряд із сезонним ходом теплового балансу, визначається атмосферною циркуляцією. Чорне море знаходиться під впливом постійного центра дії атмосфери – Азорського максимуму і декількох термічних баричних утворень : взимку Сибірського антициклону і середземноморської депресії, влітку – аравійської депресії .

На середньомісячних баричних полів на протязі всього року, область підвищеного тиску знаходиться в північній частині моря, а область зниженого тиску в південній частині [20]. Просторовий розподіл середнього баричного поля має дві модифікації: зимово-весняну, коли область зниженого тиску розташована над морем, і літньо-осінню, коли ця область зміщується в південно-східну частину моря. Зимова модифікація є наслідком сезонної активізації середземноморських циклонів, які виходять на Чорне море з півдня. Річна модифікація пов'язана із зимовим посиленням Азорського максимуму, так і з мусонним ефектом, завдяки якому над західною частиною моря розвивається область антициклонічною діяльності. Для сезонного ходу атмосферного тиску над морем характерний максимум в холодний період року і мінімум в теплий. Локальний екстремум підвищеного тиску спостерігається в квітні – травні, коли малі градієнтні поля [20].

У роботах, виконаних за даними спостережень першої половини 20-го століття, описується інше розподіл приземного тиску над Чорним морем. Воно характеризується наявністю двох областей зниженого тиску над західною і східною частинами моря взимку і двох областей підвищеного тиску в літньо-осінній період. Якісна різниця між полів приземного тиску для першої і другої половини 20-го століття може бути пов'язана з якістю використаних даних, але можливі і кліматичні зміни. Наявність двох областей зниженого тиску пояснювалося поширенням відрога Сибірського антициклону в напрямку Криму та поділяє єдину область низького тиску на дві частини. Як показано, інтенсивність Сибірського антициклону в останні роки стійко знижується, а субтропічного циклону зростає, що для Чорного моря повинно призводити до підвищення ролі Азорського максимуму у формуванні великомасштабної циркуляції атмосфери [20].

На синоптичному масштабі погода над морем визначається рухом циклонів і антициклонів. Повторюваність рухомих циклонів над Чорним морем збільшується від 5 % у липні до 10-15 % у січні, а кількість рухомих антициклонів протягом року істотно не змінюється (близько 4 %). Повторюваність циклонів над Чорним морем, за даними за 1952-2000 рр., збільшується від 7 % влітку до 17 % у січні, а повторюваність антициклонів, навпаки, зменшується від літа до зими (від 21 % до 13 %) (при значній міжрічної зміни і рівноправних тенденцій) [7].

Разом з баричними утвореннями, які швидко переміщаються, погоду над морем також визначають відносно стійкі синоптичні ситуації. Вони визначаються географічним положенням антициклонів, які повільно рухаються, або гребенів високого тиску, а також депресій або улоговин, які забезпечують панівний напрямок перенесення повітряних мас. У кліматології Чорного моря найбільш часто використовується типізація синоптичних ситуацій Чернякова А.П., яка характеризує напрямок основних вітрових потоків:

• північний - антициклон над Західною Європою;

• північно-східний - над Східною Європою;

• східний - антициклон над європейською частиною Росії;

• південно-східний - антициклон на схід від Каспійського моря;

• південно-західний (разом з південним) - улоговина з Балтійського моря на Балкани;

• західний - депресія над Східною Європою;

• північно-західний - циклон над Північним Причорномор'ям, антициклон над Західною Європою;

• циклонний - циклон над Чорним морем;

На основі аналізу синоптичних карт за 1971-1980 рр. виявлено, що в більшості випадків (52%) переважають малоградієнтні баричні поля без перенесення повітряних мас. З вище наведених типів синоптичних ситуацій (вітрових потоків) переважають північно-східний (13%, взимку до 18%), південно-західний (11%, взимку до 20%) і північний (8%, взимку до 12%) типи. В цілому, над морем адвекція повітряних мас з півночі в два рази переважає над південним переносом. Аномально теплі або холодні сезони на Чорному морі в окремі роки можуть бути пояснені аномаліями повторюваності північних або південних типів полів вітру [27].

1.4 Вихідні дані

Дослідження термобаричного режиму Причорноморського регіону проводилося за даними проекту ERA Interim Європейського Центру середньострокових прогнозів погоди (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) Рідінг, Великобританія. Вихідні дані представляють собою середньомісячні значення приземної температури повітря та атмосферного тиску на рівні моря в вузлах регулярної мережі 1 на 1º в діапазоні 38° - 50° півн.ш. і 25° - 45° сх.д. площею близько 3 млн. км^2 за період з 1979 по 2015рр. (Рис. 1.2).

Рис. 1.2 – Територія Причорноморського регіону

2 ТЕРМОБАРИЧНИЙ РЕЖИМ ПРИЧОРНОМОРСЬКОГО РЕГІОНУ

2.1 Особливості формування полів приземної температури повітря

На формування клімату досліджуваного регіону великий вплив чинять термічні фактори. Крім загальної кількості сонячної радіації, великий вплив мають відбивні властивості діяльної поверхні, експозиція гірських схилів і пагорбів Кавказ), а також циркуляція атмосфери. Оскільки відбивні здатності діяльної поверхні і циркуляція атмосфери дуже мінливі в часі і просторі, то і радіаційні елементи клімату схильні відповідних змін.

Найбільш сильний вплив на надходження сонячної радіації на земну поверхню надають атмосферні процеси, особливості яких найкраще проявляються в періоди тривалої циклонічної і антициклонічною циркуляції в весняні та літні місяці. При сильно розвиненою циклонічної діяльності відношення дійсної сонячної радіації до можливої знижується до 25-30%, а при антициклонічної - підвищується до 75-80%. Таким чином, під впливом циркуляції атмосфери може істотно зміняться співвідношення між прямою і розсіяною радіацією і порушуватися широтна зональність в розподілі величин прямої і сумарно радіацій, а також і термічний характеристик клімату [28].

Для визначення особливостей формування полів приземної температури повітря були побудовані поля середніх значень температури повітря в досліджуваному регіоні, для центральних місяців сезонів. На рисунку 2.1 представлено полі середніх значень температури повітря січня. Як видно з рисунку, область максимальних значень температури спостерігається в східній частині Чорного моря і в південно-західній частині регіону. Перший максимум можна пояснити впливом Чорного моря. Як відомо, в зимовий час року акваторії морів служать «акумуляторами» тепла.

Другий максимум обумовлений широтним розподілом сонячної радіації, а також впливом Середземного моря.

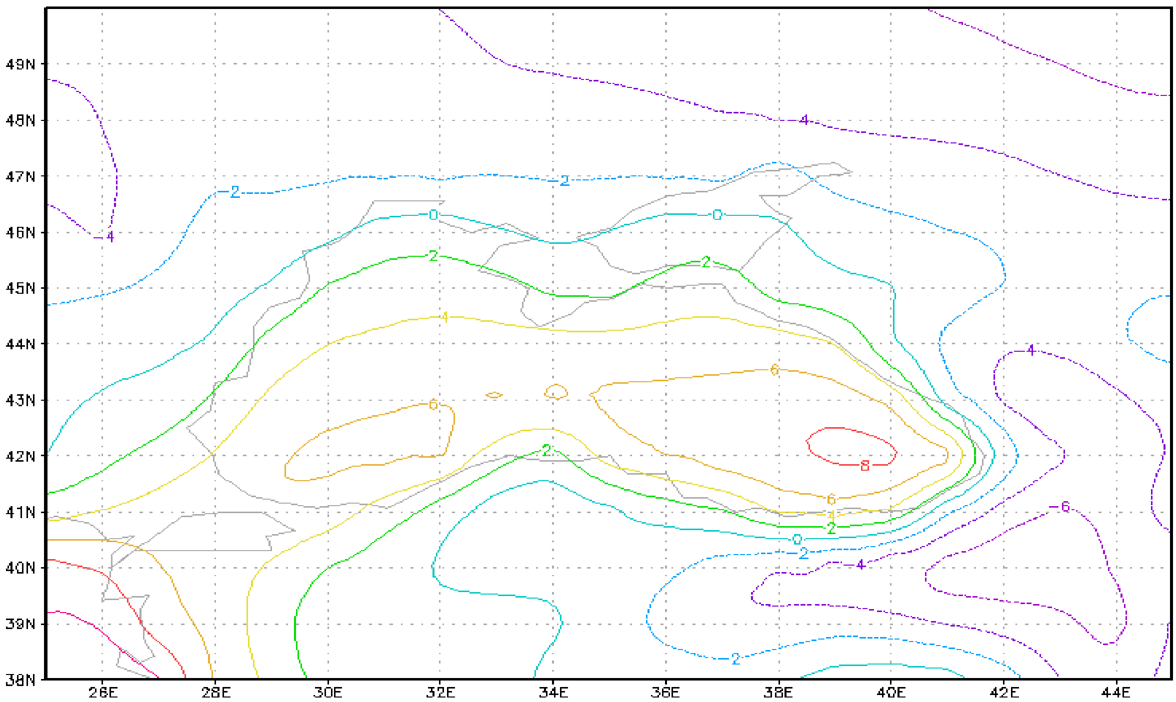

Рис. 2.1 – Поле середніх значень приземної температури повітря (січень)

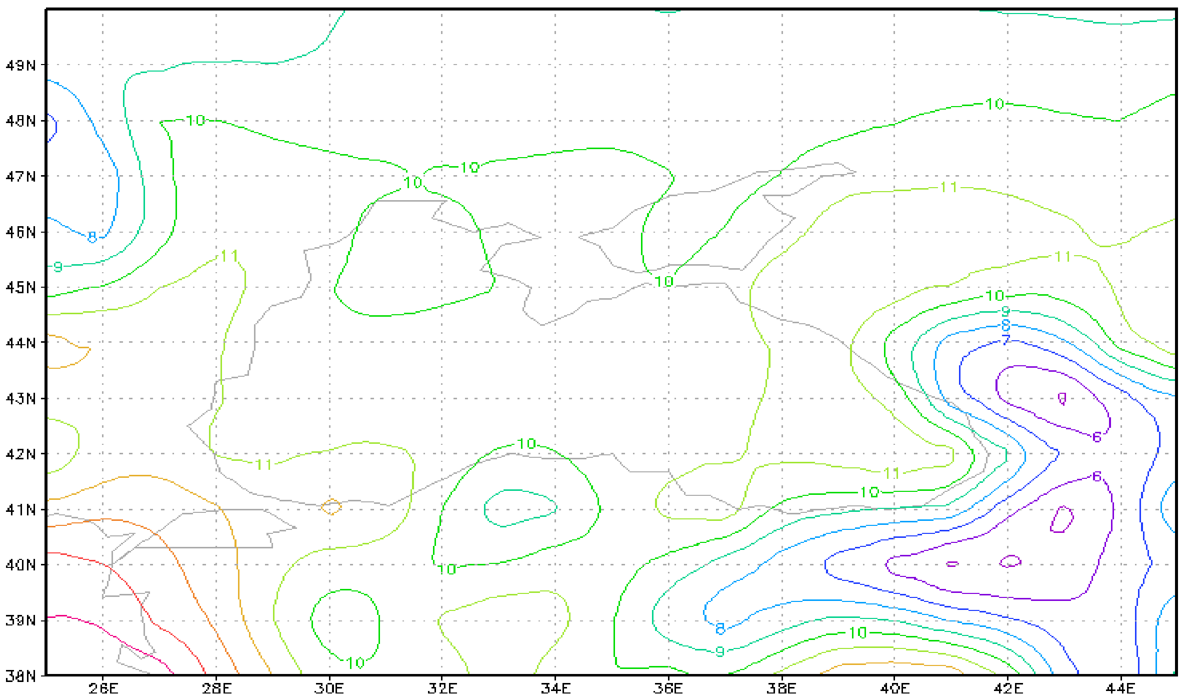

Рис. 2.2 – Поле середніх значень приземної температури повітря (квітень)

Аналіз рисунка 2.2 дозволяє стверджувати про зміну структури поля ізотерм, а саме центральна частина досліджуваного регіону характеризується невеликими градієнтами температур в межах 10-11ºС. Область максимальних значень, як і в січні, спостерігається в південно-західній частині регіону, з максимумом (15ºС) в районі Егейського моря. Зона мінімальних значень приземної температури повітря (6ºС) знаходиться в районі Кавказу.

Просторовий розподіл приземної температури повітря в липні місяці представлено на рис. 2.3. Розподіл ізотерм має квазіширотний вигляд, однак у південно-західній частині регіону вид ізотерм має замкнуту структуру, яка пов'язана з особливостями рельєфу підстильної поверхні. Положення зон максимальних і мінімальних значень зберігається [28].

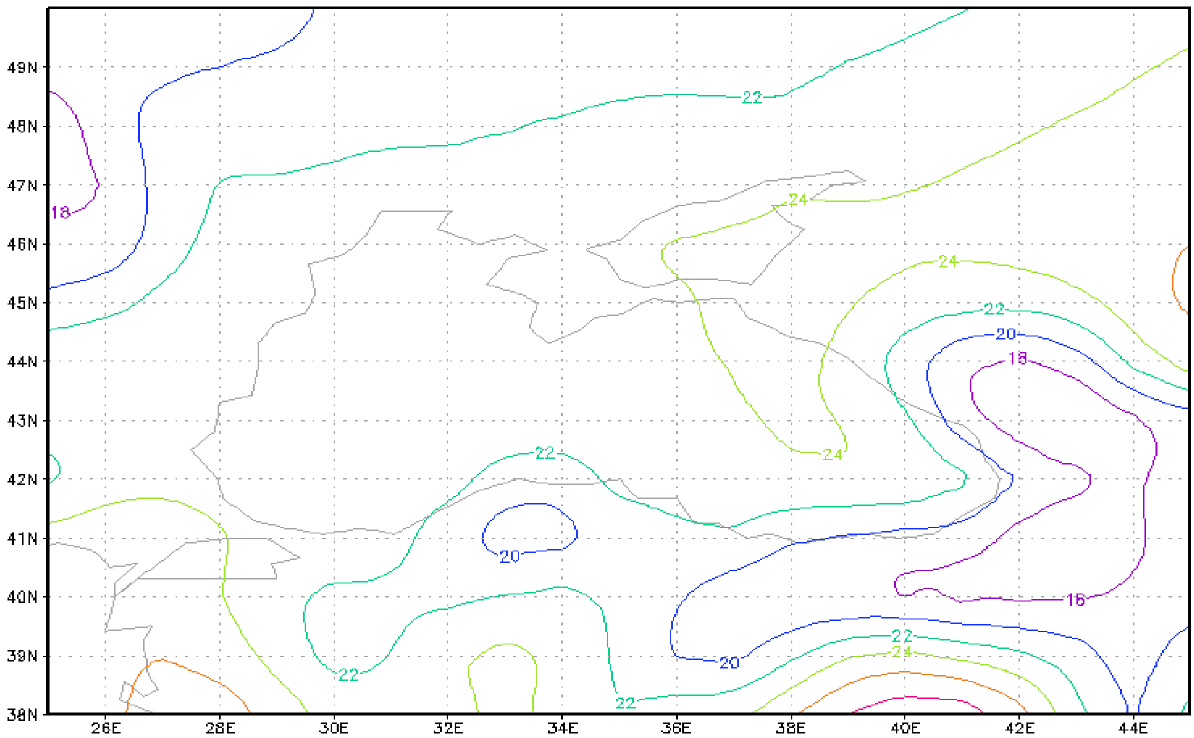

Рис. 2.3 – Поле середніх значень приземної температури повітря (липень)

На рисунку 2.3 представлено поле середніх значень приземної температури повітря для жовтня. Як бачимо, відбувається незначна перебудова структури поля температури: над акваторією Чорного моря, а саме в західній і східній частині, відбувається формування областей максимальних значень температури повітря зі значеннями 14-16ºC. У північній частині досліджуваного регіону спостерігається область мінімальних значень, яка пов'язана зі зменшенням кількості сонячної радіації і посиленням адвективних процесів. Також область мінімальних значень спостерігається в районі Кавказу [28].

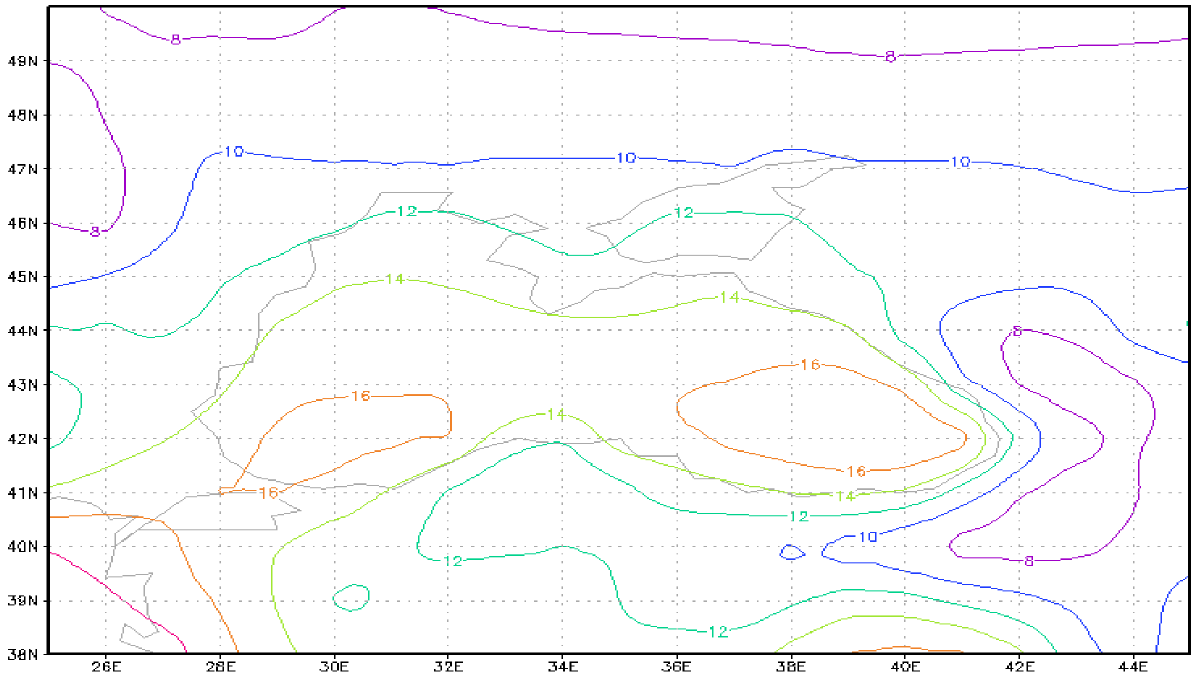

Рис. 2.4 – Поле середніх значень приземної температури повітря (жовтень)

Поля середніх квадратичних відхилень, як відомо характеризують мінливість випадкових величин. Були побудовані поля для центральних місяців сезонів. Як приклад на рисунках 2.5, 2.6 представлені поля середніх квадратичних відхилень для центральних місяців зими і літа. Як видно з рисунків область мінімальних значень спостерігається над акваторіями Чорного та Середземного морів. Це можна пояснити «пом'якшувальним» ефектом морських акваторій. При видаленні від морів відбувається збільшення значень середніх квадратичних відхилень, максимум яких спостерігається на північному сході регіону в січні і в північній частині регіону в липні. Таке положення ізоліній на материковій частині регіону можна пояснити більш швидким вихолоджуванням підстильної поверхні щодо морської [28].

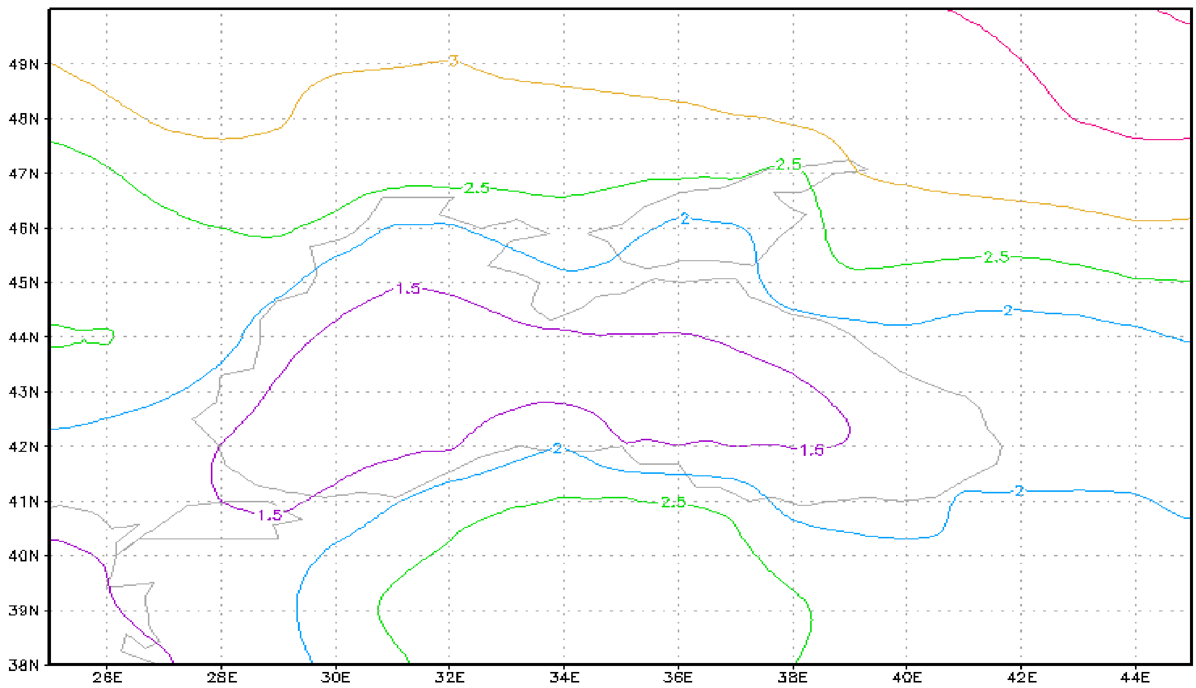

Рис. 2.5 – Поле середніх квадратичних відхилів приземної температури повітря (січень)

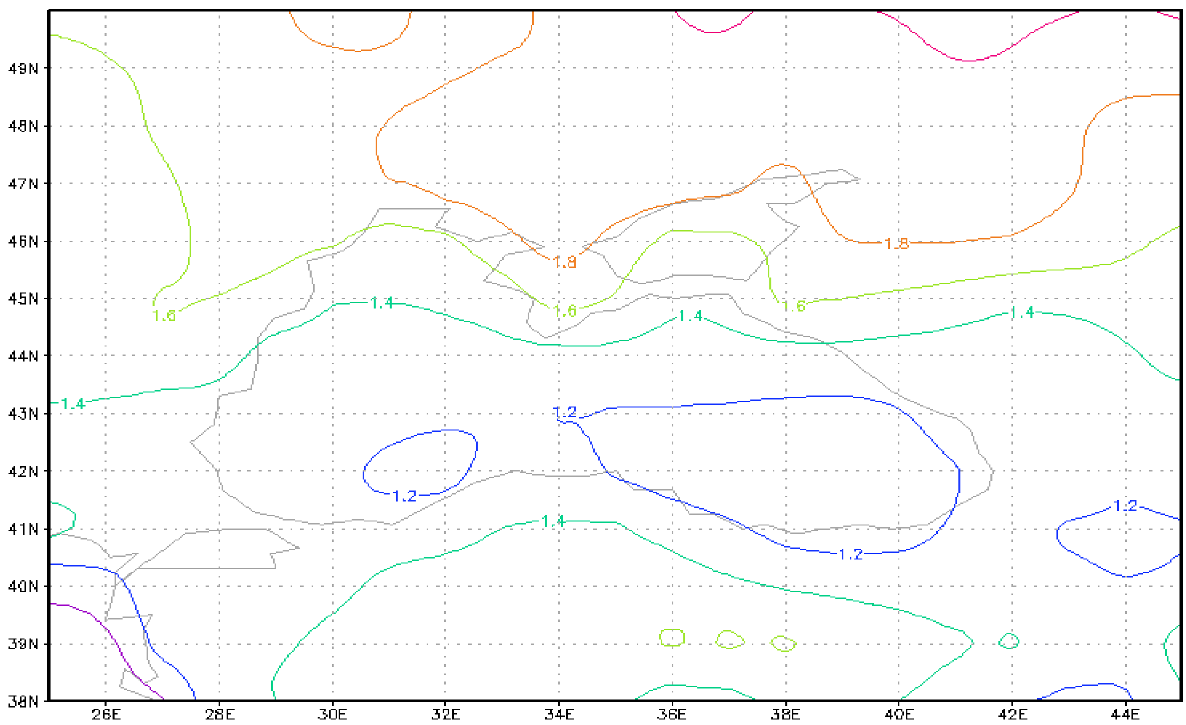

Рис. 2.6 – Поле середніх квадратичних відхилів приземної температури повітря (липень)

2.2 Особливості формування полів атмосферного тиску

У генезисі клімату даного регіону, як і інших районів, велике значення має циркуляція атмосфери. Вона є основною причиною порушення широтної зональності в кліматичних поясах і неперіодичних змін в ході метеорологічних елементів. Погодні та кліматичні умови зазвичай визначатися тривалістю перебування тієї чи іншої повітряної маси, що характеризується певними фізичними властивостями. Клімат досліджуваного регіону та прилеглої території складається під впливом морських повітряних мас, що формуються над північними районами Атлантичного океану, арктичними морями. Крім типових морських мас над Європейської території нерідко спостерігаються континентальні, які приходять з Азіатської території, з Арктики або формуються безпосередньо на місці з колишнього арктичного повітря або морського помірного повітря. Входження різних повітряних мас на досліджуваний регіон здійснюється при різноманітних циркуляційних процесах.

Особливістю західної форми циркуляції є аномальне розвиток західно-східного переносу в середніх широтах Атлантики і Європи і наявності полярного фронту. Баричні градієнти, спрямовані з півдня на північ, зазвичай більше нормальних. Зі встановленням цієї форми циркуляції спостерігається посилена активізація циклонічної діяльності в районі Ісландії, а отже, і поглиблення Ісландського мінімуму. Баричні системи зміщуються дуже швидко, погодні процеси вельми різко. У зв'язку з переміщенням циклонічних утворень на схід і північний схід відбувається посилений винос теплих і вологих мас повітря з океану на материк, що призводить взимку до формування позитивних аномалій температури на континенті і до загострення температурних контрастів між помірними і арктичними широтами.

Для виявлення особливостей баричного режиму досліджуваного регіону були побудовані поля середніх значень приземного атмосферного тиску для центральних місяців сезонів за період з 1979-2015 роки. На рисунку 2.7 представлено поле середніх значень атмосферного тиску для січня. Як видно з рисунка область мінімальних значень спостерігається в центрі досліджуваного регіону, а саме над акваторією Чорного моря. Це пов'язано з тим, що взимку над морями, які є відносно теплою підстильної поверхнею, формуються області зниженого атмосферного тиску, а над холодними материками - області підвищеного тиску. У південно-східній частині регіону, а саме над Кавказом і півостровом Малою Азією спостерігаються область підвищеного атмосферного тиску. Наявність цієї області пояснюється західним відрогом Сибірського антициклону. На південному заході регіону, а саме над Егейським морем чітко проявляється область зниженого атмосферного тиску [28].

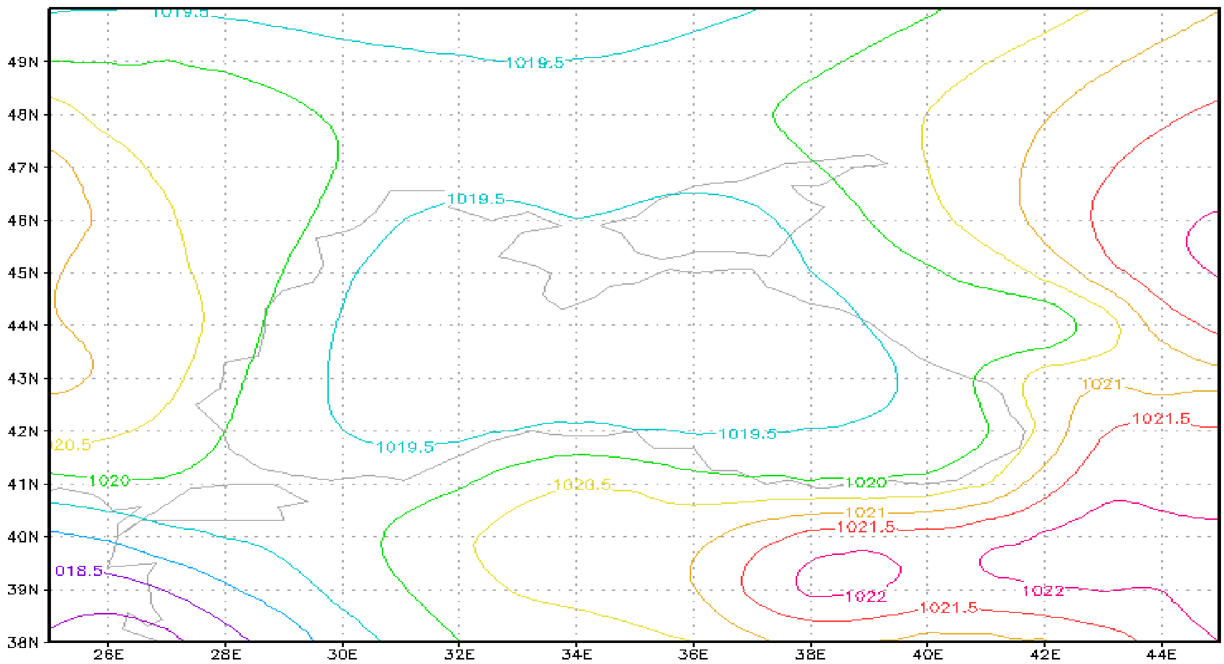

Рис. – 2.7 Поле середніх значень приземного атмосферного тиску (січень)

У структурі поля середніх значень приземного атмосферного тиск для квітня (рис 2.8) Спостерігаються суттєві зміни, які проявляються в зміщенні області підвищеного атмосферного тиску в південно-східну частину регіону (це пов'язано зі слабшанням сибірського максимуму) .Для цього періоду характерна велика мінливість процесів і часта зміна повітряних мас. Що стосується циклонічної діяльності в регіоні, то її інтенсивність зменшується.

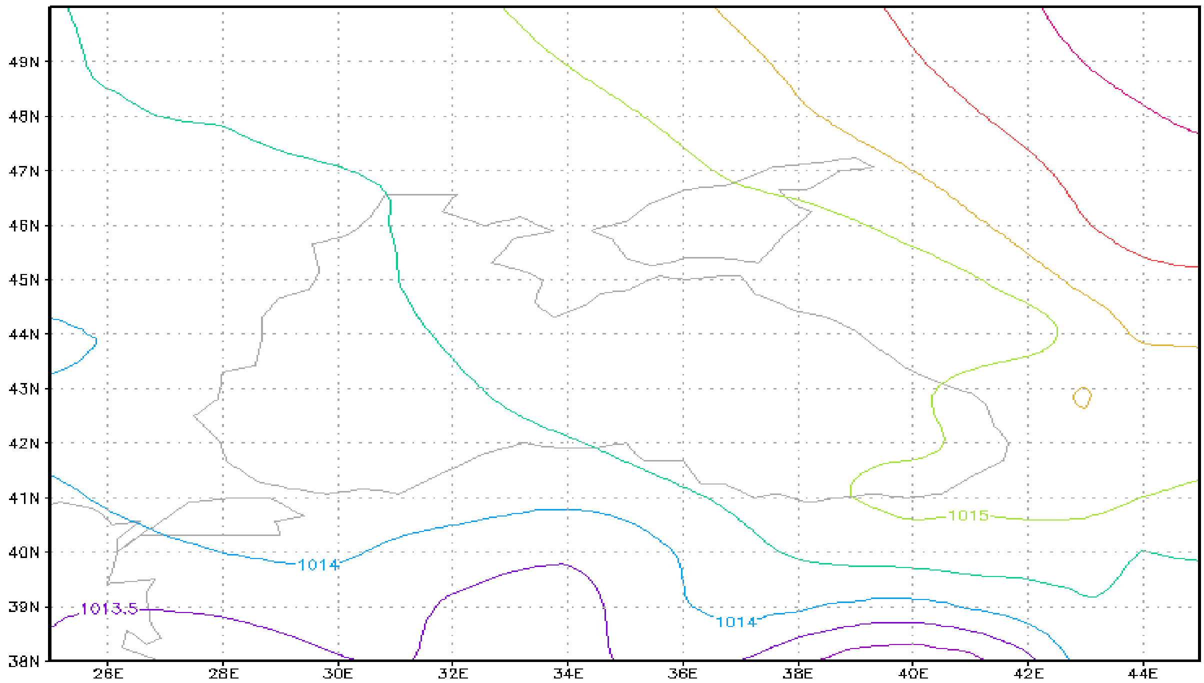

Рис. 2.8 – Поле середніх значень приземного атмосферного тиску (квітень)

На рис. 2.9 представлено поле середніх значень атмосферного тиску для липня. Область підвищеного атмосферного тиску в північно-західній частині регіону обумовлена відрогом високого тиску з Азорського антициклону. У зв'язку з цим на відміну від зими переважне значення має перенесення повітря з Атлантичного океану всередину континенту. Наявність відрогу Азорського антициклону в даному регіоні складається в результаті просування ядер високого тиску з області Азорського антициклону, а також арктичних антициклонів, що зміщуються над Руською рівниною з півночі на південь і головним чином на південний схід. Вплив

Сибірського антициклону слабшає, про що свідчить положення ізобар в північно-східній частині регіону. Області зниженого атмосферного тиску спостерігаються на півдні і південному заході регіону, а саме південній частині Кавказу і на півночі півострова Мала Азія [28].

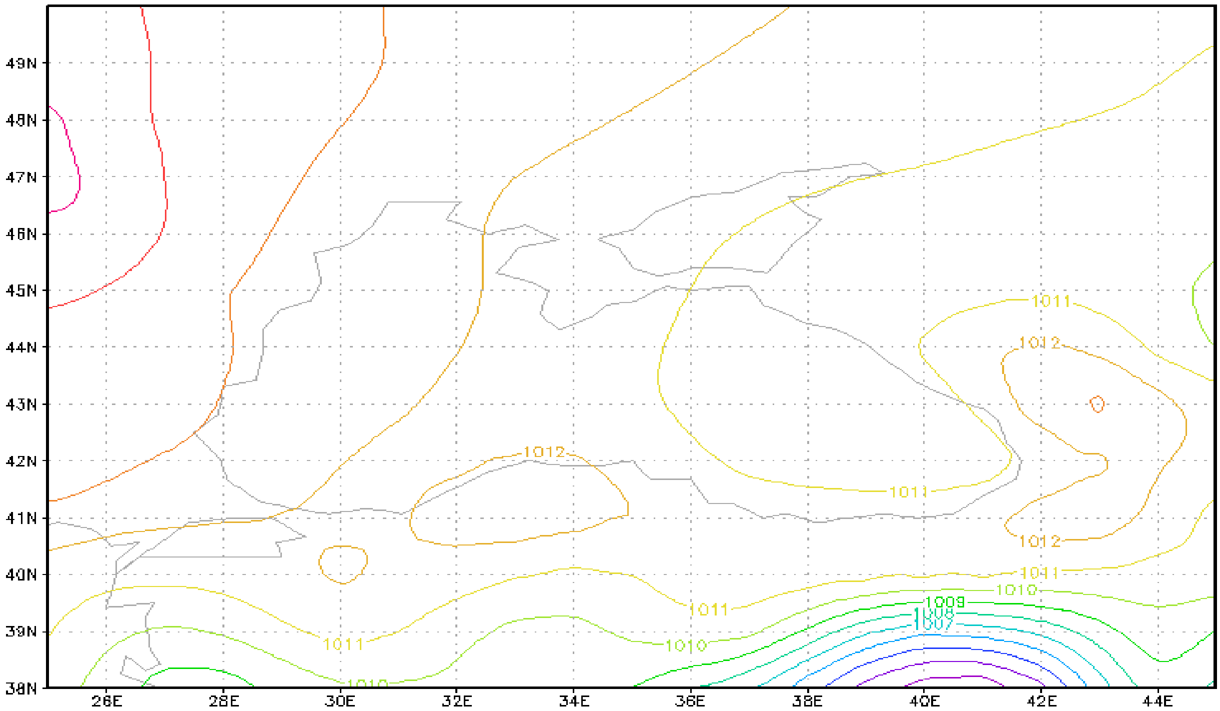

Рис. 2.9 – Поле середніх значень приземного атмосферного тиску (липень)

Циркуляційні процеси зимового та літнього сезонів є основними в досліджуваному регіоні. Навесні і восени відбувається поступова заміна одних процесів іншими у відповідності зі зміною знака температурних відмінностей між сушею та водною поверхнею. На рис. 2.10 представлено поле середніх значень атмосферного тиску (жовтень). При його аналізі видно зростання значень атмосферного тиску над материком який починає охолоджуватися, а також зниження тиску над водними акваторіями Чорного і частиною Середземного морів. В цей час року слабшає вплив на регіон Азорського максимуму на заході і зростає роль континентальних вторгнень зі сходу. У жовтні вже значну стійкість набувають характерні для зимового періоду східні течії [28].

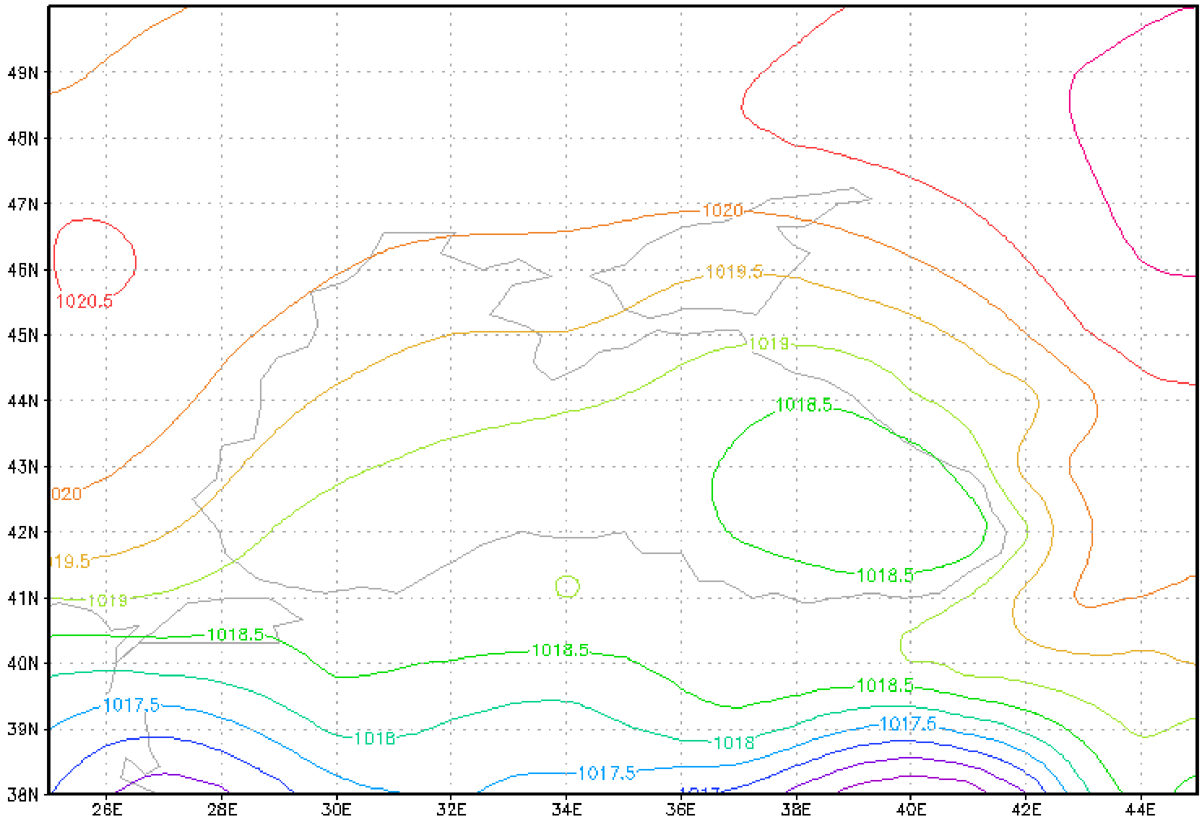

Рис. 2.10 – Поле середніх значень приземного атмосферного тиску (жовтень)

Структура полів середніх квадратичних відхилів атмосферного тиску істотно відрізняється від структури полів приземної температури повітря. На рис. 2.11 представлені поля середніх квадратичних відхилів атмосферного тиску для січня і липня. Взимку ізолінії мають квазімеридіональне розташування. У січні область мінімальних значень розташовується в південно-західній частині регіону, найменша мінливість в цій частині регіону обумовлена відрогом сибірського антициклону.

Область максимальних значень для даного місяця спостерігається в північно-західній частині досліджуваного регіону. Є підстави вважати, що наявність зони з максимальною мінливістю саме в цій частині регіону обумовлено посиленням циклонічної діяльності, характерною для даної пори року.

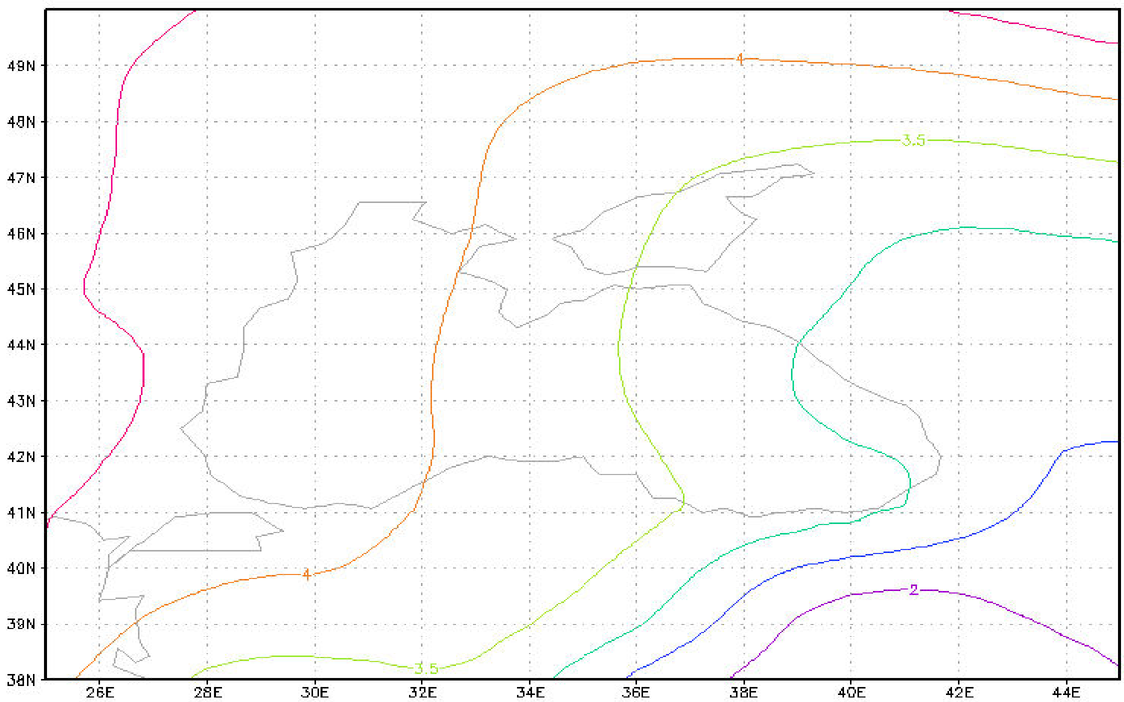

Рис. 2.11 – Поле середніх квадратичних відхилів приземного атмосферного тиску (січень)

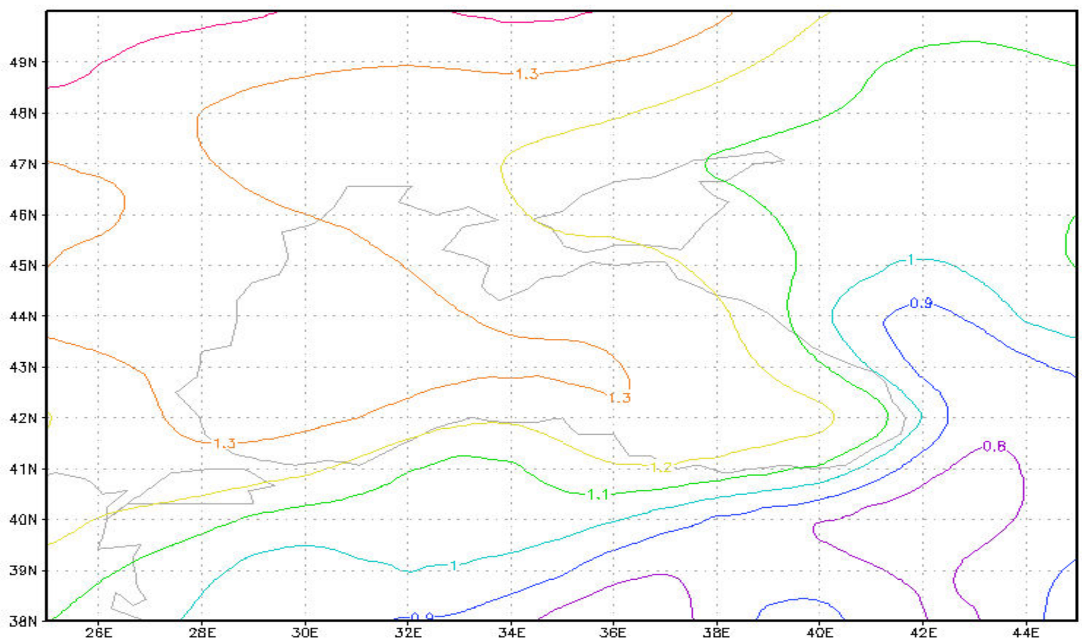

Рис. 2.12 – Поле середніх квадратичних відхилів приземного атмосферного тиску (липень)

Поле середніх квадратичних відхилів для липня місяця представлено на рисунку 2.12, Воно характеризується меншими градієнтами, ніж у зимовий період. Також видно, що широтно-меридіональний вигляд ізоліній порушується зі зсувом максимальних значень в східну частину регіону. Це можна пояснити активізацією циклонічних процесів в цей час року в даному регіоні.

3 СТАТИСТИЧНА СТРУКТУРА ПОЛІВ ПРИЗЕМНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ТА АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ

3.1 Параметризація метеорологічних полів методом компонентного аналізу

Для отримання характеристик статистичної структури полів метеорологічних величин були застосовані кореляційний й компонентний аналізи [29].

Фізичні поля, визначені у n вузлах регулярної сітки точок у i-тий час, можна розглядати як n-вимірний вектор X_i в евклідовому просторі, а систему таких полів, що розглядається у m послідовних значеннях часу, як $n \times m$ матрицю

$$X = \left\{ x_{ij} \right\},\ i = \overline{1,n},\ j = \overline{1,m}. \tag{3.1}$$

Якщо на основі множини j - полів визначити середнє поле, тобто вектор $\bar{X}_i$, то можна отримати центровану матрицю [29]

$$\Delta X = \left\{ \Delta x_{ij} \right\},\ i = \overline{1,n},\ j = \overline{1,m} \tag{3.2}$$

елементи якої є

$$\Delta x_{ij} = x_{ij} - \bar{x}_i , \tag{3.3}$$

де

$$\bar{x}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m} x_{ij} . \tag{3.4}$$

Тоді матриця коваріацій визначається рівнянням

$$K_x = \frac{1}{m} \Delta X \, \Delta X' , \tag{3.5}$$

де індекс ($'$) позначає операцію транспонування матриці ΔX [29].

Для коваріаційної матриці K_x запишемо рівняння повної проблеми власних значень

$$K_x W_i = \lambda_i W_i , \tag{3.6}$$

де $W_i - i$ -тий власний вектор; λ_i –відповідне власне значення [29].

Власні вектори W_i ортонормовані, тобто

$$W_i' W_k = \delta_{ik} , \tag{3.7}$$

де δ_{ik} - символ Кронекера.

Як відомо, власні значення розташовуються у порядку зменшення

$$\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \ldots > \lambda_n \tag{3.8}$$

Властивість власних векторів є підставою для побудови ортогонального базису n- вимірного евклідового простору, для якого визначена ортонормована матриця

$$W = \left(W_{ik} \right)_{n \times n} \tag{3.9}$$

З властивістю

$$W'W = E , \tag{3.10}$$

де E - одинична матриця.

Кожне поле як вектор можна розкласти у базису W і отримати компоненти z_j, які є ортогональними (незалежними у ймовірностному смислі) [29]

$$z_j^{'} z_k = \begin{cases} \sigma_{z_k}^2, \text{ якщо } \mathrm{j} = \mathrm{k}, \\ 0, \text{ якщо } \mathrm{j} \neq \mathrm{k}. \end{cases}, \tag{3.11}$$

де $\sigma_{z_i}^2$ - дисперсія і-тої ортогональної компоненти [29].

У роботі [26] вказується, по-перше, що

$$\sigma_{z_k}^2 = \lambda_k, \tag{3.12}$$

і, по-друге, що

$$\sum_{k=1}^{n} \sigma_{z_k}^2 = \sum_{k=1}^{n} \lambda_k = \sum_{k=1}^{n} \sigma_{x_k}^2 = trK_x, \tag{3.13}$$

де trK_x – слід матриці K_x, тобто сума елементів матриці коваріацій, розташованих на її головній діагоналі. Це означає, що сума дисперсій ортогональних компонент фізичних полів, дорівнює сумі дисперсій вихідних полів σ_{x_k}. Оскільки виконується нерівність (3.8), то можна визначити параметр η_p - відносну частку сумарної дисперсії вихідних полів, яка зумовлюється сумою перших k власних значень

$$\eta_k = \frac{\sum_{i=1}^{k}\lambda_i}{\sum_{i=1}^{n}\lambda_i} = \frac{\sum_{i=1}^{k}\lambda_i}{\sum_{i=1}^{n}\sigma_{x_i}^2} = \frac{\sum_{i=1}^{k}\lambda_i}{trK_x}. \qquad (3.14)+$$

Це дає можливість розкласти вихідні поля на ортогональні компоненти за масштабами процесів, які формують ці фізичні поля. Оскільки кожному власному значенню λ_k відповідає власний вектор W_k, який можна представити як поле, а λ_k є дисперсією Z_k k-тої ортогональної компоненти, то поле k-того власного вектора, як і значення ортогональної компоненти Z_k, характеризує відповідну складову k-того масштабу вихідного поля [29].

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. Власне значення $\lambda_2 = \sigma_{Z_2}^2$ характеризує властивості процесів меншого масштабу і т.д. [29].

Перші k ортогональні компоненти, дисперсіями яких є відповідні власні значення λ_k, називають головними компонентами вихідних фізичних полів [26], при умові, що їх сума вичерпує більшу частину сумарної дисперсії метеорологічних полів. Цю необхідну частку визначає дослідник. Як і перша головна компонента, перший власний вектор $W_1 = \{W_{1,i}\}$, де $i = \overline{1,n}$, відбиває властивості фізичних полів, зумовлених впливом найбільш великомасштабних процесів, другий власний вектор $W_2 = \{W_{2,i}\}$, де $i = \overline{1,n}$, - властивості фізичних процесів меншого масштабу, тобто вихрової компоненти й т.д. Така властивість власних значень дає змогу визначити головні компоненти метеорологічних полів, які є звичайними числами, але такими, що визначають основні властивості цих полів. Як показано вище, кількість необхідних для аналізу головних компонент визначається їх дисперсіями [29].

3.2 Дисперсії ортогональних компонент метеорологічних полів і власні вектори

3.2.1. Дисперсії ортогональних складових полів атмосферного тиску й температури повітря

Приведені вище алгоритми кореляційного й компонентного аналізу були застосовані для дослідження статистичної структури полів приводної температури повітря й атмосферного тиску. Матриці $X=\{x_{ij}\}$, $i=\overline{1,n}$, $j=\overline{1,m}$ були сформовані на основі, як вже зазначалося, масиву даних ЕРА Interim. Це дало можливість розрахувати для кожного місяця поля середніх значень і матриці ковариації. За рівністю (3.6), використовуючи алгоритм методу Якобі [29], були розв’язані рівняння повної проблеми власних значень, тобто отримані власні значення й відповідні власні вектори. Це дозволило створити ортогональні базиси W n-вимірного евклідового простору. За допомогою яких були отримані компоненти векторів розкладу полів температури приводневого повітря й атмосферного тиску для кожного регіону у базису W шляхом перетворення

$$Z_j = W'\Delta X_j \ . \tag{3.15}$$

Ортогональні компоненти полів метеорологічних величин визначаються за формулою (3.15). Аналіз дисперсій (власних значень) дозволяє визначити основні властивості полів температури й атмосферного тиску.

Аналіз виконаних розрахунків показав, що власні зазначення, які є дисперсіями ортогональних компонент, у всіх випадках характеризуються швидкою збіжністю, отже сума перших двох власних значень зумовлює більше ніж 85% сумарної дисперсії вихідних полів температури повітря й атмосферного тиску.

Річний хід дисперсій головних компонент цих полів, а також їх загального відносного внеску у сумарну дисперсію полів представлений на рисунках 3.1, 3.2.

Загальною властивістю розподілу дисперсій головних компонент є те, що дисперсії перших головних компонент полів приземної температури повітря й атмосферного тиску здійснюють найбільший внесок у сумарну дисперсію полів зазначених метеорологічних полів величин.

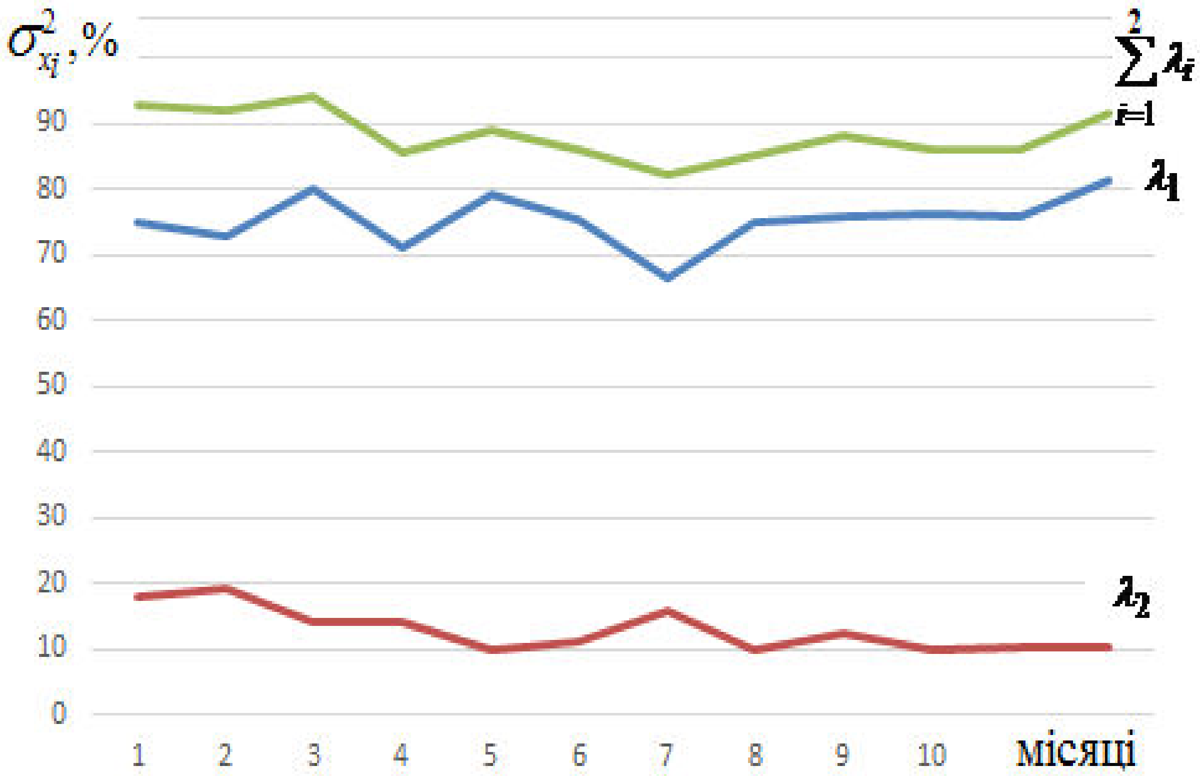

Рис. 3.1 – Річний хід дисперсій (власних значень матриці коваріацій) полів приземного атмосферного тиску

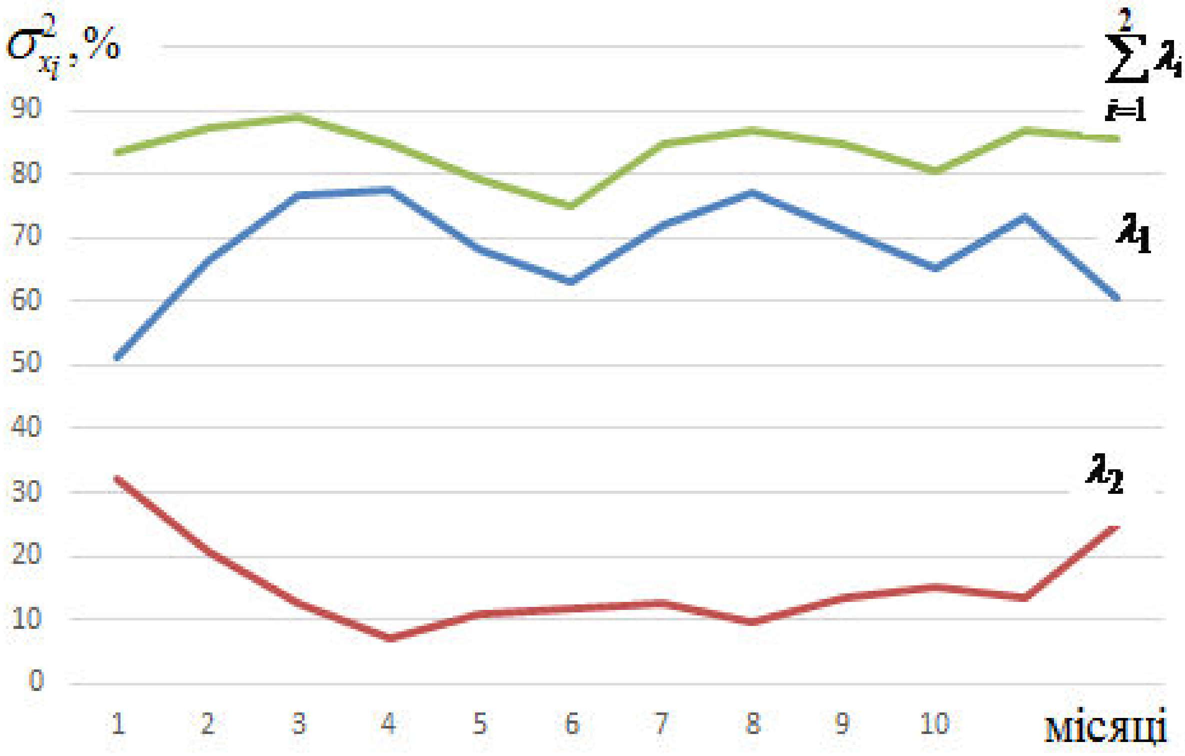

Рис. 3.2 – Річний хід дисперсій (власних значень матриці коваріацій) полів приземної температури повітря

3.2.2. Власні вектори метеорологічних полів

Кожному власному значенню, яке має сутність дисперсії відповідної ортогональної компоненти, можна поставити у відповідність власний вектор, компоненти якого, у загальному розумінні є розв'язками системи неоднорідних лінійних алгебраїчних рівнянь при відповідному власному значенні.

Кожний власний вектор, оскільки його координата є функцією географічних координат, можна представити у формі поля. Саме тому власні вектори деякі дослідники називають природними або емпіричними ортогональними функціями (е.о.ф) [29].

Розглянемо структуру цих полів для центральних місяців літнього і зимового сезонів (відповідні поля для інших місяців року приводяться у додатку А). Оскільки кожний власний вектор розраховується для відповідного власного значення, а останні мають сенс дисперсії ортогональних координат, характеризуючи особливості структури метеорологічних полів, то власні вектори також утримують у собі основні властивості цих полів.

Більша частина сумарної дисперсії вихідних полів приземного атмосферного тиску й температури повітря обумовлюється першими двома власними значеннями, основна інформація про їх структуру утримується у перших двох власних векторах. Тому розглянемо характеристики полів цих векторів (емпіричних ортогональних функцій).

На рисунку 3.3 представлено поле першого власного вектору атмосферного тиску для січня. Практично всі площа (акваторія Чорного моря) досліджуваної області характеризується областю замкнених ізоліній значень першої емпіричної функції.

