

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий
гідрометеорологічний інститут
Кафедра метеорології та кліматології

Кваліфікаційна робота магістра

на тему: Вплив загальної циркуляції атмосфери на формування
аномально теплого літа 2023 року в Атлантико-Європейському секторі

Виконала студентка 2 курсу групи МНЗ-22М
Спеціальності 103 «Науки про Землю»
Освітня програма
«Метеорологія і кліматологія»
Міхєєва Оксана Олександрівна

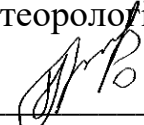
Керівник канд. геогр. наук, доцент
Боровська Галина Олександрівна

Рецензент канд. геогр. наук, доцент
Жигайло Олена Леонідівна

Одеса 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий гідрометеорологічний інститут
Кафедра Метеорології та кліматології
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 103 "Науки про Землю"
(шифр і назва)
Освітня програма Метеорологія і кліматологія
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
метеорології та кліматології

Прокоф'єв О.М.
" 23 " жовтня 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

студентці Міхеєвій Оксані Олександрівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи Вплив загальної циркуляції атмосфери на формування аномально теплого літа 2023 року в Атлантико-Європейському секторі
Керівник роботи Боровська Галина Олександрівна, канд. геогр. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ОДЕКУ від "16" жовтня 2023 року № 215-С
- Строк подання студентом роботи 29 листопада 2023 р.
- Вихідні дані до роботи:
 - Архів карт баричної топографії АТ-500 за період 01.06.2023 – 31.08.2023 р.
 - Індекси NAO, АО.
 - Дані реаналізу ERA 5
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
 - Вибір, аналіз та систематизація наукової літератури за напрямком дослідження
 - Формування вибірки вихідної інформації
 - Аналіз температурного режиму влітку 2023 року в Атлантико-Європейському секторі
 - Розрахунок форм циркуляції по А.Л. Кацу
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Рисунки: - Аномалії приземної температури повітря та аномалії середньомісячної середньоєвропейської приземної температури повітря за червень-серпень 2023 р
Повторюваність форм макроциркуляційних процесів, Місячний хід індексу NAO за червень-серпень 2023 року

6. Консультанти розділів роботи

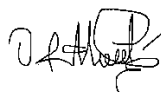
| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| | немає | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання 23 жовтня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Термін виконання етапів роботи | Оцінка виконання етапу | |
|-------|---|--------------------------------|------------------------|-----------------------|
| | | | у % | за 4-х бальною шкалою |
| 1 | Отримання завдання | 23.10.2023р. | 60 | задовільно |
| 2 | Збір вихідних даних до роботи. Ознайомлення з літературними джерелами за темою кваліфікаційної роботи бакалавра. | 23.10.-30.10.2023р. | 60 | задовільно |
| 3 | Основні циркуляційні механізми (осциляції) північної півкулі. | 23.10.-12.11.2023р. | 60 | задовільно |
| 4 | Кількісна оцінка атмосферної циркуляції | 01-12.11.2023 р. | 60 | задовільно |
| | Рубіжна атестація | 13-17.11.2023 р | 60 | задовільно |
| 5 | Аналіз температурного режиму влітку 2023 року в Атлантико-Європейському секторі | 13-20.11.2023 р | 80 | добре |
| 6 | Характеристика Північно-Атлантичного колювання влітку 2023 р | 15-26.11.2023 р | 80 | добре |
| 7 | Підведення підсумків та підготовка рукопису до друку | 27-29.11.2023 р. | 80 | добре |
| 8 | Узагальнення отриманих результатів. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату | 29.11.2023р. | 75 | добре |
| 9 | Перевірка роботи на плагіат, складення протоколу і висновку керівника. Підписання авторського договору. | 30.11-2.12.2023р | - | - |
| 10 | Підготовка презентаційного матеріалу | - | - | - |
| | Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам) | - | 69 | задовільно- |

Студент


(підпис)

Міхеева О.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Боровська Г.О.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема: «Вплив загальної циркуляції атмосфери на формування аномально теплого літа 2023 року в Атлантико-Європейському секторі»

Автор: Міїєєва Оксана Олександрівна

Актуальність Регіональні та глобальні зміни кліматичної системи на сьогоднішній день є дуже актуальною проблемою, оскільки вони впливають на соціально-економічний рівень розвитку країн. Нестійкість кліматичної системи проявляється, головним чином, формуванням аномальних режимів температурних показників, атмосферних явищ, вітрових характеристик тощо. Процеси, що протікають у глобальній кліматичній системі, обумовлюються взаємодією основних ланок системи Океан-Атмосфера-Суша. Тому, для вивчення та подальшого прогнозування кліматичних змін необхідно детально досліджувати, аналізувати стан цієї системи. Визначення особливостей впливу циркуляційних процесів Північної півкулі, що формуються в результаті взаємодії трьох основних ланок кліматичної системи, на температурний режим Європи умовах сучасних змін клімату є одним із основних завдань метеорології та кліматології..

Метою роботи полягає у дослідженні особливостей просторово-часового режиму циркуляційних механізмів (осциляцій) в Атлантико-Європейському секторі, а також їх вплив на аномалії приземної температури на території Європи літній період 2023 року.

Відповідно до поставленої мети були розв'язані наступні **задачі**: - визначити основні погодно-кліматичні особливості на території Атлантико-Європейського сектору влітку 2023 року; – виділити у циркуляційній системі Атлантико-Європейського сектора основні процеси, що впливають на формування аномалій температурного режиму у літній період у Східній Європі та Україні; –визначити максимальний вплив кожного окремого коливання на досліджуваний регіон упродовж літнього періоду.

Об'єкт дослідження – довгоперіодні квазісинхронні зміни атмосферного тиску в Атлантико-Європейському секторі влітку 2023 року.

Предмет дослідження - є кількісні кліматичні індекси, що відображають особливості атмосферної циркуляції за період червень-серпень 2023 р..

Методи дослідження. У роботі використані статистичні методи, які дозволяють встановити особливості впливу окремих низькочастотних сигналів в Атлантико-Європейському секторі на аномалії приземної температури у Європі.

Кваліфікаційна робота магістра в обсязі 63 сторінок складається з 3 розділів, висновків, переліку посилань з 38 джерел, містить 20 рисунків.

Ключові слова:. Атлантико-Європейський сектор, загальна циркуляція атмосфери, хвиля тепла, аномалія температури, Північно-Атлантичне, Східно-Атлантичне коливання, індекс циркуляції Каца.

SUMMARY

Thesis Topic: " The Influence of the General Circulation of the Atmosphere on Formation of Abnormally Warm Summer of 2023 in the Atlantic-European Sector "

Author: Oksana Mikhieieva

The urgency is Regional and global changes in the climate system today are a very urgent problem, as they affect the socio-economic level of development of countries. The instability of the climate system is manifested mainly by the formation of abnormal regimes of temperature indicators, atmospheric phenomena, wind characteristics, etc. The processes taking place in the global climate system are determined by the interaction of the main links of the Ocean-Atmosphere-Land system. Therefore, in order to study and further forecast climate changes, it is necessary to study and analyze the state of this system in detail. One of the main tasks of meteorology and climatology is to determine the characteristics of the influence of the circulation processes of the Northern Hemisphere, which are formed as a result of the interaction of the three main links of the climate system, on the temperature regime of Europe under the conditions of modern climate changes..

The purpose of the work is to determine consists in the study of the features of the spatio-temporal regime of circulation mechanisms (oscillations) in the Atlantic-European sector, as well as their influence on surface temperature anomalies in the territory of Europe in the summer of 2023.

In accordance with the set goal, the following **tasks** were solved: determine the main weather and climate features on the territory of the Atlantic-European sector in the summer of 2023; – to highlight in the circulation system of the Atlantic-European sector the main processes affecting the formation of temperature anomalies in the summer period in Eastern Europe and Ukraine; -determine the maximum impact of each individual fluctuation on the studied region during the summer period.

The object of the study long-term quasi-synchronous changes in atmospheric pressure in the Atlantic-European sector in the summer of 2023.

The subject of the study is there are quantitative climate indices reflecting the characteristics of atmospheric circulation for the period June-August 2023.

The 63-page Master's thesis consists of 3 chapters, conclusions, a list of references from 38 sources, contains 20 figures.

Keywords: Atlantic-European sector, general atmospheric circulation, heat wave, temperature anomaly, North Atlantic, East Atlantic Oscillation, Katz circulation index.

ЗМІСТ

| | Стор. |
|---|-------|
| ВСТУП | 6 |
| 1 КОРОТКИЙ ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНИЙ ТА КЛІМАТЧНИЙ ОПИС ЄВРОПИ..... | 8 |
| 2 ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ ЗАГАЛЬНОЇ ЦИРКУЛЯЦІЇ АТМОСФЕРИ ПІВНІЧНОЇ ПІВКУЛІ..... | 15 |
| 2.1 Кількісна оцінка атмосферної циркуляції..... | 20 |
| 2.2 Північно-атлантичне коливання – кліматоутворюючий чинник.. | 23 |
| 2.3 Східно-Атлантичне коливання (САК - ЕАР)..... | 30 |
| 2.4 Скандинавське коливання..... | 33 |
| 2.5 Арктичне коливання (Arctic Oscillation)..... | 36 |
| 2.6 Середземноморська осциляція (Mediterranean Oscillation) – СЗК. | 37 |
| 2.7 Коливання Східна Атлантика/Західна Росія (СА/ЗР -ЕА/WR).... | 39 |
| 3 ОСНОВНІ ПОГОДНО-КЛІМАТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ НА ТЕРИТОРІЇ АТЛАНТИКО-ЄВРОПЕЙСЬКОГО СЕКТОРУ ВЛІТКУ 2023 РОКУ..... | 42 |
| 3.1 Аномально тепле літо 2023 року..... | 42 |
| 3.2 Стан висотного баричного поля..... | 49 |
| 3.2 Характеристика Північно-Атлантичного коливання влітку 2023 р..... | 52 |
| 3.3 Характеристика Арктичне коливання влітку 2023 р..... | 56 |
| ВИСНОВКИ..... | 57 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 60 |

ВСТУП

На початку XXI ст. в помірних широтах Європи спостерігається зростання меридіональної і послаблення зональної циркуляції атмосфери, яке зумовило зміну районів формування циклонів, траєкторій їх переміщення та інтенсивності. Циклонічні утворення в Україну наприкінці XX ст. виходять більш глибокими і рухаються значно повільніше, ніж у середині.

Характер циркуляції атмосфери над певною територією є одним з клімато- і погодоутворюючих чинників. Основним механізмом міжширотного обміну теплом і вологою є атмосферні об'єкти синоптичного масштабу - циклони і антициклони помірних широт. Циклони переносять маси повітря з низьких широт в більш високі, антициклони - з високих широт в більш низькі.

Регіональні та глобальні зміни кліматичної системи на сьогоднішній день є дуже актуальною проблемою, оскільки вони впливають на соціально-економічний рівень розвитку країн. Нестійкість кліматичної системи проявляється, головним чином, формуванням аномальних режимів температурних показників, атмосферних явищ, вітрових характеристик тощо. Процеси, що протікають у глобальній кліматичній системі, обумовлюються взаємодією основних ланок системи Океан-Атмосфера-Суша.

Тому, для вивчення та подальшого прогнозування кліматичних змін необхідно детально досліджувати, аналізувати стан цієї системи.

Визначення особливостей впливу циркуляційних процесів Північної півкулі, що формуються в результаті взаємодії трьох основних ланок кліматичної системи, на температурний режим Європи умовах сучасних змін клімату є одним із основних завдань метеорології та кліматології.

Мета роботи полягає у дослідженні особливостей просторово-часового режиму циркуляційних механізмів (осциляцій) в Атлантико-Європейському

секторі, а також їх вплив на аномалії приземної температури на території Європи літній період 2023 року.

Для досягнення мети було поставлено низку завдань:

- визначити основні погодно-кліматичні особливості на території Атлантико-Європейського сектору влітку 2023 року;
- виділити у циркуляційній системі Атлантико-Європейського сектора основні процеси, що впливають на формування аномалій температурного режиму у літній період у Східній Європі та Україні;
- визначити максимальний вплив кожного окремого коливання на досліджуваний регіон упродовж літнього періоду.

Кваліфікаційна робота складається з трьох розділів. В першому розділі роботи проведено узагальнення фізико-географічного опису, наведена інформація про характеристики кліматичних змін на Європейському континенті.

Другий розділ містить відомості про основні елементи загальної циркуляції атмосфери північної півкулі, а саме: наведена кількісна оцінка атмосферної циркуляції, наданий опис Північно-Атлантичного, Східно-Атлантичного, Скандинавського, Арктичного, Середземноморського коливання.

У третьому розділі приведений аналіз хвиль тепла влітку 2023 року, надано характеристику стану висотного баричного поля, наведено характеристики Північно-Атлантичного та Арктичне коливання влітку 2023р.

У висновках представлені результати виконаної роботи.

Перелік посилань складається з 38 літературних джерел.

1 КОРОТКИЙ ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНИЙ ТА КЛІМАТЧНИЙ ОПИС ЄВРОПИ

Європа – це частина світу, яка займає західну частину материка Євразія. На сході, в межах суходолу, вона межує з іншою частиною світу – Азією. Європа повністю лежить в Північній півкулі в межах арктичних, субарктичних, помірних і субтропічних широт. Її більша частина розташована східніше нульового меридіану, тобто в Східній півкулі [1].

На півночі Європа омивається Північним Льодовитим океаном і його морями - Карським, Баренцовим, Білим, Норвезьким, на заході і півдні - Атлантичним океаном і його морями - Балтійським, Північним, Ірландським, Середземним, Мармуровим, Чорним, Азовським; на сході та південному сході кордон з Азією найчастіше проводиться по східному підніжжю Уралу, по річці Емба до Каспійського моря, річок Кума і Манич до гирла Дону. Крайні материкові точки Європи: на півночі - мис Нордкін, $71^{\circ} 08'$ пн. ш., на півдні - мис Марокі, 36° пн. ш., на заході - мис Рок, $9^{\circ} 34'$ зх. д., на сході - східне підніжжя Полярного Уралу біля Байдарацької губи, $67^{\circ} 20'$ сх. д. До Європи відносяться острови й архіпелаги, найбільшими з яких є: Нова Земля, Земля Франца-Йосипа (мис Флігелі на острові Рудольфа - найпівнічніша точка Європи, $81^{\circ}49'$ пн. ш.), Шпіцберген, Ісландія, Британські, Зеландія, Балеарські, Корсика, Сардинія, Сицилія, Крит [2 - 4].

У зазначених межах площа Європи разом з островами - близько 10 млн. км²; площа островів - близько 730 тис. км². В Європі прийнято виділяти три великі частини: Східну, Західну і Центральну Європу

Серед інших частин світу Європа виділяється найбільшою розчленованістю берегової лінії: на 1 км її довжини припадає близько 246 км² території. Загальна довжина берегової лінії - близько 38 тис. км. Максимальна відстань внутрішніх районів Європи від моря 1600 км. Близько

25% площі Європи припадає на півострови: Канін, Кольський, Скандинавський, Ютландія, Бретань, Піренейський, Апеннінський, Балканський, Кримський. Переважають вирівняні акумулятивні й абразійні береги, що формуються переважно хвильовими процесами моря: східні береги Білого і південно-східні береги Баренцового морів, південного берега Балтійського моря, західного берега Північного моря, східного берега Біскайської затоки, велика частина берегів Середземного і Чорного морів. Південні і південно-східні береги Північного моря, окремі ділянки південних берегів Баренцового моря відносяться до ватного (маршового) типу, що формується в умовах низького узбережжя під впливом приливно-відливних рухів моря.

В інших районах переважають відносно високі, сильно розчленовані тектонічні береги: скідні береги Кольського півострова, складчасті береги на півночі Піренейського півострова, місцями оброблені стародавніми льодовиками (Фіордові і шхерні береги Норвезького моря, північної частини Балтійського моря, узбережжя Шотландії й Ісландії) або змінені під впливом морської інгресії (ріалові береги півостровів Бретань, Уельс, західної Ірландії, північний захід Піренейського півострова; далматинські береги на заході Балканського півострова).

За середньою (близько 300 м) і максимальною (4807 м, г. Монблан в Альпах) висотами Європа поступається іншим частинам світу, крім Австралії. Близько 60% поверхні Європи знаходиться на висоті менше 200 м (частково нижче рівня моря: узбережжя Каспійського моря - 28 м, деякі райони узбережжя Північного і Балтійського морів), 24% - від 200 до 500 м, 10% - від 500 до 1000 м, 6% - понад 1000 м (у т.ч. 1,5% - вище 2000 м). Такий розподіл висот поверхні відображає панування в Європі рівнинного рельєфу. Майже всю Східну Європу і північну частину Середньої Європи займають Східноєвропейська (Російська) рівнина і її продовження на захід - Середньоєвропейська рівнина; значні площі займають рівнини у

Фенноскандії. В інших районах рівнини украплені між горами (Середньодунайська, Нижньодунайська тощо). На крайньому сході простягаються гори Урал, на північному заході - Скандинавські гори. Смуга невеликих за площею і висотою гір охоплює південну частину Середньої Європи: Центральний французький масив, Вогези, Шварцвальд, Рейнські Сланцеві гори тощо. З півдня ця смуга обрамлена найвищими горами Європи - Альпами, а також Карпатами. Гірський рельєф переважає у Південній Європі: Піренеї, Андалузські гори, Апеннінські гори, Стара Планина, Дінарські гори, Родопи, Пінд та інші. Географічне положення визначає панування в Європі помірною клімату, а наявність над нею західного переносу повітря з Атлантичного океану призводить до переваги морських і перехідних від морських до континентальних типів клімату. Середні річні величини радіаційного балансу скрізь позитивні і збільшуються з півночі на південь: на островах Арктики вони становлять близько 10, біля 50-ї паралелі близько 40, у південних районах Європи до 250-290 кдж/см² (60-70 ккал/см²). У січні вся Європа, крім Середземномор'я і більшої частини Франції, має радіаційний баланс від -17 до -4,2 кдж/см² (від -4 до -1 ккал/см²); у липні розходження між північними і південними районами стираються внаслідок збільшення тривалості дня при просуванні на північ, і радіаційний баланс майже по всій Європі близько 34 кдж/см² (8 ккал/см²). Переміщення повітряних мас у системі загальної циркуляції атмосфери призводять до істотного територіального перерозподілу тепла, особливо взимку.

