

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий

гідрометеорологічний інститут

Кафедра метеорології та кліматології

Кваліфікаційна робота магістра

на тему: Аномалії температури повітря над Європою

Виконала студентка 2 курсу групи МЗМ-21

Спеціальності 103 «Науки про Землю»

Освітня програма

«Метеорологія і кліматологія»

Сівак Анастасія Василівна

Керівник канд. геогр. наук, доцент

Нажмудінова Олена Миколаївна

Рецензент канд. геогр. наук, доцент

Барсукова Олена Анатоліївна

Одеса 2022

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.

«10» жовтня 2022 року

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

студентці Сівак Анастасії Василівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аномалії температури повітря над Європою

керівник роботи Нажмудінова Олена Миколаївна канд. геогр. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ОДЕКУ від «30» вересня 2022 року № 166-С

2. Строк подання студентом роботи 17 листопада 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи карти: аномалій середньомісячних показників геопотенціальної висоти H500, аномалії середньомісячних значень приземної температури повітря, середньомісячного тиску на рівні моря та його аномалій, баричної топографії, пожежної небезпеки.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Вибір та систематика наукової літератури за напрямком дослідження. 2) Формування вибірки вихідної інформації з випадків хвиль тепла та аномальної спеки над територією Європи. 3) Просторово-часовий аналіз температурних аномалій літнього сезону. 4) Дослідження циркуляційних умов формування хвиль тепла. 5) Визначення характеристик посушливості влітку 2022 р. над Європою.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень.) Рисунок 4.1-4.12, 4.14-4.17, 4.19-4.23, 4.25-4.28 - карти аномалій температури повітря; рисунок 4.13(а) - поширення хвиль тепла над Європою; рисунок 4.13 (б) - аномалія температури води; рисунок 4.18 - супутникові знімки пожеж над Європою; рисунок 4.20 – аномалія першого тропічного дня в Європі; рисунок 4.24 – екстремуми максимальної температури; рисунок 4.29 – карти комбінованого індикатора посухи; рисунок 5.1-5.14 – приземні та висотні карти погоди.


6. Консультанти розділів роботи

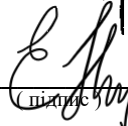
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	немає		

7. Дата видачі завдання 10 жовтня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	Отримання завдання	10.10.22		
2.	Огляд наукової літератури, аналіз сучасних публікацій за темою дослідження. Складання теоретичних розділів роботи.	11.10 – 15.10.22	100	відмінно
3.	Формування вибірки вихідних даних.	16-20.10.22	100	відмінно
4.	Аналіз розподілу температурних аномалій на території європейського регіону.	21-26.10.22	100	відмінно
5.	Дослідження синоптичних процесів формування хвиль тепла, сильної спеки та посух.	27-31.10.22	100	відмінно
	Рубіжна атестація	01-05.11.22		
6.	Складання висновків проведеної роботи. Прикінцеве редагування тексту роботи.	06-16.11.22	100	відмінно
7.	Оформлення та надання керівникові роботи для складання висновку і процедури встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату.	17.11.22		
8.	Перевірка на антиплагіат та складання протоколу. Складання висновку керівника; підписання авторського договору.	18-20.11.22		
9.	Підготовка доповіді та презентації до захисту. Попередній захист магістерської роботи.	-		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		100	відмінно

Студентка  Сівак А.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи  Нажмудінова О.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Аномалії температури повітря над Європою».

Автор: Сівак Анастасія Василівна.

Актуальність теми визначається тим, що коливання температури повітря, особливо екстремальної, в умовах глобального потепління клімату призводять до зміни погодних умов з несприятливими наслідками.

Мета роботи: визначення умов формування аномальної спеки та хвиль тепла на території європейського сектору.

Відповідно до поставленої мети, розв'язано наступні **задачі:**

- проаналізовано місячні аномалії температури повітря літнього сезону;
- досліджено періоди з хвилями тепла;
- визначено циркуляційні процеси формування температурних аномалій.

Об'єкт дослідження: приземна температура повітря.

Предмет дослідження: аномалія температури повітря.

Методи дослідження: синоптико-кліматичний аналіз, просторово-часове узагальнення даних.

Наукова новизна отриманих результатів. Для дослідження використано дані поля температури останніх років. Визначенні особливості циркуляції атмосфери, за яких виникли нові температурні рекорди.

Практичне значення отриманих результатів. Характеристики температурних аномалій і типи процесів, що їх зумовлюють, виступають показниками зміни клімату і можуть бути використані для уточнення і розробки діагностичних та прогностичних методик різких потеплінь у середньо- та довгостроковому прогнозуванні.

Магістерська кваліфікаційна робота в об'ємі 78 сторінок складається з 5-ти розділів, висновків, переліку посилань з 27-ти джерел, одного додатку, містить 47 рисунків в основному тексті.

Ключові слова: глобальне потепління, клімат, кліматична норма, хвиля тепла, аномалія температури, циркуляційний процес, блокуючий антициклон.

SUMMARY

Theme of master's qualification works «Air temperature anomalies over Europe».

Author: Sivak Anastasiia.

The relevance of the topic is determined by the fact that fluctuations in air temperature, especially extreme, in the conditions of global warming climate lead to a change in weather conditions with adverse consequences.

Objective: determination of the conditions for the formation of abnormal heat and heat waves in the European sector.

According to the stated goal, the **following tasks** were accomplished:

- analyzed monthly anomalies of air temperature in the summer season;
- periods with heat waves were investigated;
- the circulation processes of formation of temperature anomalies are determined.

Object of study: air temperature near the ground.

Subject of research: air temperature anomaly.

Research methods: synoptic-climatic analysis, space-time generalization of data.

The scientific novelty of the obtained results. For the study, data from temperature fields of recent years were used. The features of atmospheric circulation have been established, which led to new temperature records.

Practical significance of the obtained results. Characteristics of temperature anomalies and the types of processes that cause them are indicators of climate change and can be used to clarify and develop diagnostic and predictive techniques for sharp warming in medium- and long-term forecasting.

Master's qualification work in volume 78 pages consists of from 5 sections, conclusions, list of references from 27 sources, one applications, contains 47 figures in the main text.

Keywords: global warming, climate, climatic norm, heat wave, temperature anomaly, circulation process, blocking anticyclone.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Сучасні кліматичні зміни.....	8
1.1 Глобальне потепління.....	8
1.2 Зміни клімату в Україні.....	12
2 Хвилі тепла	18
3 Блокуючі процеси в атмосфері.....	22
3.1 Основні визначення.....	22
3.2 Вплив блокуючого антициклогенезу на аномалії погоди.....	27
4 Аналіз температурного режиму над європейським сектором	31
4.1 Хвилі тепла влітку 2019 р.....	31
4.2 Температурні рекорди літа 2021 р.....	36
4.3 Аномальна спека влітку 2022 р.....	43
5 Циркуляційні умови формування аномалій температури повітря.....	57
Висновки.....	73
Перелік джерел посилань.....	75
Додаток А.....	78

ВСТУП

Магістерська робота присвячена дослідженню температурних аномалій літнього періоду над Атлантико-європейським сектором.

Напрямок роботи є актуальним, оскільки потепління на планеті триває декілька десятиліть і призводить до несприятливих наслідків. Унаслідок змін клімату ймовірність появи спекотних періодів зросла більш ніж удвічі, вченими реєструється більша швидкість «європейського потепління» у порівнянні з іншими регіонами планети.

На кінець XX - початок XXI ст. припадає найбільш тривалий період потепління у Європі за більш ніж 120 років систематичних інструментальних спостережень. Реєструються нові рекордні показники максимальної середньої місячної температура повітря, підвищена повторюваність та тривалість періодів літньої спеки. Посухи стали формуватися частіше і охоплювати більші площі, часом спричиняючи катастрофічні наслідки.

Аномалії температури повітря на території Європи, як правило, зумовлюються наявністю стаціонарної системи високого тиску. Підвищення температури води в Атлантиці, зміна положення центрів дії атмосфери (ЦДА) сприяють формуванню, так званих, «блокуючих систем». Науковцями визначена тенденція в змінах температурного фону останніх десятиліть – це хвилі тепла, що обумовлюють рекордні температури та сурові посухи. Вони стають частішими та більш екстремальними, і тривають довше. Ймовірність хвиль тепла зростає внаслідок антропогенних змін клімату.

Зміна клімату в результаті антропогенного впливу з кінця XIX століття лише приблизно на третину пов'язана з природними змінами, а на дві третини обумовлена діяльністю людини, зокрема збільшенням концентрації парникових газів в атмосфері.

Для України за останні роки майже удвічі зросла повторюваність днів з максимальними температурами влітку понад 35 і 40°C, що належить до

екстремальних погодних явищ. На переважній території країни також спостерігається тенденція до посилення посух, збільшення кількості та тривалості спекотних періодів та посилення пожежної небезпеки, а також зросла повторюваність та інтенсивність небезпечних явищ погоди конвективного походження.

Магістерська робота складається з 4 розділів.

У 1 розділі висвітлено основні теорії та сценарії змін клімату загалом по планеті, окремо викладено дані сучасних змін регіонального клімату, зокрема поля температури повітря та опадів, в Україні.

2 розділ деталізує теоретичні відомості щодо періодів аномальної спеки, а саме – формування хвиль тепла.

У 3 розділі наведено характеристики циркуляційних процесів, що сприяють виникненню високих додатних аномалій температури повітря, спеки, посух, - блокуючого антициклогенезу. Вказані основні визначення, схеми блоків та їх зв'язок з аномальними режимами погоди на території України.

Практична частина роботи представлена у четвертому та п'ятому розділах. Досліджено три літніх періоди встановлення сильної спеки та жорсткої посухи на території європейського регіону у 2019, 2021-2022 рр.; проаналізовано формування хвиль тепла та особливості циркуляції атмосфери за значних додатних аномалій температури повітря; розглянуто зміни температурного режиму літніх сезонів у Європі.

За напрямом дослідження опубліковано статті та тези [14-15].

Напрямок дослідження належить до бюджетної кафедральної тематики «Розробка та вдосконалення методів прогнозу небезпечних та стихійних метеорологічних явищ над Україною», № 0120U100487 (додаток А).

1 СУЧАСНІ КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ

Сучасне поняття клімату - це характерний для певної території багаторічний режим погоди, зумовлений сонячною радіацією, її перетворенням у діяльному шарі земної поверхні та пов'язаною з нею циркуляцією атмосфери й океанів. Це поняття ґрунтується на генетичних принципах і стосується клімату певних регіонів (регіональний клімат).

Щодо клімату Землі, то в середині ХХ ст. виникло нове поняття — глобальний клімат. Відповідно глобальний клімат визначається сукупністю факторів (природних та антропогенних), які діють на всій земній кулі.

Зміна клімату, що відбулася, проявляється у вигляді потепління і, можливо, в майбутньому посилиться, що може призвести до перерозподілу цього важливого природного ресурсу серед різних країн та народів. Зміна глобального клімату є сукупність його змін у різних регіонах часових і просторових масштабах [7].

1.1 Глобальне потепління

Зміна клімату впливає на всі регіони світу та всі верстви населення.

Можливими зовнішніми і внутрішніми причинами сучасних змін глобального та регіонального клімату є зміни газо-аерозольного складу атмосфери, активності Сонця, швидкості обертання Землі, загальної циркуляція атмосфери (ЗЦА) і океану, взаємодії океан-атмосфера, а також прямі і зворотні зв'язки у кліматичній системі [5-6].

Клімат зазнавав зміни протягом усієї історії Землі. Якщо ж розглядати клімат за останні 100 років, то йде потепління, швидкість якого майже в 200 раз більша швидкості похолодання. Аномально висока температура на планеті

спостерігається в останні 10–15 років. Малоімовірно, що глобальна зміна клімату за останні 50 років ХХ ст. та перші роки ХХІ ст. могла бути викликана тільки природною мінливістю, такого підвищення температури повітря не спостерігалось останні тисячу років. Більшість дослідників пояснюють явище різкої зміни клімату зростаючим впливом інтенсифікації світового промислового виробництва в роки ХХІ ст., яке супроводжується суттєвим збільшенням так званих парникових газів (ПГ), які відбивають довгохвильове випромінювання нашої планети, у такий спосіб нагріваючи повітря [7, 18, 24].

За минуле десятиліття було помічено значне підвищення середньої річної температури. Більшість фахівців пов'язують це явище зі збільшенням концентрації ПГ. Антропогенні викиди CO_2 , CH_4 і N_2O здатні підвищувати парниковий ефект. Наслідком цього може бути підвищення середньої річної температури на 2-5°C протягом наступного сторіччя.

Науковцями по-різному визначають природу парникового ефекту [3-4, 7, 11, 18, 24]. Результати досліджень впливу на клімат сонячно-земної взаємодії, як вирішального фактору на глобальне потепління, відводять фахівці з фізики атмосфери і океану, геомагнетизму й аеронмії. Природу сучасного глобального потепління можна пояснити впливом факторів сонячно-магнітної активності (спалахи на Сонці, магнітні бурі). Потік мікрохвиль з іоносфери утворює в тропосфері з кластерів водяної пари конденсаційно-кластерний серпанок, що переходить у оптично тонку хмарність (у вигляді «молодих» перистих хмар), яка екранує потік тепла в космос з нижньої тропосфери і підстильної поверхні. Відбувається розігрівання приземного повітря і поверхні світового океану. Водяна пара – основний парниковий газ в тропосфері і його зміст набагато більший (до 36–70%) порівняно з діоксидом вуглецю (9–26%), метаном (4–9%) або озоном (3–7%). Таким чином, кластероутворення з водяної пари, яке призводить до створення оптично тонкої хмарності, є основною причиною сучасного глобального потепління в епоху проходження в кінці ХХ – початку ХХІ століття, як сонячної, так і геомагнітної активності. А викиди парникових газів

антропогенного походження (головним чином діоксиду вуглецю, метану) можуть лише посилювати ефект глобального потепління.

Протягом останнього десятиліття обсяг викидів (ПГ збільшувався на 1,5% на рік при нетривалому періоді стабілізації цього показника, що припав на 2014-2016 рр. Загальний обсяг щорічних викидів ПГ, в тому числі внаслідок змін у землекористуванні, в 2018 р. досяг рекордного рівня 55,3 ГтСО_{2e}. Викиди СО₂ в результаті спалювання викопних видів палива в енергетиці і промисловості, які переважають в загальному обсязі викидів ПГ, у 2018 році зросли на 2%, досягнувши рекордних 37,5 ГтСО_{2e} на рік.

Значний внесок у зміну клімату вносять завислі в атмосфері частинки – аерозоль природного походження (до 90% – пил при бурях в пустелях, дим лісових пожеж, аерозолі вулканічних викидів тощо) і антропогенного походження (промисловий пил – викиди гірничо видобувних виробництв, металургійних, цементних заводів та електростанцій при спалюванні вугілля тощо). Аерозоль може викликати як парниковий, так і антипарниковий ефекти. Якщо аерозоль пропускає більшу частину теплового випромінювання Землі, то температура атмосфери під аерозольним шаром може виявитися нижчою, ніж за відсутності аерозолу (антипарниковий ефект). Але при деяких поєднаннях властивостей аерозолу (просторова і часова зміна характеристик) він може посилювати парниковий ефект.

Глобальне потепління – це спостережуване або прогнозоване підвищення середньої температури поверхні, що являє собою середньозважену за площею:

- температуру поверхні океану, тобто підповерхневу середню масову температуру океану на глибині декількох метрів;
- поверхневу температуру повітря на суші на висоті 1,5 м над рівнем ґрунту.

Сучасний погляд на глобальне потепління зводиться до таких положень:

- 1) основна причина глобального потепління – монотонне зростання концентрації парникових газів (в основному вуглекислого газу) в атмосфері Землі;

- 2) тренд підвищення концентрації парникових газів визначається збільшенням їх антропогенної емісії при спалюванні вуглеводневих енергоресурсів;
- 3) глобальне потепління загрожує негативними наслідками для навколишнього середовища і економіки;
- 4) необхідно вдосконалювати політику скорочення антропогенної емісії парникових газів [3].

У деяких частинах світу потепління вже перевищує $1,5^{\circ}\text{C}$ порівняно з доіндустріальним рівнем. Так, у багатьох районах Арктики середні температури вже зросли більш ніж на 3°C . Це підвищує ризик виникнення так званих кліматичних точок неповернення. Як тільки ці точки будуть досягнуті, зміни у довкіллі стануть незворотними, що в деяких випадках може ще більше прискорити зміну клімату.

За даними Світової метеорологічної організації, п'ятирічний період 2015–2019 рр. став найтеплішим за будь-який еквівалентний період у світовому масштабі, зі зростанням на $1,1^{\circ}\text{C}$ глобальної температури за доіндустріальний рівень та зростанням на $0,2^{\circ}\text{C}$ порівняно з попереднім п'ятирічним періодом. Тривалі та прискорені тенденції також переважали серед інших ключових кліматичних показників, включаючи підвищення рівня моря, зниження рівня арктичного морського льоду, зменшення льоду в Антарктиці, втрати маси льоду в льодовиках Гренландії, чіткий спад весняного снігового покриву у Північній півкулі [4].

Глобальне потепління збільшує ризик виникнення таких стихійних лих, як повені, циклони, посухи, пожежі. Підвищення температури океанів призведе до збільшення водних ділянок з температурою понад 27°C . А це означає зростання повторюваності катастрофічних ураганів та штормів. За останні 20 років кількість таких ділянок збільшилося майже на 17%. Складні процеси взаємодії між океаном і атмосферою у певних регіонах можуть також призвести до частих посух. Глобальне потепління призведе до змін у

тепловому балансі світового океану, океанських течій, що зменшить здатність океану поглинати тепло і вуглекислий газ [11, 18, 24].

1.2 Зміни клімату в Україні

Зміна клімату на території України підвищує ризики для стану здоров'я населення, екосистем, водних, лісових ресурсів, сталого функціонування енергетичної інфраструктури та агропромислового комплексу, що може завдати і вже завдає колосальних збитків.

За останнє двадцятиліття кожен рік в Україні був теплішим, ніж середньостатистичні показники за довготривалий період, і 2020 рік став найспекотнішим роком у Європі та Україні, перевищивши на $2,8^{\circ}\text{C}$ середній показник 1961-1990 рр. З 2010 року Україна пережила низку пов'язаних зі зміною клімату наслідків, як-от сильні посухи, великі повені та руйнівні пожежі [3-4, 7, 21].

За останні роки майже вдвічі зросла повторюваність днів з максимальними температурами влітку понад 35 і 40°C , що належить до екстремальних погодних явищ. На більшій частині України вже спостерігається тенденція до посилення посухи, збільшення кількості та тривалості спекотних періодів та посилення пожежної небезпеки, зросла повторюваність та інтенсивність гроз, сильних злив, граду, шквалів.

Зміна клімату призвела до низки змін, що спостерігаються на сході Центральної Європи, включаючи Україну, де річна температура повітря за останні 30 років зросла майже на $1,5^{\circ}\text{C}$ зі зростанням темпів потепління за останнє десятиліття. Потепління також розподіляється нерівномірно, при чому в Україні темпи потепління вищі, ніж у прилеглих регіонах. Міжрічна мінливість температури невелика, водночас найбільшою вона є впродовж зими. Натомість міжрічна мінливість опадів є набагато більш вираженою, з

великими відмінностями в сумах за місяці. Через зміни клімату на тлі зростання середніх річних температур і зміни просторового розподілу опадів, збільшується частота екстремально високих температур на сході Центральної Європи, включаючи Україну, а частота екстремальних холодів зменшується. Це призводить до збільшення тривалості періодів спеки [21].

У зв'язку з глобальними змінами клімату, які впливають на трансформацію регіонального клімату та окремі метеорологічні величини, середня місячна температура повітря в Україні протягом останніх двох десятиліть зазнала значних змін порівняно з періодом 1961–1990 рр. [10]. Температура повітря стала вищою у більшості місяців і загалом за рік, лише у вересні, листопаді та грудні вона набула дещо нижчих значень. Також спостерігаємо зміни екстремальних (максимальної та мінімальної) температур. Мінімальна температура зросла у переважній більшості місяців та загалом за рік. У віковому ході максимальної температури у зимові місяці, особливо у січні, визначилася тенденція до її зростання. У літні місяці та за рік загалом тенденція до змін максимальної температури за трендом незначуща, але в останні роки максимальна температура підвищується. Значні зміни відбулися і в настанні весняного та осіннього сезонів (переходу температури повітря через 0°C) – цей процес навесні на всій території відбувається раніше: у Криму – на 5–6 днів і більше, на південному заході – на 4–5 днів, на заході – на 3–4 дні, на узбережжях Чорного і Азовського морів – на 2–4, на решті території – на 1–2 дні порівняно з кліматичною нормою, у Кримських горах перехід через 0°C залишився без змін, а на Південному березі Криму температура повітря не знижувалася до 0°C і нижче.

Відбувся перерозподіл кількості опадів по регіонах України та по сезонах (у зимовий сезон кількість опадів загалом по країні зменшилась, а восени – навпаки дещо зросла, весною і влітку – змінилася несуттєво) – хоча загалом за рік кількість опадів залишилася практично без змін. Кількість атмосферних опадів для території України змінилася несуттєво, проте помітними є зміни інтенсивності та характеру їх випадання. Останнім часом

почастішали випадки, коли за кілька годин випадає половина або місячна норма опадів. Підвищення температури повітря та нерівномірний розподіл опадів, які мають зливовий, локальний характер у теплий період і не забезпечують ефективне накопичення вологи в ґрунті, може спричинити зростання повторюваності та інтенсивності посухи [10].

Стихійні метеорологічні явища (СМЯ) є найнебезпечнішим проявом нестабільності клімату. Особливості географічного положення України, синоптичних процесів та велика різноманітність кліматичних умов сприяють частому виникненню СМЯ і зумовлюють надзвичайну складність їх у просторі і часі. Стихійні метеорологічні явища зазвичай спостерігаються у комплексі, що значно посилює їх негативний вплив.

Протягом останнього десятиліття в усьому світі (включно з Україною) зросла їх кількість, у багатьох випадках вони характеризуються значною інтенсивністю, завдають збитків економіці та призводять до людських жертв. Одночасно з підвищенням температури кількість стихійних явищ з року в рік збільшується, іноді вони мають катастрофічний характер. Кількість стихійних явищ збільшилась на 7–15%, крім такого явища, як сильний туман (33%).

Можна вважати, що причина потепління останніх років в Україні полягає, поряд з природним фактором, у глобальному парниковому ефекті. Але реалізується глобальний антропогенний фактор через циркуляцію повітря. Однією із суперечностей в теорії зміни регіонального клімату України під впливом антропогенного фактору є те, що немає зв'язку потепління клімату в Україні безпосередньо з викидами ПГ на території держави. Зміна клімату в Україні має зв'язок з циркуляцією, яка діє в Атлантико-Європейському секторі. Додатні і від'ємні відхилення температури від норми обумовлені синоптичними процесами, характерними для Атлантико-Європейського типу циркуляції [7].

За результатами досліджень [8-9] наголошується, згідно запропонованій моделі великомасштабної атмосферної циркуляції (МВАЦ), що великомасштабна циркуляція атмосфери у Північній півкулі з кінця ХІХ ст.

має період коливань близько 50-60 років. При зміщенні з цим періодом на схід відбувається послаблення великомасштабної циркуляції з появою переважно теплих зим на більшій частині Північної півкулі, а при зміщенні з тим же періодом на захід спостерігається посилення атмосферної циркуляції, посилюються меридіональні процеси і відзначаються холодні зими. За розрахунками МВАЦ, останнє десятиріччя ХХ ст. стало кінцевим, яке мало зміщення масштабної атмосферної циркуляції над Північною півкулею на схід. До кінця ХХ ст. відмічалось падіння тиску над Північною півкулею, що позначилося на поглибленні всіх кліматичних мінімумів тиску і послабленні та зменшенні охопленої території баричних максимумів. Такі зміни особливо були помітними за поглибленням Алеутської та Європейської улоговини, остання змістилася на схід під впливом Північноатлантичного гребеня. Звуження з обох сторін Сибірського максимуму сусідніми центрами дії атмосфери перекривали доступ холодного повітря до Європи.

