

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

Факультет Гідрометеорологічний інститут

Кафедра метеорології та кліматології

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: Багатомасштабний взаємозв'язок атмосферного блокінгу з
екстремальними явищами погоди

Виконав магістр 2 курсу групи МЗК – 19
спеціальності 103 – Науки про Землю
Холостенко Андрій Миколайович

Керівник к.геогр.н., доцент
Хоменко Інна Анатоліївна

Рецензент д.геогр.н., професор
Берлінський Микола Анатолійович

Одеса 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут, факультет Гідрометеорологічний інститут
Кафедра метеорології та кліматології
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність 103 – Науки про Землю
(шифр і назва)
Освітньо-наукова програма Кліматологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

Прокоф'єв О.М.

“ 26 ” жовтня 2020 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Холостенку Андрію Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Багатомасштабний взаємозв'язок атмосферного блокування з екстремальними явищами погоди

керівник роботи Хоменко Інна Анатоліївна, к.геогр.н., доц.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “16” жовтня 2020 року № 124-с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 7 грудня 2020 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) добова максимальна температура повітря з травня по вересень для м. Київ, Одеса, Львів, Полтава, Ужгород, Умань, Сімферополь за 1999 – 2018 рр., дані об'єктивного аналізу NCEP/NCAR, карти середньомісячних аномалій приземної температури, опадів біля поверхні землі, геопотенціальної висоти ізобаричної поверхні 500 гПа і індексу SPI3, приземні карти, карти максимальної температури повітря на рівні 2 м

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Визначення областей блокування для десяти епізодів з найінтенсивнішими хвилями тепла за період 1999-2018 рр. з використанням критерію Тібальді-Мольтені, виявлення зв'язку між атмосферним блокуванням і процесами більш дрібних масштабів, які підтримують стаціонарування антициклону і підсилюють аномальні явища, пов'язані з такими антициклонами

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) часово-просторові поля наявності критерію Тібальді-Мольтені, просторовий розподіл

топографії ізобаричної поверхні 500 гПа, просторовий розподіл вертикальних рухів на ізобаричній поверхні 700 гПа, просторовий розподіл відносної вологості і вектору швидкості вітру на ізобаричній поверхні 850 гПа


6. Консультанти розділів проекту (роботи)

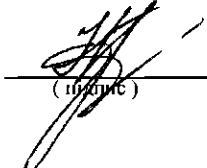
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 26 жовтня 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін Виконання етапів проекту (роботи)	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	Вивчення літературних джерел за темою дипломного проекту.	26 – 30 жовтня 2020 р.	85	добре
2.	Підготовка даних метеорологічних спостережень до обробки.	31 жовтня - 1 листопада 2020 р.	90	відмінно
3.	Обробка даних метеорологічних спостережень за допомогою графічно-розрахункових пакету «Excel», пакету прикладних програм «Matlab»	2-9 листопада 2020 р.	90	відмінно
4.	Побудова часово-просторових полів наявності критерію Тібіальді-Мольтені, просторового розподілу топографії ізобаричної поверхні 500 гПа, просторового розподілу вертикальних рухів на ізобаричній поверхні 700 гПа, простороого розподілу відносної вологості і вектору швидкості вітру на ізобаричній поверхні 850 гПа	10-12 листопада 2020р.	95	відмінно
5.	Аналіз отриманих результатів.	12-16 листопада 2020 р.	80	добре
Атестація		17 листопада 2020 р.	85	добре
6.	Аналіз отриманих результатів.	18 листопада – 2 грудня 2020р.	80	добре
7.	Оформлення магістерської роботи.	3-6 грудня 2020 р.	75	добре
8.	Перевірка на плагіат	8-10 грудня 2020 р.		
9.	Підготовка комп'ютерної презентації та доповіді до захисту магістерської роботи.	11-18 грудня 2020 р.		
10.	Попередній захист дипломної роботи.	19 грудня 2020 р.		
Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)				

Студент  Холостенко А.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)  Хоменко І.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Анотація

Тема: „Багатомасштабний взаємозв'язок атмосферного блокінгу з екстремальними явищами погоди”

Автор: Холостенко А.М.

Актуальність проблеми. Із атмосферним блокінгом пов'язані різкі аномалії погоди, вони здійснюють суттєвий вплив на життєдіяльність людини. Згідно з Атласом смертності й економічних збитків від аномальної погоди, пов'язаної з блокуючим антициклоном 2010 р., загинуло 56 000 людей, а економічні збитки сягнули 12 млрд доларів США. Тому поява підвищеного інтересу до цього процесу, його формування і можливостям прогнозу є цілковито природною. Вивчення механізмів даного процесу може поліпшити прогноз атмосферного блокінгу.

Метою даної роботи є оцінка ролі атмосферного блокінгу у формуванні інтенсивних хвиль тепла, що мали місце в період 1999-2018 рр. з 1 травня по 30 вересня на території України, а також виявлення супроводжувальних хвиль тепла явищ, які в подальшому можна використовувати для ідентифікації механізмів, що вимушують встановлення аномально спекотної погоди.

Відповідно до поставленої мети було розв'язано такі **задачі**:

- на основі індексу інтенсивності хвиль тепла, HWMId, виявлено десять епізодів з найінтенсивнішими хвилями тепла, які мали місце на території України з 1999 по 2018 рр.;
- побудовано просторово-часовий розподіл критерію Тібальді-Мольтені і виявлено області атмосферного блокінгу за цим критерієм;
- для двох випадків рекордних хвиль тепла зроблено детальний аналіз термобаричної структури блокуючих антициклонів і його динамічної взаємодії з процесами менших масштабів.

Об'єкт дослідження – хвиля тепла, стаціонарні антициклони.

Предмет дослідження – фізичні механізми і комплексні умови формування атмосферного блокінгу і пов'язаних з ним аномальних погодних умов.

Методи дослідження – фізико-статистичний, синоптичний і гідродинамічний аналіз.

Наукова новизна отриманих результатів.

В даній роботі *вперше* для території України:

- за допомогою індексу інтенсивності хвиль тепла, HWMId, виявлено десять епізодів з найінтенсивнішими хвилями тепла;
- зроблено детальний аналіз термобаричної структури блокуючих антициклонів і його динамічної взаємодії з процесами менших масштабів.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати можуть бути використані для покращення уявлень про фізичні механізми утворення і підтримки атмосферного блокінгу, що може бути надалі поліпшити якість прогнозу стаціонарних антициклонів і небезпечних погодних явищ, які з ними пов'язані.

Магістерська робота в обсязі 71 сторінок складається з 3 розділів, висновків, переліку посилань з 39 джерел, трьох додатків, містить 19 рисунків і 2 таблиць.

Ключові слова: атмосферне блокування, хвиля тепла, посуха, динамічна взаємодія, процеси більш дрібних масштабів

Summary

Topic: "Multi-scale linkage of atmospheric blocking to extreme weather events"

Author: Kholostenko A.M.

Urgency of the issue. Atmospheric blocking is associated with severe abnormal weather, they have a significant impact on human life. According to the Atlas of Mortality and Economic Losses, the abnormal weather associated with the blocking anticyclone in 2010 killed 56,000 people and caused \$ 12 billion in economic damage. Therefore, increased interest in atmospheric blocking, its formation and forecasting capabilities is quite natural. Studying the mechanisms of atmospheric blocking can improve its prognosis.

Aim of this study is to assess the role of atmospheric blocking in the formation of intense heat waves occurred in the period 1999-2018 from May 1 to September 30 in Ukraine, as well as to reveal events accompanying heat waves that can be used to identify mechanisms, forcing the emergence of abnormally hot weather.

According to aim assigned **such tasks** are solved:

- ten episodes with the most intense heat waves that took place in Ukraine from 1999 to 2018 are revealed based on heat-wave magnitude index daily, HWMId;
- the spatio-temporal distribution of the Tibaldi-Molteni criterion is obtained and the areas of atmospheric blocking are revealed;
- for two heat waves, complex analysis of the thermobaric structure of blocking anticyclones and its dynamic interaction with smaller-scale processes was made.

Object of scientific research is heat waves, atmospheric blocking.

Subject of scientific research is the physical mechanisms and complex conditions of the formation of atmospheric blocking and related extreme weather.

Methods of scientific research - physical-statistical, synoptic and hydrodynamic analysis.

Scientific novelty of results obtained.

In this work, for the first time for the territory of Ukraine:

- using the heat wave intensity index, HWMId. ten episodes with the most intense heat waves are revealed;
- detailed analysis of the thermobaric structure of blocking anticyclones and its dynamic interaction with small-scale processes is made.

Practical importance of results obtained. The obtained results can be used to improve the understanding of the physical mechanisms of formation and maintenance of atmospheric blocking, which can further improve the quality of the forecast of stationary anticyclones and extreme weather associated with them.