Роль західного переносу, що утеплює, посилюваного Північноатлантичною течією, виявляється у відхиленні ізотерм зимових місяців від широтного напрямку і в значному перевищенні середніх температур зимових місяців на більшій частині Європи над середніми широтними температурами: позитивна аномалія температур січня на Новій Землі, Кольському півострові, Шпіцбергені, Британських островах становить від 8 до 18 °С, а на заході Скандинавії і в Ісландії від 18 до 24 °С.

Радіаційні і циркуляційні фактори формування клімату Європи мають добре виражену сезонну зміну. У зимовий сезон найнижчий атмосферний тиск припадає на північ Атлантики, де розташована Ісландська депресія. Звідси тиск збільшується на схід і південний схід аж до Прикаспію і півдня Уралу, куди заходить відріг Азіатського антициклону. Над західною частиною Середземномор'я, що знаходиться у зоні впливу Азорського антициклону, досить інтенсивний західний перенос. У його системі циклони, що виникають на атмосферних фронтах, переміщуються із заходу на схід, відхиляючи до більш високих широт. Майже над всією Європою переважають полярні повітряні маси; прориви арктичних повітряних мас із півночі можуть досягати Альп, Балканського півострова і Криму; у Середземномор'ї полярне повітря іноді змінюється тропічним. Найвищі середні місячні температури січня - у Середземномор'ї, від 10 до 12°C, а також у приокеанічних районах Європи, де ізотерма 0°C доходить до 70° пн.ш.

Найнижчі середні місячні температури - у північно-східних районах Європи, до -20 °C у басейні р. Печори (тут зафіксований абсолютний мінімум температури в Європі -52 °C) і до -24 °C на Землі Франца-Йосипа. В цілому у Західній Європі зима м'яка, у Східній - морозна, зі стійким сніговим покривом, тривалістю від 1 місяця на півдні, до 7-9 місяців на півночі.

Річна сума атмосферних опадів в цілому зменшується з заходу на схід. У приатлантичних районах і на навітряних схилах гір вона становить 1000-2000 мм (на окремих станціях приморських районів Югославії перевищує 4000 мм). У Східній Європі, особливо на південному сході і півдні, сума опадів знижується до 500-300 мм на рік, а в Прикаспії до 200 мм і менше, 300-400 мм випадає на більшій частині островів Арктики і на південному узбережжі Баренцового моря. У річному ході опадів у Середземномор'ї і на Південному березі Криму виявляються чітко виражені максимуми в зимову половину року і мінімуми в літню. У приатлантичних районах Середньої і

Північної Європи опади розподілені по сезонах досить рівномірно, але все-таки мають деякий максимум взимку: у внутрішньоматерикових районах максимальні опади припадають на літо. На більшій частині Європи річна сума опадів перевищує річну величину випаровуваності, тому зволоження виявляється достатнім або надлишковим.

У південних і південно-східних районах Східної Європи, а також у деяких міжгірних зниженнях Західної Європи опади не компенсують річну випаровуваність, тому недостатнє зволоження. У Середземномор'ї гостра нестача вологи влітку. У цих районах майже повсюдно виникає необхідність штучного зрошення.

В Європі представлені наступні типи клімату: арктичний, субарктичний, помірний і субтропічний. В арктичному поясі, що охоплює острови європейського сектора Арктики, клімат суворий, із тривалою морозною зимою, частими штормами, буранами, коротким холодним літом (середня температура липня, як правило, не вище 5°C); опади випадають переважно у вигляді снігу, випаровуваність мала. У субарктичному поясі (Ісландія, Пн. Феноскандія і Східноєвропейської рівнини) літо триваліше і тепліше (до 10, 12 °C в липні), зима в західних районах м'яка, у східних - морозна; опадів близько 1000 мм на заході, 400 мм на сході: випаровуваність менша опадів. У помірному поясі (інші райони Європи, крім Середземномор'я і Південного берега Криму) виділяється холодніший, бореальний клімат північної частини поясу і більш теплий, суббореальний - у південній частині.

Крім того, на заході поясу клімат морський, з малою річною амплітудою температури, теплим на півдні і прохолодним на півночі літом, м'якою зимою без стійкого снігового покриву на рівнинах, великими опадами в усі сезони, особливо взимку, достатнім і надлишковим зволоженням. На сході клімат помірно континентальний, з морозною сніжною зимою (крім південних районів), прохолодним на півночі, теплим у центрі і спекотним на

півдні літом, великою річною амплітудою температур; річна сума опадів більше випаровуваності на півночі, майже дорівнює їй у центрі і менше випаровуваності на півдні. У субтропічному поясі представлений середземноморський тип клімату з м'якою, теплою, але дощовою зимою (температура січня від 4 до 12°C) з перемінною погодою і теплим літом. На заході Піренейського, на Апеннінському, на заході і північному заході Балканського півостровів представлений морський різновид цього клімату (укорочений період літньої сухості, велика сума опадів), в інших районах цих півостровів і на Південному березі Криму - континентальний різновид.

Європа розташована у чотирьох кліматичних поясах.

Для арктичного поясу (архіпелаг Шпіцберген і ряд інших островів Північного Льодовитого океану) характерний арктичний тип клімату з переважанням протягом року мінусових температур. Тут випадає мала кількість опадів (не більше 250 мм/рік). У субарктичному поясі лежать південне узбережжя Баренцева моря, північ Скандинавського півострова й острів Ісландія. Клімат субарктичний. Зима довга і холодна (до -30°C), літо порівняно тепле (до +10, +15°C), але дуже коротке. Опадів небагато — до 300 мм/рік. Велика частина Європи лежить у помірному поясі з морським, помірно континентальним і континентальним типами клімату. Для помірного морського клімату характерне переважання вологого повітря Атлантики. На островах Ірландія, Великобританія, а також на березі Атлантичного океану зима дощова, тепла (середні температури від +1 до +6 °C), Влітку температури невисокі — від +10 до +18 °C, часто йдуть дощі. За рік випадає 1000 мм опадів. Клімат більшої частини Європи помірно континентальний, з більшими, ніж на узбережжі, амплітудами температур (зима холодна, літо тепле) і з меншою кількістю опадів (від 500 до 700 мм/рік). На крайньому південному сході Європи сформувався континентальний тип клімату з дуже спекотним літом і достатньо холодною для цих широт зимою. Опадів випадає до 250 мм/рік. Південна частина Європи розташована в субтропічному поясі.

Для цього регіону характерний субтропічний середземноморський тип клімату. Влітку повітря сухе, тропічне, із температурами липня в середньому від +23 до +25 °С. Опадів майже не буває. Взимку встановлюється область зниженого тиску з переважанням західних вітрів, що несуть вологу з Атлантики. Зима тепла — від +7 до +10 °С у січні, дощова. У середньому за рік випадає приблизно 400-500 мм опадів. В цілому для більшої частини Європи характерна атмосферна циркуляція з західним перенесенням повітряних мас. Повітряні маси переміщуються від Азорського максимуму на північ — в область зниженого тиску. Внаслідок обертання Землі вони поступово відхиляються вправо, і виникає постійно діюче потужне західне перенесення помірних вологих повітряних мас з Атлантичного океану на територію Європи.

2 ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ ЗАГАЛЬНОЇ ЦИРКУЛЯЦІЇ АТМОСФЕРИ ПІВНІЧНОЇ ПІВКУЛІ

Основною причиною атмосферних рухів є неоднорідність нагрівання різних ділянок підстильної поверхні і атмосфери. Наявність температурних і баричних градієнтів зумовлює рух, направлений на відновлення гідростатичної рівноваги. Підйом теплого і опускання холодного повітря на Землі, що обертається, супроводжується формуванням циркуляційних систем різного просторово-часового масштабу. Сукупність великомасштабних атмосферних рухів отримала назву *загальної циркуляції атмосфери* (ЗЦА). Загальна циркуляція атмосфери і загальна циркуляція океану частково зменшують контрасти температури і тиску, зумовлені нерівномірним надходженням сонячної радіації і різною здатністю її поглинання різними ділянками підстильної поверхні і атмосфери [5] .

Однією з найбільш великомасштабних структурних ланок ЗЦА є циркумполярний вихор (ЦПВ). Формування циклонічного ЦПВ зумовлене локалізацією в полярній області планетарного осередку холоду, а в тропічній зоні - осередків тепла. Вияв циркумполярного руху - *західне перенесення*, - є вельми стійкою особливістю тропосферної циркуляції [6] .

Взимку циклонічний характер руху повітряних мас у позатропічних широтах переважає на всіх рівнях від 850 до 10 гПа. Влітку в північній півкулі циклонічний ЦПВ слабшає і зберігається в шарі від 850 до 100 гПа. На рівнях 50 і 30 гПа в нижній стратосфері формується антициклонічний вихор. ЦПВ в тропосфері розповсюджується в обох півкулях до 20°.

Осереднену *меридіональну циркуляцію* формують агеострофічні складові вітру. Тому меридіональна циркуляція помітно слабше зональної. Виділяють два основних компоненти меридіональної циркуляції. У північній півкулі взимку між екватором і 30° пн.ш. формується інтенсивна

меридіональна циркуляція, що отримала назву циркуляційного осередку Гадлея. Пасати в нижній тропосфері, висхідні рухи в ВЗК, антипасати у верхній тропосфері і низхідні рухи в субтропічній зоні високого тиску утворюють прямі циркуляційні осередки Гадлея, що генерують кінетичну енергію.

Середня меридіональна циркуляція, більш слаба, в помірних широтах (30-60° пн.ш.) утворює зворотний циркуляційний осередок Ферреля. Вона існує завдяки адвекції кінетичної енергії з півдня і півночі, від прямих осередків тропічної і полярної зон.

У полярному районі прямий циркуляційний осередок утворюється внаслідок підйому повітря біля 60° пн.ш. і опускання його в районі полюса. В верхній тропосфері переважає південне перенесення, в нижній тропосфері - північне.

Взимку сумарна циркуляція маси в осередку Гадлея досягає $230 \cdot 10^6$ тонн/с, в той час як циркуляція маси в осередку Ферреля становить лише $30 \cdot 10^6$ тонн/с. Влітку осередок Гадлея в північній півкулі зміщується на півночі на 20° широти і переносить порівняно невелику масу близько $30 \cdot 10^6$ тонн/с, в той час як осередок Ферреля зберігає приблизно таку ж інтенсивність, як і взимку.

Крім середньої меридіональної циркуляції перенесення маси, механічної енергії, тепла із зони низьких широт у позатропічні райони здійснюється за рахунок процесів макротурбулентності - циклонічної і антициклонічної діяльності. Тобто циклони і антициклони помірних широт являють собою своєрідні елементи макротурбулентного обміну - циклони переносять теплі повітряні маси на північ, антициклони - холодні повітряні маси на південь.

У тропосфері і стратосфері постійно виникають висотні фронтальні зони (ВФЗ), з якими пов'язані основні запаси потенційної і кінетичної енергії і активна циклонічна діяльність. Найбільші контрасти температури і тиску в

північній півкулі відмічаються в північних частинах висотних гребенів і південних частинах висотних улоговин.

Виділяють *зональний* і *меридіональний* стан атмосферної циркуляції [1-4]. Для зональної циркуляції характерні високі значення швидкості зональної складової потоку і великі хвильові числа. Переважає швидке перенесення більшості синоптичних об'єктів із заходу на схід. При цьому осередки аномалій характеристик погоди орієнтовані переважно в зональному напрямі. Меридіональний стан характеризується невеликими хвильовими числами і стаціонаванням або повільним переміщенням висотних улоговин і гребенів. Аномалії характеристик погоди мають вигляд меридіонально орієнтованих областей, що чергуються.

У тропосфері північної півкулі існує декілька гілок планетарної висотної фронтальної зони (ПВФЗ). Надамо коротку характеристику кожної з них.

Арктична гілка ПВФЗ. Географічне положення осі коливається від 68° пн.ш. взимку до 73° пн.ш. влітку. Інтенсивність, що характеризується швидкістю геострофічного вітру, коливається від 23.4 м/с зимою до 18.1 м/с влітку.

Північна гілка ПВФЗ помірних широт. Географічне положення осі коливається від 56° пн.ш. зимою до 64° пн.ш. влітку; швидкість геострофічного вітру коливається від 38.6 м/с зимою до 27.9 м/с влітку.

Південна гілка ПВФЗ помірних широт. Географічне положення осі коливається від 39.3° пн.ш. взимку до 47.9° пн.ш. влітку; швидкість геострофічного вітру коливається від 55.8 м/с взимку до 37.1 м/с влітку.

Субтропічна гілка ПВФЗ. Географічне положення осі коливається від 29.7° пн.ш. зимою до 41.9° пн.ш. влітку; швидкість геострофічного вітру коливається від 64.0 м/с зимою до 44.0 м/с влітку.

З висотними фронтальними зонами пов'язані атмосферні фронти, на яких розвивається циклонічна діяльність. Найбільша повторюваність

циклонів і антициклонів в північній півкулі спостерігається поблизу 30° пн.ш. взимку і біля пн.ш. літом, тобто приблизно на тих же широтах, де панує максимальне середнє тропосферне західне перенесення. При цьому у циклонів після їх освіти існує тенденція переміщатися в напрямі до полюсів, а у антициклонів більш слаба тенденція переміщатися до екватора.

Географічний розподіл радіаційного балансу і обмін енергією між земною поверхнею і атмосферою створює в середньому надлишок тепла в низьких широтах і його дефіцит у високих, що призводить до безперервної генерації середньої зональної доступної потенційної енергії (ДПЕ). Ця енергія безпосередньо може перетворюватися в кінетичну енергію зонального потоку в осередку Гадлея в низьких широтах (шляхом конвекції), а зворотне перетворення здійснюється в осередку Ферреля поза тропіками [5, 6]. Завдяки накладенню вихрових обурень на зональне перенесення зональна ДПЕ безперервно перетворюється у вихрову доступну потенційну енергію, яка частково перетворюється у вихрову кінетичну енергію. Вихрова ДПЕ також може накопичуватися або розсіюватися безпосередньо внаслідок вивільнення прихованого тепла або під дією вихрового потоку тепла. Наведемо деякі оцінки інтенсивності енергетичного обміну.

Генерація (утворення) кінетичної енергії в осередку Ферреля взимку перевищує $60 \cdot 10^{10}$ кВт, в осередку Гадлея - біля $30 \cdot 10^{10}$ кВт. Загальне перетворення ДПЕ в кінетичну енергію для північної півкулі взимку оцінюється приблизно в 10^{11} кВт. Що стосується об'єктів синоптичного масштабу, то генерація кінетичної енергії в одному позатропічному циклоні середнього масштабу складає біля $18 \cdot 10^{10}$ кВт, тобто досить лише 4-5 циклонів середнього масштабу і інтенсивності, щоб забезпечити всю кінетичну енергію, що генерується у позатропічній частині північної півкулі. Циклонічні і антициклонічні вихори з їх переважаючими системами висхідних і низхідних рухів повітря є відповідно тропосферними стоками і джерелами кінетичної енергії.

Розглянемо стисло сезонні особливості розподілу тиску на рівні моря в планетарному масштабі [6].

У екваторіальній зоні знаходиться пояс зниженого тиску. У січні він розташований вздовж екватора, в липні зміщається дещо до півночі. У північній півкулі на широтах $30-35^{\circ}$ пн.ш. знаходиться зона максимальних значення тиску - субтропічні антициклони, які представлені основними центрами - азорський антициклон в Атлантиці, гавайським антициклон - в Тихому океані. Ці центри зберігаються протягом всього року, змінюючи тільки свою інтенсивність і райони поширення. Це так звані постійні центри дії атмосфери (ЦДА), в цьому випадку баричні максимуми.

Взимку у позатропічних широтах на материках, які в цей час охолоджуються сильніше, ніж океани, утворюються області високого тиску. Так, основний максимум знаходиться в центрі Азіатського континенту - сибірський антициклон. Це сезонний центр дії атмосфери.

Влітку на материках у позатропічних широтах в прогрітому повітрі розташовуються області зниженого тиску, найбільш велика з яких - азіатська депресія (також сезонний ЦДА).