У першому десятилітті ХХІ ст. циркуляція атмосфери почала рухатися на захід, тобто формується тенденція до холодних зим.

Таким чином, стан ЦДА під впливом глобального потепління від десятиріччя до десятиріччя ХХ ст. та на початку ХХІ ст. змінюється, в залежності від їх розташування та активності змінюється і температурний режим різних регіонів Північної півкулі.

Сценарії антропогенного посилення глобального парникового ефекту, термічні, гідрологічні режими і основні висновки для можливих температурних змін клімату в Україні зводяться до наступного [3]:

- 1) при глобальному антропогенному потеплінні приблизно на 1°C (в першій чверті ХХІ ст.) у південних районах України рівень потепління практично співпадатиме з глобальним, а у північних може посилитися до 40%;
- 2) широтний градієнт температур на території України буде за абсолютною величиною зменшуватися до 10% (у сучасну епоху

широтний градієнт приземної річної температури близько $0,8^{\circ}\text{C}$ на 1° широти);

- 3) якщо річна глобальна температура підніметься на 3°C (близько середини XXI ст.), то температурний режим північних областей України може стати подібним до температурного режиму її південних регіонів.

Загальні висновки для України щодо зміни клімату відповідно до чотирьох сценаріїв презентативних траєкторій концентрацій (Representative Concentration Pathways – RCP) полягають у наступному [4]:

- очікується підвищення температури по всій території України: близько $1,65^{\circ}\text{C}$ (Степ) та $1,74^{\circ}\text{C}$ (Лісостеп) для сценарію RCP 4.5 та між $2,68^{\circ}\text{C}$ (зона мішаних лісів) та $2,98^{\circ}\text{C}$ (Степ) для сценарію RCP 8.5;
- зміна клімату суттєво не вплине на рівень опадів. За сценарієм RCP 4.5 зміна кількості опадів варіюватиме від 13 мм у зоні Степу до 55 мм в Лісостепу. Відчутнішими зміни будуть в умовах сценарію RCP 8.5 – більш ніж 80 мм у зоні мішаних лісів і менш ніж 13 мм у зоні Степу;
- найбільше скорочення виробництва до 2070 р. через зміну клімату можливе у зоні Степу: ймовірне скорочення обсягів виробництва пшениці на 11% для сценарію RCP 4.5 та на 18% – для сценарію RCP 8.5.

За результатами моделювання до 2030 р. зростання середньорічної температури по Україні не перевищить $0,44^{\circ}\text{C}$ – проте в східних регіонах воно буде відбуватися швидше і прогнозовано сягне $0,5^{\circ}\text{C}$, в західних повільніше і становитиме – $0,41^{\circ}\text{C}$. Протягом року зміни температури також не будуть однаковими – найбільше зростання температури в середньому по Україні прогнозують у грудні ($1,04^{\circ}\text{C}$), також значно зростуть температури у червні–вересні ($0,64$ – $0,67^{\circ}\text{C}$), без змін має залишитися середня температура лютого і навіть дещо знизитися (на $-0,20^{\circ}\text{C}$) – у березні. Має дещо зрости в 2011–2030 рр. і кількість опадів, порівняно з 1991–2010 рр. в середньому по Україні за рік на 7%, найсуттєвіше в квітні – на 21%, та січні і березні – по 17%. У серпні прогнозується суттєве зменшення кількості опадів – на 1%, у

жовтні та липні – на 7% та 1% відповідно. За всіма прогнозами кліматичної зміни слід очікувати [10]:

- зростання температури повітря (хоча величина змін дещо відрізняється за різними моделями);
- зміщення кліматичних сезонів;
- зміну тривалості вегетаційного періоду;
- зростання повторюваності та інтенсивності хвиль тепла;
- зміну співвідношення між випаданням рідких та твердих опадів;
- зменшення тривалості залягання стійкого снігового покриву;
- зміну відносної вологості повітря;
- зростання повторюваності та інтенсивності прояву стихійних гідрометеорологічних явищ;
- зміну водних ресурсів місцевого стоку.

Загальними підходами до вирішення проблем антропогенної зміни клімату є пом'якшення її наслідків, тобто запобігання надмірним викидам парникових газів, сприяння їх поглинанню, а також адаптація до зміни клімату.

2 ХВИЛІ ТЕПЛА

До атмосферних явищ, що можуть спричинити суттєві негативні наслідки, належать хвилі тепла.

Найпершою проблемою, яка виникає при дослідженні хвиль тепла (ХТ) є відсутність єдиного універсального визначення цього явища. Відповідно, в різних регіонах, температурні та часові межі, після яких спека називатиметься хвилею тепла будуть відрізнятися. Існуючі визначення можна поділити на кілька типів. Перш за все, виділяються визначення з абсолютними та відносними температурними межами, другою відмінністю є тривалість періоду з температурами, що перевищують граничні, після якої спекотний період вважається хвилею тепла [17].

Хвиля тепла (Heat wave – HW) – це метеорологічний феномен, що належить до явищ синоптичного масштабу та проявляється у вигляді аномально спекотної, сухої погоди, що зберігається протягом певного періоду і охоплює значні території. Погодні умови, що спостерігаються під час ХТ, можуть стати причиною величезної кількості людських жертв, суттєвих втрат в сільському господарстві та інших секторах економіки.

Згідно ДСТУ «Кліматологія» (2001), хвилею тепла вважається вторгнення теплої повітряної маси на велику територію, що призводить до істотного підвищення температури повітря. Для характеристики екстремальних температур більшість вчених використовують подібні критерії.

Всесвітня метеорологічна організація (ВМО) рекомендує використовувати такі критерії для визначення цього явища: ХТ – це період, протягом якого максимальна добова температура повітря понад 5 послідовних днів перевищує середню максимальну температуру повітря даного дня за період 1961–1990 рр. на 5°C [24].

Хвилі тепла, як правило, характеризують тривалістю (в днях) та інтенсивністю (в $^{\circ}\text{C}$). У визначеннях фіксується лише певна мінімальна

кількість днів, після перевищення якої, спекотний період буде вважатися хвилею тепла. Проте, у випадку потужних ХТ їх тривалість може перевищити мінімальну кількість днів у кілька разів. Для характеристики потужності ХТ досить часто використовується показник – сумарна максимальна температура (t_{\max}) під час окремо взятої хвилі тепла. Як правило, сумарна t_{\max} розраховується як сума різниць між максимальною температурою повітря та певним граничним значенням, що залежить від визначення ХТ. Хвилі тепла, які спостерігалися протягом останніх десятиріч, характеризуються високою інтенсивністю та значною тривалістю – це значно посилює інтерес до проблеми хвиль тепла, практично в усьому світі [16-17].

Зростання інтересу до ХТ відбувається також завдяки тому, що згідно з найпоширенішими прогнозними моделями температура повітря на планеті в найближчі десятиліття, зростатиме і це, відповідно, зумовить збільшення повторюваності проявів ХТ. Глобальне потепління буде поступово збільшувати частоту та інтенсивність хвиль спеки, що призведе до поступового зниження інтенсивності та частоти екстремальних похолодань. Обидві тенденції дуже сильні в ЄС та Великобританії, але дещо більш виражені в південно європейських країнах. У кліматі, на 3°C теплішому порівняно з доіндустріальним періодом, поточна 50-річна хвиля спеки може виникати майже щороку в Іспанії та деяких частинах Португалії, раз на 3 роки в більшості інших південно європейських регіонів. Навіть при обмеженні глобального потепління до $1,5^{\circ}\text{C}$ частота екстремальних хвиль спеки майже всюди в Європі збільшиться втричі. Європа буде відчувати підвищену ймовірність хвиль тепла, порівнянних або більших за величиною, протяжністю та тривалістю ніж руйнівні екстремальні хвилі спеки в 2003 і 2010 роках [17-18].

Теплові хвилі представляли найбільшу метеорологічну небезпеку в період 2015–2019 років, торкнулися всіх континентів і призвели до нових температурних рекордів у багатьох країнах. Такі процеси супроводжувалися безпрецедентними пожежами, що сталися, зокрема, у Європі, Північній

Америці, Австралії та інших регіонах. Під час літнього періоду 2019 року відбулися масштабні пожежі, що поширилися до арктичних регіонів, встановивши нові рекорди [4].

За столітній період на території України майже на всіх досліджуваних станціях найвища кількість випадків ХТ спостерігалася протягом 2001–2010 рр. Крім того, саме впродовж цього десятиліття на більшості станцій були зафіксовані найпотужніші хвилі тепла. Для характеристики інтенсивності ХТ, як правило, використовується кумулятивна t_{\max} протягом окремої ХТ. Зазвичай упродовж окремої ХТ цю характеристику розраховують як суму різниць між максимальною добовою температурою повітря та певним граничним значенням, що залежить від визначення хвиль тепла, що використовується. Хвиля тепла 2010 р. була найпотужнішою та найтривалішою за літній сезон 1911–2010 рр. для східних та південних регіонів України. Аномальна спека була спричинена так званим «блокуючим антициклоном», що сприяв збереженню стійкого характеру погоди [10].

У дослідженні ХТ [17] підсумовано, що для більшості станцій України спостерігається зростання кількості випадків ХТ у 2006–2010 рр. та 2011–2015 рр. Вказується, що найбільша кількість ХТ у центральних областях України була зафіксована на станціях Дніпро (36 випадків) і Кропивницький (30 випадків). Аналіз часової динаміки показав, що кількість ХТ для всіх досліджуваних станцій була найвищою у 2006–2010 рр. Суттєво відрізняється кількість випадків ХТ в сучасний період та за кліматичну норму: майже на всіх досліджуваних станціях кількість випадків ХТ в сучасний період більш ніж удвічі вища. Середня тривалість ХТ протягом досліджуваного періоду на різних станціях становила від 6,8 до 8,8 днів, максимальна – від 12 (Могилів-Подільський) до 24 днів (Дніпро). Найтривалішою та найінтенсивнішою ХТ за літній сезон за 1961–2015 рр. майже для всіх станцій центральних областей України була ХТ кінця липня-серпня 2010 р.

Циркуляційними причинами формування ХТ є визначені процеси. Існує термін - «тепловий купол», процес, пов'язаний зі змінами клімату. За останні

кілька десятиліть температура поверхні океанів зростає. Повітря біля поверхні води нагрівається і піднімається в атмосферу, що сприяє утворенню теплової хвилі, рух якої блокує високий атмосферний тиск. Нагріте повітря піднімається на значну висоту, а сильні вітри рухаються на сотні і тисячі кілометрів, як гігантська хвиля. Коли нагріта повітряна маса стикається з іншими сильними атмосферними течіями, тиск в цій області підвищується і штовхає гаряче повітря вниз. Як величезний купол, він відвертає його до нижнього шару повітря, стискає і нагріває. При цьому високий тиск не дозволяє нагрітому повітрю виходити з-під купола, а прохолодному повітрю ззовні - потрапити під купол – рис.2.1. Ситуація погіршується через ясне небо - високий тиск «виносить» хмари за межі купола, що призводить до ще більшого нагрівання повітря. Площа всередині теплового купола швидко нагрівається і не може охолонути через блокуючу систему високого тиску. «Тепловий купол» може бути настільки щільним, щоб утримувати гаряче повітря над регіоном тиждень і більше, обмежуючи циклонічні траєкторії, які могли б зволожити територію [26].

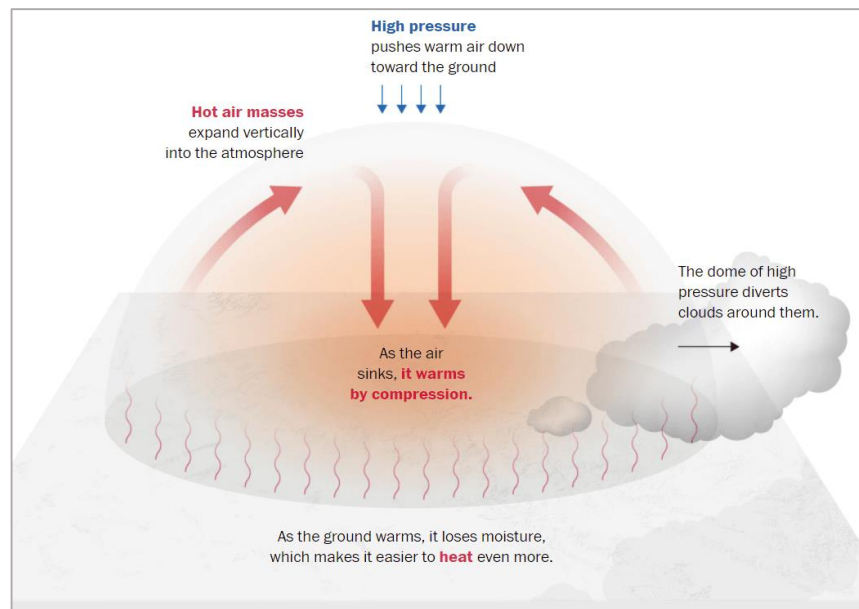


Рисунок 2.1 - Схема формування теплового куполу

3 БЛОКУЮЧІ ПРОЦЕСИ В АТМОСФЕРІ

3.1 Основні визначення

Блокування західного перенесення належить до меридіонального типу циркуляції атмосфери. Протягом останніх десятиріч у Північній півкулі відмічені суттєві зміни атмосферної циркуляції, які полягають у збільшенні її меридіональної складової. Ці зміни й зумовили значною мірою зростання кількості та інтенсивності екстремальних явищ погоди [1].

У науковій літературі для визначення цього синоптичного процесу використовують такі терміни, як «блокування», «блокінг», «блокуюча ситуація», «блокуючий антициклон», «блок», «блокуюча система», «блокуючий процес» і т.п.

Існують деякі труднощі за відсутності чіткого, загальноприйнятого визначення процесів блокування. З узагальнень визначень блокуючих антициклонів науковцями [1-2, 12-13], слідує, що такі баричні утворення являють собою окремий випадок масштабних, малорухомих, високих та інтенсивних антициклонів, які розвиваються у середніх широтах (35–60° півн.ш.), порушують існуюче у помірних широтах західне перенесення і є ланкою стійкого типу циркуляції, що зберігається протягом тривалого часу над великою територією. Критерій тривалості рівний повним п'яти добам, що відповідає середній тривалості природного синоптичного періоду (ПСП); просторовий критерій враховує флуктуації міждобового зміщення будь-якого малорухомого баричного утворення на рівні 5° довготи за добу.

Типові розміри блокуючих гребенів співставні з розмірами океанів та великих частин материків – за довготою в середніх широтах складають близько 7–8 тис. км. Блокуюча активність вища в осінньо-зимові місяці (жовтень-березень) і менше виражена влітку та навесні (квітень-вересень).

Блокуючими можуть бути й замкнуті вихрові системи антициклонічного типу, якщо запаси теплової інерції в них настільки великі, що вони здатні залишатися у фазі стаціонарної хвилі.

Зазвичай антициклони чи гребені, зароджені в Арктиці, швидко інтенсифікуються, і, зміщуючись на південний схід, поступово руйнуються, поглинаючись субтропічною зоною високого тиску, або трансформуються у гребені, що рухаються за циклонами. На рівні 500 гПа вони, як правило, зображені у вигляді короткохвильових гребенів.

Розрізняють кілька різновидів синоптичних процесів при блокуванні у залежності від конфігурації висотного гребеня та траєкторії приземного антициклону [13]:

1. Перша форма блокуючих процесів характеризується розщепленням західного висотного баричного поля на дві гілки. В обтічному цими двома гілками районі структура висотного баричного поля має вигляд диполя - на півночі антициклон, а на півдні циклон (рис. 3.1).

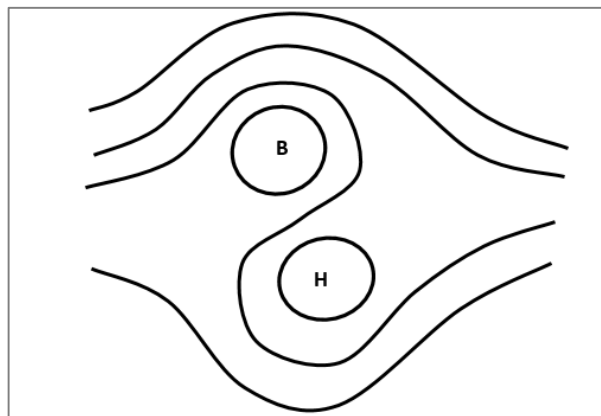


Рисунок 3.1 - Форма блокуючого процесу диполь

Біля поверхні землі розташовується малорухомий антициклон, який у процесі блокування повільно зміщується за петлеподібною траєкторією. На північ від антициклону спостерігається зміщення з заходу та північного заходу на схід та південний схід серій циклонів,

пов'язаних з арктичним фронтом. На південь від антициклону на відтісненому до півдня полярному фронті розвивається циклонічна діяльність, при цьому вихори рухаються до сходу.

2. Друга форма характеризується наявністю висотного гребеня, видовженого у меридіональному напрямку (рис. 3.2). Біля поверхні землі розвивається чітка меридіональність синоптичних процесів. З півночі або північного сходу відбувається втягування у систему блокуючого антициклону ядер або відрогів високого тиску (ультраполярні вторгнення), які посилюють блок. По східній периферії гребеня відбувається «пірнання» циклонів, сформованих на арктичному фронті, а по західній периферії зміщуються південні циклони, утворені на зміщеному до півдня полярному фронті.

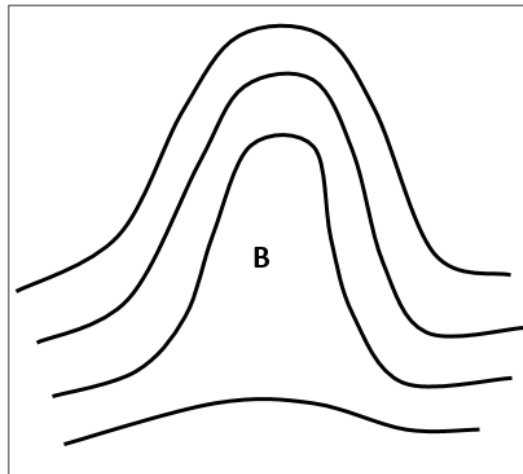


Рисунок 3.2 - Форма блокуючого процесу меридіональний гребінь

3. Третя форма блокування характеризується сильнішим подовженням висотного омегаподібного гребеня у зональному напрямку, порівняно з другою формою (рис. 3.3). Біля поверхні землі блокуючі антициклони повільно переміщуються до сходу.

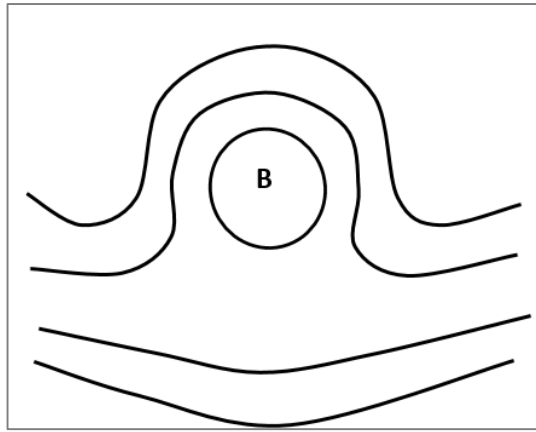


Рисунок 3.3 - Форма блокуючого процесу омегаподібний гребінь.

Характерною особливістю блокуючих антициклонів усіх типів є їх постійна регенерація, спричинена надходженням холодних повітряних мас, як правило, у тилу циклонів, які зміщуються на полярному фронті. При цьому можливе формування нових теплих ядер високого тиску на західній периферії блокуючої системи.

Відомі методи виявлення блоків умовно поділяють на дві групи:

1. Методи, засновані на візуальному аналізі синоптичних карт. До структури термобаричного поля пред'являється вимога збереження протягом певного інтервалу часу набору якісно визначених умов. Такий підхід носить суб'єктивний характер, що є недоліком синоптичних методів.
2. Методи, які передбачають використання деякої сукупності показників, що описують блокуючу ситуацію у загальному, але задовольняють вимоги конкретного дослідження, вони легко підлягають автоматизації і називаються об'єктивними методами.

Серед об'єктивних методів виявлення блокінгу виділяють:

- 1) Метод індексу блокуючого антициклону – ІБА. В основу покладене існування блокуючого антициклону, яке можна відобразити у вигляді стійкої за часом додатної аномалії тиску чи геопотенціалу.

2) Метод індексу дипольної структури блокуючої ситуації - ІД. Заснований на врахуванні характерного для блокуючої ситуації розщеплення західного потоку на дві гілки з формуванням в обтічній області диполу у термобаричному полі [19].

Аналітичні висновки у роботі [12] виділяють, що незалежно від досліджуваного періоду в межах помірних широт Північної півкулі виділяються три регіони блокування: Євроатлантичний, центральний тихоокеанський та над західним узбережжям Північної Америки. Вказується також на наявність осередку блокування над Західним Сибіром. Дослідження блоків на території Євроатлантичного сектору за 1976-2015 рр. за об'єктивними критеріями дозволило отримати інтегральну зону блокування за весь період, а також за 5-ти та 10-ти річні періоди. Інтегральна зона блокування вказує на наявність у досліджуваному регіоні трьох осередків блокування. Зміна характеристик блокуючих антициклонів у кожному з осередків має складний характер.

Дослідження міжрічної мінливості повторюваності блокувальних процесів у Євроатлантичному секторі Північної півкулі (1979-2013 рр.) вказує на збільшення їхньої повторюваності [1]. Ці зміни характерні як для атлантичного, так і континентального регіону, вони відмічені протягом усього року, але над континентом їхня швидкість майже вдвічі більша. Аналіз частки невизначеності виявлених змін показав, що над континентом практично не викликає сумнівів збільшення повторюваності блокінгів узимку, навесні та влітку і ймовірно їх зростання – восени, тоді як над Атлантикою навесні ці зміни несуттєві, а в інші сезони – ймовірні. Впродовж останніх десятирічь зазначається збільшення середньої тривалості блокування впродовж усього року в атлантичному регіоні, а навесні та влітку – в континентальному. Узимку та восени тривалість блокування над континентом зменшується.

3.2 Вплив блокуючого антициклогенезу на аномалії погоди

Однією з основних причин погодних аномалій в діапазоні від тижня до сезону є великомасштабні стійкі процеси в атмосфері, такі як блокування панівного західно-східного перенесення повітря у тропосфері. З блокуванням пов'язані небезпечні погодні явища - посухи та суховії, холодні та безсніжні зими, сильні вітри, хуртовини, весняні повернення холодів, заморозки тощо.

Загалом атмосферне блокування забезпечує близько 15% мінливості клімату в Європі, що дозволяє позиціонувати його як внутрішній чинник формування клімату. Україна потрапляє в одну з областей найбільшої повторюваності блокуючих процесів [12].

Блокуючі процеси насамперед впливають на повторюваність та інтенсивність аномальних умов погоди, пов'язаних з температурою повітря - аномалії максимальної та мінімальної температури повітря, кількість днів зі спекою, сильним морозом, атмосферною посухою.