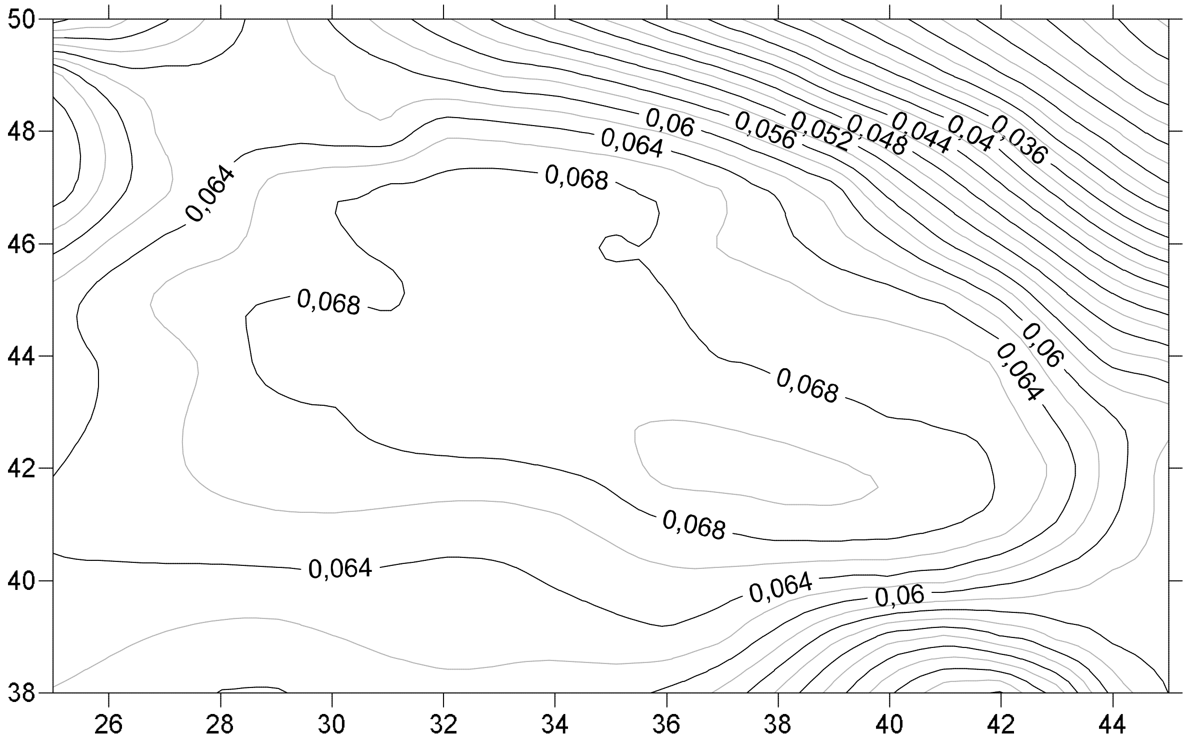

Рис. 3.3 – Поле першого власного вектору атмосферного тиску, січень

Виходячи з цього можна зробити висновок, що поле атмосферного тиску формується під впливом єдиного великомасштабного процесу. У північно-західній частині спостерігається улоговина, яка пов'язана з Атлантичним центром дії, а саме Азорським максимумом.

Поле першого власного вектору атмосферного тиску за квітень (рис. 3.4) має схожу структуру ізоліній, проте в південно-східній частині регіону спостерігається замкнута область ізоліній, яка пов'язана з особливостями підстильної поверхні. У північно-західній частині відбувається збільшення площі улоговини.

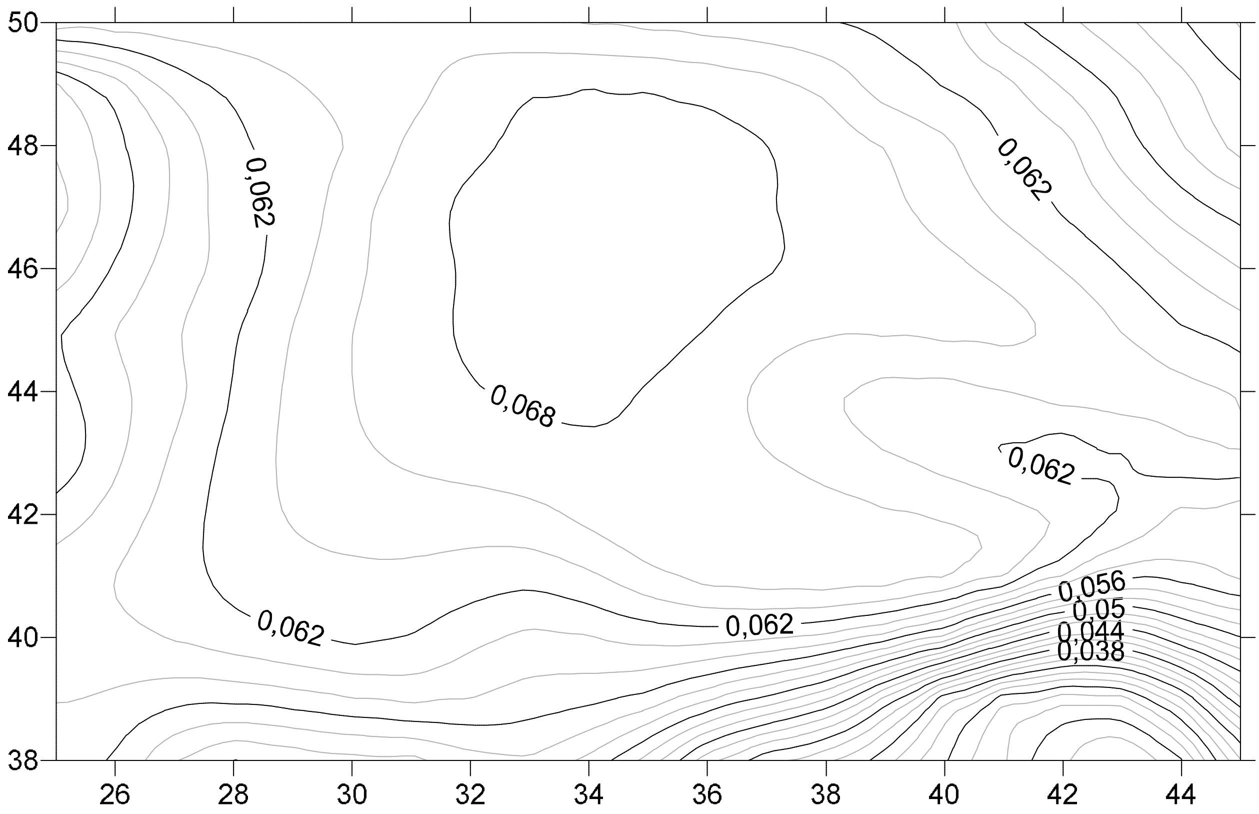

Рис. 3.4 – Поле першого власного вектору атмосферного тиску, квітень

На рисунку 3.5 представлено поле першого власного вектору атмосферного тиску для липня. Область замкнутих ізоліній, яка спостерігається над Чорним морем, має меншу площу щодо зимового та весняного періоду.

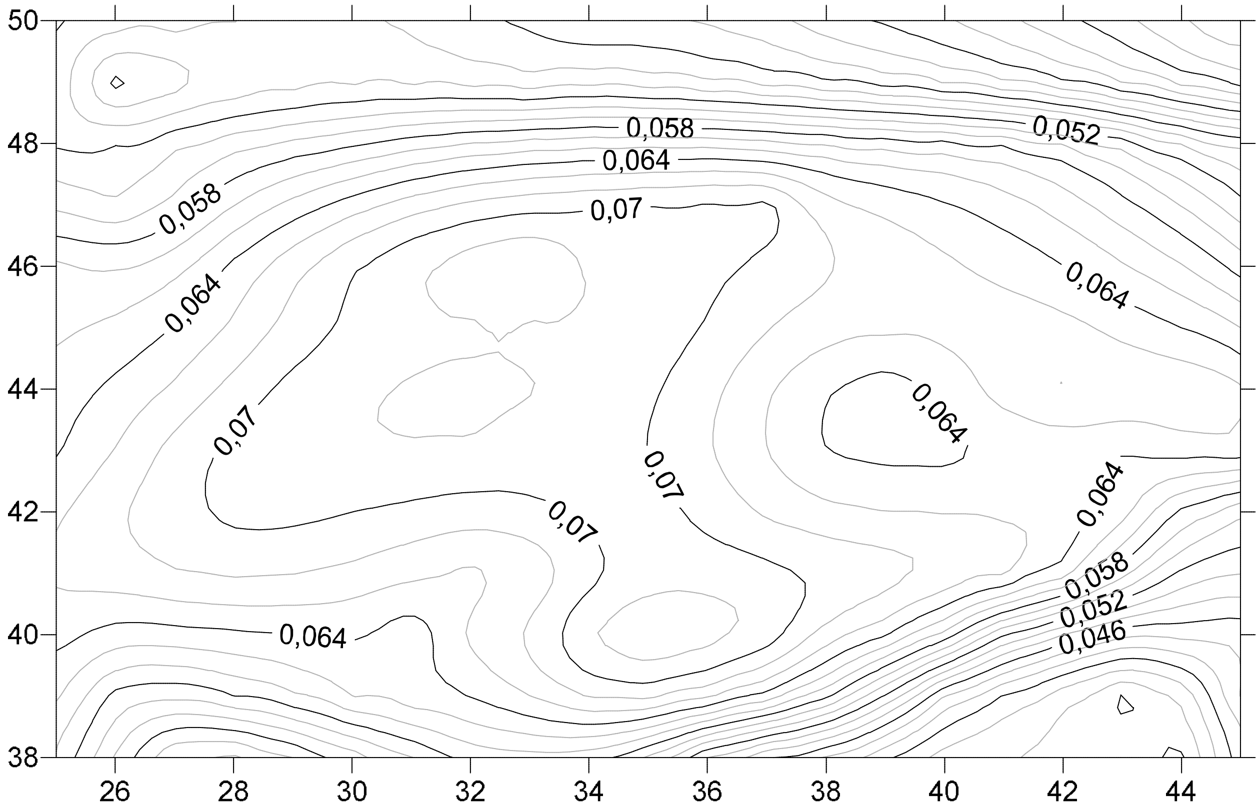

Рис.3.5 – Поле першого власного вектору атмосферного тиску, липень

У південно-західній і південно-східній частині регіону спостерігається дві улоговини, які обумовлені гірською місцевістю в даному регіоні. Перша пов'язана циклогенез Середземного моря. У північній частині регіону ізолінії мають квазіширотний характер.

Поле першого власного вектору атмосферного тиску для жовтень представлено на рисунку 3.6. Положення улоговин в південно-західній і південно-східній частині регіону зберігається. Над більшою частиною регіону спостерігається гребінь, вісь якого направлена у південно-східному напрямку, що може бути пояснений впливом Азорського максимуму.

Поля першого власного вектору (Першої емпіричної ортогональної Функції) атмосферного тиску добро узгоджуються з відповідними полями для температури. Характер полів емпіричних ортогональних функцій приземної температури повітря також можна пояснити відповідними сезону властивостями підстильної поверхні й великомасштабними атмосферного процесами.

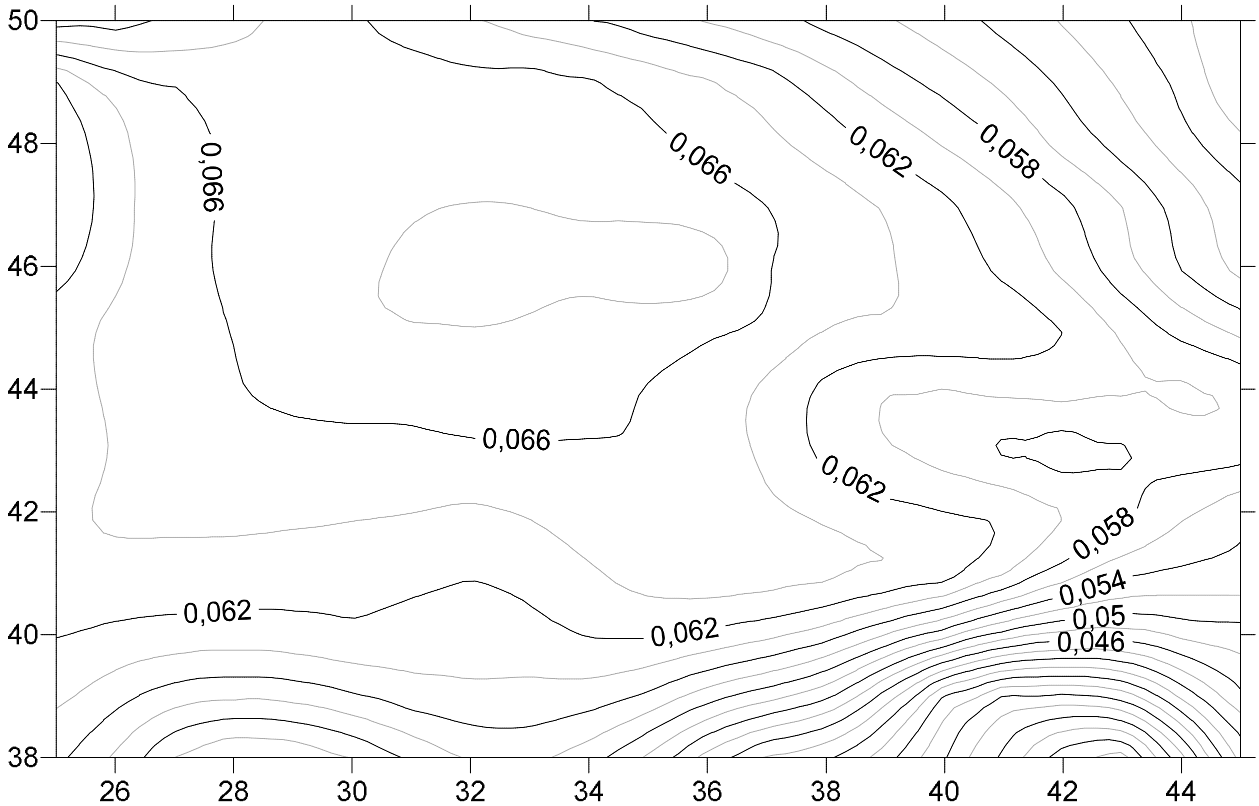

Рис. 3.6 – Поле першого власного вектору атмосферного тиску, жовтень

Поле першого власного вектору приземної температури для січня (рис. 3.7) має практично таку структуру ізоліній, як і поле атмосферного тиску, а саме в південно-східній частині спостерігається улоговина з віссю в північно-західному напрямку. Однак є невеликі відмінності в структурі між полями, замість замкнутої області над акваторією Чорного моря, спостерігається гребінь вісь якого направлена у західному напрямку, що говорить про вплив Сибірського антициклону.

У весняний період (рис 3.8) спостерігається зміна структури поля першої емпіричної ортогональної функції (е.о.ф.). У північно-західній частині досліджуваного регіону можна відзначити наявність улоговини, яка пов'язана з впливом Азорського максимуму в цю пору року на атмосферну циркуляцію даного регіону. Також слід зазначити положення улоговини в південно-східної частині регіону, яка має велику площу, ніж у полів атмосферного тиску.

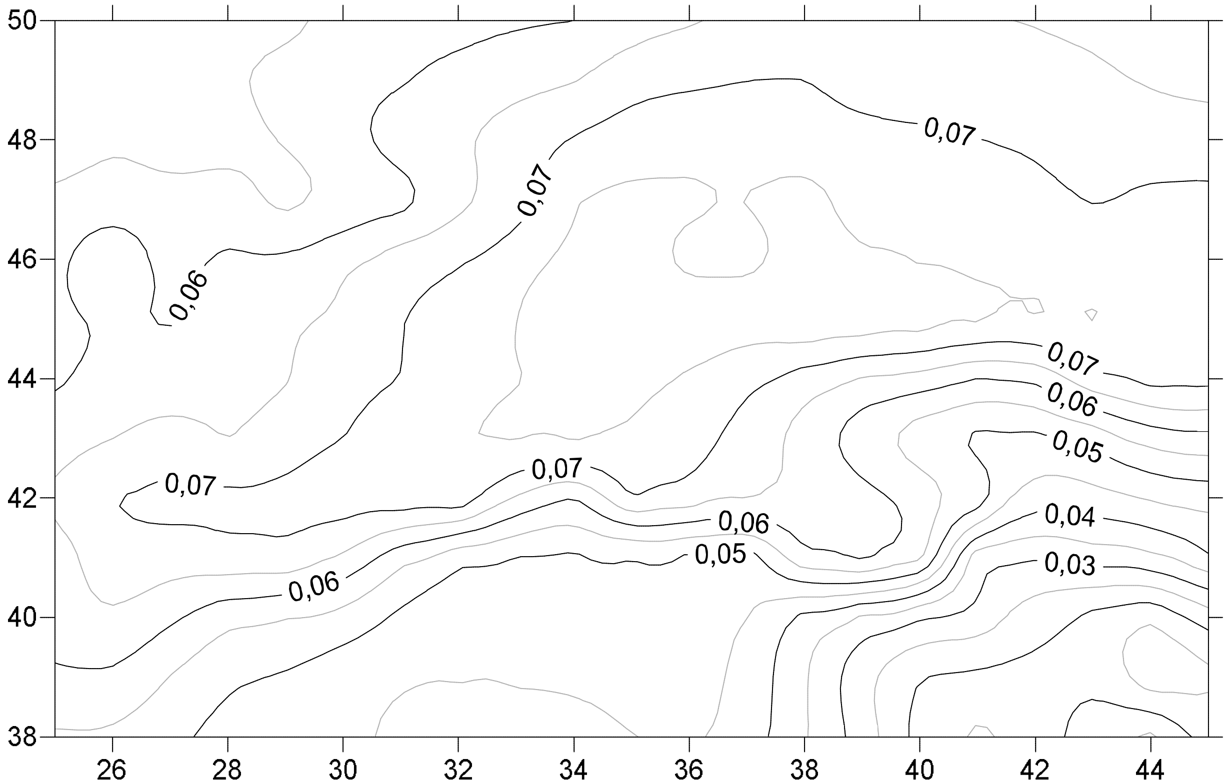

Рис. 3.7 – Поле першого власного вектору приземної температури повітря, січень

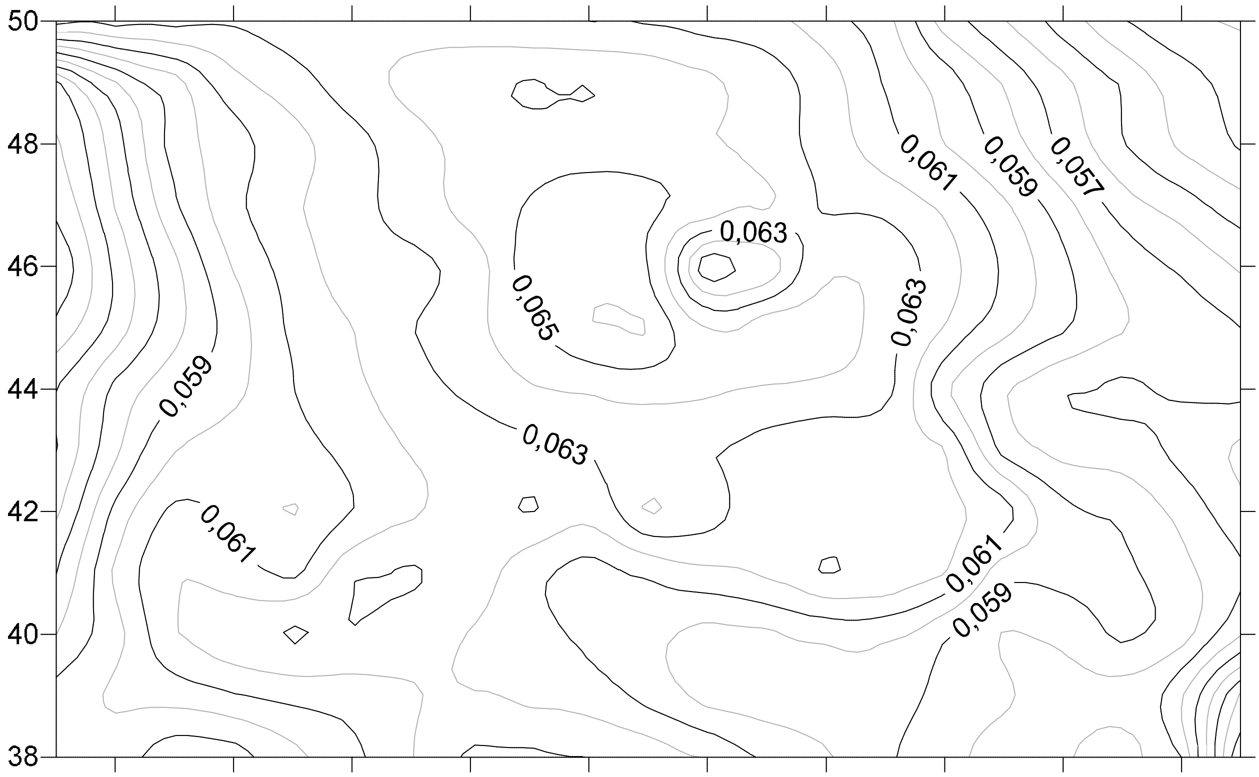

Рис. 3.8 – Поле першого власного вектору приземної температури повітря, квітень

Влітку (рис. 3.9) положення замкнутої області ізоліній першої е.о.ф. в центрі регіону незначно змінюється, а саме відбувається збільшення її площі. Можна відзначити наявність двох гребнів від даної замкнутої області, осі яких спрямовані в південно-західному і південно-східному напрямку.

Положення улоговини зберігається в північно-західній частині регіону. Слід зазначити, що в південно-східному регіоні відбувається збільшення градієнта ізоліній, а також наявність двох улоговин, положення які добре узгоджуються з полями перших е.о.ф атмосферного тиску. Положення цих улоговин добре узгоджується посиленням впливу на дану частину регіону Аравійської депресії.

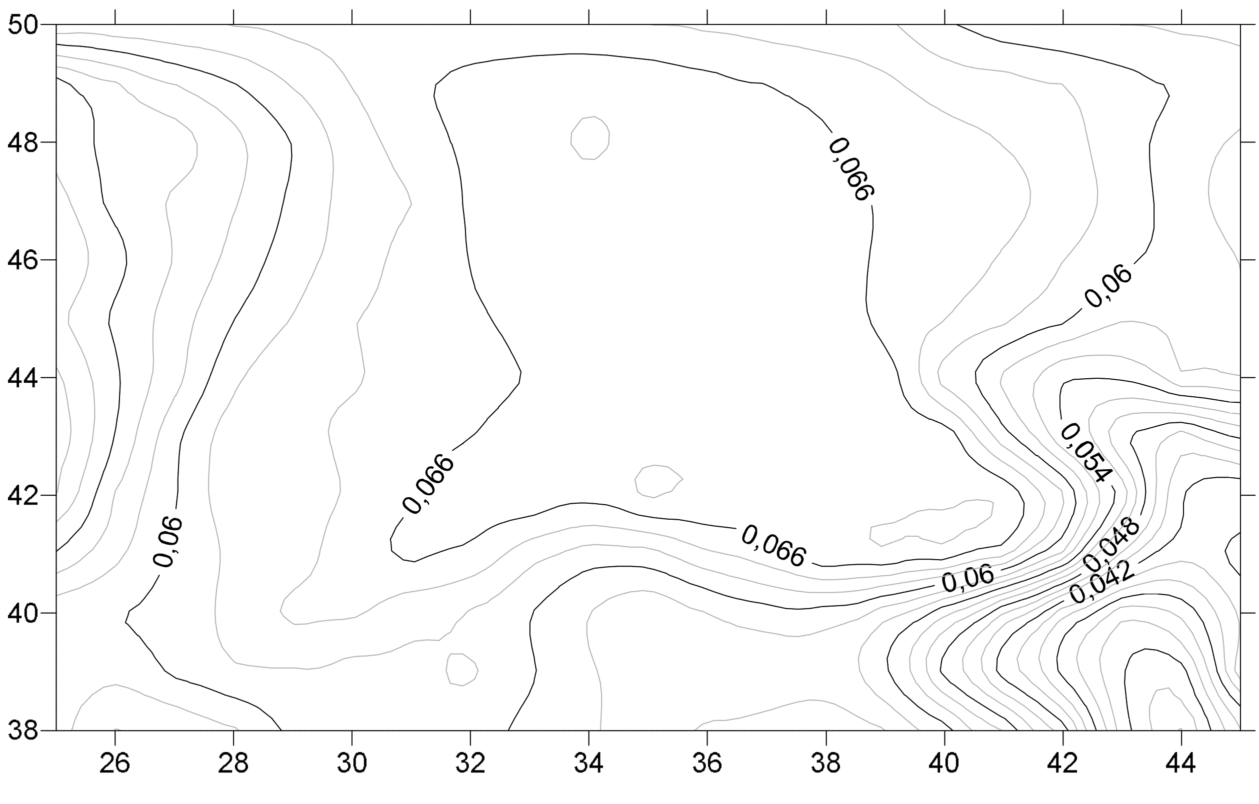

Рис. 3.9 – Поле першого власного вектору приземної температури повітря, липень

Восени спостерігається перебудова поля першої е.о.ф. приземної температури повітря (рис. 3.10). У південно-східній частині регіону простежується область замкнутих ізоліній першої е.о.ф., яка може бути пояснена особливостями підстильної поверхні. Можна відзначити в північно-західній частині регіону ослаблення улоговини значень першої е.о.ф.

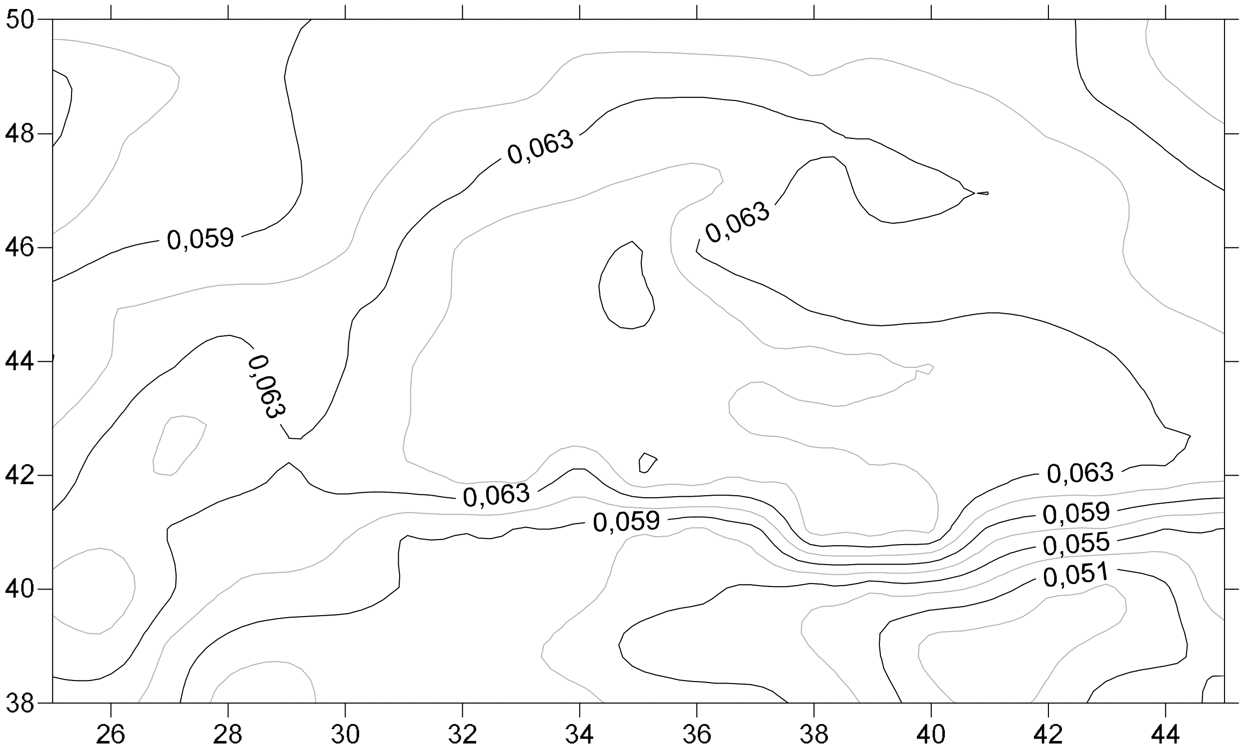

Рис. 3.10 – Поле першого власного вектору приземної температури повітря, жовтень

Поля других е.о.ф. суттєво відрізняються за своєю структурою від полів перших е.о.ф. Ці відмінності обумовлюються тим, що дисперсії других головних компонент, яким відповідають поля других е.о.ф., характеризують процеси меншого масштабу, тобто процеси вихрового характеру. Для прикладу наведемо поля деяких е.о.ф. оскільки різниця від інших таких полів полягає лише в положенні біполярних осередків, які обумовлені саме розглянутими вище характеристиками процесів макромасштабу.

Взимку (рис.3.11) поле другого власного вектору в січні характеризується квазіширотною структурою ізоліній. Навесні структура поля другий е.о.ф. незначно змінюється (рис. 3.12). У південно-східній частині регіону формується улоговина значень другого власного вектору, яка пояснюється особливістю атмосферної циркуляції в даній частині регіону, а також наявністю гірської місцевості.

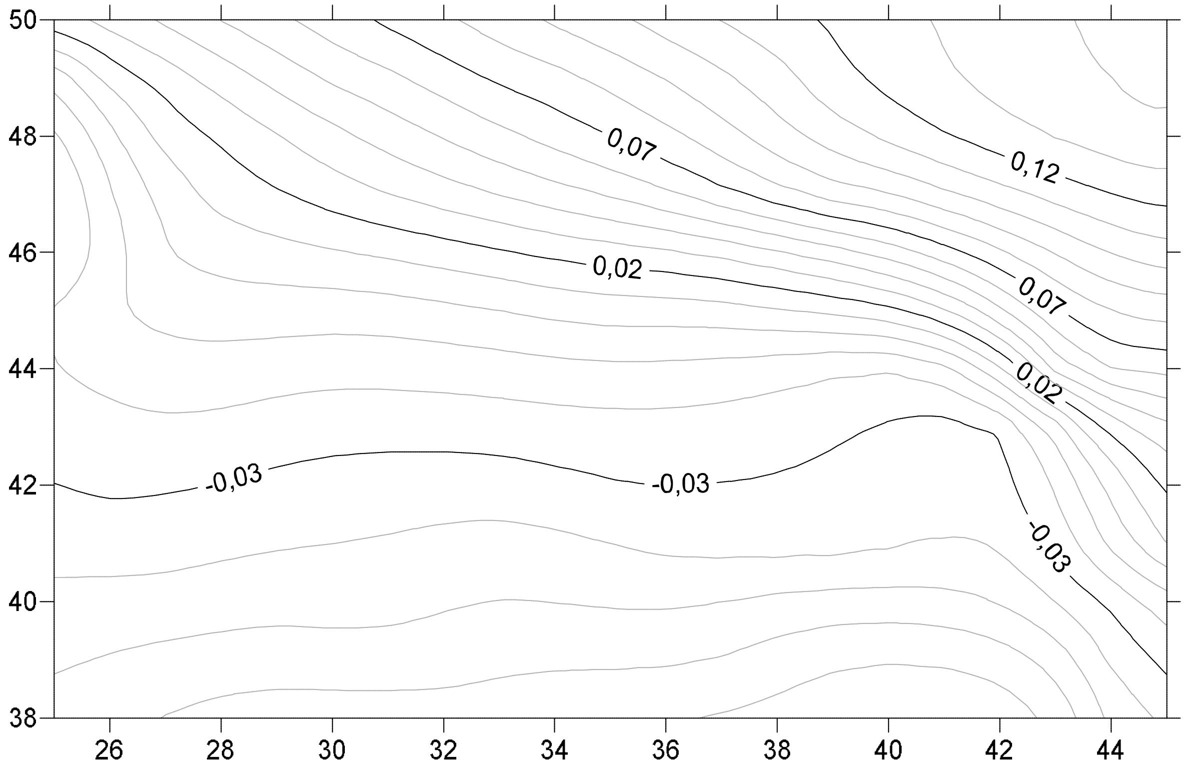

Рис. 3.11 – Поле другого власного вектора атмосферного тиску, січень

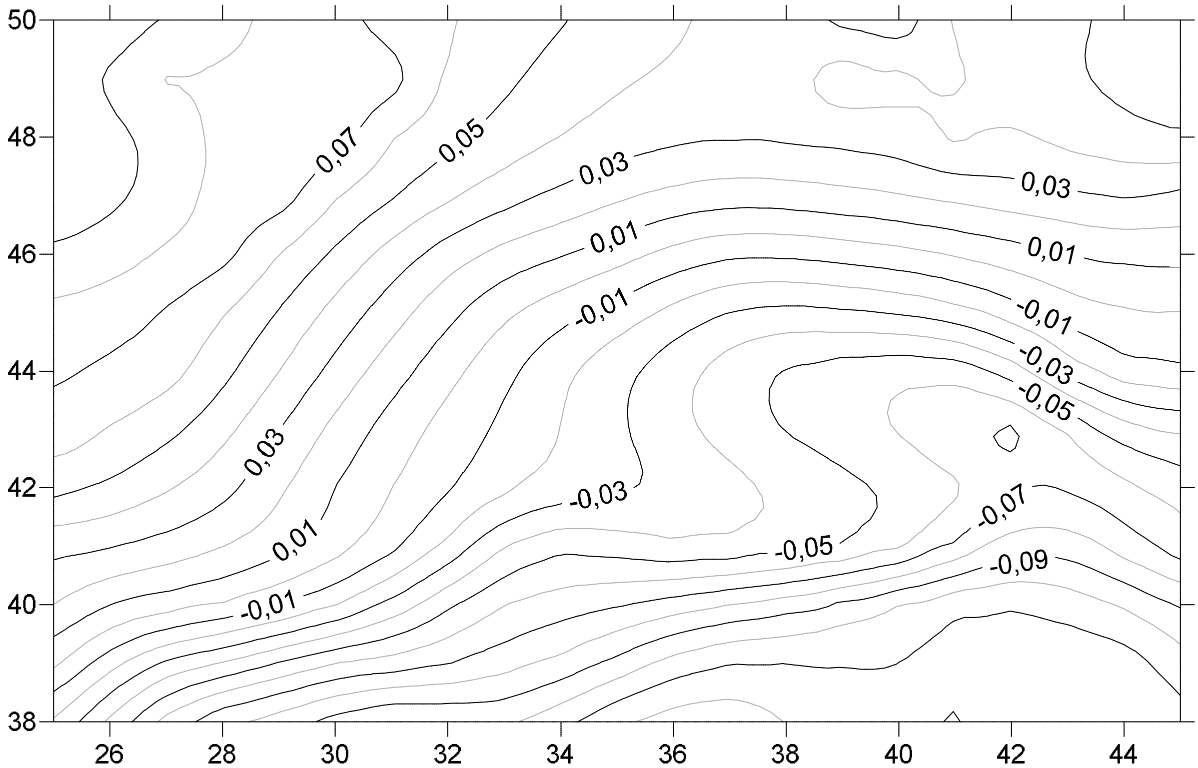

Рис. 3.12 – Поле другого власного вектора атмосферного тиску, квітень

Влітку (рис 3.13) відбувається зміна структури ізоліній другого власного вектору: ізолінії другий емпіричної ортогональної функції мають квазіширотний характер. У південній частині регіону простежується улоговина, наявність якої можна пояснити поєднанням взаємозв'язком вихрових процесів і неоднорідністю рельєфу підстильної поверхні.

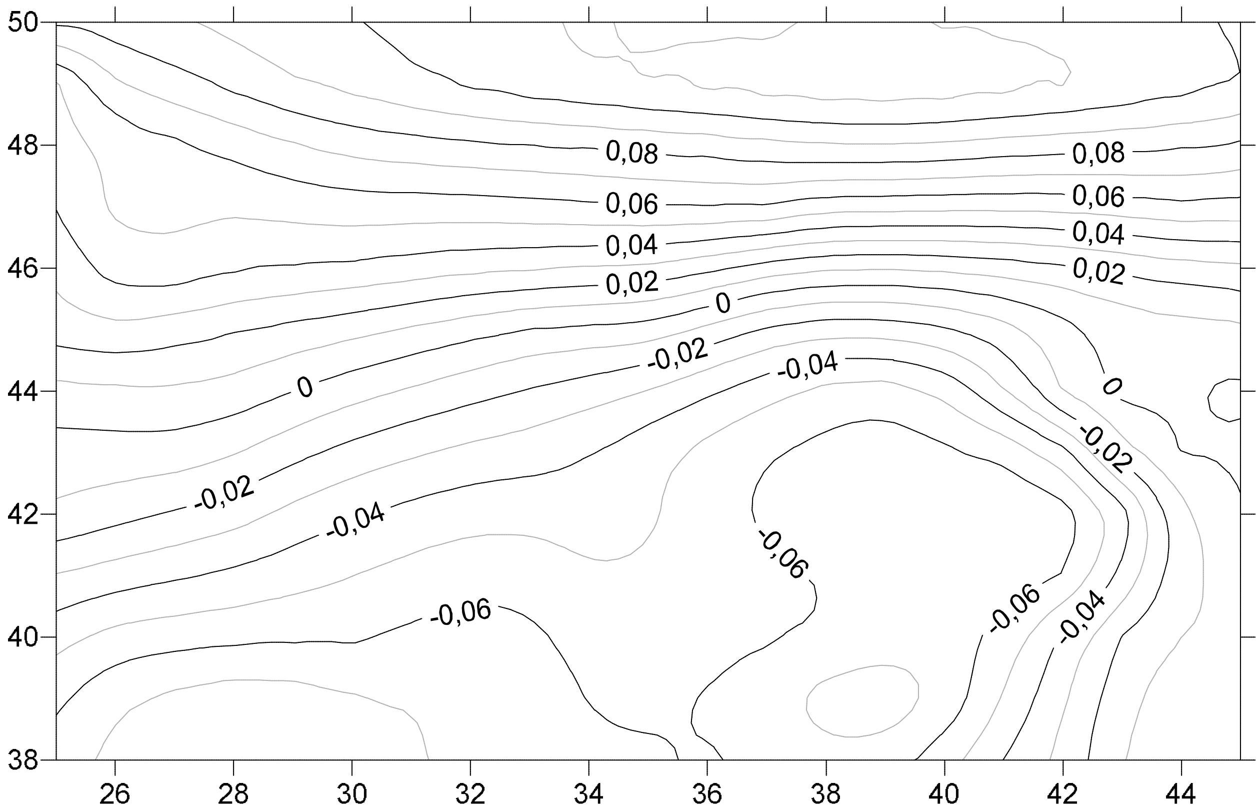

Рис. 3.13 – Поле другого власного вектора атмосферного тиску, липень

Восени (рис. 3.14) положення улоговини в південній частині регіону змінюється, відбувається її зсув в південно-західну частину. Ось улоговини спрямована в східному напрямку. Область максимальних значень другої е.о.ф. простежується в північно-східній частині регіону. Таке розташування ізоліній можна пояснити впливом на поля атмосферного тиску Кавказькими горами.

На рисунку 3.15 представлено поле другого власного вектору приземної температури повітря для січня, структура ізоліній добре узгоджується з полем другої е.о.ф. атмосферного тиску. Відмінність полягає в тому, що в північно-західній частині досліджуваного регіону спостерігається гребінь, вісь якого направлена в південному напрямку.

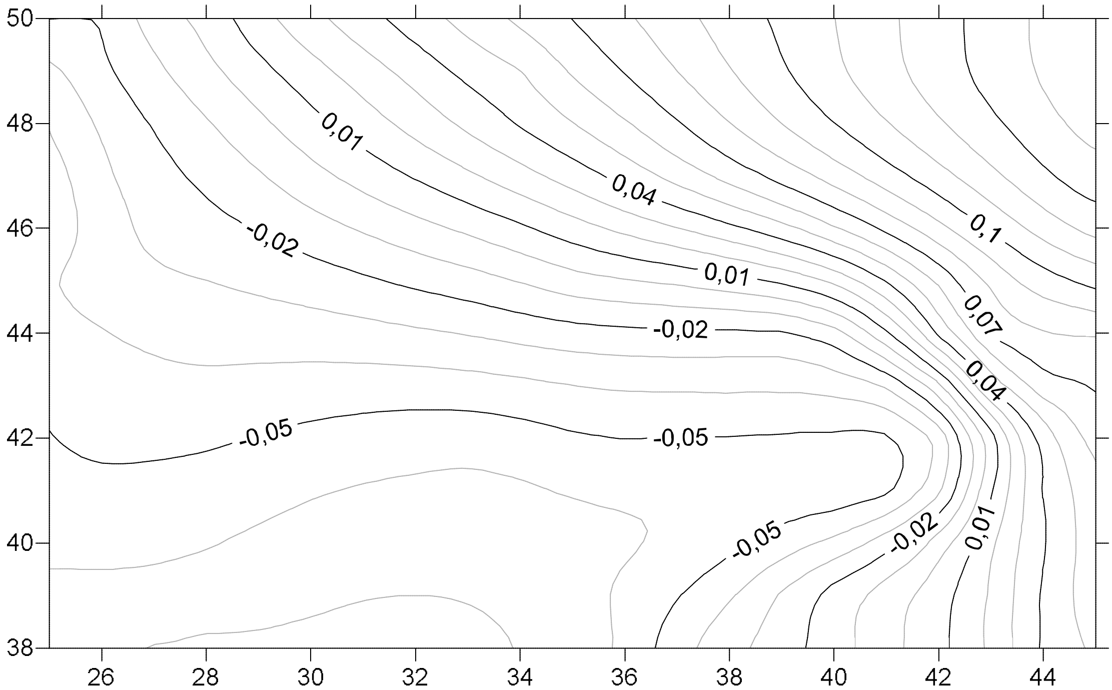

Рис. 3.14 – Поле другого власного вектору атмосферного тиску, жовтень

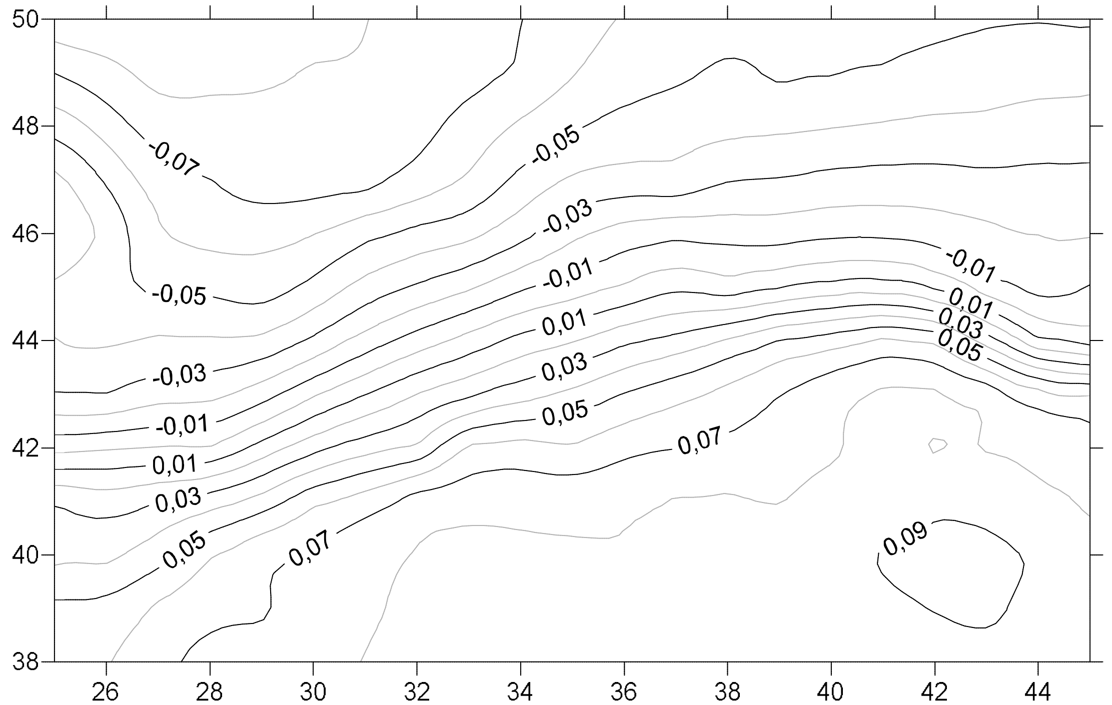

Рис. 3.15 – Поле другого власного вектору приземної температури повітря, січень

Навесні (рис 3.16) структура поля другий е.о.ф. незначно змінюється. Область максимальних значень розташовується в південній частині регіону. Ізолінії в північної частини регіону мають квазіширотний характер.

Влітку (рис 3.17) поле другий е.о.ф. зазнає значних змін. У центральній частині регіону спостерігається улоговина, вісь якої спрямована в південно-східному напрямку. Область максимальних значень розташовується в південно-східній частині досліджуваного регіону.

Як видно з рисунку 3.18 поле другої емпіричної ортогональної функції має схожу структуру з полем другий е.о.ф. в січні, що може свідчити про сезонний хід протікання атмосферних процесів.

Температурний контраст суша - море і гірський рельєф входять в число основних факторів, що визначають мезомасштабну структуру метеорологічних полів в досліджуваному регіоні.

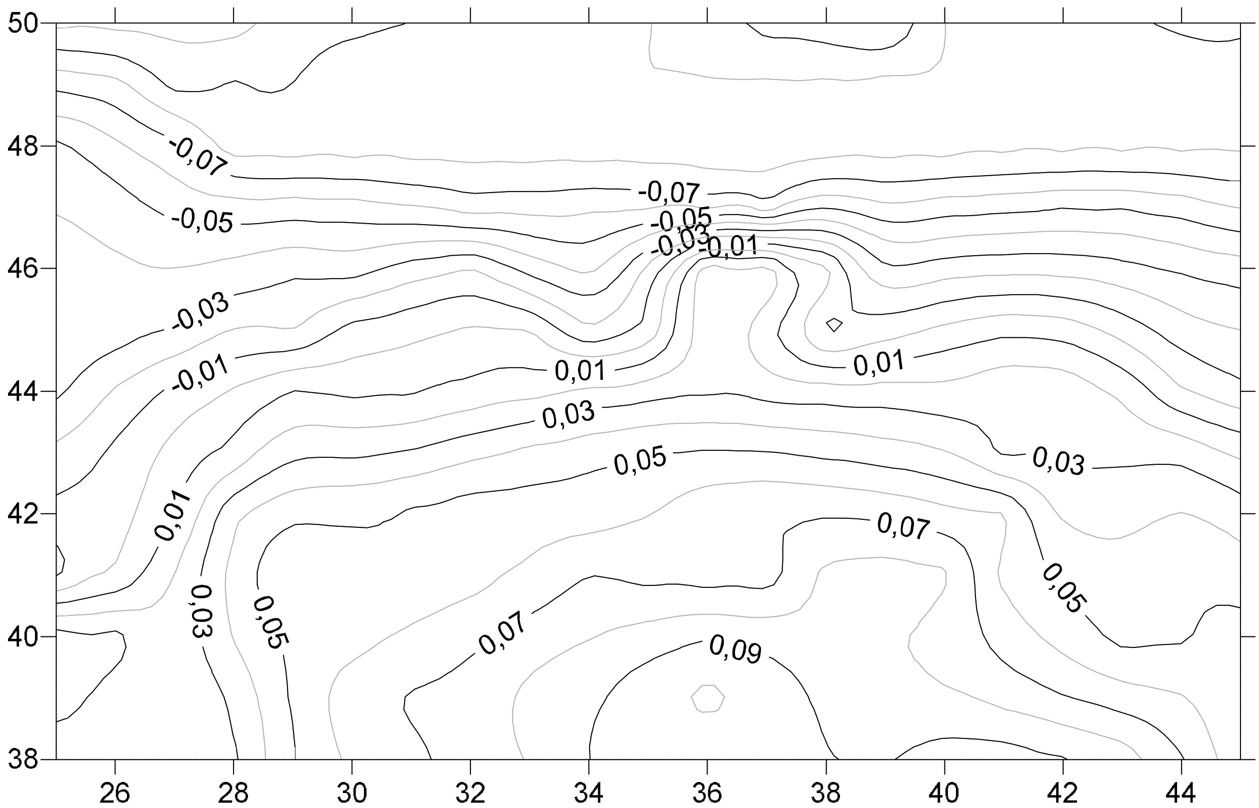

Рис. 3.16 – Поле другого власного вектору приземної температури повітря, квітень

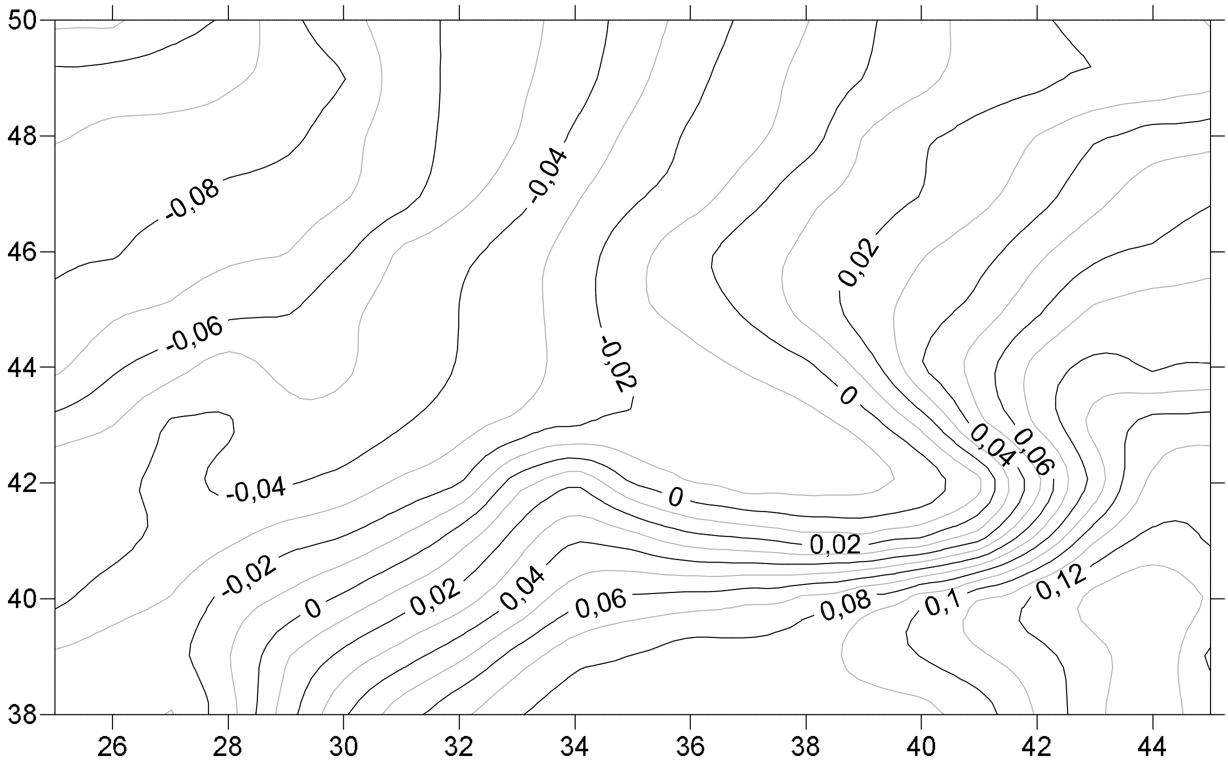

Рис. 3.17 – Поле другого власного вектору приземної температури повітря, липень

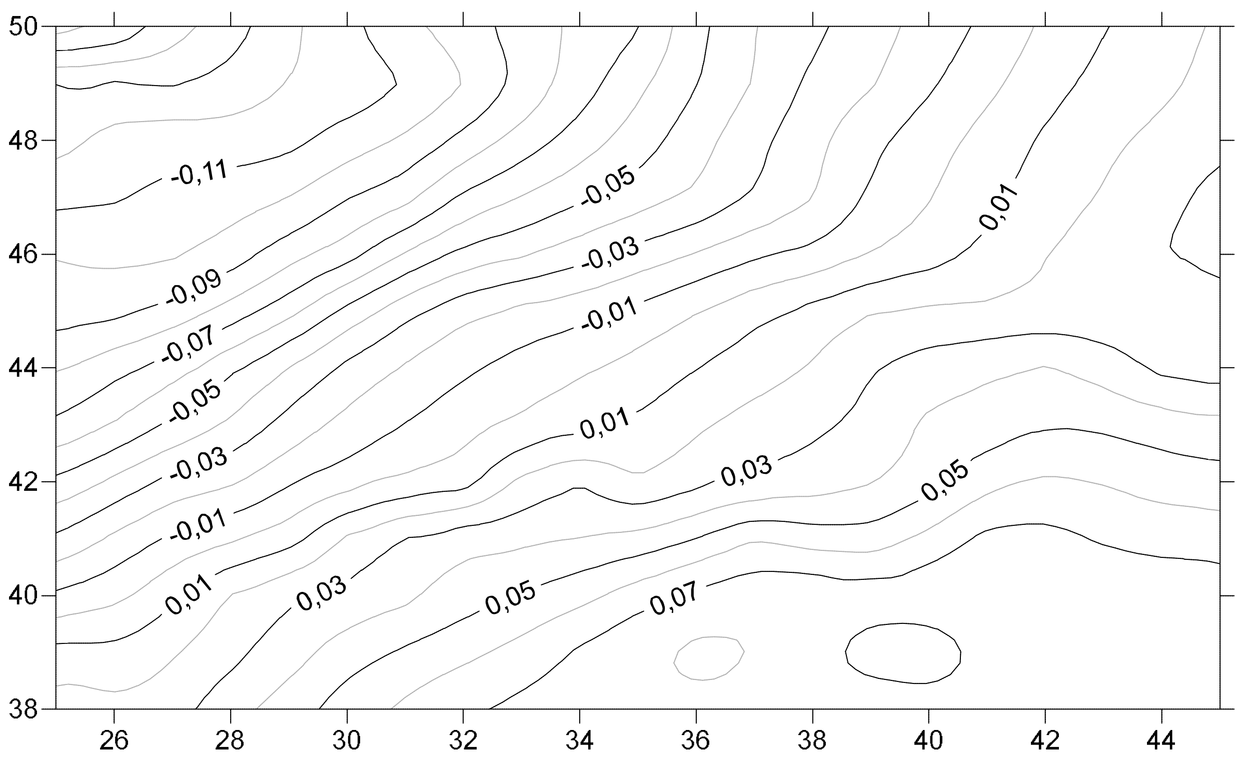

Рис. 3.18 – Поле другого власного вектору приземної температури повітря, жовтень

4 ЧАСОВІ РЯДИ ГОЛОВНИХ КОМПОНЕНТ АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ Й ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ

4.1 Методи дослідження статистичної структури головних компонент полів приводної температури й атмосферного тиску

Часові ряди головних компонент полів температури й атмосферного тиску є випадковими процесами, у яких неможливо на перший погляд виявити приховані трендову й періодичну компоненти [29]. Наприклад, на рисунках 4.1-4.4 зображені часові ряди першої та другої головної компоненти температури повітря й атмосферного тиску.

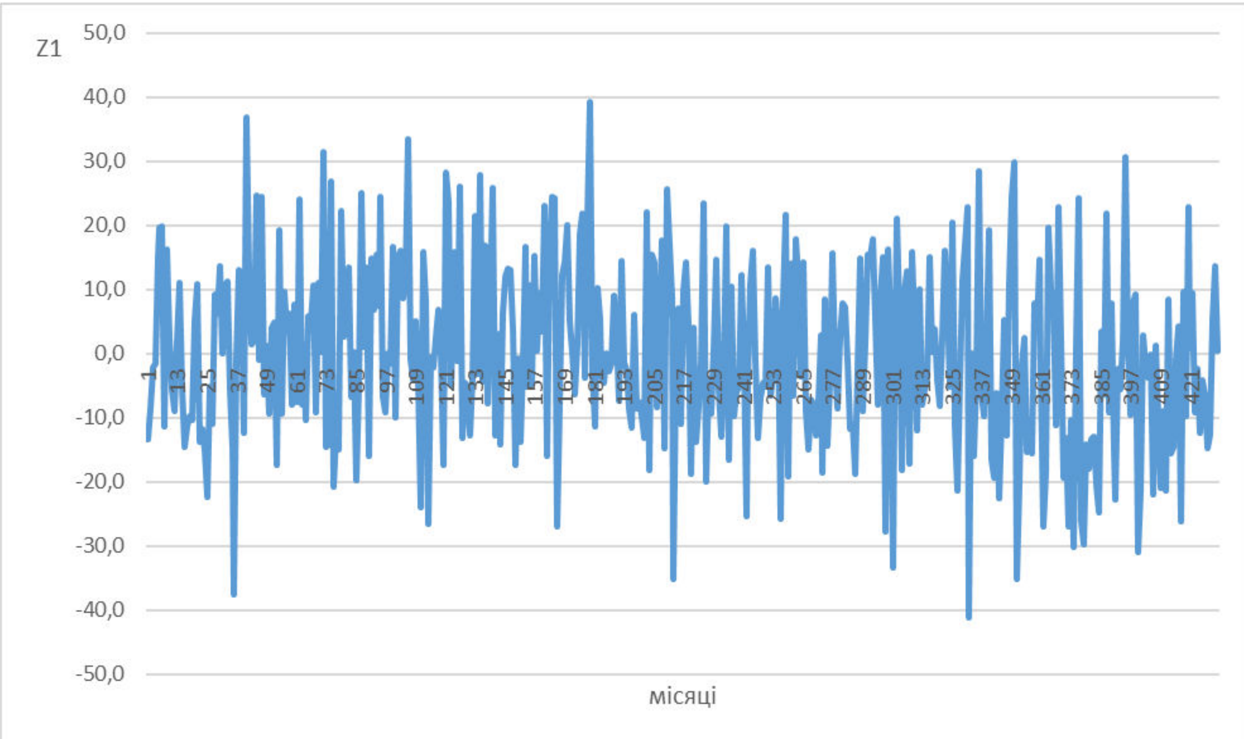

Рис. 4.1 – Часовий ряд першої головної компоненти приземного атмосферного тиску за період 1979 - 2014 рр.

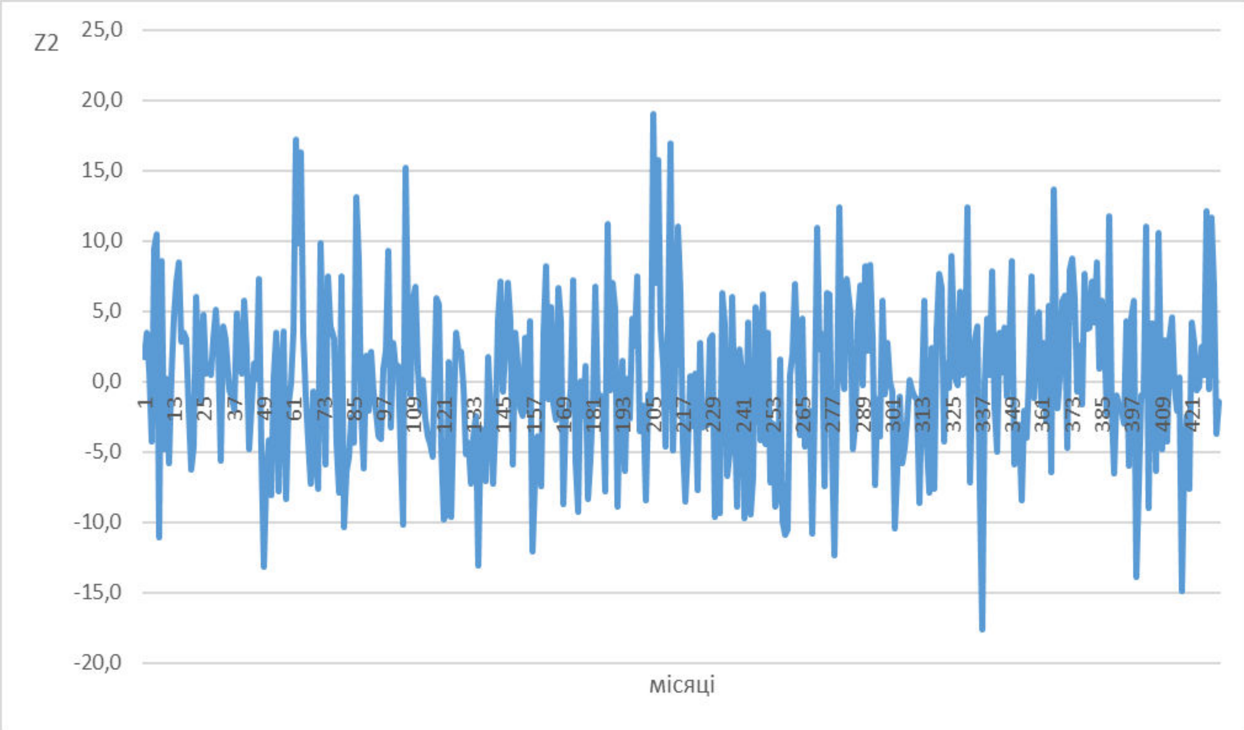

Рис. 4.2 – Часовий ряд другої головної компоненти приземного атмосферного тиску за період 1979 - 2014 рр.

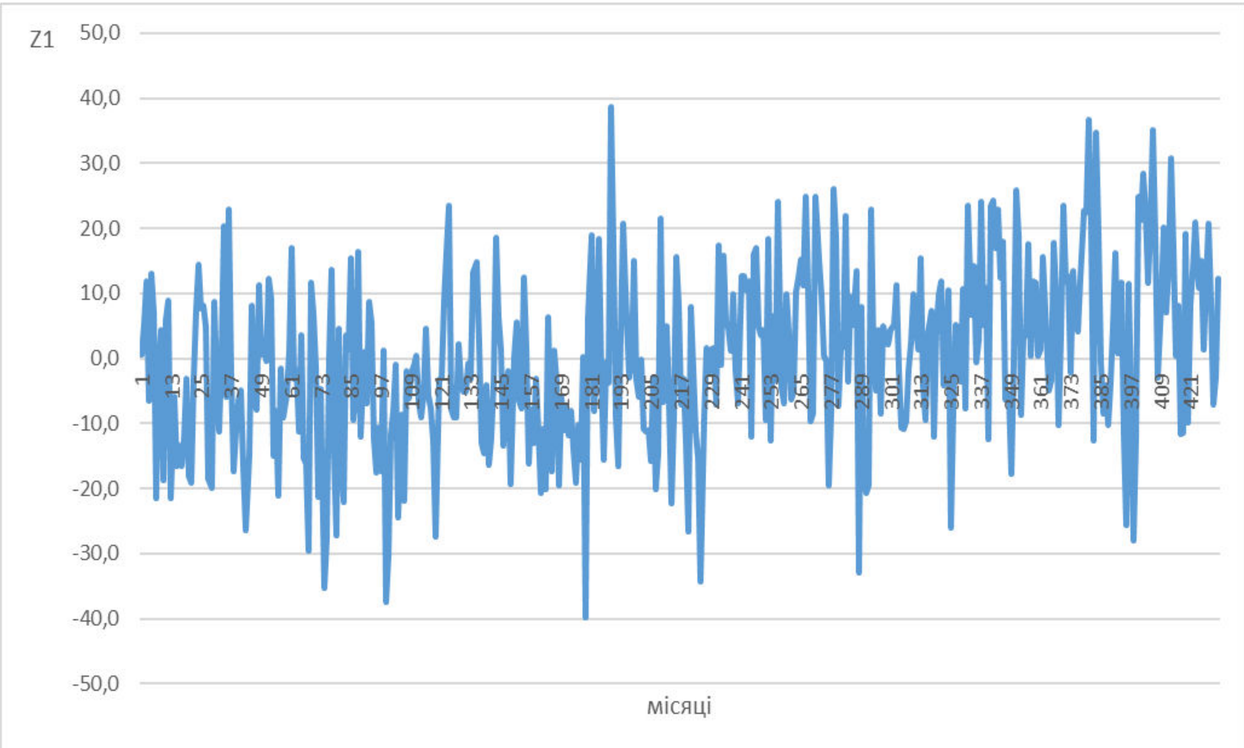

Рис. 4.3 – Часовий ряд першої головної компоненти приземної температури повітря за період 1979 - 2014 рр.