На північній границі зони помірних широт ($60-65^{\circ}$ пн.ш.) в усі сезони знаходиться смуга зниженого тиску. Взимку яскраво виражена ісландська депресія, розташована в районі о. Ісландія, і алеутський мінімум, що знаходиться південніше за Аляску. Це постійні ЦДА, однак літом ісландський мінімум виражений слабо, а алеутський поглинається азіатською депресією.

У південній півкулі на широтах $30-35^{\circ}$ пд.ш також знаходиться зона підвищеного тиску з трьома основними центрами: південноатлантичний, південнотихоокеанський і південноіндійський субтропічні антициклони. Далі на південь розташовується передантарктична зона зниженого тиску.

У полярних областях обох півкуль в нижній тропосфері переважає зона підвищеного атмосферного тиску.

Розглянуті поля розподілу тиску є кліматичними, на фоні яких розвиваються погодоутворюючі процеси зі своїми індивідуальними структурними особливостями, які виявляються над окремими регіонами і можуть істотно відрізнятися від кліматичних даних.

2.1 Кількісна оцінка атмосферної циркуляції

Динаміка фізико-географічних умов в багатьох регіонах істотно залежить від змін їх клімату. Тому актуальною проблемою фізичної географії є подальший розвиток уявлень про чинники, що викликають ці зміни.

Згідно сучасним уявленням про природні чинники динаміки клімату [7-9], одним з найістотніших є динаміка атмосферної циркуляції в північній півкулі. Саме зміна її форм E, Z, W [10 -15] викликає перебудову синоптичних процесів, що визначає тенденції зміни середньомісячних температур повітря, місячних сум атмосферних опадів, і інших характеристик клімату у всіх її регіонах (рис.2.1).

Однорідна зональна циркуляція характеризується довгими хвилями малої амплітуди [16]. Макропроцеси цієї форми займають близько 30% усіх природних синоптичних періодів. Меридіональні ж типи макропроцесу відрізняються великою різноманітністю циркуляційних і погодних характеристик. Тут важливе значення мають не тільки ступінь розвитку меридіональних переносів, а й особливості географічної локалізації висотних улоговин і гребенів. На рисунках 2.2-2.3 показано середнє положення висотної фронтальної зони.

При західному положенні висотного гребеня діагностуються меридіональні процеси форми «З». У цьому випадку над Східною Європою знаходиться висотна улоговина, внаслідок чого над ЄЧС переважають

переноси з півночі. Ці процеси мають велику стійкість.

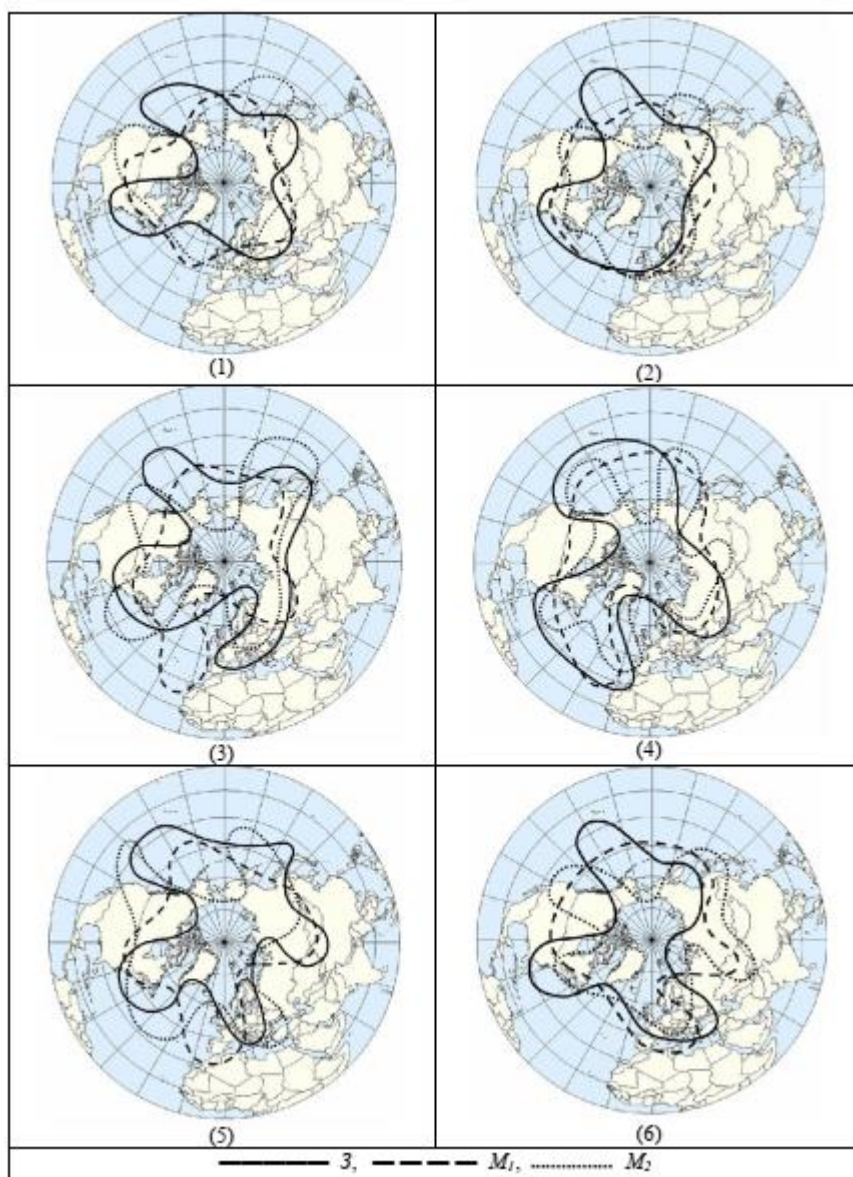


Рисунок 2.1 - Схеми положень висотних улоговин і гребенів (АТ-500) при різновидах форм атмосферної циркуляції [6]:

(1) – W зима, (2)- W літо; (3) – С зима, (4) – С літо; (5) – Е зима, (6) – Е літо.

При положенні висотного гребеня над ЄЧС макропроцесу відноситься до форми «Ц». Висотні улоговини знаходяться над Східною Атлантикою і Західним Сибіром. Меридіональні вторгнення холоду при процесах цього типу обумовлюють найбільш холодні періоди для південно-східних Районів

ЕЧС. Влітку процеси форми «Ц» володіють великою стійкістю і можуть спостерігатися протягом декількох місяців.

Східне положення висотного гребеня діагностується процесом форми «В». Взимку вісь гребеня проходить по лінії Тбілісі - Нарьян-Мар. Над центральними районами Північної Атлантики знаходиться менше інтенсивний гребінь. Між зазначеними гребенями над Європою розташовується висотна улоговина.

Меридіональні процеси змішаної форми «С» над Західною частиною схожі з формою «З», а над ЕЧС і Західним Сибіром - формою «В».

Визначення форми меридіональної циркуляції відбувається по знаках зональних градієнтів на карті АТ-500 на ділянках Лондон - Київ, Київ - Оренбург.

Якщо:

$H_L - H_K > 0$ і $H_K - H_O > 0$ діагностується форма «З»;

$H_L - H_K < 0$ і $H_K - H_O > 0$ діагностується форма «Ц»;

$H_L - H_K < 0$ і $H_K - H_O < 0$ діагностується форма «В»;

$H_L - H_K > 0$ і $H_K - H_O < 0$ діагностується форма «С».

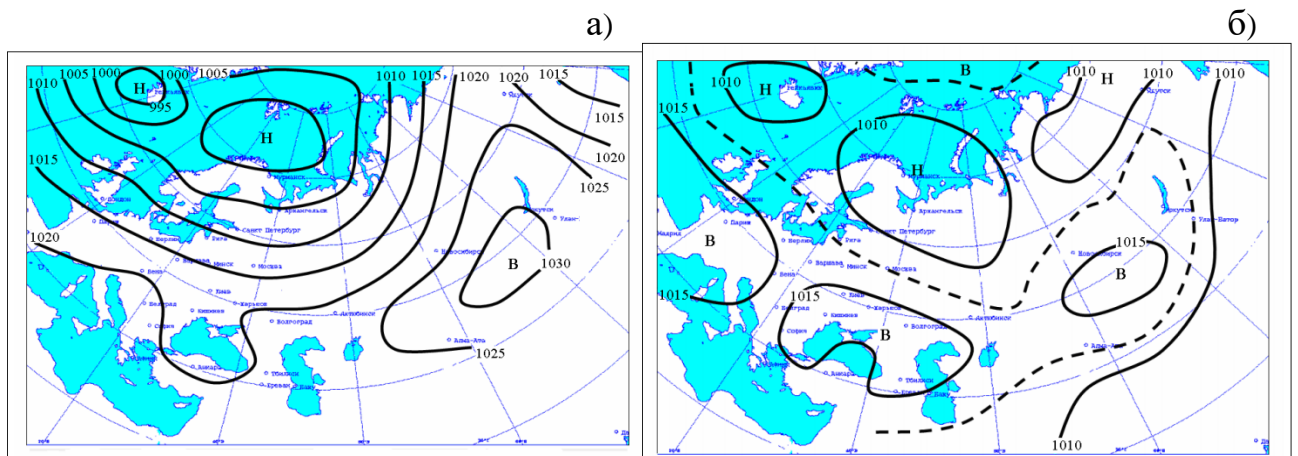


Рисунок 2.2 - Середній тиск біля поверхні землі при зональній циркуляції в холодне (а), тепле (б) півріччя;

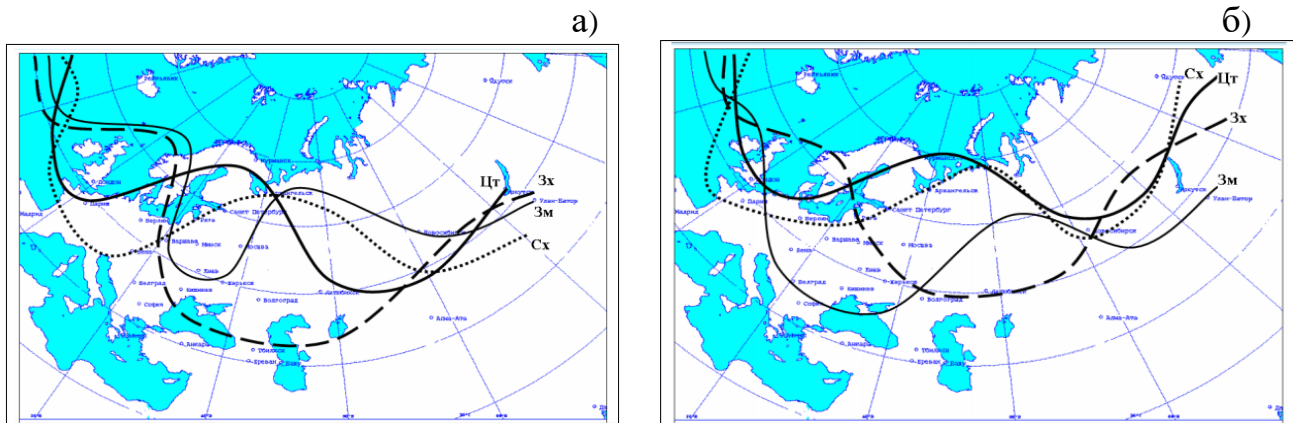


Рисунок 2.3 - Середнє положення ВФЗ при меридіональних процесах західної (З), центральної (Ц), східної (В) та мішаної (С) форм макроциркуляції в холодний (а) і теплий (б) сезони за А.Л. Кацом [6]

2.2 Північно-Атлантичне колювання – кліматоутворюючий чинник

Одним з найважливіших чинників, що викликають зміни в загальній циркуляції атмосфери, є обмін теплом і вологою з підстильною поверхнею. Він викликає в баричному полі планети вимушені довгоперіодні колювання, істотно впливаючи на динаміку характеристик клімату в різних її регіонах. Одним з таких колювань, що роблять найістотніший вплив на атмосферні процеси над Південно-східною Європою, у тому числі і над Україною, є Північно-Атлантичне колювання (САК, іноді NAO).

NAO – це довгоперіодні квазісинхронні зміни атмосферного тиску в Азорському максимумі і Ісландському мінімумі, які вперше були описані Уолкером і Бліссом в 1932 р [11].

Індекс Північно-Атлантичного колювання в відбиває динаміку добре розвинених центрів дії атмосфери північної півкулі-ісландського мінімуму і азорського максимуму. Ці ЦДА добре розвинені протягом усього року, однак

найбільш яскраво градієнт тиску між цими широтами проявляється в холодну півріччя. Найбільш простий спосіб визначення індексу САК заснований на розрахунку різниць приземних тисків на станціях Понта Делгада (Азори) та Рейк'явік (Ісландія) та аномалій відхилень всячини від середньомісячних, середньо сезонних, середньорічних) значень в залежності від тимчасового інтервалу осереднення. При цьому використовуються нормалізовані значення. Аномалії тиску по кожній станції нормалізуються шляхом розподілу кожного середньомісячного (середньосезонних, середньорічного) значення тиску на довгоперіодне середнє стандартне відхилення, використовується для того, щоб нівелювати велику мінливість тиску на північній станції (Рейк'явік) [17, 18].

Зовсім інший підхід до визначення індексу САК описаний у роботі [19], де розрахунок індексу зводиться до побудови полів точкової кореляції в Антлантико-Європейському секторі. Як полюс кореляції бралось значення приземного тиску в точці з координатами 65° пн.ш., 20° з.д. і щодо нього визначалися коефіцієнти кореляції у вузлах просторової сітки навколо цієї точки. У 80-х роках минулого століття для визначення кліматичних індексів (у тому числі і САК) Barnston та Liveze [20] запропонували метод розкладання полів аномалій геопотенціалу на рівні H700, яким успішно користуються і зараз у Центрі кліматичних прогнозів США (CPC/NOAA). Проте, з 2005 року індекси розраховуються за полями нормованих аномалій на рівні H500 щодо базового періоду 1981-2010 років. Надалі оперуватимемо фазами коливання залежно від числових значень індексу САК. Позитивною фазою коливання називають стан атмосфери при позитивному значенні індексу САК, а негативною фазою – при негативному значенні.

Щоденні аномалії розраховуються за допомогою методу найменших квадратів як середньоквадратичне відхилення від щоденних кліматичних значень. Розрахунок проводиться у вузлах регулярної сітки точок у північній півкулі в широтному поясі $20-90^{\circ}$ пн.ш. на цих об'єктивного аналізу. Як

правило, облік середньокліматичних значень (місячних або сезонних) підвищує ступінь часової кореляції між поточними аномаліями поля тиску і кліматичних значенням.

Отримані таким чином значення індексів відповідають позитивним і негативним фазам САК. Позитивна фаза САК в Європі про те, що у високих широтах над Північною Атлантикою приземний тиск і геопотенціальні висоти нижче середнього (нормального) значення, а в субтропічних широтах над Центром Північної Атлантики, сходом США і Західною Європою приземний тиск і геопотенціальні висоти вище середнього значення. Позитивна фаза відповідає посиленому (у порівнянні з середньо кліматичним значенням) перенесенням в атмосфері помірних широт північної півкулі. У негативній фазі САК мають місце зворотне співвідношення аномалій тиску.

Гradient атмосферного тиску між Азорським максимумом і Ісландським мінімумом визначає інтенсивність західного переносу теплового вологого повітря Атлантики в помірних широтах північної півкулі. В позитивній фазі NAO, коли значення модуля цього градієнта перевищують середній рівень, над центральною і північною Європою переважає зональний тип атмосферної циркуляції, що викликає прихід теплового вологого повітря і пом'якшувати клімат. В негативній фазі NAO домінує протилежна тенденція.

Характеристики NAO і особливості його впливу на клімат різних регіонів Європи безперервно змінюються. Закономірності цих змін в багатьох регіонах були вивчені недостатньо [21-23].

Існують різні варіанти індексу NAO. Найбільш часто використовується різниця тиску між Азорськими островами (Понта-Делгада) і Ісландією (Акюрейрі), усереднена за три зимові місяці (грудень-лютий) – індекс NAO1.

Дещо рідше використовують різниці тиску між пунктами Лісабон (Португалія) і Стіккисхоульмюр (Ісландія) усереднені за чотири зимові місяці (грудень – березень) – NAO2.

Крім того, для характеристики північноатлантичного коливання

застосовують безпосередню різницю тиску між центрами дії атмосфери – NAO3, Ісландії (64° пн.ш., 24° з.д.) – Рейк'явік і поблизу Азорських островів (39° пн.ш., 24° з.д.) за зимово-весняний період, а також різниці тиску на меридіані, між станціями з координатами 45⁰ пн.ш., 30⁰ з.д. і 60⁰ пн.ш. 30⁰ з.д., усереднені за три зимові місяці (грудень – лютий) – NAO4.