The master's thesis of 71 pages consists of 3 sections, conclusions, a list of references from 39 sources, three annexes, contains 19 figures and 2 tables

Keywords: atmospheric blocking, heat wave, drought, dynamic interaction, smaller-scale processes

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 БЛОКУЮЧІ АНТИЦИКЛОНИ.....	8
1.1 Визначення і характеристики блокуючих процесів.....	8
1.2 Теорії утворення, існування і руйнування блокуючих антициклонів.....	11
1.3 Механізми виникнення і підтримки атмосферного блокінгу.....	14
1.4 Кліматологія блокуючих процесів.....	17
2 БАЗА ДАНИХ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	21
3 ДИНАМІЧНА ВЗАЄМОДІЯ АТМОСФЕРНОГО БЛОКІНГУ З ПОСУХАМИ І ХВИЛЯМИ ТЕПЛА	24
3.1 Огляд епізодів з інтенсивними хвилями тепла.....	24
3.2 Поля критерію Тібальді-Мольтені для найінтенсивніших епізодів з хвилями тепла.....	26
3.3	33
ВИСНОВКИ.....	51
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	53
Додаток А.....	57
Додаток Б.....	58
Додаток В.....	65

ВСТУП

Великі стаціонарні циклони та антициклони спостерігаються по всій товщині тропосфери та в нижній стратосфері. Фронтальні розділи та ВФЗ проходять по периферіям цих утворень, що є компонентами висотних деформаційних полів, в наслідок чого самі визначають характер циркуляції над великими територіями.

Стаціонарні циклони та антициклони можуть розвиватися із фронтальних баричних утворень шляхом їх злиття чи регенерації. В інших випадках вони виникають внаслідок «відсічення» південних частин висотних улоговин та північних частин висотних гребенів при широтних змінах термобаричного поля тропосфери.

Окремим випадком високого великого антициклону є блокуючий антициклон. Так називають великі, високі та малорухомі антициклони, що порушують західне перенесення у помірних широтах на тривалий час (від декількох діб до декількох тижнів). Із блокуванням пов'язані різкі аномалії погоди, вони здійснюють суттєвий вплив на життєдіяльність людини. Згідно з Атласом смертності й економічних збитків від аномальної погоди, пов'язаної з блокуючим антициклоном 2010 р., загинуло 56 000 людей, а економічні збитки сягнули 12 млрд доларів США. Тому поява підвищеного інтересу до цього процесу, його формування і можливостям прогнозу є цілковито природною. Вивчення механізмів даного процесу може поліпшити прогноз атмосферного блокінгу.

Метою даної роботи є оцінка ролі атмосферного блокінгу у формуванні інтенсивних хвиль тепла, що мали місце в період 1999-2018 рр. з 1 травня по 30 вересня на території України, а також виявлення супроводжувальних хвиль тепла явищ, які в подальшому можна використовувати для ідентифікації механізмів, що вимушують встановлення аномально спекотної погоди.

В даній роботі було встановлено зв'язок між десятьма епізодами з найінтенсивнішими хвилями тепла, які мали місце в Україні з 1999 по 2018 рр., та атмосферним блокінгом з використанням критерію Тібальді-Мольтені, більш детально було розглянуто два епізоди атмосферного блокінгу в серпні 2010 і серпні 2015 рр., які супроводжувались рекордними хвилями тепла і інтенсивними посухами. На основі отриманих гідродинамічних характеристик зроблено детальний аналіз термобаричної структури блокуючих антициклонів і його динамічної взаємодії з процесами менших масштабів.

Магістерську кваліфікаційну роботу виконано на кафедрі метеорології та кліматології під керівництвом к.геогр.н., доц. Хоменко І.А.

1 БЛОКУЮЧІ АНТИЦИКЛОНИ: ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ, ТЕОРІЇ ТА СУЧАСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Визначення і характеристики блокуючих процесів

Термін «блокування» вперше був введений в американській літературі в 1950 роки та визначався як форма атмосферної циркуляції в тропосфері помірних широт, при якій виникає малорухливий висотний антициклон, що перешкоджає зональному переносу. Разом з тим, вперше до цього питання звернувся Е. Герріотт ще в 1904 р, а в СРСР - Б.П. Мультановський в 1915 р. [8], виділивши групу антициклонів ультраполярних траєкторій, які перешкождали західно-східному перенесенню.

Блокуючий антициклон є великомасштабною системою з високим тиском в центрі й антициклонічною циркуляцією, яка зазвичай перешкоджає західно-східному перенесенню.

Існує велика кількість визначень терміну «блокуючий антициклон». Так, в [20] наводиться таке визначення: «...розвиток постійної області високого тиску в високих широтах, внаслідок чого гребінь заважає нормальному, західно-східному переміщенню циклонів і антициклонів, з тривалістю існування антициклону 3 дні та більше».

У 1950 р. Рекс [30, 31] запропонував підхід, згідно з яким необхідно виділяти особливості режиму загальної циркуляції атмосфери при блокуванні зонального потоку. Дотримуючись ідей Россбі, Рекс запропонував такі критерії для виділення блокуючих утворень, які стали першими широко живваними: а) основний зональний потік розщеплюється на два приблизно однакові за інтенсивністю потоки; б) дана система з двома струменевими течіями має охоплювати територію завширшки мінімум 45° по довготі; в) в області розщеплення потоку повинен спостерігатися різкий перехід від зонального до меридіонального типу течії; г) така конфігурація повинна існувати мінімум 10 днів. У 1959 р дане визначення було доповнено Рілом [11].

Згідно з визначенням, запропонованим С.П. Хромовим [13], блокуючими називаються високі стабільні антициклони, що порушують західний перенос в середніх широтах. Традиційно такі антициклони визначаються як області великих висот ізобаричної поверхні 500 гПа.

В [16] умовою блокування вважається наявність теплового гребеня між 50° і 70° пн.ш. з тривалістю існування від 6 днів і більше.

Трейдл [37] вважав за необхідне одночасне формування замкнених ізоліній на висотних і приземних картах на північ від 30° пн. ш., які спостерігаються протягом 5 днів і більше.

Колуччі [18] дає опис вже трьох типів блокування (рис. 1.1): крім описаного Рексом розщепленого типу блокування, наведені меридіональний тип і тип омега-блокування. Блокування меридіонального типу практично завжди існує в районі Скелястих гір.

Омега-блокування найчастіше спостерігається над океанами.

При розщепленому типі блокуючих ситуацій переважає розвиток східних процесів. Омега-блокування є одним з найпоширеніших типів блокування і зустрічається в усі пори року. При цьому необхідно зазначити, що процес блокування може починатися за типом омега-блокування, а завершуватися за типом розщепленого і навпаки. Меридіональний тип блокування зустрічається значно рідше згаданих вище.

У зимову пору року в Східному Сибіру спостерігається великий сибірський антициклон, який є приземним баричним утворенням. При цьому на висотних картах йому відповідає область зниженого тиску. Помічено, що при виникненні на захід від Уральських гір блокуючого утворення (розщепленого типу або омега-блокування) відбувається поширення процесу блокування, що почався на висоті, на приземні шари тропосфери і його об'єднання з відрогом сибірського антициклону. При цьому формується східне перенесення уздовж південної периферії антициклону, що сприяє затоку холодного сибірського повітря в південні райони європейської частини Росії, Східної та Південної Європи.

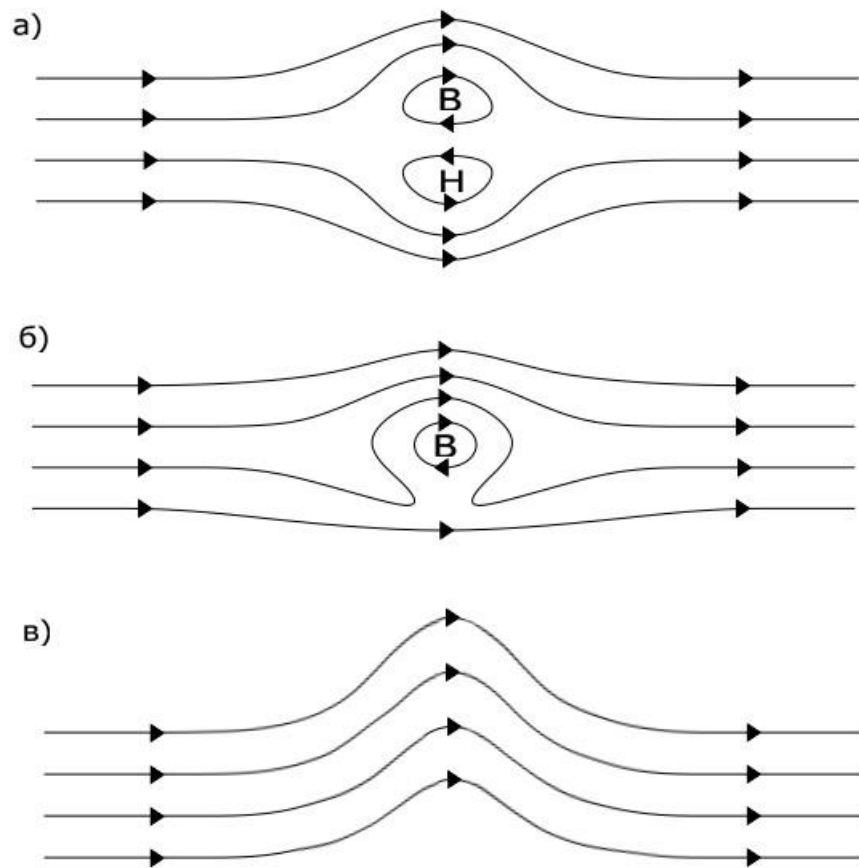


Рисунок 1.1. – Типи блокуючих утворень в поле геопотенціала 500 гПа:

а) розщеплений тип блокування;

б) омега-блокування

в) меридіональний тип блокування ([18])

У зимову пору року переважає утворення блокуючих антициклонів розщепленого типу і поширення відрогів сибірського антициклону на ЕТР, що призводить до нехарактерної, східної циркуляції.