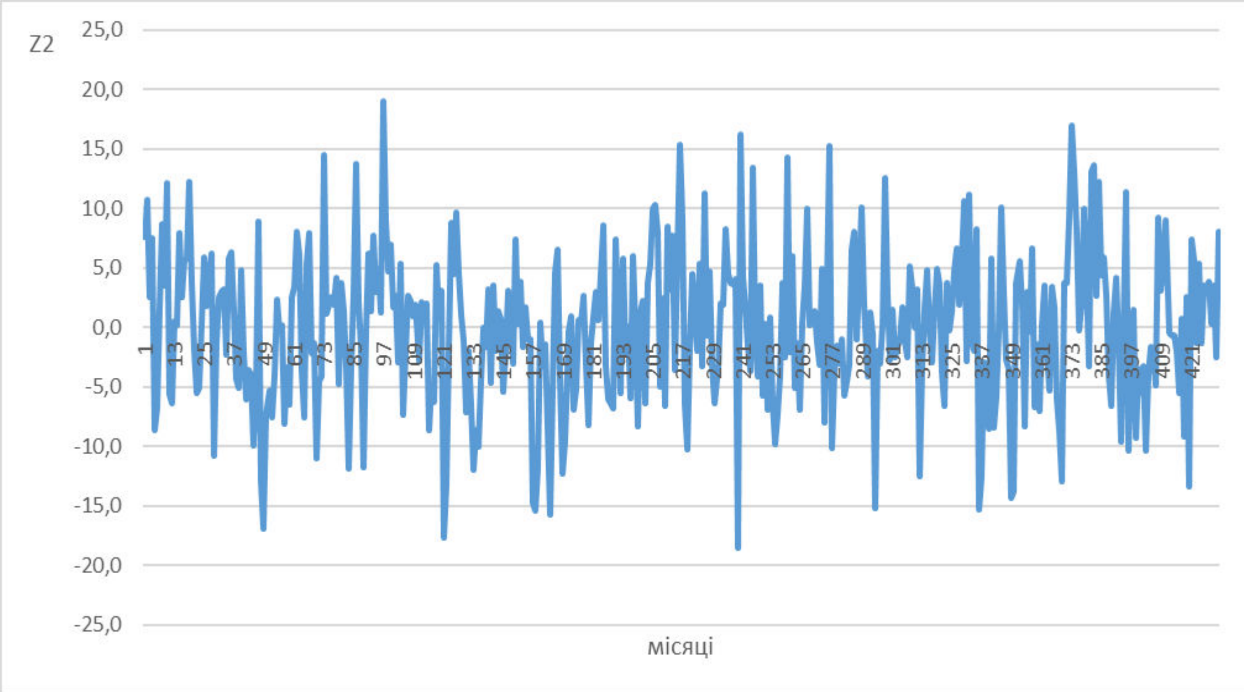

Рис. 4.4 – Часовий ряд другої головної компоненти приземної температури повітря за період 1979 - 2014 рр.

Однак, зазначені складові випадкових процесів можуть бути виявлені шляхом застосування математичних фільтрів. У випадковому процесі, як правило, приховані періодичні складові замасковуються накладеною на них флуктуаційною компонентою. Тому перш за все, розглянемо за допомогою перетворення Фур'є, які статистично значущі періодичності утримуються в випадкових процесах, що досліджуються, а саме у першій й другій головних компонентах полів температури й атмосферного тиску у кожному з регіонів. Для обмеженої на інтервалі $-\boldsymbol{\tau} \leq \mathbf{t} \leq \boldsymbol{\tau}$ вихідної функції перетворення Фур'є має вид [29]

$$F_\tau(i\omega) = \frac{1}{\tau}\int_{-\tau}^{\tau} Z_i(t)\, e^{-i\omega t}\, dt, \tag{4.1}$$

якщо від експоненти у підінтегральній функції перейти до формули Ейлера, то отримуємо

$$F_\tau(i\omega) = u(\omega) - i\upsilon(\omega). \tag{4.2}$$

де

$$u(\omega) = \frac{1}{\tau}\int_{-\tau}^{\tau} Z_i(t)\cos\omega t\, dt, \tag{4.3}$$

$$\upsilon(\omega) = \frac{1}{\tau}\int_{-\tau}^{\tau} Z_i(t)\sin\omega t\, dt. \tag{4.4}$$

Функції (4.3) і (4.4) на частотах ω_k характеризуються різко означеними сплесками. Оскілки, амплітуда $A(\omega_k)$ суперпозиції гармонік

$$Z(t) = \sum_{k-1}^{\infty} A_k \sin(\omega_k t + \varphi_k), \tag{4.5}$$

визначаться функціями (4.3) і (4.4) за допомогою рівняння.

$$A(\omega_k) = \left[u^2(\omega_k) + \upsilon^2(\omega_k)\right]^{\frac{1}{2}}, \tag{4.6}$$

Залежність (4.6) називається амплітудно-частотною характеристикою процесу *Z(t)*. На рисунках 4.5 – 4.8 представлені амплітудно-частотні характеристики для першої та другої полів температури повітря та атмосферного тиску. Алгоритм, представлений рівняннями (4.3), (4.4) і (4.6), удосконалюється введенням у підінтегральну функцію коректуючого «вікна Гіббса»

$$g(t) = \frac{\sin\frac{\pi t}{\tau}}{\frac{2t}{\tau}} \tag{4.7}$$

з метою зменшення впливу кінцевих значень вихідної функції на результати фільтрації функції $Z_i(t)$. Таким чином, дійсна й умовна частина рівності (4.2), визначається формулами [29]

$$u(\omega) = \frac{1}{\tau}\int_{-\tau}^{\tau} g(t)Z(t)\cos\omega t\,dt, \tag{4.8}$$

$$\upsilon(\omega) = \frac{1}{\tau}\int_{-\tau}^{\tau} g(t)Z(t)\sin\omega t\,dt. \tag{4.9}$$

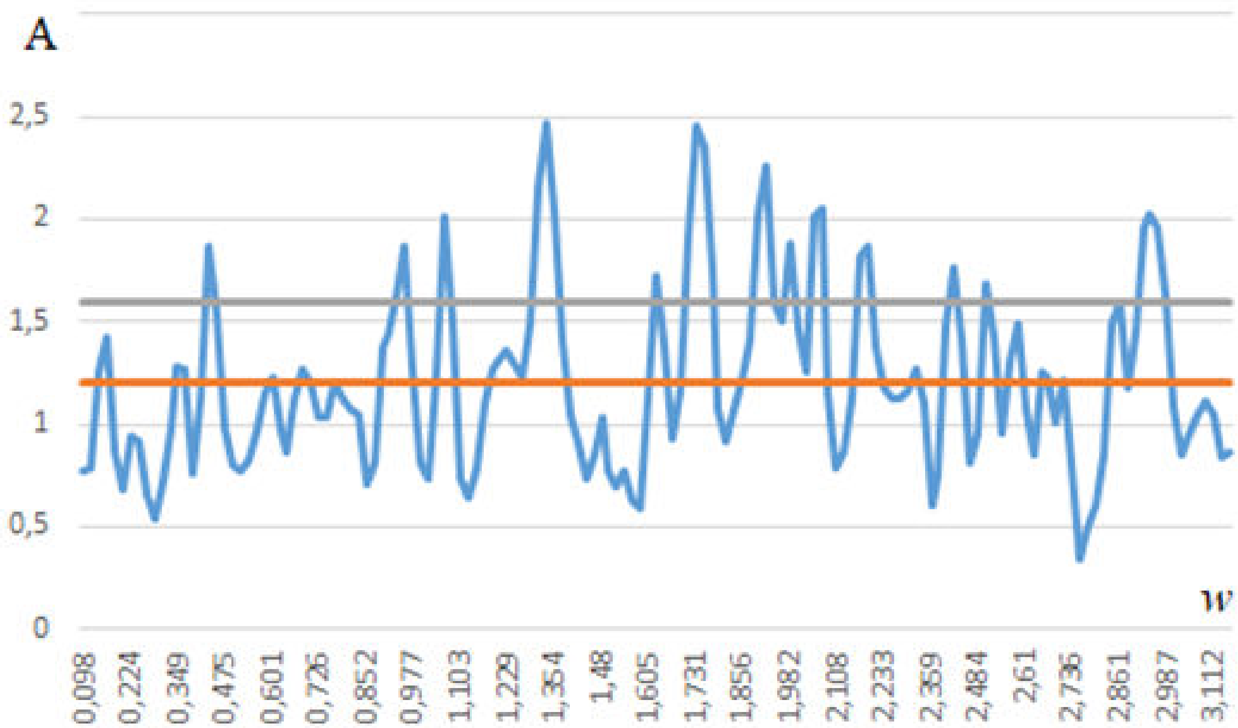

Рис. 4.5 – Амплітудно – частотна характеристика для часового ряду першої головної компоненти атмосферного тиску

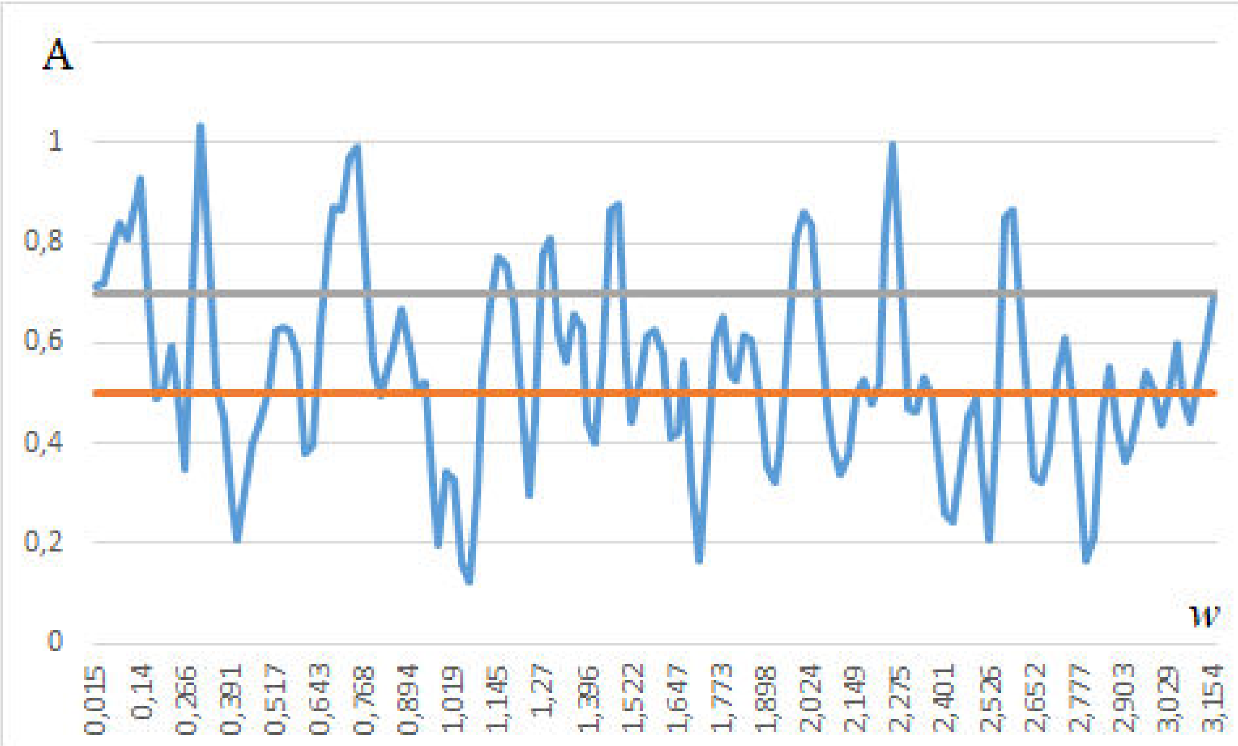

Рис. 4.6 – Амплітудно – частотна характеристика для часового ряду другої головної компоненти $Z_2(p)$ атмосферного тиску

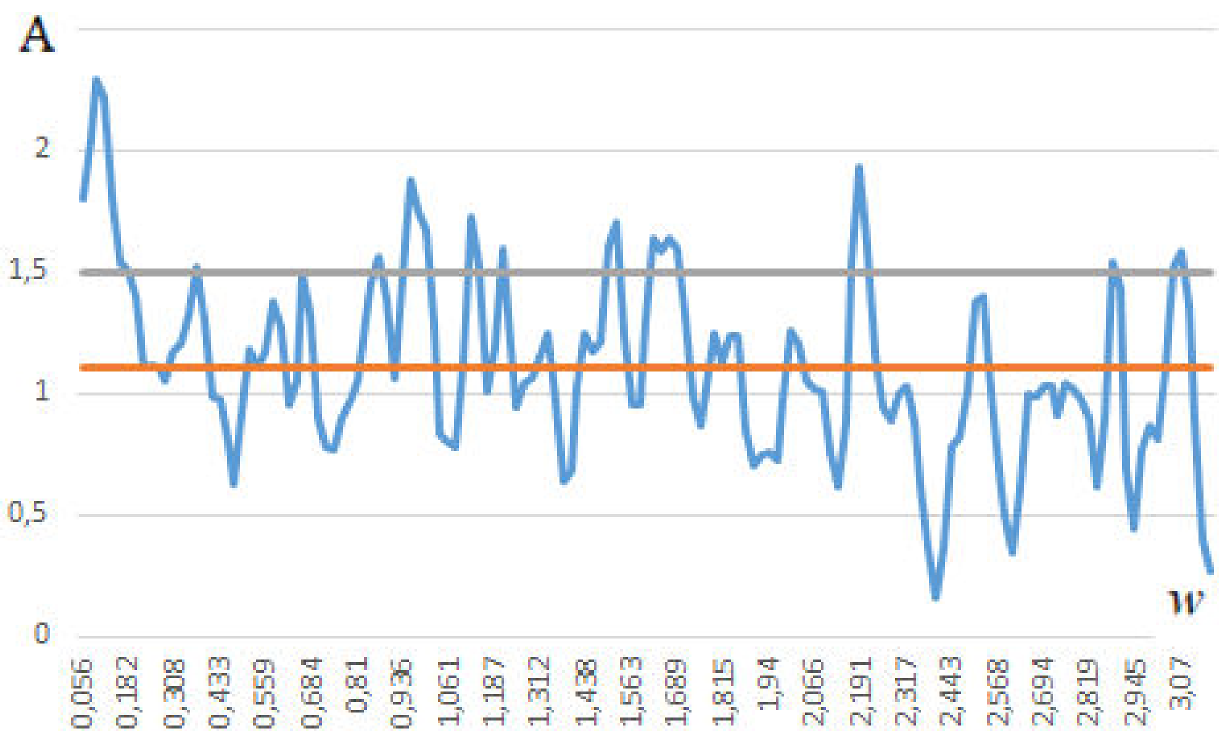

Рис. 4.7 – Амплітудно – частотна характеристика для часового ряду першої головної компоненти температури повітря

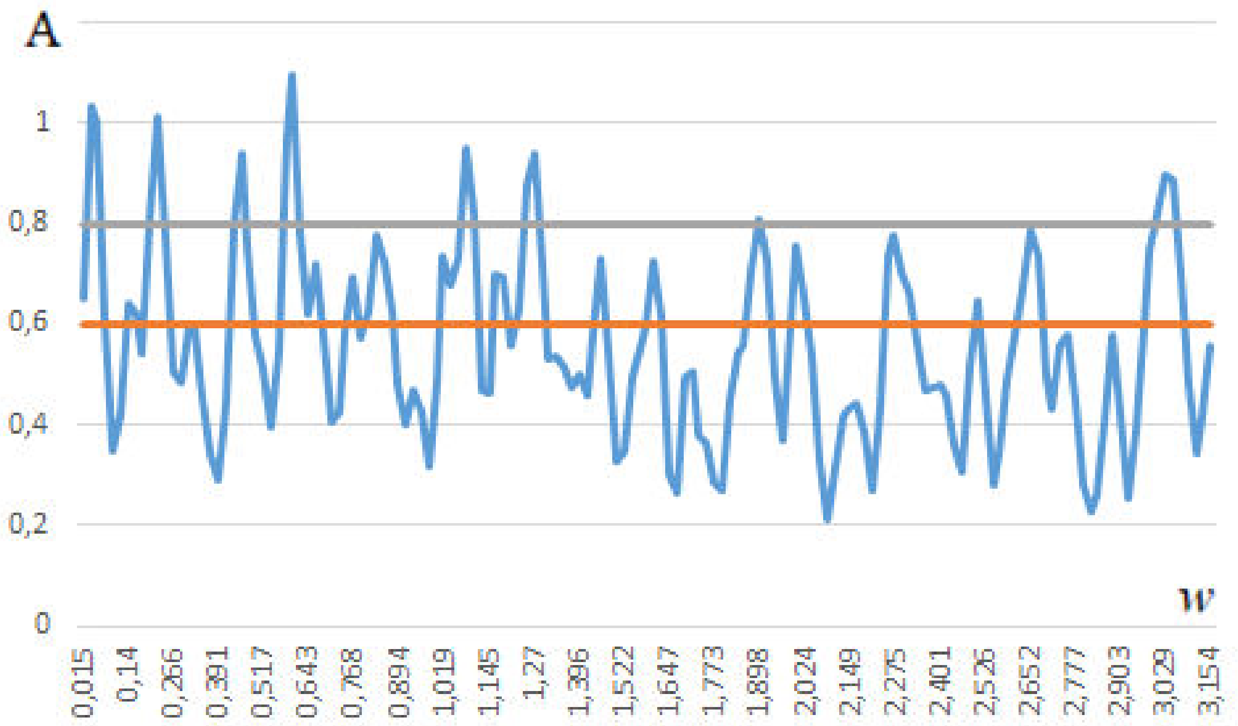

Рис. 4.8 – Амплітудно – частотна характеристика для часового ряду другої головної компоненти $Z_2(t)$ температури повітря

Фазовий зсув для *к*-тої простої гармоніки визначається простим співвідношенням

$$\varphi_k = \operatorname{arctg}\frac{u(\omega_k)}{v(\omega_k)}. \qquad (4.10)$$

Якщо прийняти гіпотезу про те, що амплітуди (4.6) підпорядковуються нормальному закону розподілу ймовірностей, то можна зробити висновок, що достовірними є періодичності з частотою ω_k, амплітуди яких з імовірністю p=0.68, амплітуди яких перевищують значення $\bar{A}+\sigma_a$, де σ_a – середнє квадратичне відхилення амплітуд [29].

4.2. Періодичності у часових рядах головних компонент

Часові ряди головних компонент значень атмосферного тиску і температури повітря, як показали результати процедури виявлення прихованих періодичностей за допомогою перетворення Фур'є, мають одну загальну особливість. Вона полягає в тому, що енергія коливання концентрується як на низьких частотах так і на великих. Це яскраво проявляється в структурі амплітудно-частотних характеристик (АЧХ), що відображені на рисунках 4.1-4.4.

Характеристики для кожної з двох головних компонент атмосферного тиску і температури представлені у таблицях 4.1-4.4. З таблиці 4.1 видно, що першої головної компоненти атмосферному тиску притаманні річні коливання, піврічні, квазіпіврічні, та сезонні коливання.

Таблиця 4.1 – Періодичності у часовому ряді першої головної компоненти атмосферного тиску

ω,*міс*$^{-1}$	0,43	0,96	1,06	1,33	1,63	1,73	1,92	1,98	2,07	2,19	2,42	2,51	2,95
Т,*міс*	15	7	6	5	4	4	3	3	3	3	3	3	2
А	1,9	1,9	2,0	2,5	1,7	2,5	2,3	1,9	2,1	1,9	1,8	1,7	2,0

Аналіз таблиці 4.2 дозволяє стверджувати, що для другої головної компоненти характерно, що основна енергія коливань концентрується на низьких частотах: квазісьомирічні, квазічьотиририрічні. З більшою частотою спостерігаються квазідворічні, піврічні та сезонні коливання.

Таблиця 4.2 – Періодичності у часовому ряді другої головної компоненти атмосферного тиску

ω,*міс*$^{-1}$	0,08	0,14	0,31	0,68	0,75	1,15	1,29	1,48	2.00	2,25	2,59
Т,*міс*	81	45	20	9	8	5	5	4	3	3	2
А	0,8	0,9	1,0	0,9	1,0	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	0,9

У таблиці 4.3 представлені періодичності у часовому ряді першої головної компоненти приземної температури повітря. У цьому часовому ряді спостерігається низькочастотне коливання з періодом 5 років, треба відзначити, що у часовому ряді першої головної компоненти атмосферного тиску низькочастотні коливання відсутні. Також можна бачити з таблиці, що ряд першої е.о.ф. містить квазірічні, піврічні та сезонні коливання.

Таблиця 4.3 – Періодичності у часовому ряді першої головної компоненти приземної температури повітря

ω,*міс*$^{-1}$	0,10	0,37	0,66	0,87	0,96	1,12	1,21	1,52	1,63	1,67	2,19	2,88	3,07
Т,*міс*	64	17	9	7	7	6	5	4	4	4	3	2	2
А	2,3	1,5	1,5	1,6	1,9	1,7	1,6	1,7	1,6	1,6	1,9	1,5	1,6

Головною відзнакою часового ряду другої головної компоненти (табл. 4.4) від першої, це наявність низькочастотного 15-ти річного коливання. Треба зазначити, що статистично значущі коливання у часових рядах першої і другої головних компонент полів температури мають порівняно малу амплітуду. Це зумовлюється, по-перше, тим, що поля температури побудовані для середньомісячних значень, тобто є у значній мірі згладженими оператором осереднення.

Таблиця 4.4 – Періодичності у часовому ряді другої головної компоненти приземної температури повітря

ω,*міс*$^{-1}$	0,04	0,22	0,45	0,60	0,83	1,08	1,27	1,90	2,00	2,28	2,65	3,03
Т,*міс*	177	28	14	10	8	6	5	3	3	3	2	2
А	1,0	1,0	0,9	1,1	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9

По-третє, часові ряди, які розглядаються не визначають температуру, як фізичну величину, а відбивають властивості проекцій векторів полів температури на перші два власні вектори.

5 ВЗАЄМНИЙ СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ГОЛОВНИХ КОМПОНЕНТ ПОЛІВ АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ ТА ІНДЕКСУ ЕЛЬ-НІНЬО – ПІВДЕННЕ КОЛИВАННЯ

5.1. Методика дослідження

Викликає необхідність більш детального дослідження характеристик взаємозв'язків між головними компонентами метеорологічних полів і, як наслідок, самих полів, що розглядаються. Для вирішення цієї задачі доцільно використовувати взаємний спектральний аналіз головних компонент полів приводної температури повітря і атмосферного тиску.

Значення i-тої головної компоненти $(i=\overline{1,n})$ для j-того поля отримується за допомогою ортогонального перетворення

$$Z_{ij}=W_i'\Delta X_j\,, \tag{5.1}$$

де W_i' – транспонований i-тий власний вектор,

ΔX_j — n- вимірне центроване поле для j - того часу.

Оскільки розглядається m таких полів ($j=\overline{1,m}$), то система значень ортогональних компонент m полів є m-вимірним вектором, який можна розглядати як випадковий процес $Z_i\left(t\right)$ (рис. 4.1). Розглянемо взаємні статистичні зв'язки між такими випадковими процесами.

Для двох випадкових процесів $X\left(t\right)$ і $Y\left(t\right)$ стаціонарних і ергодичних, що мають взаємну коваріаційну функцію $K_{xy}\left(\tau\right)$ за допомогою перетворення Фур'є можна отримати взаємну спектральну щільність

$$S_{xy}(\omega)=\frac{1}{2\pi}\int\limits_{-\infty}^{\infty}K_{xy}(\tau)e^{-i\omega\tau}\alpha\tau \qquad (5.2)$$

Взаємна спектральна щільність є функцією комплексною і складається з двох функцій

$$S_{xy}(\omega)=C_{xy}(\omega)-iQ_{xy}(\omega), \qquad (5.3)$$

тобто з ko-спектру $C_{xy}(\omega)$, і квадратурного спектру $Q_{xy}(\omega)$.

Взаємна спектральна щільність характеризується амплітудним спектром

$$A_{xy}(\omega)=\sqrt{C_{xy}^2(\omega)+Q_{xy}^2(\omega)}, \qquad (5.4)$$

і фазовим спектром

$$\psi_{xy}(\omega)=arctg\frac{Q_{xy}(\omega)}{C_{xy}(\omega)}. \qquad (5.5)$$

Значну інформацію про особливості взаємозв’язків між процесами визначає когерентність

$$\gamma_{xy}(\omega)=\sqrt{\frac{C_{xy}^2(\omega)+Q_{xy}^2(\omega)}{S_x(\omega)S_y(\omega)}}. \qquad (5.6)$$

Когерентність дає можливість порівняти на фіксованій частоті ω взаємну енергію цих процесів з енергіями кожного з них, які характеризують їх спектральні щільності $S_x(\omega)$ і $S_y(\omega)$. По сутті, когерентність є спектральним коефіцієнтом кореляції між процесами $X(t)$ і $Y(t)$.

5.2 Взаємний спектральний аналіз першої головної компоненти полів атмосферного тиску та індексу Ель-Ніньо – Південне коливання

Зв'язок між періодичними складовими в часових рядах середньомісячних значень першої головної компоненти полів атмосферного тиску на рівні моря та індексу Ель-Ніньо – Південне коливання (ЕНПК) досліджувався за допомогою взаємного спектрального аналізу. Алгоритм дослідження стаціонарних випадкових процесів реалізовано на ПЕОМ за допомогою комп'ютерної програми "Spektr". В результаті реалізації одержані статистичні оцінки взаємної спектральної щільності середньомісячних значень першої головної компоненти полів атмосферного тиску та індексу ЕНПК для досліджуваного регіону (вибірка склала 36 років) (табл. 4.1).

Таблиця 5.1 – Статистичні оцінки взаємної спектральної щільності першої головної компоненти полів атмосферного тиску та індексу ЕНПК

№ з/п	$Sx(\omega)$	$Sy(\omega)$	$C_{xy}(\omega)$	$Q_{xy}(\omega)$	$\gamma(\omega)$	$T_{\hat{e}}$, *ì ³ñÿöü*	$\psi_{xy}(\omega)$, град.
26	235,94	0,09	-1,36	-4,39	0,98	9,8	72,8
61	128,86	0,01	0,33	0,82	0,87	4,2	68,1
62	196,26	0,01	0,63	1,12	0,92	4,1	60,7
63	202,58	0,01	0,69	0,93	0,86	4,1	53,5
92	7,6	0	0,14	0,03	0,91	2,8	12,1

За даними таблиці 5.1 побудовані графіки функцій: ко-спектра $C_{xy}(\omega)$ (рис. 5.1), квадратурного спектра $Q_{xy}(\omega)$ (рис. 4.2) та взаємної когерентності процесів $\gamma(\omega)$ (рис. 4.3).

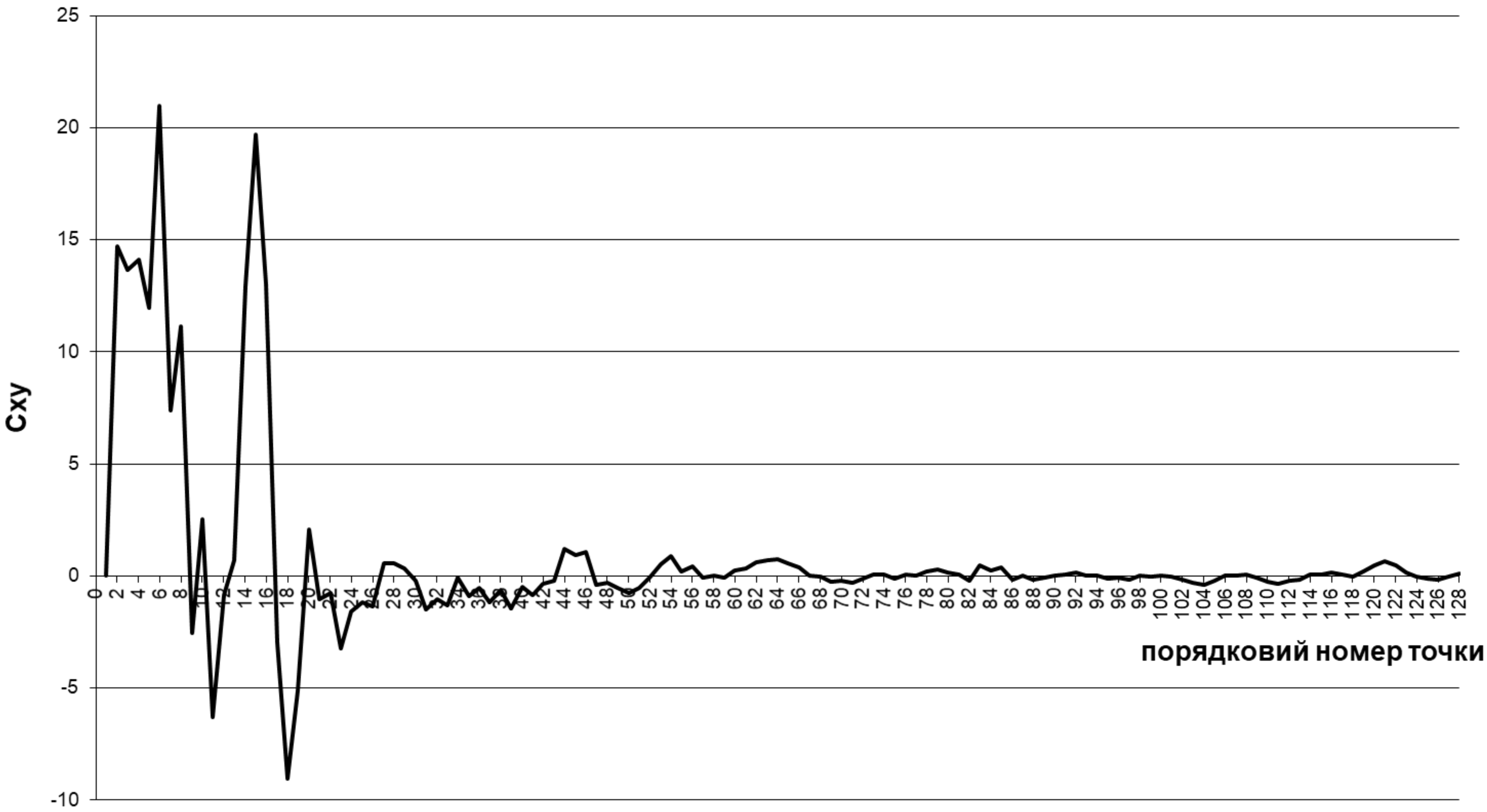

Рис. 5.1 – Ко-спектр процесів: перша головна компонента поля атмосферного тиску на рівні моря та індекс ЕНПК

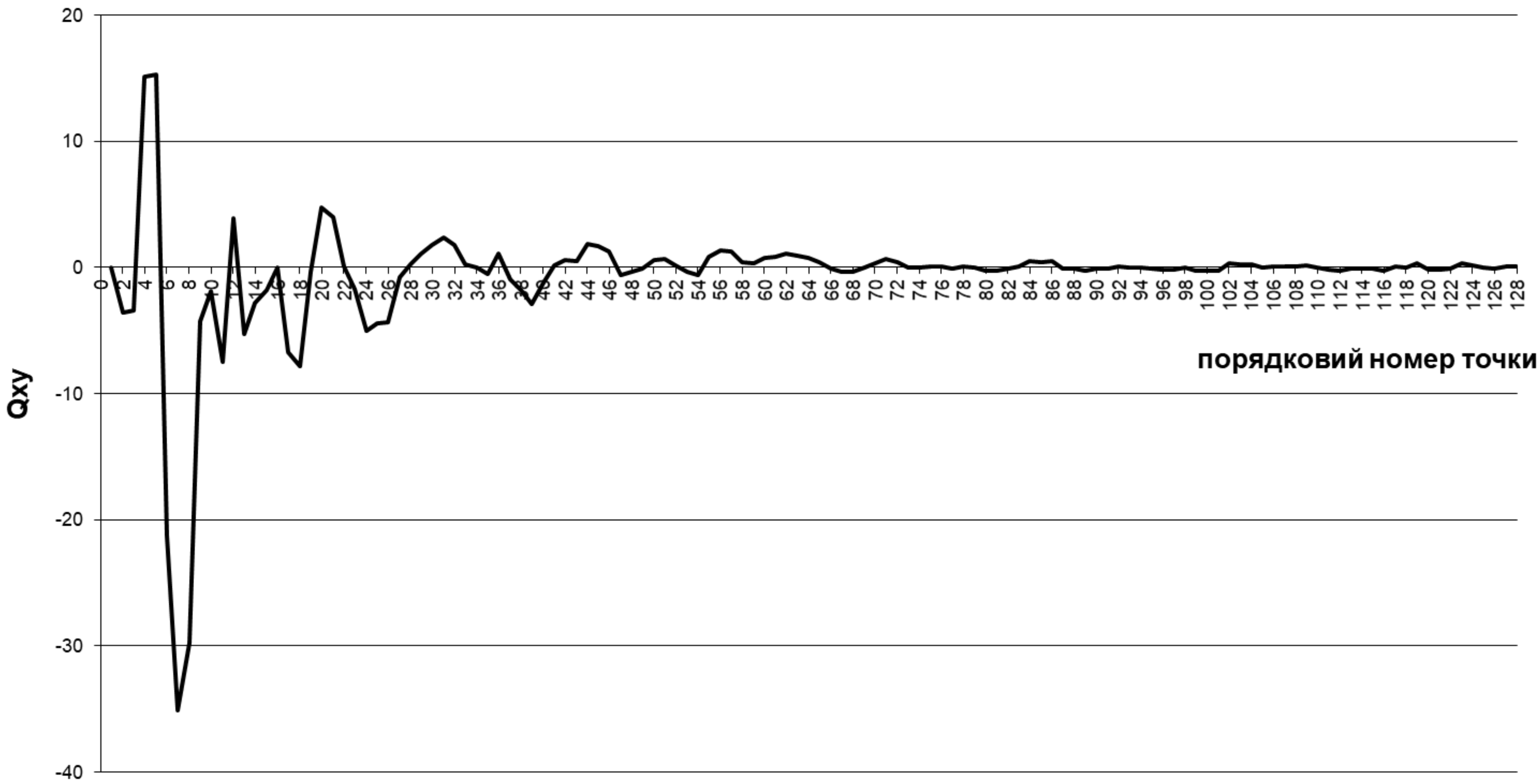

Рис. 5.2 – Квадратурний спектр процесів: перша головна компонента поля атмосферного тиску на рівні моря та індекс ЕНПК

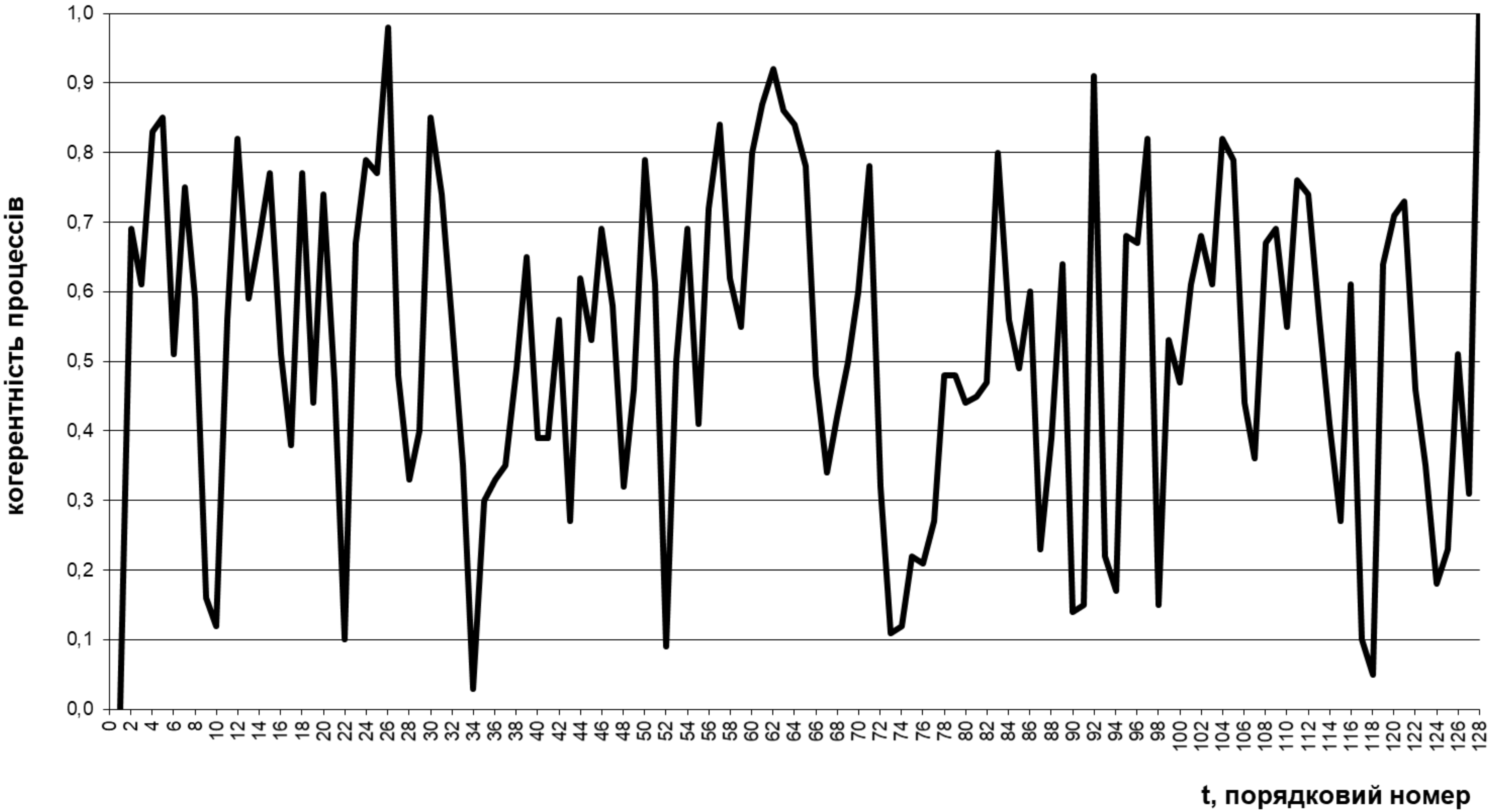

Рис. 5.3 – Когерентність процесів: перша головна компонента поля атмосферного тиску на рівні моря та індекс ЕНПК

Вірогідність статистичних оцінок взаємної спектральної щільності визначаємо по когерентності за умови $\gamma = 0{,}85$. Взаємна когерентність процесів, має сенс коефіцієнта взаємної кореляції процесів X та Y і визначає тісноту кореляційного зв’язку між цими процесами на фіксованих частотах.

За допомогою методики, яка була викладена у, були розраховані спектральні щільності окремих випадкових процесів, а саме першої головної компоненти полів атмосферного тиску на рівні моря [процес $X(t)$] та індексу ЕПДК [процес $Y(t)$]. На рис. 5.4 та 5.5 представлені відповідні спектрограми.

Як випливає з рис. 5.4 в спектральній щільності середньомісячних значень першої головної компоненти полів атмосферного тиску на рівні моря виявлені квазірічні коливання з періодом 10,7 місяця, піврічні коливання – 6,6 місяця та сезонні коливання – 4,7, 3,6, 3,0 та 2,1 місяця. Також виявлені коливання з періодом 8,3 місяця.

В спектральній щільності середньомісячних значень індексу ЕНПК (рис. 4.5) виявлені квазірічні (12,2 місяця), квазіпіврічні (6,9, 5,6 місяця) та сезонні (4,9 місяця) коливання. Також виявлені коливання з періодом 42,7 місяця (3,6 року) та 17,1 місяця (1,4 року).

Далі був визначений початок фази кожного процесу. Як показали розрахунки, для гармонік усіх періодів, взаємозв’язок здійснюється у фазі з незначним (менше «частоти Найквіста») випередженням процесу, який характеризує першу головну компоненту полів атмосферного тиску на рівні моря, відносно процесу, який характеризує індекс ЕНПК. Це свідчить про наявність великомасштабного процесу, який одночасно впливає на зміну і атмосферного тиску, та індексу ЕНПК.

Отримані висновки довели існування тісного кореляційного зв’язку між періодичними складовими в часових рядах першої головної компоненти полів атмосферного тиску на рівні моря та індексу ЕНПК. Цей зв’язок спостерігається з зсувом синоптичного масштабу, частіше всього від трьох днів до двох-трьох тижнів.

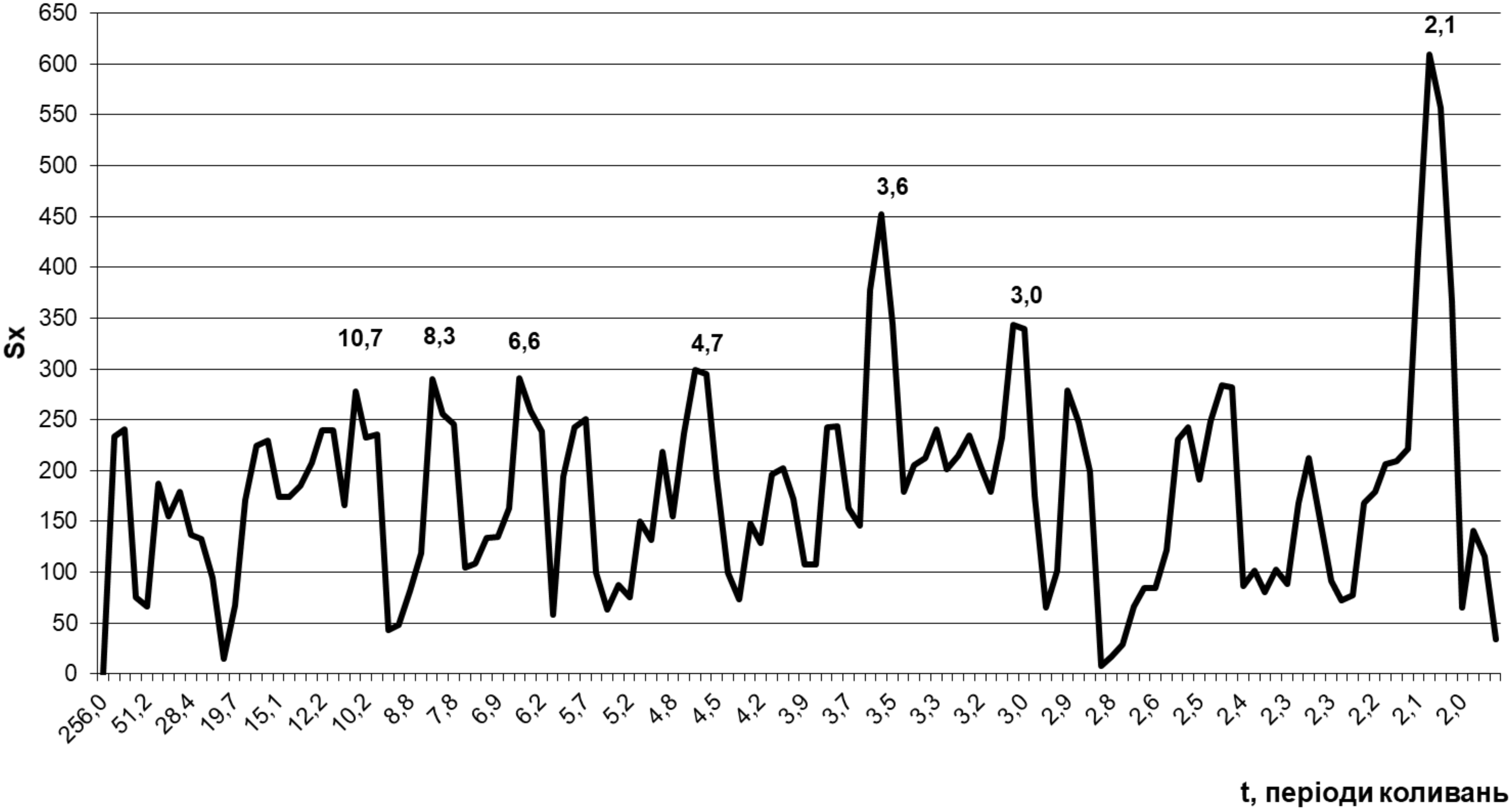

Рис. 5.4 – Спектрограма середньомісячних значень першої головної компоненти полів атмосферного тиску на рівні моря

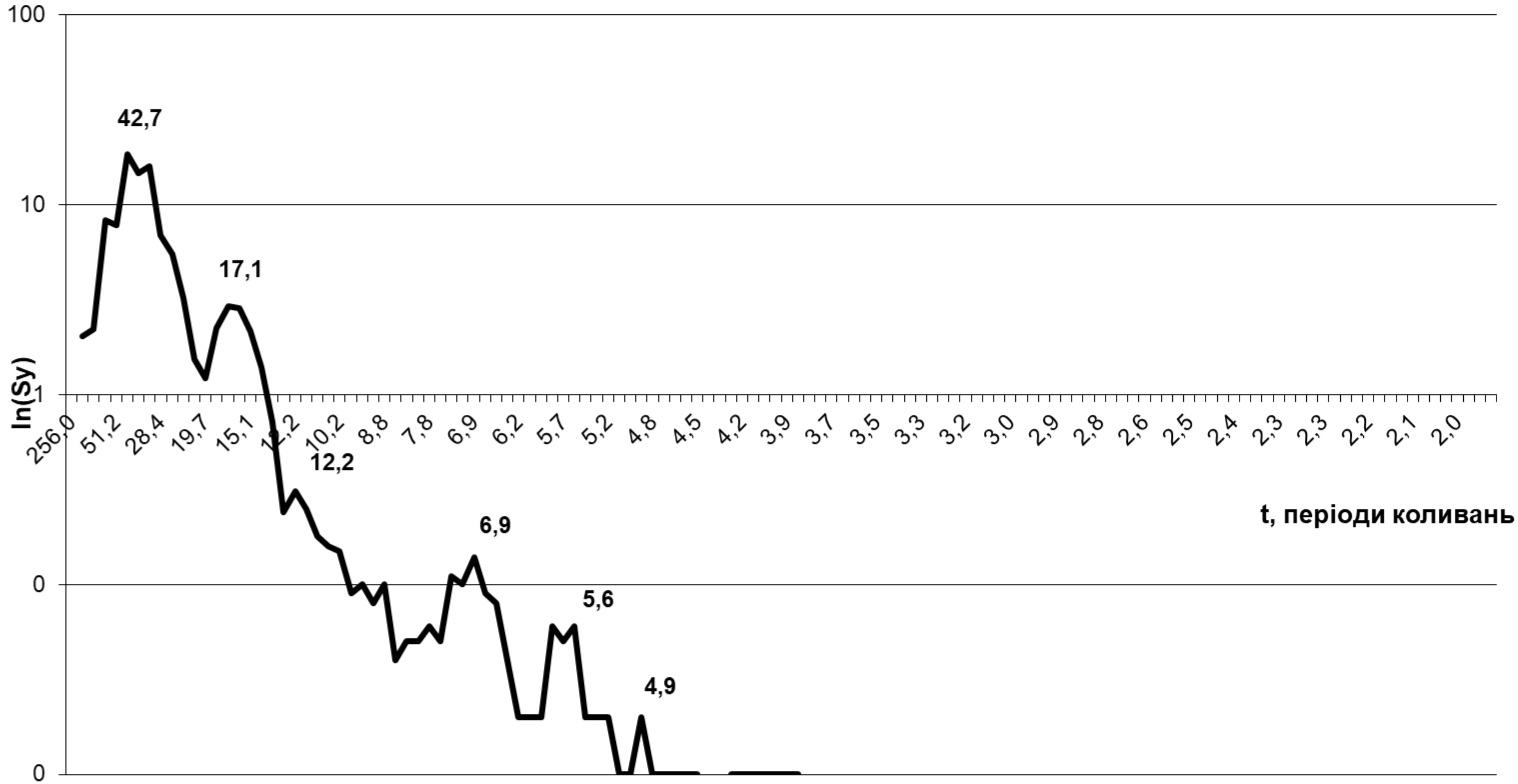

Рис. 5.5 – Спектрограма середньомісячних значень індексу ЕПДК

5.3 Взаємний спектральний аналіз другої головної компоненти полів приземної температури повітря та індексу Ель-Ніньо – Південне коливання

Зв'язок між періодичними складовими в часових рядах середньомісячних значень другої головної компоненти полів атмосферного тиску на рівні моря та індексу Ель-Ніньо – Південне коливання (ЕПДК) також досліджувався за допомогою взаємного спектрального аналізу. В результаті проведених розрахунків одержані статистичні оцінки взаємної спектральної щільності середньомісячних значень другої головної компоненти полів атмосферного тиску та індексу ЕПДК для досліджуваного регіону (вибірка склала 36 років) (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

Статистичні оцінки взаємної спектральної щільності для середньомісячних значень другої головної компоненти полів атмосферного тиску та індексу ЕПДК

№ з/п	$Sx(\omega)$	$Sy(\omega)$	$C_{xy}(\omega)$	$Q_{xy}(\omega)$	$\gamma(\omega)$	$T_{\hat{e}}, \grave{i}$ ³ñÿöü	$\psi_{xy}(\omega)$, град.
24	79,72	0,16	-0,46	3,13	0,87	10,7	278,3
34	65,21	0,05	1,52	-0,68	0,91	7,5	335,9
85	28,13	0,00	-0,10	0,27	0,90	3,0	290,3
86	33,60	0,00	-0,21	0,24	0,89	3,0	311,2
110	26,47	0,00	0,15	-0,06	0,85	2,3	338,2

За даними таблиці 5.2 побудовані графіки функцій: ко-спектра $C_{xy}(\omega)$ (рис. 5.6), квадратурного спектра $Q_{xy}(\omega)$ (рис. 5.7) та взаємної когерентності процесів $\gamma(\omega)$ (рис. 5.8).

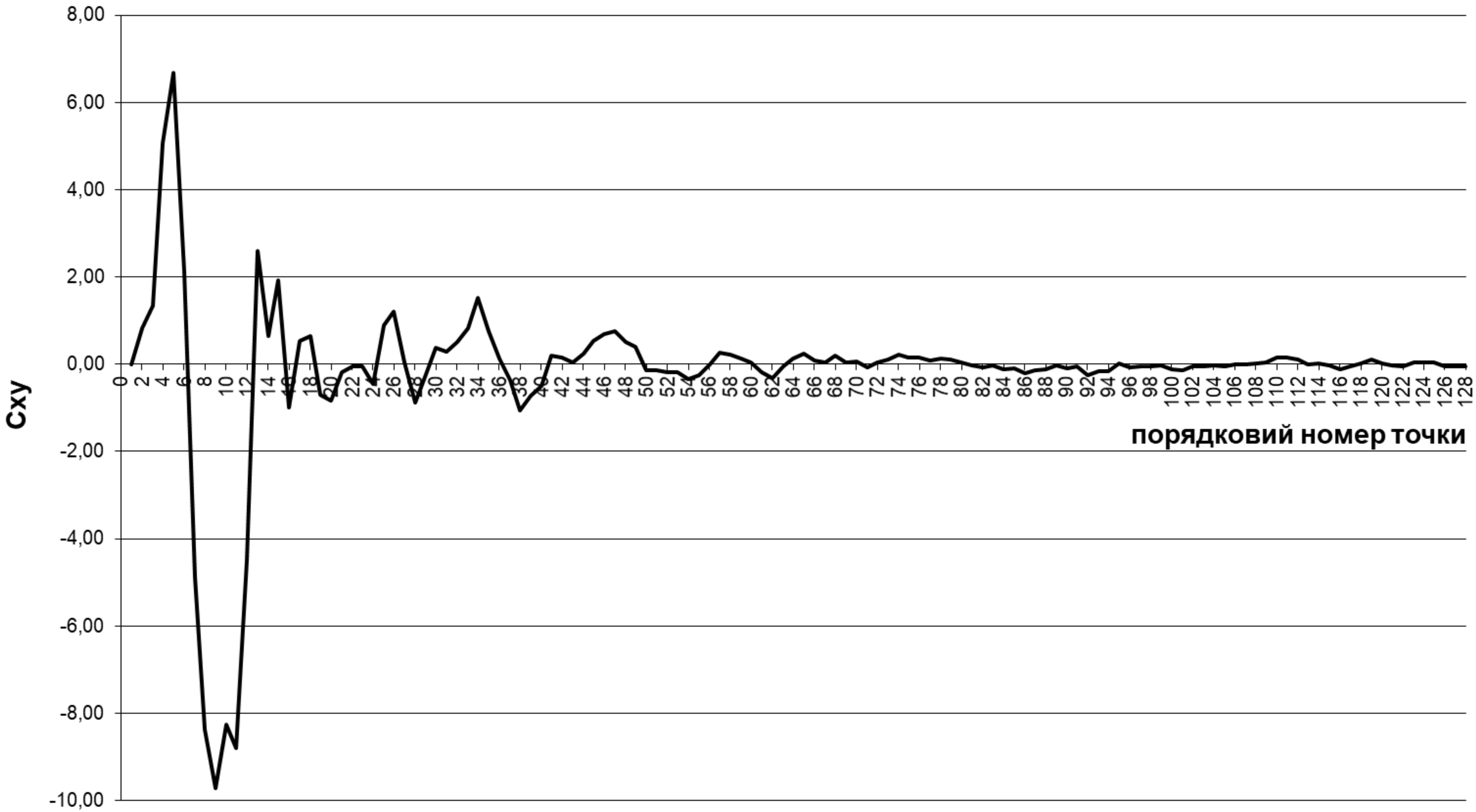

Рис. 5.6 – Ко-спектр процесів: друга головна компонента полів атмосферного тиску на рівні моря та індекс ЕПДК

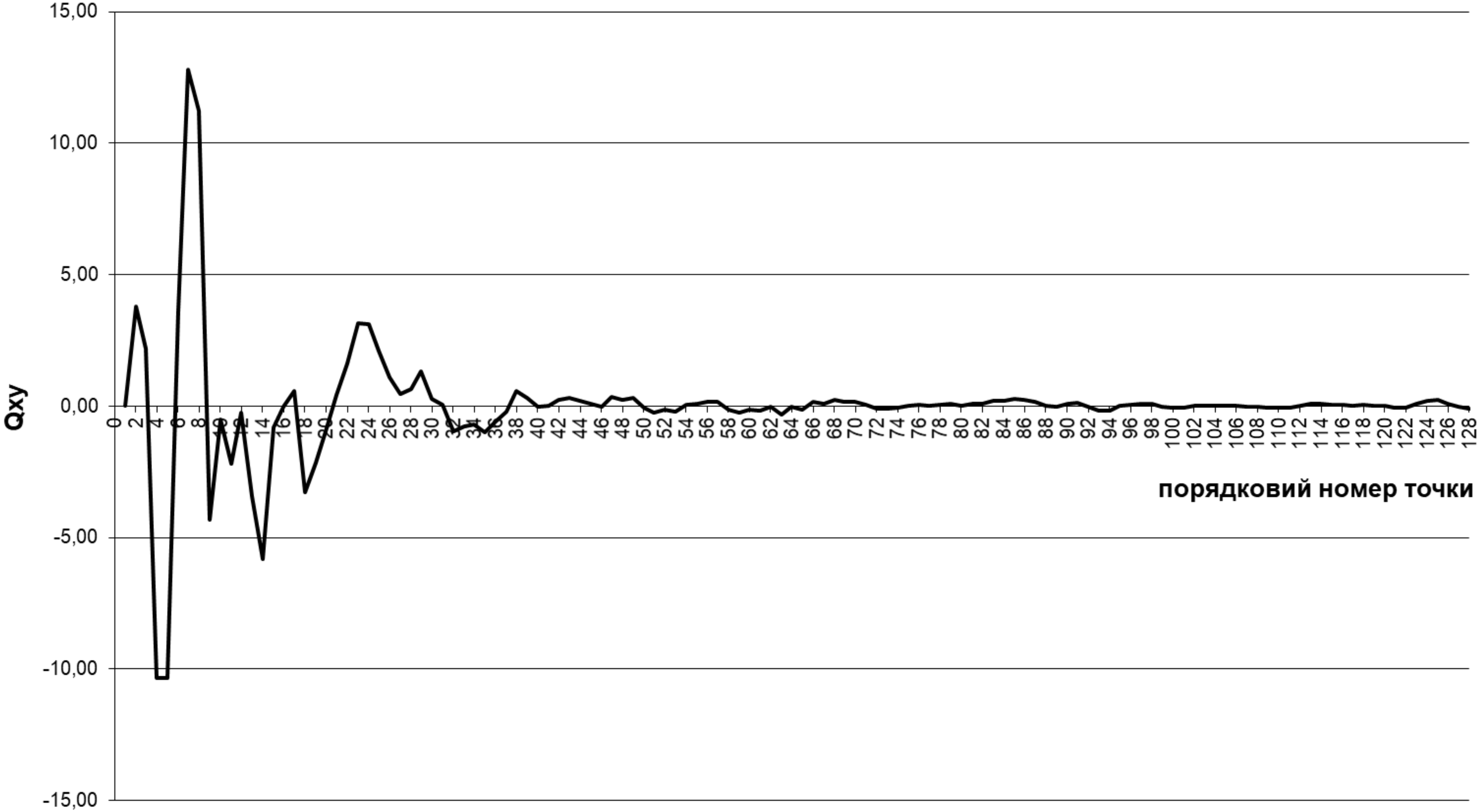

Рис. 5.7 – Квадратурний спектр процесів: друга головна компонента полів атмосферного тиску на рівні моря та індекс ЕНПК

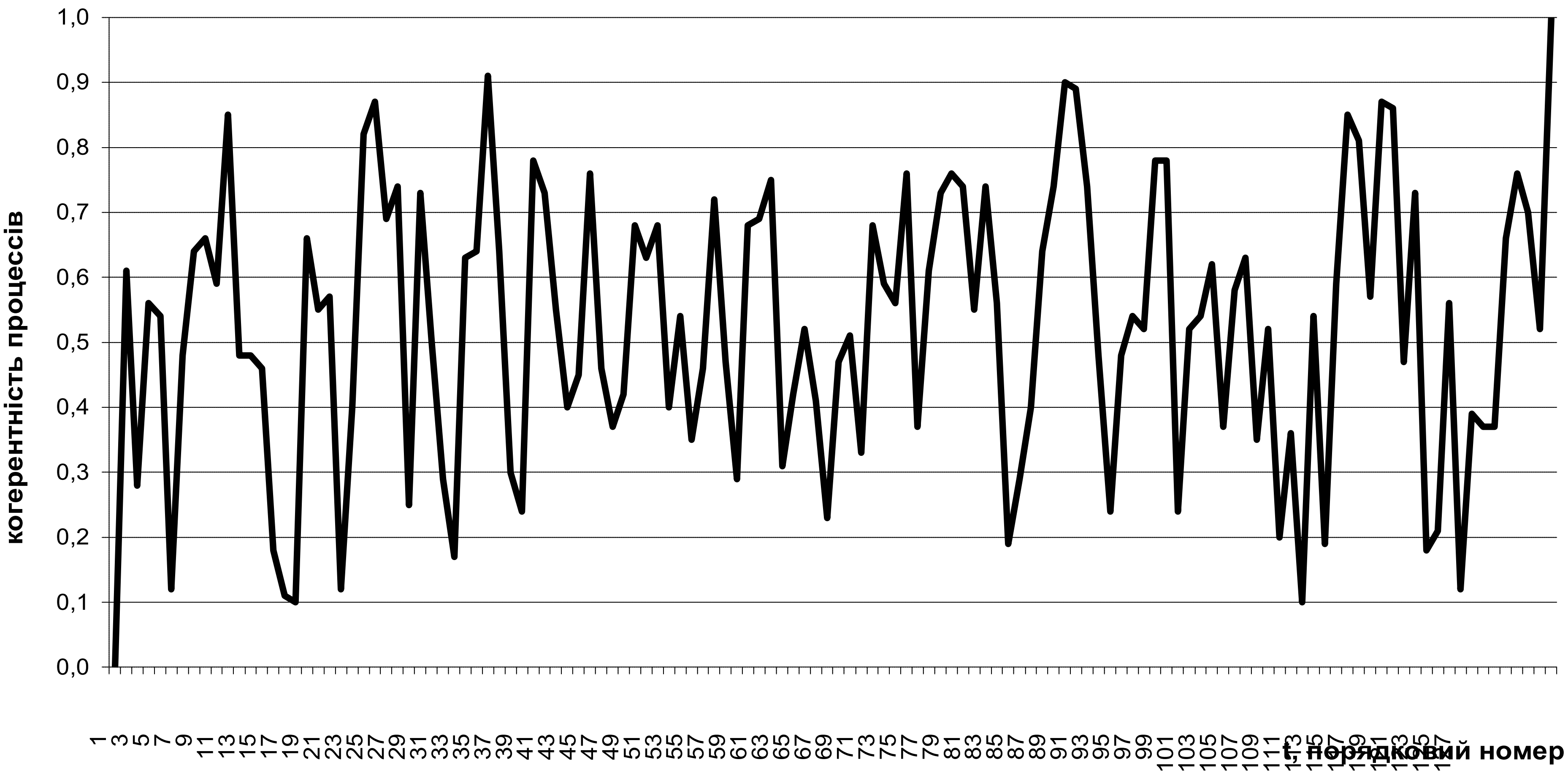

Рис. 5.8 – Когерентність процесів: друга головна компонента полів атмосферного тиску на рівні моря та індекс ЕНПК

Вірогідність статистичних оцінок взаємної спектральної щільності визначаємо по когерентності за умови $\gamma = 0{,}85$. Як уже зазначалося раніше, взаємна когерентність процесів, має сенс коефіцієнта взаємної кореляції процесів X та Y і визначає тісноту кореляційного зв’язку між цими процесами на фіксованих частотах.