Найчастіше інтенсивність такої циркуляційної мінливості вимірюється нормалізовано різницею атмосферного тиску на рівні моря (SLP) між метеорологічними станціями на Азорських островах і в Ісландії:

$$NAO_{ind} = \frac{SLP'_{Az}}{\sigma_{Az}} - \frac{SLP'_{Isl}}{\sigma_{Isl}},$$

де SLP'Az , SLP'Isl - аномалії SLP на станціях на Азорських островах і в Ісландії; а σ_{Az} , σ_{Isl} – середні квадратичні відхилення цих аномалій. Через доступність більш довгих часових рядів значення на станції на Азорських островах іноді замінюється значеннями на метеорологічній станції в Португалії. Коли індекс ПАК значний, західні атмосферні потоки більш інтенсивні, ніж у де SLP'Az , SLP'Isl - аномалії SLP на станціях на Азорських островах і в Ісландії; а σ_{Az} , σ_{Isl} – середні квадратичні відхилення цих аномалій. Через доступність більш довгих часових рядів значення на станції на Азорських островах іноді замінюється значеннями на метеорологічній станції в Португалії. Коли індекс ПАК значний, західні атмосферні потоки більш інтенсивні, ніж у середньому, тоді як при від'ємному індексі ПАК вони слабкіші, ніж у середньому. Ефект ПАК може спостерігатися в усі сезони, але взимку, коли циркуляція більш інтенсивна, його вплив більш суттєвий. Якщо взимку індекс ПАК додатний, сильні західні вітри переносять тепле і вологе повітря до Європи. Це спричиняє потепління і збільшення опадів у середніх і високих широтах в Європі, а також у значної частини північної Азії, Гренландському і Баренцовому морях.

Навпаки, аномальна циркуляція при великих значеннях індексу ПАК

приносить холодне повітря до Лабрадорського моря, що генерує там низький температурний режим (рис.2.4) і зростання площі морського льоду. Далі на південь більш інтенсивний потік навколо субтропічної області високого тиску призводить до зниження температури над Туреччиною і Північною Африкою і до потепління на сході США.

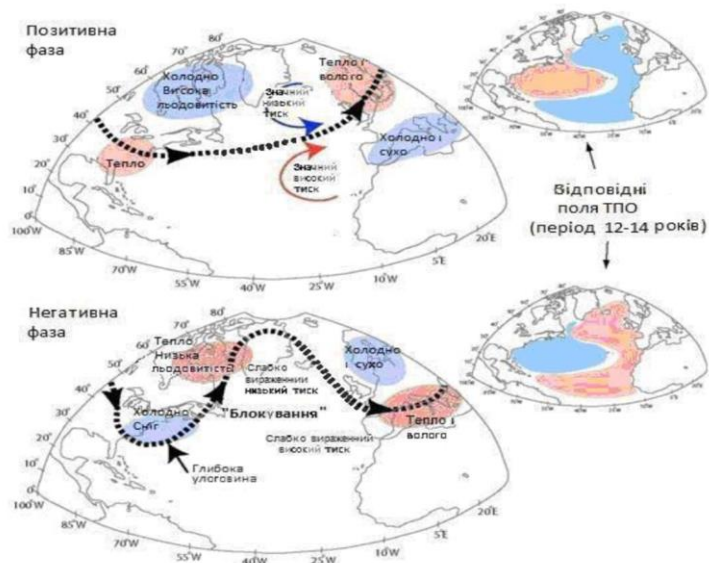


Рисунок 2.4 - Особливості розвитку гідрометеорологічних процесів над Північною Атлантикою для позитивної і негативної фаз ПАК [Columbia University]

З додатними значеннями індексу ПАК над Атлантичним океаном пов'язаний так званий «триполюсний» ефект: позитивна аномалія температури спостерігається навколо 30-40° пн. ш., а на північ і на південь від цього широтного кола – від'ємна аномалія. Здається, домінуючою причиною цієї картини є ефекти взаємодії між атмосферою і океаном. Дійсно, температура поверхні океану зменшується в областях з великими швидкостями вітру і, це призводить до збільшення швидкостей випаровування і переносу тепла від океану до атмосфери. Але на протилежність до ENSO (EL Nino-Southern Oscillation), який є наслідком взаємодії комплексу змін у океані та атмосфері і має вплив на формування

циркуляційних процесів у всій атмосфері, ефект NAO (ПАК) все таки є переважно внутрішньою модою мінливості атмосфери і його вплив поширюється переважно на атмосферу помірних широт Північної півкулі.

З Північноатлантичним коливанням пов'язують характер переважної погоди у Північній Америці, Гренландії та Європі. У період високих позитивних значень індексу спостерігається посилення субтропічного максимуму тиску та поглиблення ісландського мінімуму, що призводить до зростання градієнтів між цими центрами дії та посилення вітрів, що несуть з Атлантичного океану тепле та вологе повітря до Північної Європи (рис. 2.4.). У той же час на північному сході Канади та Гренландії переважає суха і холодна погода. Причому самі центри дії зміщуються у північному чи північно-західному напрямку.

Особливості атмосферної циркуляції на Півночі Атлантики при позитивній фазі САК тягне за собою також і зміни в структурі морських течій [25] та температурі поверхні моря (ТПО). Основні риси позитивної фази коливання зводяться до наступних моментів [26, 27]:

- спостерігаються негативні аномалії приземного тиску та геопотенціалу в ісландському мінімумі та позитивні аномалії в районі Азорського максимуму;
- негативні аномалії приземної температури повітря в Східній Канаді, в районі півострову Лабрадор та Гренландії;
- позитивні аномалії приземної температури практично на всій території Європи, а також надлишок опадів, особливо у зимовий період;
- посилення зонального типу циркуляції;
- збільшення швидкості вітрів у тропосфері в зоні 50-60 ° пн.ш.;
- зміщення траєкторій циклонів у північному напрямку на 200-400 км щодо їхнього середнього становища;
- послаблення процесів блокування в атмосфері;
- збільшення льодовитості в морі Лабрадор та зменшення у

Гренландському морі щодо середніх багаторічних значень;

- суттєві негативні аномалії ТПО в районі Лабрадорської та Канарської течій та позитивні аномалії у Гольфстрімі.

При низьких значеннях індексу САК інтенсивність центрів дії атмосфери у Північній Атлантиці слабшає, а самі центри зміщуються на південь чи південний схід. При цьому інтенсивність зональних вітрів зменшується, а їх напрямок зміщується у бік Середземномор'я, де встановлюється тепла та волога погода. Над акваторією Середземного моря часто формуються потужні Південні циклони, які переміщаючись у північно-східному напрямку, зумовлюють більш вологі та теплі погодні умови в південних районах України та в Криму [28]. Основними особливостями негативної фази вважатимуться такі:

- Позитивні аномалії приземного тиску та геопотенціалу в Ісландському мінімумі та негативні аномалії в районі Азорського максимуму;

- негативні аномалії приземної температури практично на всій території Європи, а також дефіцит опадів на півночі Європи, особливо у зимовий період;

- ослаблення зонального типу циркуляції та переважання меридіонального перенесення;

- зменшення швидкості вітрів у тропосфері в зоні 50-60 ° пн.ш.;

- зміщення траєкторій циклонів у південному напрямку;

- посилення процесів блокування в атмосфері, особливо на сході Європи та в Скандинавії;

- зменшення льодовитості в морі Лабрадор та зростання концентрації льоду в Гренландському морі щодо середніх багаторічних показників;

- Виникнення суттєвих позитивних аномалій ТПО в районі Лабрадорської та Канарської течій та негативних аномалій у Гольфстрімі.

В період низьких значень індексу інтенсивність атмосферних утворень слабшає, інтенсивність вітрів зменшується, і напрям їх зміщується у бік

Середземномор'я, де встановлюється тепла, волога погода. В північній Європі в цьому випадку навпаки переважаючої є суха і холодна погода.

Хоча взаємозв'язок між центрами дії атмосфери виявляється протягом всього року, амплітуда коливання максимальна в зимовий сезон, коли атмосфера динамічно найбільш активна. Тому найбільш популярні значення індексу, що розраховуються за зимовий сезон з грудня по березень. Згідно з численними дослідженнями, Північно-Атлантичне коливання в значній мірі визначає погоду (інтенсивність і траєкторії циклонів і штормів, аномалії опадів і приземної температури повітря) у більшості країн Європи і на акваторії Північної Атлантики в зимовий сезон, тому тенденції кліматичних змін в Європейському регіоні неможливо правильно пояснити без цього індексу [17-22].

Позитивній фазі Північно-Атлантичного коливання відповідає дуже інтенсивна циклонічна діяльність в Північній Атлантиці. Саме це і призводить до аномального тепла в Європі, як сталося в поточному році.

Навпаки, коли Атлантика «завмирає», влада взимку переходить до сибірського антициклону, якої захоплює всю Європу, приносячи морози навіть у Великобританію і Францію. Північноатлантичне коливання пов'язано з аномаліями температури поверхні Атлантичного океану. Температура вод Гольфстріму на пару градусів вище середньої багаторічної. Ось в цьому, власне, і криється причина колосальних погодних аномалій у Європі.

2.3 Східно-Атлантичне коливання (САК - EAP)

1987 року Barnston A.G. та Livezey R.E. [20] виконали процедуру розкладання полів геопотенціалу 500 гПа на ЕОФ для Північної півкулі та виділили цілий комплекс центрів мінливості (коливань) у системі океан -

атмосфера. Одна з таких осциляцій отримала назву Східно-Атлантичного коливання (East Atlantic pattern). Це коливання має багато спільного з САК, проте виражено меншою мірою і натомість міжрічного масштабу мінливості. Воно є другим за значимістю та сумарним охопленням дисперсії поля тиску в Атлантико-Європейському регіоні і проявляється у всі сезони року, проте найбільш виражене в зимовий період.

У 1987 році Barnston A.G. і Livezey R.E. виділили цілий комплекс центрів мінливості в системі океан - атмосфера. Одна з таких осциляцій отримала назву Східно-Атлантичного коливання (East Atlantic pattern - EAP). Дане коливання має багато спільного з САК, проте виражено в меншій мірі на тлі міжрічного масштабу мінливості. Воно є другим за значимістю і сумарному охопленням дисперсії поля тиску в Атлантико-Європейському регіоні і проявляється в усі сезони року, однак найбільш виражено в зимовий період.

Просторова структура EAP є диполь аномалій в поле геопотенціала, орієнтований в меридіональному напрямку, який охоплює район Північної Атлантики зі сходу на захід. Центри аномалій EAP роком дещо зміщена на південний схід по відношенню до диполю Північно-Атлантичного коливання. Східно-Атлантичний коливання часто інтерпретується як «зсунутим на південь» режимом (або підвидом) САК. Проте, південний центр даного коливання проявляє істотну зв'язок з субтропіками в силу змін інтенсивності і локалізації субтропічного гребеня високого тиску. Саме цей тісний зв'язок з субтропіками визначає головна відмінність EAP від структури Північно-Атлантичного коливання.

Ступінь розвитку коливання виражається через індекс EAP, Під час EAP+ спостерігається зростання приземної температури повітря в Європі в усі місяці року. У режимі зволоження спостерігається дефіцит опадів по всій Південній Європі, проте в Північній Європі і Скандинавії відбувається перезволоження, в основному в холодну півріччя. Під час негативною фази

ЕАР відбувається посилення меридіональної циркуляції над Атлантико-Європейським Сектором і формування полів з негативними аномаліями приземної температури практично по всій Європі.

Особливості просторової структури даного режиму мінливості можна простежити не тільки в середній тропосфері, але і у поверхні, по середньомісячним даними приземного поля тиску. Під час позитивної фази ЕАР формується велика область з від'ємними аномаліями P_0 в центральній частині Північної Атлантики. У цій структурі поля полягає головна відмінність ЕАР від САК, оскільки позитивна фаза САК характеризується дипольною структурою просторового поля тиску з негативними значеннями аномалій в районі Ісландії і позитивними над Азорськими островами (рис.2.5.).

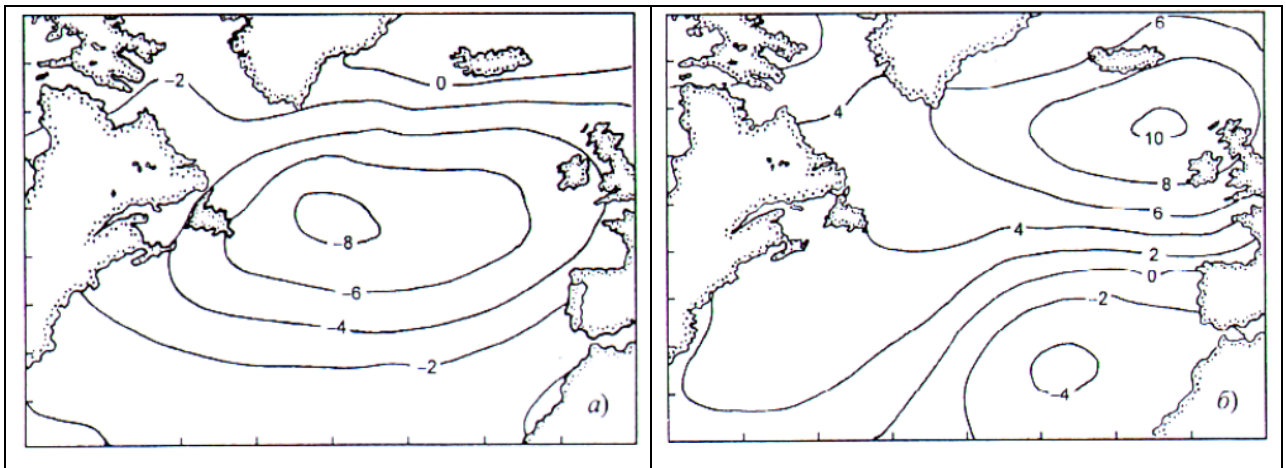


Рисунок 2.5 - Поле аномалій приземного тиску в січні. Позитивна фаза ЕАР. Поле аномалій приземного тиску в січні. Негативна фаза ЕАР [Нестеров Е.С., 2013]

Для негативною фази ЕАР характерна вже дипольна структура поля аномалії, що робить його схожим з САК, проте центри зрушені на схід в порівнянні зі структурою САК.

- при $САК > 0$ і $ЕАР > 0$ спостерігається посилення зонального перенесення, позитивні аномалії температури в Європі і як наслідок - більш

м'які зими в Східній Європі;

- при САК <0 і ЕАР <0 відбувається посилення меридіональної циркуляції і формування негативних аномалій температури повітря в Європі;

- при САК >0 і ЕАР <0 виникає область підвищеного тиску в східній частині Північної Атлантики і як наслідок цього - формується область з негативними аномаліями приземної температури в південно-західній частині Європи;

- при САК <0 і ЕАР >0 зміщується на схід північний центр диполя аномалій приземного тиску в Північній Атлантиці, спостерігаються негативні аномалії приземної температури в Європі.

2.4 Скандинавське коливання

Дана мінливість була докладно описана в 1987 році (Barnston A.G., Livezey R.E) під час аналізу середньомісячних полів геопотенціала на рівні АТ-700. Головний центр осциляції розташований в районі Скандинавського півострова в області, обмеженою координатами 60 - 70 пн.ш., 25 - 50 с.д (рис.2.6). Інші слабші центри виділяються в Північно-Східній Атлантиці, Західної Росії та Центральної Сибіру (на північний захід від оз. Байкал).

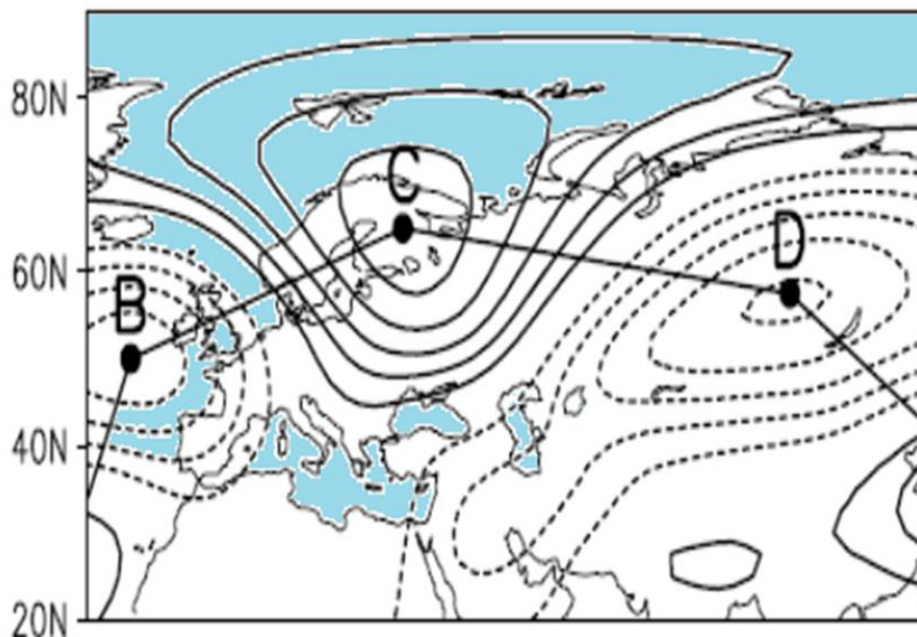


Рисунок 2.6 - Скандинавське колювання (схема)

У холодний період спостерігається максимальна активність центрів дії колювання і їх витягнутість в меридіональному напрямку. З настанням лютого активність полюсів помітно знижується.

Для Скандинавського колювання також існує індекс, який в даний час розраховується за даними ре-аналізу NCEP / NCAR в Національному центрі з дослідження клімату, США. Залежно від знаку індексу, виділяють фази колювання, а за чисельним значенням індексу судять про інтенсивність певної фази.

Позитивна фаза колювання пов'язана з позитивними аномаліями висоти геопотенціальною поверхні 700 гПа, часто відображає наявність блокуючих антициклонів над Скандинавським півостровом і європейської територією Росії. Під час негативною фази на середньомісячних картах АТ-700 виділяється область негативних аномалій у значеннях геопотенціала (рис.2.7).