Переважаючими формами циркуляції є північна і східна.

Схожий процес об'єднання двох барических утворень відбувається і влітку: в даному випадку відбувається злиття блокуючого антициклону над європейською територією Росії з відрогом Азорського антициклону.

Влітку при блокуючих ситуаціях спостерігається підйом в північному напрямку полярної висотної фронтальної зони, в південній частині якої, над

європейською територією Росії і Західною Європою, формується високий антициклон, який зливається з відрогом Азорського антициклону. Переважними формами циркуляції є східна і західна.

Блокуючі процеси в весняний і осінній час року можуть розвиватися як за зимовим сценарієм, так і за літнім. Визначальним є характер загальної циркуляції атмосфери, а зміщення меж початку сезонів визначає різний характер розвитку погодних умов.

Безпосередньо погодні умови в блокуючих антициклонах схожі з такими, які спостерігаються в звичайних антициклонах. Проте з огляду на їх тривале існування формуються значні аномалії температури повітря (додатні в літню пору і від'ємні в зимовий), метеорологічні умови, що сприяють накопиченню шкідливих домішок і погіршенню якості повітря, підвищене УФ-опромінення влітку.

Ще один підхід до визначення блокуючих ситуацій викладено в роботах [1,2], де вони описуються як потужні антициклонічні циркуляції у всій товщі тропосфери, що блокують звичайне переміщення бароклиничних збурень на схід.

1.2 Теорії утворення, існування і руйнування блокуючих антициклонів

На даний момент не існує повної теорії генерації і руйнування блокуючих утворень, яка могла б пояснити структуру, розміри, інтенсивність і повторюваність блокувань. У 1950-60-ті роки було вкрай невелика кількість спроб сформулювати відповідну теорію. Однак наприкінці 1970-х років, після декількох епізодів блокування, що викликали істотні економічні втрати, а також внаслідок розвитку мережі спостережень, нових теоретичних підходів і обчислювальної техніки, з'явився підвищений інтерес до даної проблематики.

Деякі теорії блокування, наприклад, хвильова теорія, мають глобальний характер, тоді як інші, наприклад, теорія модонів, розглядають блокуючі утворення як більш локальні явища. Кожна з теорій описує конкретні аспекти

блокування, але жодна з них не здатна комплексно сформулювати причини утворення, тривалого стаціонарування і руйнування блокуючих утворень.

В [4] описаний один з основних синоптичних підходів до пояснення тривалого існування блокуючих утворень – регенерація антициклонів. Регенерацією антициклону називається процес, при якому почалося ослаблення антициклону змінюється новим його посиленням. Регенерація антициклонів відбувається за таких умов: при злитті заключного антициклону циклонічної серії з малорухливим старим антициклоном і при розвитку нового антициклону в відрозі існуючого. Відзначено, що при зміщенні в субтропіки антициклонів помірних широт, вони підтримують тривале існування субтропічних антициклонів.

Регенерація антициклонів відбувається при перебудові термобаричного поля, яке виражається в збільшенні горизонтальних градієнтів температури і створенні умов, сприятливих для антициклогенезу. По суті, обидва процеси схожі, так як відбувається розвиток нового антициклону на тлі старого (рис. 1.2). У процесі регенерації антициклонів новий антициклон, розвиваючись на тлі старого, проходить всі стадії, як і будь-який антициклон. Різниця полягає в тому, що початкове термобаричне поле відповідає вже антициклону, якій слабшає, а не зароджується.

Теорія стаціонарних хвиль описує ситуації блокування як процеси глобального масштабу, пов'язані з інтерференцією довгих стаціонарних хвиль великої амплітуди. У низці досліджень показано, що причинами резонансу хвиль Россбі можуть бути орографічні перешкоди (гірські хребти) [23], відмінності в нагріванні суша-море і поширення хвильових збурень з тропіків, викликаних аномаліями температури поверхні океану, в середні широти [12]. Однак вона є лінійною і, тому, не враховує факт меншої тривалості атмосферних процесів, ніж аномалії температури поверхні океану і, тим більше, ніж прояви топографії [12].

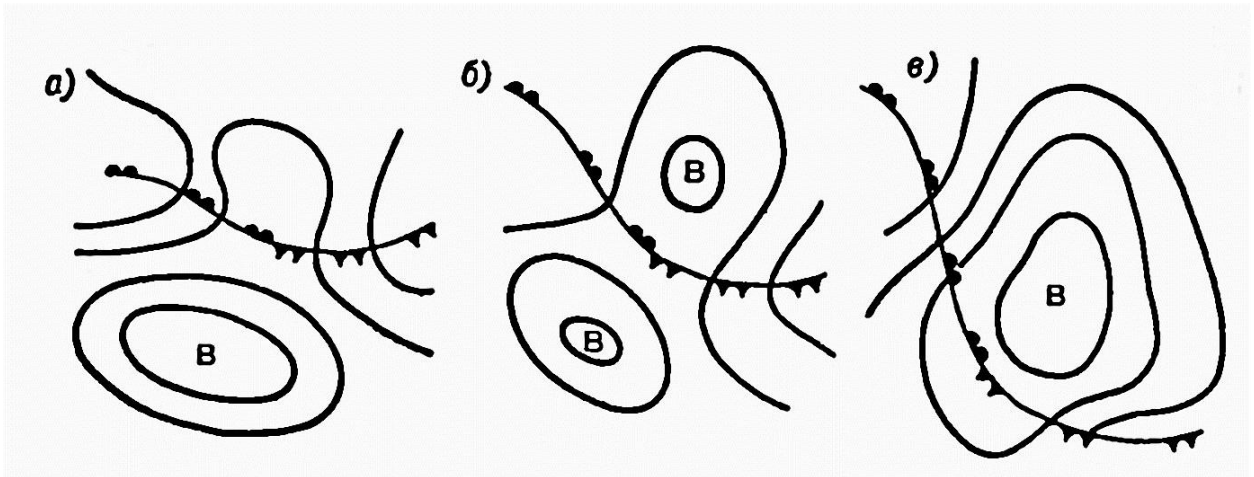


Рисунок 1.2 – Регенерація антициклону при розвитку нового антициклону у відрозі старого ([4])

Теорія модонів [12] описує блокування, як ізольоване, місцеве збурення, тим самим припускаючи, що Євро-Атлантичний і Тихоокеанський сектори блокування слабо пов'язані один з одним. Модон є точно локалізованим нелінійним рішенням квазігеострофічних рівнянь. Було показано, що модони є досить стійкими до збурень, відомий процес їх руйнування [12]. Ці дослідження показують, що модон є корисним для опису блокувань. Але залишаються питання щодо існування стаціонарних баротропних модонів в реальній атмосфері. По-перше, модони можуть спостерігатися тільки при високій зональній швидкості, але детальні дослідження показують, що ця вимога рідко виконується в дійсності. Також ця умова означає неможливість поширення хвиль Россбі за межі блокуючого утворення.

В [6], використовуючи в якості діагностичної величини потенціальну завихреність, проведено аналіз трьох блокуючих ситуацій в зимову пору року над Тихим океаном Південної півкулі. Виявлено, що періоди руйнування блокуючих утворень збігаються зі змінами режимів течії планетарного масштабу. Робиться висновок про забезпечення великомасштабним плином сприятливого режиму для тривалого існування блокуючих антициклонів. Більш того, в даній роботі виділені чотири сценарії руйнування блокуючих

утворень, пов'язаних з недоліком синоптичної підживлення, активністю синоптичних процесів або при взаємодії кожного з перерахованих вище факторів з різкими змінами характеру течії планетарного масштабу.

Ще один підхід викладено в [10], де зазначено, що блокуючі ситуації є наслідком аномалій великомасштабної атмосферної циркуляції. Автор виявила регресійні залежності між індексами циркуляції WP (West Pacific – західно-тихоокеанський), PDO (Pacific decadal oscillation – тихоокеанське декадних коливання) і SOI (southern oscillation index – індекс південного коливання/осциляції) і температурою повітря, а також геопотенціалом H500 на європейській території Росії, які досить точно описують лінійний тренд, флуктуації з періодом 6-10 років, а також екстремуми, в тому числі і 2010 року. Також аналіз часових рядів (1950 –2010 рр.) Названих вище індексів показує, що на рубежі 1980-х років відбулися зміни, які зумовили формування блокуючих ситуацій і екстремальних посух в літні сезони. Ці зміни можуть трактуватися як зміна режимів сильної (1950-1980 рр.) і слабкої (1981 – 2012 рр.) циркуляції. Показано, що спека 2010 року було екстремальним проявом слабкої циркуляції, про що свідчили вкрай низькі значення індексу WP в липні і травні 2010 р.

1.3 Механізми виникнення і підтримки атмосферного блокінгу

В даний час поява блокінгу зв'язується з динамікою довгих хвиль типу Россбі та розглядається як результат їх нелінійної нестійкості та обвалення.