За допомогою методики, яка була викладена у, були розраховані спектральні щільності окремих випадкових процесів, а саме другої головної компоненти полів атмосферного тиску на рівні моря [процес $X(t)$] та індексу ЕПДК [процес $Y(t)$]. На рис. 5.9 та 5.10 представлені відповідні спектрограми.

Як випливає з рис. 5.9 в спектральній щільності середньомісячних значень другої головної компоненти полів атмосферного тиску на рівні моря виявлені квазірічні коливання з періодом 11,1 місяця, піврічні коливання – 5,4 місяця та сезонні коливання – 4,1 та 2,8 місяця. Також виявлені коливання з періодом 18,3 місяця та 8,8 місяця.

В спектральній щільності середньомісячних значень індексу ЕНПК (рис. 5.10) також виявлені квазірічні (12,2 місяця), квазіпіврічні (6,9, 5,8 місяця) та сезонні (4,9 місяця) коливання. Також виявлені коливання з періодом 42,7 місяця (3,6 року) та 16,0 місяця (1,43 року).

Далі був визначений початок фази кожного процесу. Як показали розрахунки, для гармонік усіх періодів, взаємозв’язок здійснюється у профазі з випередженням процесу, який характеризує індекс ЕНПК, відносно процесу, який характеризує другу головну компоненту полів атмосферного тиску на рівні моря.

Отримані висновки довели існування тісного кореляційного зв’язку між періодичними складовими в часових рядах другої головної компоненти полів атмосферного тиску на рівні моря та індексу ЕНПК. Виявлена залежність другої головної компоненти від індексу ЕНПК. Ця залежність спостерігається з зсувом сезонного масштабу, від двох до восьми місяців.

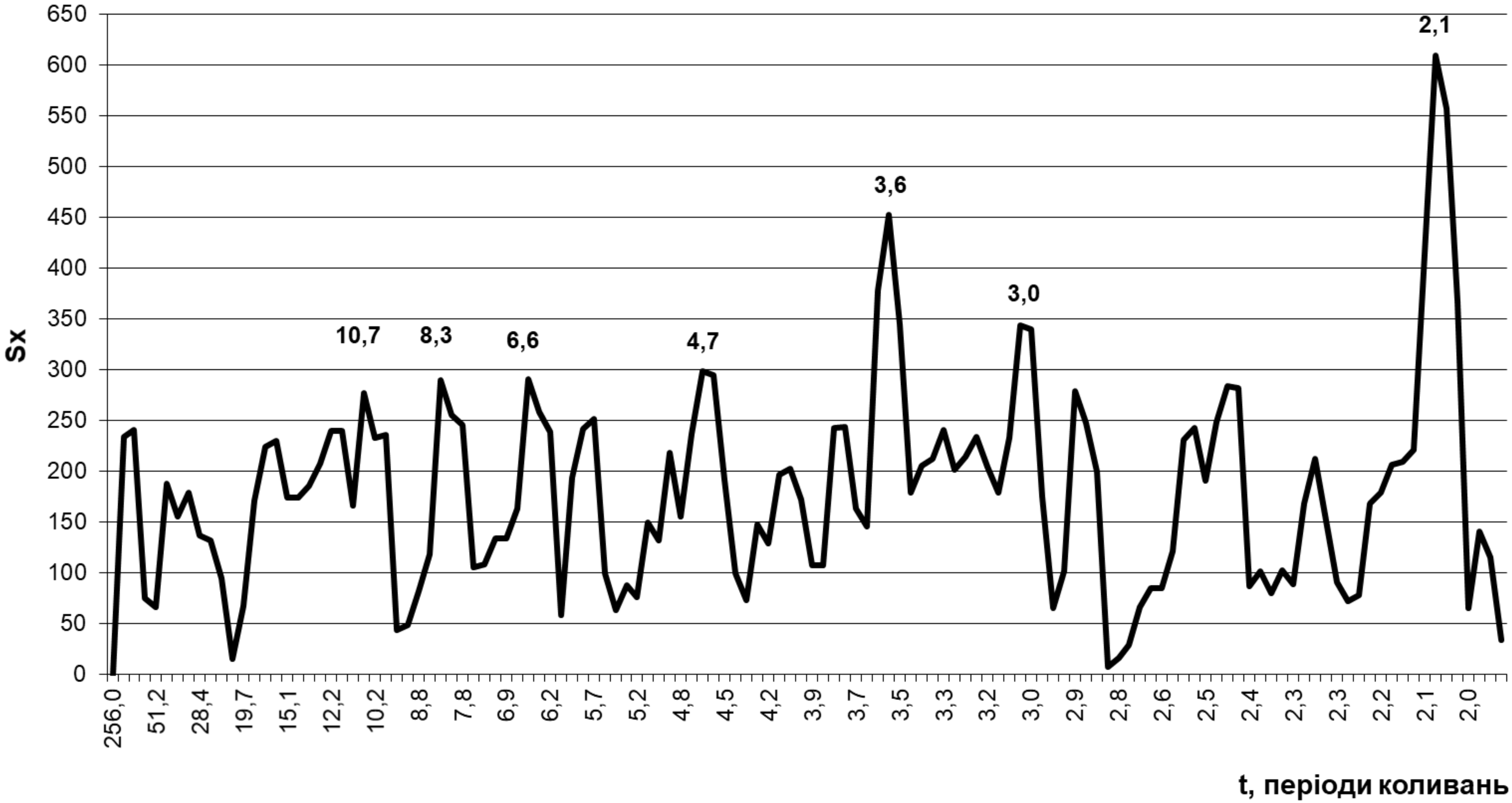

Рис. 5.9 – Спектрограма середньомісячних значень другої головної компоненти полів атмосферного тиску на рівні моря

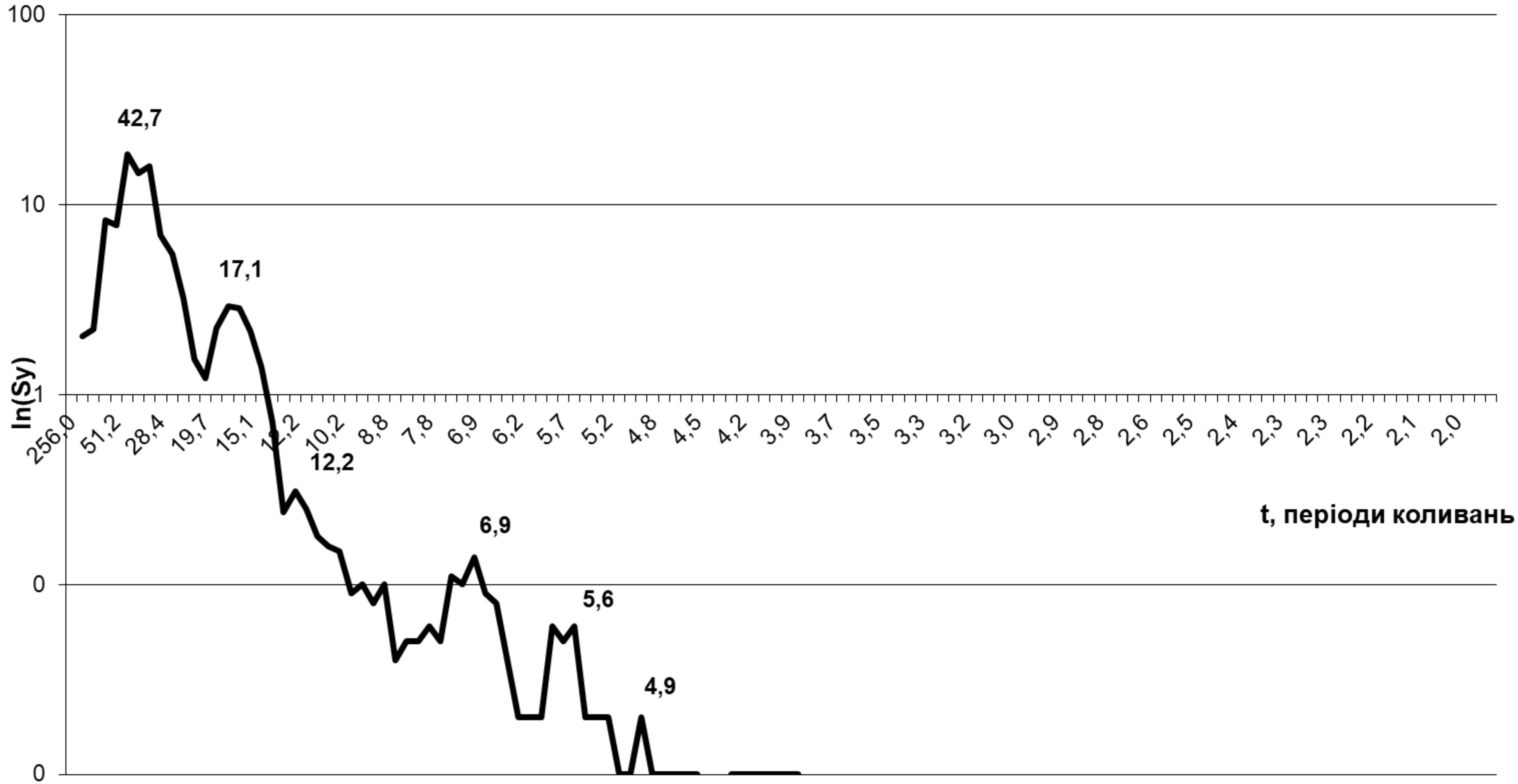

Рис. 5.10 – Спектрограма середньомісячних значень індексу ЕНПК

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження особливостей термічного режиму Причорноморського регіону за даними проекту ERA Interim Європейського Центру середньострокових прогнозів погоди (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) Рідінг, Великобританія, які представляють собою середньомісячні значення приземної температури повітря у вузлах регулярної мережі 1 на 1^{o} в діапазоні 38° - 50° півн.ш. і 25° - 45° сх.д. за період з 1979 по 2015рр. дозволили зробити наступні висновки:

1. головні сезонні особливості погоди в середземноморській кліматичній зоні, і над Чорним морем, формуються під впливом Сибірського та Азорського максимумів, Азіатського мінімуму та Середземноморського зимового циклону, що добре видно з полів середніх значень приземної температури повітря та атмосферного тиску;
2. поля атмосферного тиску, та приземної температури повітря характеризуються значною мінливістю: у всі місяці року добре виражена область мінімальних значень середньоквадратичних відхилень приземної температури повітря над акваторією Чорного моря.
3. компонентний аналіз полів атмосферного тиску та приземної температури повітря у Причорноморському регіоні дав змогу виявити важливі особливості циркуляційних процесів, які розвиваються в атмосфері цього сектора. Понад 80% сумарної дисперсії полів досліджуваних метеорологічних величин вичерпують у всі місяці року перші три власні значення. Отже, відповідні перші три власні вектори є характеристиками найбільш великомасштабних циркуляційних процесів у Причорноморському регіоні;
4. перші три ортогональні компоненти приземної температури повітря, дисперсії яких вичерпують понад 80% сумарної дисперсії, є головними компонентами, які відображають особливості найбільш

великомасштабних процесів. Часові ряди цих головних компонент містять в собі інформацію про динаміку відповідних процесів. Аналіз амплітудно-частотних характеристик процедури виявлення прихованих періодичностей показав, що в часовому ряді першої головної компоненти, атмосферного тиску, містяться 5-ти річна, квазідвох річна, а також річна та сезонні періодичності. В часовому ряді другої головної компоненти виявлені 15-ти річні періодичності, а також річна, піврічна та сезонні періодичності.

5. за допомогою взаємного спектрального аналізу було досліджено глобальні статистичні взаємозв'язки між головними компонентами атмосферного тиску і характеристиками осциляції: Ель-Ніньо-Південне коливання (ЕНПК). Аналіз когерентності дозволив визначити статистичний зв’язок гармонік різного періоду, що дозволило порівняти взаємну енергію досліджуваних процесів на фіксованій частоті з енергією кожного з цих процесів на тій же частоті.

6. в спектральній щільності першої головної компоненти полів приземної температури повітря з імовірністю 95% виявлені коливання з періодом 42,7 місяця (3,6 року), 25,6 місяця (2,1 року), 21,3 місяця (1,8 року), а також квазірічні коливання (11,1 місяця) та піврічні коливання(6,2 місяця);

7. в спектральній щільності другої головної компоненти полів приземної температури повітря з ймовірністю 95% виявлені коливання з періодом 64,0 місяця (5,3 року), 28,4 місяця (2,4 року), 23,3 місяця (1,9 року), квазірічні коливання (12,2 та 9,8 місяця), а також квазіпіврічні коливання (8,3, 7,1, 5,8, 5,0 місяця) та сезонні коливання (3,8 місяця).

8. в спектральній щільності середніх місячних значень індексу ЕНПК виявлені коливання з періодом 42,7 місяця (3,6 року), 17,1 місяця (1,4 року), а також річні коливання (12,2 місяця) та квазіпіврічні коливання(6,2, 5,6 та 4,9 місяця).

Аналіз отриманих результатів дослідження дозволяє зробити висновок про існування тісного кореляційного зв’язку між періодичними складовими в часових рядах індексу ЕНПК та першої (другої) головної компоненти полів приземної температури повітря. Виявлена залежність головних компонент полів приземної температури повітря від індексу ЕНПК. Ця залежність спостерігається з зсувом від 280,7 до 311,0º.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Глобальная рамочная основа для климатического обслуживания [Электронный ресурс]: GFCS. – Режим доступа: http://www.gfcs-climate.org/documents/GFCSflyer_ru.pdf.

2. *Монин А.С.* Введение в теорию климата. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 246 с.

3. *Хохлов В.Н., Иванов А.В.* Количественное описание изменений климата в конце XX – начале XX1 века. // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2008. – Вип. 50. – С. 221-226.

4. Framework Convention on Climate Change, UN FCCC Caring for Climate: A guide to the Climate Change Convention and the Kyoto Protocol (revised 2005 edition). – 2005. – ISBN 92-9219-020-2.

5. Progress Report on the Implementation of the Global Observing System for Climate in Support of the UNFCCC 2004-2008. GCOS-129. WMO-TD/No. 1489. GOOS-173. GTOS-70). August 2009. – 112 p.

6. Scientific Assessment of the Effects of Global Change on the United States. A Report of the Committee on Environment and Natural Resources National Science and Technology Council. – 2008. – 271 p.

7. *Врублевська О.О., Касаджик Т.Л.* Річна амплітуда температури повітря як показник динаміки клімату України // Вісник Одеського Державного Екологічного Університету. – 2012. – Вип. 14. – С. 86-92.

8. *Волощук В.М.* Глобальне потепління і клімат України: регіональні екологічні та соціально-економічні аспекти. – К.: Видавничо-поліграфічний центр „Київський університет”, 2002. – 17 с.

9. *Барабаш М.Б., Татарчук О.Г., Гребенюк Н.П., Корж Т.В.* Современное состояние режима осадков на территории Украины как следствие изменения климата // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2011. С. 198-206.

10. *Врублевська О.О., Касаджик Т.Л.* Про динаміку режиму зволоження і континентальності клімату України // Вісник Харківського національного університету ім. В.Н.Каразіна. – 2012. – Вип. 38. – С. 167-172.

11. *Гопченко Е.Д., Лобода Н.С.* Оценка возможных изменений водных ресурсов Украины в условиях глобального потепления // Гидробиологический журнал. – К.: Институт гидробиологии НАН Украины. – 2000. – Т.36, №3. – С. 67-78.

12. *Данова Т.Е., Касаджик Т.Л.* Оценка современной изменчивости повторяемости и количества осадков статистическими методами // Научные ведомости БелГУ: Серия Естественные науки. – 2013. – № 7 (160), Вып. 24. – С. 155-162.

13. *Данова Т.Е., Касаджик Т.Л.* Пространственно-временное распределение осадков на территории Украины в условиях современного изменения климата // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна (серія: географія, екологія, геологія). – 2013. – Вип. 38. – С. 101-109.

14. *Касаджик Т.Л., Данова Т.Е.* Влияние современных климатических изменений на снегонакопление в Причерноморском регионе // Статті доповідей IV Всеукраїнського з’їзду екологів з міжнародною участю. – 2013 . – С. 190-192.

15. *Данова Т.Е.* Пространственно-временное распределение опасных явлений погоды теплого периода в Северном Причерноморье // Тези доповідей молодих вчених. Метеорологія, кліматологія і гідрологія. Міжвідомчий науковий збірник України. – 2000. – Вип. 40. – С. 8.

16. *Данова Т.Е., Перелыгин Б.В.* Повторяемость стихийных явлений погоды в районе Северного побережья Черного моря // Сборник трудов второй международной научной конференции с элементами научной школы «Инновационные методы и средства исследований в области физики атмосферы, гидрометеорологии, экологии и изменения климата». – Ставрополь: СКФУ, 2015. – С. 153-156.

17. *Логвинов К.Т. Бабиченко В.Н., Кулаковская М.Ю* Опасные явления погоды на Украине. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 236 с.

18. *Польовий А.М.* Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроекосистем. – К.: КНТ, 2007. – 344 с.

19. *Польовий А.М., Кульбіда М.І., Трофімова І.Т., Адаменко Т.І.* Вплив змін клімату на сільське господарство півдня України // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – К.: КНТ, 2005. – Вип. 49. – С. 252-260.

20. *Данова Т.Е.* Мониторинг климатических изменений в Причерноморском регионе: Монография. – 2016. –180 с.

21. *Хромов С.П.* Метеорология и климатология. – Л.: Гидрометеоиздат, 1968. – 492 с.

22. *Kottek M.* World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated // Meteorologische Zeitschrift. – 2006. –Vol. 15, No. 3. – P 259–263.

23. *McKnight, Tom L.; Hess D* .Climate Zones and Types: The Köppen System // Physical Geography: A Landscape Appreciation. – Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. – 2000. – P. 200-210.

24. *Peel M.C. Finlayson B.L., McMahon T.A*. Updated world map of the K¨oppen-Geiger climate classification // Hydrol. Earth Syst. – 2007. – Sci. 11. – P. 1633–1644.

25. *Альтман Л.П.* Черное море. Экономико-географический очерк. Л.: Знание, 1975. –40 с.

26. *Берг Л.С.* Географические зоны Советского Союза. Том II. – М.: Государственное издательство географической литературы, 1952. – 152с.

27. *Гандин Л.С., Каган Р.Л.* Статистические методы интерпретации метеорологических данных. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 359 с.

28. *Григор'єв В.І., Ніколаєв М.В.* Особливості розподілу атмосферного тиску та температури повітря в Причорноморському регіоні // Матеріали XXXIII Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку науки на початку третього тисячоліття у країнах Європи та Азії». – 2016. – С. 42-44.

29. *Школьний Є.П., Лоєва І.Д., Гончарова Л.Д.* Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: підручник. – К.: Міносвіти України, 1999. – 600 с.

30. *Прокоф'єв О.М.* Використання взаємного спектрального аналізу для оцінки взаємозв'язку вологовмісту та приземної температури антарктичного повітря // Науковий вісник Чернівецького університету (серія „Географія"). – 2014.– Вип. 724-725. – С. 95 – 99.

ДОДАТКИ

Додаток А – Поля середніх значень приземної температури повітря

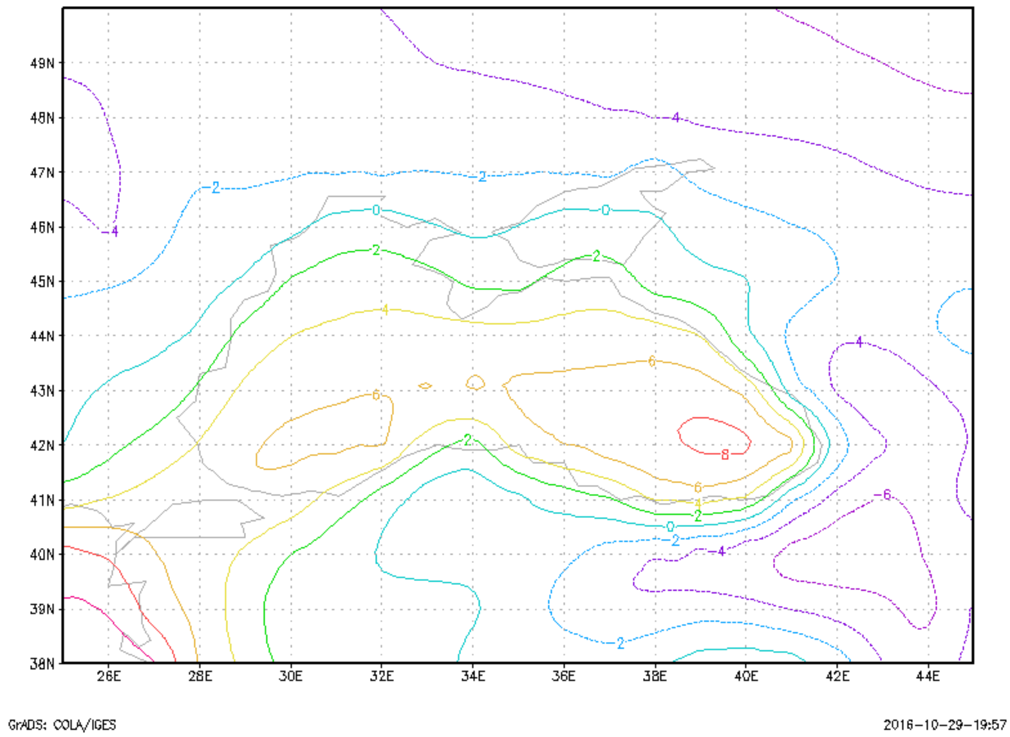

Рис. А.1 – Поле середніх значень приземної температури повітря (січень)

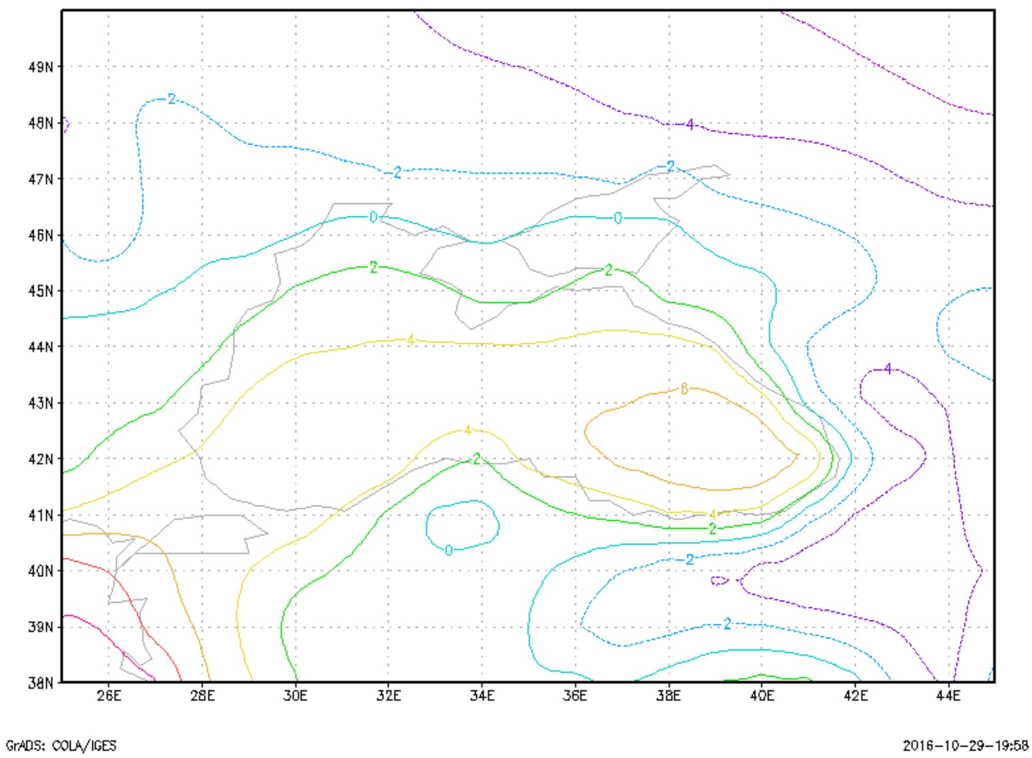

Рис. А.2 – Поле середніх значень приземної температури повітря (лютий)

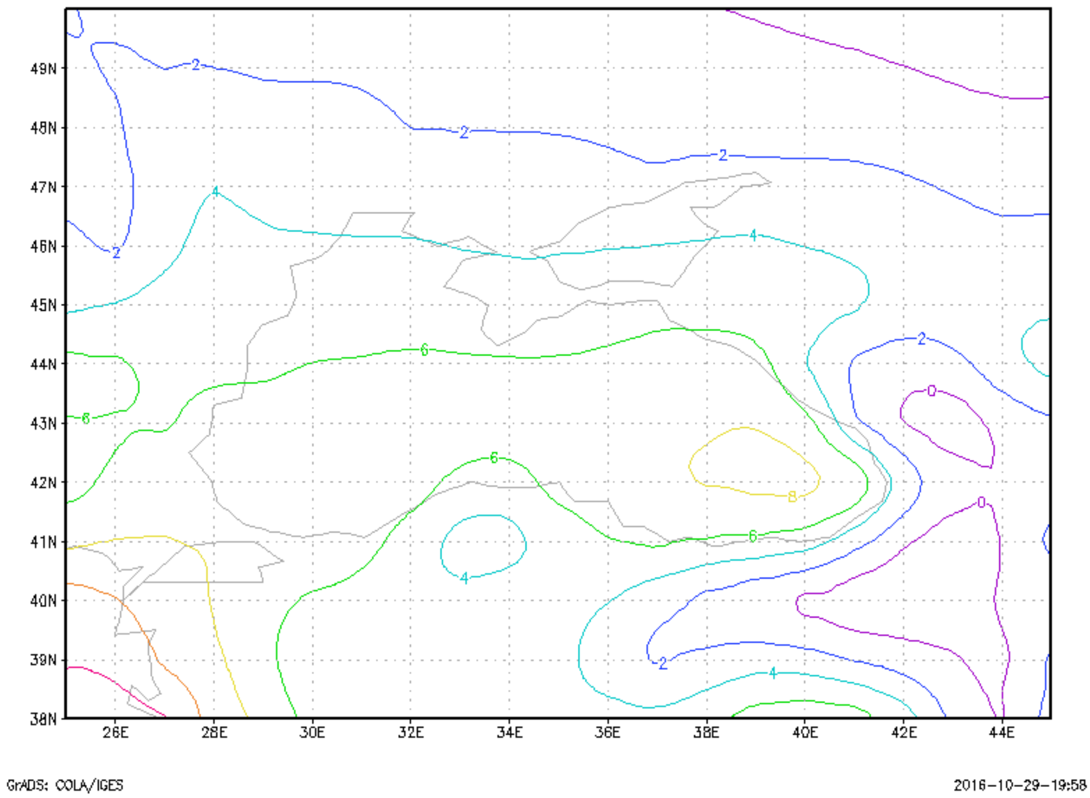

Рис. А.3 – Поле середніх значень приземної температури повітря (березень)

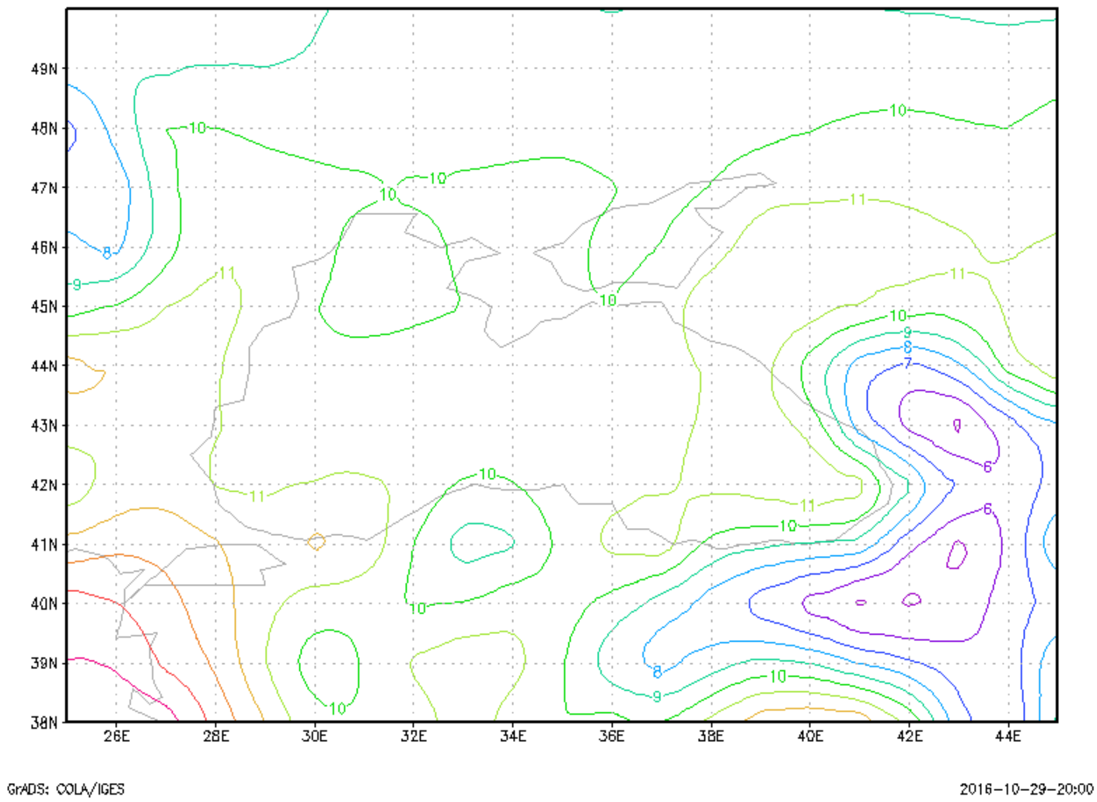

Рис. А.4 – Поле середніх значень приземної температури повітря (квітень)

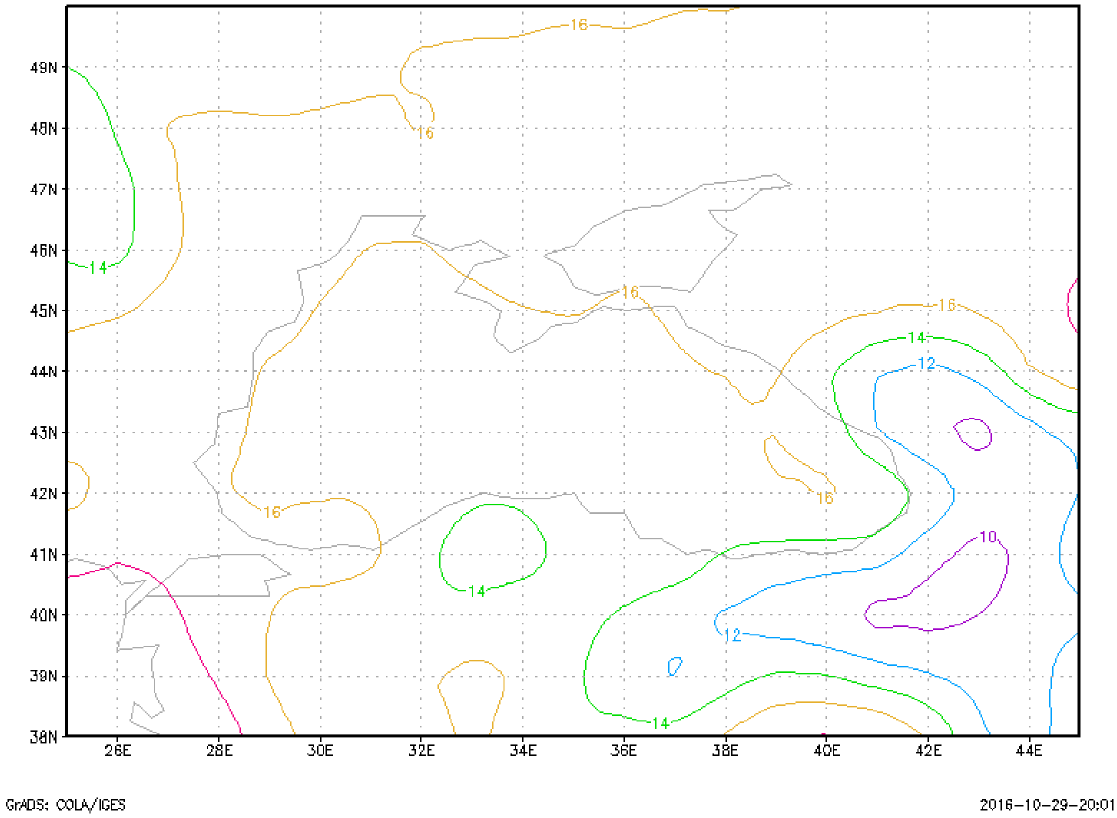

Рис. А.5 – Поле середніх значень приземної температури повітря (травень)

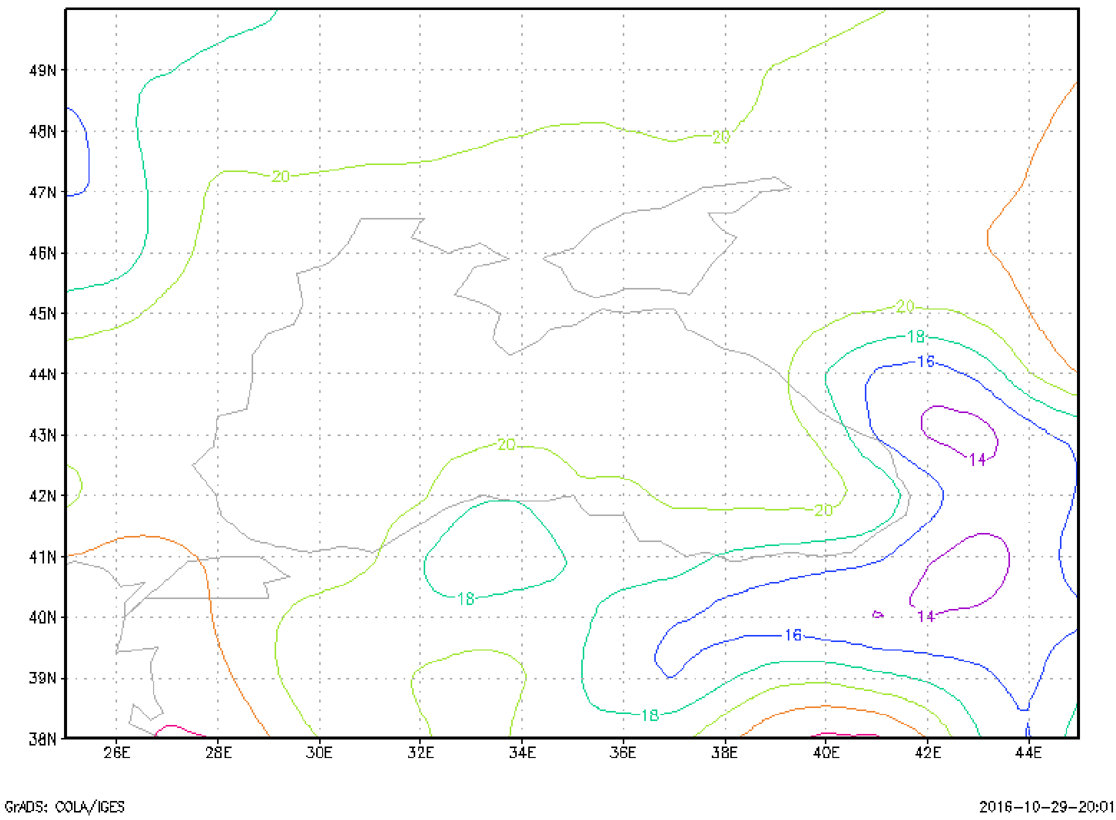

Рис. А.6 – Поле середніх значень приземної температури повітря (червень)

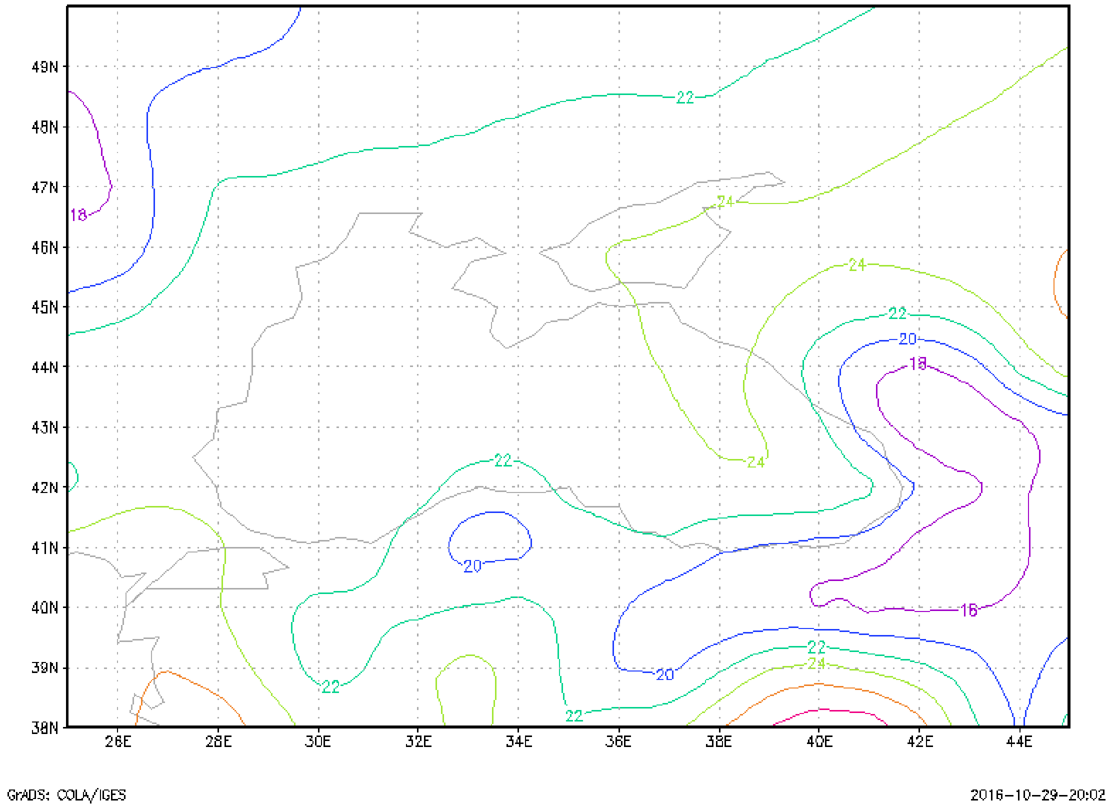

Рис. А.7 – Поле середніх значень приземної температури повітря (липень)

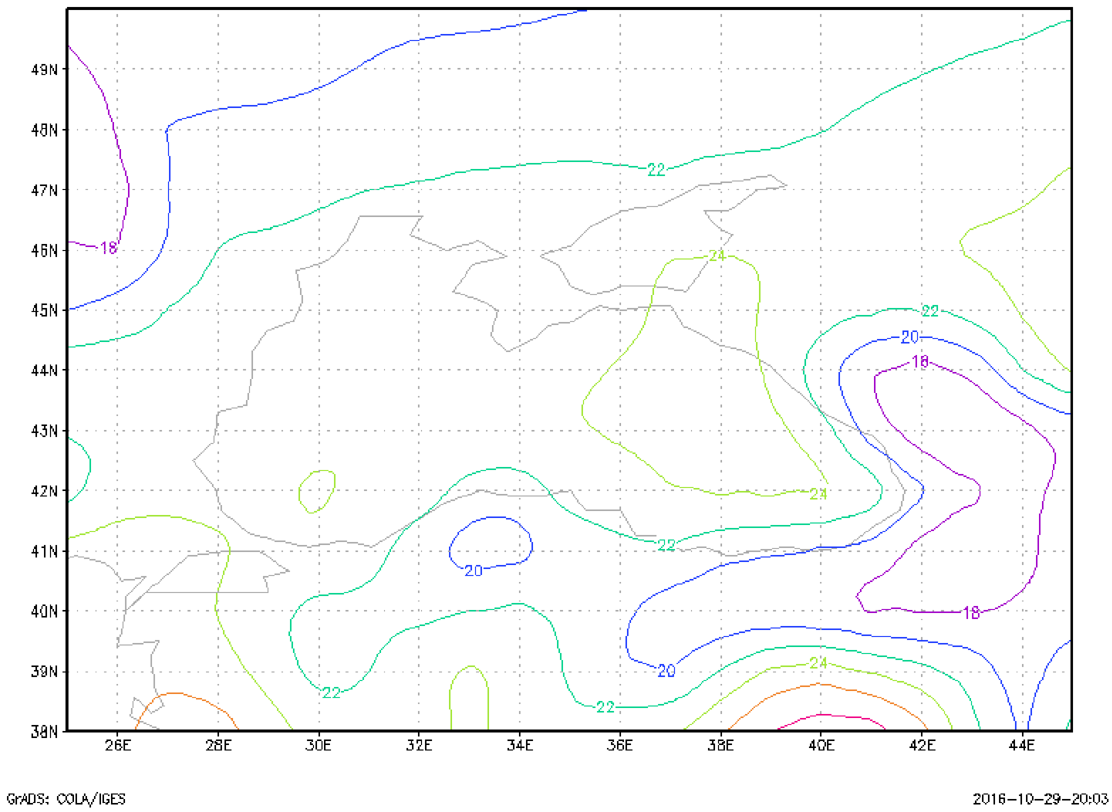

Рис. А.8 – Поле середніх значень приземної температури повітря (серпень)

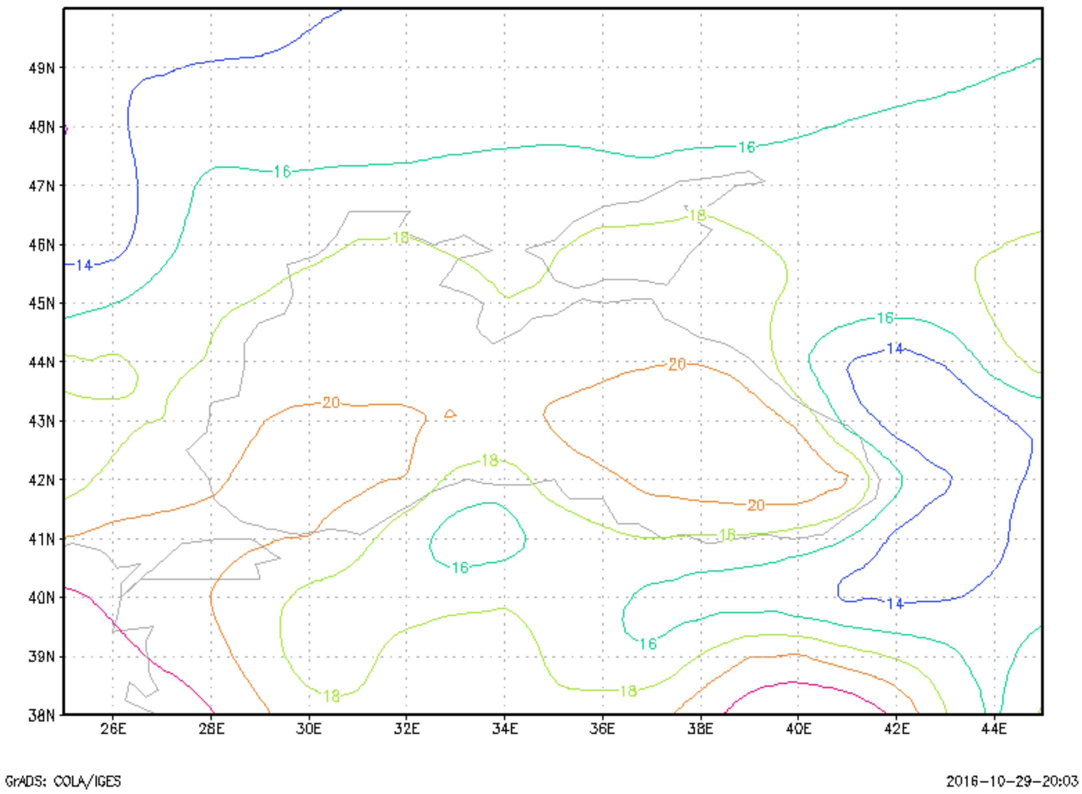

Рис. А.9 – Поле середніх значень приземної температури повітря (вересень)

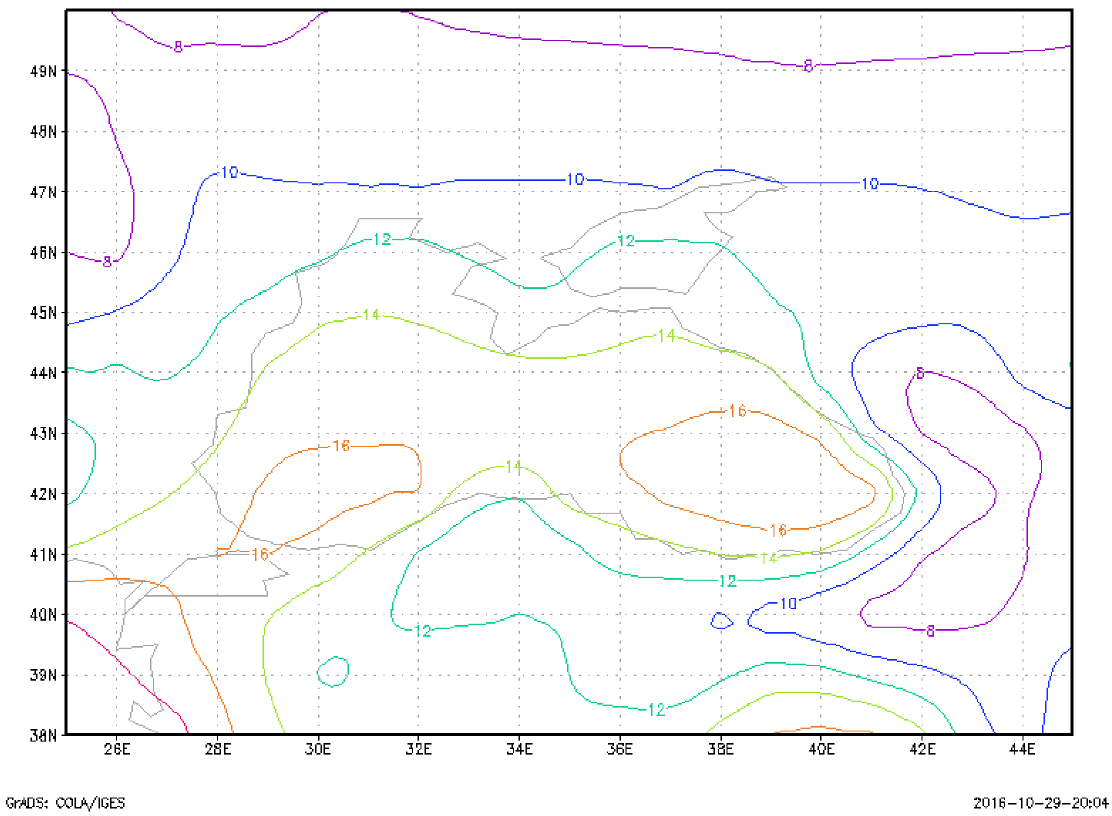

Рис. А.10 – Поле середніх значень приземної температури повітря (жовтень)

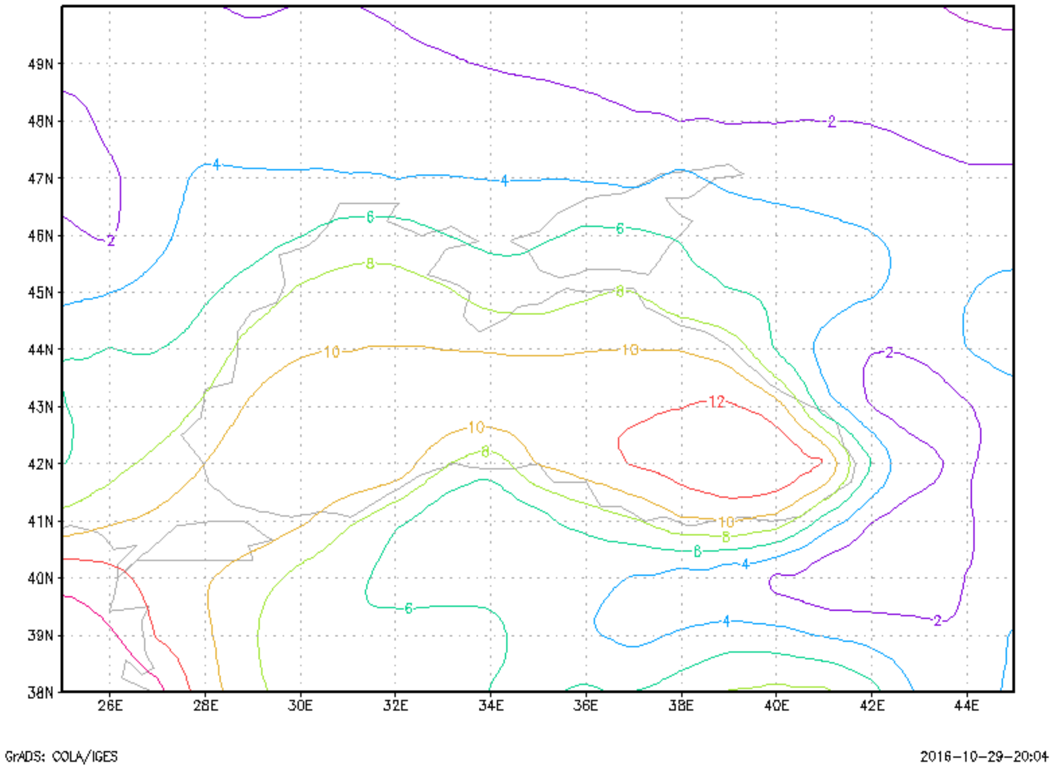

Рис. А.11 – Поле середніх значень приземної температури повітря (листопад)

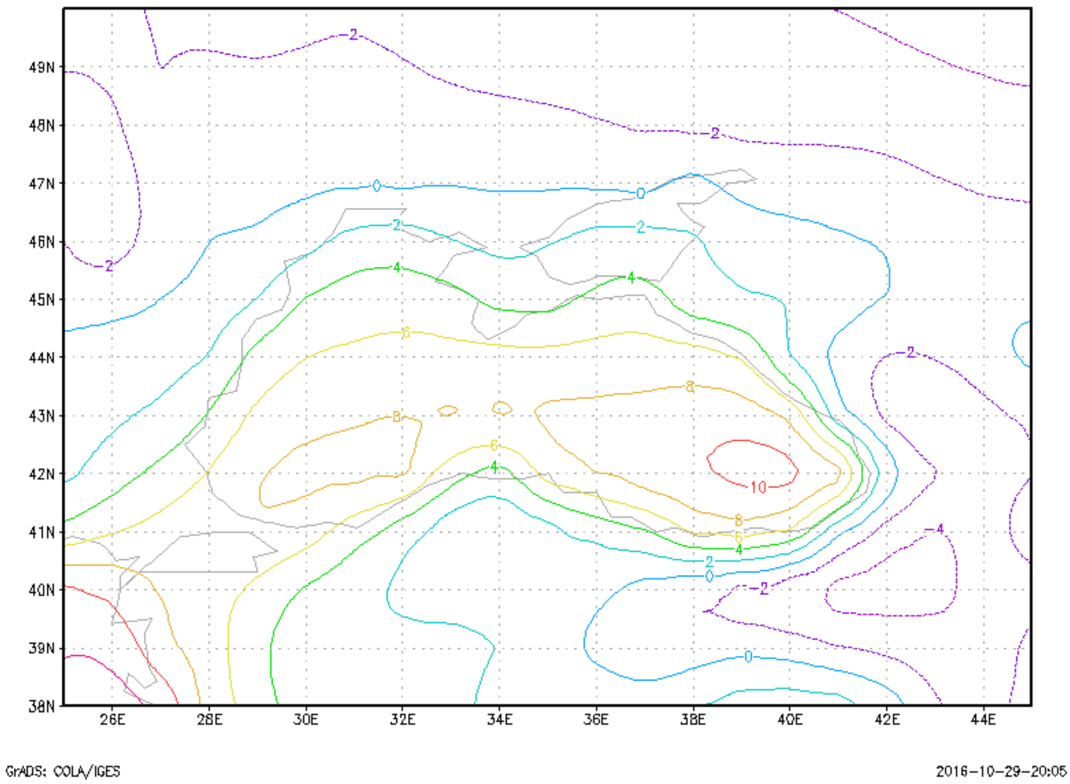

Рис. А.12 – Поле середніх значень приземної температури повітря (грудень)

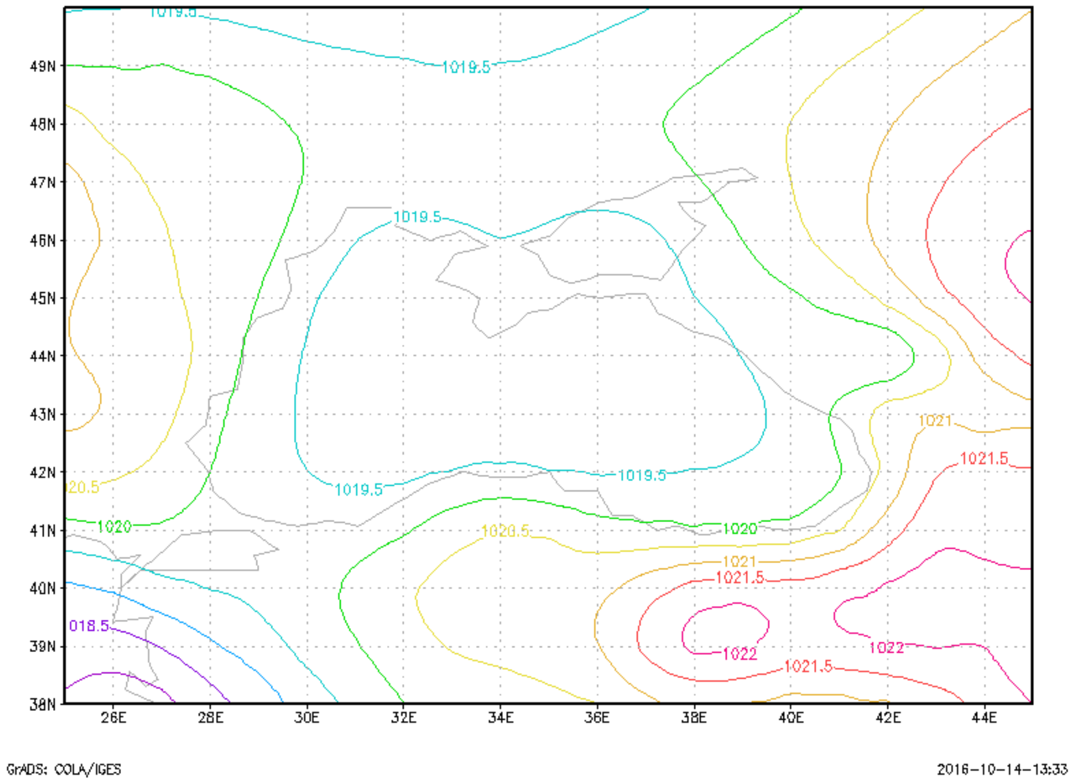

Рис. А.13 – Поле середніх значень атмосферного тиску (січень)

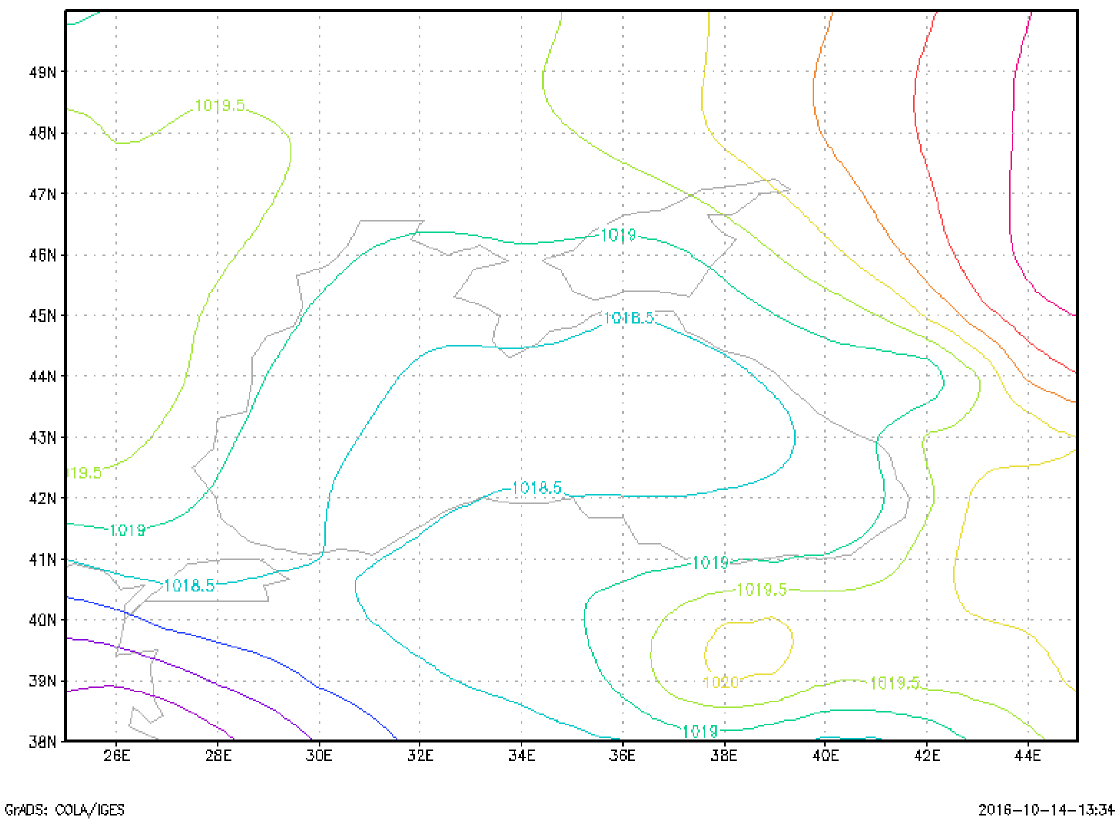

Рис. А.14 – Поле середніх значень атмосферного тиску (лютий)

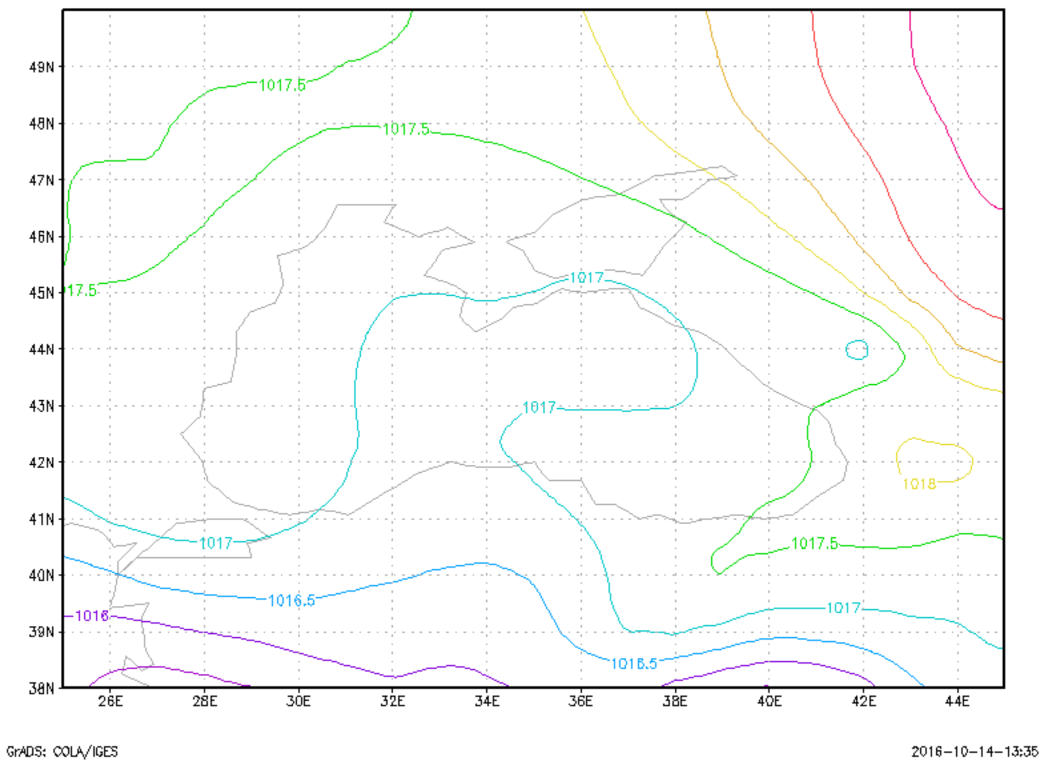

Рис. А.15 – Поле середніх значень атмосферного тиску (березень)