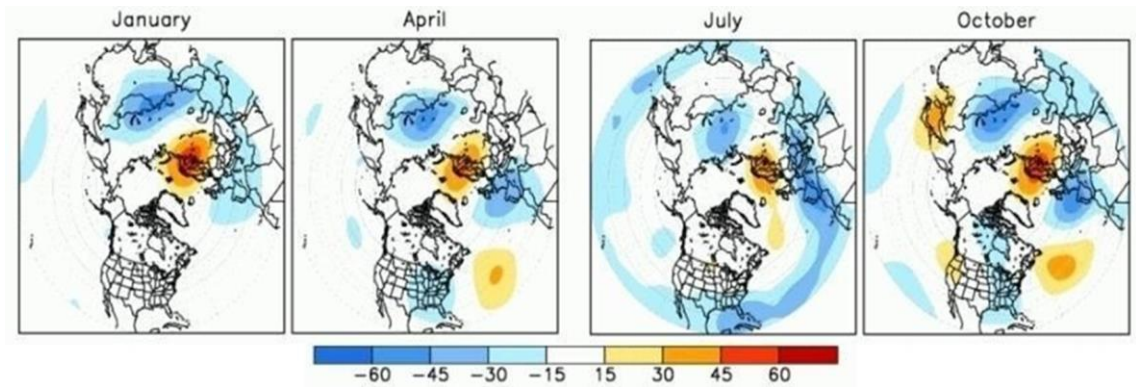


Рисунок 2.7 – Середньомісячні нормовані аномалії у полі геопотенціалу середньої тропосфери (500 гПа) Північної півкулі з виділенням областей низького та високого геопотенціалу, що формуються під впливом Скандинавського коливання [34]

Під час позитивної фази фіксуються негативні аномалії приземної температури в Центральній Росії, і в західній Європі. Також під час цієї фази спостерігається збільшення кількості опадів в центральній і південній Європі, і їх недолік в районі Скандинавії і північно-східній Європі. Крім того, полярна гілка струменевої течії в Північній Атлантиці зміщується в східному напрямку щодо свого середнього положення, посилюється західний перенос в районі Середземномор'я.

У зв'язку з цим, траєкторії атлантичних штормів проходять на північ від Скандинавського півострова. При цьому, область активного циклогенезу зміщується ближче до західної Європі (Португалія, Іспанія). Західний перенос під час цієї фази простежується навіть у внутрішніх районах Азії (озера Балхаш і Байкал), охоплюючи більшу частину Північної Азії.

Найбільш істотно впливає на кількість опадів Скандинавське коливання в лютому. Дана осциляція є відповідальною за формування міжсезонних аномалій температури повітря на території Східної Європи, акваторії Чорного і Азовського морів, а також у басейні Волги/

2.5 Арктичне коливання (Arctic Oscillation)

Іншим важливим коливанням є Арктичне (Arctic Oscillation). Воно характеризує ступінь розвинутості арктичного полярного антициклону в зимовий період. Тут також прийнято виділяти 2 фази — додатну та від’ємну (рис. 2.8). Характерною рисою від’ємної фази є переважання відносно високого атмосферного тиску над полярними районами та низького тиску в середніх широтах (близько 45° пн.ш.). При додатній фазі спостерігається протилежна картину баричного поля. Високий атмосферний тиск над середніми широтами змушує циклони переміщуватися по більш високим широтам, обумовлюючи тим самим збільшення кількості опадів на Алясці, Великобританії та Скандинавії, в той час як на Середземномор’ї та заходом США спостерігається більш суха погода.

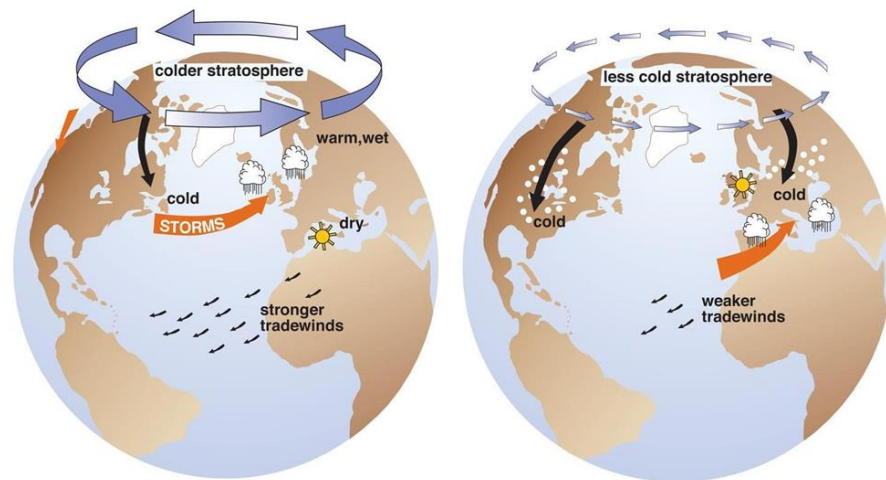


Рисунок 2.8 - Схематичне подання різних фаз Арктичного коливання [35]

Через активну циклонічну діяльність в Європі, за винятком її південних районів, спостерігається волога погода з частими штормовими вітрами. При від’ємній фазі частішають вторгнення арктичного повітря в Європу, а також на територію Північної Америки. Посилюється циклогенез та опади уздовж акваторії Середземного моря.

2.6 Середземноморська осциляція (Mediterranean Oscillation) – СЗК

Крім найбільш виражених великомасштабних кліматичних сигналів в Атлантико-Європейському регіоні, таких як САК, ЕАР і інші, розумно приділити увагу коливального механізму, діючого в басейні Середземного моря - Середземноморська осциляція (Mediterranean Oscillation).

Джерелом даного колювання виступає система взаємодії Середземного моря з примикає сушею, на тлі чого розвиваються міжсезонні аномалії геопотенціала в середній тропосфері. Так само як у випадку з більш великомасштабними осциляціями, СЗК впливає на різні метеорологічні показники за допомогою механізму дальнодійства.

Вперше, даний тип низькочастотної мінливості був описаний в 1989 році Conte M., Giuffrida A., і Tedesco S . Вони домовилися визначати СЗК як атмосферного диполя аномалій в поле геопотенціала на рівні 500 гПа з двома центрами - на заході і сході Середземного моря (рис. 2.9).

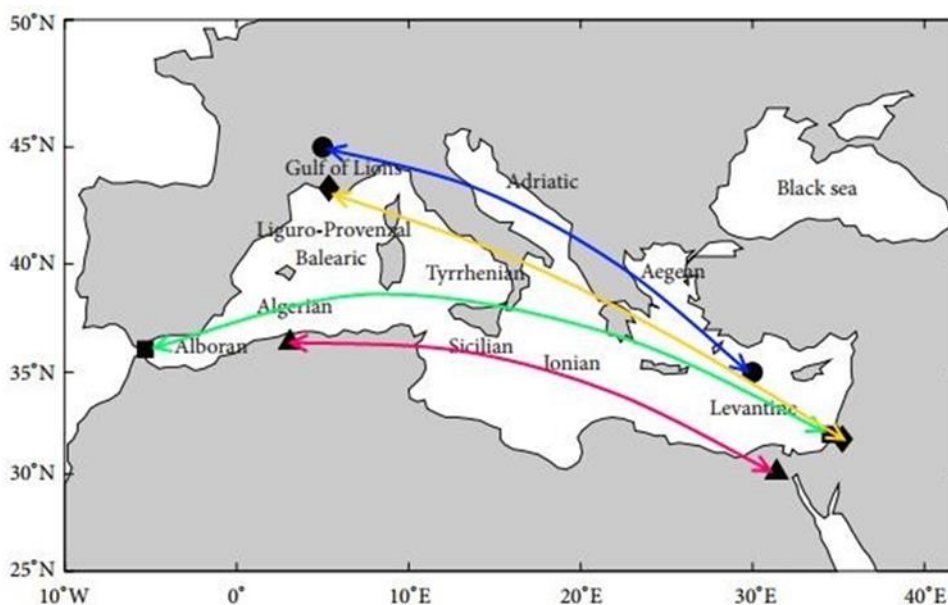


Рисунок 2.9 - Схематичне подання полюсів колювання СЗК, щодо яких за різними версіями розраховується індекс MOI [36.].

Оскільки, циклонічна діяльність і динамічна активність атмосфери в районі Середземномор'я найбільш виражена в зимовий період, то в значеннях індексу в цей час спостерігається максимальна добова мінливість, яка відображає інтенсивність і характер циклонічної і антициклонічної діяльності

Під час позитивної фази, по всій Європі, особливо, в центральній її частині, спостерігаються позитивні аномалії приземного тиску, а при негативній фазі переважає поле зниженого тиску з декількома явно вираженими центрами над Балканами, Центральною Європою, Туреччиною і центральної Сахарою. При досить вираженій позитивній фазі СЗК Азорський максимум витягується в східному напрямку з формуванням окремих ядер високого тиску над Середземномор'ям, які представляють собою субтропічний пояс підвищеного тиску. В цей же час, західний перенос активно працює на північ від 50-ї паралелі, що виражається в інтенсивній циклонічній діяльності. Атлантичні циклони серіями зміщуються на схід вглиб континенту, зтягаючи у свої теплі сектора теплу і вологу тропічну повітряну зі Середземномор'я.

В тилу таких циклонів зазвичай надходить досить тепла повітряна маса атлантичного походження. Таким чином, переважна адвекція тепла, пов'язана з активним західним перенесенням, призводить до формування позитивних температурних аномалій на великій частині Європи. У режимі зволоження спостерігається дефіцит опадів в районі Середземномор'я і Південної Європи, а в Північній і Північно-західній частині континенту - їх надлишок (у зв'язку з активною циклонічною діяльністю).

Негативна фаза коливання пов'язана з протилежним типом циркуляції. Виражається це в переважанні зниженого баричного поля і активізацією циклонічної діяльності над Середземномор'ям, в той час як Велика частина Європи перебуває під впливом антициклонної циркуляції. Західний перенос при такій схемі порушений, Ісландська депресія слабо виражена і Атлантичні

циклони зміщуються по більш північним траєкторіям, не досягаючи більшої частини Центральної та Східної Європи. При цьому, велика частина Європи, а особливо східна її половина, знаходяться під впливом відрогів Сибірського максимуму, або ядра арктичного антициклону, родом з Карського моря. При такій ситуації, в Європу надходить холодніше повітря з центральноазіатських районів і Західного Сибіру, що призводить до формування негативних температурних аномалій. При такому типі циркуляції виникає дефіцит опадів над континентальною Європою, в той час як в басейні Середземного моря спостерігається їх надлишок.

2.7 Коливання Східна Атлантика/Західна Росія (CA/ЗР -EA/WR)

Структура Східна Атлантика/Західна Росія (CA/ЗР) в Атлантико-Європейському секторі утворюється двома центрами дії: перший розташований поблизу Великобританії та Данії на $50\text{--}60^\circ$ півн. ш. і 10° зах. д.– 10° сх. д., а центр протилежного знаку – на північ та північний схід від Каспійського моря (рис. 2.10).

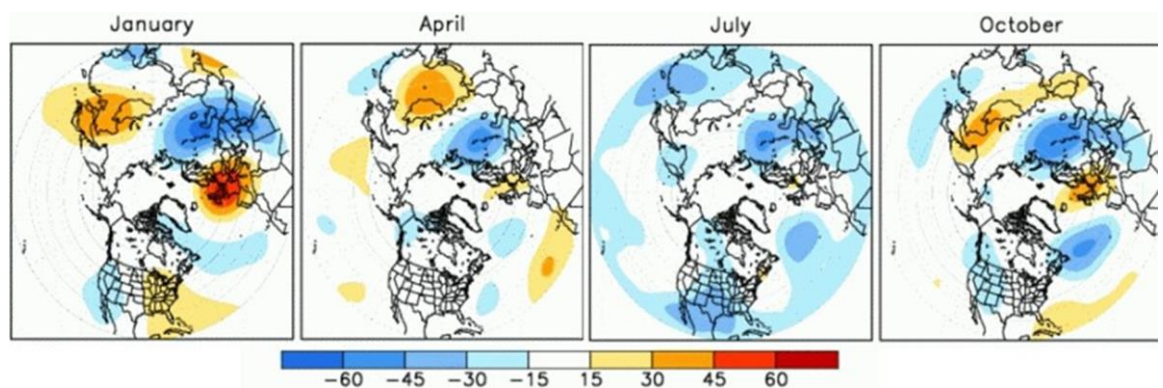


Рисунок 2.10 - Середньомісячні нормовані аномалії у полі геопотенціалу середньої тропосфери (500 гПа) Північної півкулі з виділенням областей низького та високого геопотенціалу, що формуються під впливом коливання CA/ЗР -EA/WR [34]

На відміну від ПАК, структура СА/ЗР відображає особливості розподілу аномалій тиску, що призводять до посилення меридіонального перенесення.

Позитивна фаза коливання СА/ЗР характеризується від'ємними аномаліями геопотенціальної висоти на ЄТР з центром над Каспійським морем, а також над центром Північної Атлантики (січень).

Додатні аномалії геопотенціальної висоти спостерігаються над північним заходом Європи і Китаєм. В теплий період року інтенсивність осередків аномалій тиску значно зменшується (липень). При негативній фазі відбувається послаблення основних центрів аномалій тиску. Основні додатні аномалії в полі приземної температури при позитивній фазі СА/ЗР знаходяться над східною Азією, від'ємні аномалії температури відмічаються над значною частиною ЄТР і північно-східною Африкою. Зона перезволоження формується на сході Китаю, дефіцит опадів спостерігається в Центральній Європі. Над східним Середземномор'ям позитивні фази СА/ЗР в зимовий період пов'язані з інтенсифікацією північних потоків повітря з Центральної Європи, тоді як при низьких значеннях індексу СА/ЗР посилюється перенесення атлантичних повітряних мас із заходу.

Якщо порівнювати розподіл аномалій у висотних полях тиску, приземних полях аномалій температури та опадів, характерних для коливання СА/ЗР, з класифікацією форм макроциркуляції А.Л. Каца, то можна відзначити, що розташування центрів дії над Європою в позитивній фазі СА/ЗР відповідає західній (Зх) або змішаній (Зм) формі макроциркуляції.

Незважаючи на те, що даний режим мінливості впливає на Євразію протягом всього року, для території України і сусідніх країн воно відіграє досить посередню роль у формуванні температурних аномалій взимку, що вдалося виявити в результаті компонентного аналізу і побудови полів різницевого композитів.

Головною відмінною рисою даної осциляції є її максимальний прояв в

першому зимовому місяці - грудні.

Таким чином, коливання СА/ЗР–ЕА/WR істотно впливає на температуру повітря досліджуваної території протягом усіх зимових місяцем. Однак, головною відмінною рисою цієї осциляції є його максимальне прояв в першому зимовому місяці - грудні.

Що стосується режиму зволоження, то над східними провінціями Китаю відбувається збільшення кількості опадів, в той час як над країнами Центральної Європи та Середземномор'я їх недолік по відношенню до багаторічних нормам. Під час негативною фази ситуація змінюється на протилежну.

У періоди позитивної фази коливання, зафіксовані позитивні аномалії приземної температури повітря в районі східної Азії і негативні аномалії над більшою частиною Західної Росії, а також над північним сходом Африки.

3 ОСНОВНІ ПОГОДНО-КЛІМАТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ НА ТЕРИТОРІЇ АТЛАНТИКО-ЄВРОПЕЙСЬКОГО СЕКТОРУ ВЛІТКУ 2023 РОКУ

Даний розділ кваліфікаційної роботи присвячений викладу результатів дослідження умов великомасштабної циркуляції в Атлантико-Європейському секторі, що спостерігалися в період червень-серпень 2023 року. Для аналізу об'єктів були взяті висотні поля тиску, траєкторії циклонів і антициклонів, що виникли в розглянутий період в регіоні. Для кількісної оцінки циркуляційних умов були взяті індекси Північно-Атлантичного коливання та проведено їх зіставлення з синоптичними процесами, які спостерігалися.

3.1 Аномально тепле літо 2023 року

За даними Copernicus [37] *червень 2023* року місяць був найтеплішим червнем у світі: температура трохи більш ніж на $0,5^{\circ}\text{C}$ перевищувала середній показник за 1991-2020 роки, значно перевищивши червень 2019 року – попередній рекорд – із значним відривом. Рекордні червневі температури спостерігалися північному заході Європи. Рекордно висока температура поверхні моря спостерігалася великих ділянках Північної Атлантики, що призвело до виникнення хвиль тепла навколо Ірландії та Великобританії.

У червні 2023 року на більшій частині Європи температура перевищила середні кліматологічні показники 1991–2020 років. Найвищі аномалії були виявлені у північно-західній Європі, де в Ірландії, Великій Британії, Бельгії та Нідерландах були найтепліші червні за всю історію

спостережень (рис. 3.1). У Франції та Скандинавії також було помітно тепліше за середнє. Навпаки, на південних Балканах, у Греції, Туреччині та західній Росії було холодніше, ніж у середньому. Змішані умови спостерігалися в Італії та Іспанії.

Температура повітря вище за середню спостерігалася в основному над океанами. Зокрема, високі температури поверхні моря спостерігалися на великих ділянках Північної Атлантики, включаючи морські хвилі тепла навколо Ірландії та Великобританії.