Відомо, що нелінійна фаза розвитку нестійкості (нестійкості кінцевих амплітуд) характеризується інтенсивною взаємодією зростаючої хвилі з рухами інших масштабів. Залежно від запасів енергії, яка може бути передана хвилі, що зростає, її нелінійний розвиток може призводити до встановлення одного з наступних нелінійних режимів:

1. Режим стаціонарних хвиль. У потоці формуються гребені й улоговини, осі яких орієнтовані меридіонально або під кутом до меридіану; вони зберігають тривалий час без зміни амплітуди, форми і довжини хвилі;
2. Режим *vacillation* («мерехтіння» або пульсування): це також регулярний режим, однак гребені й улоговини зазнають повільних періодичних змін: це або зміни амплітуди хвиль (*amplitude vacillation*), або зміни їх орієнтації (*shape vacillation*), або, врешті решт, зміна хвильового числа;
3. Нерегулярний режим типу турбулізації. Блокування являє собою режим першого або другого типу для нестійкої хвилі типу Россбі. Обваленням хвилі називається момент відсікання (або часткового відсікання) області високих значень $H500$, а критерій $PV-\Theta$ - зміна градієнта температури на поверхні $PV=2$ рви. До цього моменту, хоча є розвинений гребінь, блокування ще немає. (Таке розуміння *wave-breaking* суперечить звичному для нас уявленню про обвалення хвилі як її руйнування і встановленні нерегулярного режиму, будь це дрібномасштабна або геострофічна турбулентність).

Є серія робіт, в яких розраховані потоки енергії блокінгу від великих і синоптичних масштабів [14]. Отримані при цьому висновки неоднозначні. Так отримано, що приплив енергії від квазістаціонарних ланцюжка хвиль Россбі до блокуючого антициклону має першорядне значення в формуванні останнього над Європою, а приплив від синоптичних вихорів - для формування блокуючого антициклону над північною Атлантикою. Цей висновок якісно узгоджується з більш ранніми результатами, тоді як для випадку літнього блокуючого антициклону знайшли (шляхом розрахунку складових рівнянь тенденції завихренності), що, хоча живлення від синоптичних вихорів грає важливу роль, але адвекція антициклонічної завихренності, з максимумом у верхній тропосфері, є найважливішим

фактором зростання $H500$ в центрі антициклону протягом усього його життєвого циклу. З іншого боку, робиться висновок про змушення синоптичними вихорами. Блокінг, що зароджується, представлений комбінацією диполя і солітону (монополя) планетарного масштабу, яке потім при взаємодії з синоптичними вихорами еволюціонує таким чином, що дипольна структура посилюється і домінує над напівзруйнованих монополях. Згідно з однією з останніх опублікованих робіт цього напрямку, значимість вкладу синоптичних вихорів залежить, в цілому, як від амплітуд планетарних хвиль, що обумовлюють зародження блокінгу, так і від властивостей синоптичних вихорів, причому обидва ці фактори діють по-різному в різних районах. Так, в Північній півкулі при блокуванні пов'язане насамперед із взаємодією хвиль синоптичного і планетарного масштабів, а в Південному - з суперпозицією цих хвиль в більшій мірі, ніж з їх енергообміном, що пояснює знижені повторюваність, інтенсивність і тривалість збереження блокінгу у Південній півкулі; при цьому різниця в механізмах підтримки сильніше виражена в Атлантичних секторах обох півкуль, ніж в Тихоокеанічних.

З останніх робіт відзначимо [Мохов], в якій аналізується процес обвалення хвилі Россбі і відсікання утворилася аномалія PV , а також зворотний зв'язок з синоптичними вихорами, описувана через квазівектор e Хоскінса. Представлення про обвалення хвилі Россбі як причини утворення блокінгу використано і в [15] для детального вивчення їх морфології. Слід зазначити, що таке визначення забезпечує однозначність реєстрації цього моменту.

Можна вважати, що ефекти змушення синоптичними вихорами і адвекція потенціальної завихреності планетарними хвилями дійсно визначають зростання і підтримання блокінгу, але їхні відносні внески варіюють в широких межах в залежності від конкретних умов.

1.4 Кліматологія блокуючих процесів

Визначення кліматологічних характеристик блокінгів дозволяє уточнити параметри їх тривалості і кількість заблокованих довгот і широт для віднесення антициклону до категорії блокуючих, і, отже, виділити області, де вони найбільш часто повторюються. Необхідно відзначити, що існує велика кількість робіт, присвячених аналізу кліматології блокуючих антициклонів. При цьому, отримані результати відрізняються, що пов'язано з підходами до вибору критеріїв ідентифікації блокінгів (тривалість, інтенсивність, заблокована область).

В роботі [17] для уточнення параметрів тривалості, інтенсивності та охопленої блокінгом області був використаний метод «режиму». За даними реаналіза ERA-40 за 43 роки (1958-2000) були визначені щоденні характерні широти блокування (daily central blocking latitude). При порівнянні з методом характерних широт блокування, запропонованим в [29], було отримано схожі результати, однак, щоденні дані дозволяють враховувати сезонні відмінності, похибки в моделях і перебудову баричного поля.

На підставі щоденних характерних широт блокування розраховувалися індекси ТМ, В і ΔZ за кожен день, відфільтровувались непослідовно заблоковані довготи і ті, які було заблоковано менше 5 днів, що залишилися – групувалися. Порівнюючи отримані результати за трьома індексами (рис. 1.3), авторами помічена порівнянність результатів при введенні просторових і часових обмежень. Але при використанні індексу В було виділено більшу кількість блокуючих ситуацій.

Використовуючи зазначену вище методику і проаналізувавши дані про блокінг за період в 43 роки [17] отримали хорошу узгодженість індексів у виділенні основних секторів блокування. Блокуючі ситуації спостерігаються протягом усіх сезонів над Атлантикою з максимальною ймовірністю утворення в середині зимового сезону і практично до кінця літа. У

Тихоокеанському секторі блокування блокінг спостерігаються переважно в літні місяці.

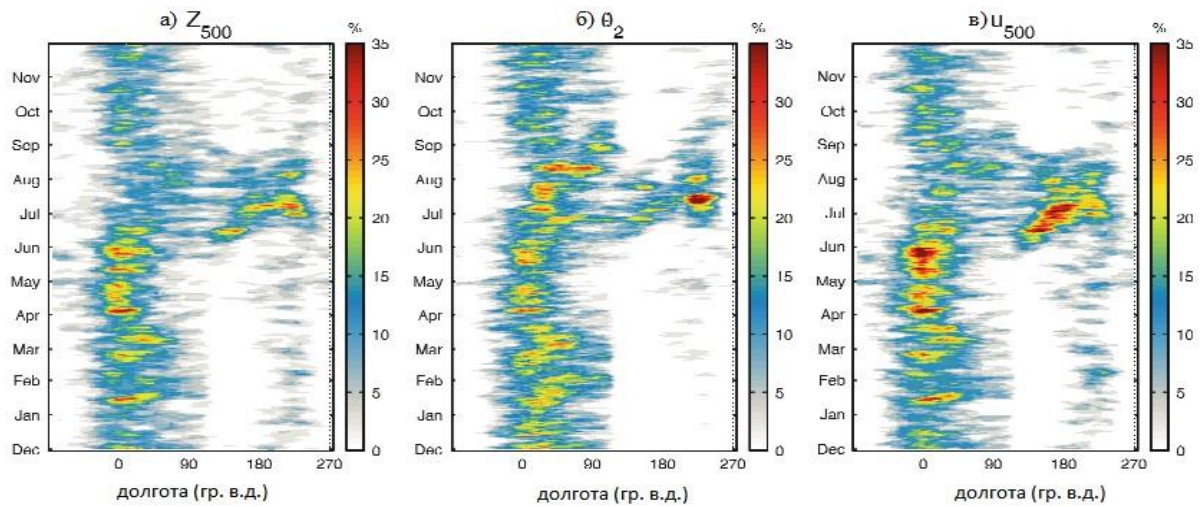


Рисунок 1.3 – Середньодобова частота формування блокуючих антициклонів в Північній півкулі за даними індексів: а) ТМ (Z_{500}), б) В (θ_2) і в) ΔZ (u_{500}) ([17])

У табл. 1.1 наводиться середня за сезон тривалість блокуючих утворень в Північній півкулі для всіх трьох індексів (по [17]). Можна помітити, що відсутній помітний сезонний цикл тривалості блокування, враховуючи схожу тривалість протягом всього року.

Таблиця 1.1 – Середня за сезон тривалість блокуючих ситуацій в Північній півкулі за індексами ТМ (Z_{500}), В (θ_2) і ΔZ (u_{500}) за даними реаналіза ERA-40, дні ([17])

Сезон / індекс	ТМ (Z_{500})	В (θ_2)	ΔZ (u_{500})
Зима	7,8	7,2	7,7
Весна	7,5	7,1	7,9
Літо	7,3	7,3	7,7
Осінь	7,2	6,7	7,7

Більш докладно частота утворення блокуючих антициклонів в різні сезони показана на рис. 1.4. Видно, що в Атлантиці існує пік частоти і такої ж в районі 135° з.д (на рис. 1.4 - 225 с.д.).