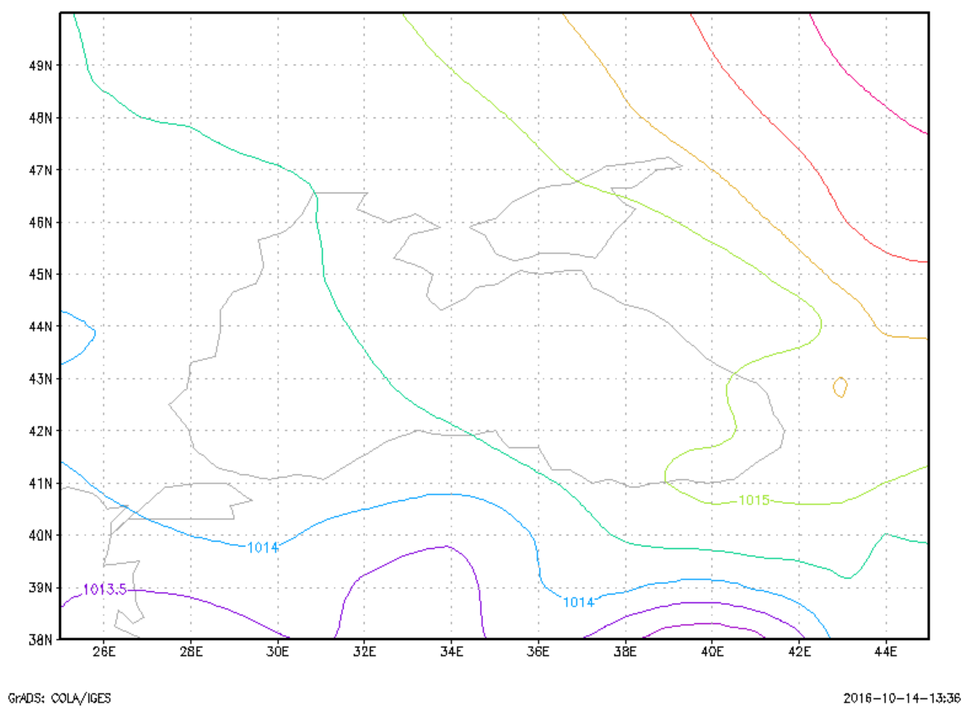

Рис. А.16 – Поле середніх значень атмосферного тиску (квітень)

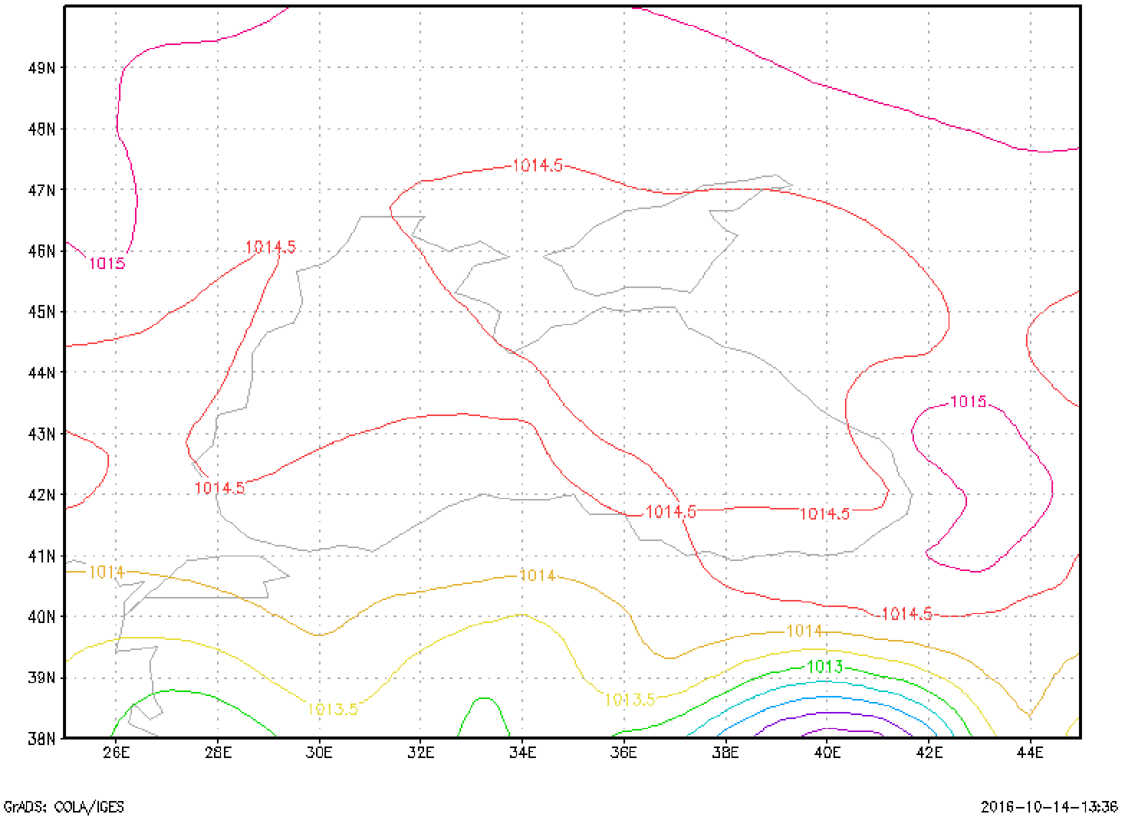

Рис. А.17 – Поле середніх значень атмосферного тиску (травень)

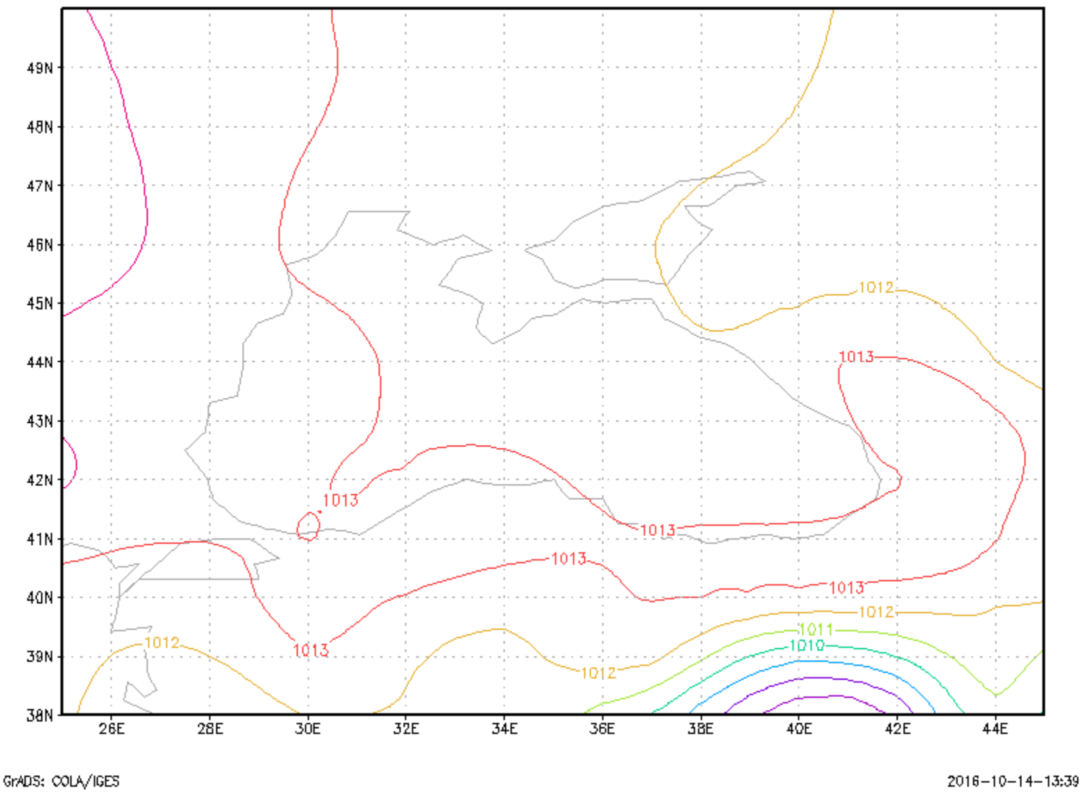

Рис. А.18 – Поле середніх значень атмосферного тиску (червень)

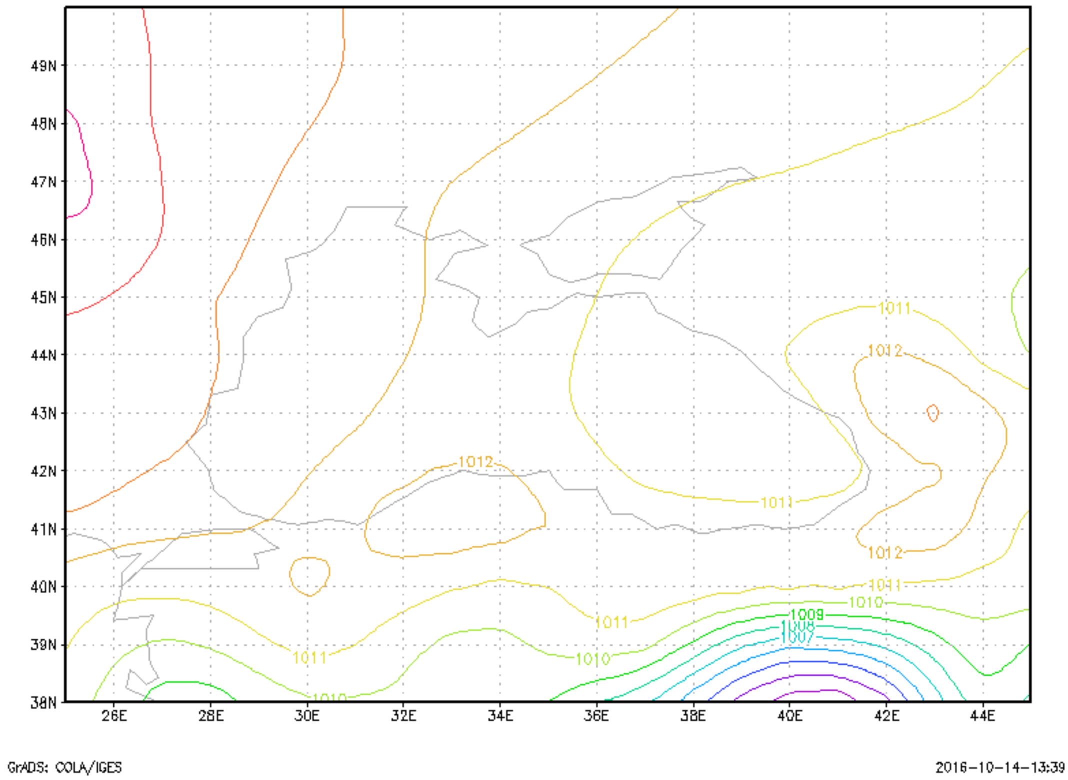

Рис. А.19 – Поле середніх значень атмосферного тиску (липень)

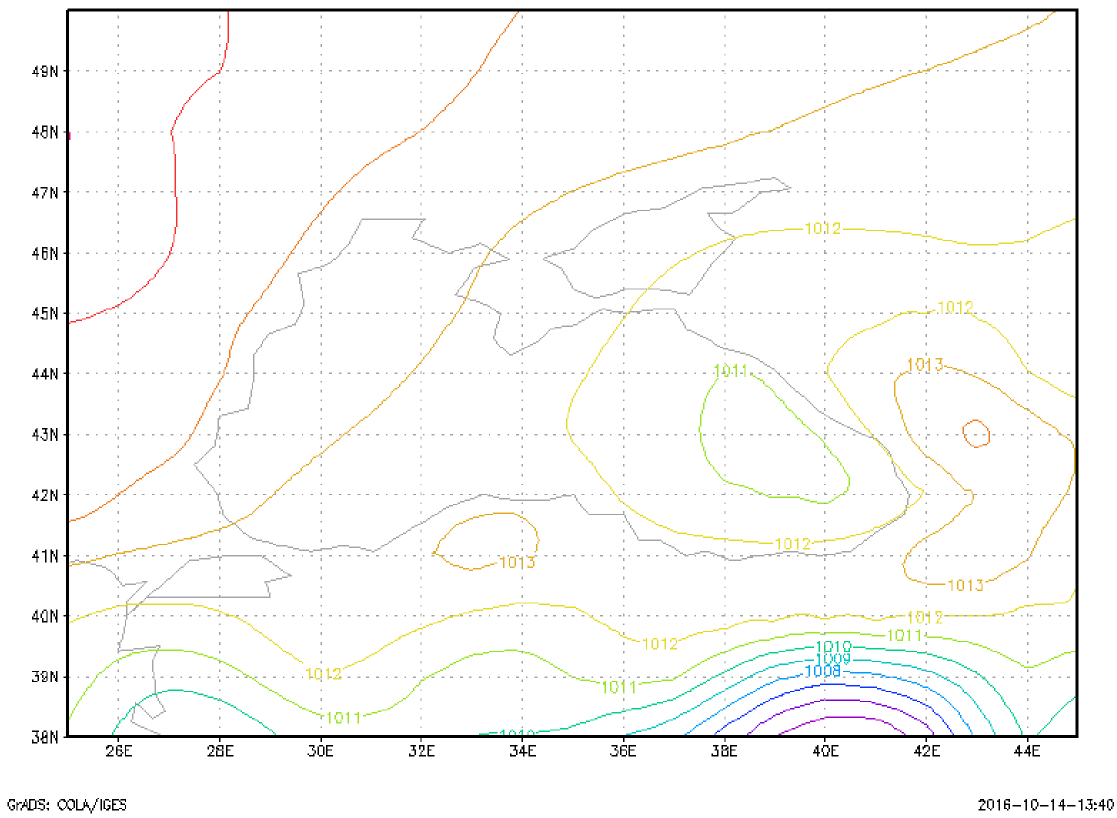

Рис. А.20 – Поле середніх значень атмосферного тиску (серпень)

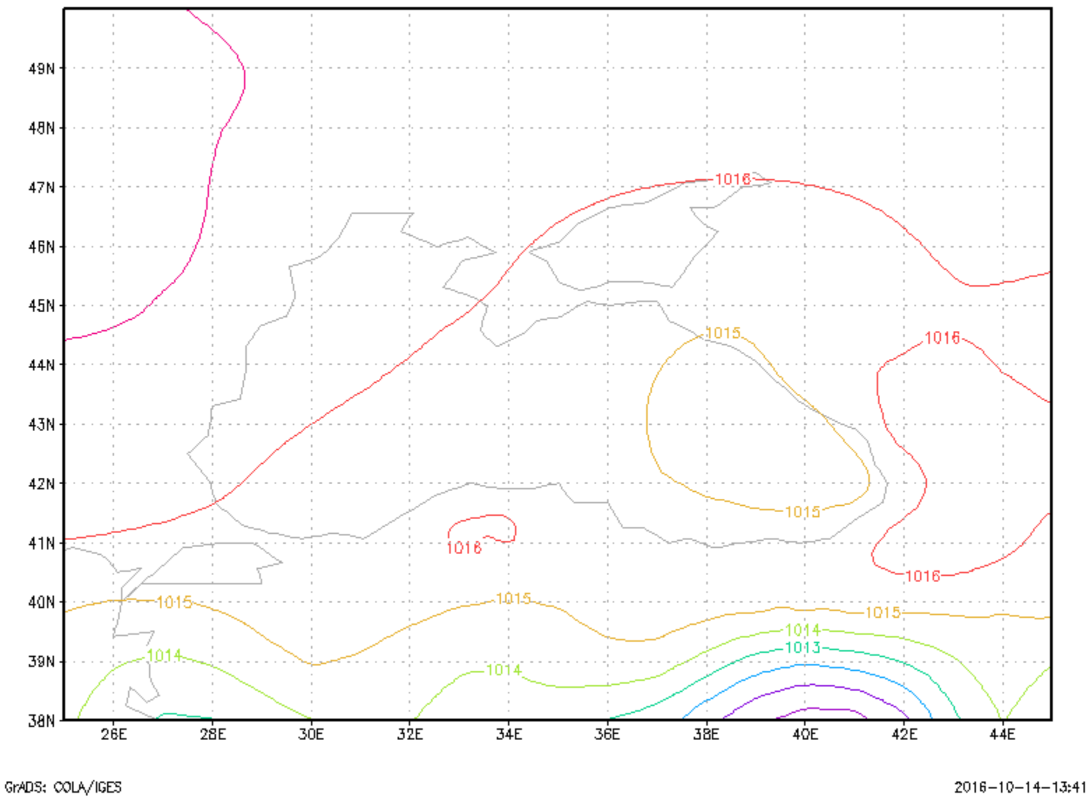

Рис. А.21 – Поле середніх значень атмосферного тиску (вересень)

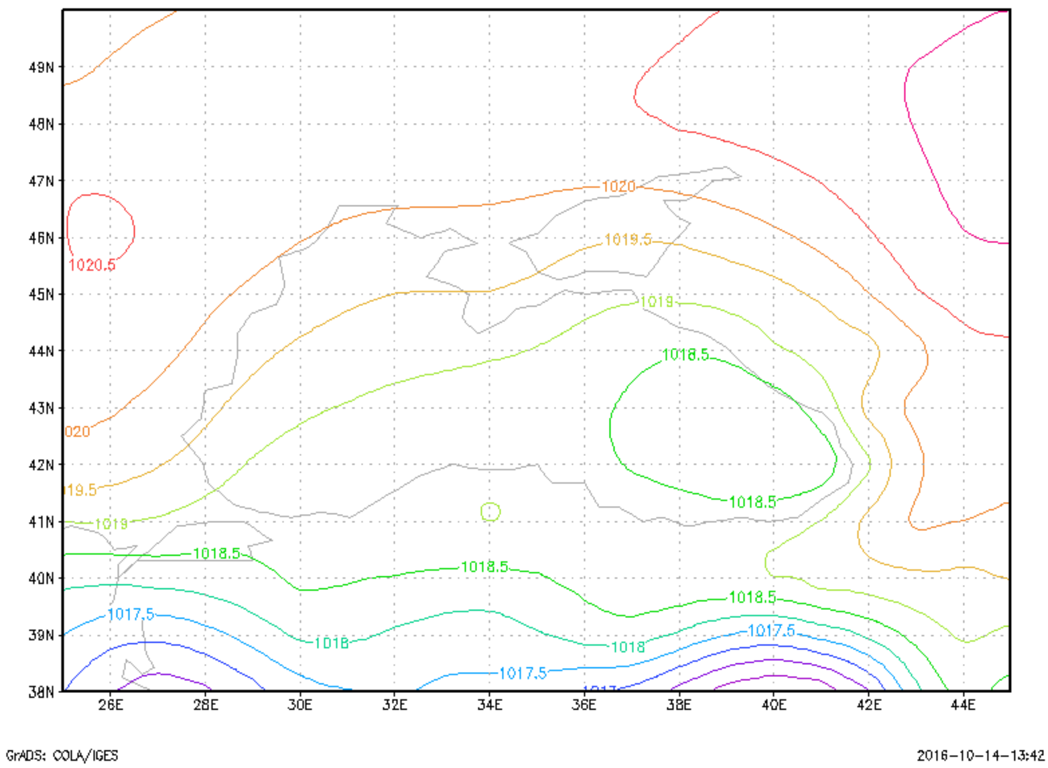

Рис. А.22 – Поле середніх значень атмосферного тиску (жовтень)

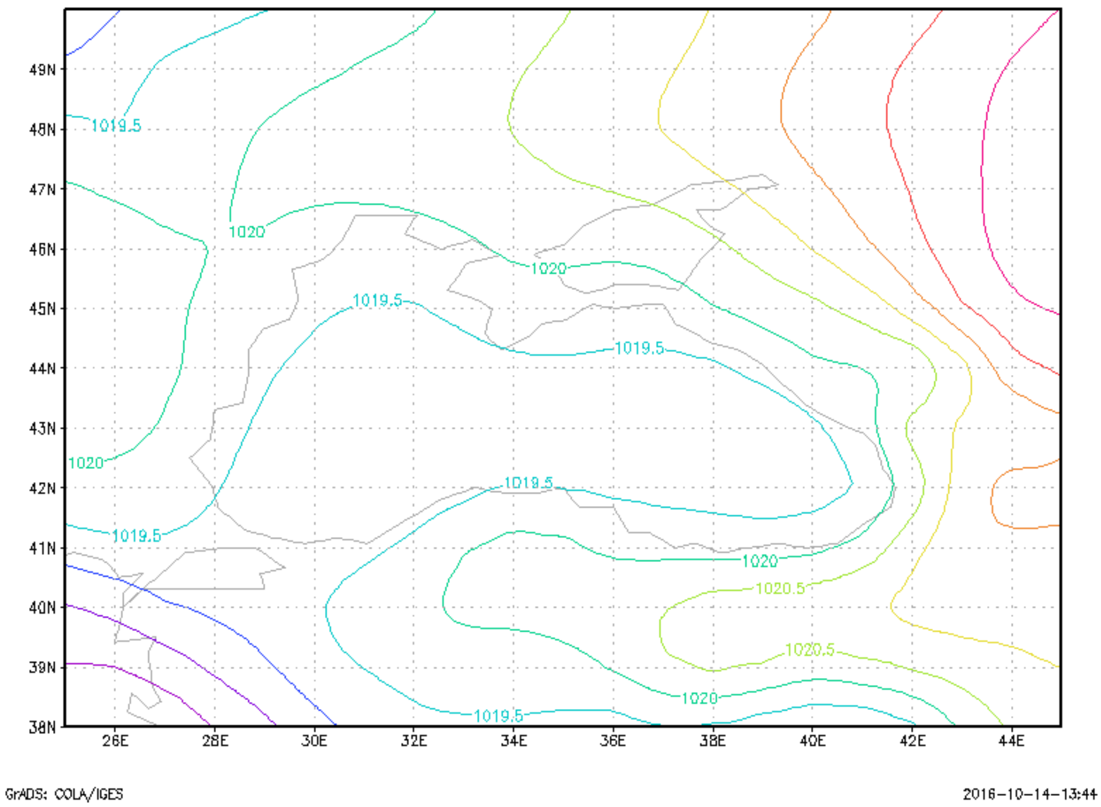

Рис. А.23 – Поле середніх значень атмосферного тиску (листопад)

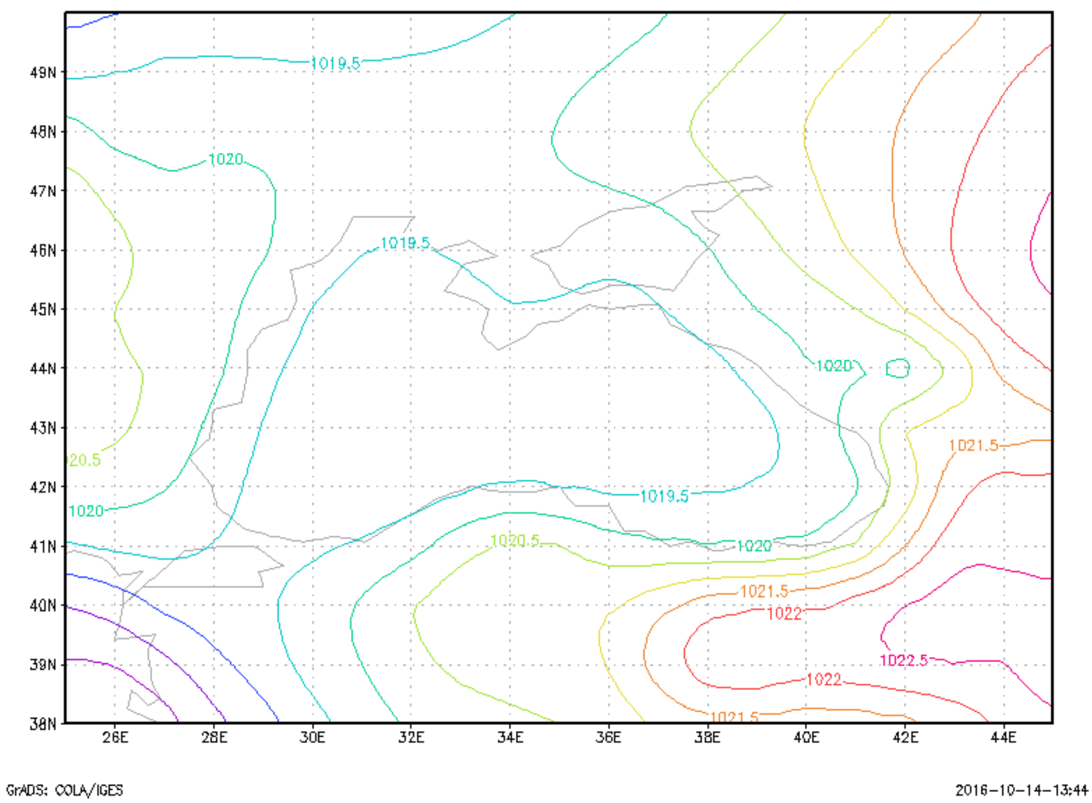

Рис. А.24 – Поле середніх значень атмосферного тиску (грудень)

Додаток Б –Поля середніх квадратичних відхилів приземної температури повітря

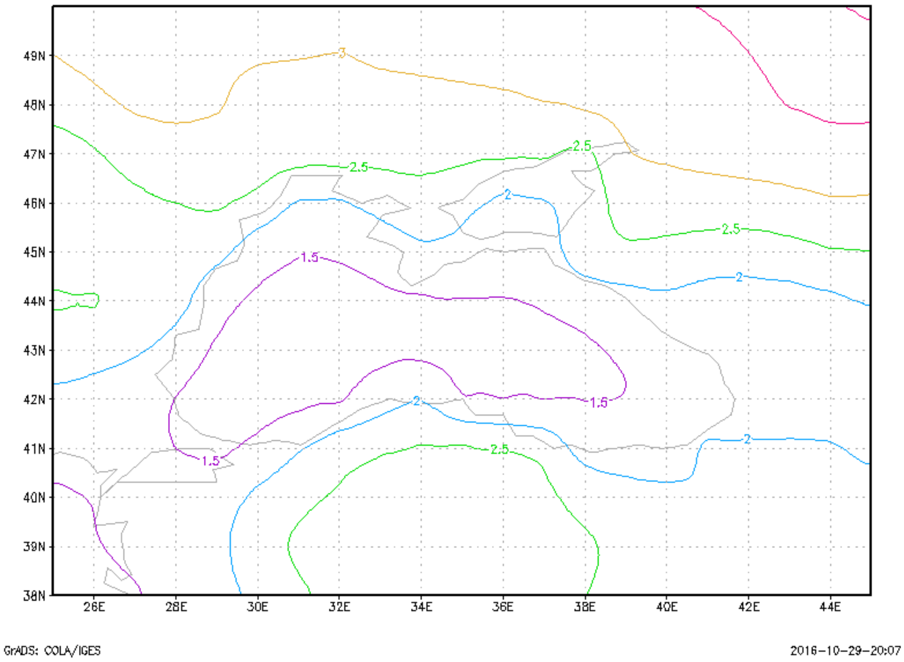

Рис. Б.1 – Поле середніх квадратичних відхилів приземної температури повітря (січень)

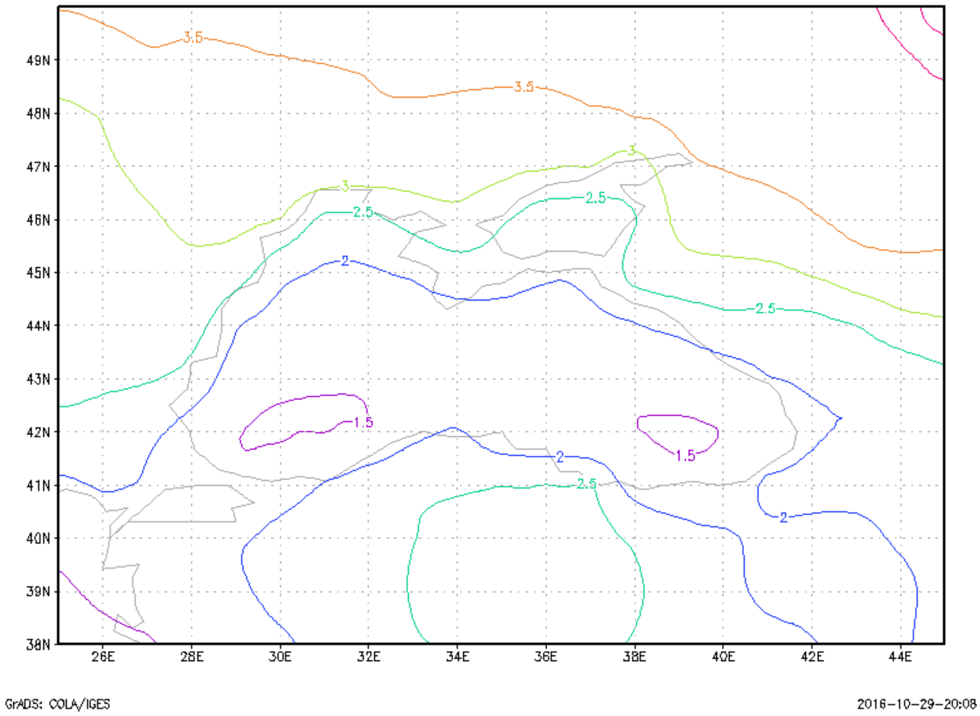

Рис. Б.2 – Поле середніх квадратичних відхилів приземної температури повітря (лютий)

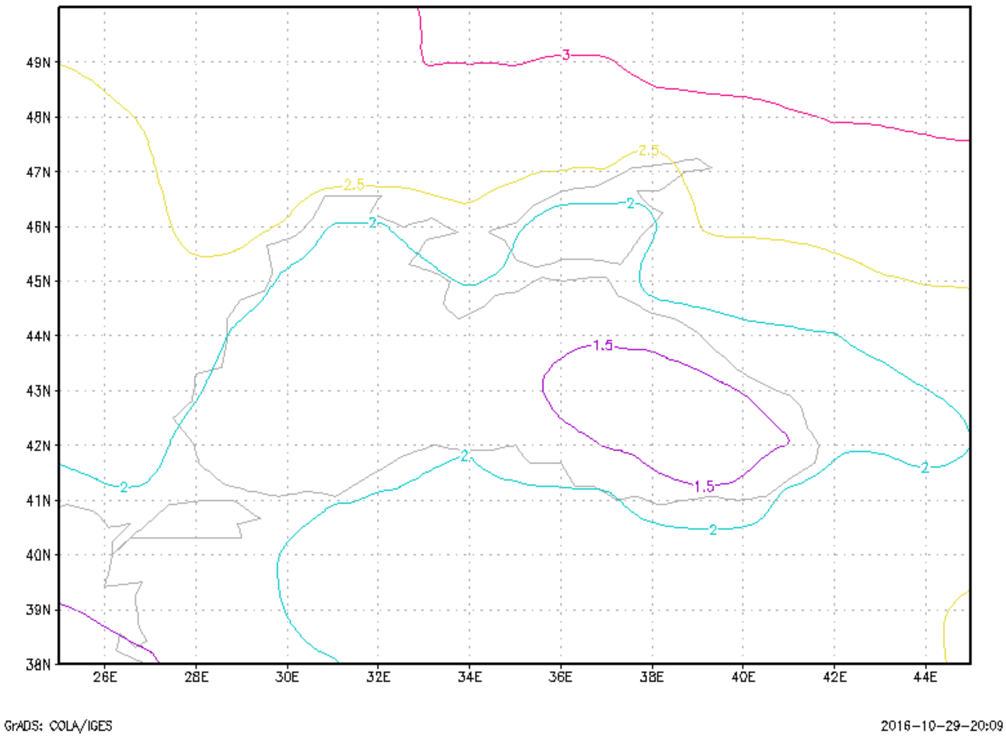

Рис. Б.3 – Поле середніх квадратичних відхилів приземної температури повітря (березень)

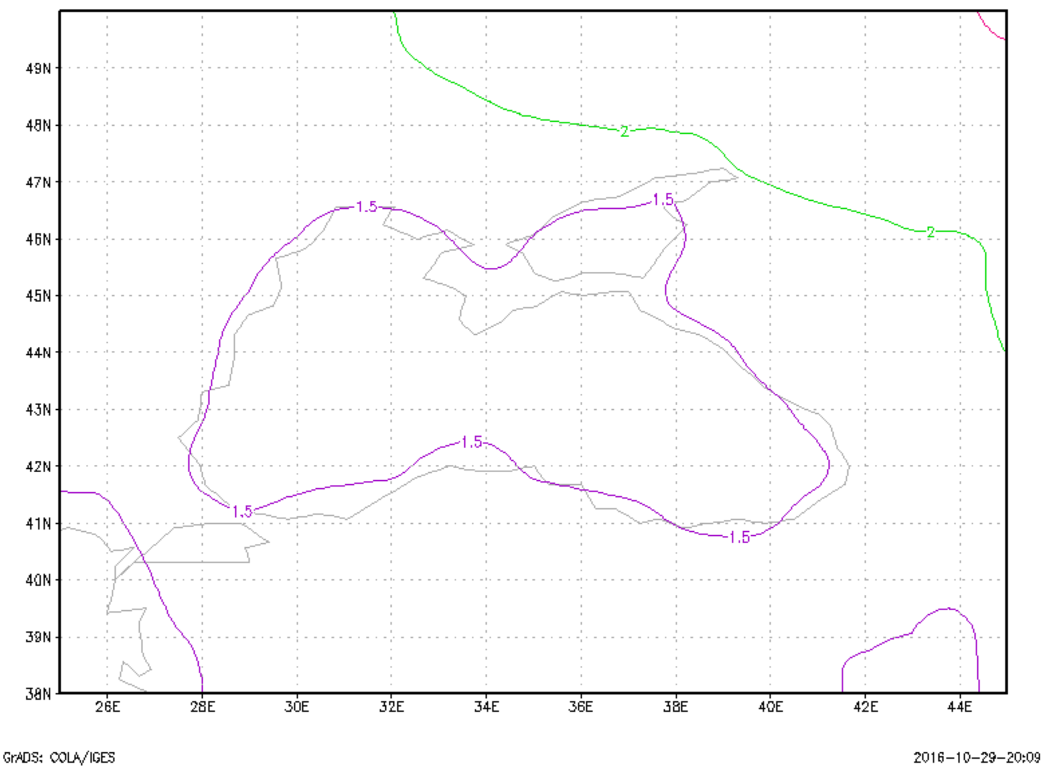

Рис. Б.4 – Поле середніх квадратичних відхилів приземної температури повітря (квітень)

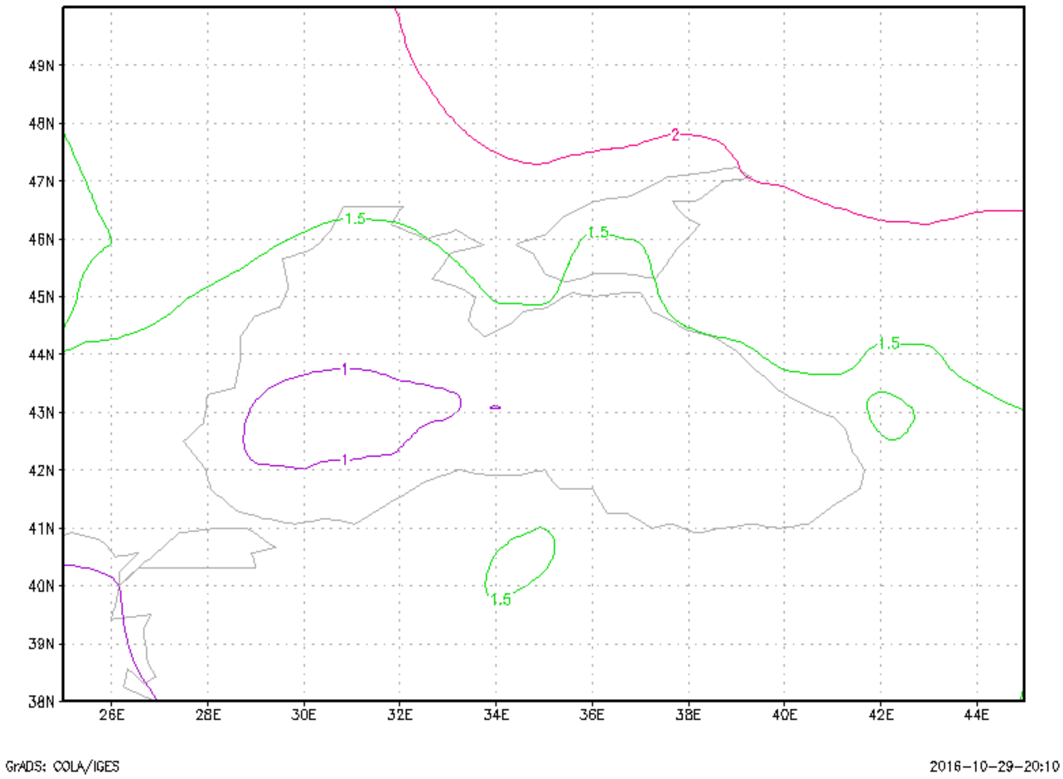

Рис. Б.5 – Поле середніх квадратичних відхилів приземної температури повітря (травень)

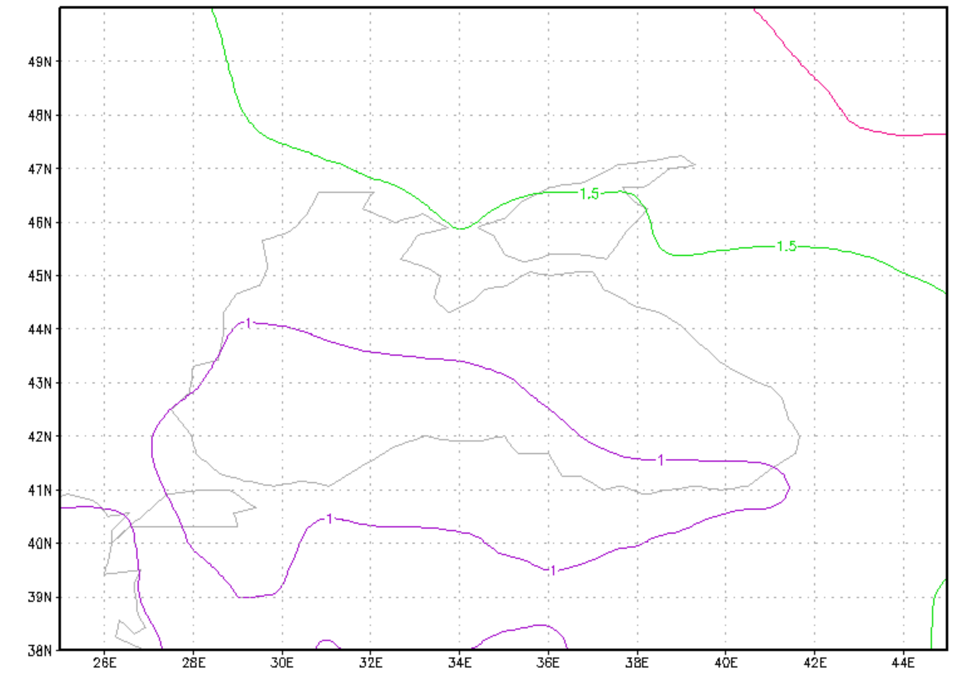

Рис. Б.6 – Поле середніх квадратичних відхилів приземної температури повітря (червень)

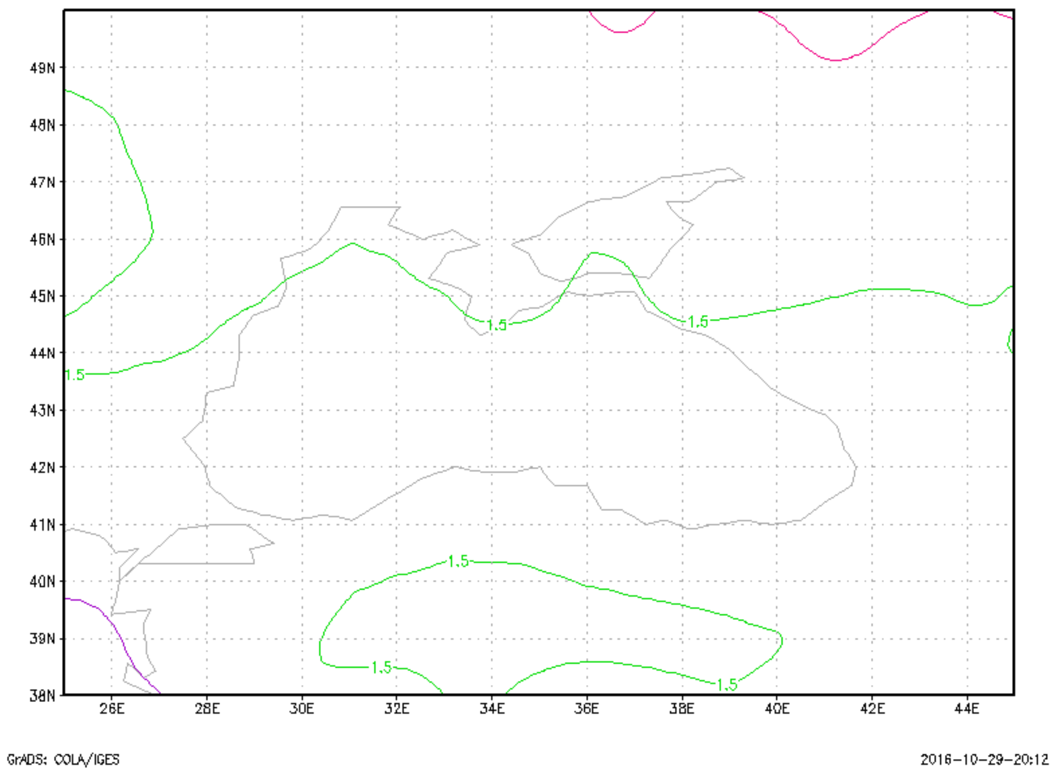

Рис. Б.7 – Поле середніх квадратичних відхилів приземної температури повітря (липень)

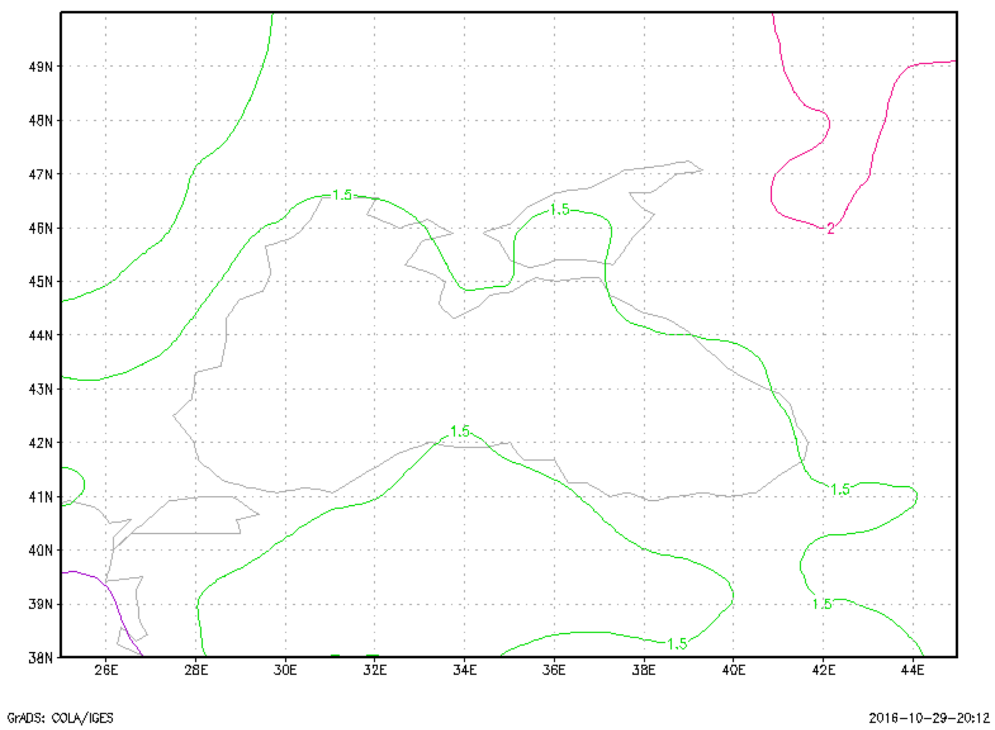

Рис. Б.8 – Поле середніх квадратичних відхилів приземної температури повітря (серпень)

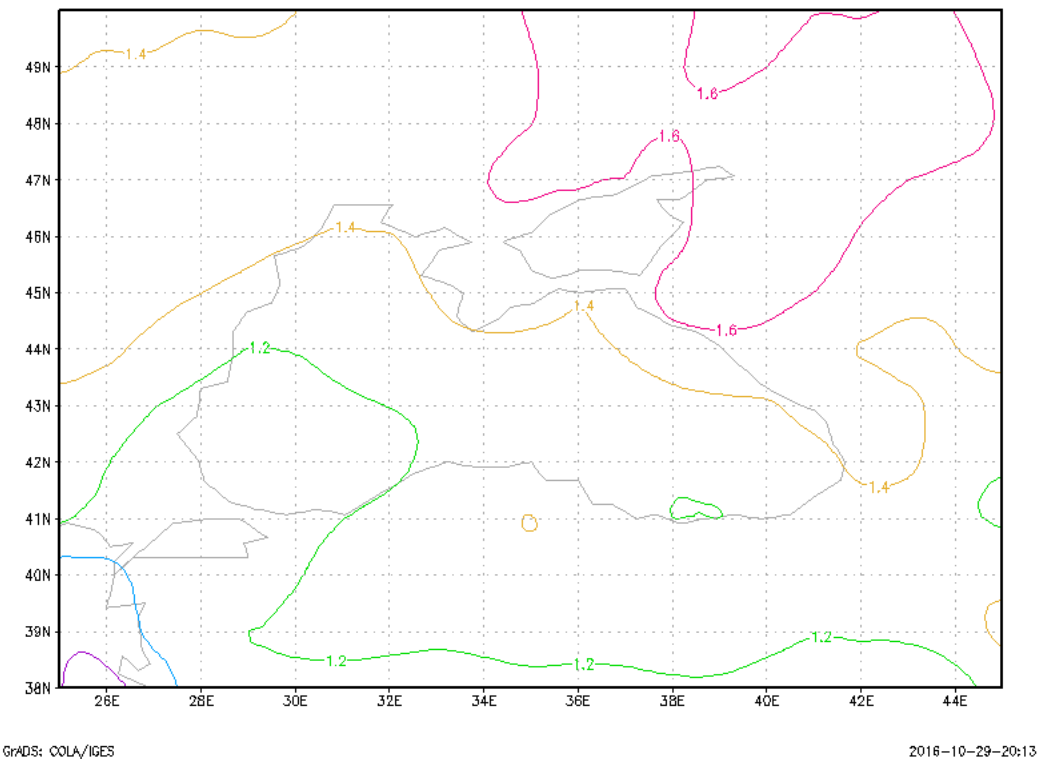

Рис. Б.9 – Поле середніх квадратичних відхилів приземної температури повітря (вересень)

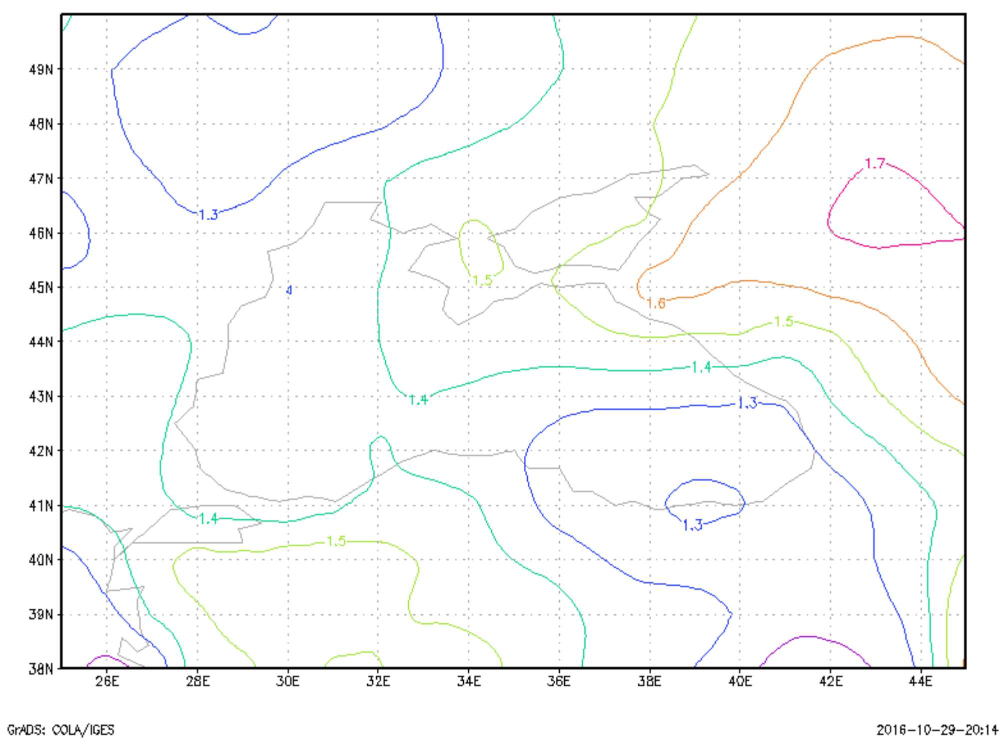

Рис. Б.10 – Поле середніх квадратичних відхилів приземної температури повітря (жовтень)

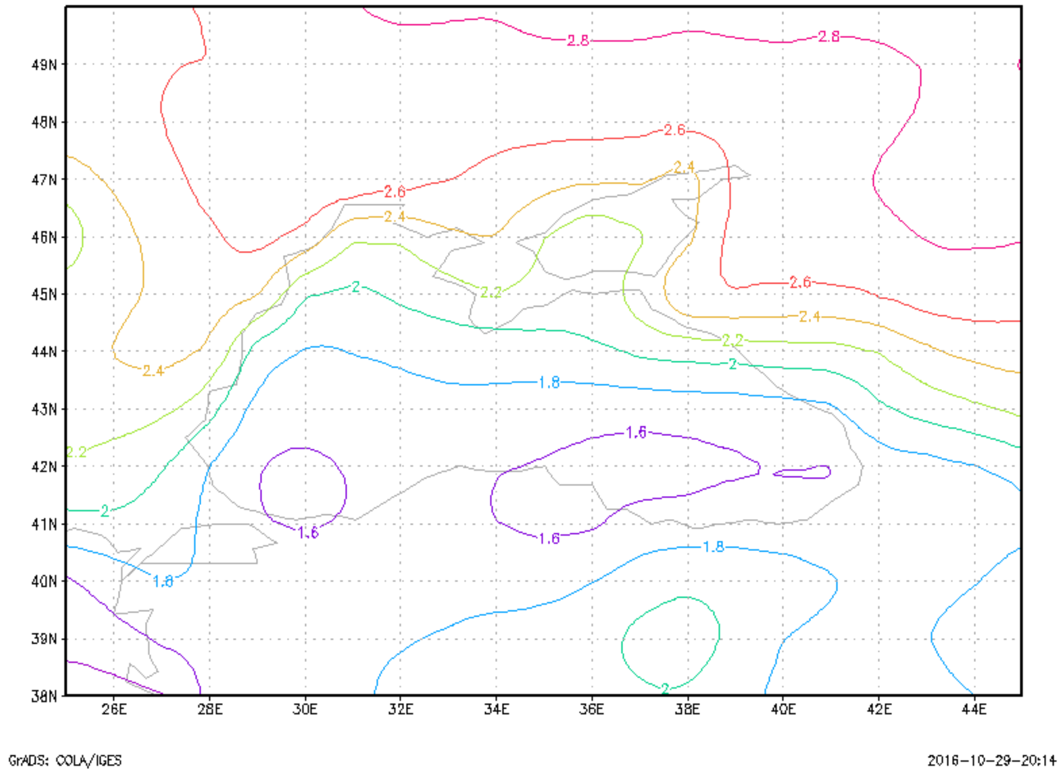

Рис. Б.11 – Поле середніх квадратичних відхилів приземної температури повітря (листопад)

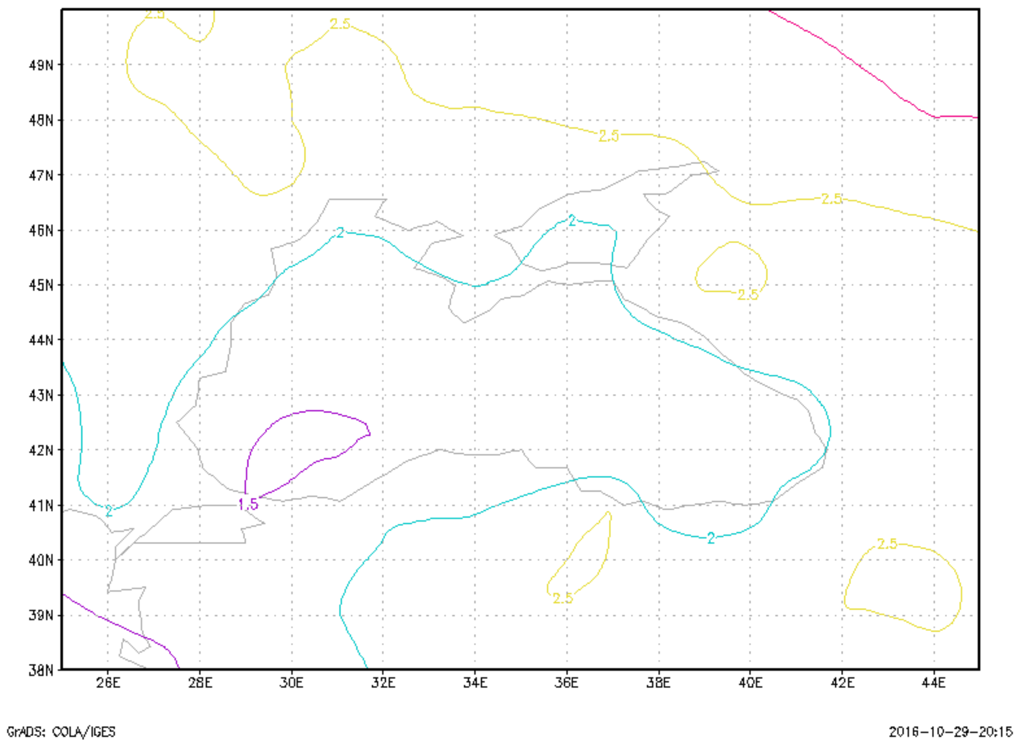

Рис. Б.12 – Поле середніх квадратичних відхилів приземної температури повітря (грудень)

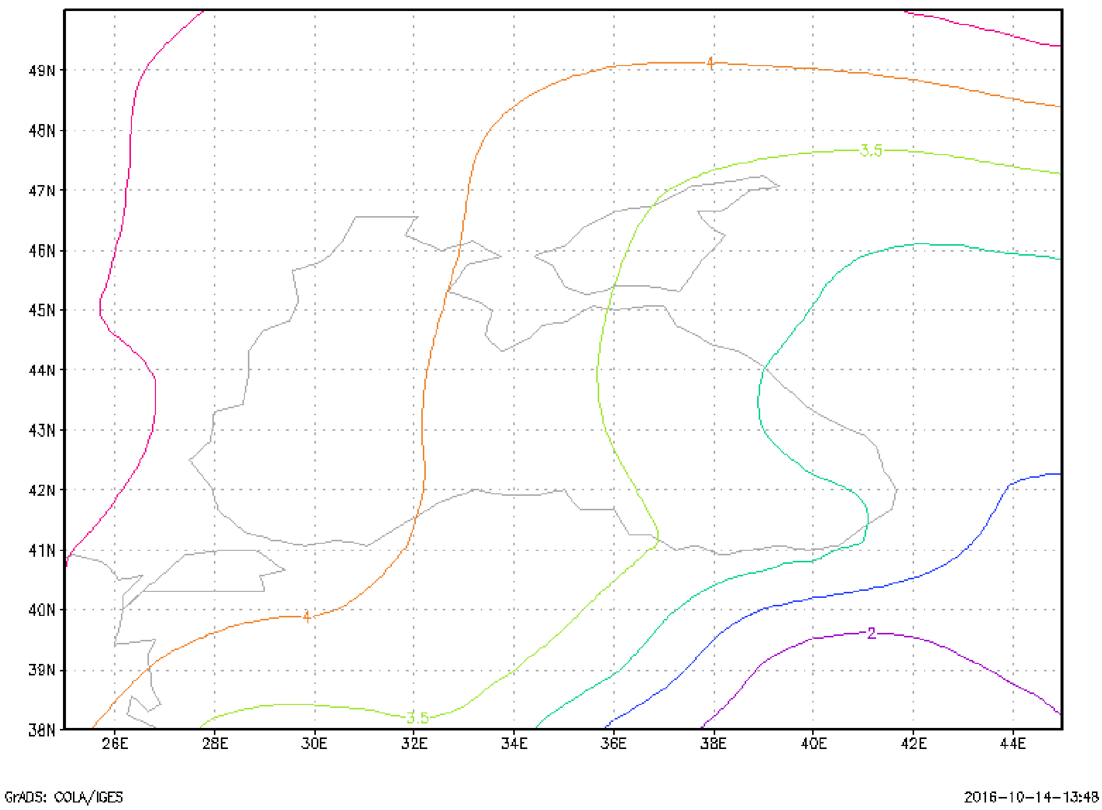

Рис. Б.13 – Поле середніх квадратичних відхилів атмосферного тиску (січень)

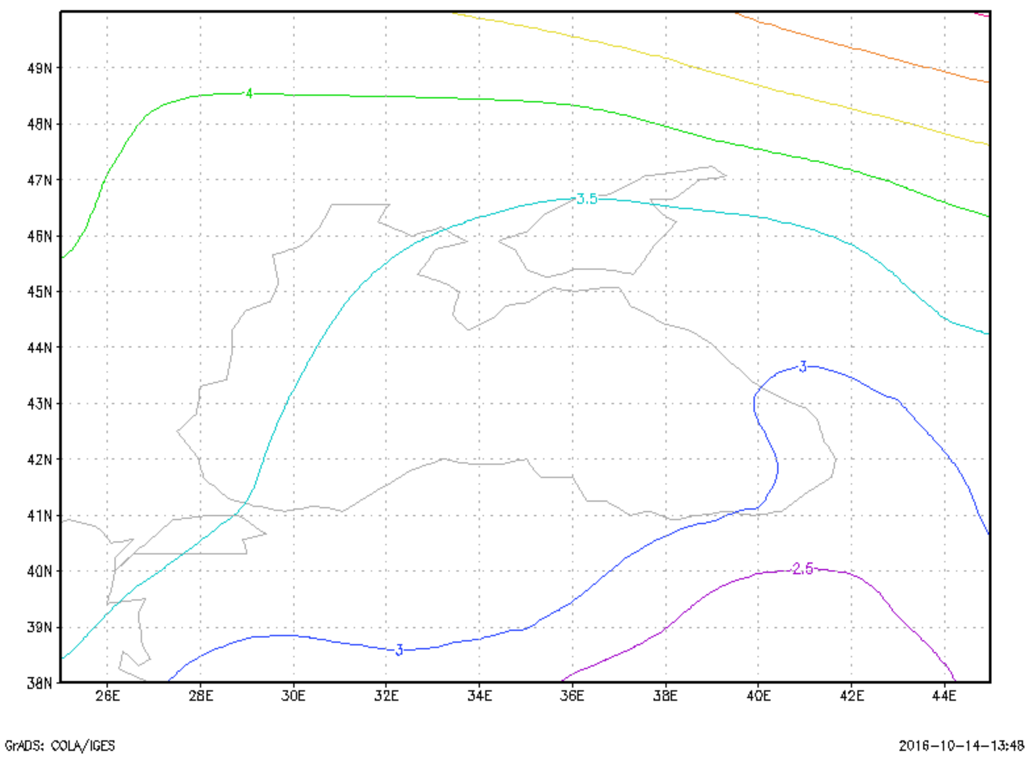

Рис. Б.14 – Поле середніх квадратичних відхилів атмосферного тиску (лютий)