Підтверджено, що середня глобальна температура у *липні 2023* року стала найвищою за всю історію спостережень за місяць. У липні було на 0,7 °C тепліше, ніж у середньому за 1991–2020 роки, та на 0,3 °C тепліше, ніж у попередній найтепліший місяць, липень 2019 року. За оцінками, цей місяць був приблизно на 1,5 °C теплішим, ніж у середньому за 1850–1900 роки.

Хвилі тепла спостерігалися у багатьох регіонах Північної півкулі, включаючи південну Європу (рис.3.2).

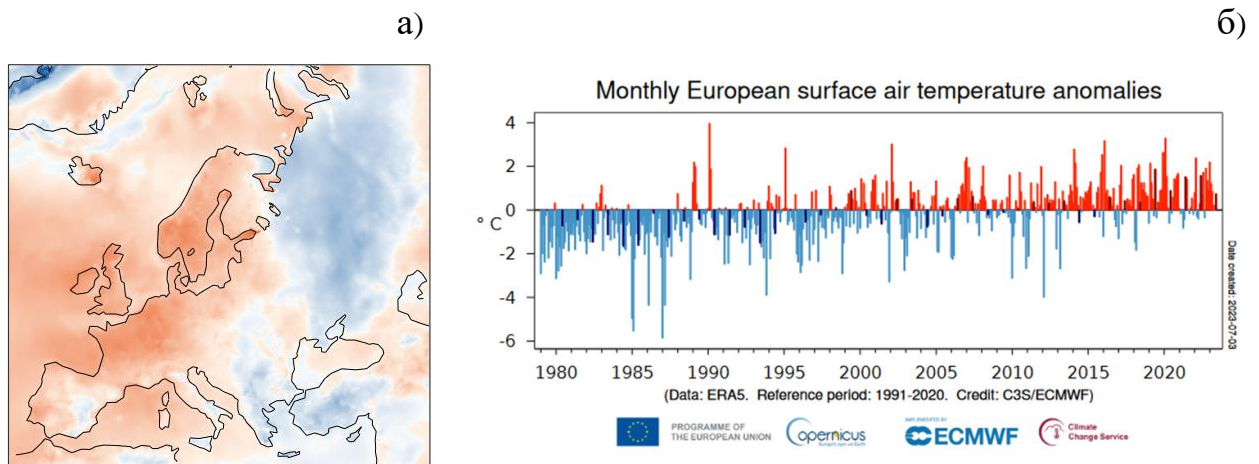


Рисунок 3.1 – Аномалії приземної температури повітря (а) та аномалії середньомісячної середньоєвропейської приземної температури повітря (б) за червень 2023 р. Джерело даних: ERA5. Фото: Служба зміни клімату «Коперник»/ECMWF

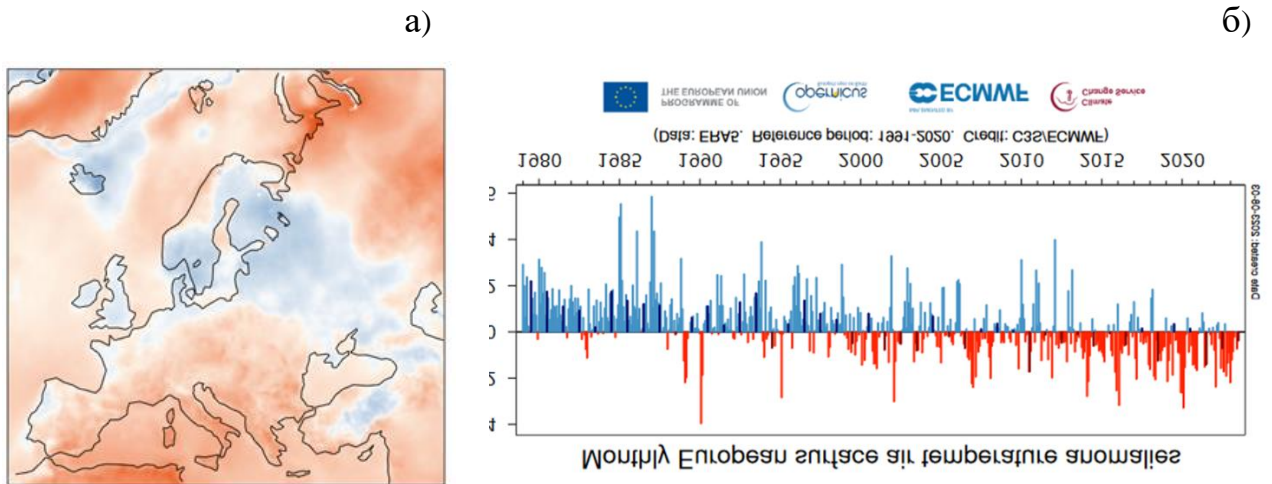


Рисунок 3.2 – Аномалії приземної температури повітря (а) та аномалії середньомісячної середньоєвропейської приземної температури повітря (б) за липень 2023 р. Джерело даних: ERA5. Фото: Служба зміни клімату «Коперник»/ECMWF

Температури в липні 2023 року були набагато вищими за середні кліматологічні показники за 1991–2020 роки над південною Європою. Хвилі тепла пройшли від Іспанії на заході до Балкан на сході. Було встановлено безліч нових місцевих температурних рекордів, тоді як інші рекорди були близькі до побиття. Температура 48°C була зареєстрована на ділянці на Сардинії, а 47°C - в обсерваторії в Палермо, Сицилія. температура досягла максимуму в 46°C у Греції.

Навпаки, на більшій частині північної Європи температура була близька до середньої або нижче середньої.

Середньоєвропейська температура у липні 2023 року становила 0,38°C вище, ніж у середньому за 1991-2020 роки. Цього місяця над Європою було на 1,34°C холодніше, ніж у липні 2010 року, найтеплішому місяці за всю європейську історію.

Хвилі тепла, що сталися над південною Європою та іншими країнами, що межують із Середземним морем у липні 2023 року, були найсильнішими у середні тижні місяця. На рис 3.2.(б) показано, наскільки високими були денні температури приземного повітря порівняно з іншими роками для

середніх значень регіону, позначеному як «Південна Європа». Найвище середньодобове значення, досягнуте 18 липня, було незначно вищим за попереднє рекордне значення, яке відбулося 31 липня 2020 року. Пікові значення у 2015 та 2022 роках були більш ніж на $0,6^{\circ}\text{C}$ нижче. Вторинних максимумів було досягнуто 14 та 23 липня 2023 року.

Серпень 2023 став найтеплішим серпнем за всю історію спостережень і тепліше, ніж всі інші місяці, за винятком липня 2023 року. Середня температура приземного повітря, що склала $16,82^{\circ}\text{C}$ у серпні 2023 року, була на $0,71^{\circ}\text{C}$ тепліше, ніж середній показник за 1991-2020 роки для серпня, і на $0,31^{\circ}\text{C}$ тепліше, ніж у попередній найтепліший серпень 2016 року. Хвилі тепла спостерігалися у багатьох регіонах Північної півкулі, включаючи південну Європу (рис.3.3).

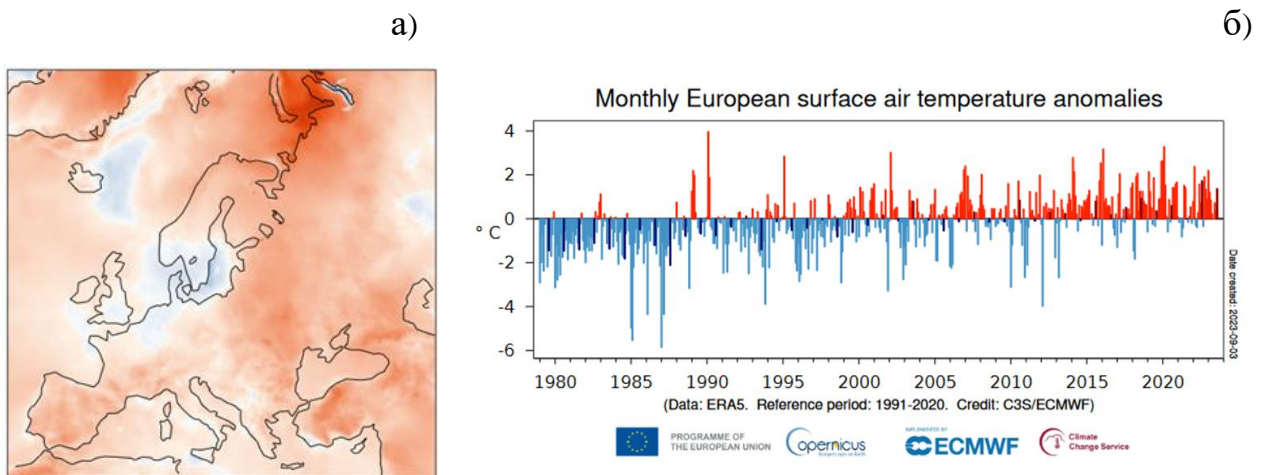


Рисунок 3.3 – Аномалії приземної температури повітря (а) та аномалії середньомісячної середньоєвропейської приземної температури повітря (б) за серпень 2023 р. Джерело даних: ERA5. Фото: Служба зміни клімату «Коперник»/ECMWF

У серпні 2023 року на більшій частині території Європи температури переважно перевищували середні кліматологічні показники 1991–2020 років. Температура вище за середнє спостерігалася в південній Європі, де в регіоні

від Португалії через Францію до Італії спостерігалася хвиля тепла. У Мілані було зафіксовано найвищу середню денну температуру 33°C , зафіксовану 1763 року. Тепло на півдні Європи поширилося на Північну Африку/Магриб, а в Марокко вперше спостерігалася температура вище $50,4^{\circ}\text{C}$. У Туреччині, Східній Європі та районі над Карським морем на південь від Нової Землі також спостерігалися помітні температури вище середнього. Навпаки, в районі, розташованому на півдні Скандинавії, включаючи Нідерланди та південь Великобританії, температура була близька до середньої або нижче середньої.

Бореальне літо (червень – серпень) 2023 року було з великим відривом найтеплішим за всю історію спостережень у світі: середня температура склала $16,77^{\circ}\text{C}$, що на $0,66^{\circ}\text{C}$ вище за середню. Температури над сушею бореальним літом 2023 року були переважно вищими за середні значення за 1991–2020 роки. Середня по Європі температура бореального літа склала $19,63^{\circ}\text{C}$, що на $0,83^{\circ}\text{C}$ вище середнього показника і стало п'ятим найтеплішим сезоном бореального літа.

На рис.3.4 наведені поля середньомісячного тиску на рівні моря та середньомісячних аномалій тиску на рівні моря. щодо кліматології 1991-2020 років. Значення тиску та аномалії тиску на рівні моря взяті з набору даних реаналізу NCEP-NCAR і тут відображено в гПа з інтервалом 2 гПа [38].

Так, в червні над Європейським континентом переважав антициклонльний характер погоди, з максимальним тиском 1020 гПа над Північним морем. В цей же час, над Скандинавським півостровом сформувалась додатна аномалія приземного тиску $+4$ гПа.

В липні відбулась перебудова баричного поля, над Скандинавським півостровом спостерігається область зниженого тиску (1004 гПа) з аномалією мінус 6 гПа. З екваторіальної Атлантики через Францію, Іспанію, Італію та центральну Європу до території України розповсюджувався гребінь. Тобто,

над Центральною Європою сформувалося зональне перенесення повітряних мас.

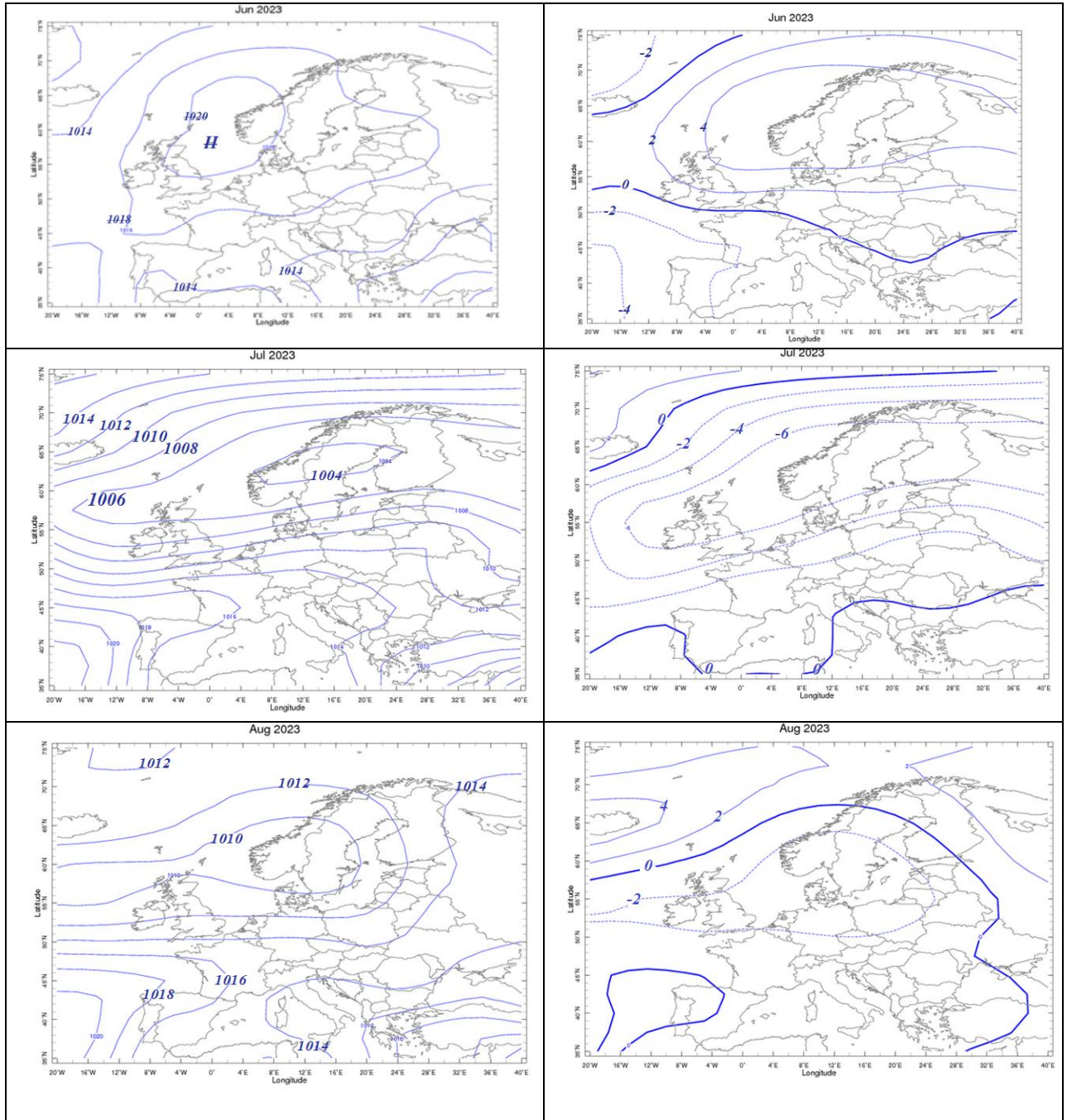


Рисунок 3.4 - Поле середньомісячного тиску на рівні моря та середньомісячних аномалій тиску на рівні моря. щодо кліматології 1991-2020 років [38]

В серпні над Північним морем розташована область низького тиску (1010 гПа). Майже на всій території Європи аномалія тиску становить нуль-мінус 2 гПа. Що свідчить, що поле тиску відповідає багаторічному.

Приземному полю тиску та аномалії приземного тиску відповідає і поле місячної аномалії геопотенціальної висоти 500 гПа (рис.3.5). На цій карті показані щомісячні кліматологічні дані про геопотенційну висоту та аномалію при рівні тиску в атмосфері 500 гПа з використанням базового періоду 1991–2020 років для зазначеного місяця. Додатні аномалії геопотенційної висоти показані жовтим та помаранчевим кольором, від’ємні аномалії – відтінками синього кольору.

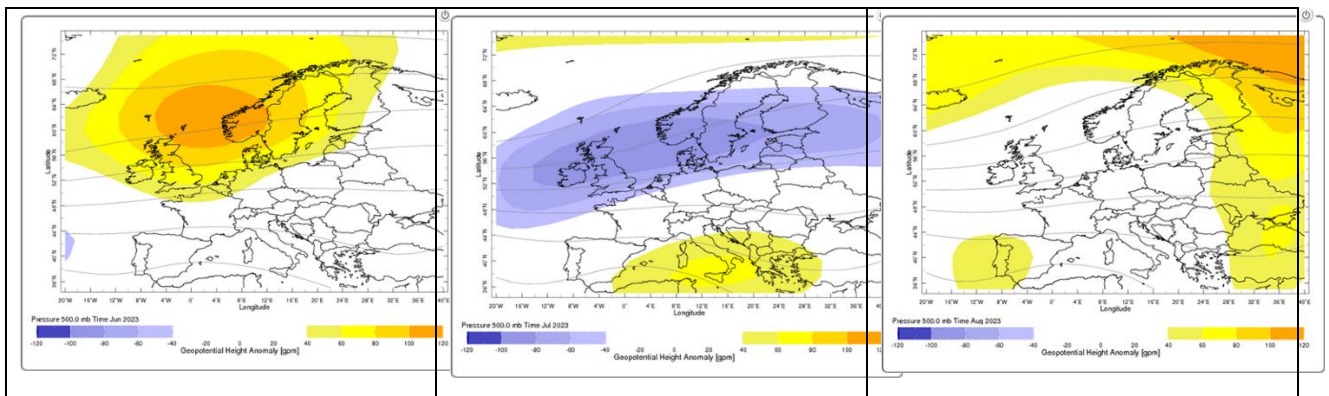


Рисунок 3.5 - Поле місячної аномалії геопотенціальної висоти 500 гПа [38]

Ми можемо бачити, що в червні додатня аномалія геопотенціалу висоти 500 гПа над районами Північного моря. В липні від’ємна аномалія розташовувалась над північними районами Європи.