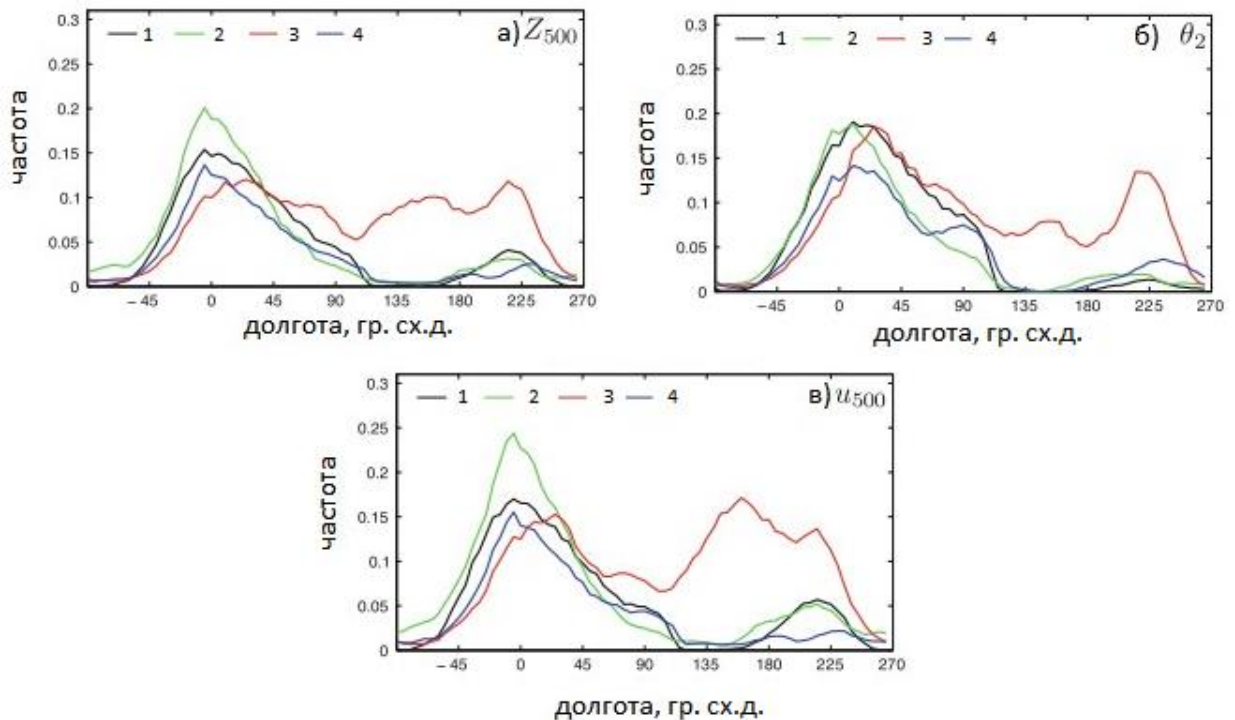


Рис. 1.4 – Частота утворення блокуючих антициклонів в Північній півкулі для кожного з сезонів за даними індексів: а) ТМ (Z_{500}), б) У (θ_2) і в) ΔZ (u_{500}) для 1 – зимових місяців, 2 – весняних місяців, 3 – літніх місяців, 4 – осінніх місяців [17]

Всі індекси показують меншу ймовірність утворення блокінгів восени в порівнянні з іншими сезонами і не узгоджуються між собою для весняного періоду. Індекс ΔZ показує велику ймовірність блокінг в районі східного узбережжя Євразії ($135^\circ - 180^\circ$ східної довготи) в літній період, ніж два інших індексу. Всі три індекси добре узгоджуються між собою в літні місяці над районом східній частині Тихого океану і Північною Америкою ($90-150^\circ$ з.д., на рис. 1.4.2 – $210^\circ - 270^\circ$ східної довготи).

У підсумку автори показали порівнянність результатів розрахунків (значень) всіх трьох індексів при використанні єдиної методології фільтрації результатів.

2 БАЗА ДАНИХ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

В даній роботі досліджуються епізоди з інтенсивними хвилями тепла, посухою і посиленням острова тепла і їх зв'язок з атмосферним блокуванням.

Для аналізу термобаричної структури атмосфери і визначення критерію блокування було застосовано дані об'єктивного аналізу NCEP/NCAR, отримані з сайту <https://www.esrl.noaa.gov/psd/> за строк 00 СВЧ у вузлах регулярної сітки з розділенням $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ для території, обмеженої 30° і 85° півн.ш. та 0° і 60° сх.д. (рис. 2.1), а також карти середньомісячних аномалій приземної температури, опадів біля поверхні землі, геопотенціальної висоти ізобаричної поверхні 500 гПа і індексу SPI3 з сайту <https://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/>.

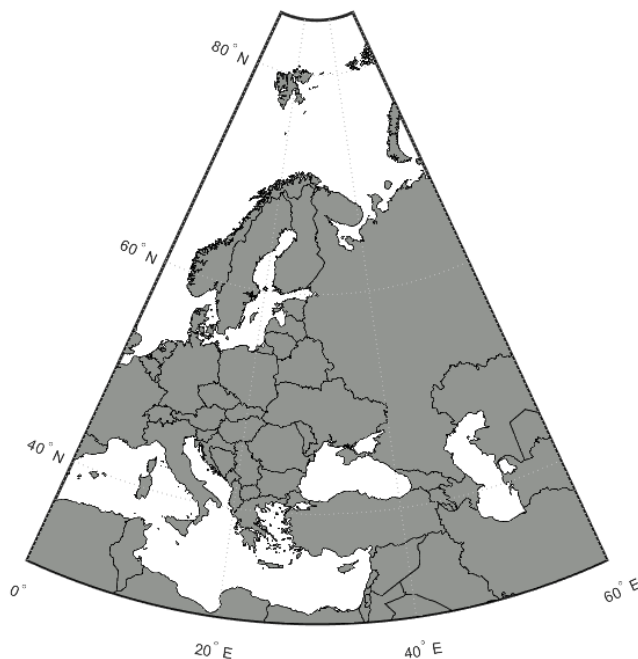


Рисунок 2.1 – Область дослідження, для якої виконувались розрахунки

Виявлення атмосферного блокінгу здійснювалося за стандартним алгоритмом, запропонованим Тібальді-Мольтені [17] і модифікованому в роботі [18] для сітки з кроком 2.5° за широтою та довготою:

$$GHGS = \frac{Z(\lambda, \varphi_0) - Z(\lambda, \varphi_s)}{\varphi_0 - \varphi_s}$$

$$GHGN = \frac{Z(\lambda, \varphi_n) - Z(\lambda, \varphi_0)}{\varphi_n - \varphi_0}$$

$$\varphi_n = 77.5^\circ N + \Delta$$

$$\varphi_0 = 60^\circ N + \Delta$$

$$\varphi_s = 40^\circ N + \Delta$$

$$\Delta = -5.0^\circ, -2.5^\circ, 0^\circ, 2.5^\circ$$

Умовою виявлення ситуації блокування є

$$GHGS > 0 \quad \text{і} \quad GHGN < -10 \frac{m}{\text{deg lat}}$$

Запропонований алгоритм виявлення блокуючих процесів ідентифікує системи високого тиску, що утворюються під час обвалення хвиль Россбі і період існування яких становить принаймні 5 днів.

Також блокуючі антициклони ідентифікувались за допомогою методики, основаної на відхиленнях геопотенціальної висоти поверхні 500 гПа від осереднених значень цієї висоти, які визначались за період 1980-2010 рр.

Для визначення тривалості і інтенсивності хвиль тепла в дослідженні було використано ряди добової максимальної температури повітря з травня по вересень для таких станцій України як Київ, Одеса, Львів, Полтава, Ужгород,

Умань за 1999 – 2018 рр., а також станції Сімферополь за 1999 – 2013 рр. з сайту <http://www.ecad.eu/>.

В даній роботі для визначення хвиль тепла було використано критерій, запропонований ВМО, середньодобова максимальна температура, визначена за 1961–1990 роки та збільшена на 5°.

За період 1999 – 2018 рр. було зроблено ранжування хвиль тепла за індексом інтенсивності хвиль тепла (heat-wave magnitude index daily, HWMId), запропонованим в роботі [13]:

$$M_d(T_d) = \begin{cases} \frac{T_d - T_{30y25p}}{T_{30y75p} - T_{30y25p}} \\ 0, \text{ если } T_d \leq T_{30y25p} \end{cases}$$

де T_d – максимальна температура в день, коли мала місце хвиля тепла;

T_{30y25p} – 25-та центиль максимальної температури за період 1961-1990 рр.;

T_{30y75p} – 75-та центиль максимальної температури за період 1961-1990 рр.

3 ДИНАМІЧНА ВЗАЄМОДІЯ АТМОСФЕРНОГО БЛОКІНГУ З ПОСУХАМИ І ХВИЛЯМИ ТЕПЛА

3.1 Огляд епізодів з інтенсивними хвилями тепла

В роботі за допомогою критерія ВМО було виявлено хвилі тепла за період 1999 – 2018 рр. і було зроблено ранжування хвиль тепла (табл. 3.1) за індексом інтенсивності хвиль тепла (heat-wave magnitude index daily, HWMId), запропонованим в роботі [13]. В табл. 3.1 помаранчевим кольором відмічено епізоди з найбільш інтенсивними хвилями тепла. За розглянутий період на території України було виявлено 179 хвиль тепла на 9 станціях. Усього біло виявлено 27 епізодів, які на початку явища охоплювали більшу частину території України (табл. 3.1).