Дослідження блокувальних процесів, які зумовлюють аномальні погодні умови в Україні у роботі [1], показали, що в середньому за рік відмічається сім випадків таких процесів. Така кількість відповідає повторюваності блокувальних процесів над континентальним регіоном Євроатлантичного сектора північної півкулі. Тобто, усі блокувальні процеси в цьому регіоні впливають на погоду в Україні та зумовлюють на її території екстремальні явища погоди. Протягом року середня за сезон кількість блокувальних процесів суттєво не змінюється і становить 1-2 випадки. Середня за сезон тривалість блокувальних процесів, що зумовлюють аномальні погодні умови в Україні, є дещо вищою, ніж загалом над європейською частиною континенту і коливається від 6 днів восени до 10 днів і більше влітку. Найтриваліші процеси блокування відмічаються в літні та весняні місяці, особливо в липні, травні та серпні, коли їхня максимальна тривалість може сягати близько місяця (25-30 днів). Блокувальні процеси, що зумовлюють аномальні погодні

умови в Україні, мають помірну інтенсивність, як і процеси в Євроатлантичному секторі Північної півкулі. Проте їхня інтенсивність протягом усього року значно менша, ніж загалом над континентом та особливо над Атлантикою. Найінтенсивнішим блокуванням буває взимку.

Найбільше впливають блокувальні процеси на величину додатних аномалій максимальної температури повітря влітку [2]. Цей вплив відмічається на всій території України і найбільш виражений у східних, північно-східних та центральних областях країни. Значний вплив, хоча дещо менший, на додатну аномалію максимальної температури у цих регіонах мають блокувальні процеси й восени. У цей період вони формують додатну аномалію максимальної температури не лише на сході країни, а й на заході. Взимку та навесні цей вплив вдвічі менший, ніж влітку та восени і проявляється переважно на заході країни. Найбільш вразливими є Чернівецька, Івано-Франківська, Хмельницька, Тернопільська та Рівненська області, де відмічаються найбільші додатні аномалії максимальної температури – до 5°C і вище. Дослідження показали, що блокувальні процеси суттєво впливають не лише на величину додатної аномалії середньої максимальної місячної температури повітря в Україні, а й на кількість днів та максимальну тривалість періодів зі спекою ($t_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$). Найбільше цей вплив впродовж усього року проявляється на сході країни. Навесні кількість днів та максимальна тривалість періоду зі спекою в Україні залежить від тривалої додатної аномалії геопотенціалу в середній тропосфері, а у східних і центральних областях – і в нижній тропосфері. Влітку ці процеси приводять до збільшення кількості днів зі спекою у північних, центральних та східних областях, а восени – на півдні України.

Блокувальні процеси належать до основних синоптичних процесів, що формують тривалі посухи в Україні у теплий період. При тривалих додатних аномаліях геопотенціалу в тропосфері у східних, південних та центральних областях країни збільшується кількість посушливих днів за умови відсутності опадів і максимальної температури повітря за добу $\geq 25^{\circ}\text{C}$ та середньої

відносної вологості <50%. Зростає і максимальна тривалість періоду з атмосферною засухою. Впродовж року ці процеси найбільше проявляються влітку та навесні. При цьому влітку визначальним для формування посухи є наявність блокування у середній тропосфері, а весною – у нижній.

Блокувальні процеси формують в Україні аномалії не лише максимальної, а й мінімальної температури повітря. Блокування в атмосфері належать до одних із головних чинників, що сприяють формуванню сильних морозів. Тривалі додатні аномалії геопотенціалу в середній та нижній тропосфері приводять до збільшення числа днів та тривалості періоду з сильним морозом ($t_{\min} \leq -20^{\circ}\text{C}$) у південних, центральних, східних областях України та на Закарпатті і до зменшення їх кількості на заході країни. Ці тенденції найкраще проявляються взимку та весною, проте восени вплив блокувальних процесів не значний [2].

4 АНАЛІЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ НАД ЄВРОПЕЙСЬКИМ СЕКТОРОМ

4.1 Хвилі тепла влітку 2019 р.

Вихідні дані - показники температурних полів [22-23, 25-27].

Розглянемо особливості температурного режиму літніх періодів у хронологічному порядку.

Літо 2019 р. в Західній та Центральній Європі характеризувалося двома великомасштабними хвилями наприкінці червня та у липні.

Перша хвиля встановила новий рекорд середньої європейської температури червня. Екстремум максимальної температури повітря (t_{2m}) було зафіксовано 28 червня поблизу м. Нім на півдні Франції в 46°C , що стало новим абсолютним національним рекордом Франції. Червнева ХТ зумовила рекордні температури у Центральній та Північній Європі. Наприклад, історичний рекорд Парижа був перевищений більш ніж на 2°C ($42,6^{\circ}\text{C}$), Бельгія та Нідерланди вперше перекрили позначку 40°C , нові національні рекорди були встановлені в Німеччині, Люксембурзі та Великобританії.

На рис.4.1 проілюстровані аномалії приземної температури повітря (T_s) за червень 2019 р. На Євразійському континенті спостерігається хвилеподібна структура розподілу аномалій температури з додатними показниками (до 5°C) над Європою і Малою Азією та другий осередок – над Чукоткою і Якутією, від'ємні аномалії виділяються над Центральним Сибіром та Середньою Азією. Середнє значення T_s по Центральній Європі (позначене синім прямокутником) вказує перевищення рекордної температури червня 2003 р. майже на 1°C , що на той час виокремило червень 2019 р., як найспекотніший червень для Центральної Європи з 1958 р.

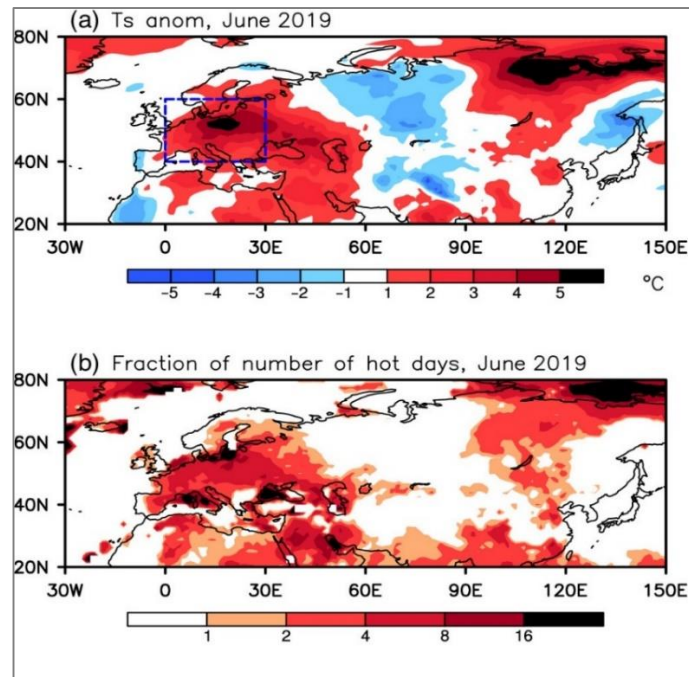


Рисунок 4.1 - Розподіл аномалій температури та тиску: (a) - Ts аномалії температури ($^{\circ}\text{C}$); (b) - NHD, частка кількості аномально спекотних днів

Температурні аномалії окремо для території Європи, отримані за допомогою E-OBS, продемонстровані на рис.4.2. Розподіл аномалій температури вказує, що Центральна Європа є найбільш постраждалим регіоном не лише з точки зору підвищення середньомісячної Ts, але й з погляду екстремально спекотних днів за всю історію спостережень.

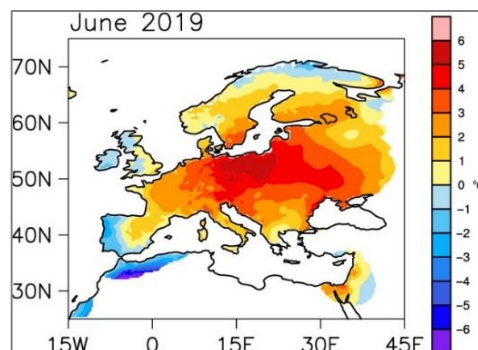


Рисунок 4.2 - Аномалії Ts ($^{\circ}\text{C}$) над Європою у червні 2019 р. (на основі набору даних E-OBS)

На рис.4.3 (а) наведено розподіл максимальних температур повітря для Європи 25 липня, карта складена на основі моделі Goddard Earth Observing System (GEOS). Найтемніші області червоного відтінку – це місця, де модель показує температуру вище 40°C (104°F). Ці рекордні відмітки зафіксовані вже за місяць після потужної ХТ у червні. Проте липневі температури виявилися набагато вищими червневих, подекуди на 15°C - на рис. 4.3 (б) наведена карта з різницями температур між 26 червня та 25 липня 2019 р.

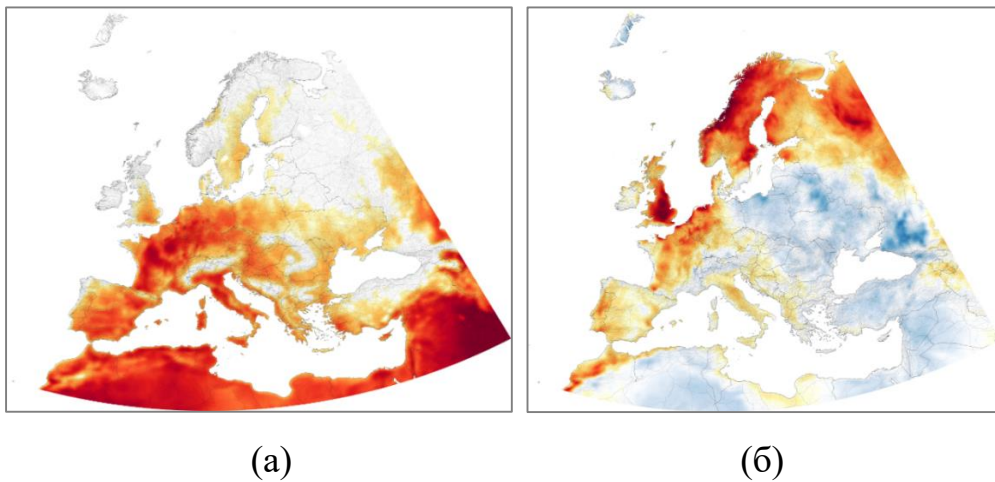


Рисунок 4.3 - Розподіл t_{\max} 2m 25.07.2019 р. – (а); розподіл аномально високих температур 26.06 - 25.07.2019 р. – (б)

Для Європи літо 2019 р. стало одним з найтепліших за всю історію спостережень. Проаналізуємо екстремальні показники температури повітря у європейському регіону влітку 2019 р. помісячно.

На переважній частині регіону середня температура у червні 2019 р. була вищою, ніж у середньому за місяць з 1981 по 2010 рік, та особливо високою у деяких частинах Центральної та Східної Європи. Приблизно в середині місяця у Східній Європі було встановлено температурні рекорди. Наділі, ближче до кінця місяця (25-29 червня), у західній та центральній частинах сектору спостерігалася коротка, але рекордна хвиля тепла із середньою добовою температурою до 10°C вище за норму – рис.4.4.

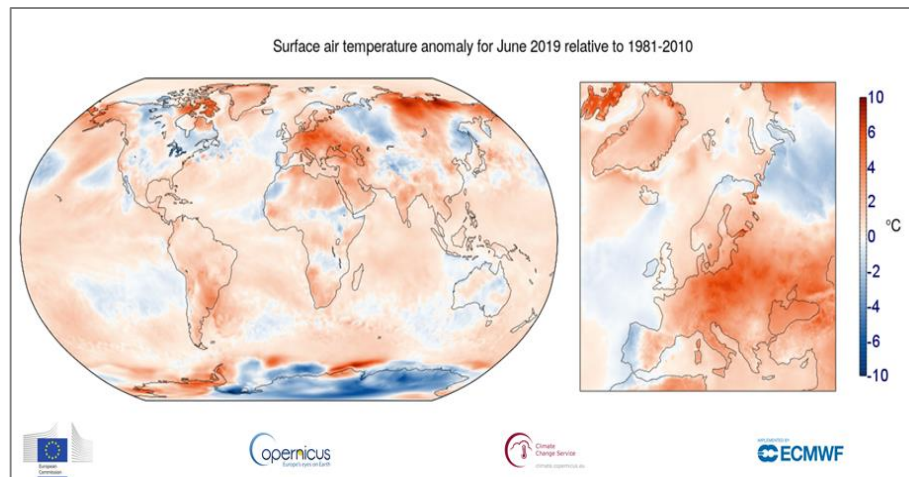


Рисунок 4.4 - Аномалія приземної температури повітря у червні 2019 р. відносно норми (1981-2010 рр.)

У глобальному масштабі температура повітря за червень 2019 р. виявилася:

- на $0,54^{\circ}\text{C}$ вище за середню місячну (1981-2010 рр.);
- на $0,11^{\circ}\text{C}$ вище, ніж червень 2016 р., другий найтепліший червень за всю історію спостережень.

Червень 2019 р. був на $2,34^{\circ}\text{C}$ вище норми (1981–2010 рр.), що виділило його, як найтепліший червень за всю історію спостережень – рис.4.5.

У глобальному масштабі температура повітря у липні була значно вище норми. Окремою подією виявилася температура значно вище за середню на переважній частині Гренландії – у період 11-20 червня відбувся величезний епізод поверхневого танення. Максимальна площа танення сталася 12 червня і склала 712000 км^2 . Танення було виявлено по всьому узбережжю, за винятком крайнього південного краю льодовикового щита, і поширене далеко вглиб країни як у західно-центральному, так і в східно-центральному регіонах, майже до вершини. Східні і північно-східні прибережні райони також сильно розтанули; додатна аномалія температури повітря за цей період склала до 9°C .

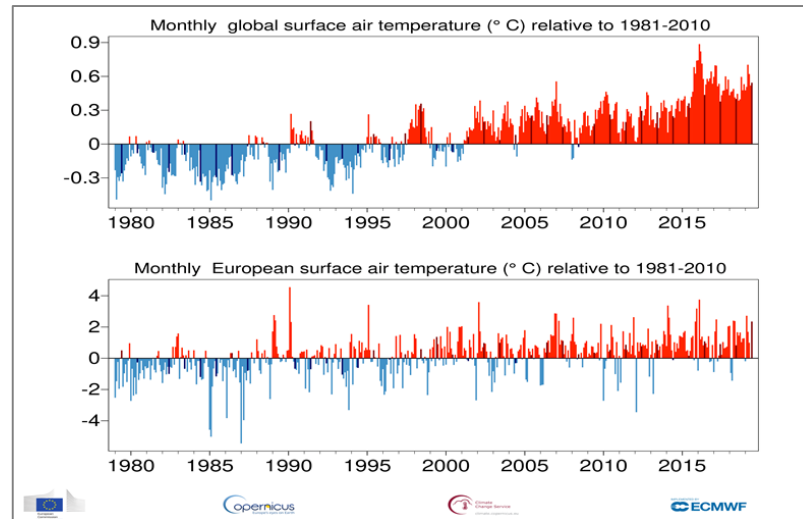


Рисунок 4.5 – Середні місячні глобальні та європейські аномалії приземної температури за червень 2019 р.

Липневі температури повітря у Європі були дещо вищими норми (1981–2010 рр.), зі значними розбіжностями по території. У Західній Європі показники виявилися вищими за середні, в основному через коротку, але дуже інтенсивну хвилю тепла наприкінці місяця. На сході та північному сході Європи температури позначалися нижче норми – рис.4.6.

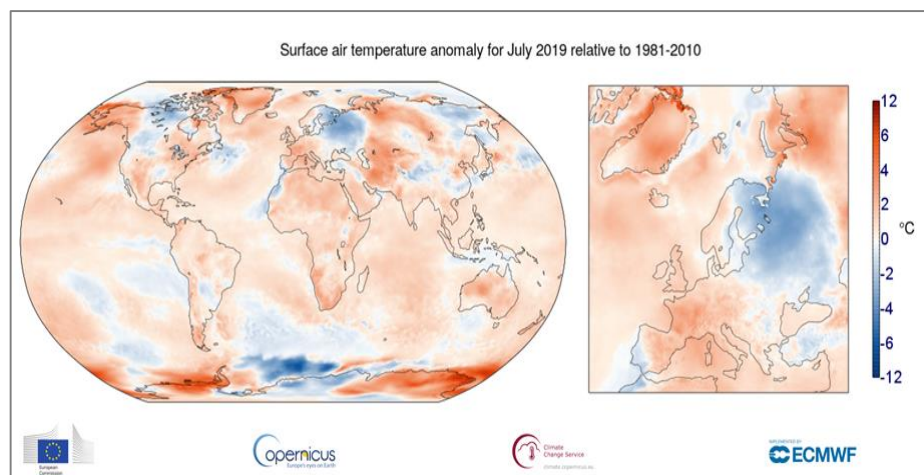


Рисунок 4.6 - Аномалія приземної температури повітря у липні 2019 р. відносно норми (1981-2010 рр.)

Температурні показники липня 2019 р. виявилися:

- на $0,56^{\circ}\text{C}$ вище середньої місячної норми (1981-2010рр.);
- приблизно на $0,04^{\circ}\text{C}$ тепліше, ніж липень 2016 р.

Липень зазвичай є найтеплішим місяцем у році, а липень 2016 р. раніше став найтеплішим місяцем за всю історію спостережень в абсолютному значенні (до питання порівнянь). 2019 року цей рекорд перекрито аномальними показниками температури з невеликим відривом – рис.4.7.

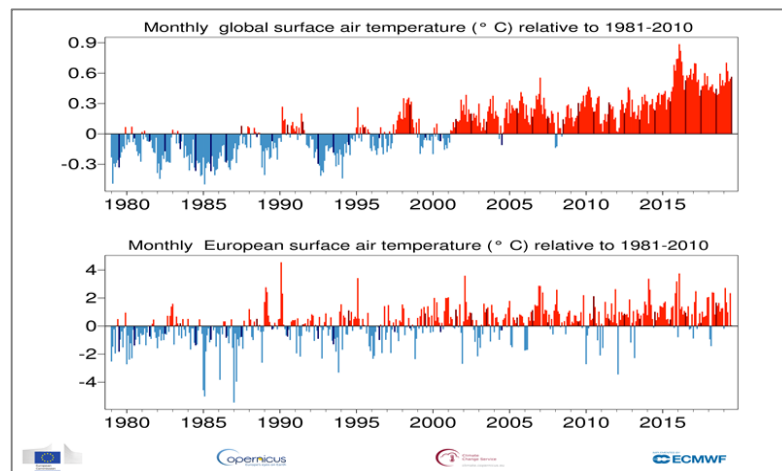


Рисунок 4.7 – Середні місячні глобальні та європейські аномалії приземної температури повітря за липень 2019 р.

Показники середньої температури повітря в серпні 2019 р. були вищими за норму на більшій частині європейського сектору, за винятком крайнього заходу Португалії та Східноєвропейської рівнини - (рис.4.8).

У глобальному масштабі серпень 2019 р. мав показники температури повітря (рис.4.9):

- на $0,53^{\circ}\text{C}$ вище, ніж у середньому у серпні з 1981 по 2010 рік, що робить його другим найтеплішим серпнем у цьому наборі даних;
- приблизно на $0,04^{\circ}\text{C}$ холодніше, ніж серпень 2016 р.

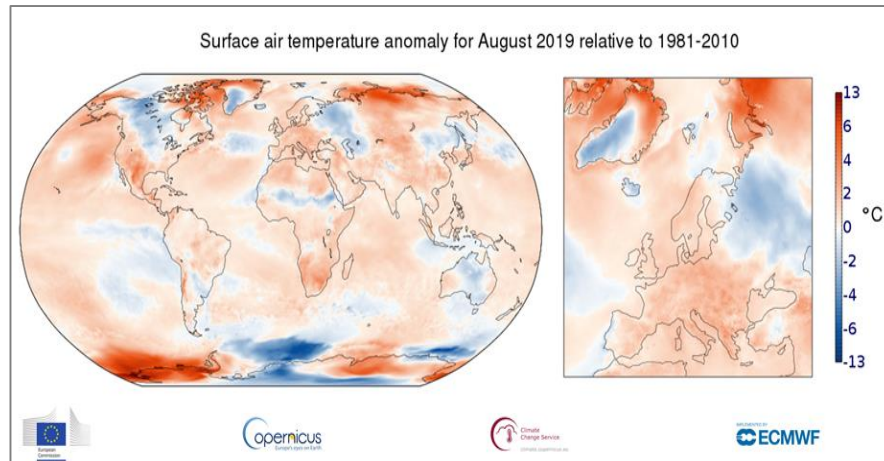


Рисунок 4.8 - Аномалія приземної температури повітря у серпні 2019 р. відносно норми (1981-2010 рр.)

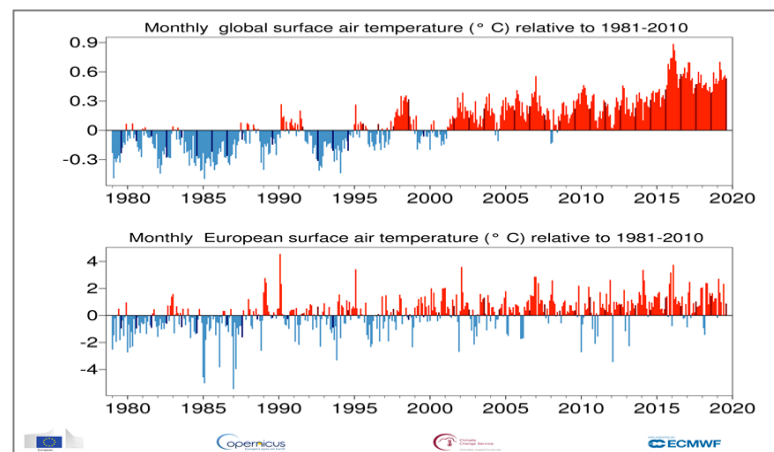


Рисунок 4.9 – Середні місячні глобальні та європейські аномалії приземної температури повітря за серпень 2019 р.

4.2 Температурні рекорди літа 2021 р.

Літо 2021 р. для Європи стало найтеплішим за всю історію спостережень на поточний час, хоча температура незначно перевищувала показники попередніх двох років. Середня температура повітря за сезон була майже на

1,0°C вище середньої за 1991-2020 рр. (починаючи з січня 2021 р., основний базовий період порівняння 1991-2020 рр.).

Проаналізуємо екстремальні показники температури повітря у європейському регіону влітку 2021 р. помісячно.

Червень 2021 р. та червень 2018 рр. вважається четвертим найтеплішим червнем за всю історію спостережень у світі після рекордних значень температури 2016, 2019 та 2020 рр. Температура повітря була особливо високою у Фінляндії та на півночі Східноєвропейської рівнини. Аномальна спека також спостерігалася у багатьох європейських країнах.

На противагу, температура протягом місяця в цілому була близькою або нижче норми на заході та південному сході Європи, Піренейському півострові, Ірландії, Ісландії, Шпіцбергені та у Північній Атлантиці.

Теплові умови над Європою були частиною «дуги» надзвичайно високих температур, які простиралися від північного заходу Африки, через Центральну та Північну Європу до Скандинавії, далі на Урал і південний схід до Ірану, Афганістану і західного Пакистану - рис.4.10.

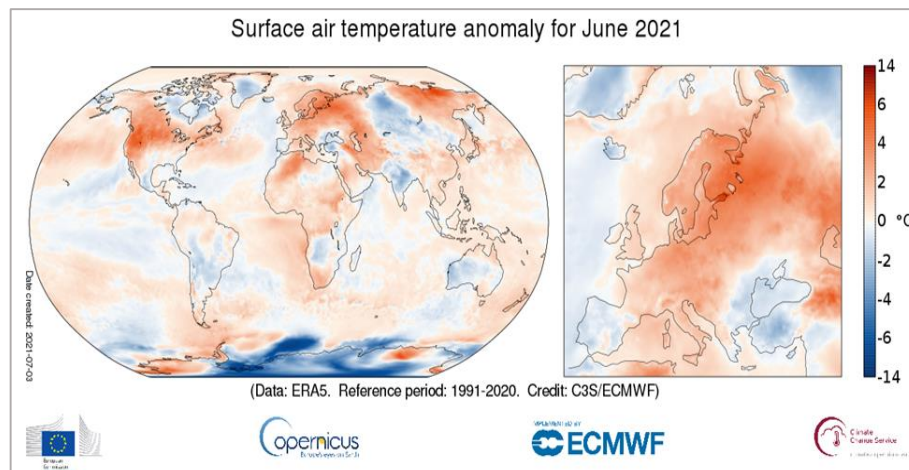


Рисунок 4.10 - Аномалія приземної температури повітря у червні 2021 р. відносно норми (1991-2020 рр.)