Відомо, що циркуляційні умови, температурний режим формують і режим опадів. На рис. 3.6 наведена місячна аномалія опадів у мм/місяць залежно від кількості опадів. оцінки з набору SAMS_OPI даних Центру прогнозування клімату NOAA [38]. Період, що використовується для розрахунку кліматології, це 1991-2020 роки. Зелені області на карті вказують,

де кількість опадів перевищила багаторічну норму. нормально для місяця, а коричневі області на карті вказують, де були опади нижче за норму.

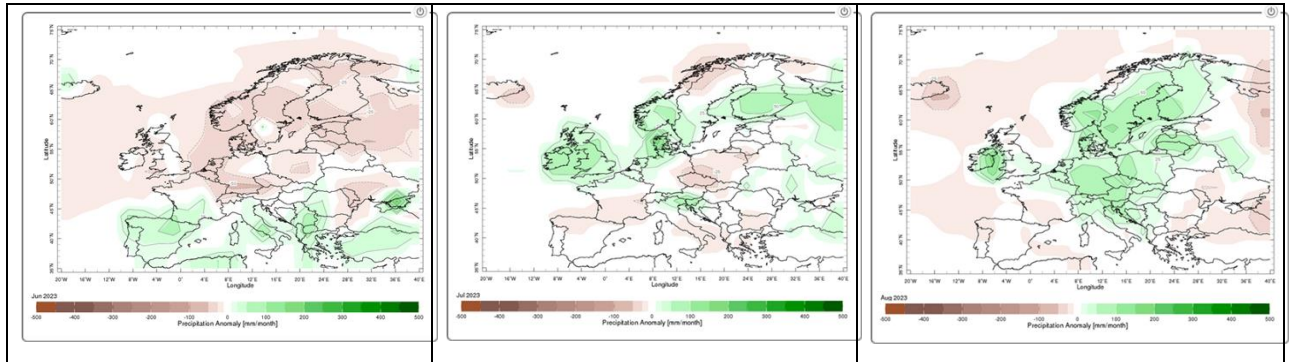


Рисунок 3.6 - Місячна аномалія опадів у мм/місяць [38]

В Північній та центральній Європі в червень був дуже посушливим, в країнах Середземномор'я спостерігався надлишок вологи. В серпні надлишок опадів зафіксований майже на всій території Європи за виключенням Туреччини, Франції, Іспанії.

3.2 Стан висотного баричного поля

Для оцінки стану висотного поля геопотенціалу в даній роботі були взяті форми циркуляції по А.Л. Кацу, які, як показано в розділі 2, детально описують синоптичні процеси в сезон року в Атлантико-Європейському регіоні.

В якості вихідного матеріалу були взяті щоденні карти рівня АТ-500 гПа (за 00 год СГЧ) з сертифікованої програми АРМсин Центру прогнозів ОДЕКУ та ресурсу http://old.aari.ru/odata/_d0010.php. Літо 2023 року відзначене збільшеною активністю атмосферних процесів, що

виражається у різкій зміні циркуляційних процесів всіх масштабів і, відповідно, погодних умов. У кожному місяці знімалися дані геопотенціалу у зазначених пунктах за кожен день, і по різницям визначалися форми циркуляції.

У табл.3.1 наведені узагальнені дані про середньомісячні значеннях геопотенціальної висоти АТ -500 гПа на станціях Лондон, Київ, Самара.

Таблиця 3.1 – Середні, максимальні та мінімальні за місяць значення геопотенціальних висот АТ-500 гПа (гп.дам) за червень – серпень 2023 року

| Значення АТ-500 | Лондон | Київ | Самара | Лондон | Київ | Самара |
|--------------------|---------|------|--------|--------|------|--------|
| | Червень | | | Липень | | |
| Середнє | 574 | 570 | 568 | 565 | 572 | 571 |
| Максимальне | 584 | 580 | 577 | 576 | 582 | 588 |
| Мінімальне | 565 | 556 | 556 | 552 | 563 | 556 |
| | Серпень | | | Період | | |
| Середнє | 570 | 579 | 575 | 570 | 574 | 571 |
| Максимальне | 584 | 590 | 590 | 584 | 590 | 590 |
| Мінімальне | 552 | 564 | 548 | 662 | 556 | 548 |

З табл. 3.1 видно, що максимальні висоти геопотенціалу спостерігаються в червні та серпні на всіх станціях, та перевищують значення 580 гп.дам. Середні значення за період дослідження на всіх станціях склали близько 570 гп.дам з максимумом в Києві – 574 гп.дам.

Найменші значення середнього геопотенціалу 648 гп.дам спостерігалися в Самарі в серпні місяці.

Добовий хід зміни геопотенціальної висоти АТ-500 наведено на рис.3.7.

З рисунку видно, що в червні, до 20 числа, геопотенціальна висота на всіх станціях мало змінюється. Починаючи з 19 червня спостерігається

зниження висоти поверхні АТ-500, мінімальні значення припадають на 22 червня. В подальшому – стрімко зростає, досягаючи максимальних значень 25 числа.

В липні-червні спостерігаються 2-3-денні коливання висоти АТ-500.

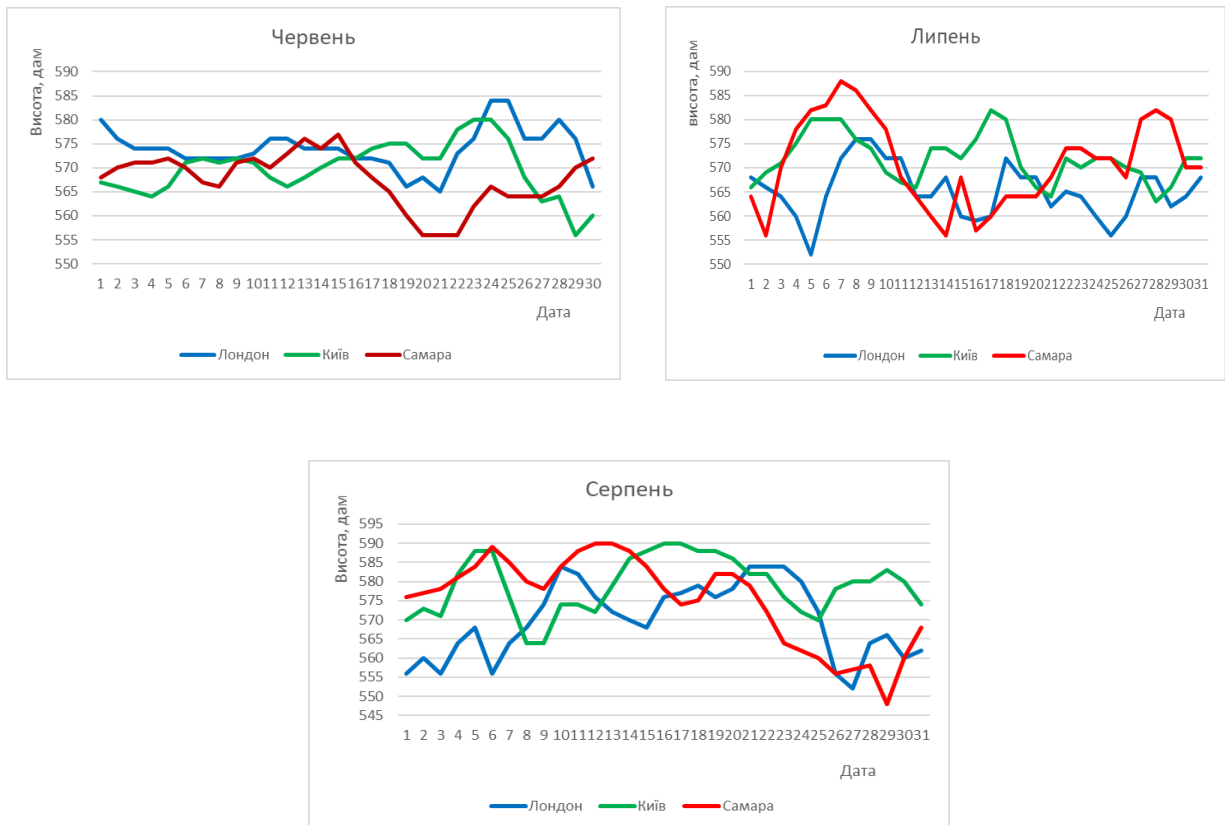


Рисунок 3.7 – Добовий хід геопотенціальної висоти АТ-500 влітку 2023 року

Тепер розглянемо повторюваність форм макроциркуляційних процесів за Кацом по місяцях періоду дослідження, які наведені на рис.3.8.

З рисунку видно, що червні переважала циркуляція мішаної («С») форми, що передувалась з короткою в часі західною («З») формою зовсім не відбувалась циркуляція східної («В») форми. В період з 17 по 23 серпня відбулась перебудова циркуляційних процесів на форму «Ц» (центральну).

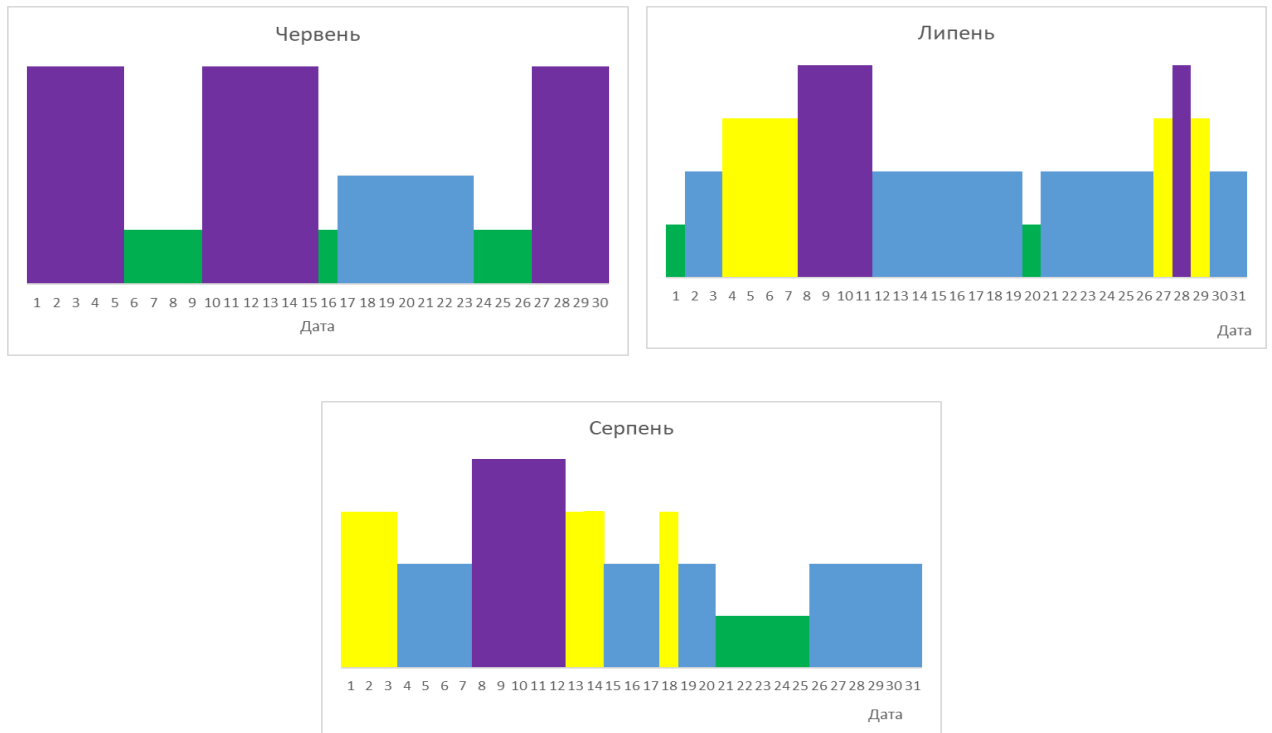


Рисунок 3.8 –Повторюваність форм макроциркуляційних процесів за Кацом влітку 2023 року (форма «З», форма «В», форма «Ц», форма «С»)

В липні відбувалось чередування всіх форм циркуляції. Але, з 12 по 26 липня переважала центральна («Ц») форма циркуляції.

В серпні також відбувалось чередування всіх форм циркуляції. Але також переважала центральна («Ц») форма циркуляції.

3.2 Характеристика Північно-Атлантичного колювання влітку 2023 р.

Як вже говорилося раніше (п. 2.3), великомасштабна циркуляція володіє певними властивостями, які виявляються з різною періодичністю. Розвиток і активність центрів дії атмосфери дозволяє виділити так звані схеми телеконекції, які по суті, є моделями, що описують ступінь розвитку і взаємозалежність тих чи інших центрів дії атмосфери (ЦДА). У цих схемах

існує висока кореляційна залежність як між самим ЦДА, так і між аномаліями в полях метеорологічних величин (тиск, опади, температура).

Для аналізу коротких тимчасових періодів зручно використовувати щоденні дані про індекс NAO (САК). Розрахунок таких індексів, за методикою National weather service (Climate prediction center, USA) [22], ведеться з використанням даних про щоденні відхилення стандартизованих висот поверхні АТ-500 гПа, які розраховуються на основі кліматичних щоденних даних і стандартних відхиленнях за період

У кваліфікаційній роботі ми будемо використовувати щоденні та щомісячні індекси САК, отримані з Climate prediction center [22], які представлені в таблиці 3.2 та рис. 3.9, за червень-серпень 2023 року. Проведемо короткий аналіз цієї інформації.

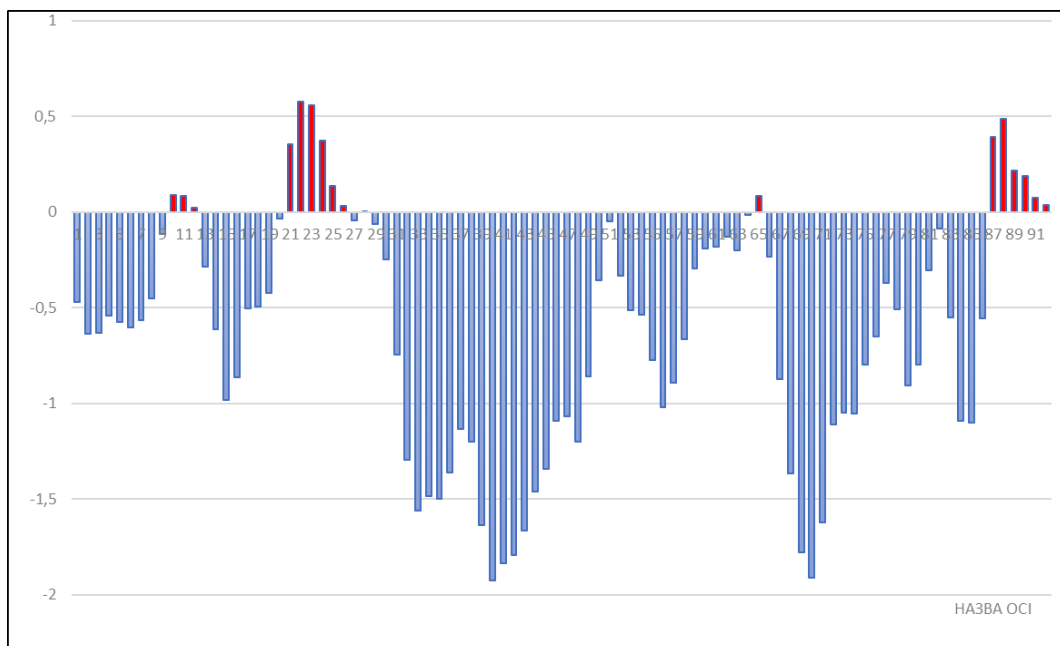


Рисунок 3.9 – Місячний хід індексу NAO за червень-серпень 2023 року

Можна побачити, що на протязі всього періоду переважала від’ємна фаза, яка свідчить, над центральною і північною Європою переважає меридіональний тип атмосферної циркуляції, що викликає прихід дуже

Таблиця 3.2 – Індекс NAO за червень-серпень 2023 року [22]

| Дата | Червень | Липень | Серпень |
|------|---------|--------|---------|
| 1 | -0,468 | -0,747 | -0,13 |
| 2 | -0,635 | -1,297 | -0,201 |
| 3 | -0,631 | -1,56 | -0,013 |
| 4 | -0,542 | -1,483 | 0,083 |
| 5 | -0,574 | -1,499 | -0,232 |
| 6 | -0,604 | -1,36 | -0,875 |
| 7 | -0,564 | -1,133 | -1,365 |
| 8 | -0,452 | -1,2 | -1,778 |
| 9 | -0,115 | -1,638 | -1,913 |
| 10 | 0,089 | -1,923 | -1,624 |
| 11 | 0,084 | -1,836 | -1,111 |
| 12 | 0,023 | -1,792 | -1,047 |
| 13 | -0,283 | -1,666 | -1,051 |
| 14 | -0,61 | -1,46 | -0,798 |
| 15 | -0,983 | -1,343 | -0,652 |
| 16 | -0,861 | -1,091 | -0,372 |
| 17 | -0,505 | -1,066 | -0,51 |
| 18 | -0,492 | -1,202 | -0,906 |
| 19 | -0,424 | -0,86 | -0,798 |
| 20 | -0,034 | -0,357 | -0,304 |
| 21 | 0,354 | -0,048 | -0,086 |
| 22 | 0,579 | -0,33 | -0,552 |
| 23 | 0,559 | -0,512 | -1,093 |
| 24 | 0,372 | -0,536 | -1,1 |
| 25 | 0,137 | -0,771 | -0,557 |
| 26 | 0,034 | -1,022 | 0,394 |
| 27 | -0,045 | -0,893 | 0,488 |
| 28 | 0,004 | -0,663 | 0,219 |
| 29 | -0,062 | -0,296 | 0,19 |
| 30 | -0,247 | -0,191 | 0,076 |
| 31 | | -0,183 | 0,038 |

теплого та сухого повітря з африканського континенту. В період 20-26 червня та 26-31 серпня спостерігалась позитивна фаза, відповідає посиленому (у порівнянні з середньо кліматичним значенням) перенесенням в атмосфері помірних широт північної півкулі. В цей час градієнт атмосферного тиску між Азорським максимумом і Ісландським мінімумом визначає інтенсивність західного переносу теплого вологого повітря з Атлантики в помірні широти

північної півкулі; над центральною і північною Європою переважає зональний тип атмосферної циркуляції, що викликає прихід теплого вологого повітря.