Найбільш інтенсивними хвилями тепла вважались епізоди з середнім і максимальним значенням індексу HWMId більшим за порогове значення 15 і 24 відповідно. Найінтенсивнішим випадком, який спостерігався за всі ці роки, безумовно є епізод з хвилею тепла, якій мав місце в липні-серпні 2010 р., коли в усій північній півкулі спостерігалася аномально спекотна і суха погода, причиною якої в Європейській Росії і східних та центральних областях України було встановлення антициклону протягом 55 днів. На території України хвиля тепла проявилася в самому кінці блокування з кінця липня до середини серпня, охопивши 71% території і перевищивши в усіх регіонах порогове значення індексу інтенсивності практично в три рази. В цей період індекс HWMId сягає рекордного значення 44,94, причому слід зауважити, що, якщо для багатьох хвиль тепла площа, охоплена високими значеннями індексу суттєво зменшується, то під час цього епізоду інтенсивність хвилі скрізь була рекордно високою.

Наступним за інтенсивністю випадком є епізод з хвилею тепла 2015 р., коли надзвичайно інтенсивна і тривала хвиля тепла охопила на початку серпня всю територію Європейського Союзу і вже 3 серпня поширилась на територію Західної України, зайнявши третину території країни. Значення індексу інтенсивності хвилі тепла для 3-16.08.2015 р. становило 32,46.

Таблиця 3.1 – Епізоди з інтенсивними хвилями тепла

Хвиля тепла	Тривалість	Кумулятивна температура за площею	Середнє значення HWMId	Максимальне значення HWMId	Площа (%) HWMId ≥ 0	Площа (%) HWMId ≥ 6	Площа(%) HWMId ≥ 9	Площа(%) HWMId ≥ 15	Площа (%) HWMId ≥ 24
6-20.06.1999	15	96,20	16,03	24,37	66,67	66,67	66,67	22,22	11,11
11-28.07.2001	18	122,00	24,40	31,86	55,56	55,56	55,56	55,56	33,33
3-22.07.2002	20	142,60	20,37	28,37	77,78	77,78	77,78	55,56	33,33
5-28.05.2003	24	124,00	13,78	17,00	100,00	100,00	66,67	11,11	0,00
21-31.05.2005	11	44,20	11,05	14,50	44,44	44,44	22,22	0,00	0,00
26.07-4.08.2005	10	42,00	14,00	14,97	33,33	33,33	33,33	11,11	0,00
8-14.09.2005	7	14,10	7,05	7,71	22,22	22,22	0,00	0,00	0,00
15.05-2.06.2007	19	107,70	17,95	32,46	85,71	85,71	71,43	42,86	28,57
15-25.07.2007	11	103,90	21,98	23,00	57,14	57,14	57,14	57,14	0,00
17-30.8.2007	14	91,90	18,38	26,31	71,43	71,43	71,43	42,86	14,29
12-24.08.2008	13	70,50	17,63	27,20	57,14	57,14	57,14	14,29	14,29
7-16.06.2010	10	46,40	11,60	13,37	57,14	57,14	57,14	0,00	0,00
14-24.07.2010	11	29,80	9,93	23,82	42,86	42,86	42,86	28,57	0,00
30.07-18.08.2010	20	224,70	44,94	47,15	71,43	71,43	71,43	71,43	71,43
19-25.5.2011	7	22,30	7,43	8,19	42,86	42,86	0,00	0,00	0,00
28.05-8.06.2011	12	39,40	13,13	14,42	42,86	42,86	42,86	0,00	0,00
1-15.05.2012	15	51,20	12,80	16,52	57,14	57,14	28,57	14,29	0,00
14-26.06.1012	9	50,90	16,97	20,66	42,86	42,86	42,86	28,57	0,00
30.06-11.07.2012	12	99,90	24,98	25,03	57,14	57,14	57,14	57,14	28,57
21.07-9.08.2012	20	142,70	23,78	28,35	71,43	71,43	71,43	71,43	42,86
1-24.05.2013	24	44,40	8,88	18,69	71,43	42,86	14,29	14,29	0,00
15-28.05.2014	14	50,00	12,50	21,72	66,67	66,67	50,00	16,67	0,00
26.07-6.08.2014	12	77,40	15,48	22,09	83,33	83,33	83,33	33,33	0,00
3-16.08.2015	14	59,30	29,65	30,13	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33
14-28.09.2015	15	41,40	10,35	14,97	66,67	66,67	33,33	16,67	0,00
5-17.09.2016	13	43,60	14,53	15,76	50,00	50,00	50,00	33,33	0,00
30.07-7.08.2017	9	88,50	14,75	17,31	100,00	100,00	100,00	50,00	0,00

В період реєстрації інших епізодів, хоча і мали місце більші максимальні значення індексу HWMId, проте середні значення за площею отримано було набагато менші, що означає, що хвиля тепла спостерігалась великої інтенсивності в одному-двох пунктах, а на іншу частину території її вплив різко знижувався.

Так за усіма ознаками досить значною є хвиля тепла 21.07 – 9.08.2012 р., інтенсивність якої на 70% території України перевищила порогове значення критерію HWMId, але лише на 40% території досягла значення HWMId 28,35 одиниць.

Епізод, якій мав місце 15.05-2.06.2007 р., тривав протягом 19 діб і на початку явища відсоток території, охопленою хвилею тепла, був найбільшим серед усіх розглядуваних випадків, але 85,71. Але за інтенсивністю ця хвиля тепла поступається першим двом, оскільки хоча максимальне значення HWMId становить 32,46, середнє значення не досягає навіть 18 одиниць.

Впродовж хвилі тепла, яка спостерігалась 11-28 липня 2001, індекс HWMId досяг значення 31,86, а середнє значення 24,40, підвищеними температурами було охоплено область 55% від всієї території України. Максимальні значення індексу мали місце на 33% всієї території. Хоча максимальне значення індексу більше, ніж максимальні значення, які мали місце в епізоді 2015 р., проте середні значення є меншими від середніх значень 2015 р.

3.2 Поля критерію Тібальді-Мольтені для найінтенсивніших епізодів з хвилями тепла

У восьми випадках з десяти інтенсивні і тривалі хвилі тепла були пов'язані з обваленням хвиль Россбі, причому залежність між інтенсивністю епізоду і безперервністю блокування не простежується. З усіма випадками аномально спекотної погоди були пов'язані значні додатні аномалії в полі

середньомісячної температури (рис. 3.1), температури поверхні Чорного моря і від'ємні аномалії в полі опадів (рис. 3.2).

Безпрецедентної інтенсивності хвиля тепла в Україні була зареєстрована в 2010 році, коли в усій північній півкулі спостерігалася аномально спекотна (рис. 3.1 ж) і суха погода (рис. 3.2 ж), причиною якої в Європі було встановлення антициклону протягом 55 днів. Аномалії середньомісячної температури для серпня 2010 р. сягали 8-10°C. Аномалії геопотенціальною висоти 500 гПа коливалися в межах 60-80 м (рис. 3.3 ж), а критерій Тібальді-Мольтені демонстрував безперервність блокування в східних і південних областях України (рис. 3.4 ж). Можна побачити, що до 14 серпня область блокування безперервно реєструється саме для 30 – 60°сх. довгот, що збігається з районом стаціонування антициклону і районом встановлення аномальної погоди. Саме в цей період для цих регіонів були характерні хвилі тепла, посухи і пожежі. З 1 по 10 серпня критерій Тібальді-Мольтені досить добре виявляє блокування.

Найбільш яскраво вираженою в полі критерію Тібальді-Мольтені і аномалій висоти АТ-500 була найменш інтенсивна хвиля тепла з максимальним значенням індексу НWMId – 24,37, що охоплювала територію Центральної, Південної і Західної України і спостерігалася з 6 по 20 червня 1999 р. Атмосферний блокінг мав місце над територією України протягом 10 днів. Середньомісячні аномалії геопотенціальної висоти в червні досягали +100 дам (рис. 3.3), а аномалії температури – більше, ніж 4°C (рис. 3.1).

Значення індексу НWMId для інших хвиль тепла, які було зареєстровано над територією України в періоди 11-28.07.2001 р., 3-22.07.2002 р., 15.05-2.06.2007 р., 17-30.8.2007 р., 30.06-11.07.2012 р. і 3-16.08.2015 р., коливалось в межах від 25,03 до 32,46. Впродовж більшої частини періодів, коли спостерігались ці епізоди, критерій Тібальді-Мольтені демонстрував безперервність просторово-часового розподілу.