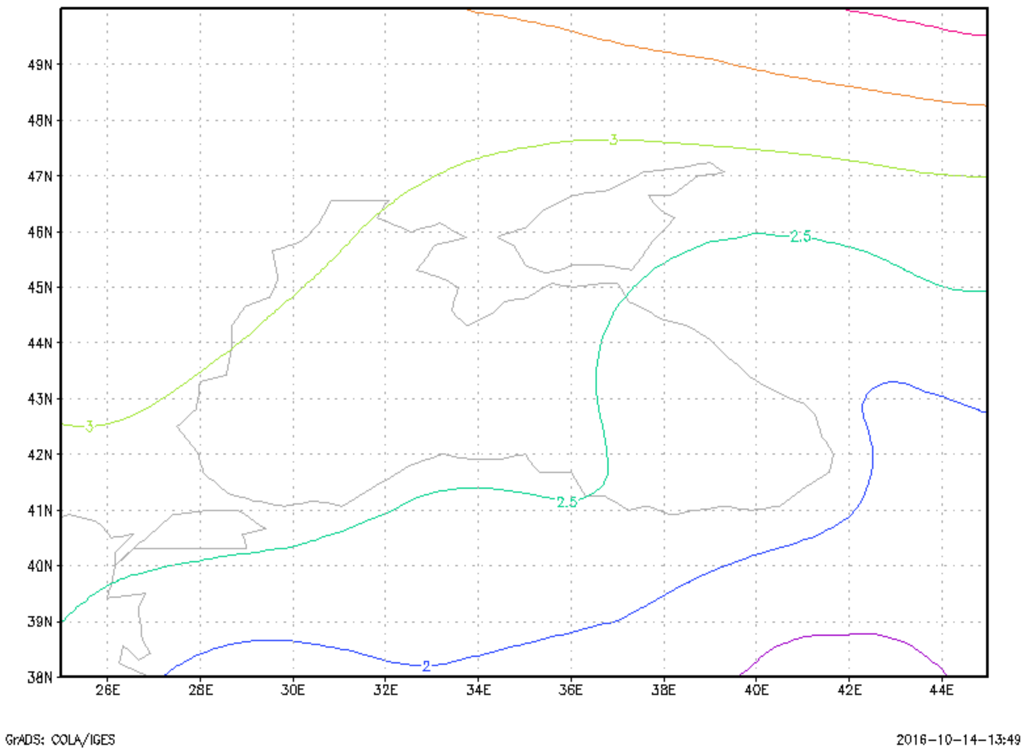

Рис. Б.15 – Поле середніх квадратичних відхилів атмосферного тиску (березень)

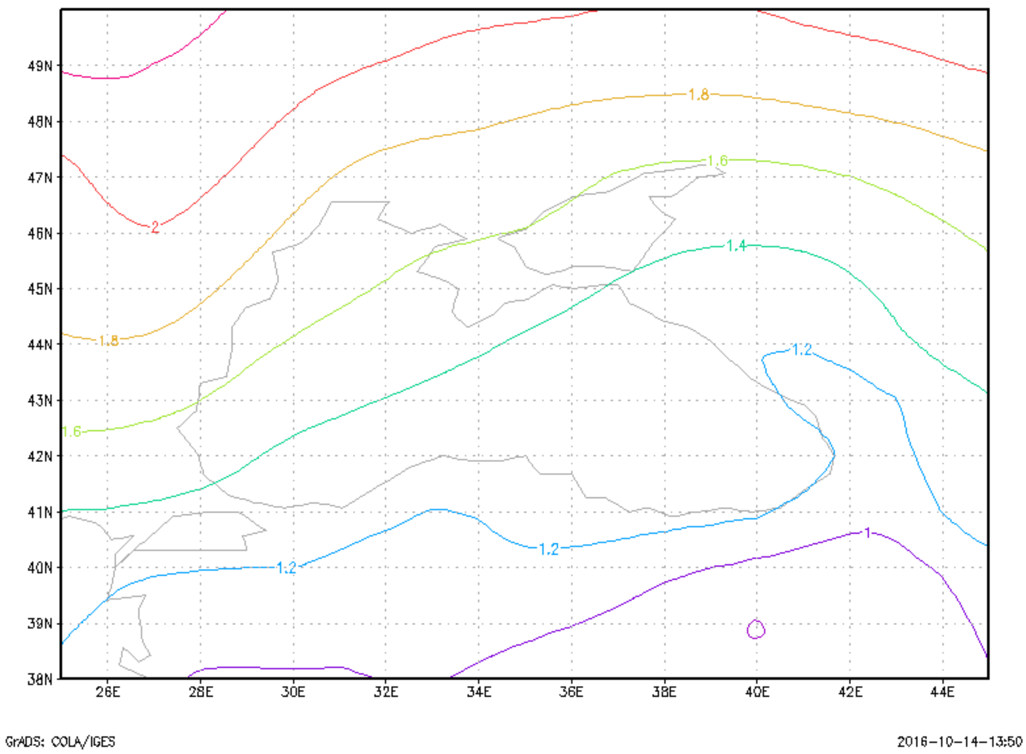

Рис. Б.16 – Поле середніх квадратичних відхилів атмосферного тиску (квітень)

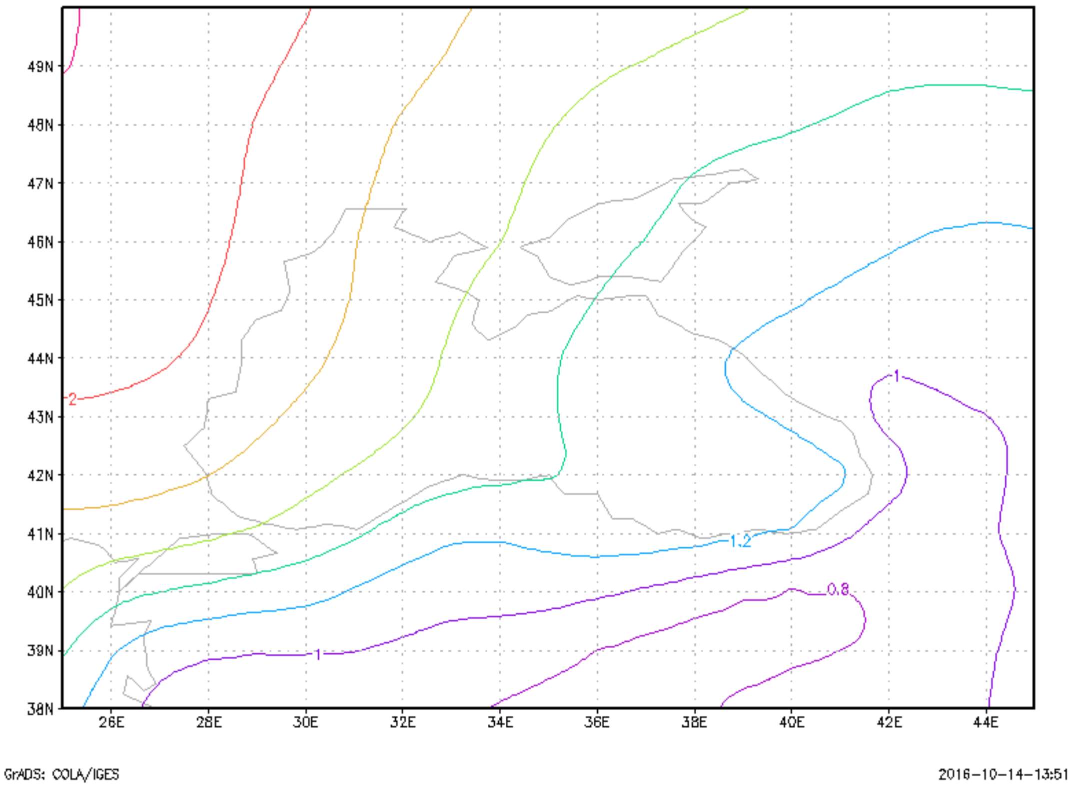

Рис. Б.17 – Поле середніх квадратичних відхилів атмосферного тиску (травень)

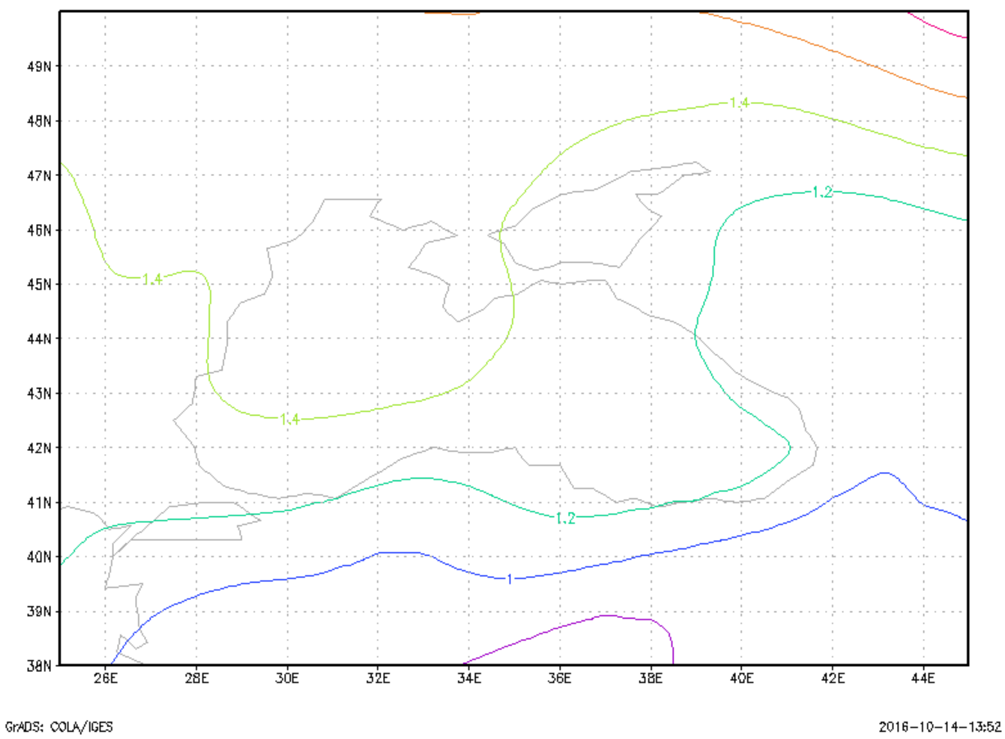

Рис. Б.18 – Поле середніх квадратичних відхилів атмосферного тиску (червень)

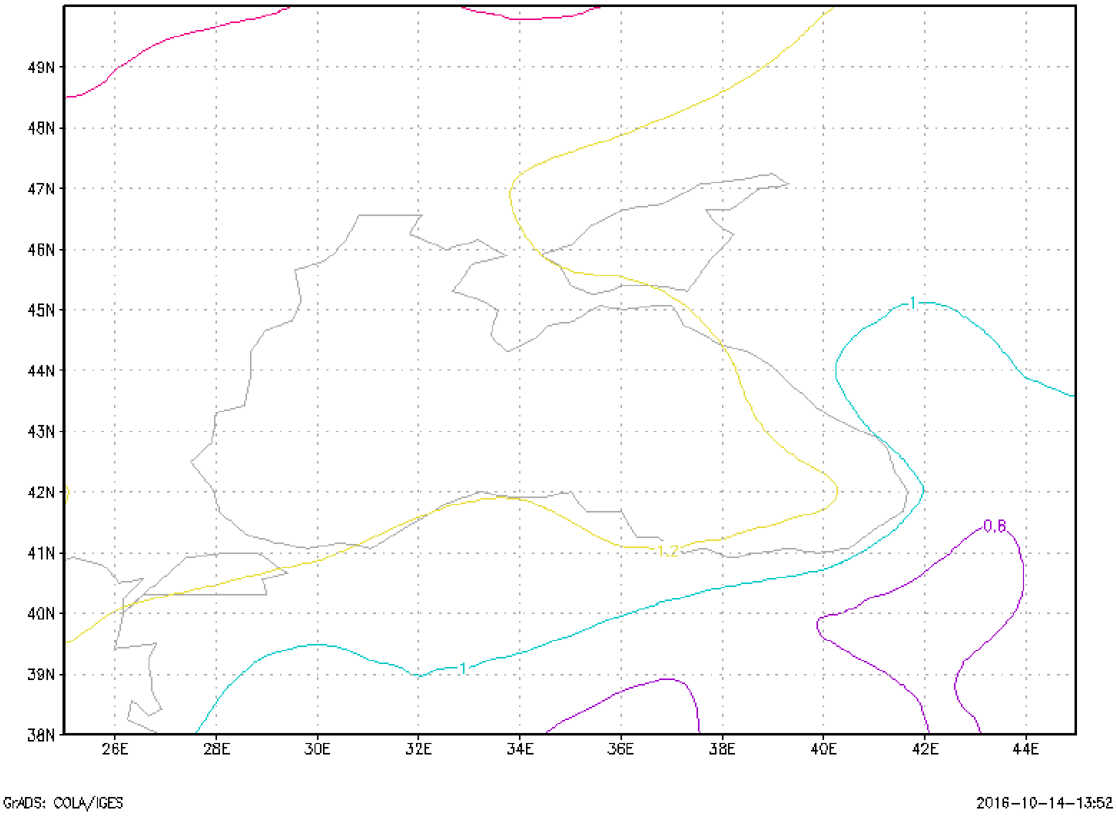

Рис. Б.19 – Поле середніх квадратичних відхилів атмосферного тиску (липень)

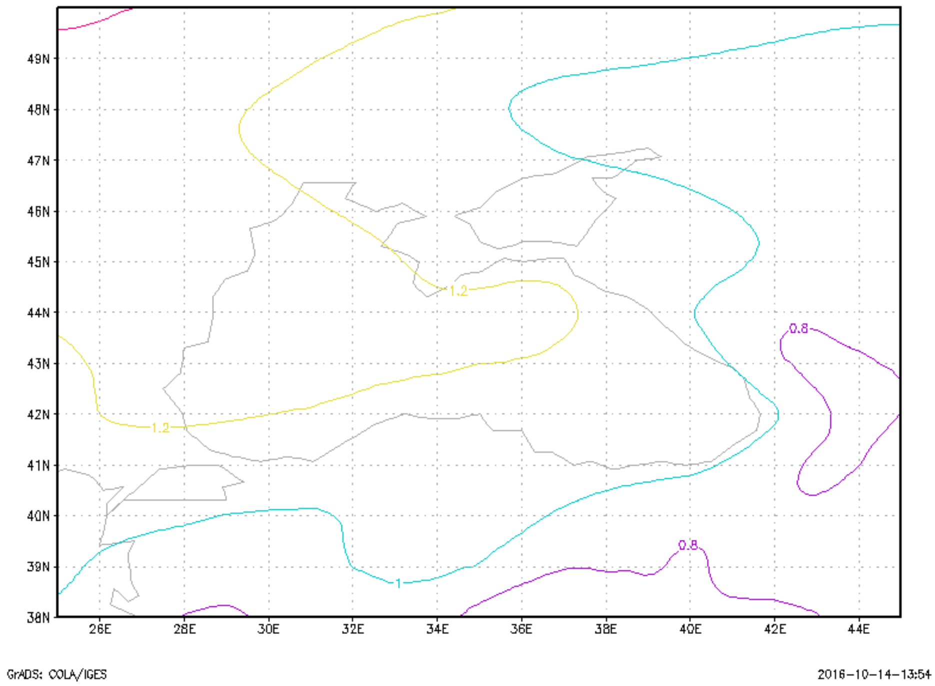

Рис. Б.20 – Поле середніх квадратичних відхилів атмосферного тиску (серпень)

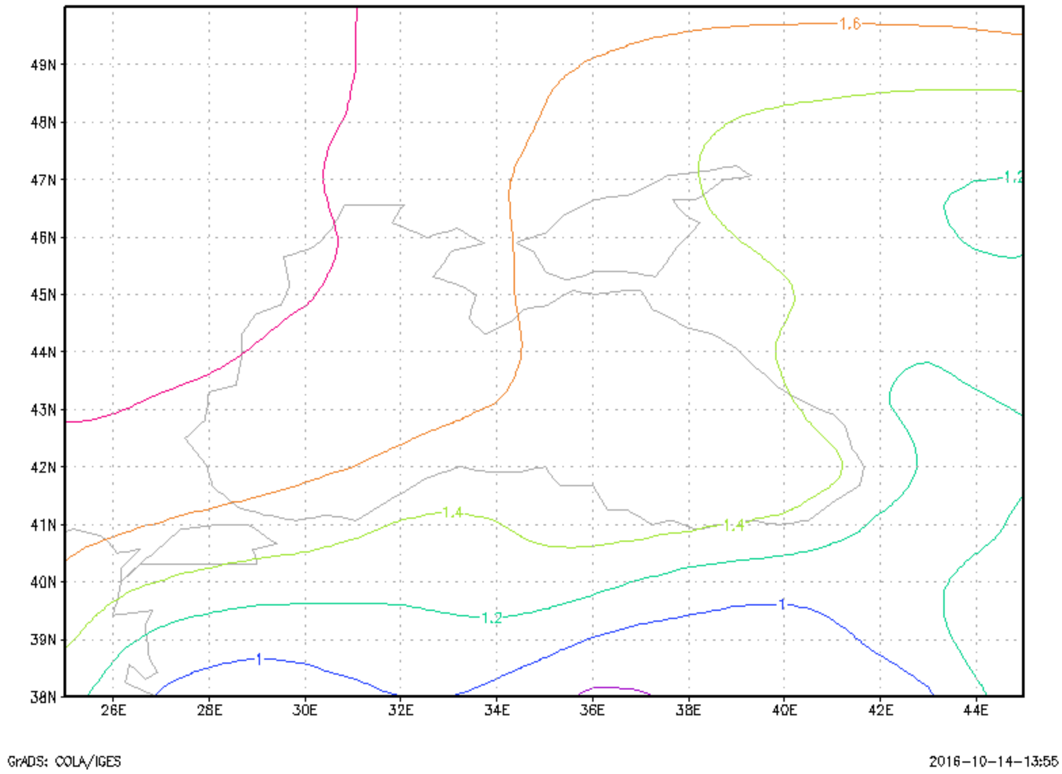

Рис. Б.21 – Поле середніх квадратичних відхилів атмосферного тиску (вересень)

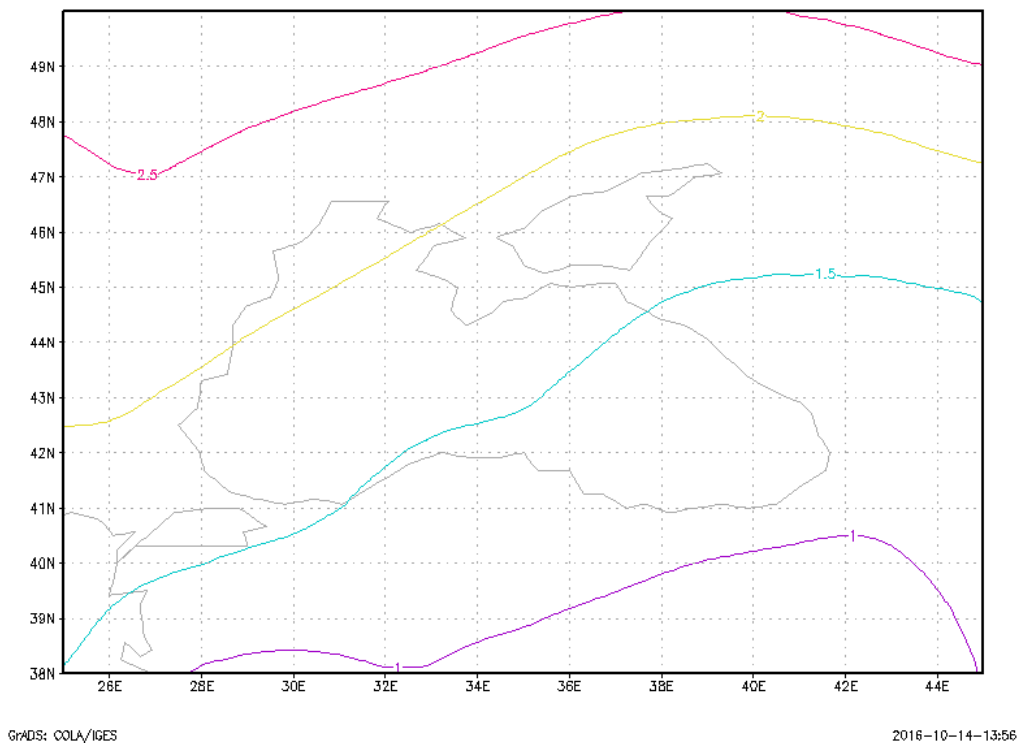

Рис. Б.22 – Поле середніх квадратичних відхилів атмосферного тиску (жовтень)

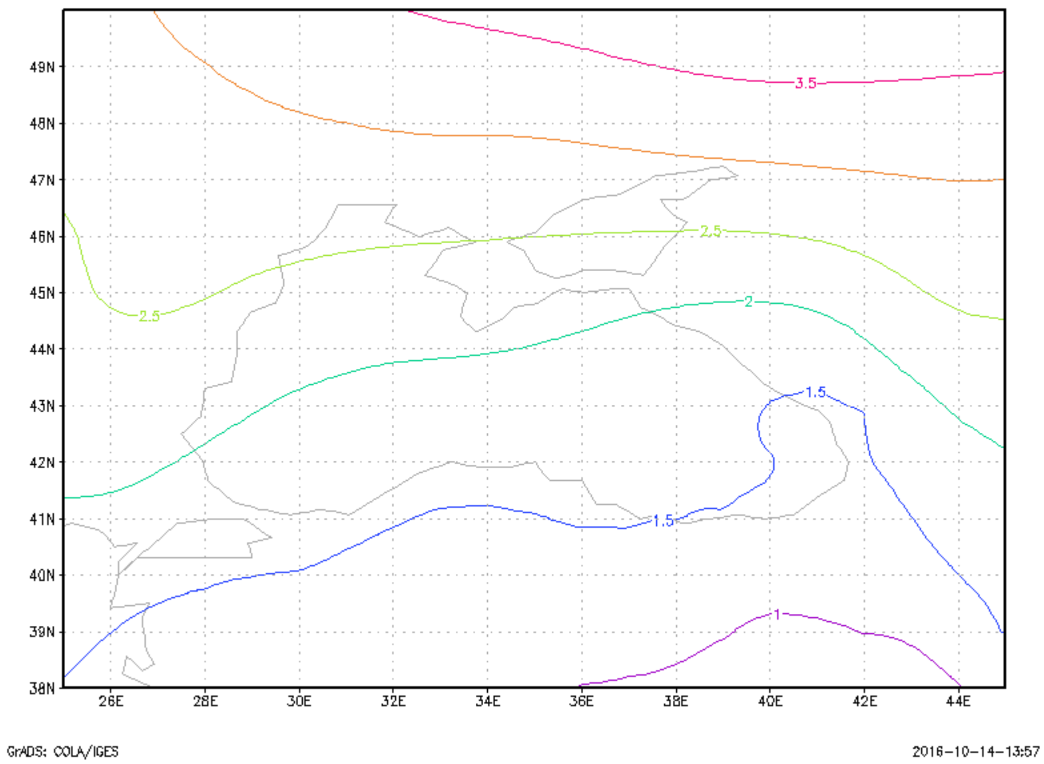

Рис. Б.23 – Поле середніх квадратичних відхилів атмосферного тиску (листопад)

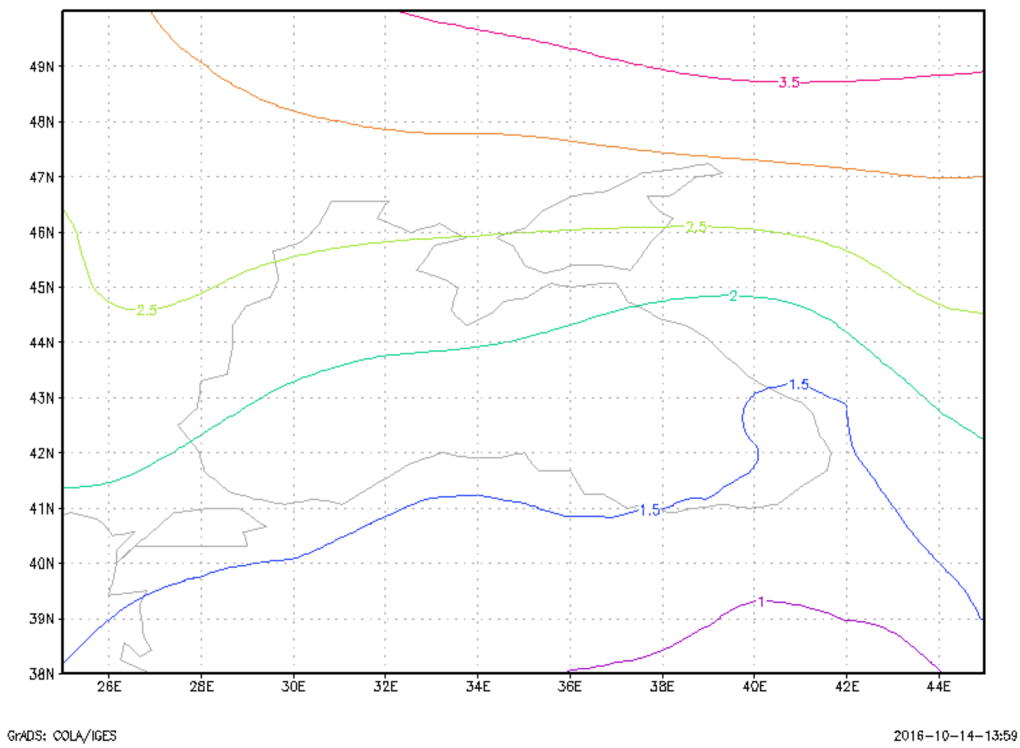

Рис. Б.24 – Поле середніх квадратичних відхилів атмосферного тиску (грудень)

Додаток В – Поля першого власного вектора приземної температури повітря та атмосферного тиску