У багатьох районах Італії температура сягала 40°C , подекуди на півдні країни майже 45°C . Найгарячішими регіонами стали Сицилія, Калабрія й Апулія. У Німеччині зафіксовані $35\text{-}37^{\circ}\text{C}$.

24 червня в Києві середньодобова температура повітря становила $28,1^{\circ}\text{C}$, що на $1,6^{\circ}\text{C}$ вище рекордної для цього дня в 1924 р., а максимальна температура повітря піднялася до $35,5^{\circ}\text{C}$, перевищивши попередній рекорд для цього дня в 1924 році на $2,3^{\circ}\text{C}$; за червень загалом - на $0,5^{\circ}\text{C}$, попередній історичний максимум тримався з 1885 року.

У глобальному масштабі температура повітря за червень 2021 р. виявилася (рис.4.11):

- на $0,21^{\circ}\text{C}$ вище за середньомісячну норму (1991-2020 рр.);
- нижче на $0,15^{\circ}\text{C}$, ніж у червні 2019 та 2020 рр.;
- приблизно такою ж, як виняткові показники у 1998, 2015 -2018 рр.

Середні європейські аномалії температури, як правило, вищі та більш мінливі, ніж глобальні аномалії, так, середня температура за червень була на $1,5^{\circ}\text{C}$ вище норми. Єдиний зафіксований червень, який був теплішим за цього річний, розглянутий вище, - 2019 року.

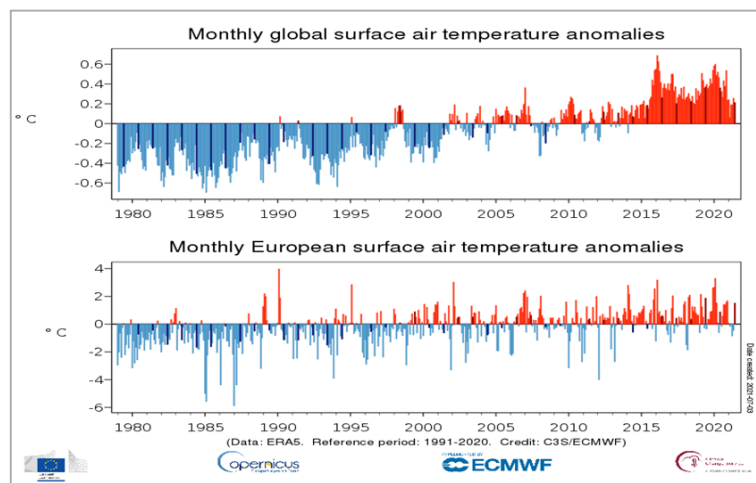


Рисунок 4.11 – Середні місячні глобальні та європейські аномалії приземної температури повітря за червень 2021 р.

Липень 2021 р. разом з липнем 2020 р. став третім найтеплішим липнем за всю історію спостережень у світі та менш ніж на $0,1^{\circ}\text{C}$, холоднішим за липень 2019 та 2016 рр. Це був другий найтепліший липень за всю історію спостережень у Європі. Теплові хвилі поширювалися від Східного Середземномор'я, через Східноєвропейську рівнину до Балтики, найвищі аномалії середньої місячної температури повітря фіксувалися саме над Балтійським морем й у прилеглих районах – рис.4.12.

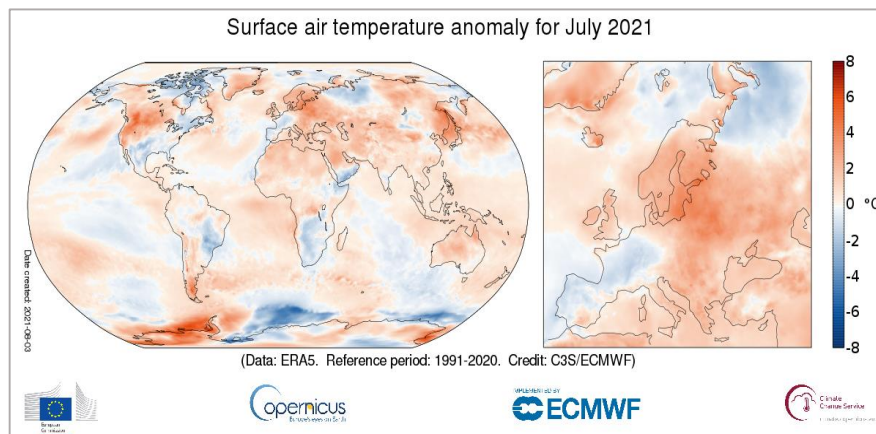


Рисунок 4.12 - Аномалія приземної температури повітря у липні 2021 р. відносно норми (1991-2020 рр.)

Для Гельсінкі це був другий найтепліший липень за даними спостережень з 1961 р.; лише у липні 2010 р. показники були дещо вищими.

В Литві аномальна спека перевищила попередній рекорд за тривалістю.

У Північній Ірландії перебитий рекорд добової максимальної температури; середні температури були набагато вище за норму над Східною Ісландією та деякими частинами Східної Гренландії. І, навпаки, місяць був дещо прохолоднішим відносно норми у смузі від Португалії до Німеччини.

На рисунку 4.13 (а) зображено поширення потужної теплової хвилі над європейським регіоном. Через стійке підвищення температури повітря, поверхня води також значно нагрілася - надзвичайно високі показники

реєструвалися в Балтійському регіоні, де температура води перевищувала норму більш ніж на 6°C .

У всьому Середземноморському регіоні рівень моря виявився набагато вищим середнього через стійкі сильні теплові хвилі та дуже високі температури, у багатьох секторах моря температура майже на 3°C перекривала довгострокові середні температури води. Також дуже теплою виявилася акваторія Атлантичного океану навколо Великобританії та Ірландії, приблизно на $2-4^{\circ}\text{C}$ вище норми наприкінці липня – рис.4.13 (б).

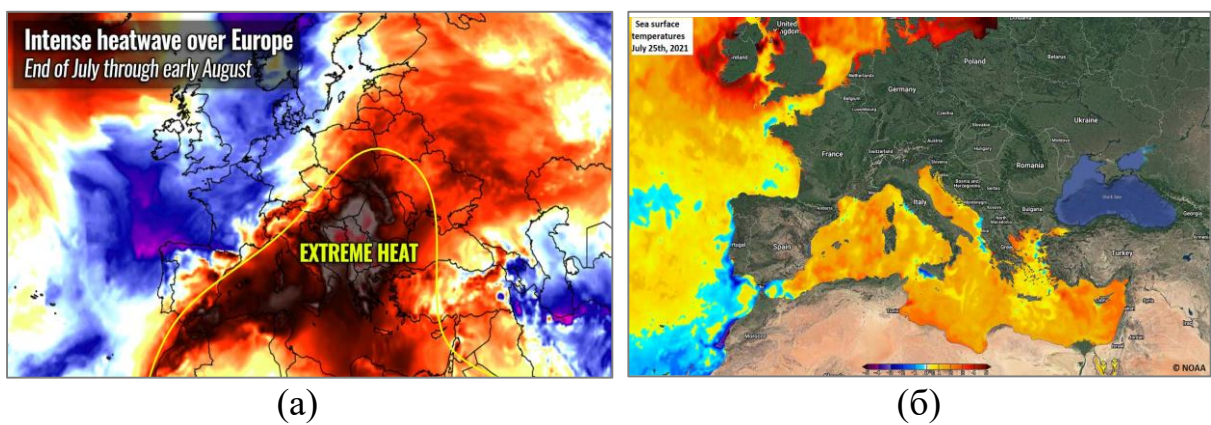


Рисунок 4.13 - Поширення ХТ над Європою - (а); аномалія температури води – (б).

Спекотні умови були особливо суворі у Південно-Східній Європі наприкінці місяця. Липень приніс сильну спеку, в основному, у південну та південно-східну частини європейського сектору, в той час як на заході температурний режим не виділяв додатні аномалії.

Максимальні температури спостерігалися над Середземним морем, Балканським півостровом і Туреччиною, перевищуючи 40°C ; Греція, Північна Македонія, Сербія, Східна Хорватія, Південна Румунія, більша частина Болгарії та Західна Туреччина фіксували $40-44^{\circ}\text{C}$.

До перших днів серпня над Європою сформувалася найсильніша спека 2021 р. Частини території Італії, Сербії, Північної Македонії, Албанії, Румунії,

Болгарії та Греції підпали під вплив екстремальних погодних умов з жорсткою посухою. Повітряна маса залишилася досить сухою, що також збільшило ймовірність лісових пожеж на півдні Європи.

У глобальному масштабі температура за липень 2021 р. виявилася:

- у середньому на $0,33^{\circ}\text{C}$ вище норми (1991–2020 рр.);
- співставною з аномально спекотним липнем 2020 р.;
- нижче на $0,07^{\circ}\text{C}$, ніж у липні 2019 р. та на $0,03^{\circ}\text{C}$, ніж у липні 2016 р.

Середня європейська температура у липні 2021 р. була на $1,4^{\circ}$ вище середньомісячної норми за 1991-2020 рр. Єдиний зареєстрований липень, який був теплішим - 2010 р., коли над Східноєвропейською рівниною спостерігалася аномальна спека (рис.4.14).

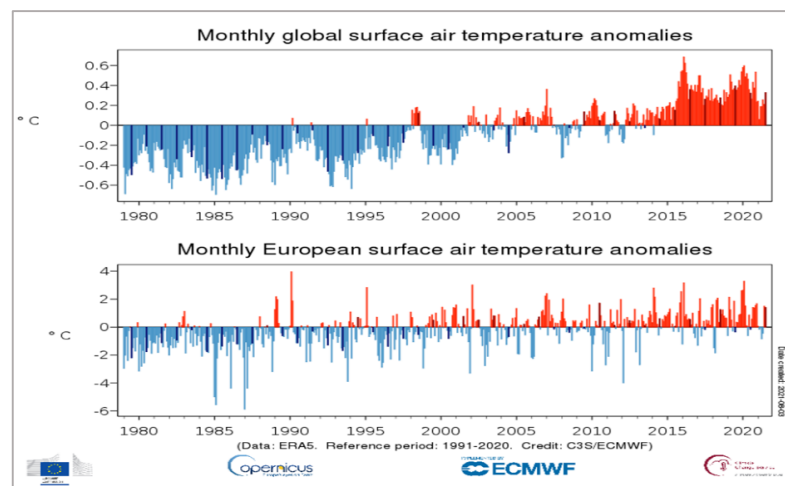


Рисунок 4.14 – Середні місячні глобальні та європейські аномалії приземної температури повітря за липень 2021 р.

Серпень 2021 р. у глобальному масштабі став третім із найтепліших в історії спостережень, на $\sim 0,3^{\circ}\text{C}$ вище норми (1991–2020 рр.)

Для Європи цей місяць за температурним режимом став близьким до норми, але з контрастними періодами: рекордні максимальні температури зафіксовані у країнах Середземномор'я, температури вище норми на сході і, в цілому, нижче норми - на півночі регіону та у Скандинавії.

Серпнева хвиля тепла, пов'язана з антициклонічною діяльністю, вплинула на Іспанію, і прокотилася сильною спекою на початку місяця у Греції та Туреччині, що сприяло руйнівним лісовим пожежам. Вогонь охопив території о. Сардинія, Греції, автономного регіону Каталонія в Іспанії, півдня Франції, а також Чорногорію.

На Сицилії 11 серпня була зафіксована температура 48,8°C, це значення стало новим рекордом не лише Італії, а також і всієї Європи за час інструментальних спостережень. Мережа станцій Національної обсерваторії Афін зареєструвала екстремальні температури понад 40°C на 143 станціях і 43°C на 22 станціях. У регіоні Аттика, до якого входять Афіни, 29 з 53 метеостанцій мали показники $\geq 40^\circ\text{C}$; 03 серпня встановлені рекорди: Лангадас 47,1°C, Макаркомі 46,2°C, Арфара 46,1°C. В Іспанії 13 серпня температура піднялася до 47,2°C в Монторо. Також умови аномальної спеки спостерігалися майже над всім простором Східноєвропейської рівнини, рекордні показники відмічені на заході Казахстану та в Передураллі - (рис.4.15).

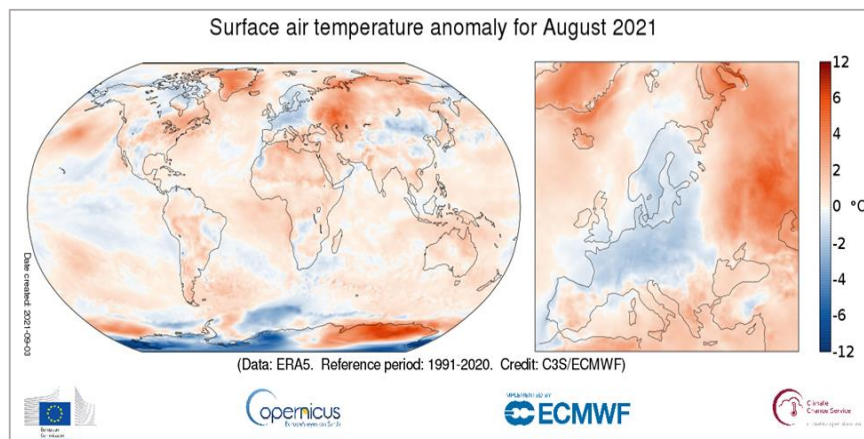


Рисунок 4.15 - Аномалія приземної температури повітря у серпні 2021 р. відносно норми (1991-2020 рр.)

На півночі Африки теж встановилися спекотні погодні умови - у Тунісі (м. Кайруан) температура повітря зросла до 50,3°C, це рекордний показник для

країни; в Алжирі - 47°C у Батні, Туггурті та Біскрі; у Марокко температура повітря сягнула 49°C 13 числа.

У глобальному масштабі серпень 2021 р. мав показники температури:

- на $0,31^{\circ}\text{C}$ вище середньомісячної норми (1991–2020 рр.);
- температура близька до серпня 2017 р.;
- нижче на $0,1^{\circ}\text{C}$, ніж у серпні 2016 р., найтеплішому серпні за всю історію спостережень;
- нижче лише на $0,05^{\circ}\text{C}$, ніж у серпні 2019 р.

Середня європейська температура серпня була близька до норми, всього на $0,02^{\circ}\text{C}$ нижче середньомісячної норми за 1991-2020 рр., це найменша аномалія з серпня 2014 р., коли середня європейська температура була на $0,11^{\circ}\text{C}$ нижче норми 1991 -2020 рр. (рис.4.17).

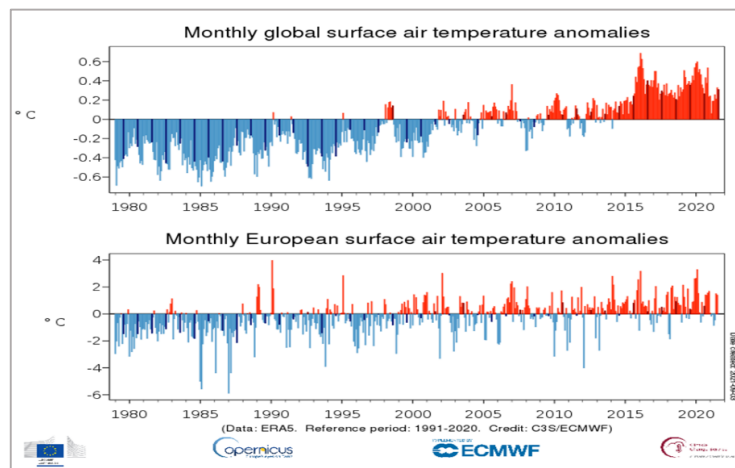


Рисунок 4.17 – Середні місячні глобальні та європейські аномалії приземної температури повітря за серпень 2021 р.

4.3 Аномальна спека влітку 2022 р.

Згідно з даними Служби ЄС з питань зміни клімату Copernicus, температура у 2022 р. у Європі була найвищою за всю історію спостережень,

як за серпень, так і за літо в цілому. Зокрема, середня температура з червня до серпня виявилася на $1,34^{\circ}\text{C}$ вищою від середнього історичного значення кліматичної норми (1991-2020 рр.), тоді як у серпні, який став найспекотнішим місяцем літа, перевищено середнє значення на $1,72^{\circ}\text{C}$.

Літо 2022 було спекотним на більшій частині Західної Європи. Регіон перебував був під впливом не менше трьох сильних хвиль тепла: у середині червня - найбільш рання ХТ в Європі за всю історію спостережень, потім ХТ у середині липня та ХТ протягом першої половини серпня. Температура регулярно піднімалася вище 40°C , досягнувши рекордних 47°C у Португалії 14 липня. Додатні аномалії до $5-10^{\circ}\text{C}$ зберігалися протягом декількох діб; встановлено нові температурні рекорди.

Аномальна спека призвела до тисяч смертей у Німеччині, Великій Британії, Іспанії та Португалії і викликала збій комп'ютерних систем у двох великих лондонських лікарнях. Було порушено пасажирський рух через викривлення залізничних колій та доріг під впливом високих температур, а злітно-посадкові смуги деяких аеропортів розплавився.

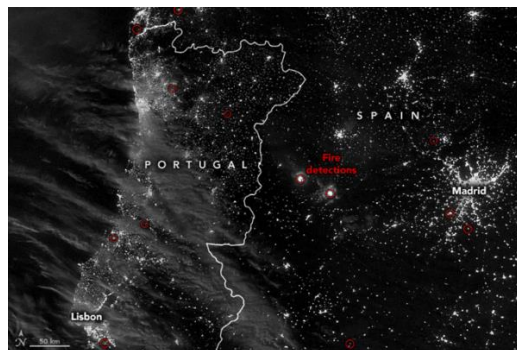
Альпійські льодовики та вічна мерзлота танули із рекордною швидкістю, що викликало обвал льодовика Мармолада в Доломітових Альпах в Італії 3 липня, при підвищенні температури на піку до 10°C . Так, до третьої декади липня досягнута максимальна потужність, так званого, африканського антициклону «Arosalypse4800» - цифра відноситься і чітко пояснює ситуацію з тепловим нулем на надзвичайних висотах: стовпчик термометра опускається нижче нуля тільки на висоті вище 4800 м, а оскільки найвища гора Європи, Монблан, має висоту 4809 м, то лід танув на всіх Альпах.

Значна частина Європи опинилася під впливом найсильнішої за останні 500 років посухи, яка завдала шкоди природним екосистемам, сільськогосподарським культурам та багатьом секторам економіки. У багатьох країнах використання води було суворо обмежене; спостерігався рекордно низький рівень води на річках, що позначилося на річковому судноплавстві. Наприклад, р. По в Італії, на басейн якої припадає 40% сільськогосподарського

виробництва, сильно пересохла. Обсяги води, що зберігаються у водосховищах, були особливо малі у Португалії, Іспанії, Франції та Італії, що обмежило роботу ГЕС [20].

Поєднання посухи та високих температур створило сприятливі умови для виникнення лісових пожеж. Станом на 27 серпня 740000 га лісів було знищено пожежею по всій Європі, що приблизно втричі перевищує середній показник для цієї пори року. Особливо сильно постраждали Іспанія, Португалія, Румунія та Франція.

На рис.4.18 наведено супутникові знімки виявлення пожеж у Португалії й Іспанії та Північній Адриатиці й Словенії. Найбільш помітні місця виявлення пожеж на захід від Мадриду включають місто Лас-Хурдес, де згоріло понад 1500 га (Suomi NPP- VIIRS), а у Словенії сформувалися, так звані, rugosimulus clouds, - щільні купчасто-подібні хмари, пов'язані з інтенсивними лісовими пожежами, за класифікацією ВМО - «flammagenitus cloud».



12.07.2022 р., Suomi NPP- VIIRS



20-22.07.2022 р., Sentinel-2

Рисунок 4.18 - Супутникові знімки пожеж над Європою

В Італії за підсумками червня кількість лісових пожеж була в три рази вище історичного середнього показника.

Постійні посушливі умови у поєднанні з ранніми хвилями тепла у травні та червні призвели до того, що ґрунти на початку літа стали надзвичайно сухими по всій Європі. На початку літа Піренейський півострів, Марокко та Алжир страждали від посухи, потужністю, що траплялася 1 раз на 1000 років.

Середня температура повітря над європейським сектором за червень-серпень виявилася вищою за попередній рекорд 2021 року на 0,4°C. Фактично, з 2003 р. наступні 10 років у Європі стали найбільш теплими (рис.4.19).

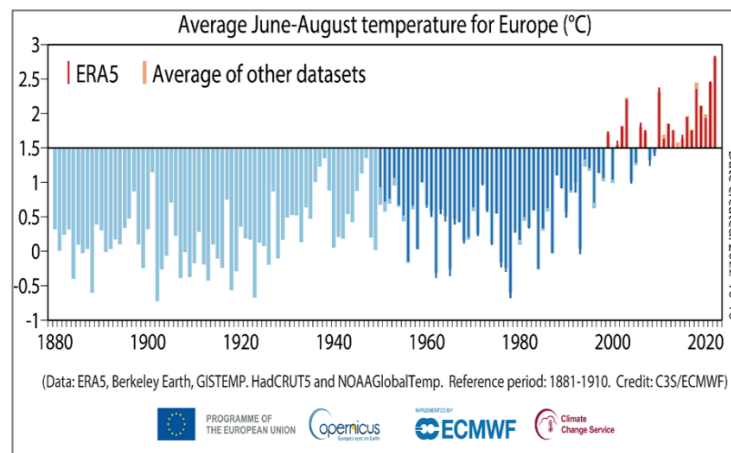
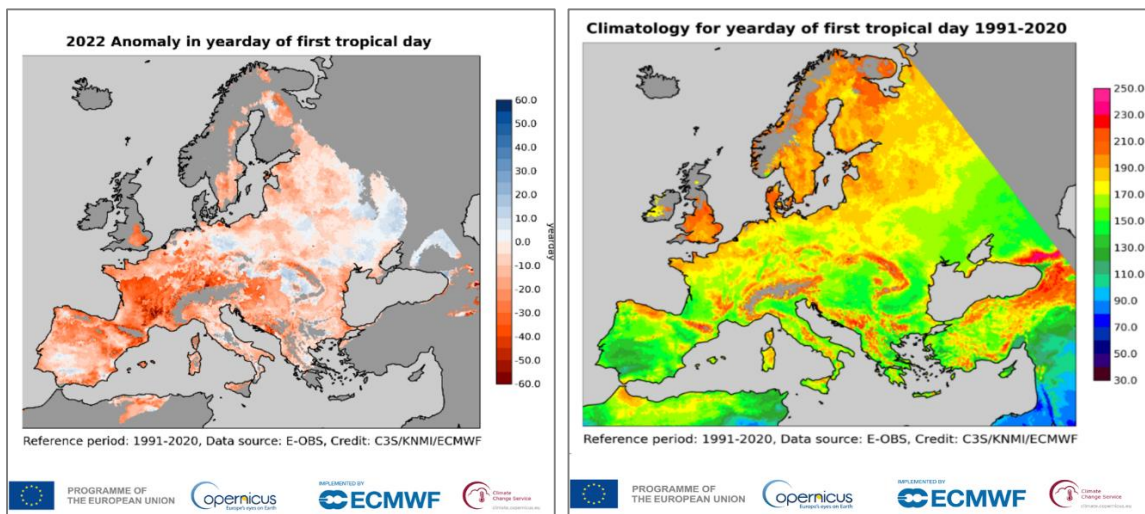


Рисунок 4.19 - Аномалії приземної температури повітря, 1880-2022 рр., осереднені за червень-серпень для Європи

Аномально жарке літо 2022 р. передбачало раннє настання першого тропічного дня у році, який визначається як день з максимальною температурою 30°C і вище. Упродовж базисного періоду 1991–2020 рр. для Європи, за рахунок найбільш північно-західних районів та частини альпійського регіону, в середньому, у році прогнозувалося не менше одного тропічного дня. Однак, 2022 р. позначився тим, що ці значення були досягнуті раніше, ніж зазвичай. У Центральній Європі та значній частині Франції,

перший тропічний день почався приблизно в середині травня, це майже на місяць раніше (рис.4.20).