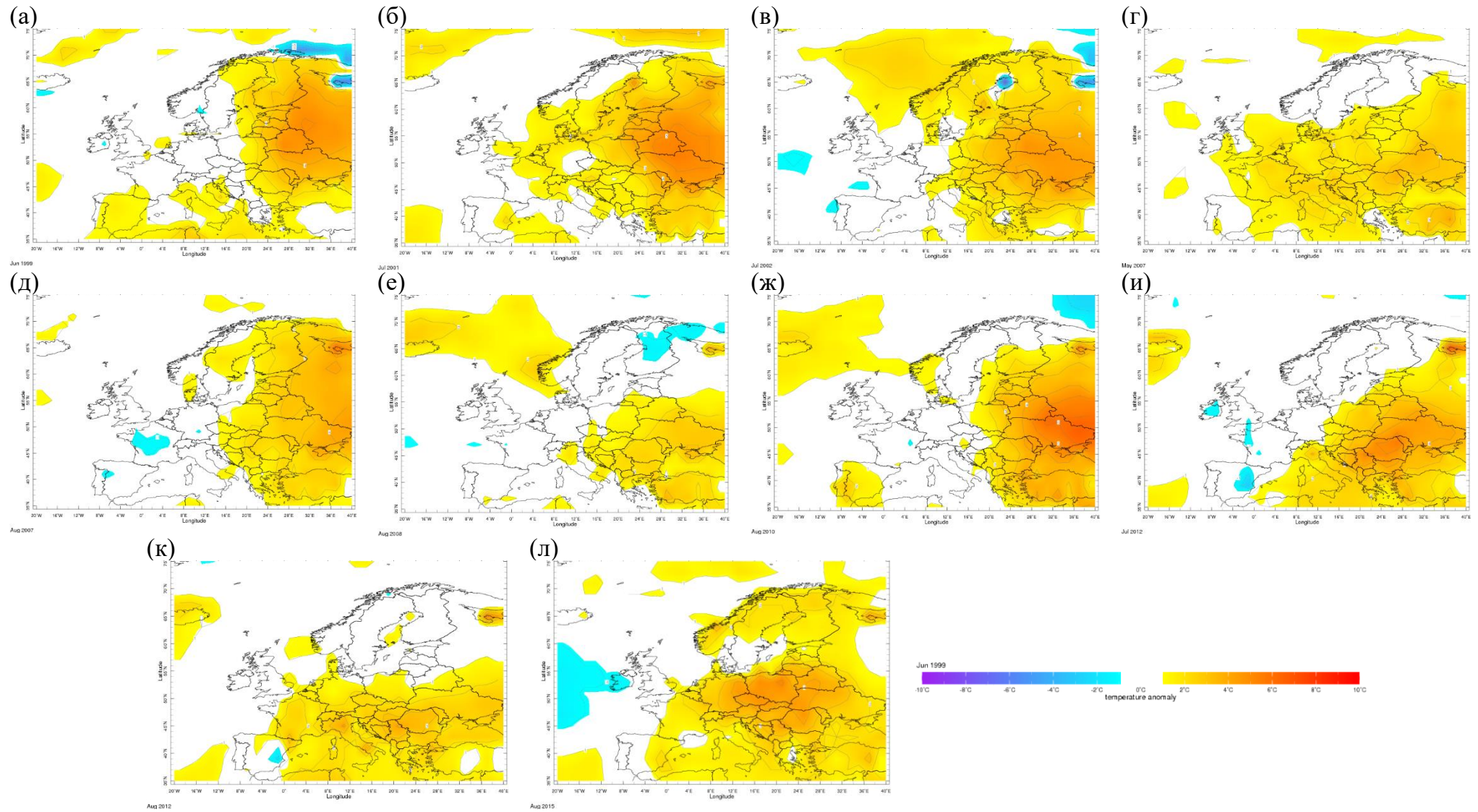


Рисунок 3.1 – Середньомісячні аномалії температури повітря в червні 1999 (а), липні 2001 (б), липні 2002 (в), травні 2007 (г), серпні 2007 (д), серпні 2008 (е), серпні 2010 (ж), липні 2012 (и), серпні 2012 (к), серпні 2015 (л)

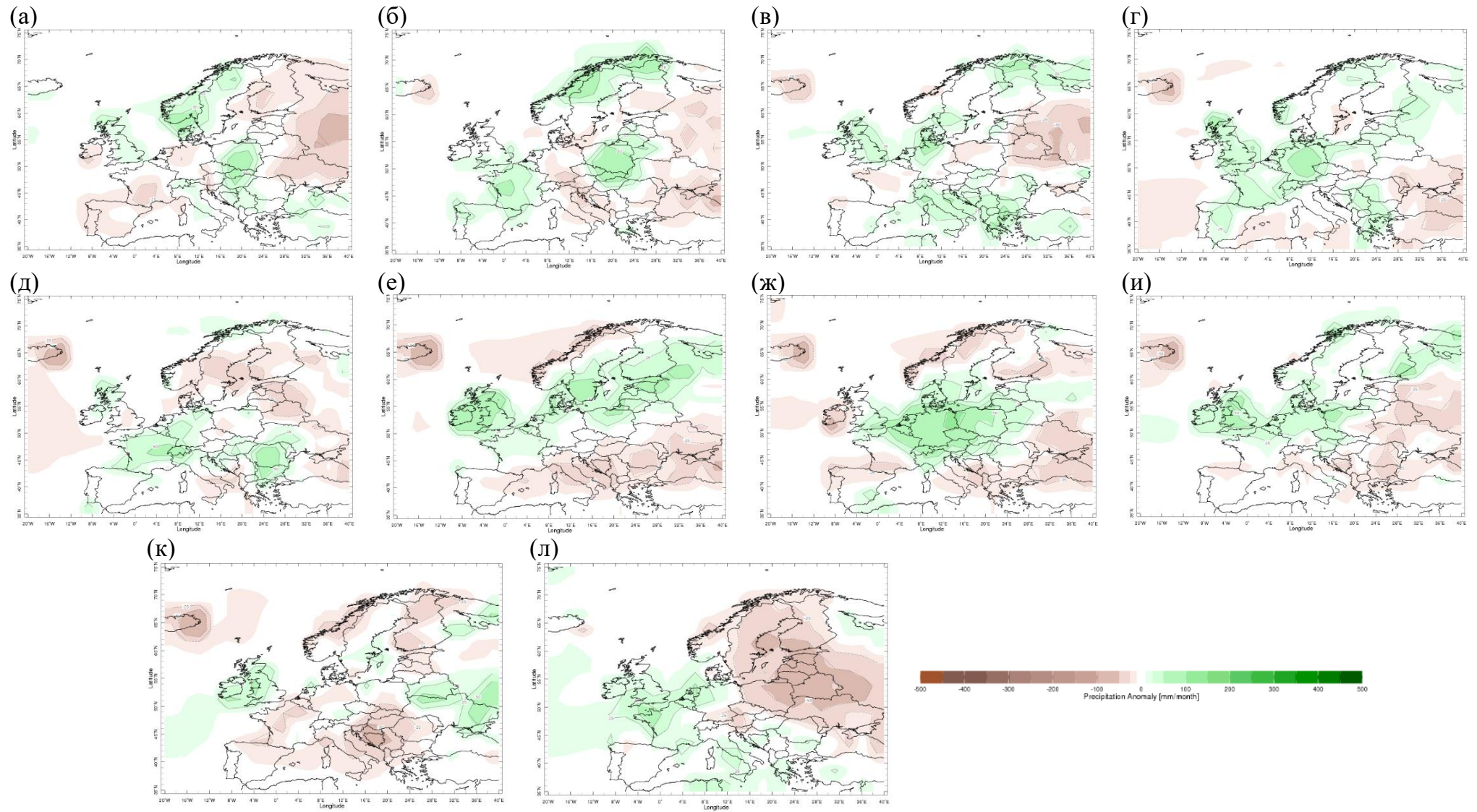


Рисунок 3.2 – Середньомісячні аномалії в полі опадів в червні 1999 (а), липні 2001 (б), липні 2002 (в), травні 2007 (г), серпні 2007 (д), серпні 2008 (е), серпні 2010 (ж), липні 2012 (и), серпні 2012 (к), серпні 2015 (л)

Значення аномалій геопотенціальної висоти АТ-500 для всіх випадків не перевищували 80 м (рис. 3.3), виключаючи епізод 2015 р., коли значення значення аномалій геопотенціальної висоти АТ-500 над Скандинавським півостровом перевищували середні значення за період 1980-2010 рр. на 120 дам (рис. 3.3 л). Впродовж більшої частини часу, коли спостерігався цей епізод, атмосферний блокінг дуже добре виявлявся в полі критерію Тібальді-Мольтені для східних довгот $15 - 35^\circ$ (рис. 3.4 л). Тривалість епізоду, як і його поширення за площею, були набагато менші за випадок 2010 р. Проте, саме цей епізод супроводжувався підвищеною захворюваністю і смертністю на території Євросоюзу і Західної України.

В двох випадках хвиль тепла (12 – 24 серпня 2008 р. і 21 липня – 9 серпня 2012 р.) в полі критерію Тібальді-Мольтені атмосферний блокінг не виявлявся. Впродовж обох епізодів аномалії геопотенціальної висоти ізобаричної поверхні 500, за виключенням липня 2012 р., також не відзначались. Епізод 12 – 24 серпня 2008 р. був яскраво виражений в полях усіх інших притаманних атмосферному блокінгу відзнак, а саме в полях середньомісячних аномалій приземної температури (до 2°C), кількості опадів (зменшення становило 25%) і температури морської поверхні, які складали для Чорного моря $1,5^\circ\text{C}$. Епізод 21 липня – 9 серпня 2012 р. також був пов'язаний з суттєвим підвищенням температури поверхні Чорного моря (на $2,5^\circ\text{C}$) та температури повітря (на 2°C), але на відміну від першого епізоду не супроводжувався значною посухою: в серпні 2012 р. спостерігається навіть надлишок опадів порівняно з багаторічними середніми значеннями. Такі результати свідчать не про відсутність процесу блокування в цих випадках, а лише вказують на формування блокінгу за інших умов, а не за умови обвалення хвиль Россбі.