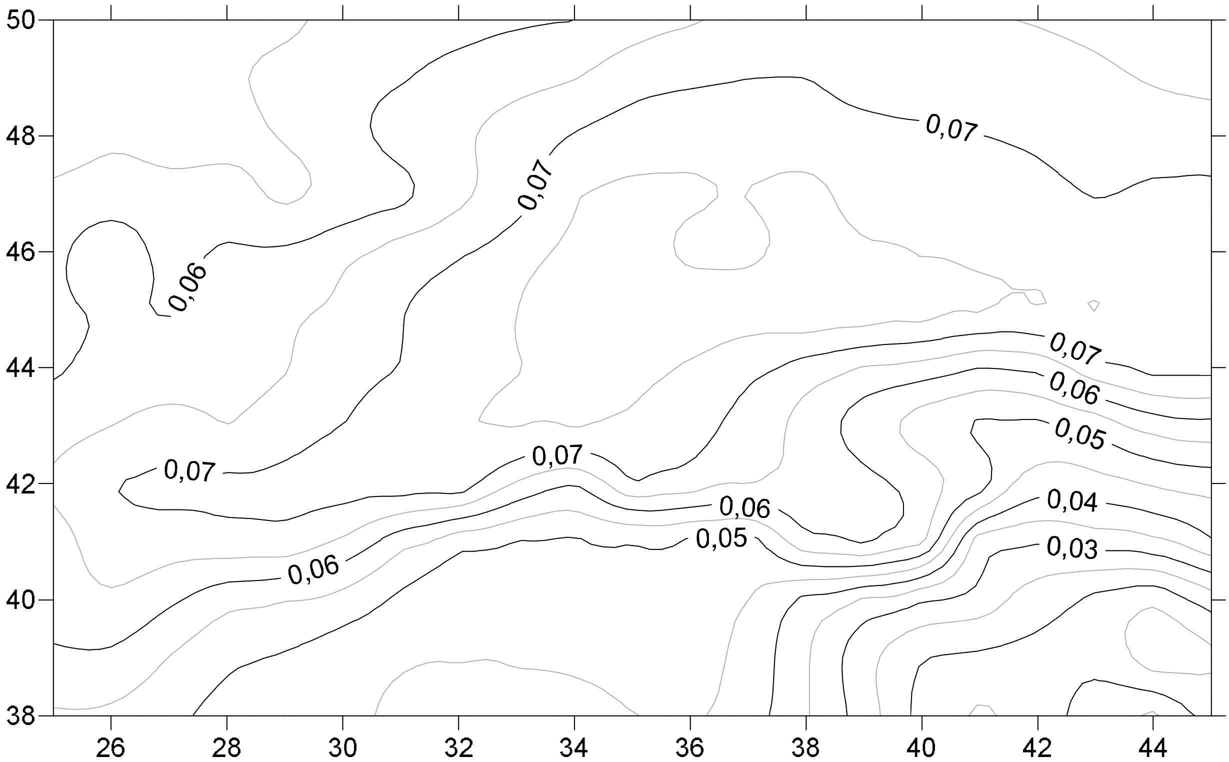

Рис. В.1 – Поле першого власного вектора температури повітря, січень

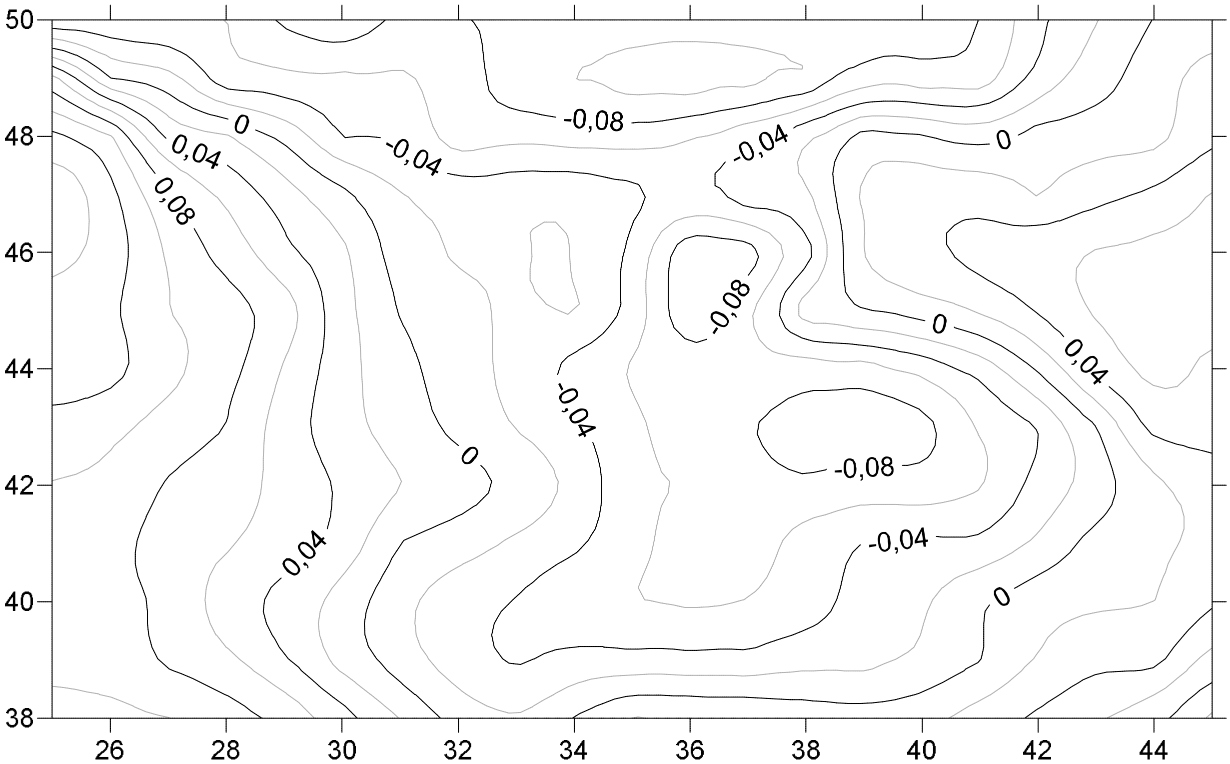

Рис. В.2 – Поле першого власного вектора температури повітря, лютий

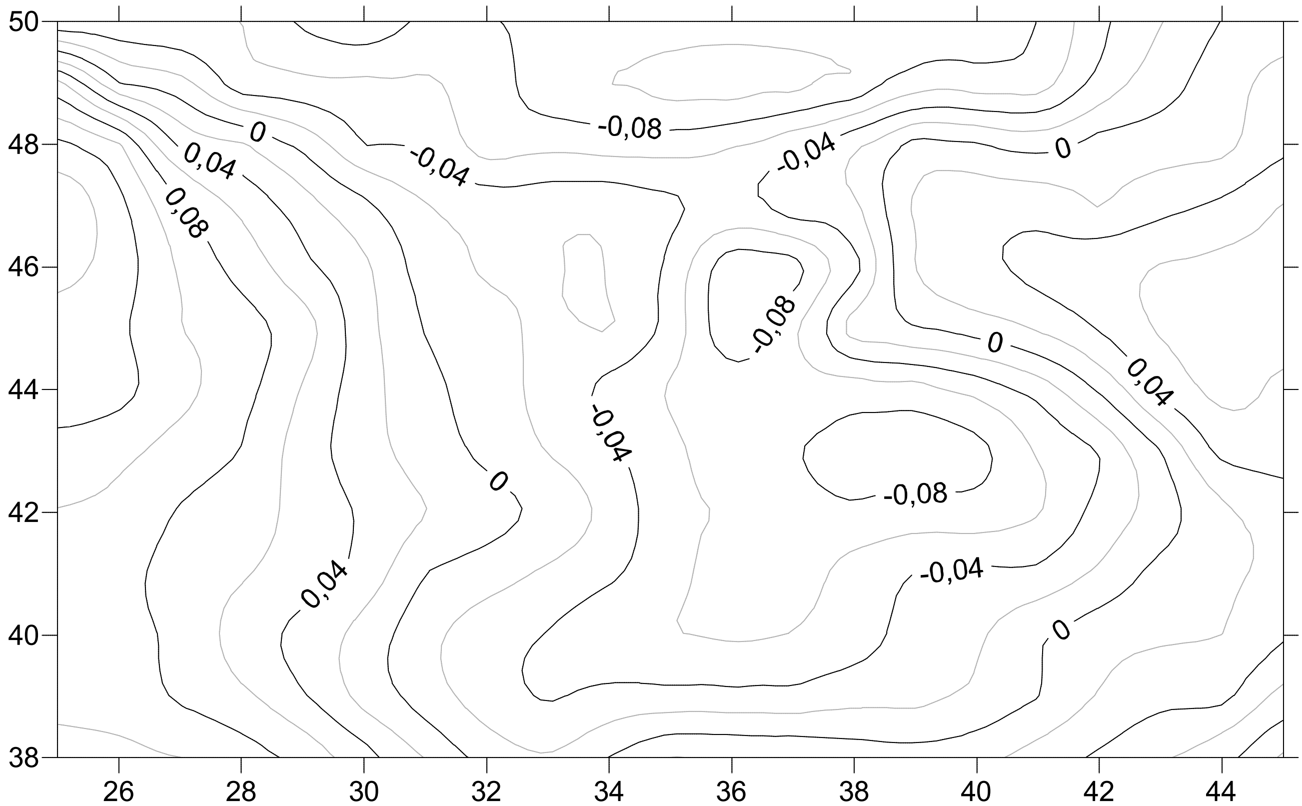

Рис. В.3 – Поле першого власного вектора температури повітря, березень

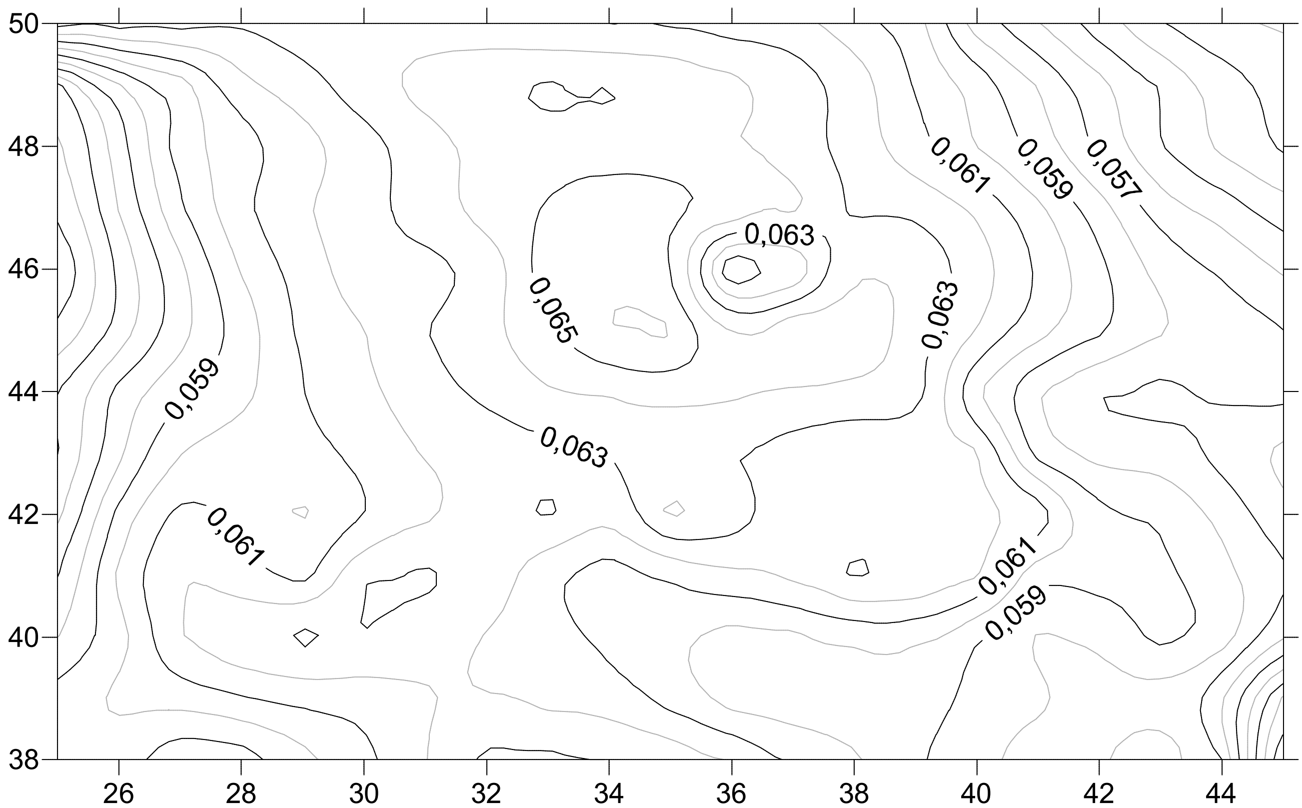

Рис. В.4 – Поле першого власного вектора температури повітря, квітень

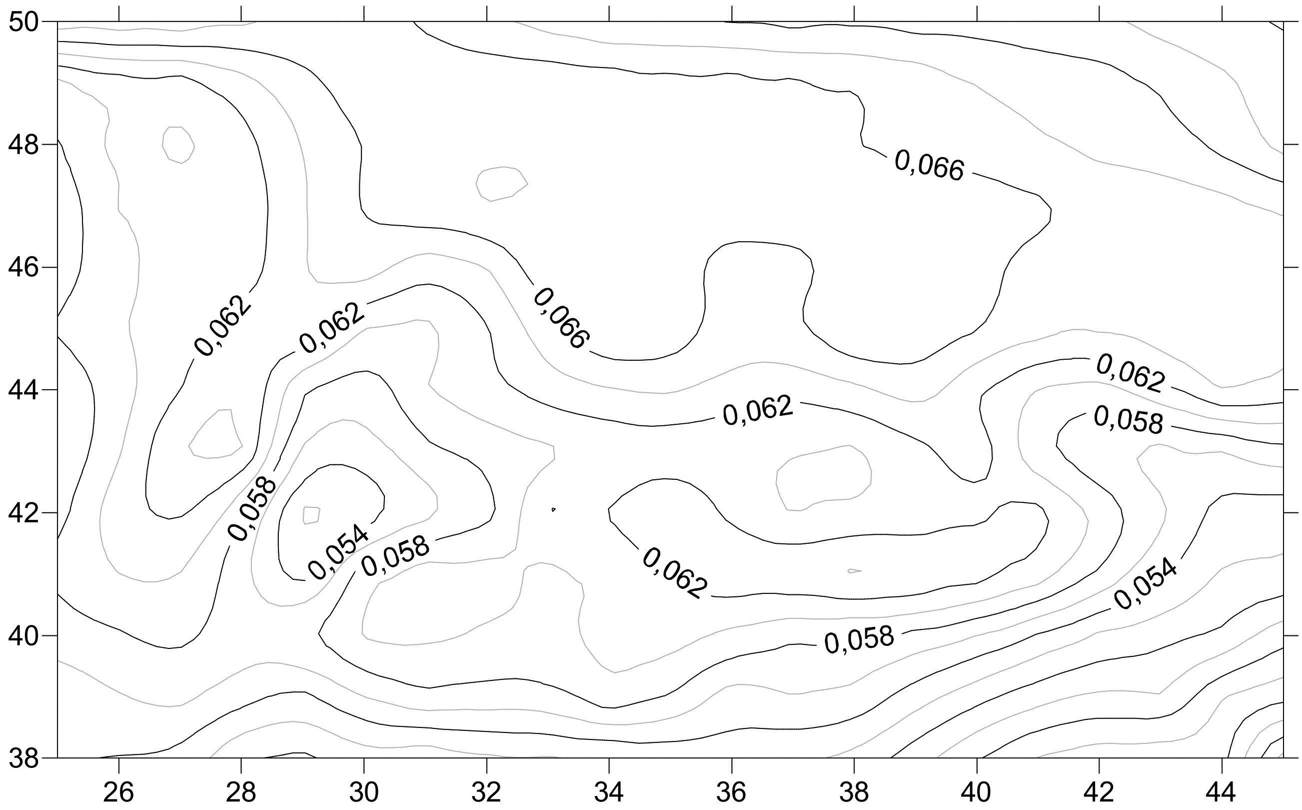

Рис. В.5 – Поле першого власного вектора температури повітря, травень

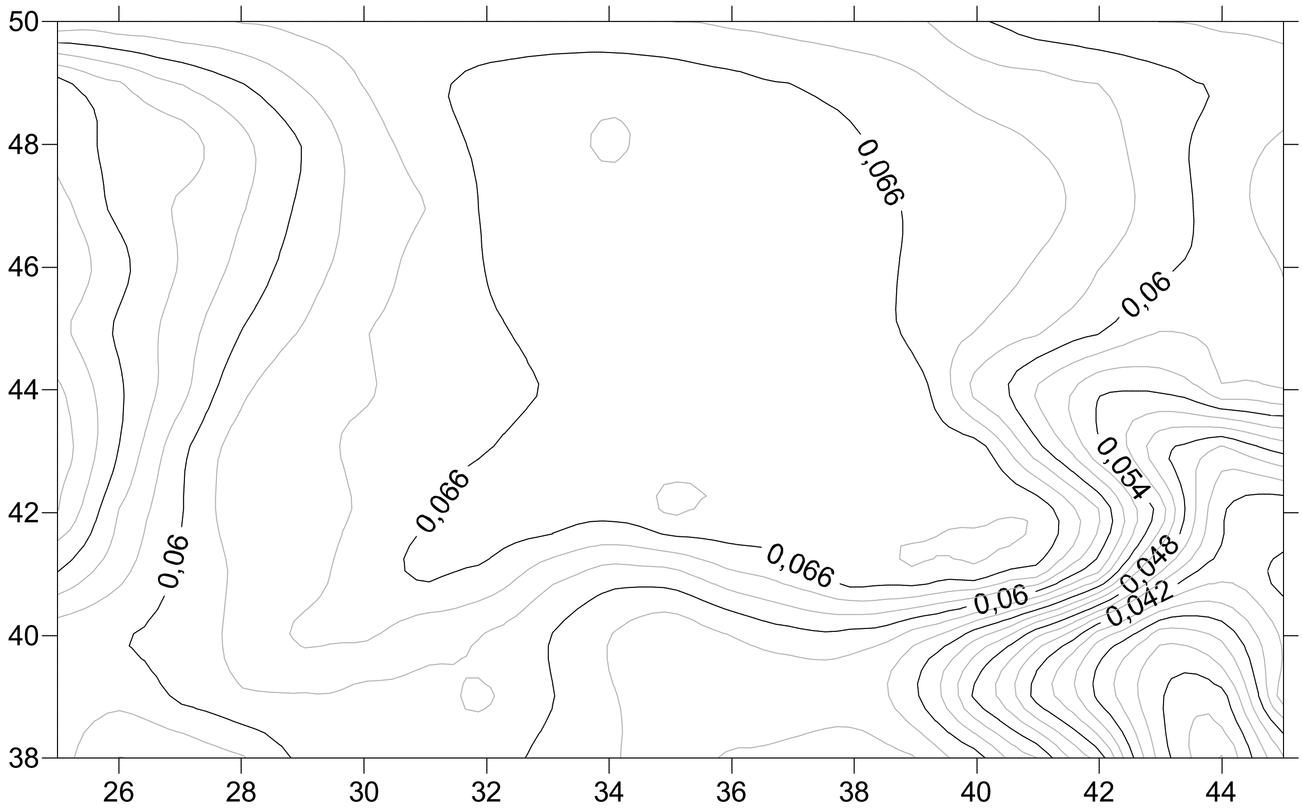

Рис. В.6 – Поле першого власного вектора температури повітря, червень

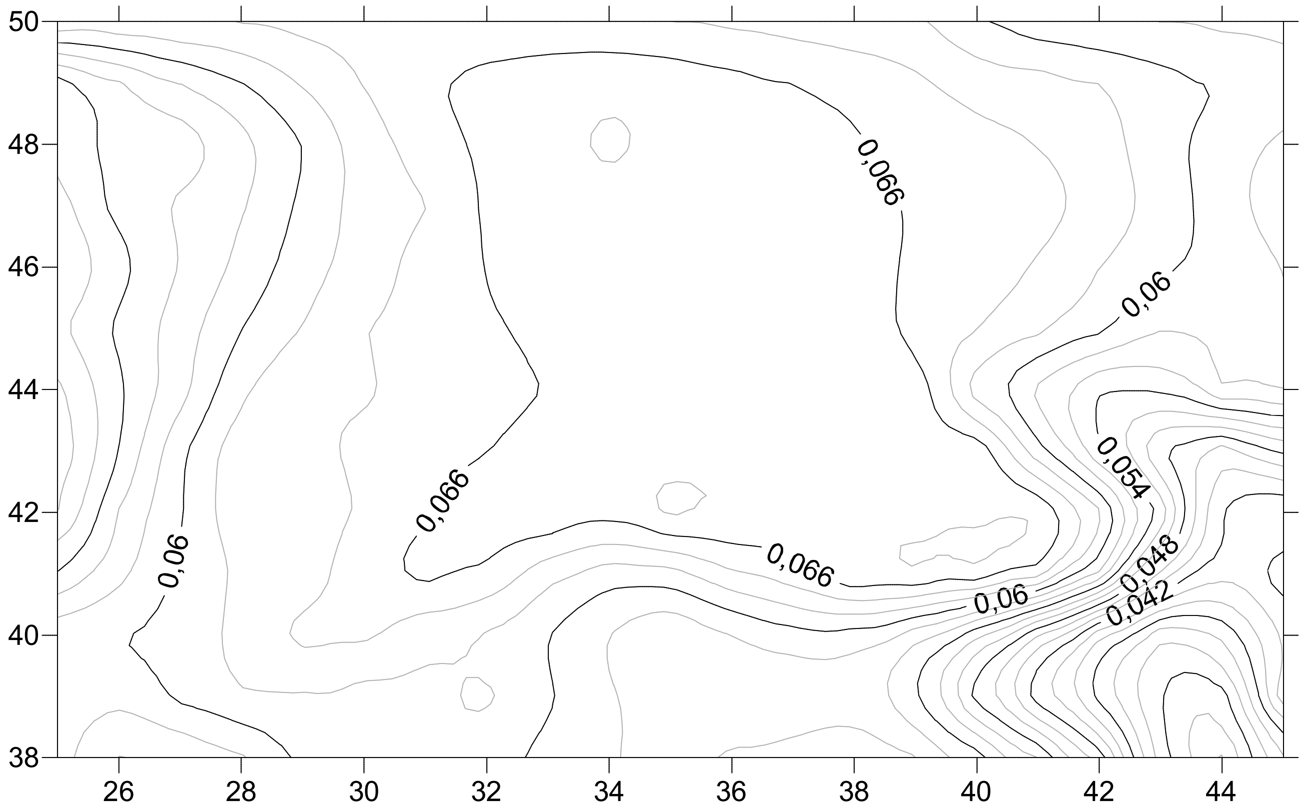

Рис. В.7 – Поле першого власного вектора температури повітря, липень

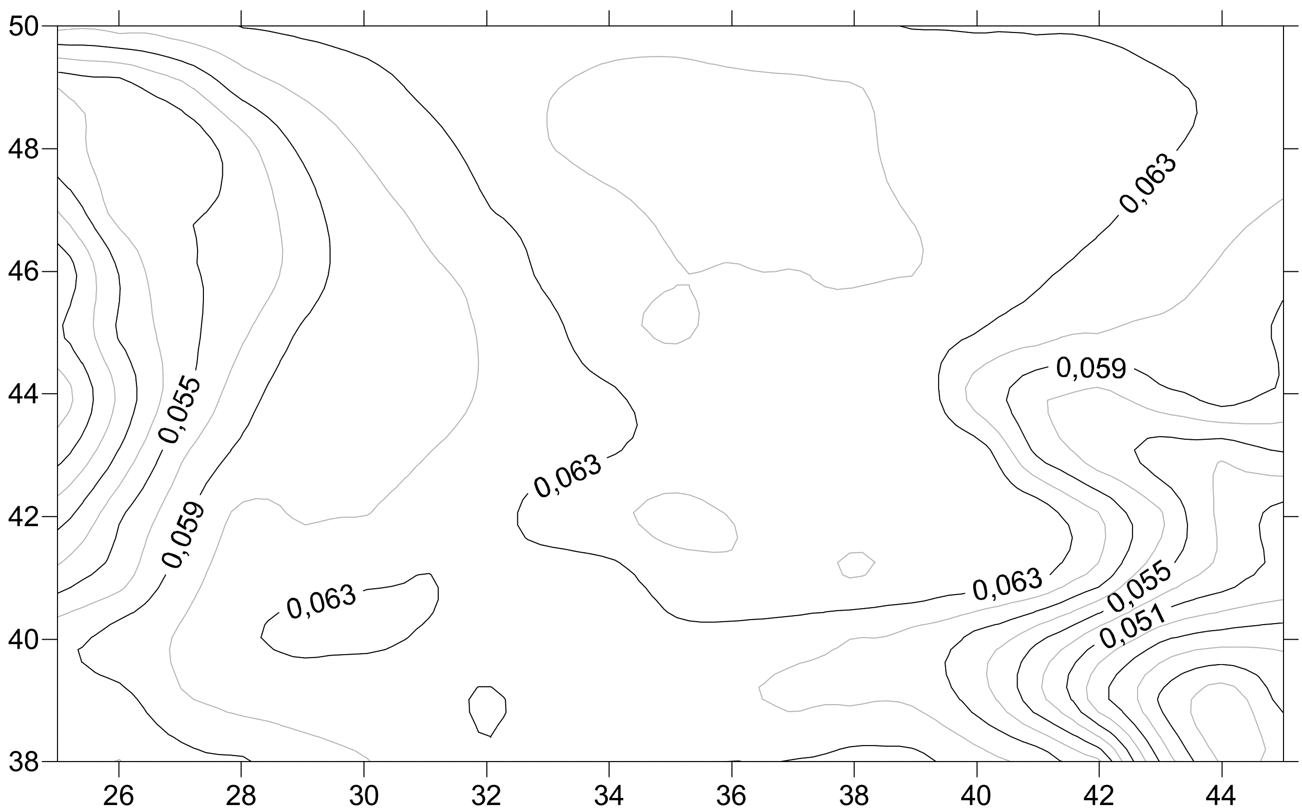

Рис. В.8 – Поле першого власного вектора температури повітря, серпень

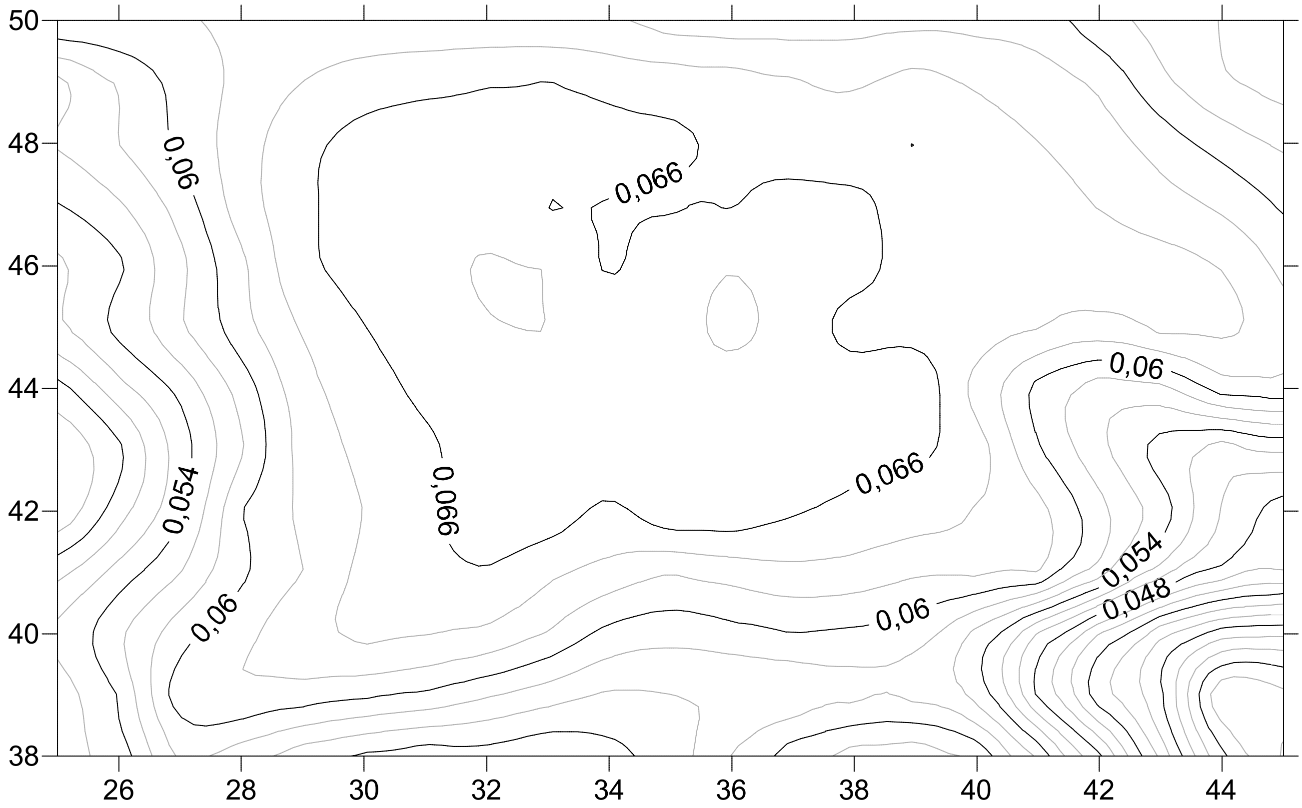

Рис. В.9 – Поле першого власного вектора температури повітря, вересень

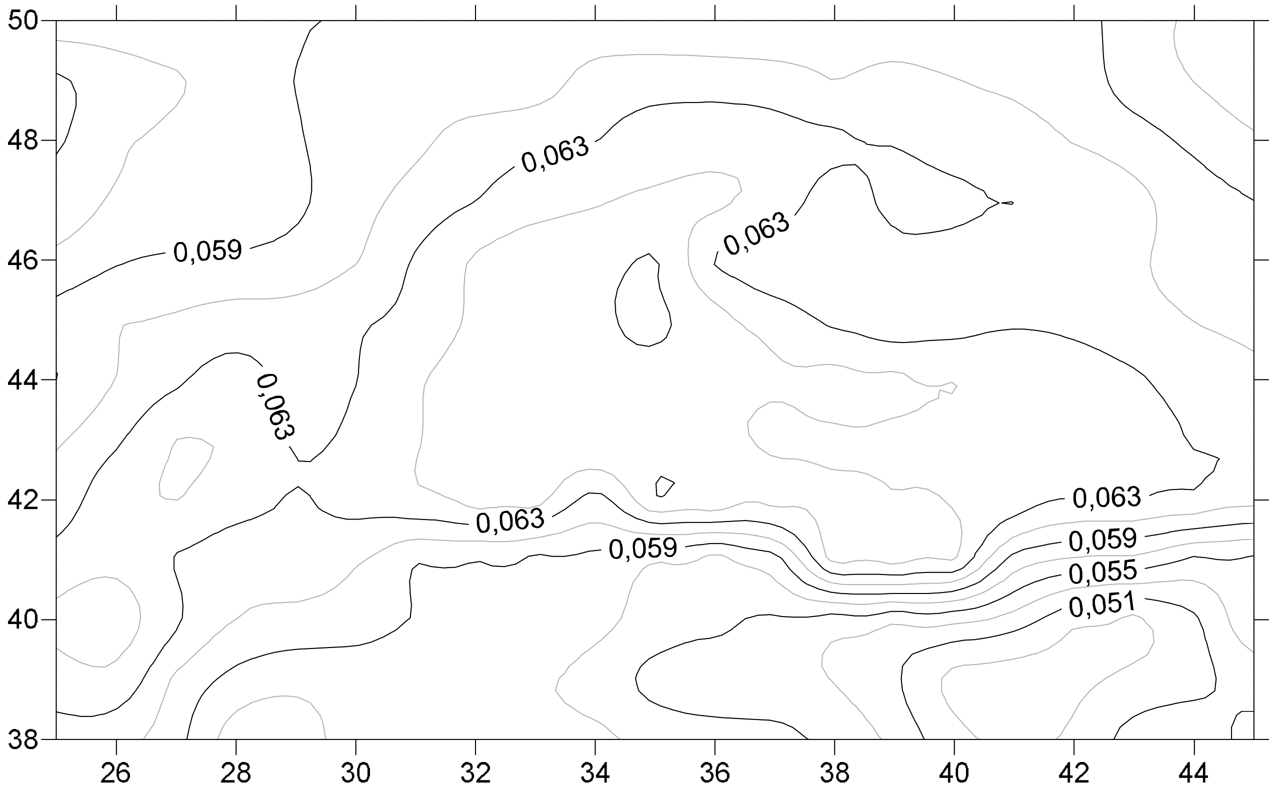

Рис. В.10 – Поле першого власного вектора температури повітря, жовтень

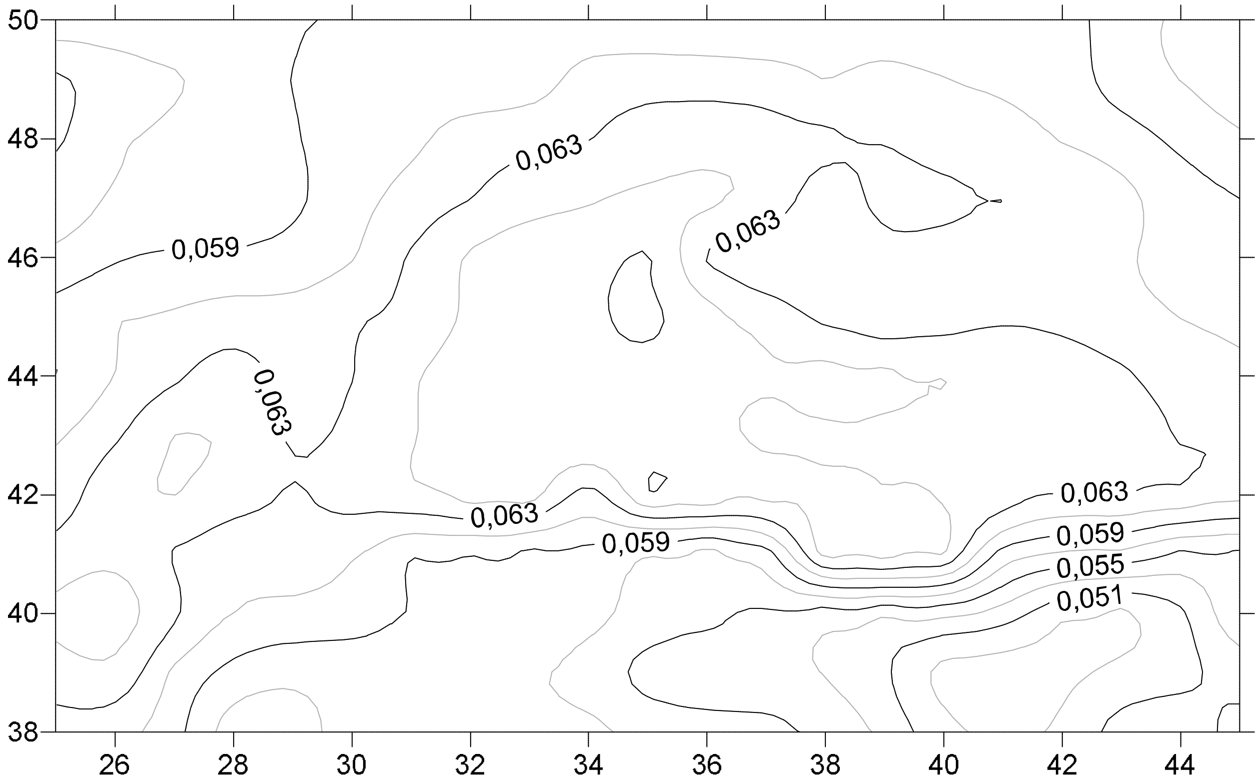

Рис. В.11 – Поле першого власного вектора температури повітря, листопад

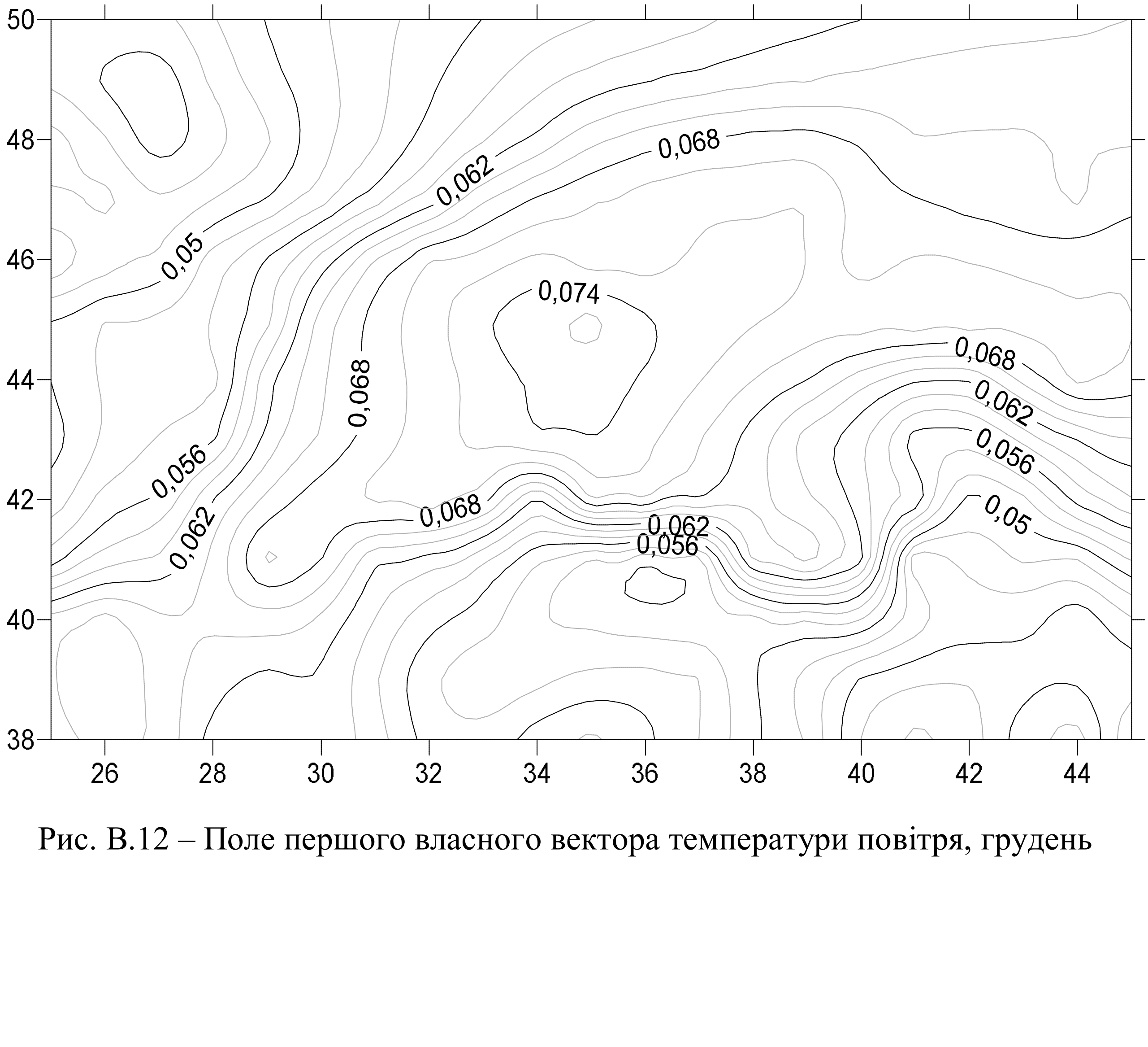

Рис. В.12 – Поле першого власного вектора температури повітря, грудень

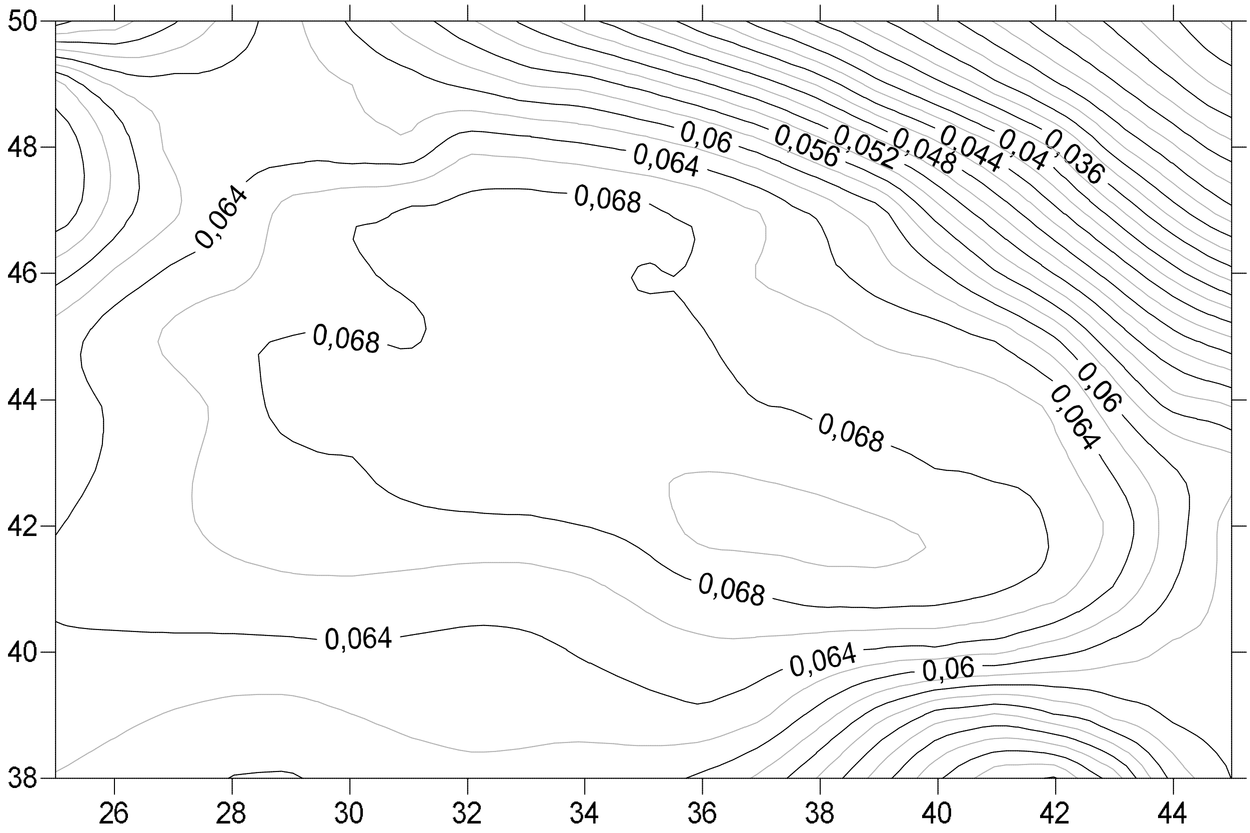

Рис. В.13 – Поле першого власного вектора атмосферного тиску, січень

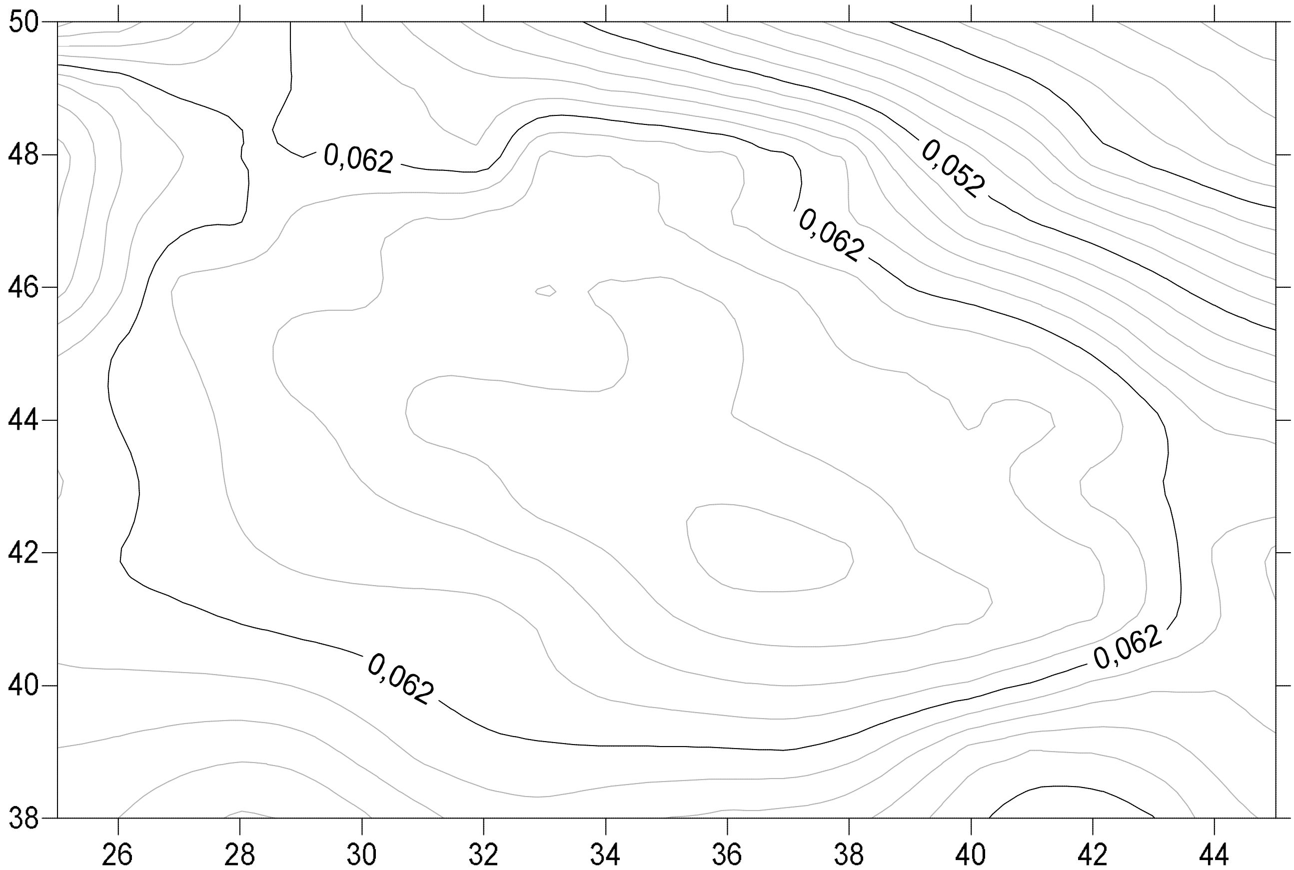

Рис. В.14 – Поле першого власного вектора атмосферного тиску, лютий

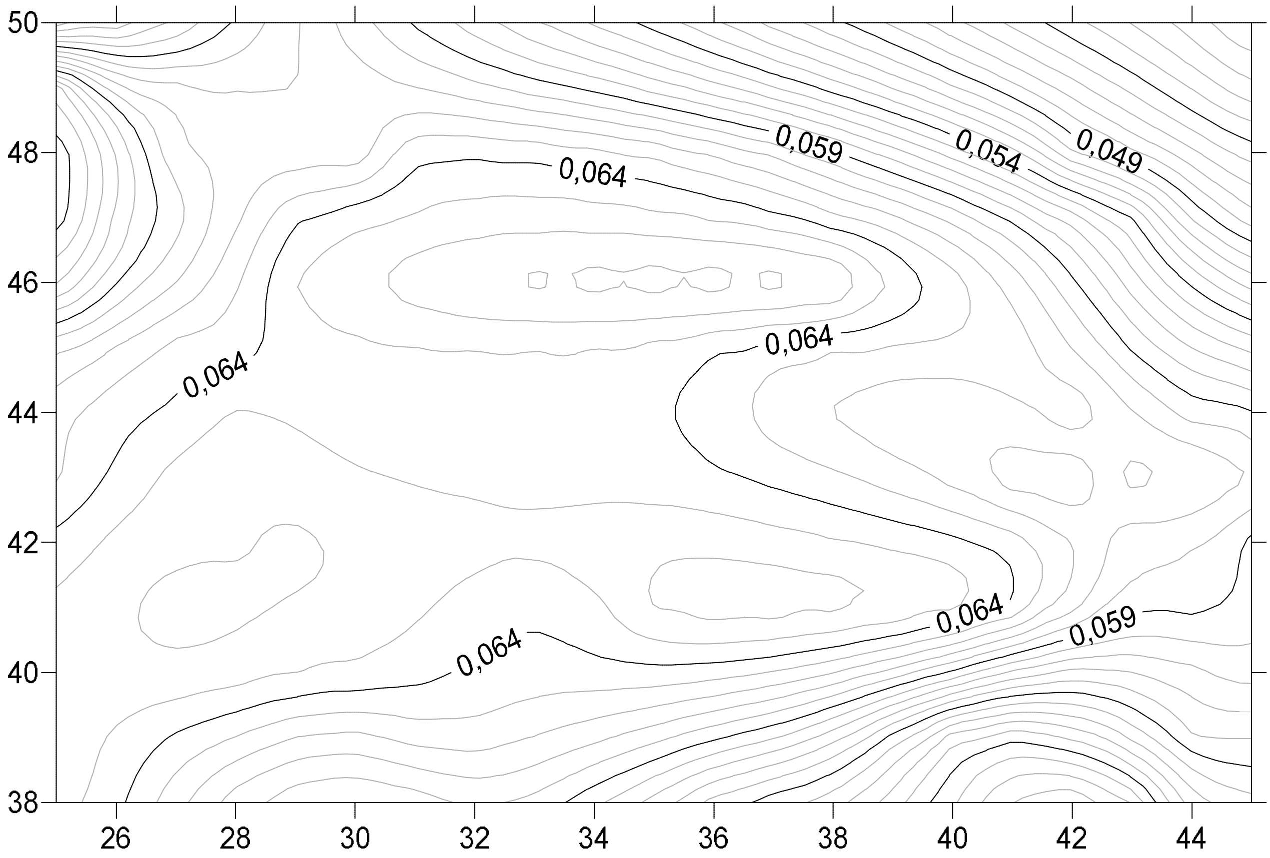

Рис. В.15 – Поле першого власного вектора атмосферного тиску, березень

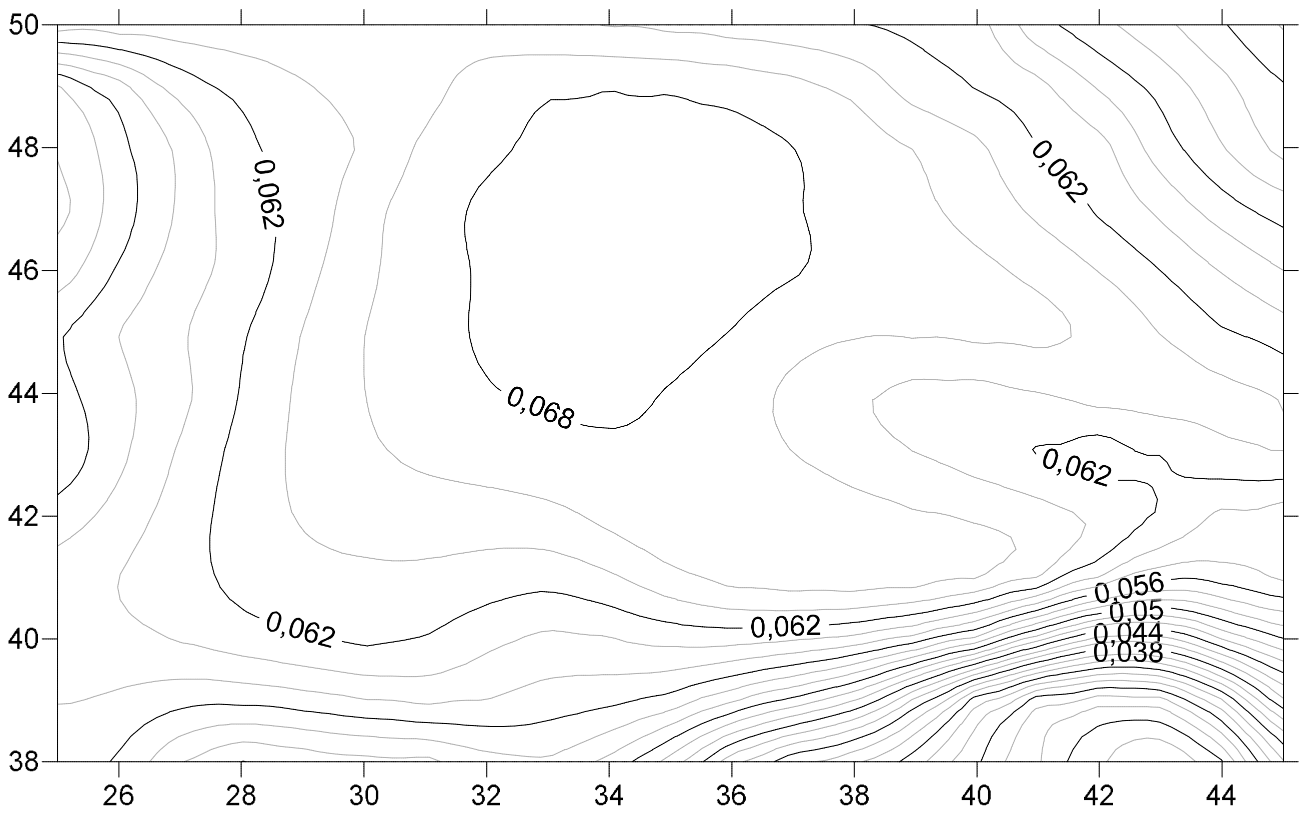

Рис. В.16 – Поле першого власного вектора атмосферного тиску, квітень

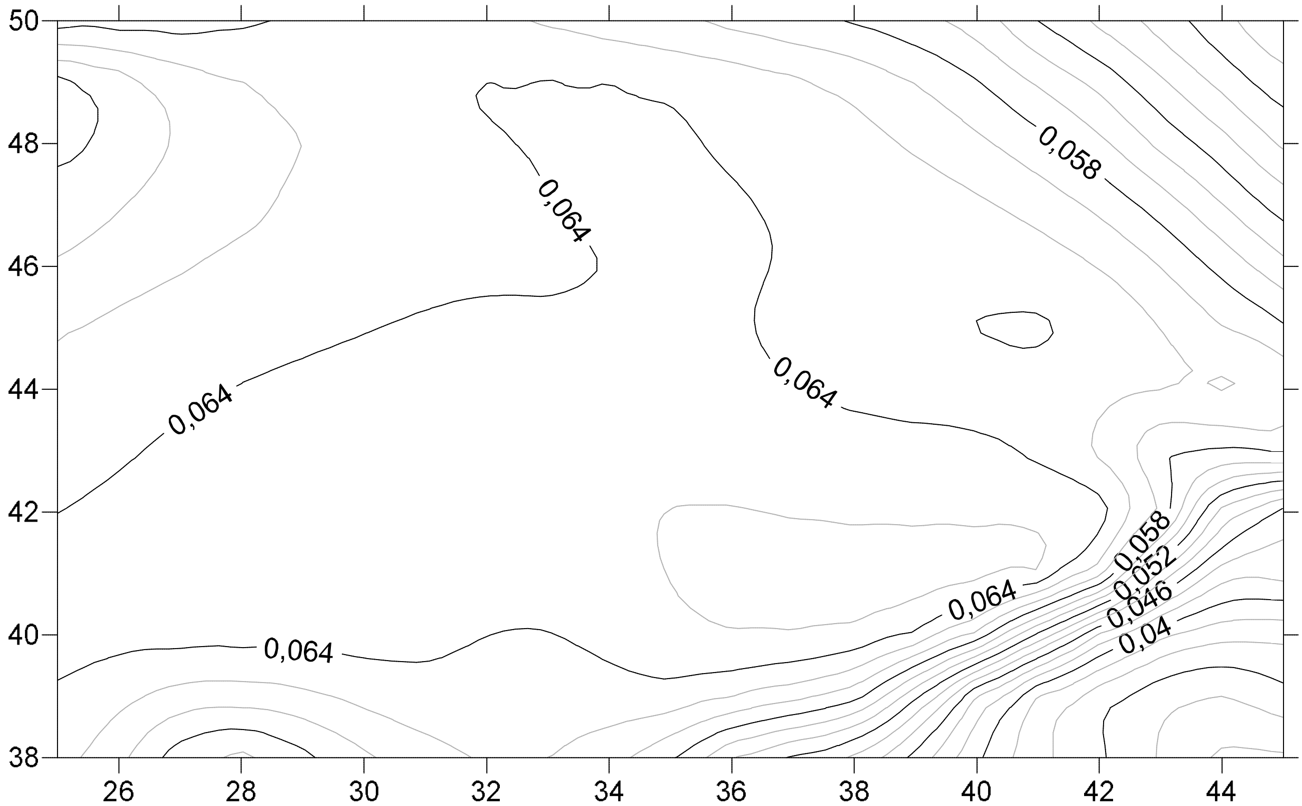

Рис. В.17 – Поле першого власного вектора атмосферного тиску, травень

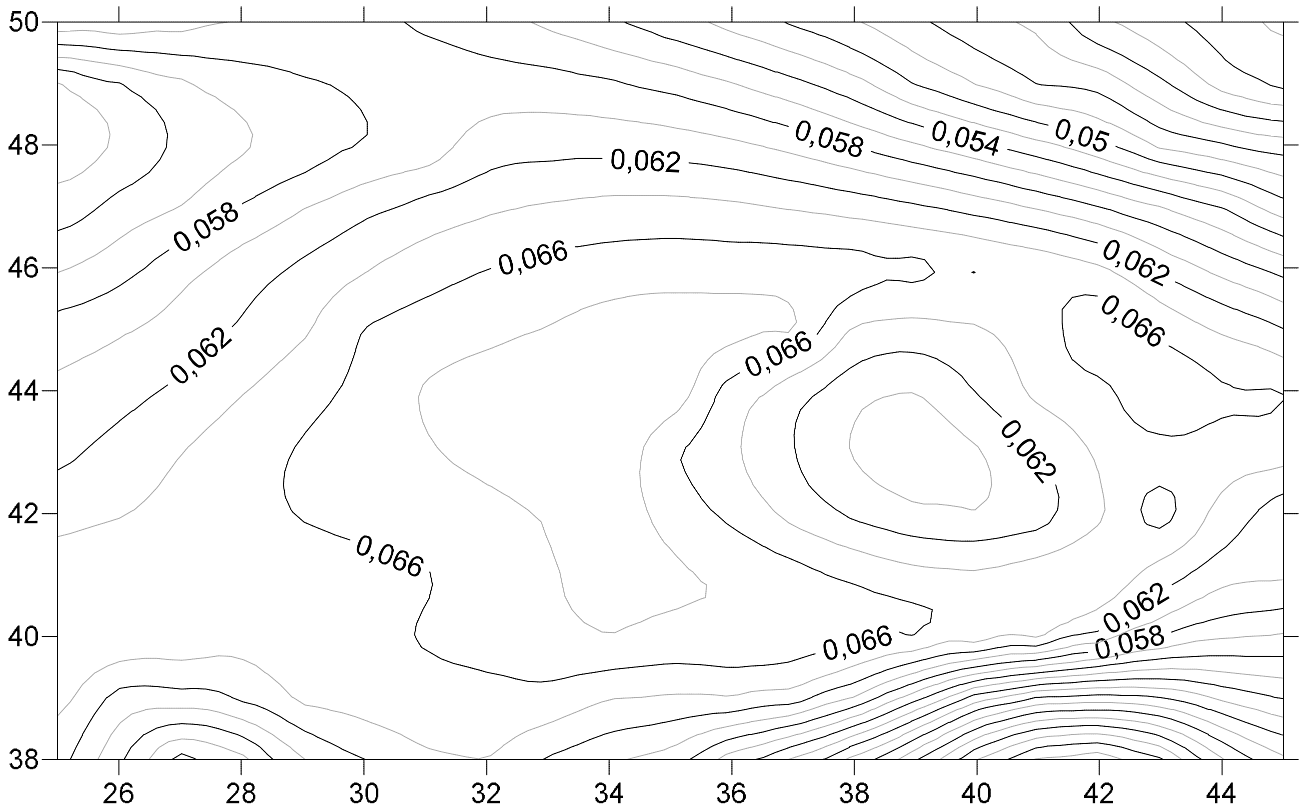

Рис. В.18 – Поле першого власного вектора атмосферного тиску, червень

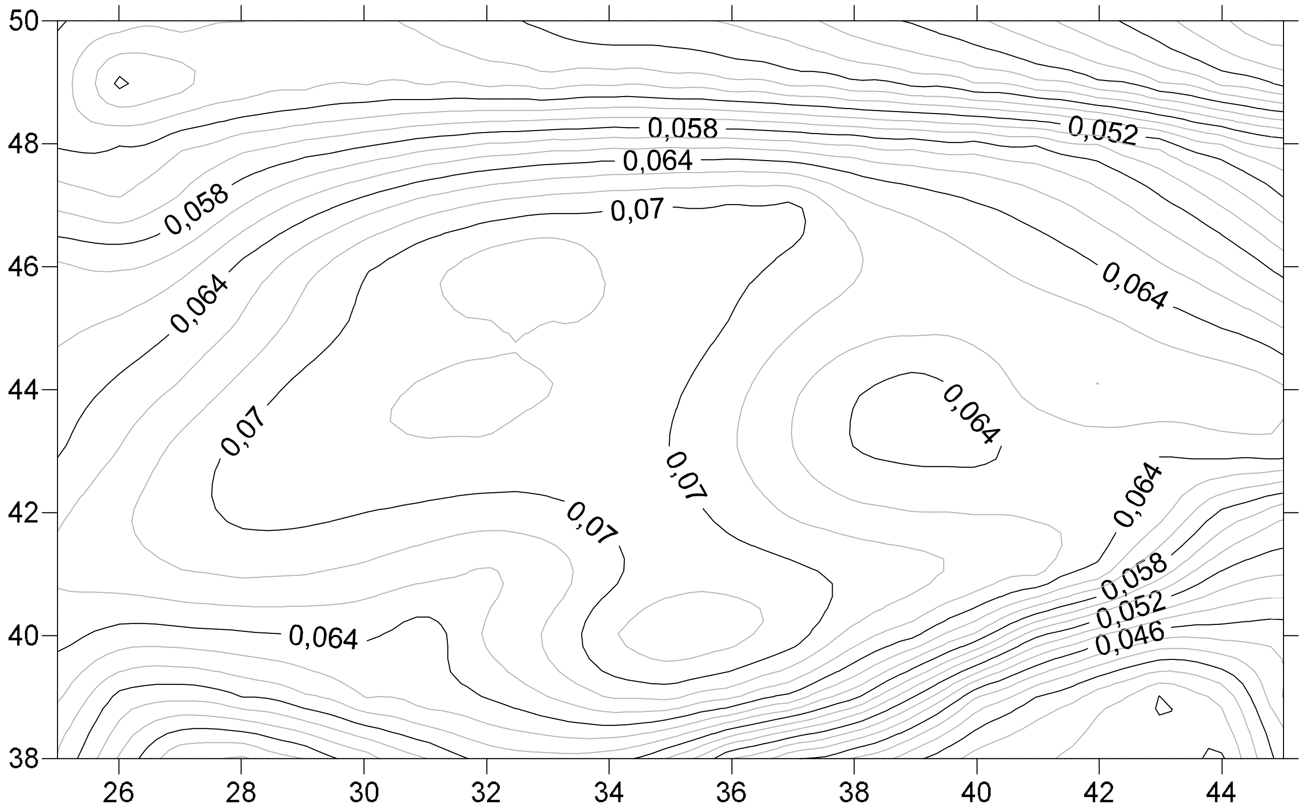

Рис. В.19 – Поле першого власного вектора атмосферного тиску, липень

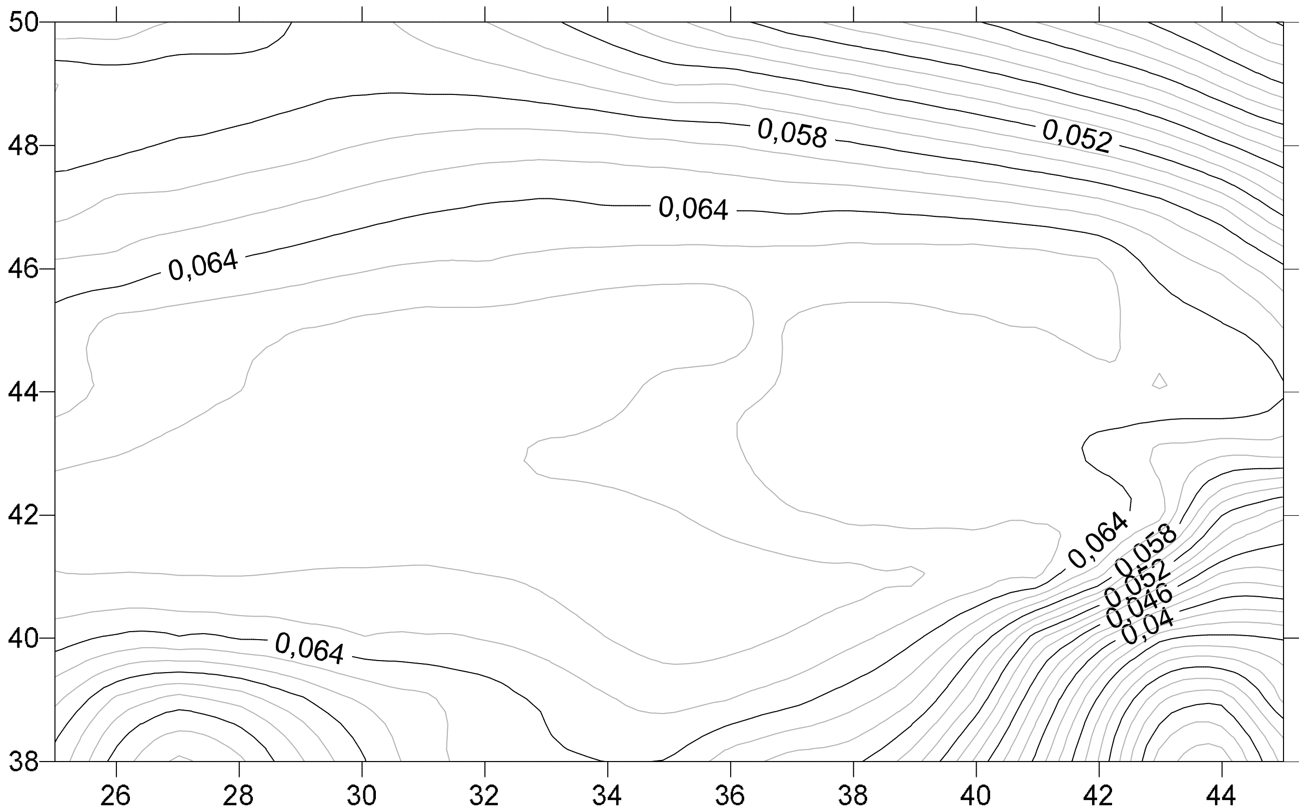

Рис. В.20 – Поле першого власного вектора атмосферного тиску, серпень

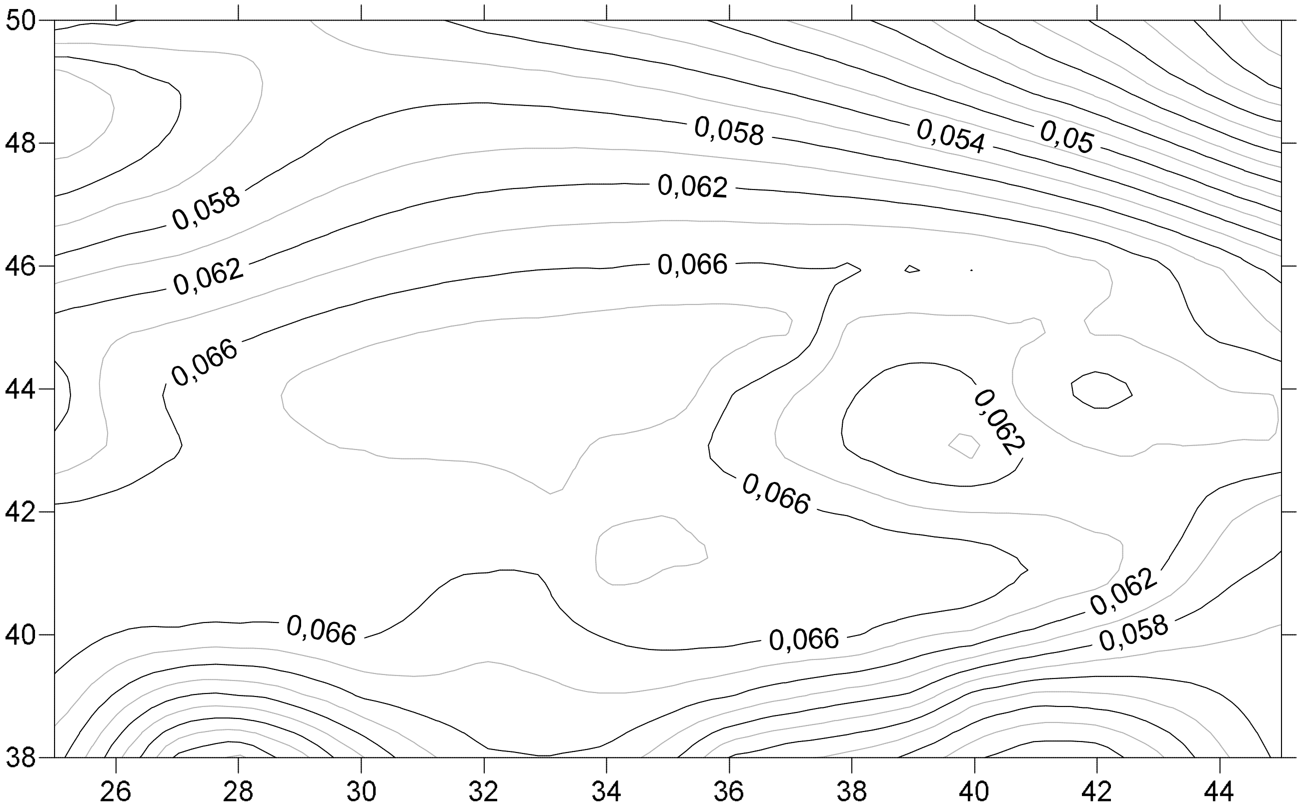

Рис. В.21 – Поле першого власного вектора атмосферного тиску, вересень

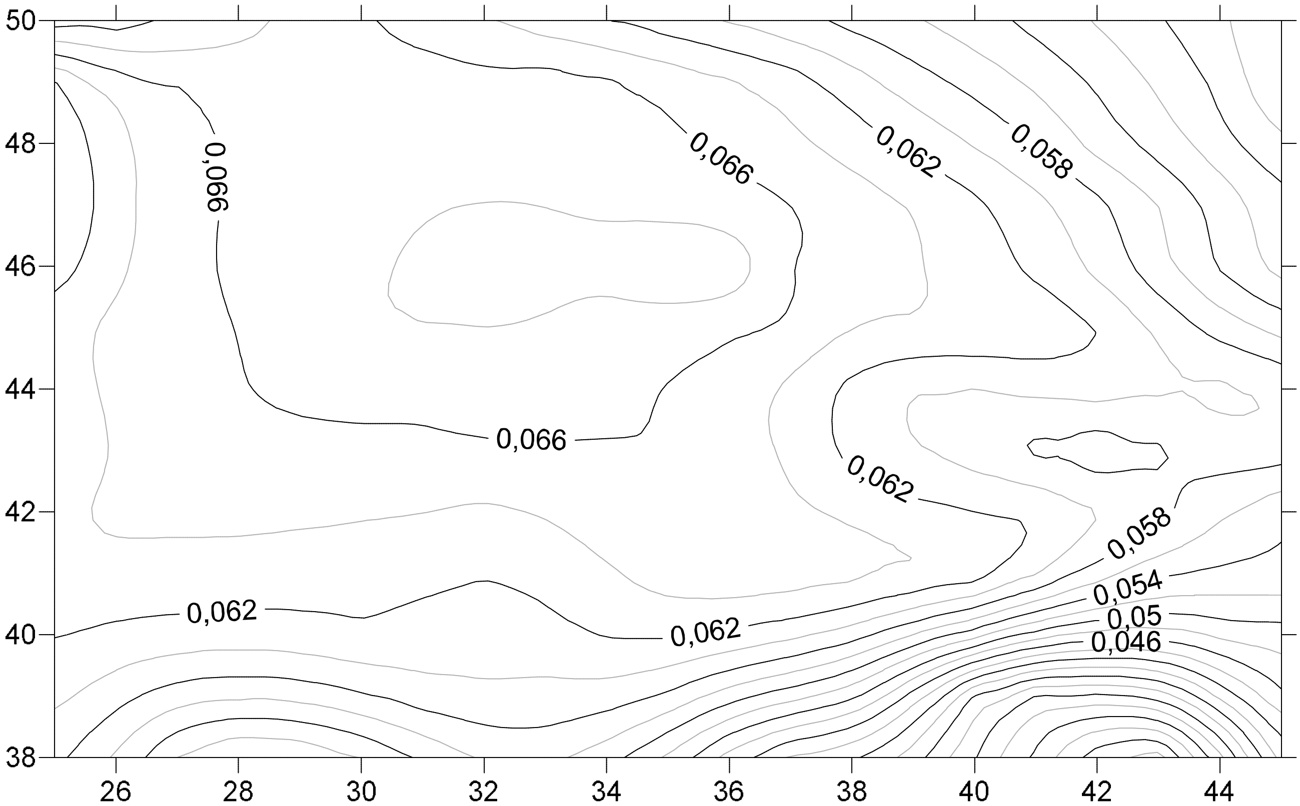

Рис. В.22 – Поле першого власного вектора атмосферного тиску, жовтень

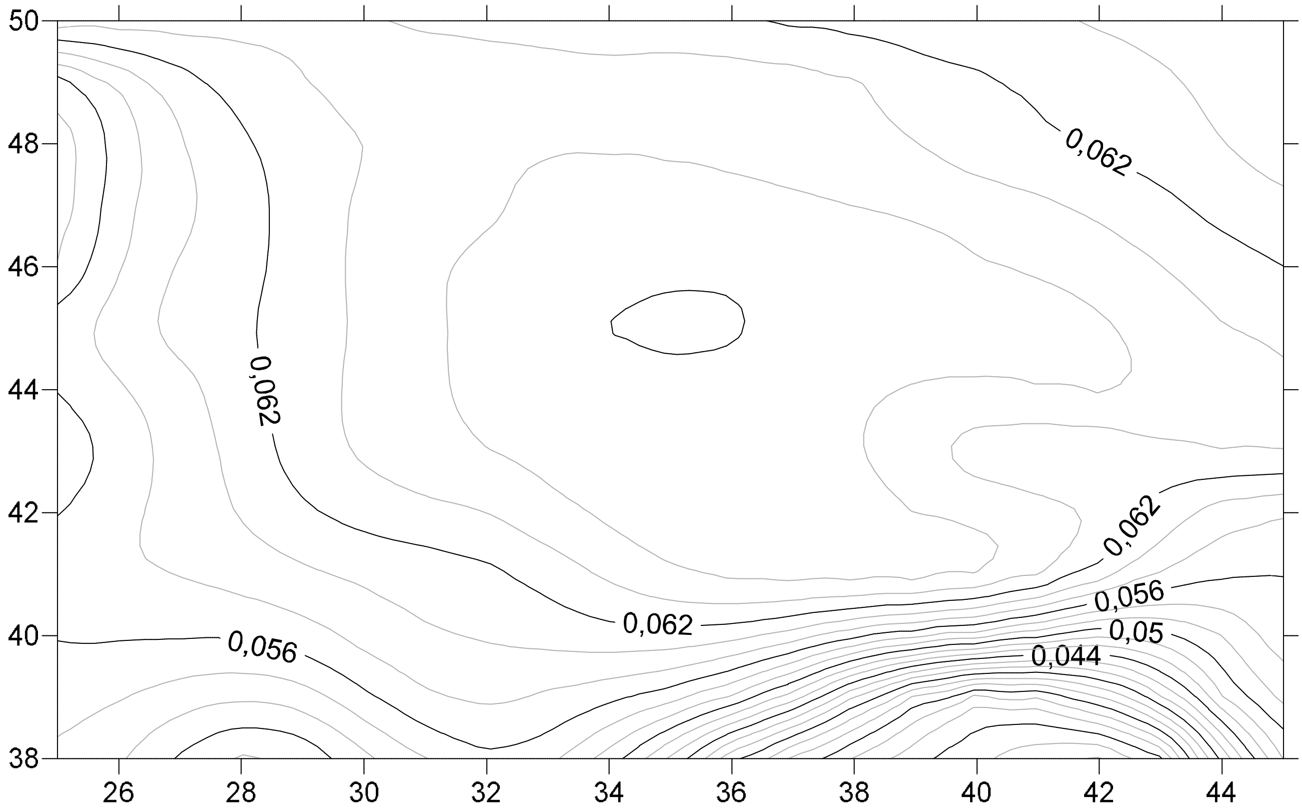

Рис. В.23 – Поле першого власного вектора атмосферного тиску, листопад

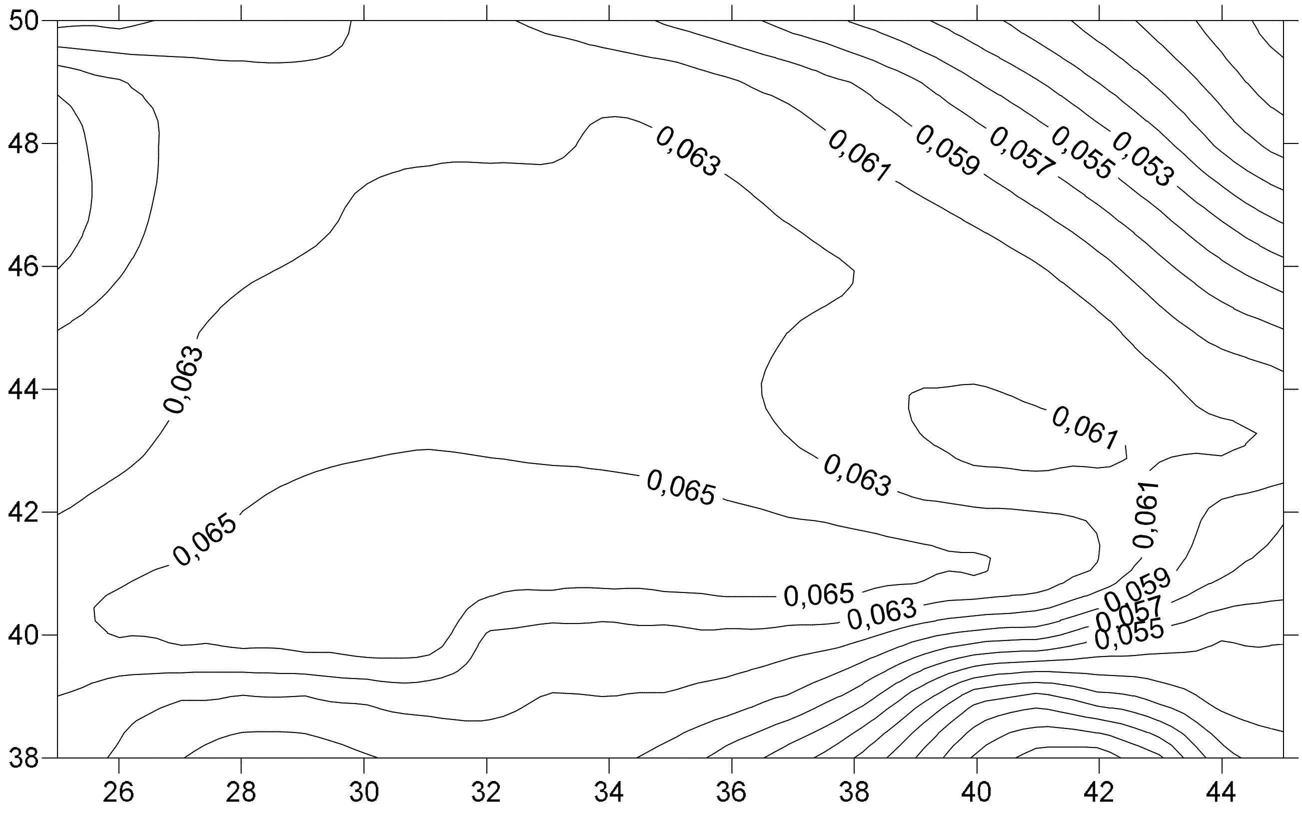

Рис. В.24 – Поле першого власного вектора атмосферного тиску, грудень

Додаток Г – Поля другого власного вектора приземної температури повітря та атмосферного тиску