Так як в даній роботі не розраховувались кількісні індекси циркуляції, то скористаємося індексом САК в поєднанні з визначеними нами формами циркуляції по А.Л.Кацу для опису стану великомасштабної циркуляції атмосфери в розглянутий період. У табл. 3.3 представлена вибірка форм циркуляції по різних фаз САК.

Таблиця 3.3 – Повторюваність форм циркуляції при різних фазах САК (кількість днів)

| Форма циркуляції | Червень | | Липень | | Серпень | |
|------------------|---------|-------|--------|-------|---------|-------|
| | САК>0 | САК<0 | САК>0 | САК<0 | САК>0 | САК<0 |
| В | | | | 6 | | 6 |
| С | 4 | 11 | | 5 | | 5 |
| Ц | 3 | 4 | | 18 | 6 | 9 |
| З | 3 | 5 | | 2 | | 5 |
| Всього | 10 | 20 | | 31 | 6 | 25 |

В червні мішана форма циркуляції (С) найбільш часто повторювалася при від'ємній фазі САК (37%), в липні частіше спостерігалася центральна форма циркуляції (Ц) також при від'ємній фазі САК (58%). Також найбільша спостерігалась форма центральної форми циркуляції при від'ємній фазі САК (29%).

Переважання С форми в червні при негативній фазі САК свідчить про ослаблення зонального перенесення та посилення межшіротного обміну, який здійснюється за допомогою циклонічних і антициклонічних вихорів, що переміщуються по периферії добре розвинених висотних улоговини і гребенів.

Загалом, комплексний аналіз макроциркуляційних умов з використанням форм циркуляції по А.Л. Кацу і щоденних індексів САК

показав ефективність цих двох підходів для опису стану атмосфери в зимовий період над Атлантико-Європейським сектором.

3.3 Характеристика Арктичне коливання влітку 2023 р.

За допомогою ресурсу WEATHER.PLUS (<https://weather.plus/nao-index.php>) отримані значення індексу Арктичного коливання (рис. 3.10)

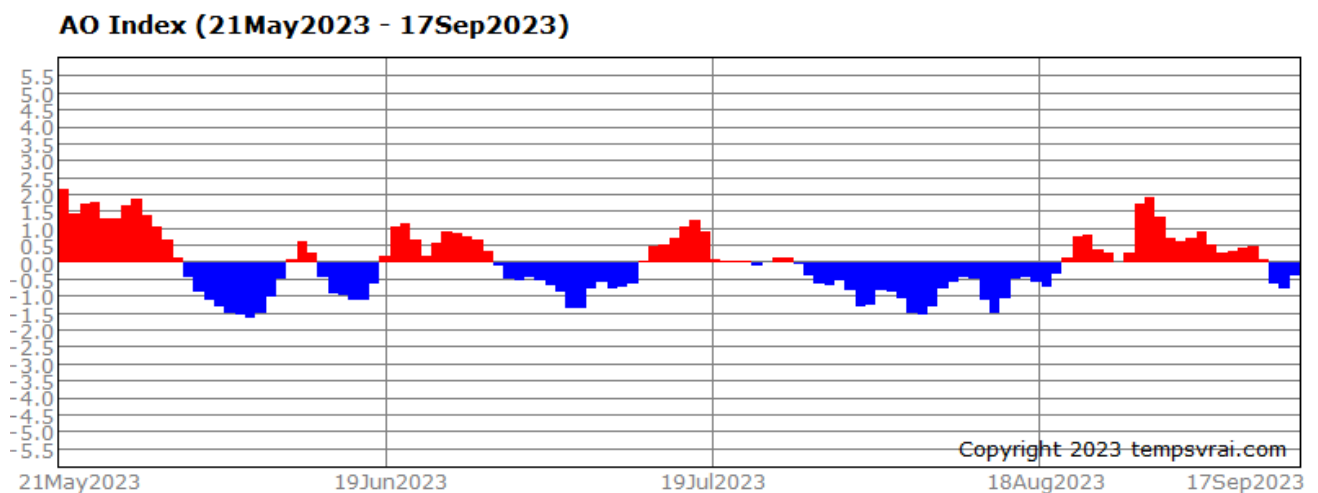


Рисунок 3.10 – Індекс Арктичного коливання в період 21.05 – 17.09.2023 р.

Як видно з цього рисунку, перші дві декади червня спостерігалась від'ємна фаза, яка характеризує вторгнення арктичного повітря в Європу, посилюється циклогенез та опади уздовж акваторії Середземного моря. Тривала від'ємна фаза Арктичного коливання спостерігалась майже на протязі 20-25 днів липня-серпня.

В останню декаду серпня фіксується інтенсивна додатня фаза, при якій високий атмосферний тиск над середніми широтами змушує циклони переміщуватися по більш високим широтам, обумовлюючи тим самим збільшення кількості опадів на Великобританії та Скандинавії, в той час як на Середземномор'ї спостерігається більш суха погода.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі були розглянуті питання, що стосуються особливостей великомасштабної циркуляції в літній період 2023 року в Атлантико-Європейському регіоні. Проведений огляд літератури показав, що циркуляційні умови даного регіону формуються під впливом двох основних центрів дії атмосфери - ісландської депресії і азорського антициклону. Ступінь розвитку і взаємодія цих центрів дії атмосфери знаходить своє відображення в індексі північно-атлантичного коливання (САК), який має добре вивчені сезонні періодичності. Регіональна неоднорідність підстильної поверхні і різні температурні умови океану і континенту призводять до порушення зонального переносу в атмосфері над Європою, в результаті чого формуються висотні улоговини і гребені різної амплітуди. Їх географічне розташування справляє визначальний вплив на траєкторії зміщення циклонів і антициклонів і формування погодних умов конкретних регіонів. Цей факт враховується різними класифікаціями атмосферних процесів, з яких у даній роботі використана класифікація макропроцесів по А.Л. Кацу. Були визначені форми циркуляції по А.Л. Кацу, а також оцінено вплив Північно-Атлантичного коливання на синоптичні процеси червня-серпня 2023 р.. Отримано такі результати.

Аналіз середньомісячних значень геопотенціалу поверхні АТ-500 гПа по станціях Лондон, Київ, Самара показав, що максимальні висоти геопотенціалу спостерігаються в червні та серпні на всіх станціях, та перевищують значення 580 гп.дам. Середні значення за період дослідження на всіх станціях склали близько 570 гп.дам з максимумом в Києві – 574 гп.дам. Найменші значення середнього геопотенціалу 648 гп.дам спостерігалися в Самарі в серпні місяці. Така ситуація говорить про переважання поля високого тиску над центральними частинами континенту в

цей період. У серпні в Лондоні і в Києві і вирівнюються, і навпаки, істотно зменшуються в Самарі (на 6.6 гп.дам). Така картина обумовлена сезонним розвитком і поширенням на континент із заходу азорського максимуму.

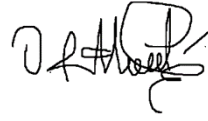
В червні переважала циркуляція мішаної («С») форми, що передувалась з короткою в часі західною («З») формою зовсім не відбувалась циркуляція східної («В») форми. В період з 17 по 23 серпня відбулась перебудова циркуляційних процесів на форму «Ц» (центральну).

На протязі всього періоду переважала від'ємна фаза, яка свідчить, над центральною і північною Європою переважає меридіональний тип атмосферної циркуляції, що викликає прихід дуже теплого та сухого повітря з африканського континенту. В період 20-26 червня та 26-31 серпня спостерігалась позитивна фаза, відповідає посиленому (у порівнянні з середньо кліматичним значенням) перенесенням в атмосфері помірних широт північної півкулі. В цей час градієнт атмосферного тиску між Азорським максимумом і Ісландським мінімумом визначає інтенсивність західного переносу теплого вологого повітря з Атлантики в помірні широти північної півкулі; над центральною і північною Європою переважає зональний тип атмосферної циркуляції, що викликає прихід теплого вологого повітря.

В червні мішана форма циркуляції (С) найбільш часто повторювалася при від'ємній фазі САК (37%), в липні частіше спостерігалася центральна форма циркуляції (Ц) також при від'ємній фазі САК (58%). Також найбільша спостерігалась форма центральної форми циркуляції при від'ємній фазі САК (29%).

Переважання С форми в червні при негативній фазі САК свідчить про ослаблення зонального перенесення та посилення межширотного обміну, який здійснюється за допомогою циклонічних і антициклонічних вихорів, що переміщаються по периферії добре розвинених висотних улоговини і гребенів. комплексний аналіз макроциркуляційних умов з використанням

форм циркуляції по А.Л. Кацу і щоденних індексів САК показав ефективність цих двох підходів для опису стану атмосфери в зимовий період над Атлантико-Європейським сектором.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'A.L. Kats' or similar, written in a cursive style.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Європа. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D1%96%D1%8F_%D0%84%D0%B2%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%B8#%D0%9B%D1%96%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0 (дата звернення 20.10.2023 р.)
2. Вішнікіна Л. П., Федій О. А. Фізична географія материків та океанів. Ч.1 : навч.-метод. посіб. для студ. закл. вищ. освіти. Полтава, 2019. 200 с.
3. Міхелі С.В. Фізична географія Євразії: навчальний посібник для закладів вищої освіти. – К., Ірпінь: Перун, 2019. – 286 с.
4. Шищенко П.Г. та ін. Фізична географія материків і океанів: підручник: у 2- х т. Т.2. Європа. Київ, 2017. – 540 с.
5. Врублевська О. О., Катеруша Г.П., Гончарова Л.Д. Кліматологія: Підручник. Одеса: Вид-во , 2013. 344с . ISBN 978-966-8145-91-9.
6. Семенова І.Г., Нажмудінова О.М. Регіональна синоптика: підручник. Одеський державний екологічний університет. Одеса, 2019. 212 с.
7. П'яте Національне повідомлення України з питань зміни клімату https://ucn.org.ua/upl/ukr_nc5rev.pdf
8. Оцінка вразливості до зміни клімату: Україна. Кліматичний форум східного партнерства (КФСП) та Робоча група громадських організацій зі зміни клімату (РГ НУО ЗК), 2014-74с., Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC, 2014.
9. Вплив змін клімату в Україні / Wilson, L., New, S., Daron, J., Golding, N. (2021). Climate Change Impacts for Ukraine. Met Office., 2021, 34 с.
10. Кліматологія / Под ред. О.А.Дроздова, В.А.Васильєва, Н.В. Кобышевой, А.Н.Раевского, Л.К.Смекаловой, Е.П.Школьного – Л.:Гидрометеоиздат, 1989. – 568с.

11. Дзердзеевский Б.Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере северного полушария в XX столетии. – М.: Ин-т географии АН СССР. – 1970. – 176 с.
12. Долгосрочные метеорологические прогнозы / Под ред. Н.А.Багрова - Л.:Гидрометеиздат, 1989. – 465 с.
13. Гирс А.А. Макроциркуляционный метод долгосрочного прогноза погоды. - Л.: Гидрометеиздат, 1974. - 488 с.
14. Николаев Ю.В., Колтаков Ю.Н. Климатические колебания общей циркуляции атмосферы (по данным классификации Г.Я.Вангенгейма - А.А. Гирса) // Метеорология и гидрология. - 1983. - №11. - С.14 - 19.
15. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Климатическая изменчивость повторяемости и продолжительности основных форм циркуляции в умеренных широтах Северного полушария // Метеорология и гидрология. – 1996. - № 1. – С. 12-22.
16. Кононова Н.К. Колебания циркуляции атмосферы в XX – начале XXI века. <http://www.atmospheric-circulztion.ru>
17. Сизов А.А. Межгодовая сезонная изменчивость некоторых гидрометеорологических полей в отдельных районах Атлантико-Европейского сектора как проявление аномальности Северо-Атлантического колебания / А.А. Сизов // Морской гидрофизический журнал. - 1999. - № 3. - С. 53-61.
18. Hurrell J. W. Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation // Science. - 1995. - №5224.- С. 676- 679.
19. Glowienka-Hense R. The North Atlantic Oscillation in the Atlantic European SLP // Tellus. – 1990. №5. - P. 497 – 507.
20. Barnston A.G., Livezey R.E. Classification, Sesonality and Persistence of Low-Frecuency Atmospheric Circulation Patterns // Monthly Weather Rev. – 1987. – 115, N6. - P. 1083.
21. Hurrell, J.W. http://www.iisao.washington.edu/data_sets/nao/

22. <http://www.cpc.ncep.noaa.gov> Сайт Климатического прогностического центра США (CPC / NCEP / NOAA).
23. <http://oko-planet.su/pogoda/pogodaday/47776-globalnye-klimaticheskie-indeksy.html> - портал з вивчення глобальних змін в науці, природі.
24. <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov> .- Сайт Світового центру даних в Вашингтоні.
25. Czaja A., Frankignoul C. Защищенный від атлантичної SST аномалії на Північній Атлантичній oscillation // J. Climate. – 2002. – Vol. 15, No. 6. - P. 606-623.
26. Нестеров Є.С. Північно-Атлантичне коливання: атмосфера та океан // Монографія – М.: Тріада, лтд, 2013. – 144 с.
27. Полонський А. Б., Башарін Д. В. Про вплив північноатлантичного та південного коливань на мінливість температури повітря в Середземноморсько-Європейському регіоні // Изв. РАН. ФАО. – 2002. – №1. – С. 135 – 145.
28. Colucci SJ. Explosive cyclogenesis and large-scale circulation changes: implications for atmospheric blocking // J. Atm. SCI. – 1985. – Vol. 42, No. 24. – P.2701-2717.
29. Свєрдлик Т.А. Эволюция крупномасштабной атмосферной циркуляции воздуха Северного полушария во второй период современного потепления климата// Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту. - 1999. - Вип. 247. - С. 63 - 75.
30. Мартазинова В.Ф., Свєрдлик Т.А. Крупномасштабная атмосферная циркуляция XX столетия, её изменения и современное состояние // Труды УкрНИГМИ.- 1998 - Вып.246. - С.21-27.
31. Мартазинова В.Ф., Иванова Е.К., Чайка Д.Ю. Изменение крупномасштабной атмосферной циркуляции на протяжении XX века и ее влияние на погодные условия и региональную циркуляцию воздуха в Украине // Геофиз. журн. - 2006. - №1. - Т.28. - С. 51-60.
32. Мартазинова В.Ф. Изменение поля давления января на протяжении

XX ст. на территории Атлантико-Европейского сектора В.Ф. Мартазинова, Д.Ю. Чайка // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. - 2008. - №50, Ч.1. - С. 25-30.

33. Семёнова И.Г. Колебания в поле давления в Атлантико-Европейском секторе за период 1980-2002 гг. // Метеорология, климатология и гидрология. - Вып. 48. - 2004. - С. 35-41.

34. Climate Prediction Center // Scandinavia pattern (SCAND) map. - [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/scand_map.shtml

35. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-variability-arctic-oscillation> Climate Prediction Center // Arctic Oscillation (AO) index. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/ao.shtml

36. Criado-Aldeanueva F., Javier Soto-Navarro F. The Mediterranean Oscillation Teleconnection Index: Station-Based versus Principal Component Paradigms // Hindawi Publishing Corporation Advances in Meteorology, Vol. 2013, Article ID 738501, 10 p.

37. Copernicus // [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://climate.copernicus.eu/surface-air-temperature->

38. Columba Climate School International Research Institute for Climate and Society // [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/Global/Atm_Circulation/Monthly_Height_500hPa.html?bbox=bb%3A-20%3A35%3A40%3A75%3Abb&T=Jun%202023