(a)

(б)

Рисунок 4.20 – Аномалія першого тропічного дня в Європі у 2022 р. – (а); аномалія першого тропічного дня в Європі 2022 р. відносно норми 1991-2020 рр. – (б)

До середини липня над Західною Європою встановилася область високого тиску, яка зумовила прояснення, суху погоду та високу інсоляцію. У поєднанні з потоком гарячого повітря з Північної Африки це спричинило сильну спеку на більшій частині регіону. В результаті температура зросла вище 40°C протягом, як мінімум, одного дня в Іспанії, Франції та, вперше за всю історію спостережень, у Великобританії – рис.4.21.

Визначимо особливості температурного режиму влітку 2022 р. над європейським сектором помісячно.

У червні температура повітря була вище норми (1991–2020 рр.) на більшій частині Європи. Найдужче постраждали від аномальної спеки південні частини континенту, Піренейський півострів, Франція та Італія. Денні максимальні температури в цих районах перевищували 40°C.

Численні червневі температурні рекорди були встановлені у Франції та Іспанії. Так, 18 червня за даними Météo France відмітку $42,9^{\circ}\text{C}$ було зафіксований в Біарріці о 16:00 - це абсолютний температурний рекорд, найвища температура за роки існування метеорологічної станції, розташованої в аеропорту Біарріц-Англет з 1953 р. Також цієї доби у Франції було побито багато теплових рекордів по території з південного заходу на північний захід: Казау $41,1^{\circ}\text{C}$; Атлантичні Піренеї, в По $38,1^{\circ}\text{C}$; абсолютний рекорд в Піссосі, $42,6^{\circ}\text{C}$. В Іспанії, в андалуському м. Андухар зафіксовано температурний рекорд 17 червня з показниками від $44,2$ до $44,3^{\circ}\text{C}$. 18 червня, найспекотнішими провінціями виявилися Каталонія, Наварра та Басконія на півночі та північному сході. Аналогічна ситуація була в Мадриді, де максимальна температура зросла до 39°C .

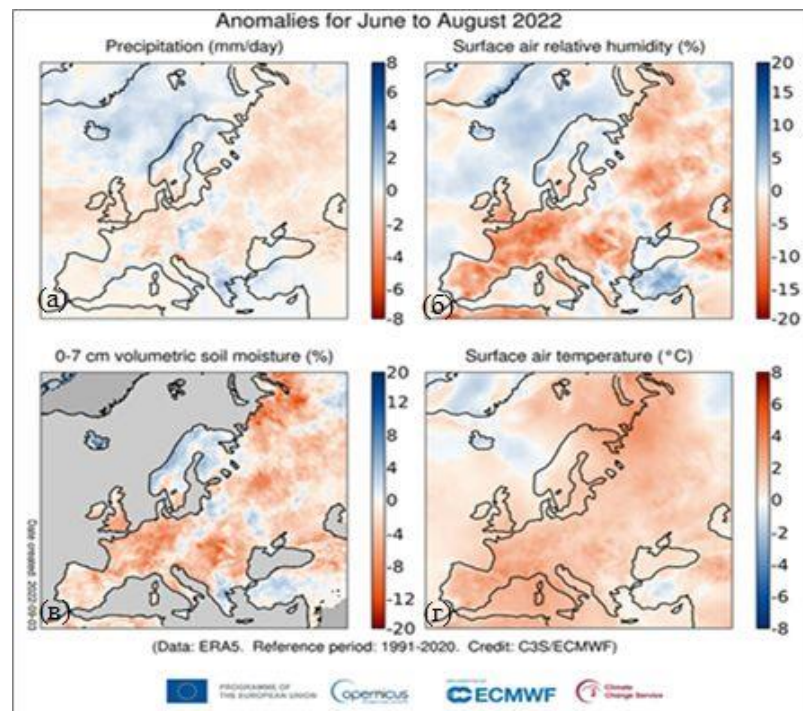


Рисунок 4.21 - Аномалії метеорологічних величин над Європою за червень-серпень 2022 р.: (а) - накопичені опади; (б) – відносна вологість повітря; (в) – вологість ґрунту у шарі 0-7 см; (г) – приземна температура повітря

Екстремальна спека також поширилася на Північну Африку. У Тунісі 27 червня температурні показники зрівнялися з місячним рекордом $48,7^{\circ}\text{C}$.

29 червня в Норвегії зафіксували температуру $32,5^{\circ}\text{C}$, що стала найвищою температурою, коли-небудь зареєстрованою для Полярного кола у Європі, і значно вищою, ніж у середньому за червень (13°C).

Середня місячна червнева температура у Європі стала найвищою за всю історію спостережень. При цьому, від'ємні аномалії та показники в межах кліматичної норми відмічалися у центральній частині Туреччини, на крайньому заході Піренейського півострова, в Ісландії та Ірландії – рис.4.22.

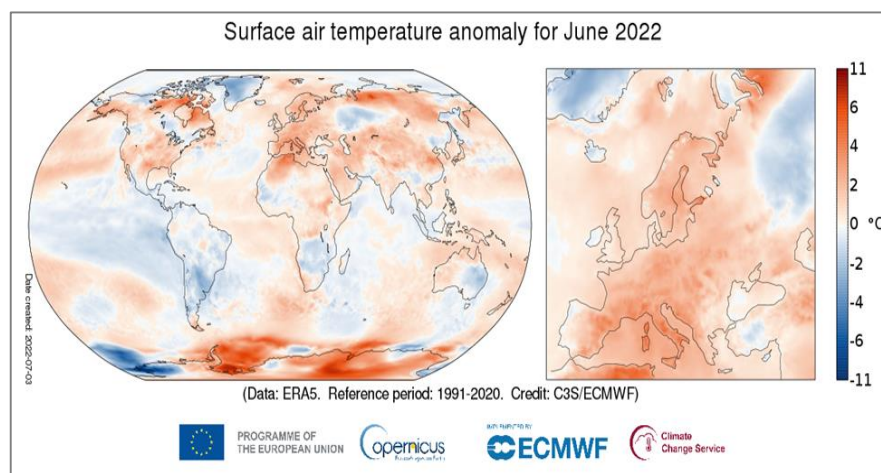


Рисунок 4.22 - Аномалія приземної температури повітря у червні 2022 р. відносно норми (1991-2020 рр.)

Показники середньої глобальної температури за червень 2022 р. виділяють цей місяць, як третій найтепліший за всю історію спостережень. У Європі загалом це був другий найтепліший червень за історію спостережень, з температурами приблизно на $1,57^{\circ}\text{C}$ вище норми (рис.4.23).

У глобальному масштабі температура повітря за червень 2022 р. виявилася:

- на $0,31^{\circ}\text{C}$ вище за середньомісячну норму(1991-2020 рр.)
- на $0,05^{\circ}\text{C}$ нижче, порівняно з червнем 2019 та 2020 рр.

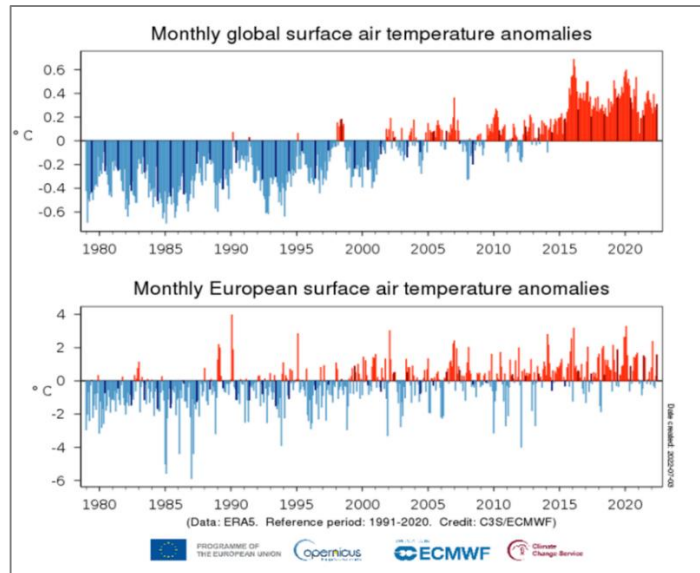


Рисунок 4.23 - Середньомісячні глобальні та європейські аномалії приземної температури повітря за червень 2022 р.

Липень цього року відзначився температурою повітря вище норми на переважній частині Європи за умов формування тривалої хвилі тепла, яка охопила регіон в середині місяця, високі показники також відмічалися й у першій декаді (рис.4.24).

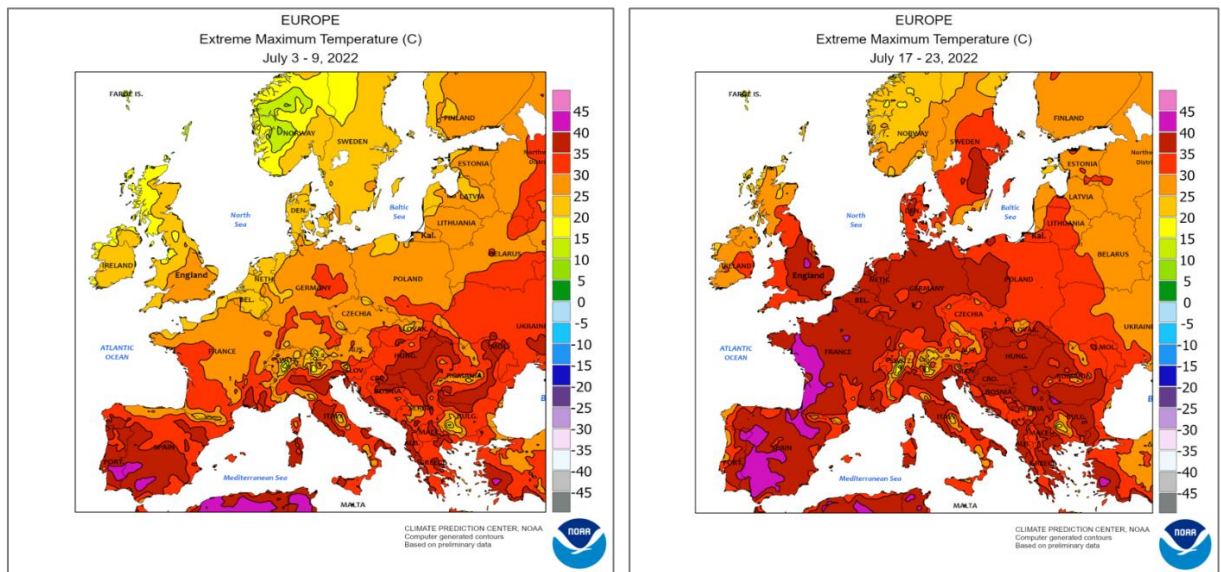


Рисунок 4.24 – Екстремуми максимальної температури липня 2022 р.

Під час аномальної спеки в Португалії, Західній Франції та Ірландії було перекрыто численні липневі рекорди максимальної температури – рис.4.25. Найвище максимальне значення температури було зафіксовано 14 липня на станції Піньян у 47°C, що стало новим максимумом для липня на материковій частині Португалії.

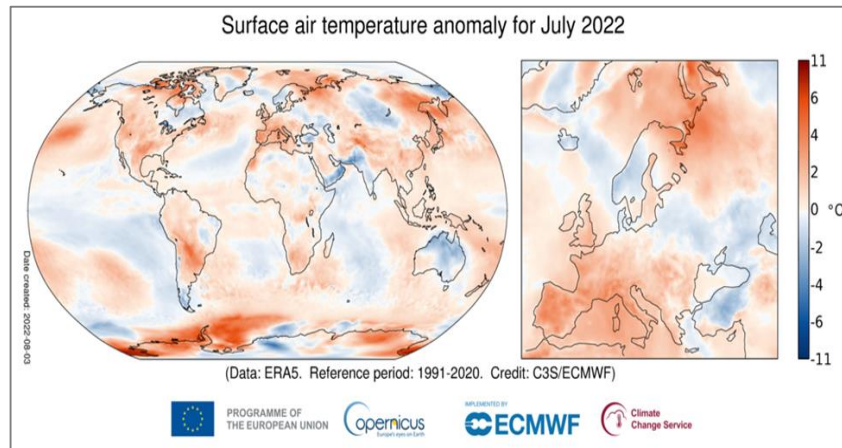


Рисунок 4.25 - Аномалія приземної температури повітря у липні 2022 р. відносно норми (1991-2020 рр.)

13 липня у столиці Тунісу температура досягла 48°C, перевершивши 40-річний рекорд. В Ірані температурний режим липня залишався ще тривалий час високим після того, як наприкінці червня було досягнуто показник в 52°C.

В Англії вперше за всю історію спостережень зафіксовано екстремальне значення у 40°C (Лондон 18 липня); попередній національний температурний рекорд в 38,7°C був перекрытий більш ніж на 40 станціях, максимум у 40,3°C зареєстрований у Лінкольнширі.

Національні рекорди денної максимальної температури також були встановлені в Уельсі та Шотландії; 18 липня в Дубліні зафіксували температуру 33,0°C, одну з найвищих температур, коли-небудь зареєстрованих в Ірландії. Спека поширилася на північ та схід, 20 липня температура в Гамбурзі досягла 40,1°C. У Хорватії пік температури 23 липня

досяг 38-39°C в Загребі, Осієку, Карловаці, Славонські-Броде й Кніні. Найвища температура в 39,4°C зафіксована у Валпово.

Значення температури вище норми також відмічалися над західним та центральним Середземномор'ям.

Добові температурні аномалії варіювалися протягом липня, при цьому в деяких районах європейського регіону спостерігалися температури нижче норми. Виділяється смуга температур нижче кліматичної норми у системі термічної улоговини від Ісландії через Західну та Центральну Скандинавію, країни Балтії, Східну Європу до Каспію та Грузії, значні від'ємні аномалії відмічалися у Туреччині.

У глобальному масштабі липень 2022 р. став одним із трьох найтепліших за всю історію спостережень - на 0,38°C вище норми 1991-2020 рр. Це був шостий найтепліший липень для Європи, хвиля тепла зумовила нові місцеві та національні рекорди для частини регіону – рис.4.26.

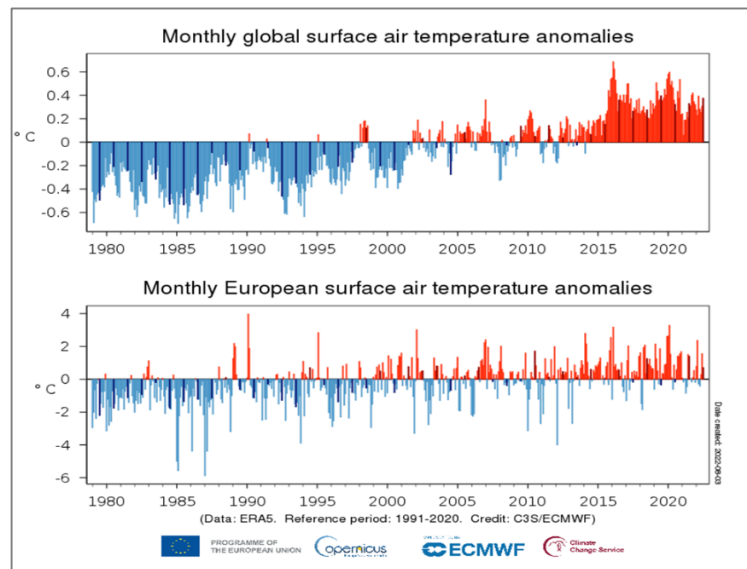


Рисунок 4.26 - Середньомісячні глобальні та європейські аномалії приземної температури повітря за липень 2022 р.

Середня серпнева температура повітря у Європі 2022 року була найвищою за всю історію спостережень, як для серпня, так і для всього літа -

на $0,8^{\circ}\text{C}$ вище, порівняно зі спекотним серпнем 2018 р. та на $0,4^{\circ}\text{C}$ вище, порівняно з 2021 р. для літа.

Найвищі показники температури спостерігались у Центральній і Північній Європі та, особливо, над Східноєвропейською рівниною і акваторіями Баренцового та Карського морів. Хвиля тепла була найсильнішою в глобальному розрізі саме у Європі – рис.4.27.

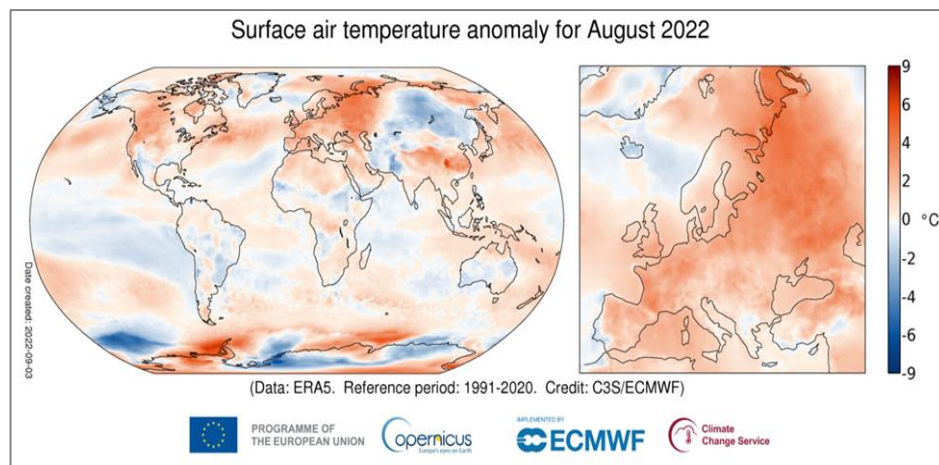


Рисунок 4.27 - Аномалія приземної температури повітря у серпні 2022 р. відносно норми (1991-2020 рр.)

Найвищі показники температури повітря зафіксовані на крайньому сході та північному сході регіону, в смузі, видовженій від Баренцового та Карського морів до Кавказу. Температури вище норми відмічалися також і на заході Європи, але не настільки екстремальні, як рекордні у серпні 2003 та 2021 рр.

Показники температури вище середньомісячного значення спостерігалися найбільш помітно в Баренцевому та Карському морях, західній частині Середземного моря,

Середні європейські температурні аномалії, як правило, вищі та мінливіші, ніж глобальні аномалії – рис.4.28. Середня температура у серпні 2022 р. була найвищою за всю історію спостережень для Європи - на $1,72^{\circ}\text{C}$ вище кліматичної норми (1991–2020 рр.). Цей місяць виявився на $0,8^{\circ}\text{C}$

теплішим, ніж попередній найтепліший серпень у Європі 2018 року; на $0,9^{\circ}\text{C}$ тепліше, ніж наступні найтепліші серпні 2010, 2003 та 2015 рр. У 2003 і 2010 рр. локальні серпневі екстремальні значення були вищими, ніж у 2022 р., але надзвичайно високі температури охоплювали практично весь регіон у 2022 р., тоді як у серпні 2003 і 2010 рр. в деяких частинах Європи було прохолодніше, ніж у середньому відносно норми.

На початку місяця, 5 серпня на п'яти станціях мережі ARSO у Словенії була зафіксована температура вище $37,0^{\circ}\text{C}$.

Чергова ХТ почалася 9 серпня. Найвища температура у Великобританії зареєстрована 11 серпня в $34,2^{\circ}\text{C}$ у Віггонхольті, Західний Сассекс. 12 серпня в Оук-Парку, графство Карлоу, температура зросла до $31,7^{\circ}\text{C}$, що перевершило температурний рекорд Ірландії за серпень.

17 серпня в Баха та Кюбехазі були зафіксовані температури 37°C , що встановили угорський температурний рекорд за цей день.

Для Франції літо 2022 р. стало другим за додатними аномаліями температури після 2003 р., хоча кількість днів, класифікованих, як частина періоду сильної спеки, була вищою саме у 2022 р.

Наприкінці місяця також у Києві зафіксували температурний рекорд. За даними Центральної геофізичної обсерваторії 27 серпня вперше за 142 роки середня добова температура склала $24,6^{\circ}\text{C}$, що на $0,2^{\circ}\text{C}$ вище рекордної для цього дня температури 1943 р., кліматичну норму перевищено на $5,7^{\circ}\text{C}$.

У глобальному масштабі серпень 2022 р. за температурними показниками виявився:

- на $0,30^{\circ}\text{C}$ вище норми 1991–2020 роки для серпня, це третій найтепліший серпень за період спостережень;
- нижче на $0,11^{\circ}\text{C}$, ніж у серпні 2016 р., та на $0,06^{\circ}\text{C}$, ніж у серпні 2019 р.
- менш ніж на $0,02^{\circ}\text{C}$ прохолодніше серпня 2021 р. та серпня 2017 р.

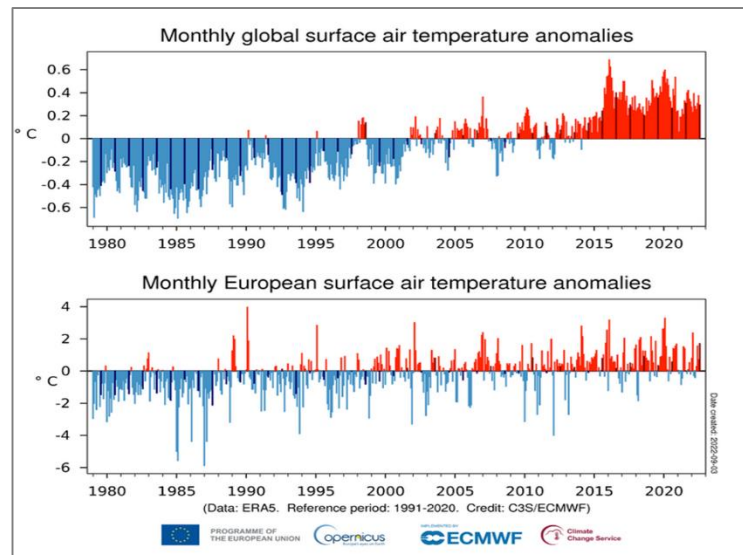
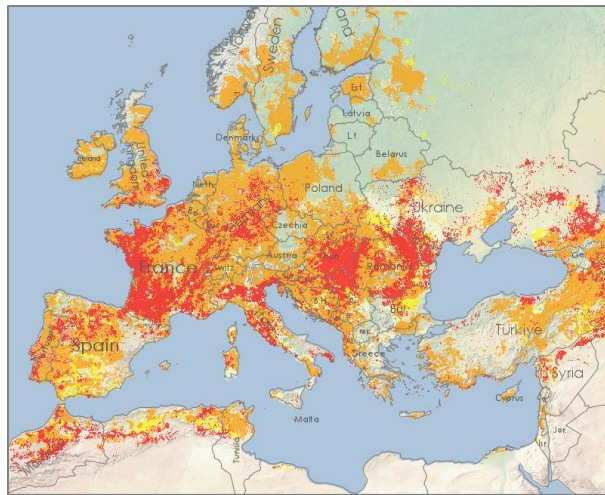


Рисунок 4.28 - Середньомісячні глобальні та європейські аномалії приземної температури повітря за серпень 2022р.