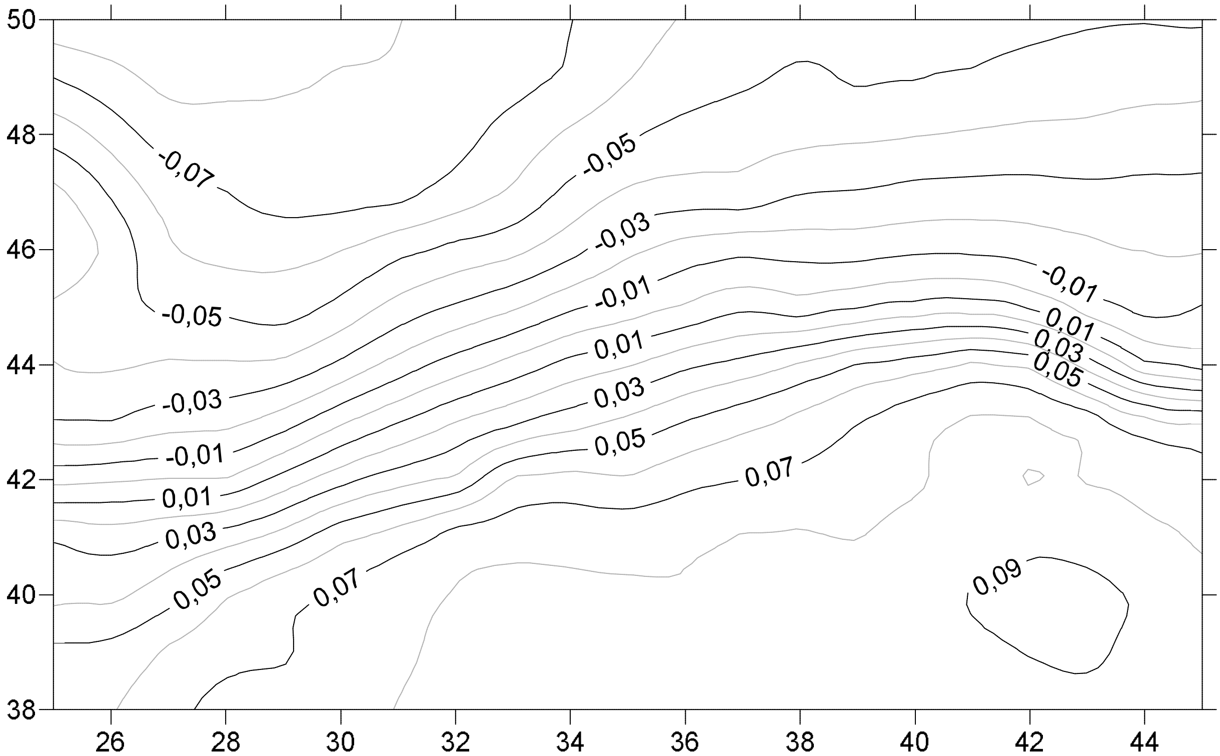

Рис. Г.1 – Поле другого власного вектора температури повітря, січень

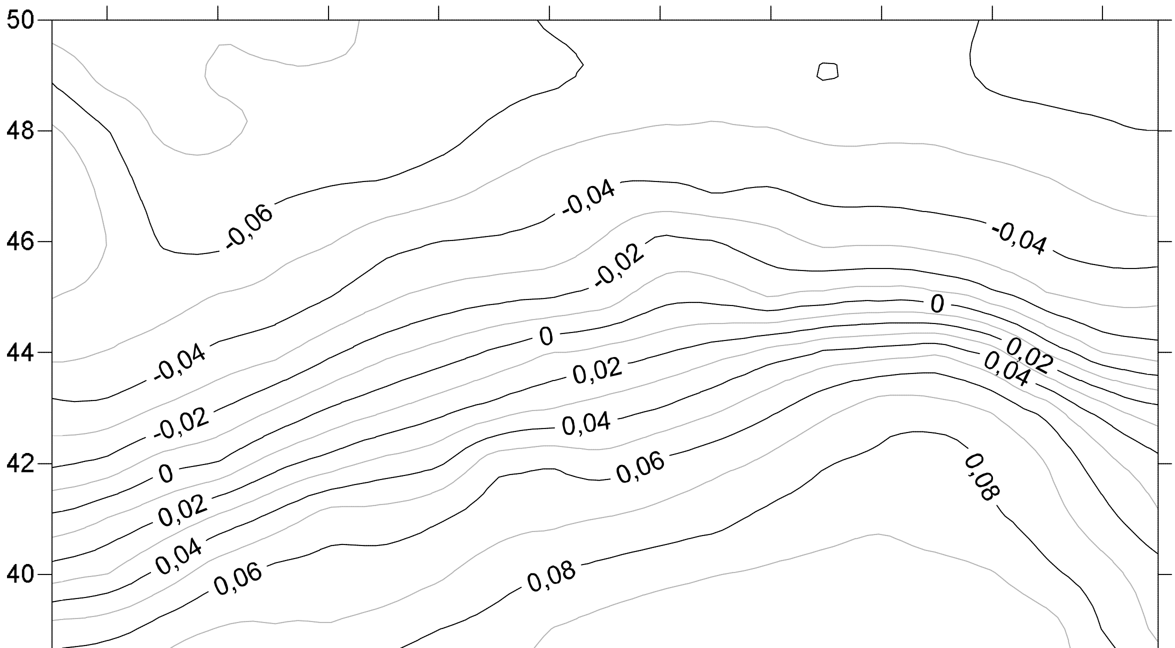

Рис. Г.2 – Поле другого власного вектора температури повітря, лютий

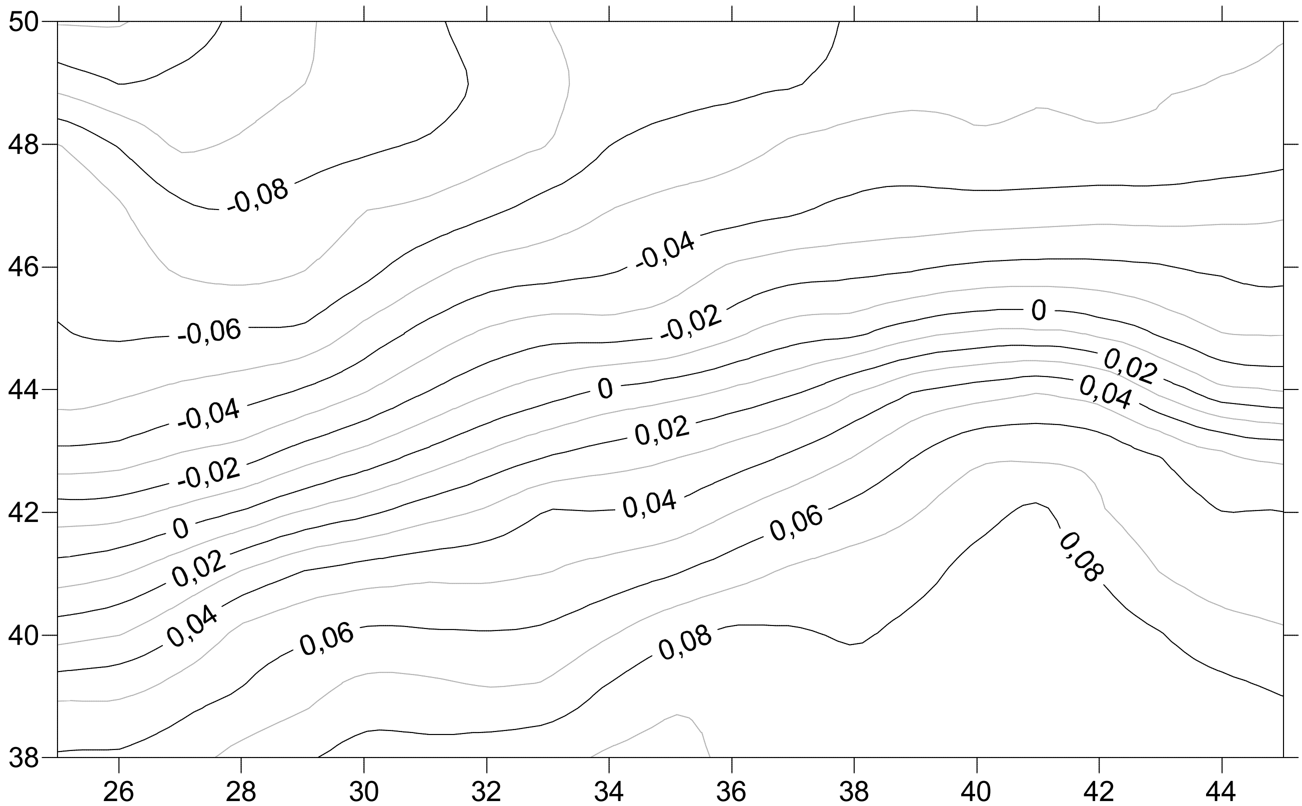

Рис. Г.3 – Поле другого власного вектора температури повітря, березень

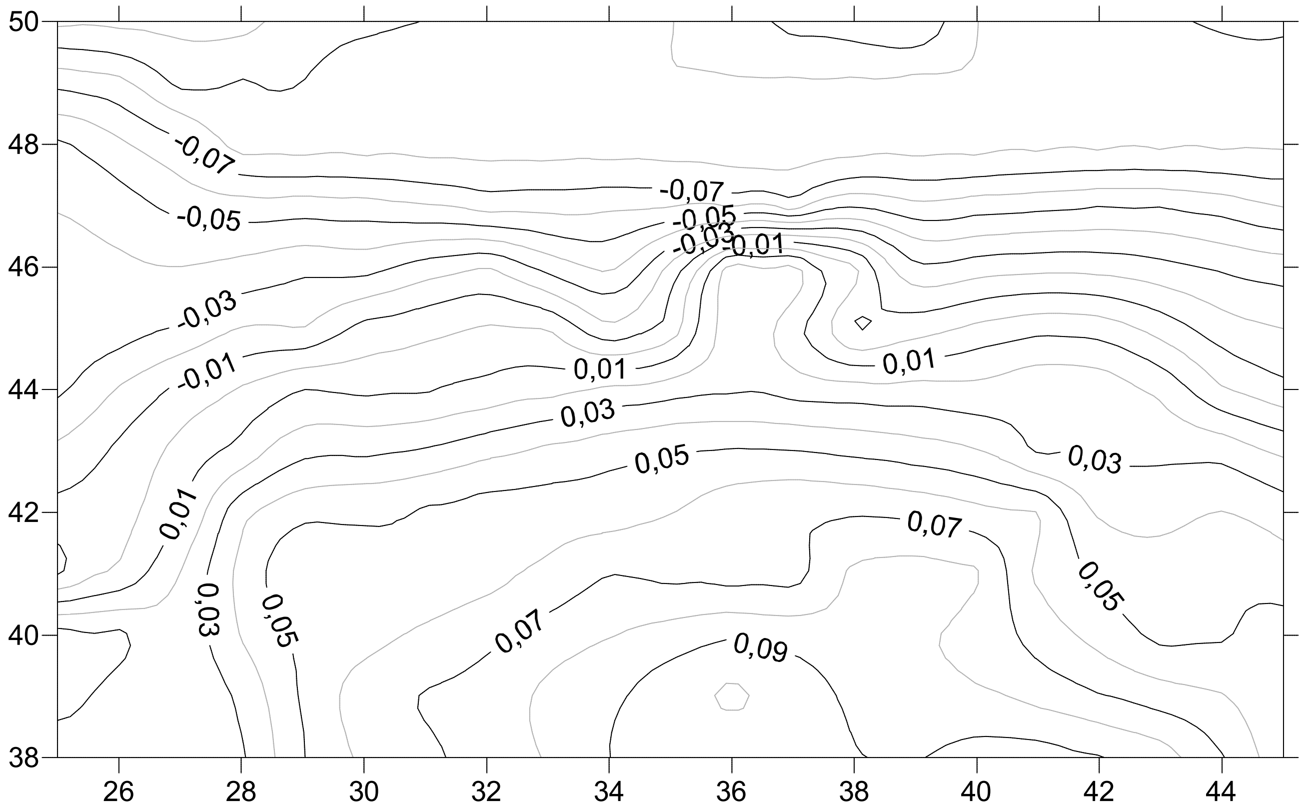

Рис. Г.4 – Поле другого власного вектора температури повітря, квітень

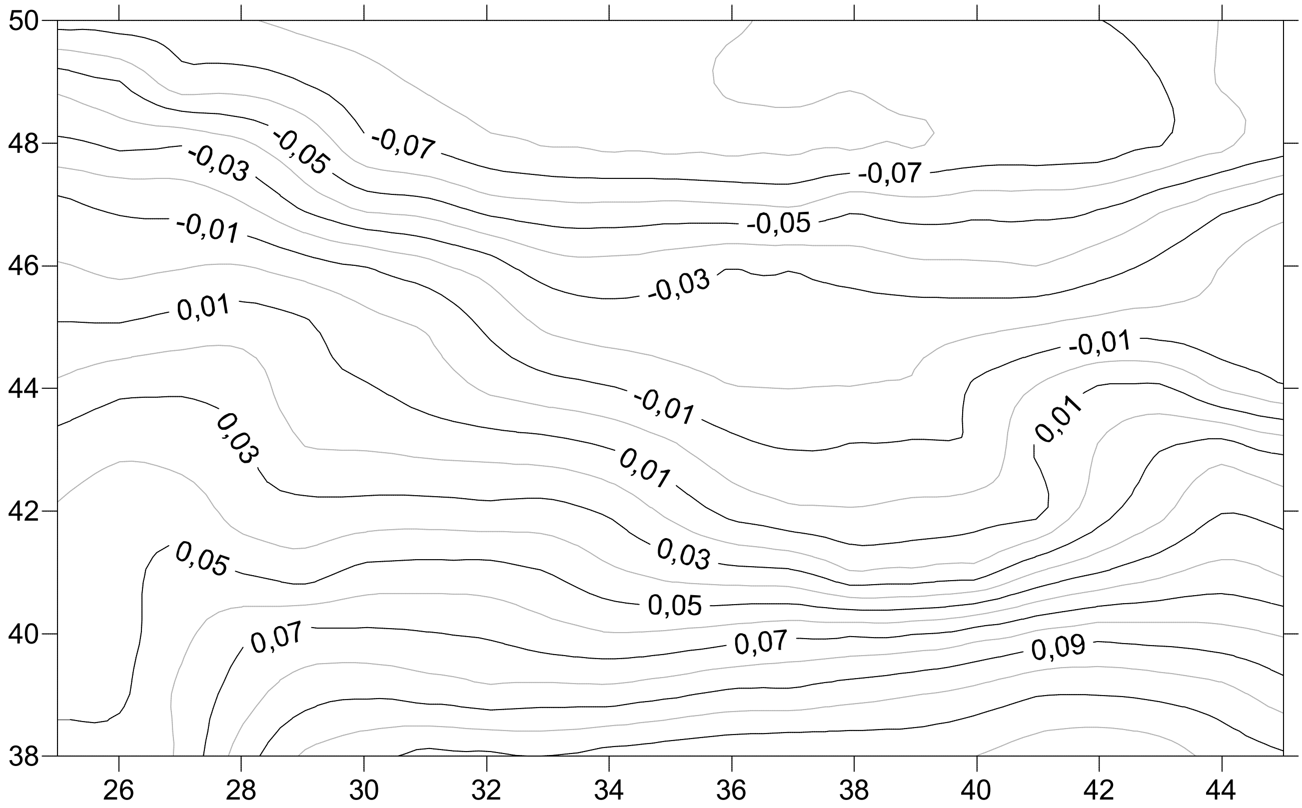

Рис. Г.5 – Поле другого власного вектора температури повітря, травень

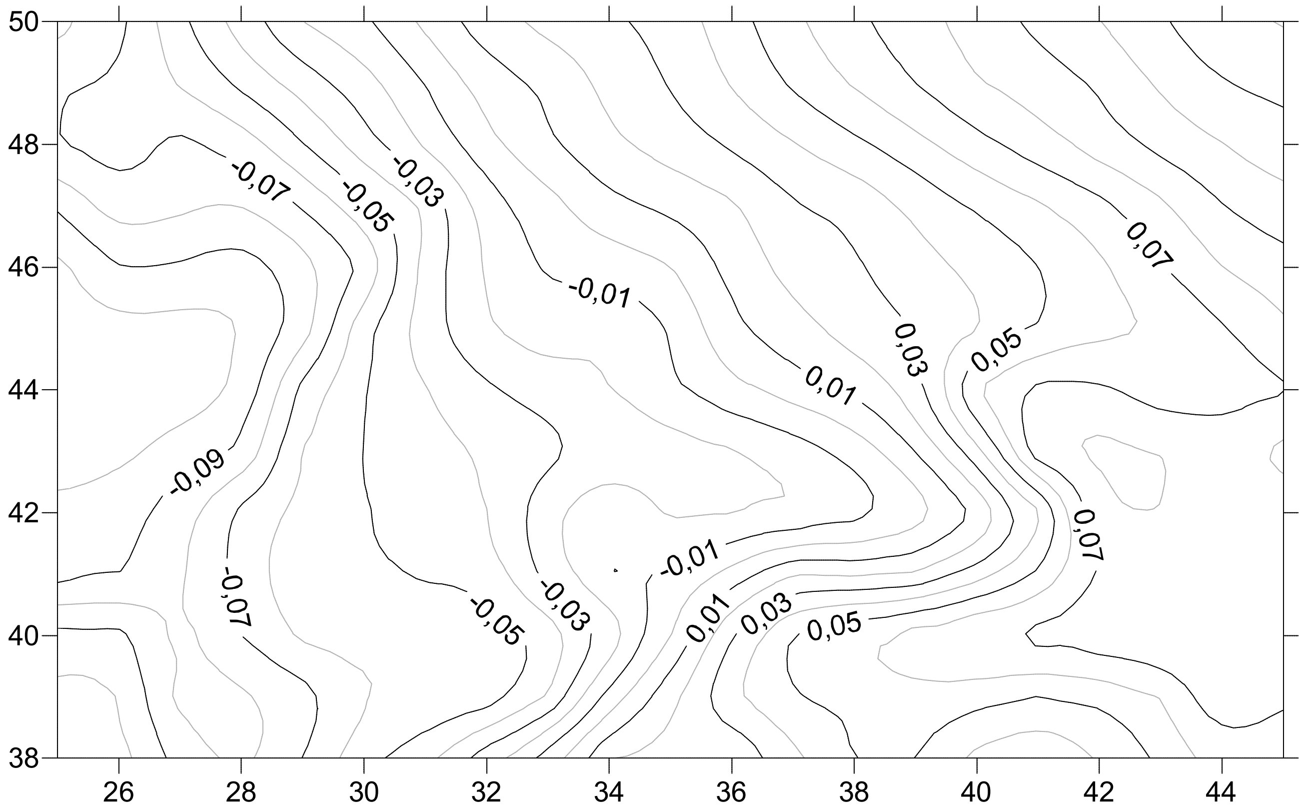

Рис. Г.6 – Поле другого власного вектора температури повітря, червень

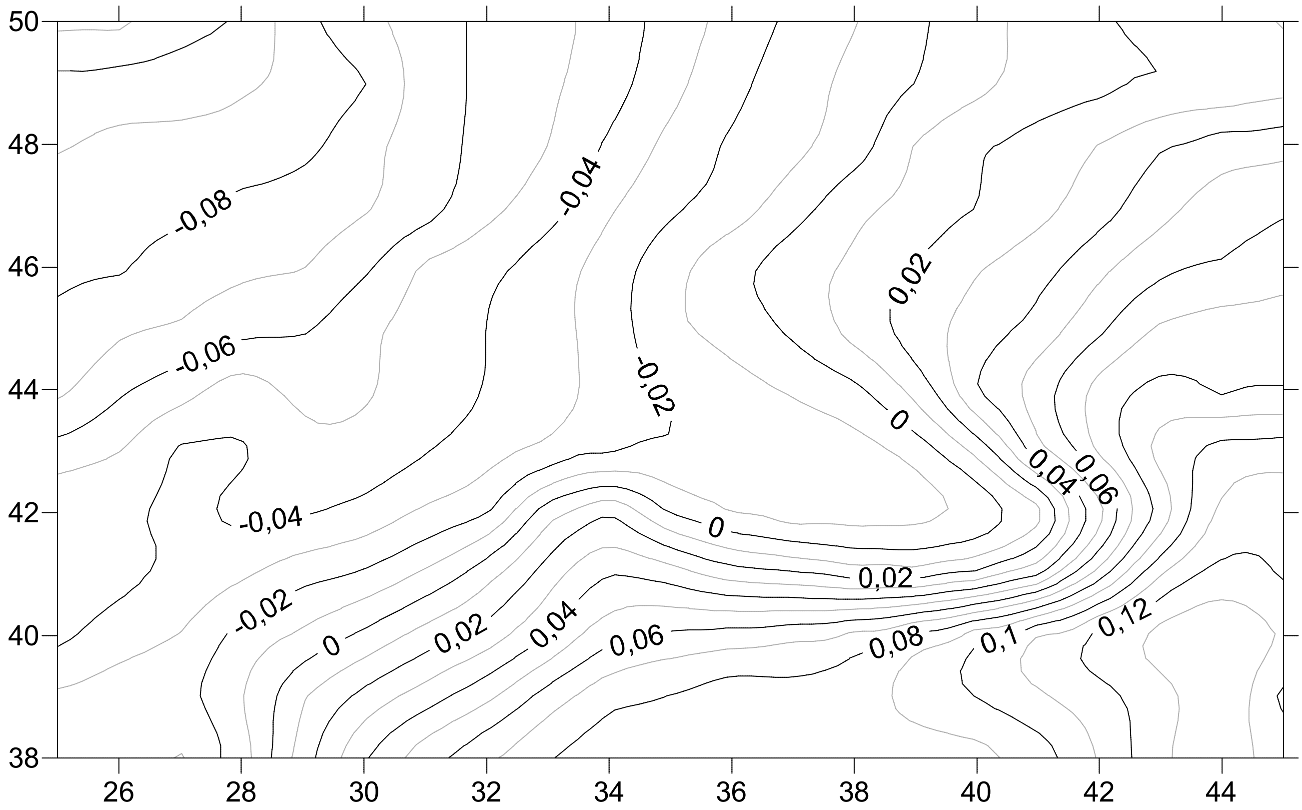

Рис. Г.7 – Поле другого власного вектора температури повітря, липень

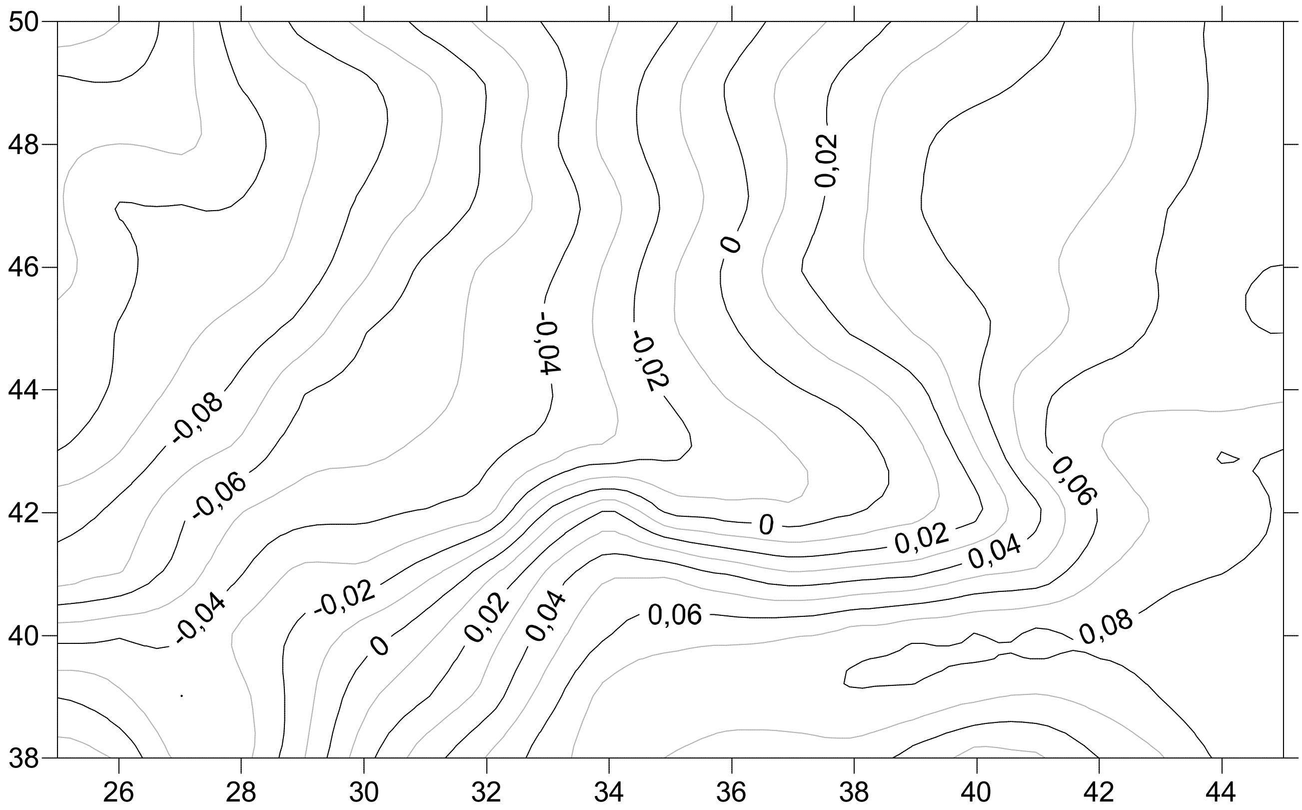

Рис. Г.8 – Поле другого власного вектора температури повітря, серпень

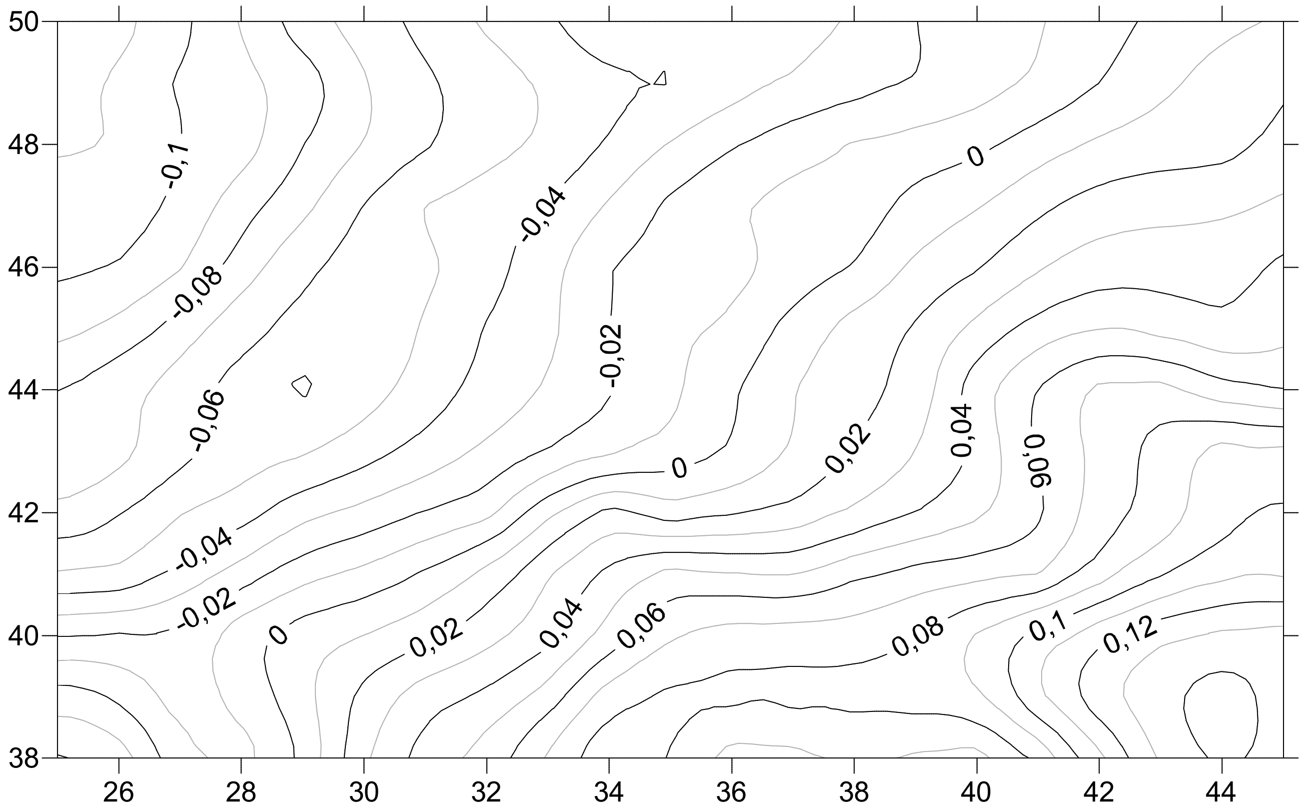

Рис. Г.9 – Поле другого власного вектора температури повітря, вересень

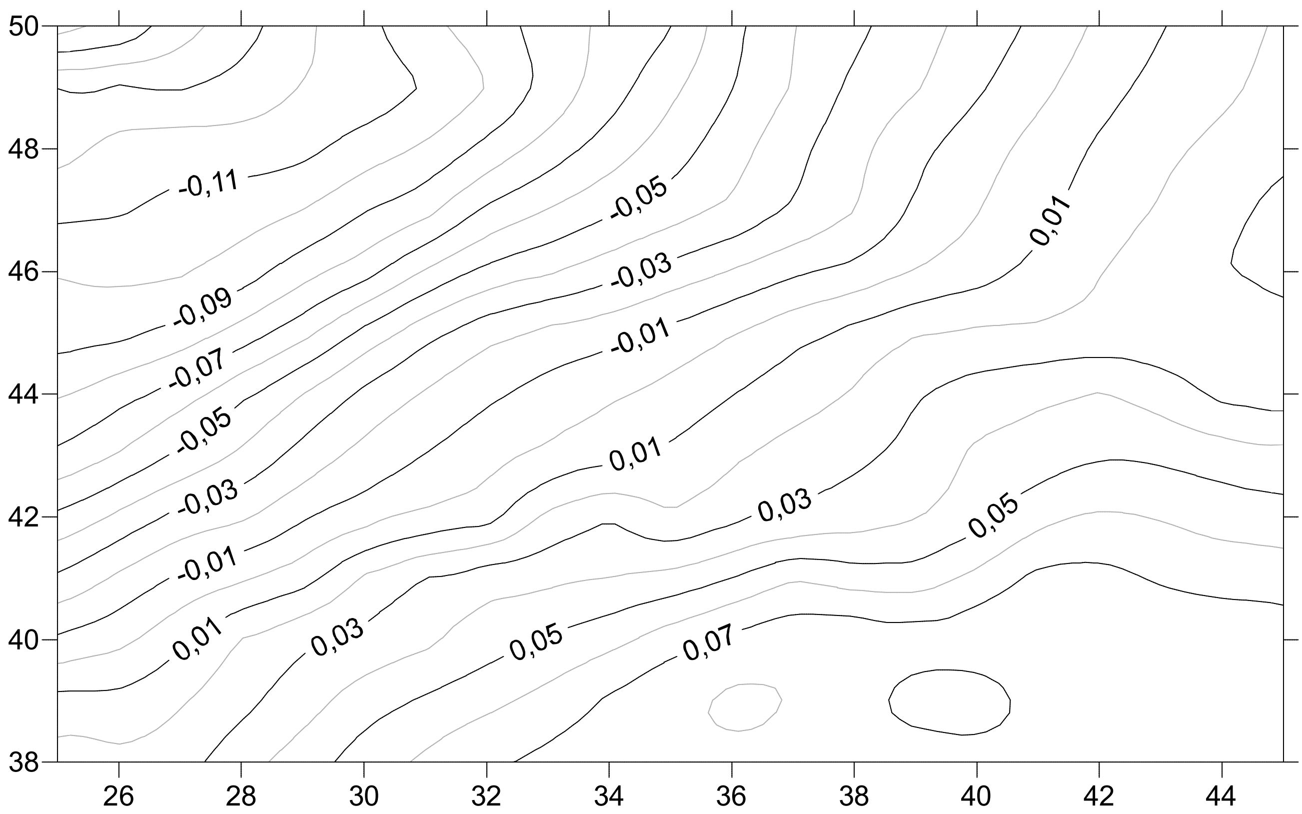

Рис. Г.10 – Поле другого власного вектора температури повітря, жовтень

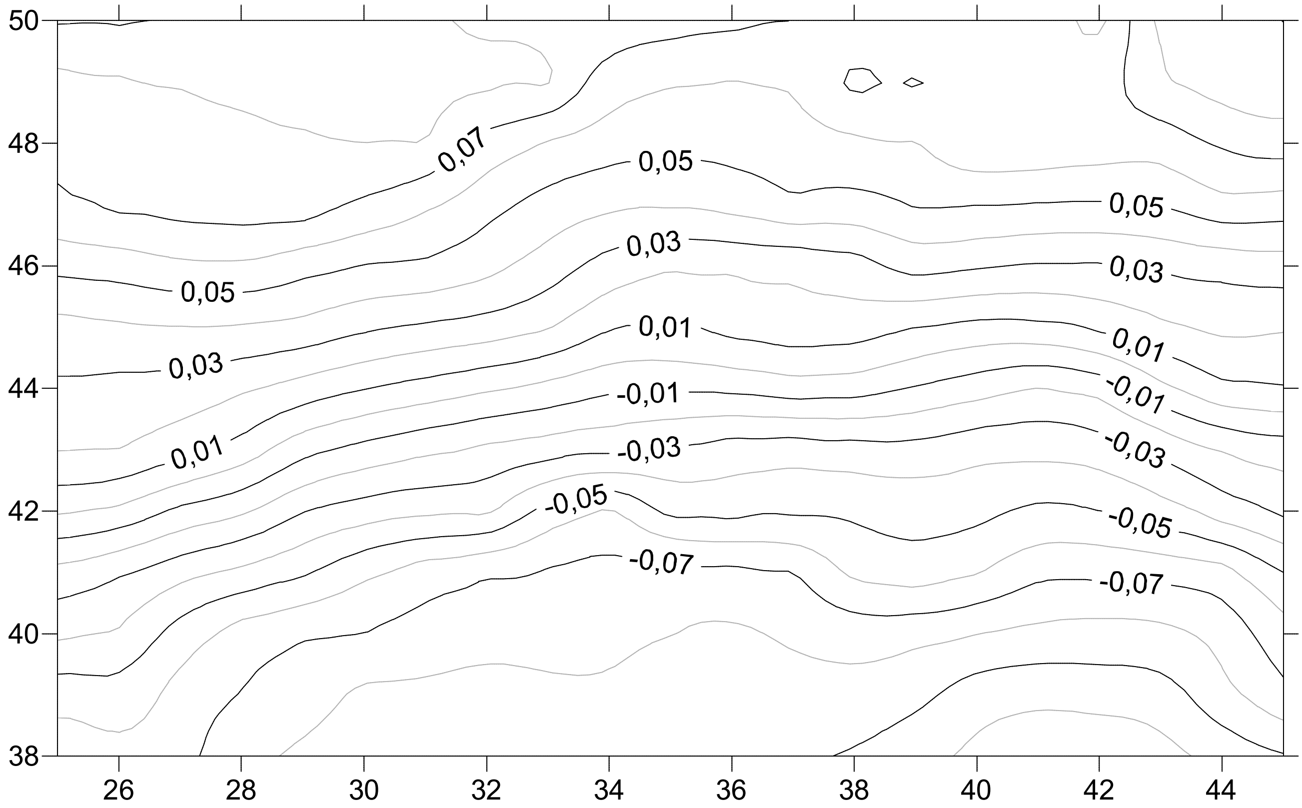

Рис. Г.11 – Поле другого власного вектора температури повітря, листопад

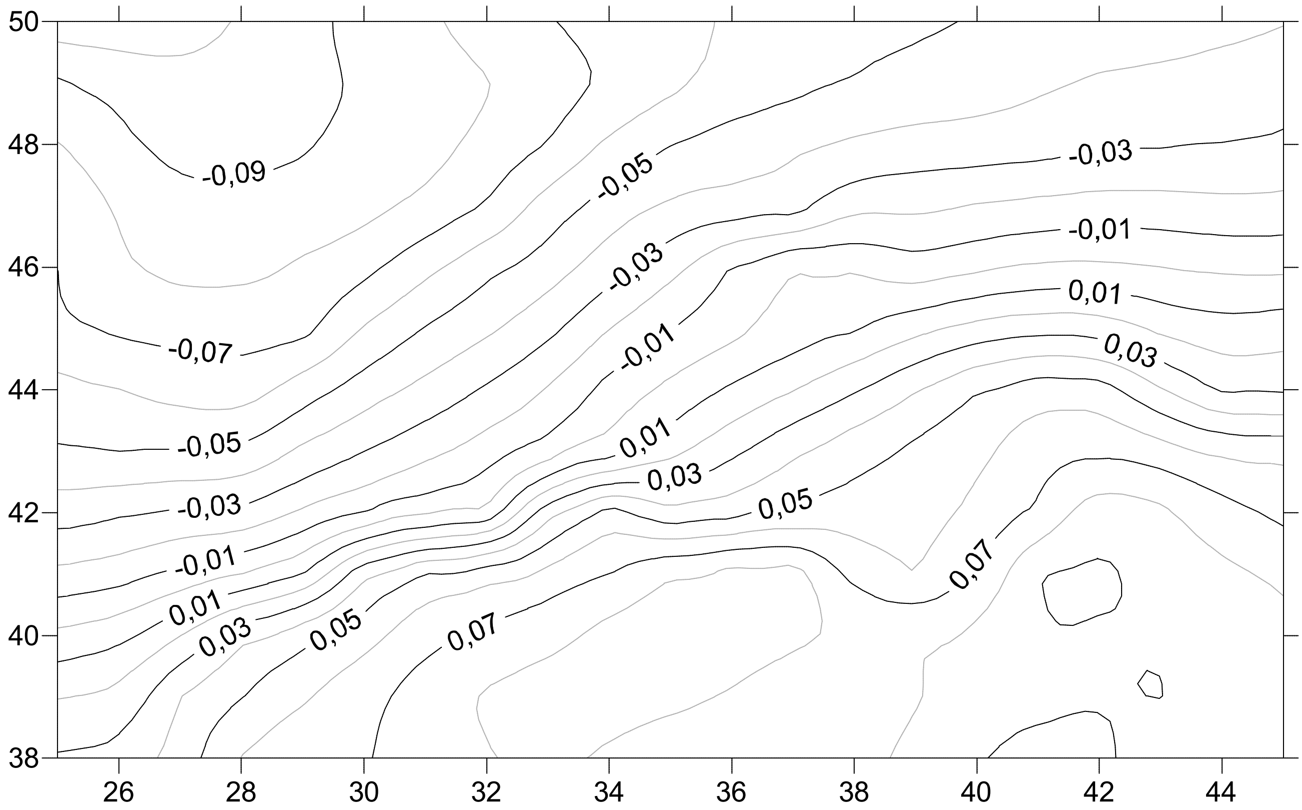

Рис. Г.12 – Поле другого власного вектора температури повітря, грудень

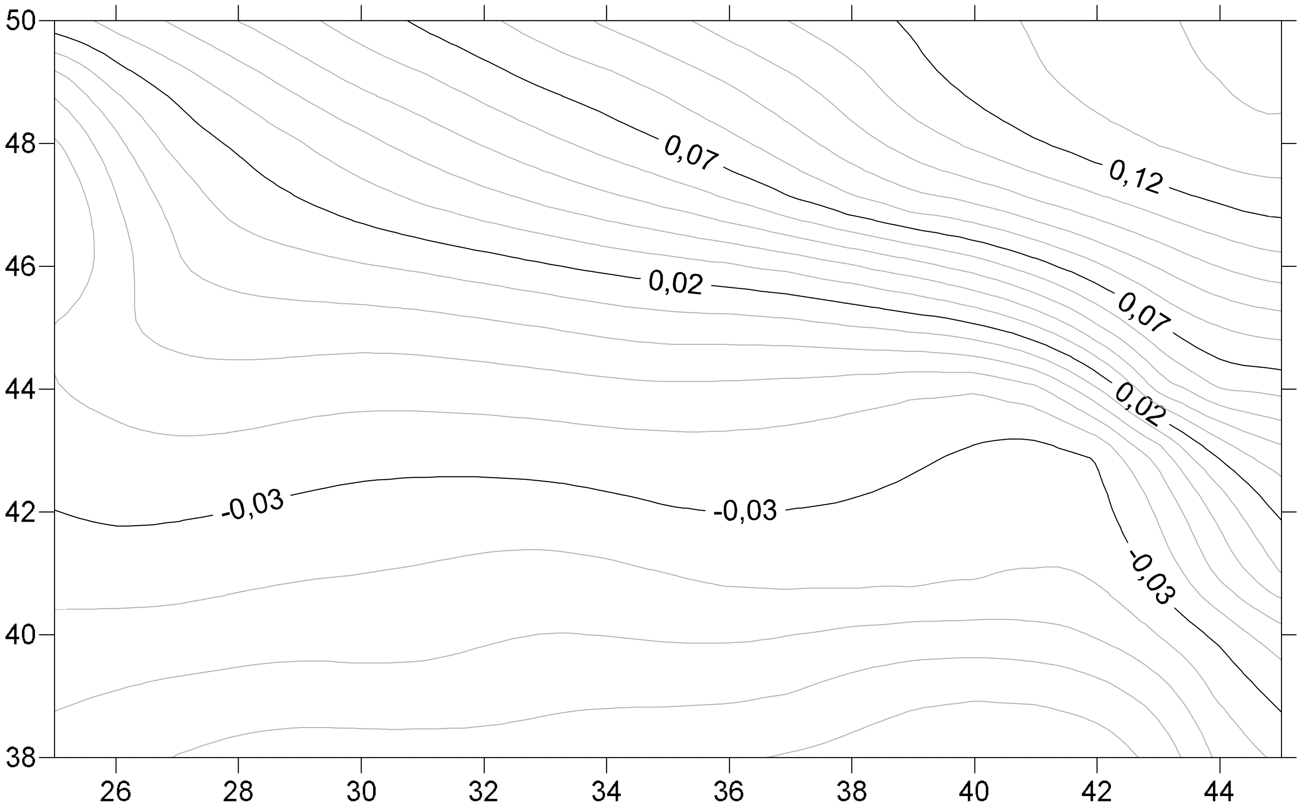

Рис. Г.13 – Поле другого власного вектора атмосферного тиску, січень

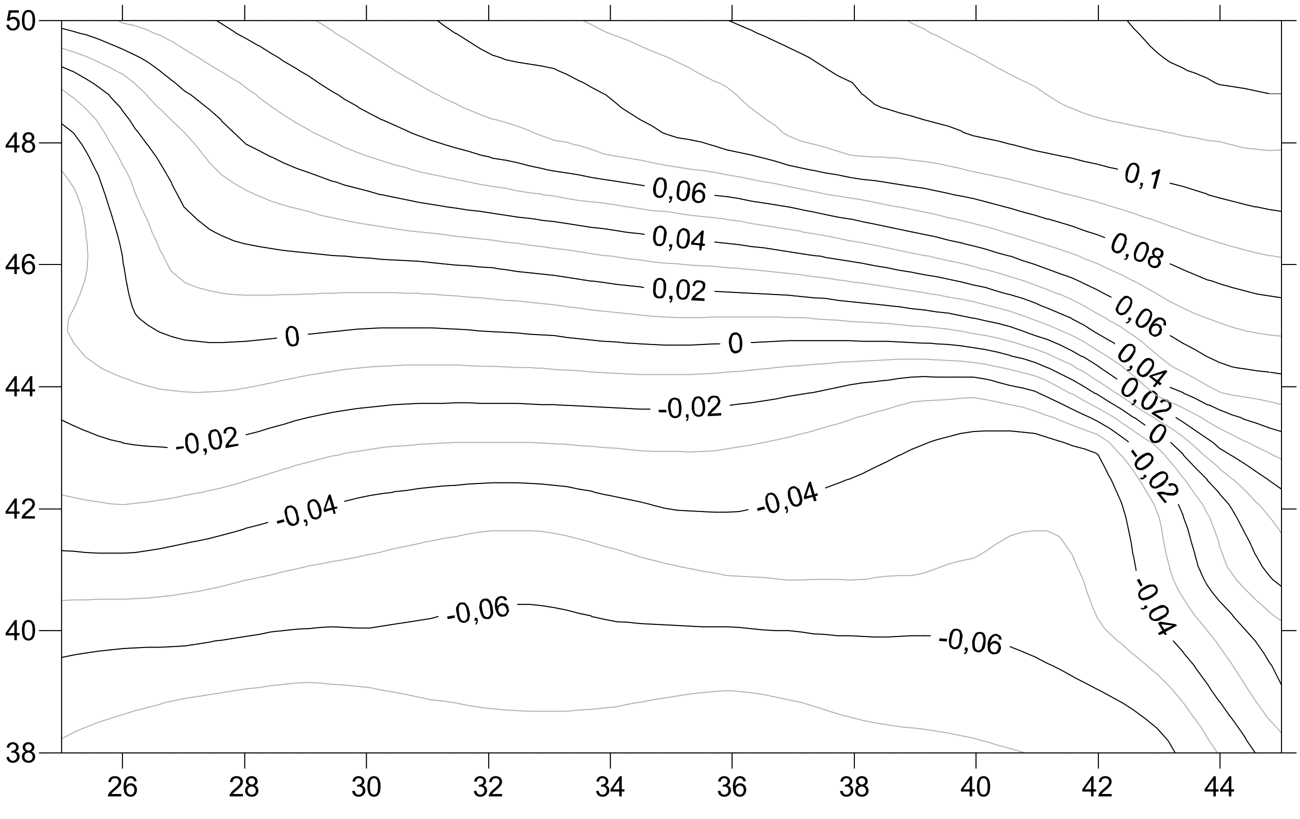

Рис. Г.14 – Поле другого власного вектора атмосферного тиску, лютий

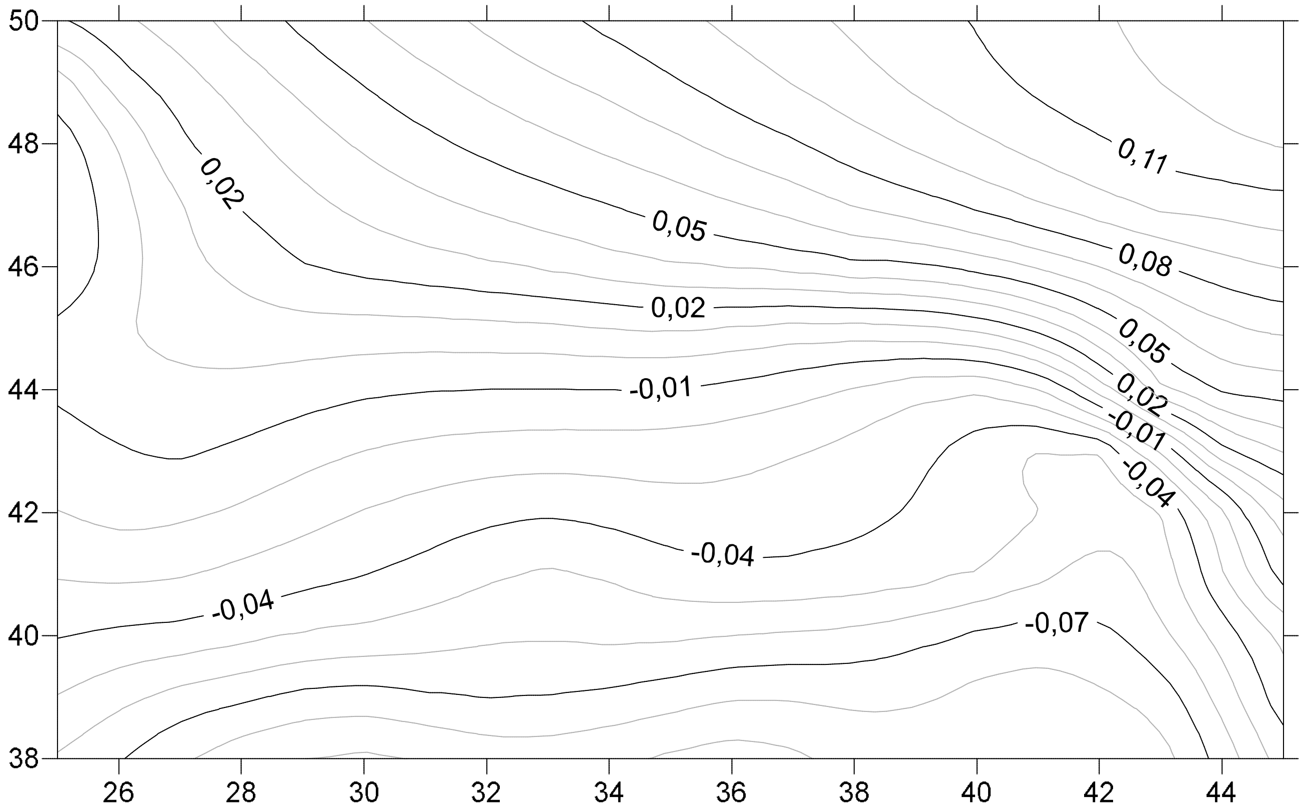

Рис. Г.15 – Поле другого власного вектора атмосферного тиску, березень

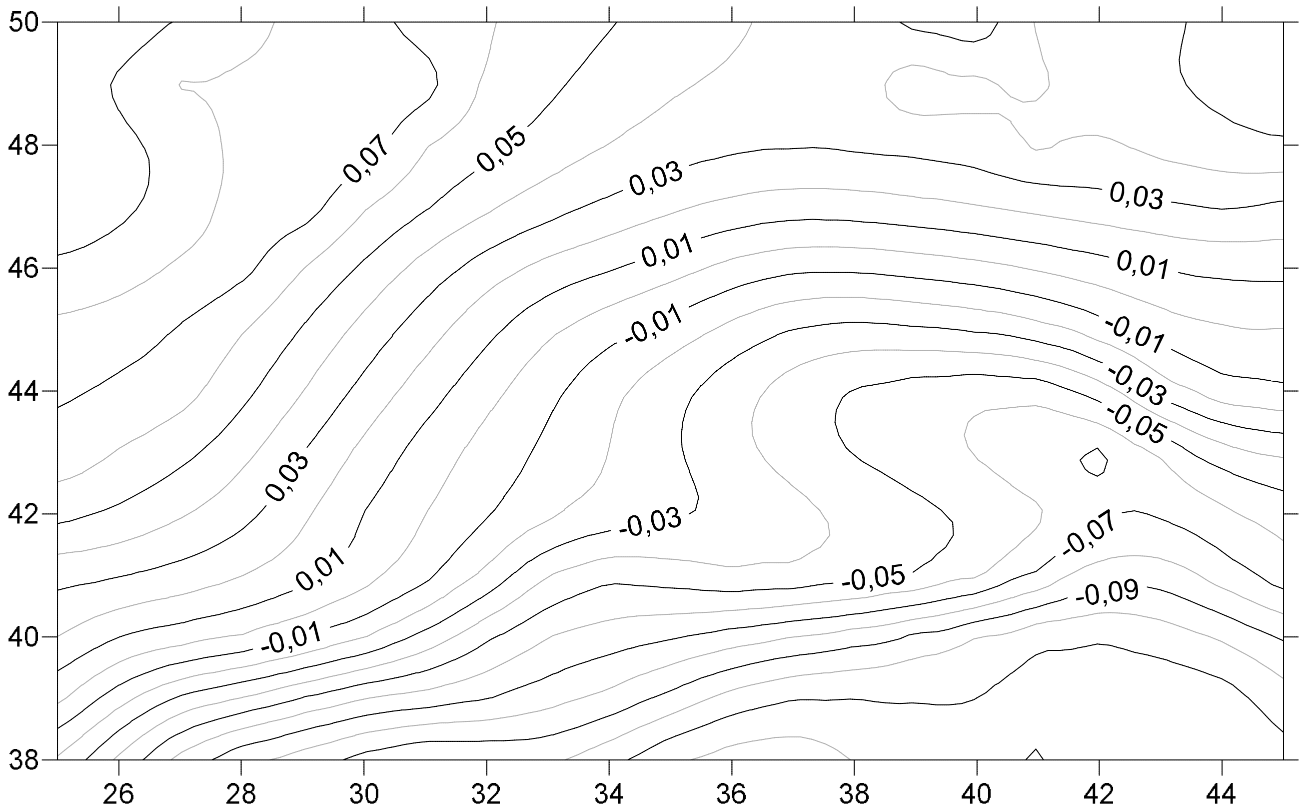

Рис. Г.16 – Поле другого власного вектора атмосферного тиску, квітень

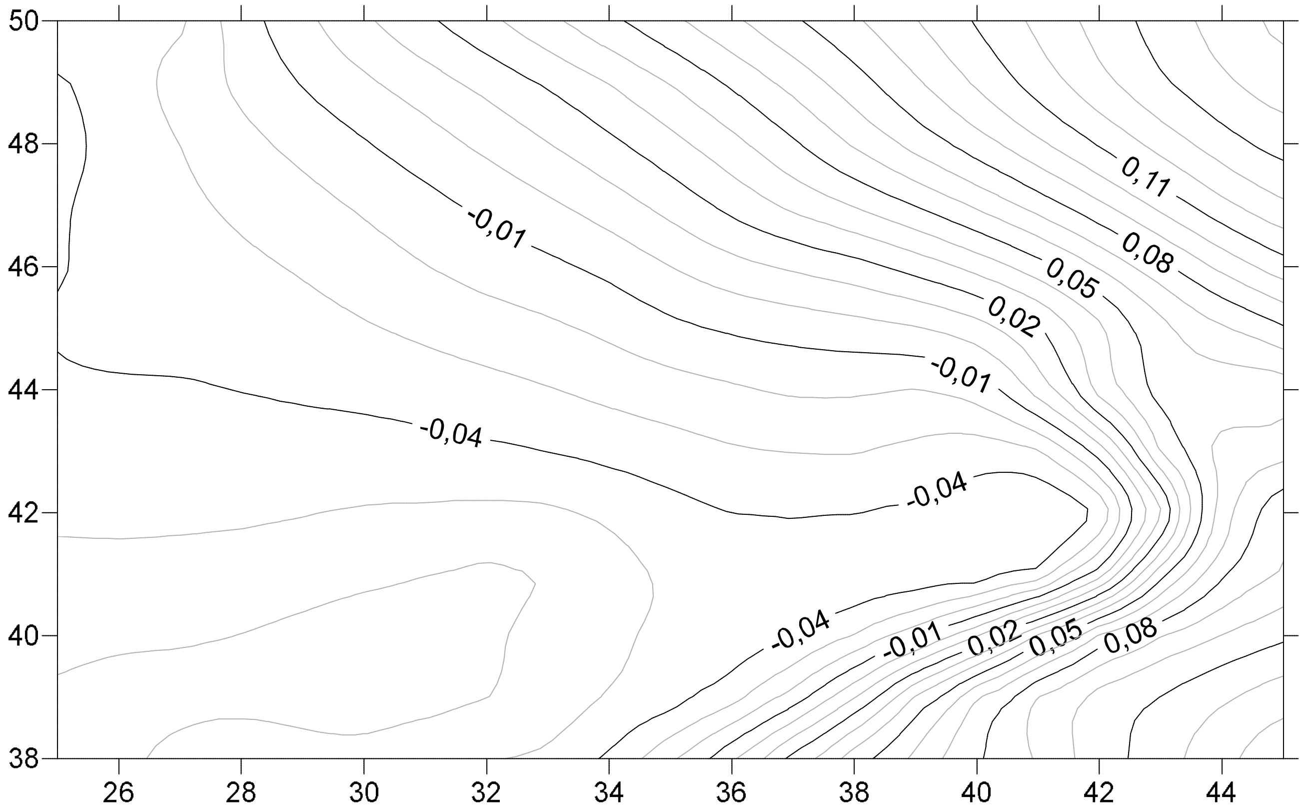

Рис. Г.17 – Поле другого власного вектора атмосферного тиску, травень

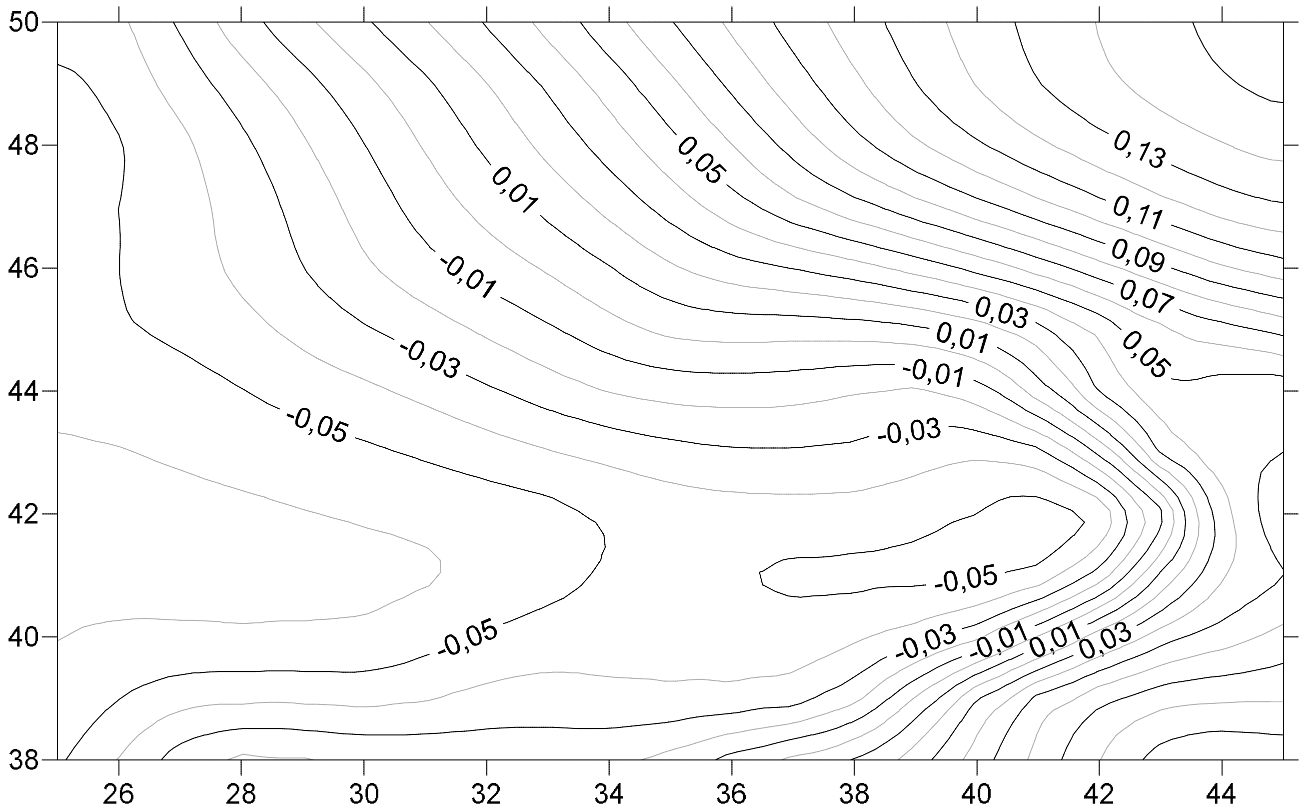

Рис. Г.18 – Поле другого власного вектора атмосферного тиску, червень

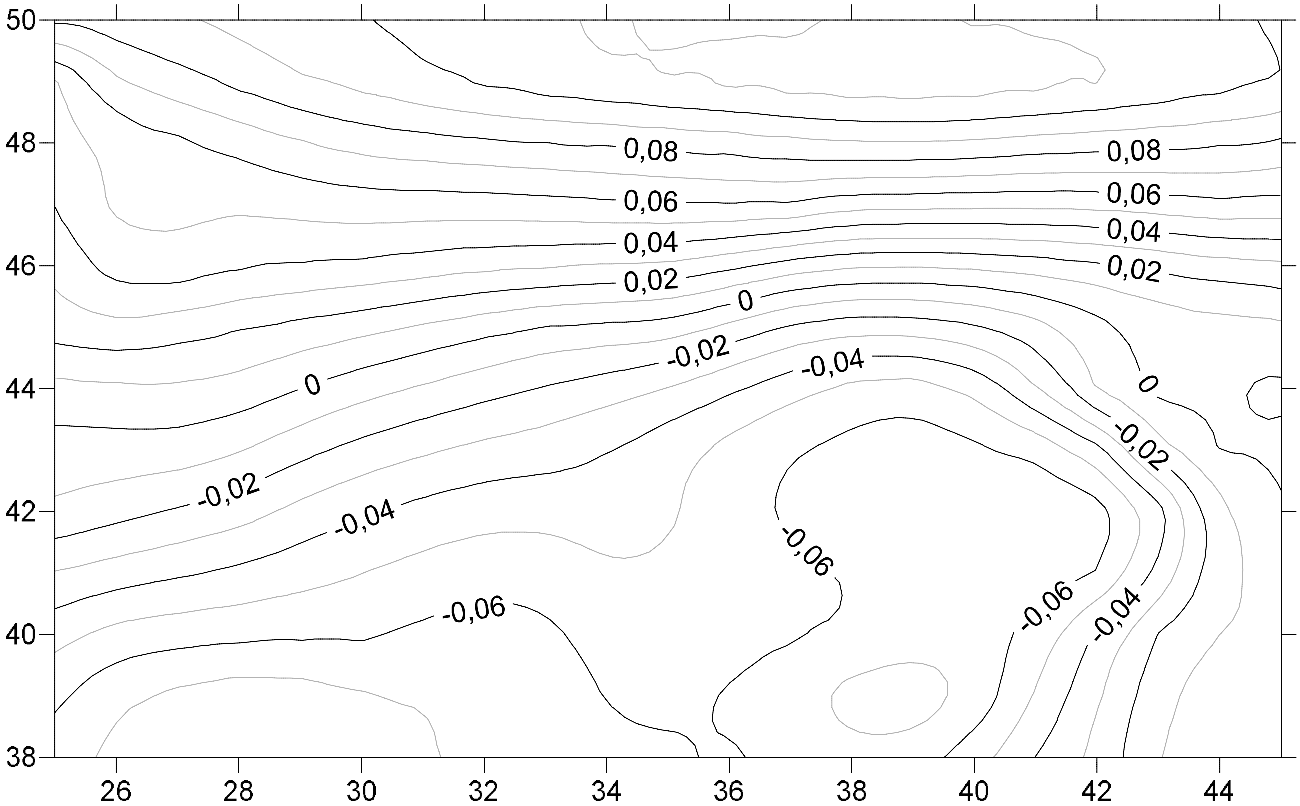

Рис. Г.19 – Поле другого власного вектора атмосферного тиску, липень

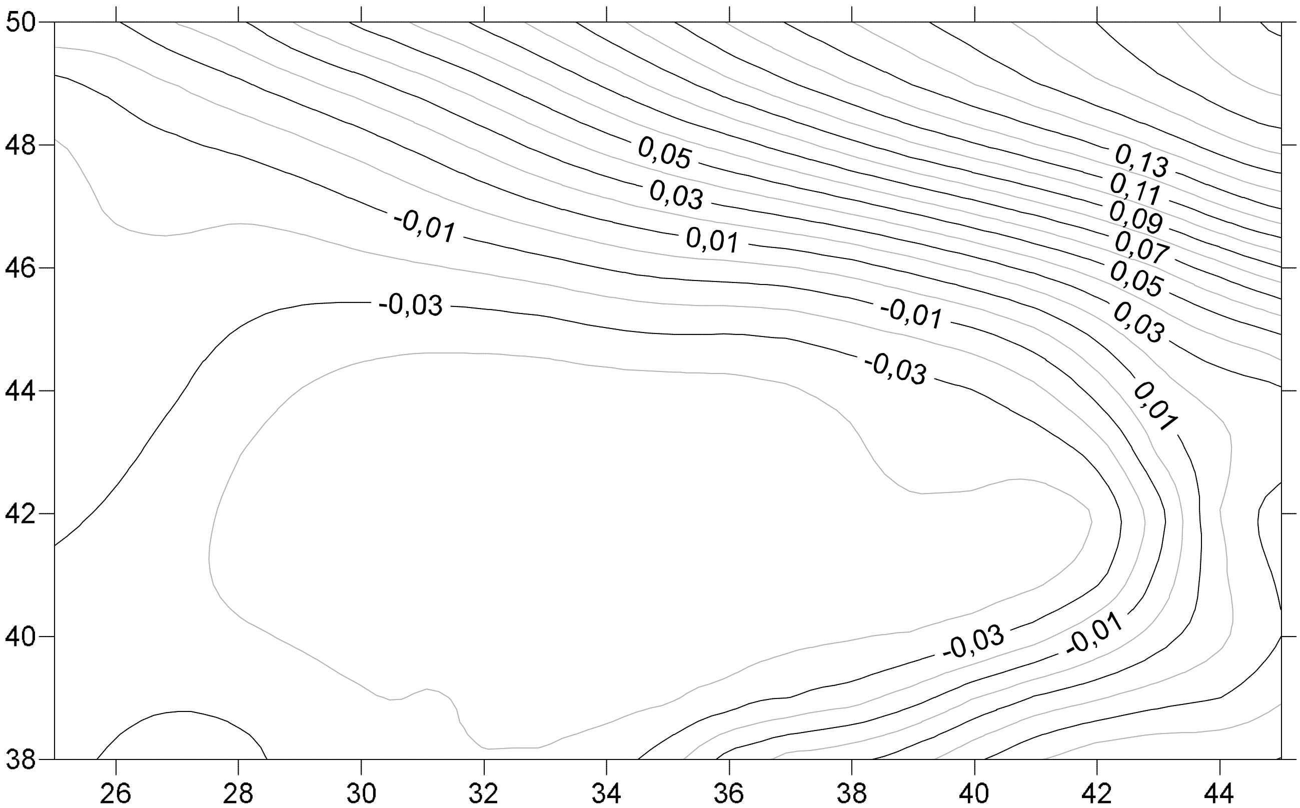

Рис. Г.20 – Поле другого власного вектора атмосферного тиску, серпень

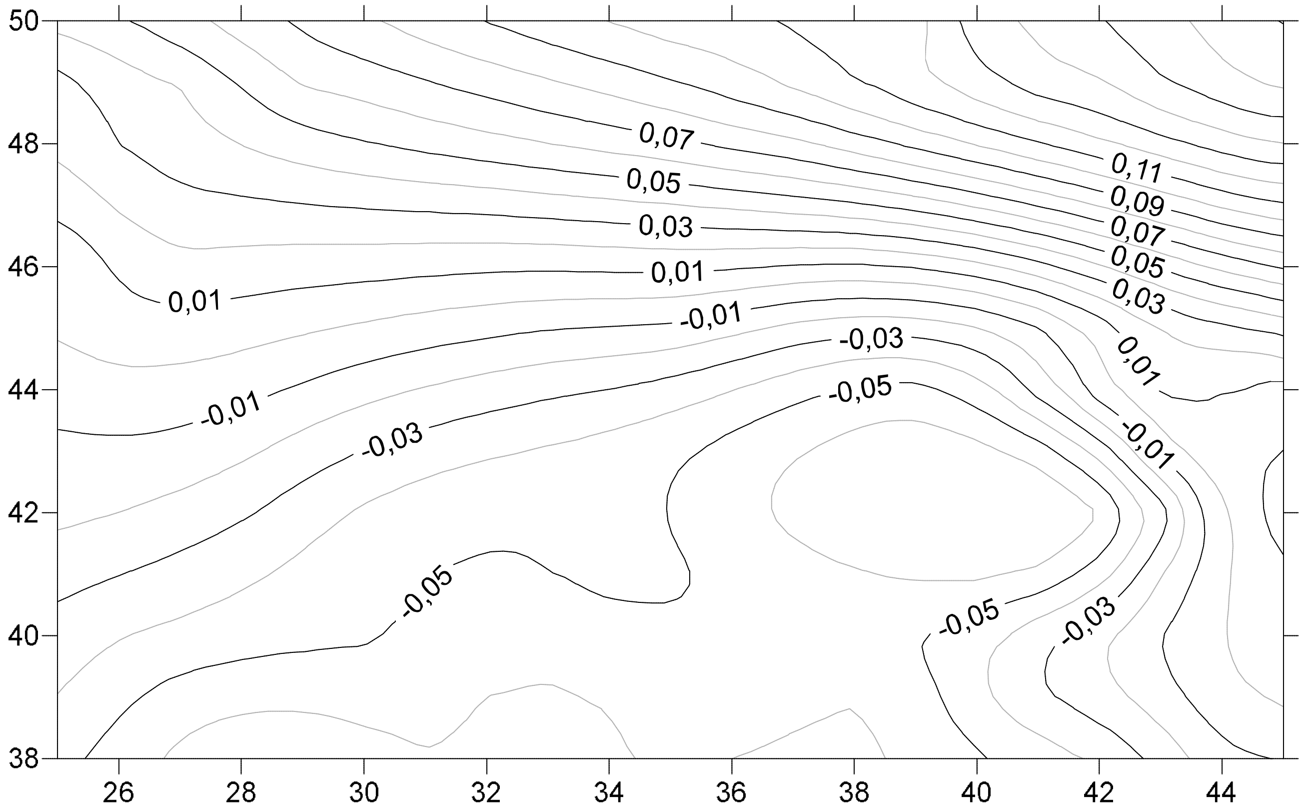

Рис. Г.21 – Поле другого власного вектора атмосферного тиску, вересень

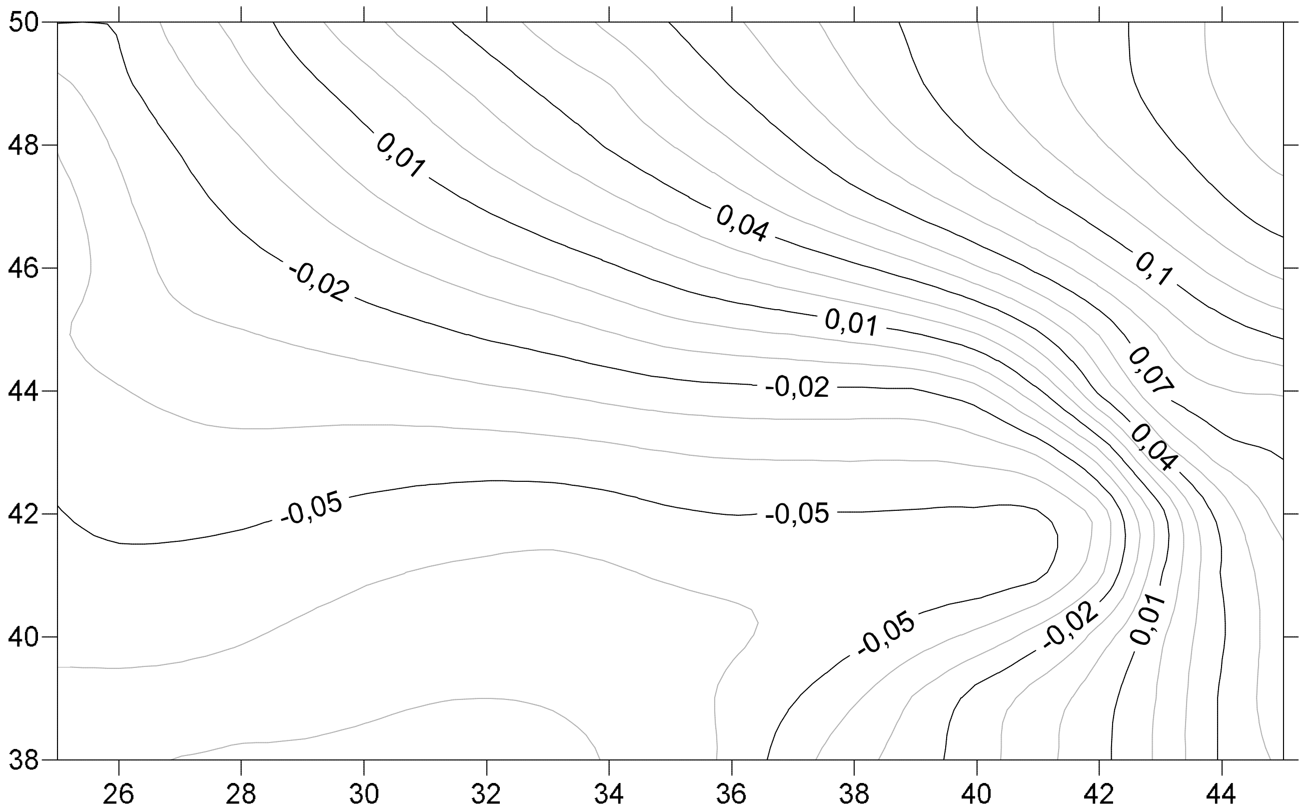

Рис. Г.22 – Поле другого власного вектора атмосферного тиску, жовтень

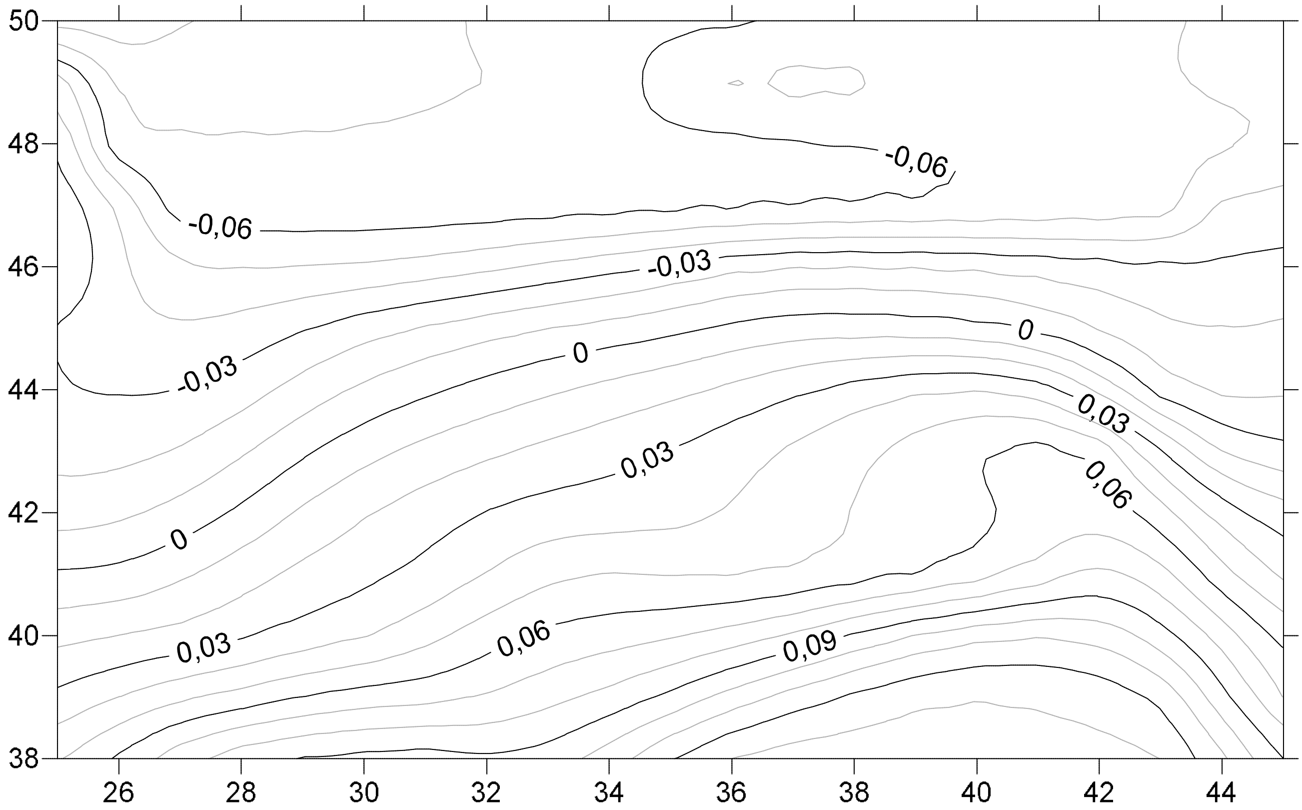

Рис. Г.23 – Поле другого власного вектора атмосферного тиску, листопад

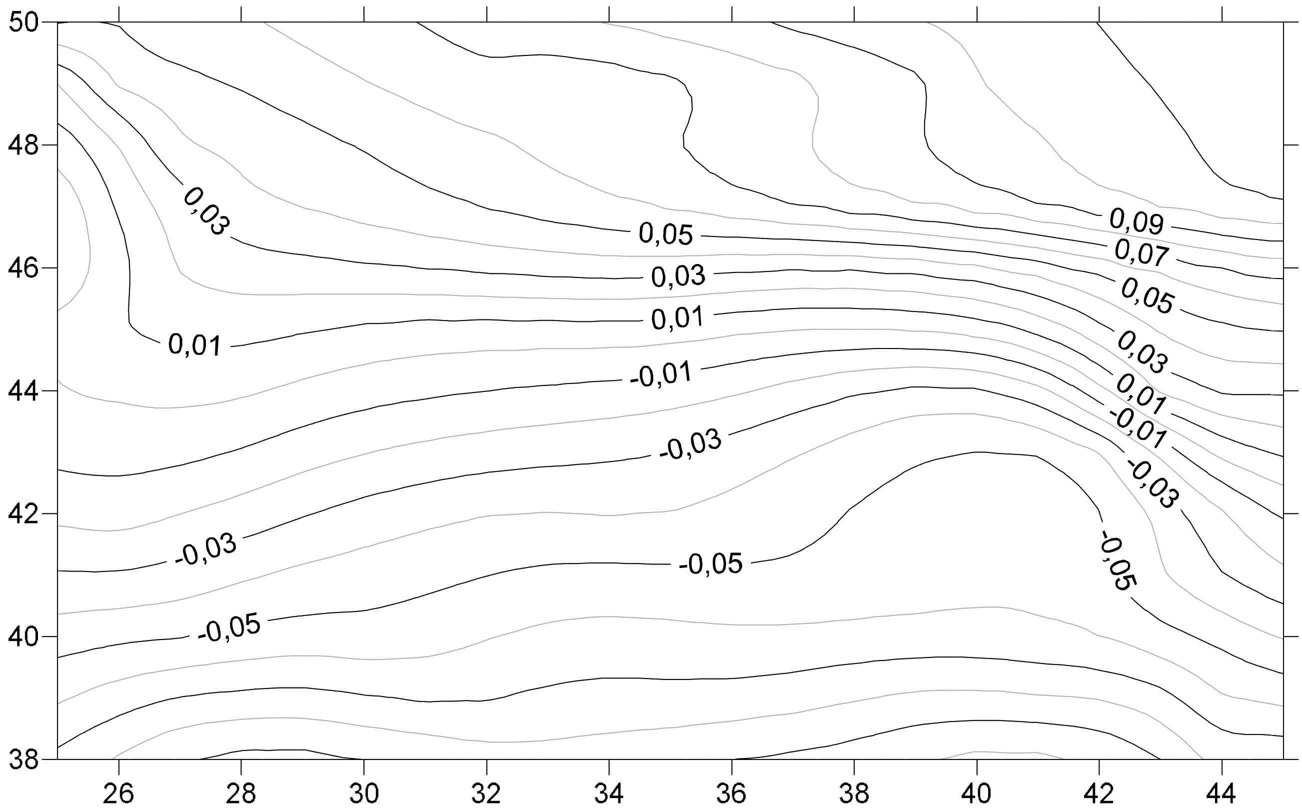

Рис. Г.24 – Поле другого власного вектора атмосферного тиску, грудень