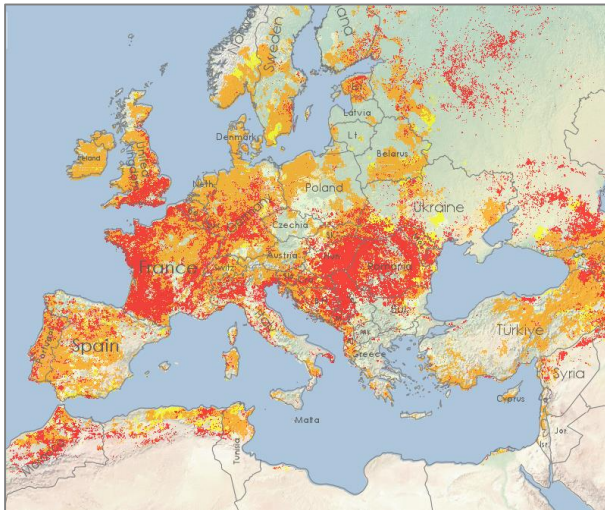
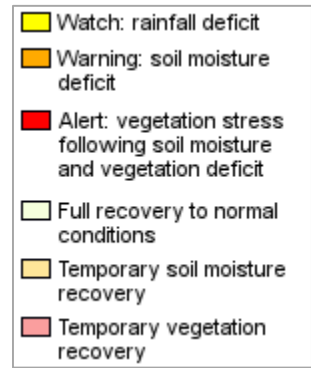
Додатково зазначимо, хоча температура в більшості місць Європи знизилася до третьої декади серпня, дещо слабша хвиля спеки обрушилася на південний захід Франції 12 вересня, де температура досягла $40,1^{\circ}\text{C}$ у Бегарі. За даними Météociel, місячні температурні рекорди були побиті на більш ніж 70 станціях Météo France. А з 3 жовтня вже на Італію поширилася нова хвиля спеки (у системі спочатку Азорського, а потім африканського антициклону), яка повернула посуху у Північну Італію.

Тривала спека й посуха на значній території Європи спричинили катастрофічне обміління багатьох великих річок – рис.4.29. Ще одним наслідком спеки та посухи стали пожежі, які у 2022 р. знищили майже 700 тисяч гектарів лісу, це в чотири рази більше, ніж в середньому за рік.

Кліматологи пов'язують екстремальну спеку 2022 р. із впливом зміни клімату, науковці прогнозують, що в результаті зміни клімату хвилі спеки в Європі будуть відбуватися зі зростаючою частотою.



2 декада



3 декада

Рисунок 4.29 – Карты комбінованого індикатора посухи, серпень 2022 р.

5 ЦИРКУЛЯЦІЙНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ АНОМАЛІЙ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ

У якості вихідних даних використано: карти аномалій середньомісячних показників геопотенціальної висоти H_{500} , середньомісячного тиску на рівні моря та його аномалій відносно норми 1991-2020 рр. [22], приземні карти та карти БТ [27], оперативні дані програми АРМсин.

Представляє інтерес визначити особливості циркуляції атмосфери у період формування потужних ХТ над Європою.

Аналіз наведемо у хронологічному порядку.

Хвилі тепла влітку 2019 р. Виникнення спекотних днів у червні 2019 р. в Європі було спричинене потужною адвекцією тепла з півдня при встановленні потужного гребеня над переважною частиною Європи (рис.5.1). Меридіональність потоків, як білі поверхні землі так і у вільній тропосфері, визначила існування області низького тиску на заході сектору та високого тиску - на сході, що сприяло поширенню повітряних мас з півдня.

Винятково високі температури у червні 2019 р. були прямим наслідком змін умов циркуляції. Протягом практично двох декад відмічалось накачування тепла з південних районів до Центральної і Східної Європи, що у поєднанні з переважаням антициклонічних умов біля поверхні землі зумовило спекотну погоду майже протягом місяця.

Аномалія приземного тиску за місяць демонструє потужний осередок додатних показників на сході, північному сході Європи, Скандинавією та Східноєвропейською рівниною. Відповідно максимальні додатні аномалії середньої місячної температури повітря виділяються над Польщею – до 4°C .

Структура висотного баричного поля вказує на встановлення блокуючої системи у середній тропосфері на більшій частині Європи та Східноєвропейською рівниною. Від'ємні аномалії H_{500} спостерігаються над Східною Атлантикою та Ірландією, а значні додатні аномалії охоплюють

центр та схід регіону з осередком найвищих відхилень над країнами Балтії, Польщею та Білоруссю.

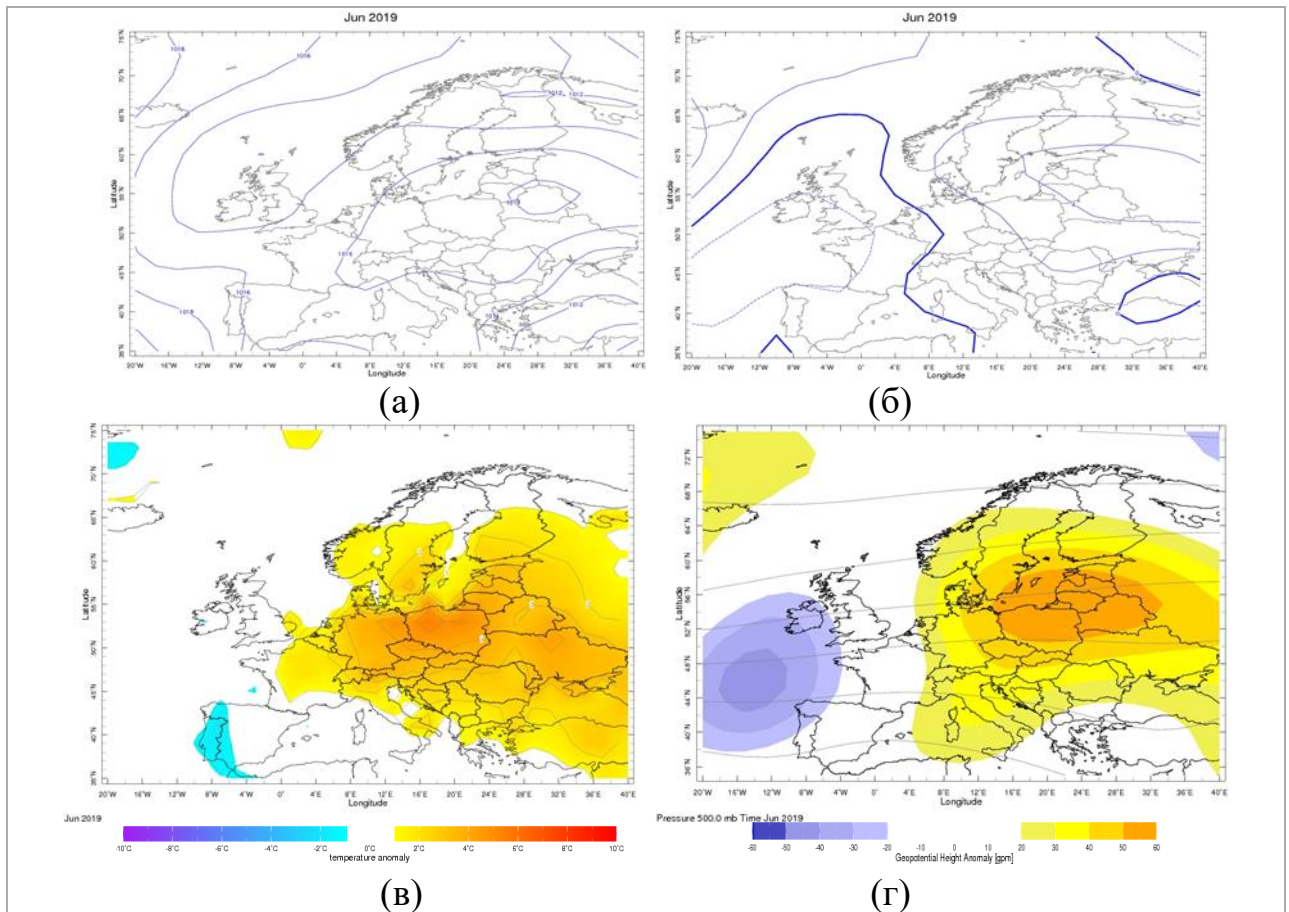


Рисунок 5.1 - Синоптичні карти за червень 2019 р.: (а) - середній місячний тиск на рівні моря; (б) – середня місячна аномалія тиску на рівні моря; (в) – середня місячна аномалія температури повітря; (г) - середня місячна аномалія поля Н500

До кінця місяця над Європою встановлюється форма блокуючого процесу за типом «омегаподібний гребінь», що порушує панівний західно-східний потік повітря у середній тропосфері (рис.5.2). Стаціонавання гребеневої структури над Європою спричиняє винесення перегрітих повітряних мас з півночі Африки (позначено червоною стрілкою). Вказана конфігурація висотного баричного поля перешкоджає руху фронтальних розділів у системах циклонів до сходу, що зумовлює значний дефіцит опадів і

суттєве підвищення температури біля поверхні землі за рахунок аномальної горизонтальної температурної адвекції та адіабатичного нагріву.

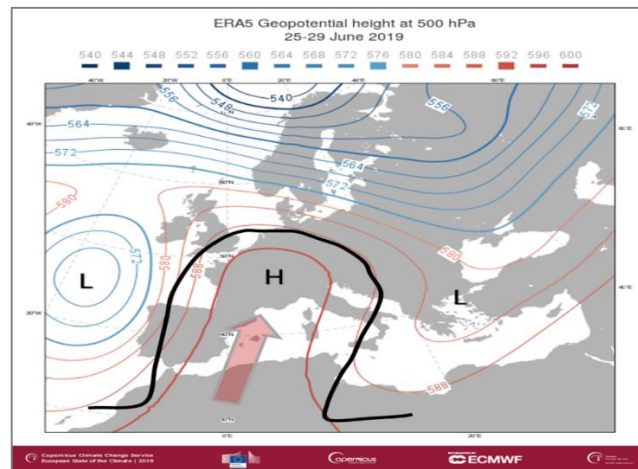


Рисунок 5.2 - Карта АТ-500, осереднена за період 25-29.06.2019 р., тип блокуючого процесу «омегаподібний гребінь»

Підвищений температурний режим липня 2019 року сформувався у масштабній області високого тиску, при поширенні відрогу Азорського максимуму на схід, обмежуючись практично 30° меридіану (рис.5.3). При цьому, липнева ХТ, яка була нетривалою, відмічалася наприкінці місяця і за умов місячного осереднення приземного тиску та геопотенціалу Н500, наведені карти не демонструють значних аномалій у структурі приземних та висотних полів. Так, біля поверхні землі поле середнього місячного тиску виділяє гребінь на заході та у центрі Європи, а середня місячна аномалія приземного тиску за липень демонструє поширену смугу від ємних позначок практично над всім європейським сектором, за винятком Британії та Скандинавії. Відповідно до вищевикладеного аналізу полів температури повітря, ХТ охоплювала саме центр та частково захід Європи – найвищі додатні аномалії за місяць виокремлюють осередок над Францією та Піренеями – до 2°C , інша частина регіону має місячні показники в межах норми, або, на сході і північному сході, нижче її.

Висотне баричне поле не позначає аномалій Н500 над Європою, і лише над Східноєвропейською рівниною виділяється осередок від'ємних аномалій у системі висотної улоговини.

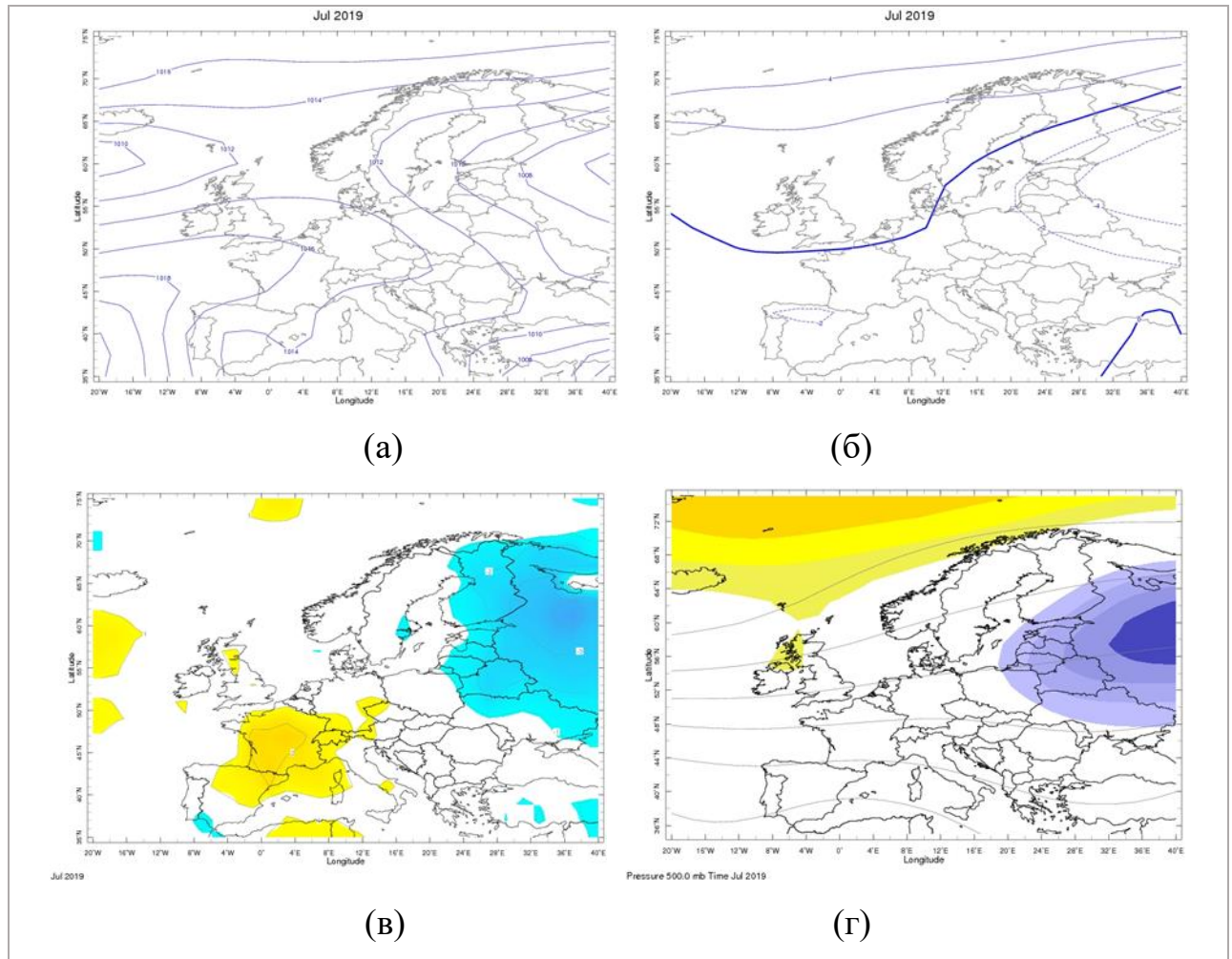


Рисунок 5.3 - Синоптичні карти за липень 2019 р.: (а) - середній місячний тиск на рівні моря; (б) – середня місячна аномалія тиску на рівні моря; (в) – середня місячна аномалія температури повітря; (г) - середня місячна аномалія поля Н500

Деякі аналогії можна спостерігати у структурі приземного баричного поля за серпень 2019 р. – рис.5.4. При цьому відріг Азорського антициклону простягається далеко на схід упритул до Уралу, а з Атлантики у широтному напрямку північніше 55° півн.ш. поширюється улоговина поглибленого

Ісландського мінімуму, тим самим формуючи баричне поле виду «диполь», з підвищеними баричними градієнтами у перехідній штормовій зоні від Британії через Північне на Балтійське море. Відповідно, карта аномалій приземного тиску за серпень демонструє смугу з від’ємними значеннями від Східної Атлантики до Скандинавії, а переважна частина Європи має розподіл тиску в межах норми.

Додатні аномалії середньої місячної температури виділяються у меридіональній смузі від Балкан, через Румунію, Польщу до Німеччини.

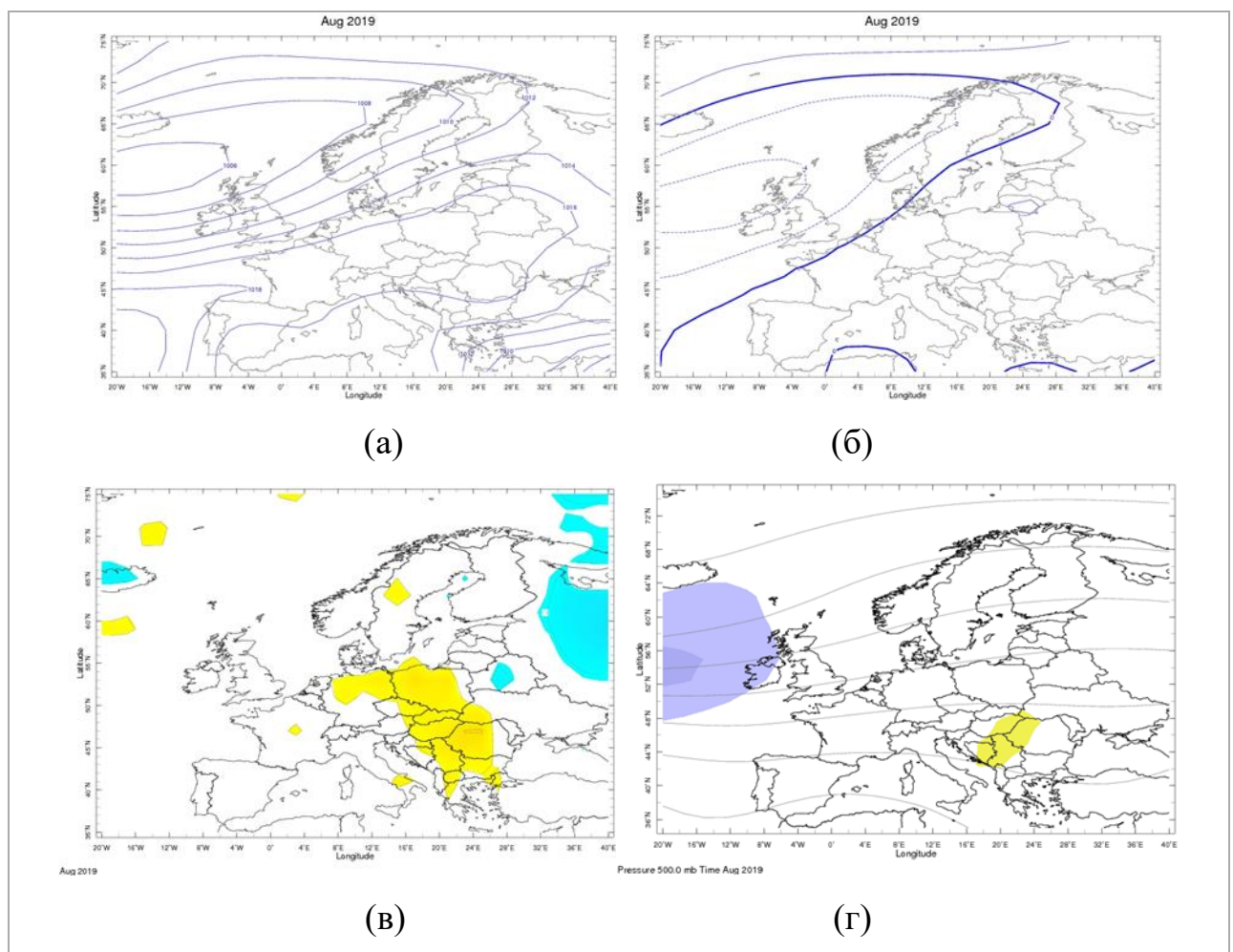


Рисунок 5.4 - Синоптичні карти за серпень 2019 р.: (а) - середній місячний тиск на рівні моря; (б) – середня місячна аномалія тиску на рівні моря; (в) – середня місячна аномалія температури повітря; (г) - середня місячна аномалія поля Н500

Надалі визначимо особливості циркуляції атмосфери у період формування потужних ХТ над Європою влітку 2021 р.

Так званий, «тепловий купол», встановився на південному сході Європи з тривалим періодом сильної спеки – рис.5.5. На картах представлено поле Н500 (ізолініями) та аномалії Н500 (кольорове позначення в декаметрах за шкалою), як різниці Н500 і середньої висоти Н500 для кожної точки, що вказує райони, де очікується аномалія температури повітря вище або нижче середньої. Таким чином, посилення гребеневої структури відмічалось саме з кінця липня до початку серпня 2021 р.

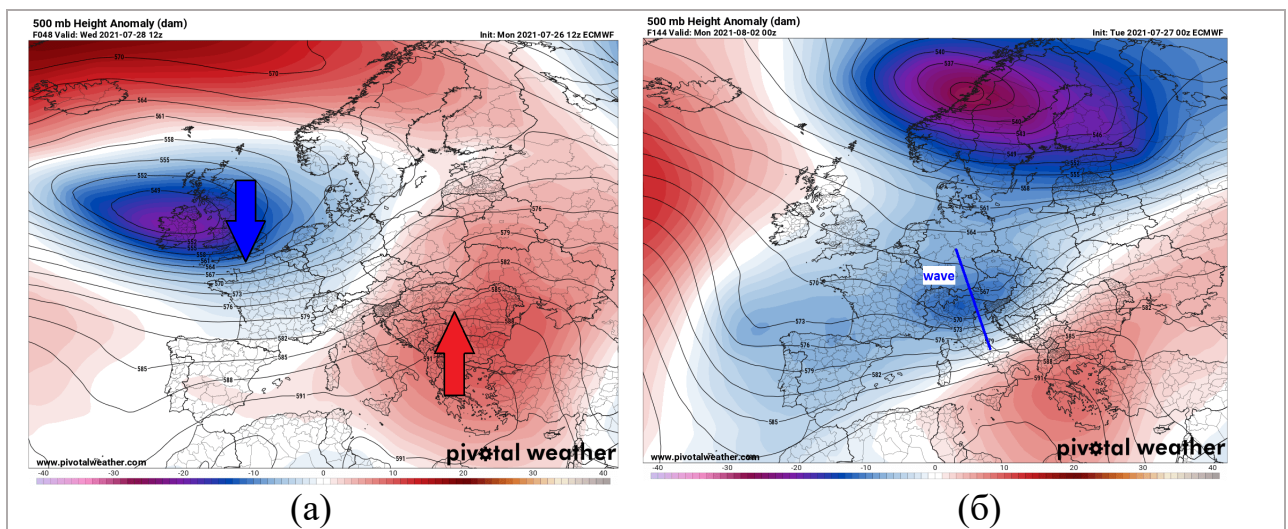


Рисунок 5.5 - Прогностичні карти аномалії Н500: (а) – 28.07.2021 р.; (б) – 02.08.2021 р.

У полі осередненого приземного тиску за червень простежується поступове поширення гребеня з Атлантики на європейський регіон і, далі, до Східноєвропейської рівнини. При цьому, Азорський максимум розвинений сильніше, ніж зазвичай - рис.5.6.

На карті аномалії тиску над рівнем моря виділяється смуга зональної направленості додатних відміток саме у північному та східному секторі Європи, в межах широтного кола 50-70° півн.ш.; інша частина Європи має показники тиску в межах норми.

Переважну територію Європи у червні охоплювала додатна аномалія температури з найвищими відхиленнями до 4-6°C над Фінляндією та північню Східноєвропейської рівнини, що повністю узгоджується з осередком значної додатної аномалії H500 (гребеневої структури).

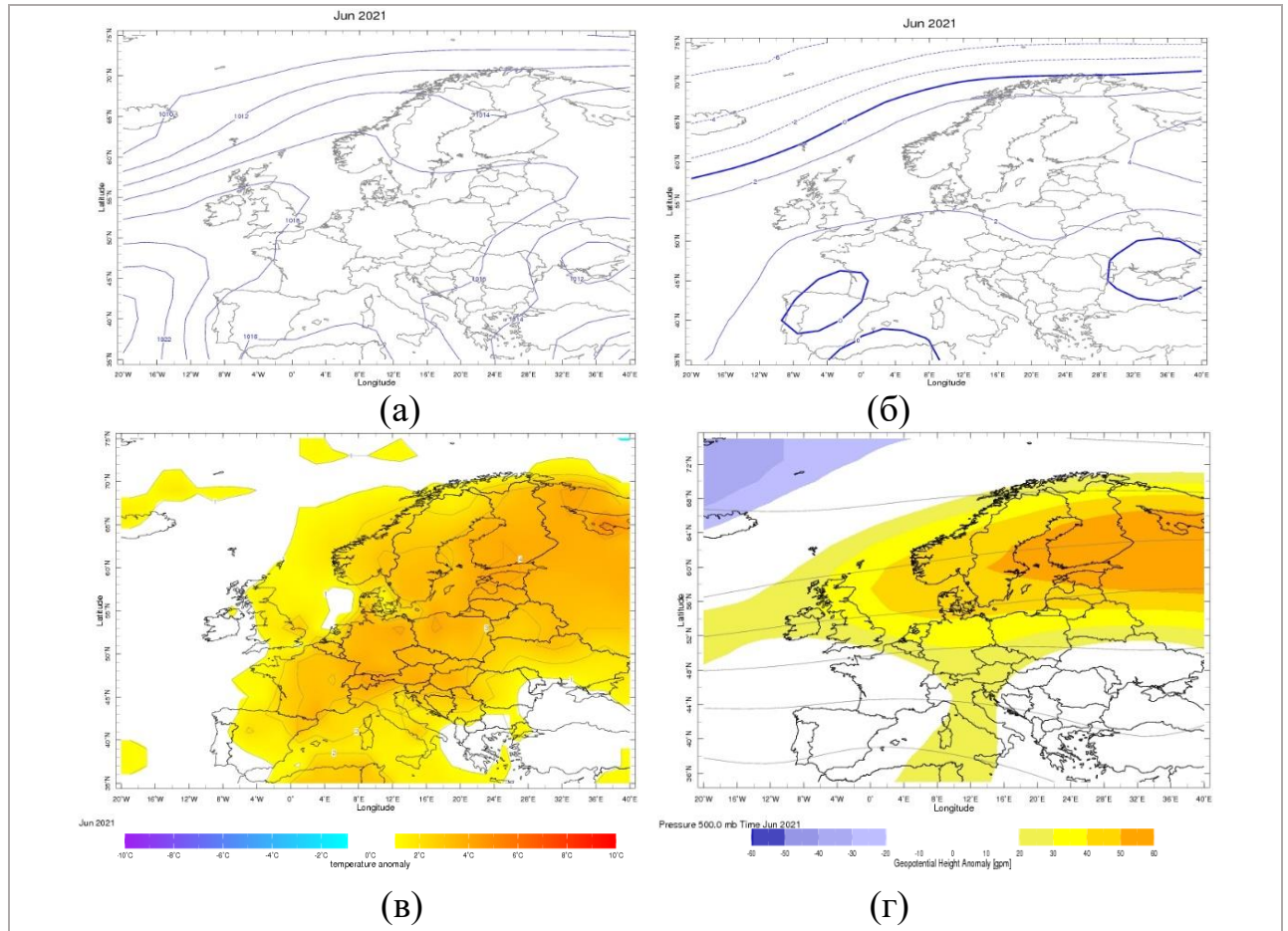


Рисунок 5.6 - Синоптичні карти за червень 2021 р.: (а) - середній місячний тиск на рівні моря; (б) – середня місячна аномалія тиску на рівні моря; (в) – середня місячна аномалія температури повітря; (г) - середня місячна аномалія поля H500

У липні структура осередненого приземного баричного поля практично ідентична червневій – посилення Азорського максимуму з поширенням відрогу на всю європейську територію, Східноєвропейську рівнину та далі, до Сибіру (рис.5.7). Аномалія середнього тиску вказує на зональну смугу додатних позначок у межах 55-65° півн.ш.

Аномалії поля Н500 виділяють потужний осередок перевищень, що відповідає баричному максимуму над Північною Атлантикою та Ісландією, і, менш інтенсивний, над Східною Європою, такий розподіл узгодиться з найвищими додатними аномаліями температури повітря над Балтійським морем та країнами Балтії (до 4°C).

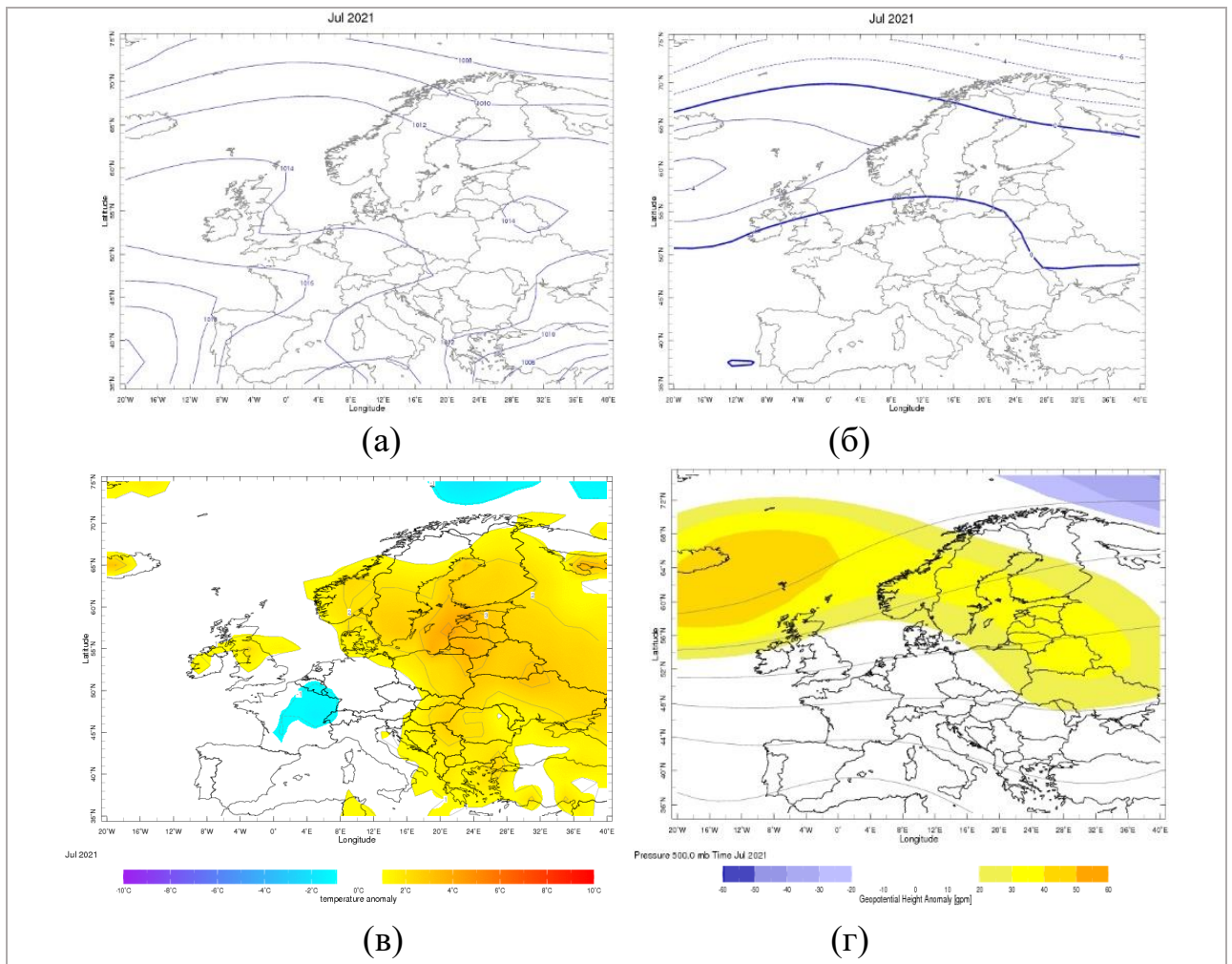


Рисунок 5.7 - Синоптичні карти за липень 2021 р.: (а) - середній місячний тиск на рівні моря; (б) – середня місячна аномалія тиску на рівні моря; (в) – середня місячна аномалія температури повітря; (г) - середня місячна аномалія поля Н500

Оскільки аномальна спека та рекордні показники температури повітря відмічалися у першій половині серпня 2021 р., то осереднене за місяць поле

приземного тиску та H500 не виявляє чіткий процес блокування панівного потоку. Так, додатна аномалія приземного тиску та H500 охоплює Атлантику, а над Східною Європою вже змінюється знак баричного поля і виокремлюється осередок від'ємної аномалії, хоча у полі приземного тиску чітко виділяється відріг Азорського максимуму над заходом та центром Європи – рис.5.8. Від'ємна аномалія H500 над Балтійським морем та Польщею узгодиться з висотною улоговиною, що поширюється з півночі, зумовлюючи місячні від'ємні аномалії температури повітря над Європою.

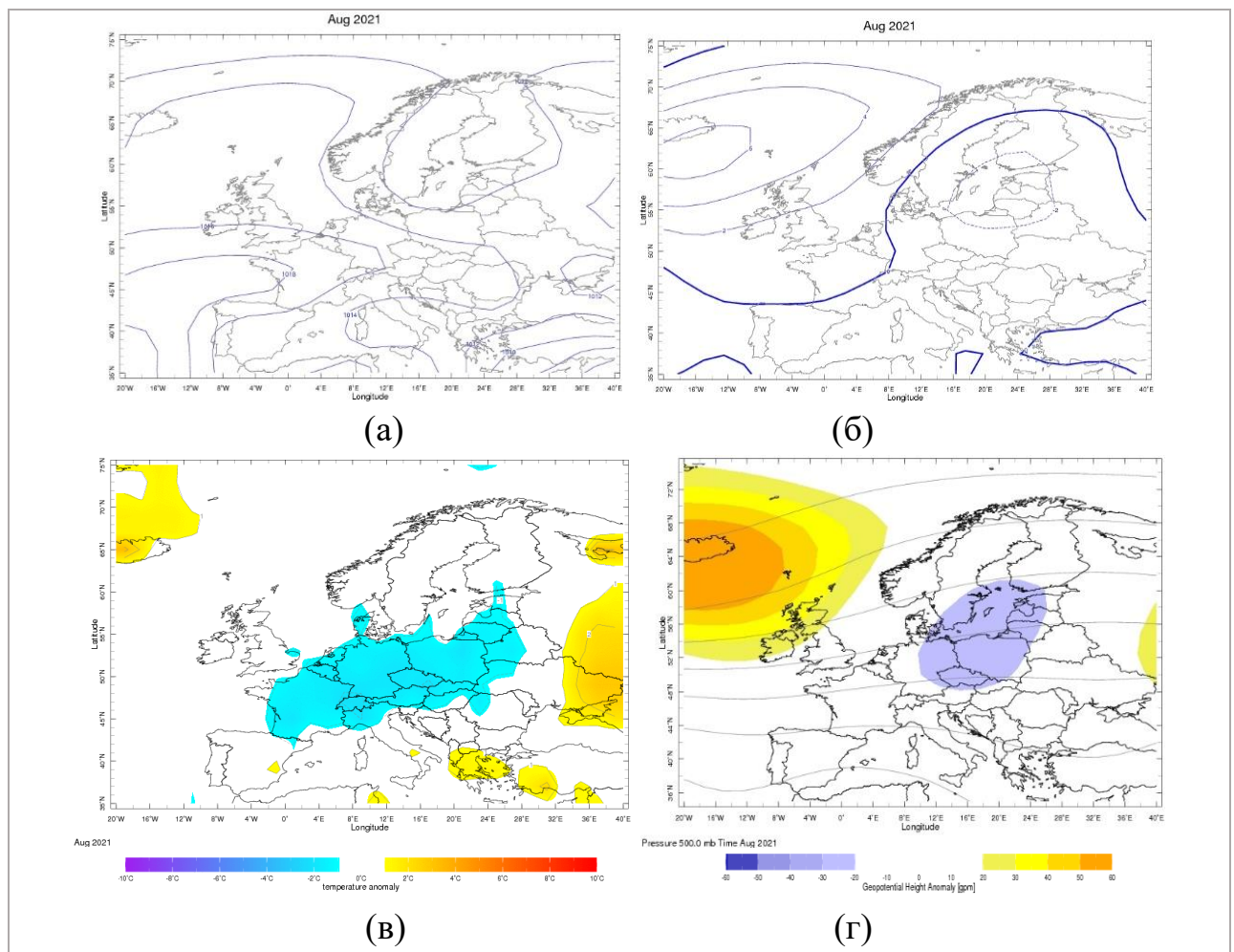


Рисунок 5.8 - Синоптичні карти за серпень 2021 р.: (а) - середній місячний тиск на рівні моря; (б) – середня місячна аномалія тиску на рівні моря; (в) – середня місячна аномалія температури повітря; (г) - середня місячна аномалія поля H500

За такої конфігурації приземних та висотних баричних полів, додатна аномалія температури за серпень охоплює нетипово Гренландію і Ісландію у гребеневій структурі над Атлантикою, та частково Балкани, схід України, Кавказ і Західний Сибір, де виокремлюються перевищення норми до 3°C.

Детальний аналіз адвекції тепла щоденно у першій половині серпня 2021 р. чітко позначає найвищі показники на півдні Європи та північню Африки (рис.5.9). Потужні осередки найвищих додатних аномалій температури на рівні АТ-850 охоплюють Середземномор'я, Марокко, північ Алжиру, Балкани та поширюються у меридіональному напрямку від Малої Азії, через Кавказ на Східноєвропейську рівнину й співвідносяться з положенням відрогу Азорського максимуму біля поверхні землі.

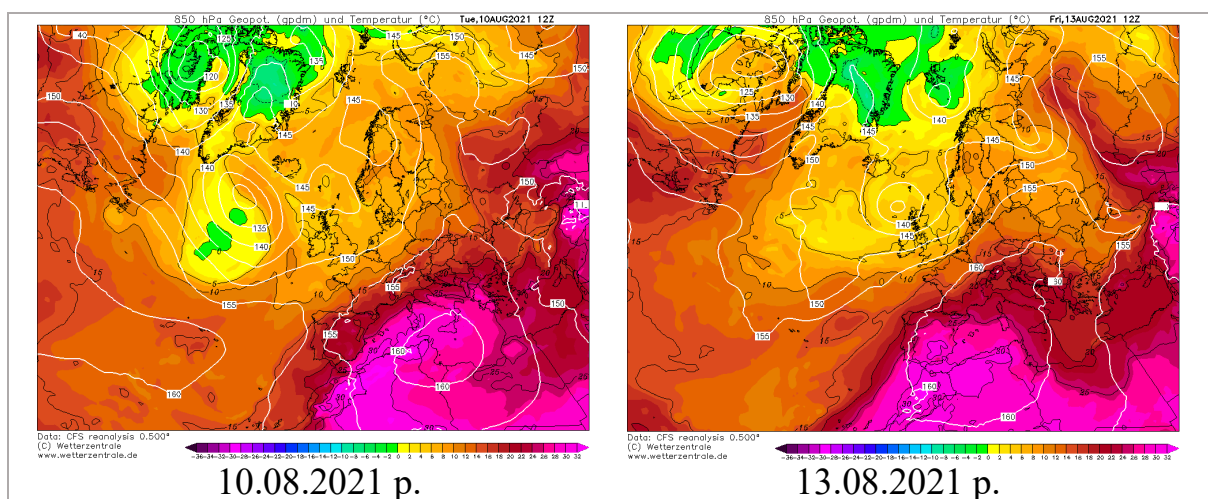


Рисунок 5.9 - Карти Н850 гПа з розподілом температури повітря Т850

Визначимо основні особливості циркуляції атмосфери у період аномальної спеки влітку 2022 р. у Європі.

Вище вже характеризували термін «тепловий купол» стосовно екстремальних та рекордних хвиль спеки. Такий процес виступив основною фоновією причиною розвитку надзвичайно інтенсивної ХТ влітку 2022 р. в Європі. Зазначимо, що тепловий купол був домінуючою масштабною особливістю літа 2022 р. на обох континентах, у Європі та Північній Америці.

Термін «тепловий купол» використовують за умови існування на значній частині континенту масштабної області високого тиску, при її тривалому збереженні декілька діб поспіль або навіть тижнів, що зумовлює стійку погоду. Для Європи це була історична хвиля спеки. Тепловий купол із Західної Європи поступово поширювався в бік Центральної Європи до початку липня, посилюючи триваючу виняткову посуху через накачування тепла. Синоптична ситуація була сприятлива для значного підвищення температури, насамперед на Піренейському півострові. Південно-західна течія у верхніх шарах тропосфери зумовила адвекцію гарячих та сухих повітряних мас безпосередньо з пустельних районів Марокко та Західного Алжиру. Така модель визначається, як «Spain plume».

Надалі тепловий купол зміцнюється у верхніх шарах тропосфери, що призводить до швидкого збільшення тепла і поширення його на всю Європу.

Структура висотних баричних полів чітко виділяє тип блокуючого процесу «омегаподібний» гребінь практично протягом всього літа з періодами трансформації та деякого послаблення (рис.5.10-5.11).

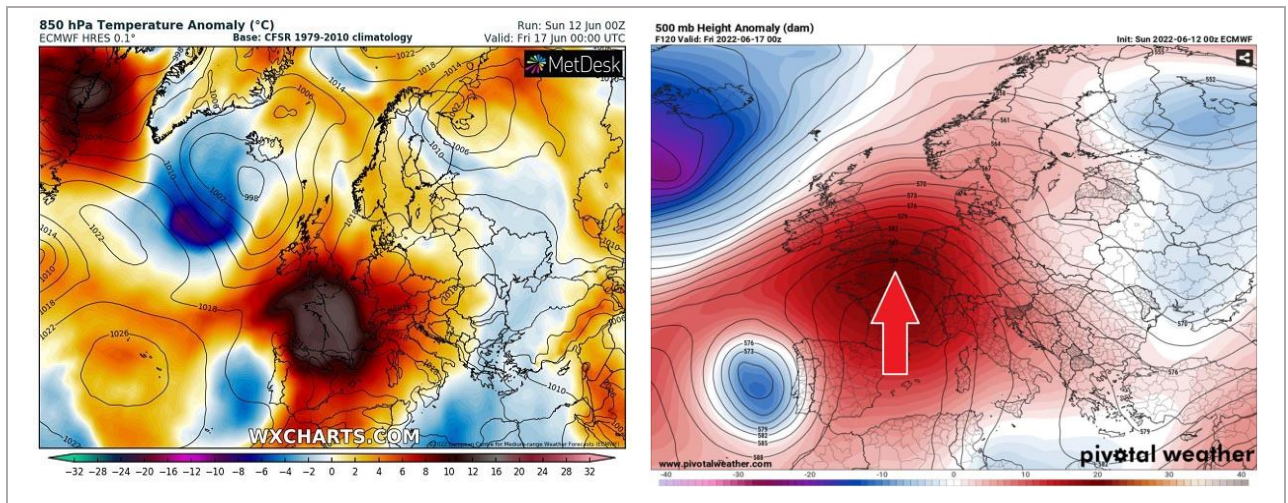


Рисунок 5.10 - Прогностичні карти аномалії на 17.6.2022 р.: (а) – t850; (б) – H500

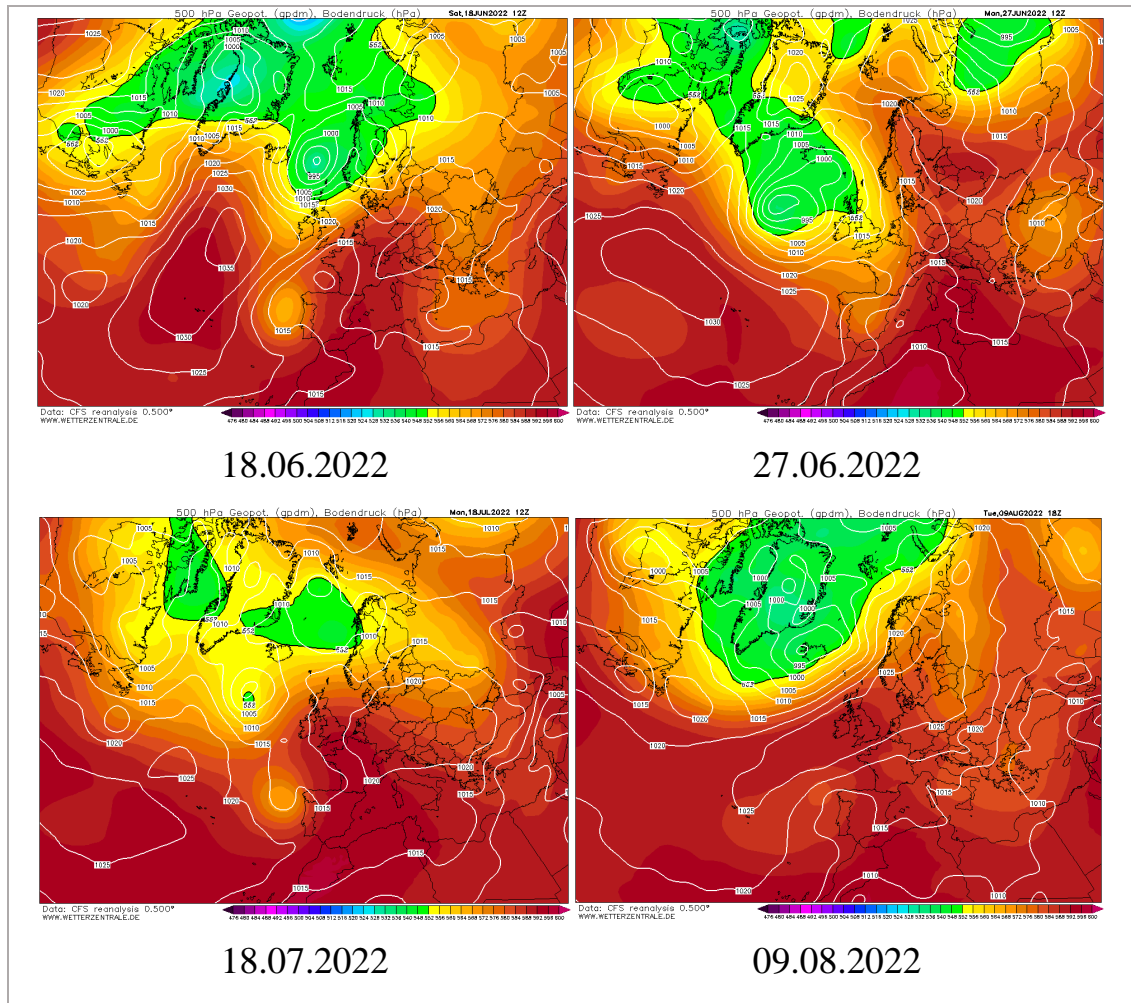


Рисунок 5.11 - Карты 500 гПа з розподілом температури повітря t_{500} і приземний тиск

Проаналізуємо циркуляційні особливості кожного місяця літа.

У червні 2022 р. погода на території європейського регіону визначалася посиленням розвитком Азорського антициклону з масштабним відрогом до сходу та менш інтенсивним Ісландським мінімумом, що визначав погоду в арктичних широтах (рис. 5.12). Середня місячна аномалія тиску виділяє додатні позначки над Східною Європою, а центр та захід регіону перебувають у баричному полі в межах кліматичної норми.

Практично вся Європа охоплена високими додатними аномаліями температури повітря у зв'язку із адвекцією теплих повітряних мас із заходу та півдня – відхилення від норми складають до 3°C .

Осередки додатних аномалій температури узгодяться із значними додатними аномаліями Н500 у системі видовженої у меридіональному напрямку смуги від заходу Середземномор'я через Італію, на Польщу до Скандинавії.

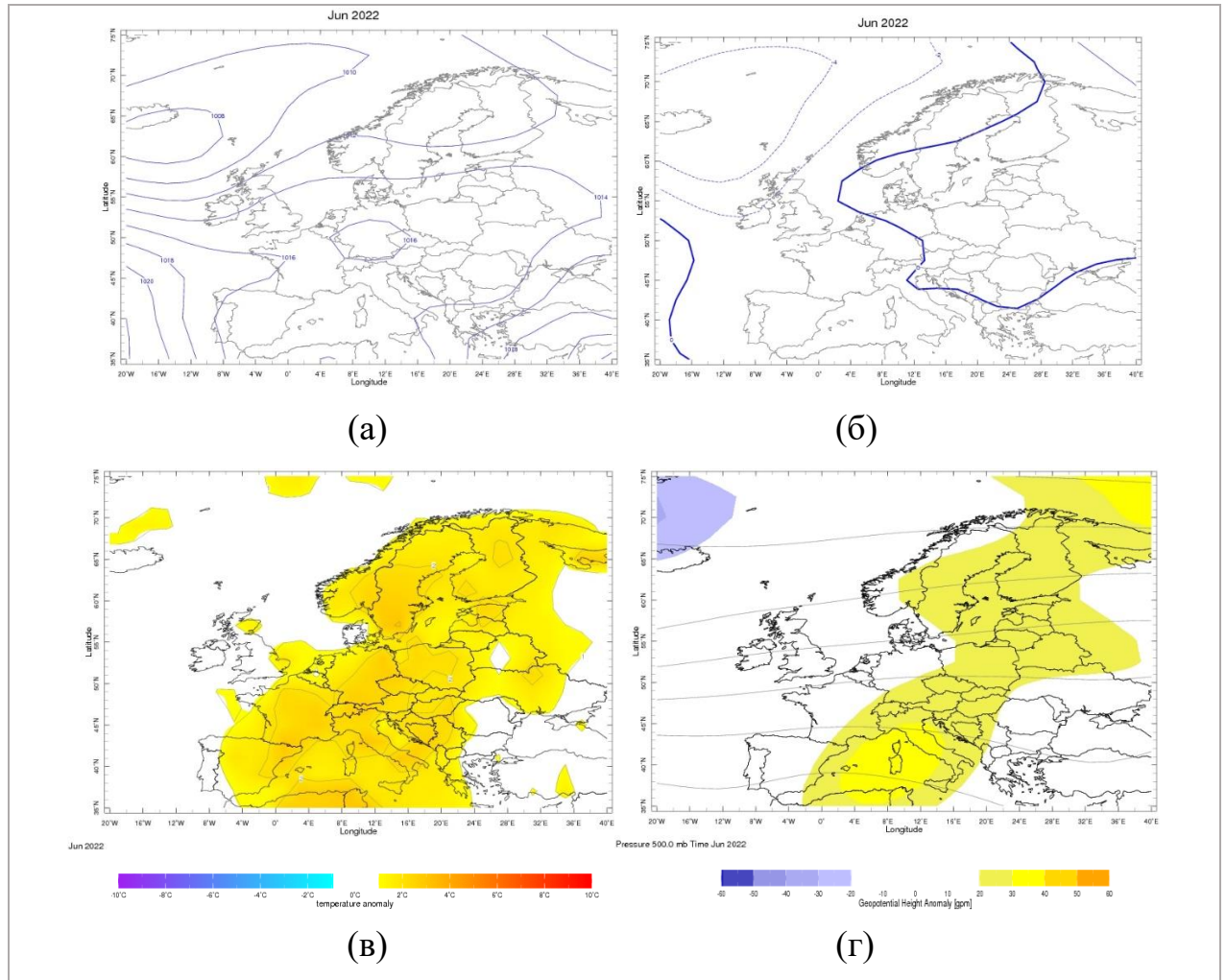


Рисунок 5.12 - Синоптичні карти за червень 2022 р.: (а) - середній місячний тиск на рівні моря; (б) – середня місячна аномалія тиску на рівні моря; (в) – середня місячна аномалія температури повітря; (г) - середня місячна аномалія поля Н500

Липневі високі температури були встановлені у блокуючій системі, що поширювалася із Атлантики вглиб континенту (рис.5.13). Відмічався посилений розвиток Азорського максимуму, що чітко прослідковується навіть

на середніх місячних картах – зміни середнього тиску над європейським регіоном 1014-1022 гПа. Таким чином, формується середня місячна додатна аномалія тиску біля поверхні землі, що охоплює всю Європу і поширюється на схід до Сибіру, найвищі показники до 6 гПа виділяються в осередку поблизу Ірландії. Лише північ Скандинавії та переважна частина Фінляндії знаходяться під впливом Ісландського мінімуму за незначних від’ємних середніх місячних аномалій приземного тиску.

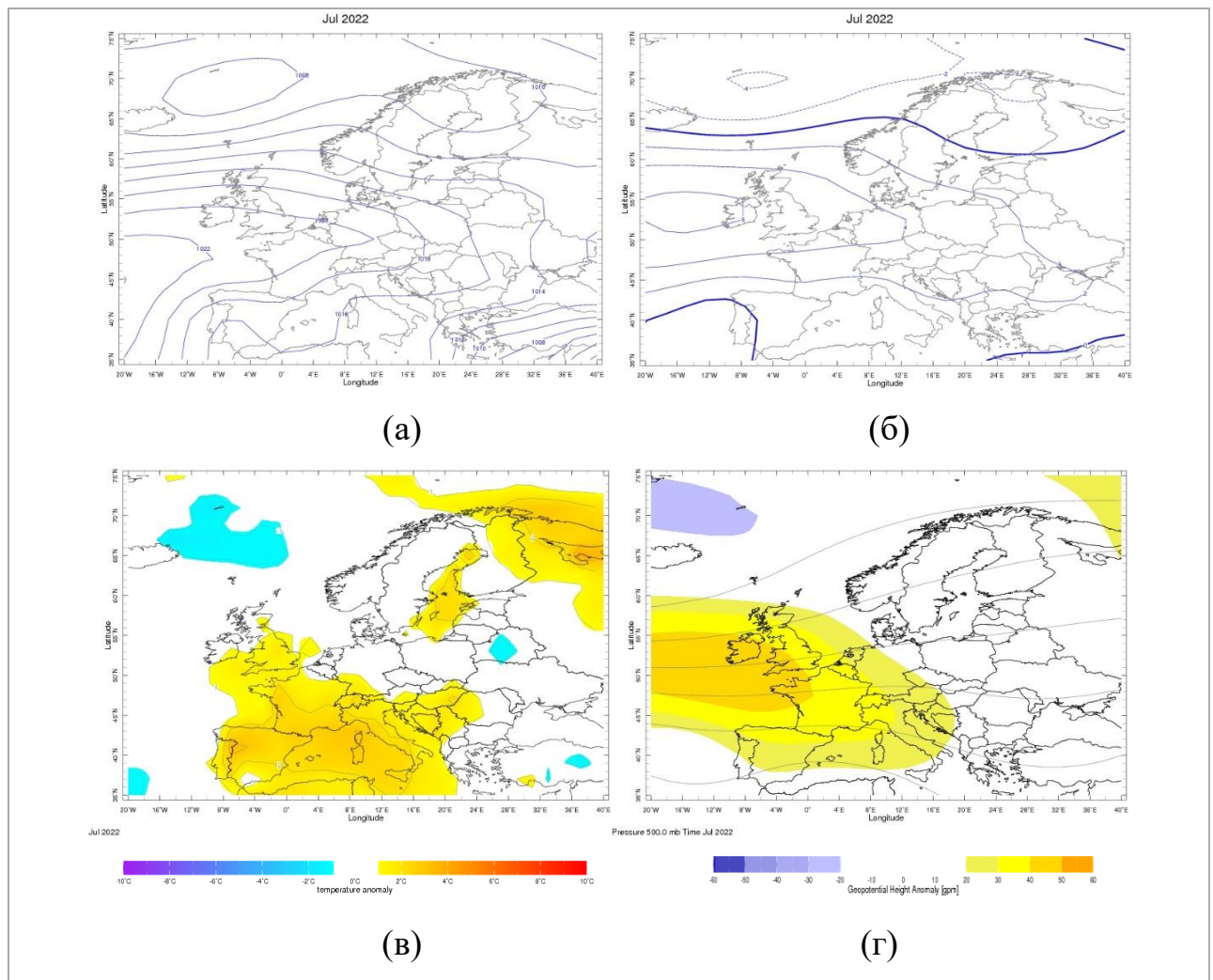


Рисунок 5.13 - Синоптичні карти за липень 2022 р.: (а) - середній місячний тиск на рівні моря; (б) – середня місячна аномалія тиску на рівні моря; (в) – середня місячна аномалія температури повітря; (г) - середня місячна аномалія поля Н500

На рівні 500 гПа високі додатні аномалії геопотенціалу спостерігалися саме над Британією, Західною та Південною Європою у відрозі антициклону. На ці райони припадають найвищі додатні аномалії середньої місячної температури повітря - до 3-4°C в Іспанії, над Корсикою та Сардинією й інші осередки над Балтійським морем та Кольським півостровом і Баренцовим морем.

Синоптичні карти за серпень 2022 р. проілюстровані на рис.5.14.

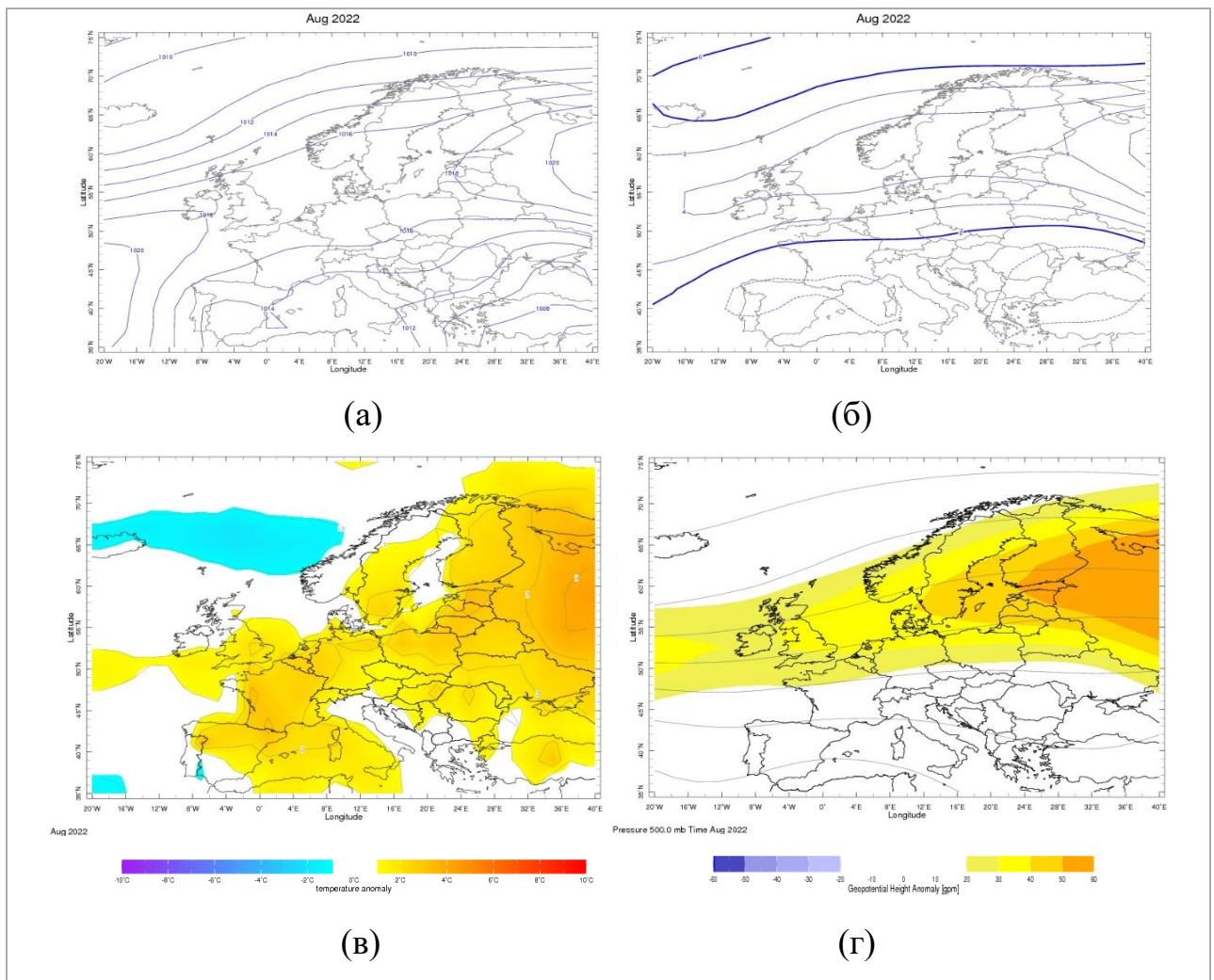


Рисунок 5.14 - Синоптичні карти за серпень 2022 р.: (а) - середній місячний тиск на рівні моря; (б) – середня місячна аномалія тиску на рівні моря; (в) – середня місячна аномалія температури повітря; (г) - середня місячна аномалія поля Н500

Циркуляційні умови місяця характеризувалися встановленням над Європою смуги підвищеного тиску, сформованої відрогом Азорського максимуму (1022 гПа у центрі) з заходу та потужним антициклоном над Сибіром (1022 гПа). Середня місячна аномалія тиску вказує на перевищення кліматичної норми у смузі 50-70° півн.ш., при цьому значна додатна аномалія до 6 гПа виділяється в масштабному осередку над Східноєвропейською і Західносибірською рівниною та Уралом.

На рівні 500 гПа додатні аномалії виражені у вигляді потужного висотного антициклону, що за розташуванням повністю узгоджується з приземними аномаліями тиску.

В результаті середня місячна аномалія температури повітря виділяє високі додатні позначки над саме над Східноєвропейською рівниною – до 4°C. Інший осередок проглядається над Піренеями та Францією – до 3°C. Від’ємні аномалії температури повітря мали місце над Ісландією та Норвезьким морем.

Таким чином, посилені хвилі тепла влітку в Європі, виникають за типових особливостей атмосферної циркуляції – формуванню блокуючих процесів та посиленому розвитку Азорського максимуму.

ВИСНОВКИ

В результаті проведеного дослідження можна зробити наступні висновки:

1. Влітку 2019 р. у Західній та Центральній Європі сформувалися дві великомасштабні ХТ наприкінці червня та у липні. Екстремум $t_{\max}=46^{\circ}\text{C}$ зафіксовано 28 червня на півдні Франції; у Парижі відмічено $42,6^{\circ}\text{C}$, Бельгія та Нідерланди вперше перекрили позначку 40°C .
2. У глобальному масштабі температура повітря за червень 2019 р. виявилася на $0,54^{\circ}\text{C}$ вище за середню місячну, а для Європи - на $2,34^{\circ}\text{C}$ вище норми (1981–2010 рр.). В липні температура повітря була значно вище норми на переважній частині Гренландії (до 9°C), 11-20 червня спостерігався величезний епізод поверхневого танення. У глобальному масштабі липень 2019 р. став на $0,56^{\circ}\text{C}$ вище норми, а серпень – на $0,53^{\circ}\text{C}$.
3. Середня температура повітря влітку 2021 р. була майже на $1,0^{\circ}\text{C}$ вище норми 1991-2020 рр. Температура повітря була особливо високою у Фінляндії; в Лапландії 5 липня зареєстровано $33,6^{\circ}\text{C}$.
4. Для Європи середня температура за червень 2021 р. виявилася на $1,5^{\circ}\text{C}$ вище норми. У липні найбільш інтенсивна ХТ спостерігалася над Балтійським морем (аномалія температури води до 6°C). Середня температура у липні для Європи була на $1,4^{\circ}$ вище норми. До перших днів серпня сформувалася найсильніша спека; частини Італії, Сербії, Північної Македонії, Албанії, Румунії, Болгарії та Греції перебували під впливом екстремальних погодних умов з жорсткою посухою ($t_{\max}=40\dots44^{\circ}\text{C}$), що зумовило сильні пожежі на півдні Європи. На Сицилії 11 серпня зафіксовано $48,8^{\circ}\text{C}$; в Іспанії 13 серпня $47,2^{\circ}\text{C}$.
5. Температура повітря влітку 2022 р. у Європі стала найвищою за всю історію спостережень, середня температура за сезон виявилася на $1,34^{\circ}\text{C}$ вище від норми. Відмічалось три ХТ: у середині червня - найбільш рання

ХТ в Європі за всю історію спостережень; у середині липня та у першій половині серпня. Спостерігалось танення альпійських льодовиків, при підвищенні температури на піку Доломітових Альп до 10°C . Значна частина Європи опинилася під впливом жорсткої посухи та масштабних й руйнівних пожеж. Аномальна спека призвела до тисяч смертей у Європі.

6. 29 червня в Норвегії зафіксували температуру $32,5^{\circ}\text{C}$, це найвища температура для Полярного кола у Європі. Червень 2022 р. виявився для Європи на $1,57^{\circ}\text{C}$ вище норми. Температура досягла рекордних 47°C у Португалії 14 липня; у Лондоні 18 липня вперше зафіксовано 40°C ; у глобальному масштабі липень 2022 р. був $0,38^{\circ}\text{C}$ вище норми. Середня температура серпня була найвищою за всю історію спостережень для Європи (на $1,72^{\circ}\text{C}$).
7. Циркуляційні умови формування ХТ влітку у Європі виділили подібні процеси. Переважали блокуючі форми висотного баричного поля типу «омегаподібний» гребінь з відмінністю розміщення гребеневої структури – на заході і центрі Європи та у центрі і на сході регіону. У всіх досліджуваних періодах у приземному полі спостерігався посилений розвиток Азорського максимуму з поширенням відрогів далеко на схід у широтному напрямку. Найсильніші хвилі тепла виникли при формуванні, так званого, теплового куполу – тривалому існуванню блокуючої системи.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Базалєєва Ю.О., Балабух В.О. Повторюваність, тривалість та інтенсивність блокувальних процесів, що зумовлюють аномальні погодні умови в Україні. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2016. Вип.268. С.44-51.
2. Балабух В.О., Базалєєва Ю.О., Ягодинець С.М. Вплив блокувальних процесів на повторюваність та інтенсивність аномальних умов погоди в Україні, пов'язаних з температурою повітря. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2016. Т.3 (42). С.85-94.
3. Басок Б. Глобальне потепління: проблеми, дискусії та прогнози / Б.Басок, Є. Базєєв. *Світогляд*. 2020. № 6. С.4-15.
4. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналіт. доповідь / С.П. Іванюта, О.О. Коломієць, О.А. Малиновська, Л.М. Якушенко; за ред. С.П. Іванюти. К: НІСД, 2020. 110 с.
5. Логинов В.Ф. Сезонные особенности многолетних изменений глобального климата и их причины. *Український географічний журнал*. 2013. №2. С.23-29.
6. Логинов В.Ф. Тренды, «скачки» и паузы в изменении глобального и регионального климата и их возможные причины. *Український географічний журнал*. 2015. № 1. С.12-19.
7. Лялько В.І., Єлістратова Л.О., Кульбіда М.І., Апостолов О.А., Барабаш М.Б. Парниковий ефект і зміни клімату в Україні: оцінки та наслідки. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2015. Вип.6. С.33-63.
8. Мартазинова В.Ф., Иванова Е.К. Пространственное изменение поля давления воздуха над северным полушарием в период глобального потепления. *Фізична географія та геоморфологія*. 2009. Вип.57. С.36-43.
9. Мартазинова В.Ф., Иванова Е.К., Щеглов А.А. Тенденция современного температурно-влажностного режима Украины к аномальности за счёт

- атмосферних процесів в літній сезон. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2016. Вип. 268. С.15-24.
10. Оцінка вразливості до зміни клімату: Україна / Автор.колектив: О. Шевченко, О. Власюк, І. Ставчук, М. Ваколюк, О. Ілляш, А. Рожкова / Кліматичний форум східного партнерства (КФСП) та Робоча група громадських організацій зі зміни клімату (РГ НУО ЗК), 2014. 74с.
 11. Пашков А.П., Семенова А.М., Немикіна А.Д. Глобальні зміни клімату: загрози людству та шляхи вирішення. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2009. Вип. 19.15. С.107-115.
 12. Самчук Є.В. Просторово-часова мінливість атмосферного блокування на території Євроатлантичного сектору Північної півкулі за період 1976-2015 роки. *Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна*. Серія: Геологія. Географія. Екологія. 2017. Вип. 47. С.160-168.
 13. Синоптико-климатическая характеристика процессов блокирования в атмосфере. Обзорная информация / под ред. Н.А. Иванова, Л.В. Гришкина. *Труды ВИИГМИ-МЦД*. 1989. Вып. 2. 53 с.
 14. Сівак А.В., Нажмудінова О.М. Аномалії температурного режиму на Україні. *Матеріали студентської наукової конференції ОДЕКУ* / Одеса: ОДЕКУ. 2021. С.424-427.
 15. Сівак А.В., Нажмудінова О.М. Екстремальність температурного режиму на території Європи влітку 2021 р.. *Матеріали XXI наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ*. Одеса: ОДЕКУ. 2022. С.211-212.
 16. Сніжко С., Шевченко О, Свінціцька Г. Хвилі тепла в центральних областях України за умов сучасних змін клімату. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки*. № 2(39). 2018. С.58-62.
 17. Шевченко О.Г., Сніжко О.Г. Хвилі тепла та основні методологічні проблеми, що виникають при їх дослідженні *Український гідрометеорологічний журнал*. 2012. № 11. С.101–108.

18. Climate Change Evidence & Causes. An overview from the Royal Society and the US National Academy of Sciences. Royal Society. 2020. 36 p.
19. Lejenas H., Okland H. Characteristics of Northern hemisphere blocking as determined from a long-time series of observational data // Tellus. 1983. V. 35A. N 5. P. 350-362.
20. Toreti A., Bavera D., Acosta Navarro J., Cammalleri C. et., Drought in Europe August 2022, Publications Office of the European Union: Luxembourg. 2022. 24 p.
21. Wilson L., New S., Daron J., Golding N. Climate Change Impacts for Ukraine. Met Office. 2021. 34 p.
22. <http://iridl.ldeo.columbia.edu/>
23. <https://climate.copernicus.eu/>
24. <https://public.wmo.int/en/>
25. <https://www.ecmwf.int/>
26. <https://www.severe-weather.eu/>
27. <https://www.wetterzentrale.de>

Додаток А

Довідка

кафедри метеорології та кліматології
до кваліфікаційної роботи
магістра гр. МЗМ-21 Сівак Анастасії Василівни
на тему
«Аномалії температури повітря над Європою»

Виконання кваліфікаційної роботи магістра проведене в рамках бюджетної кафедральної тематики «Розробка та вдосконалення методів прогнозу небезпечних та стихійних метеорологічних явищ над Україною», № 0120U100487. Результати, отримані в кваліфікаційній роботі магістра, можуть бути використані у розділах звіту з науково-дослідної роботи кафедральної теми.

Зав. кафедри

/Прокоф'єв О.М./