Розподіл індексу Тібальді-Мольтені (рис. 3.4) характеризується значною мінливістю, що можна пояснити тим, що ситуації обвалення хвиль Россбі на тропопаузі мали місце час від часу і виявлялись як характерні амплітудні «миготіння», в той час як сам гребінь зберігався увесь час.

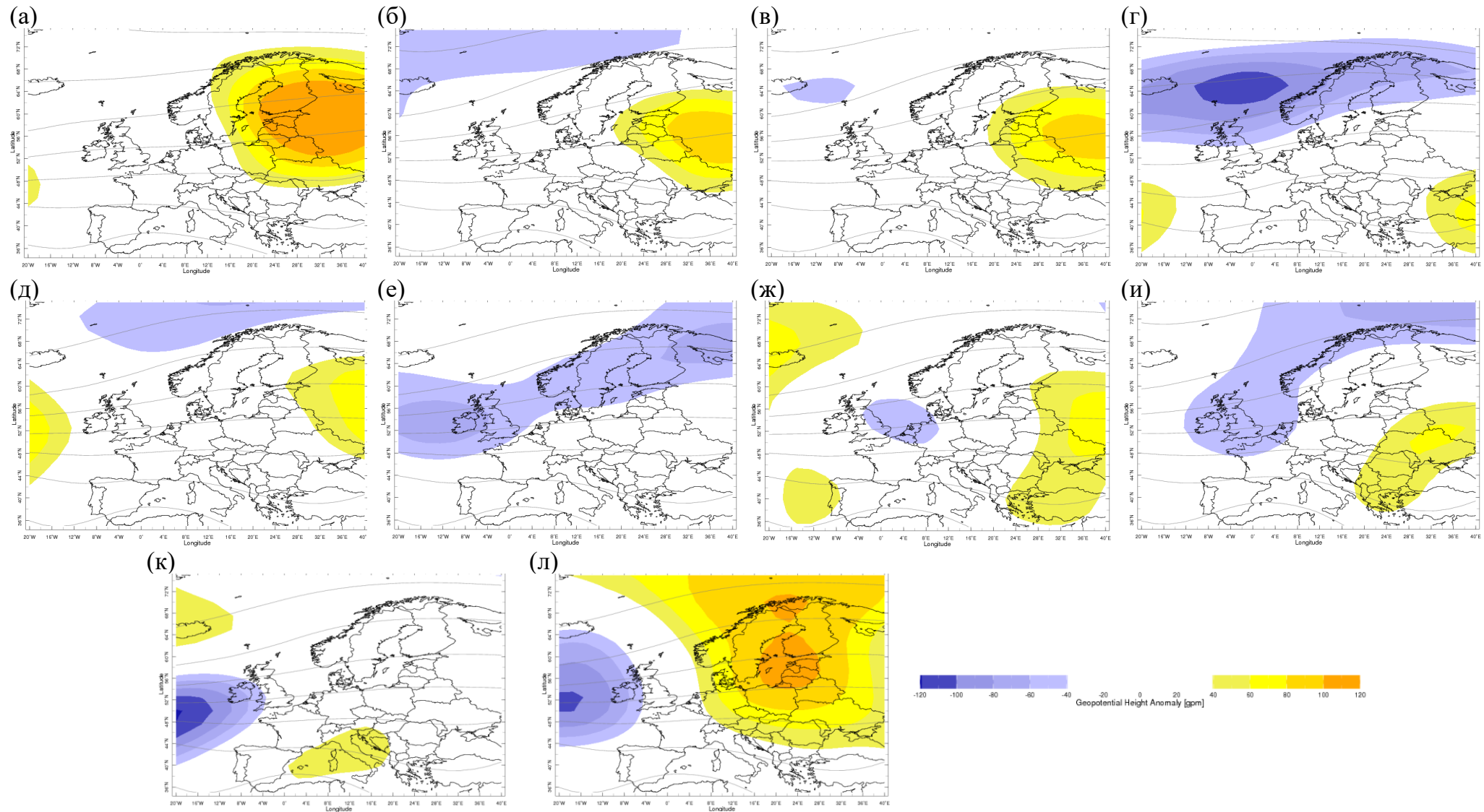


Рисунок 3.3 – Середньомісячні аномалії геопотенціальної висоти 500 гПа для червня 1999 (а), липня 2001 (б), липня 2002 (в), травні 2007 (г), серпня 2007 (д), серпня 2008 (е), серпня 2010 (ж), липня 2012 (и), серпня 2012 (к), серпня 2015 (л)

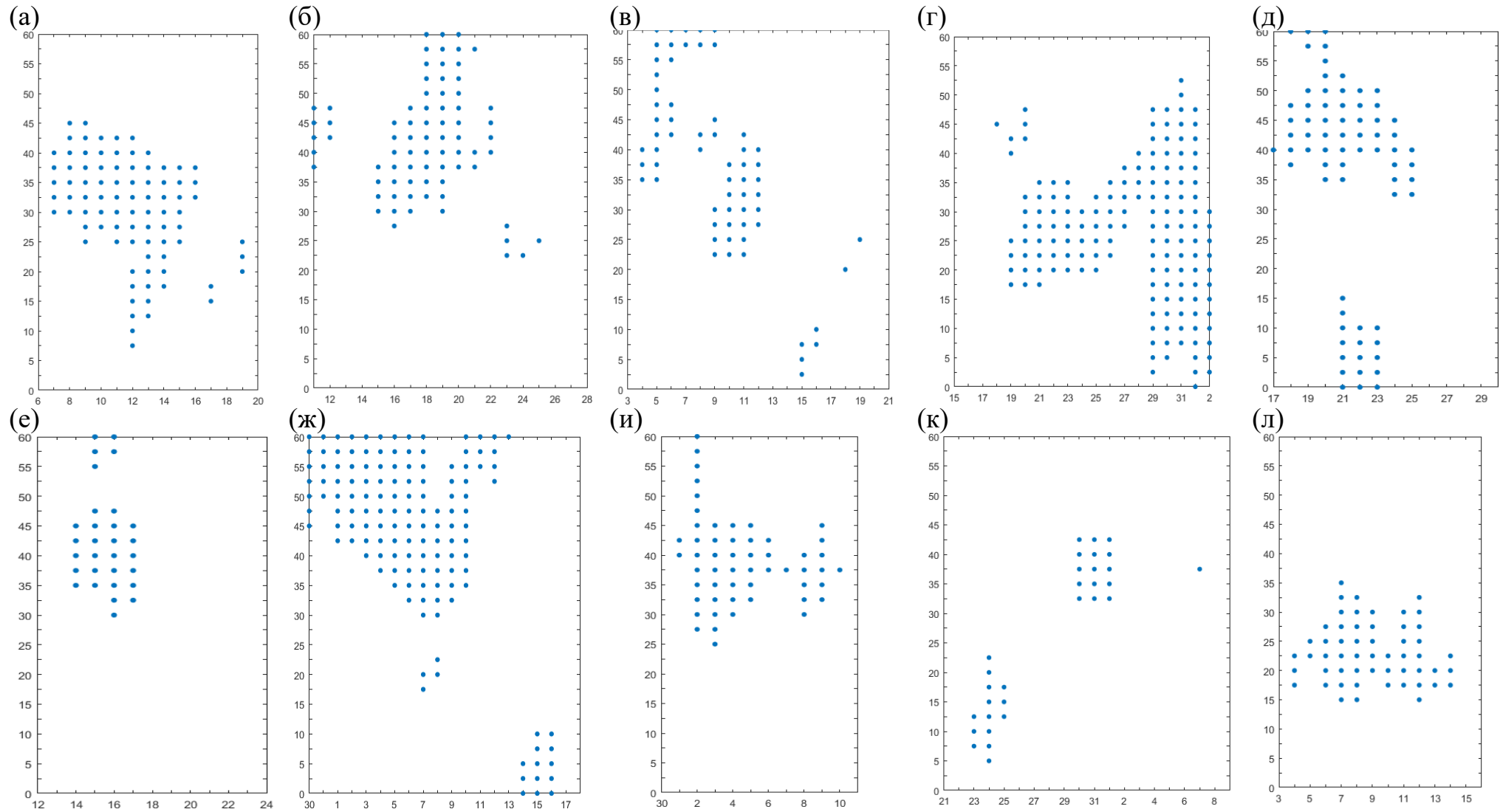


Рисунок 3.4 – Наявність блокінгу за критерієм Тібальді-Мольтені (точки) для епізодів 6-20.06.1999 (а), 11-28.07.2001 (б), 3-22.07.2002 (в), 15.05-2.06.2007 (г), 17-30.8.2007 (д), 12-24.08.2008 (е), 30.07-18.08.2010 (ж), 30.06-11.07.2012 (и), 21.07-9.08.2012 (к), 3-16.08.2015 (л). На горизонтальній осі відкладено число місяця, а на вертикальній – довгота

Атмосферне блокування супроводжувалось не тільки інтенсивними і тривалими хвилями тепла, але й значними посухами, що можна бачити в полях аномалій опадів (рис. 3.2).

В серпні 2010HWMId сягали найвищих значень. а самі епізоди досить добре виявлялись в полі критерію Тібальді-Мольтені.30 липня – 18 серпня 2010 р. у середній тропосфері (рис. 3.5) і біля поверхні землі (рис. 3.6).

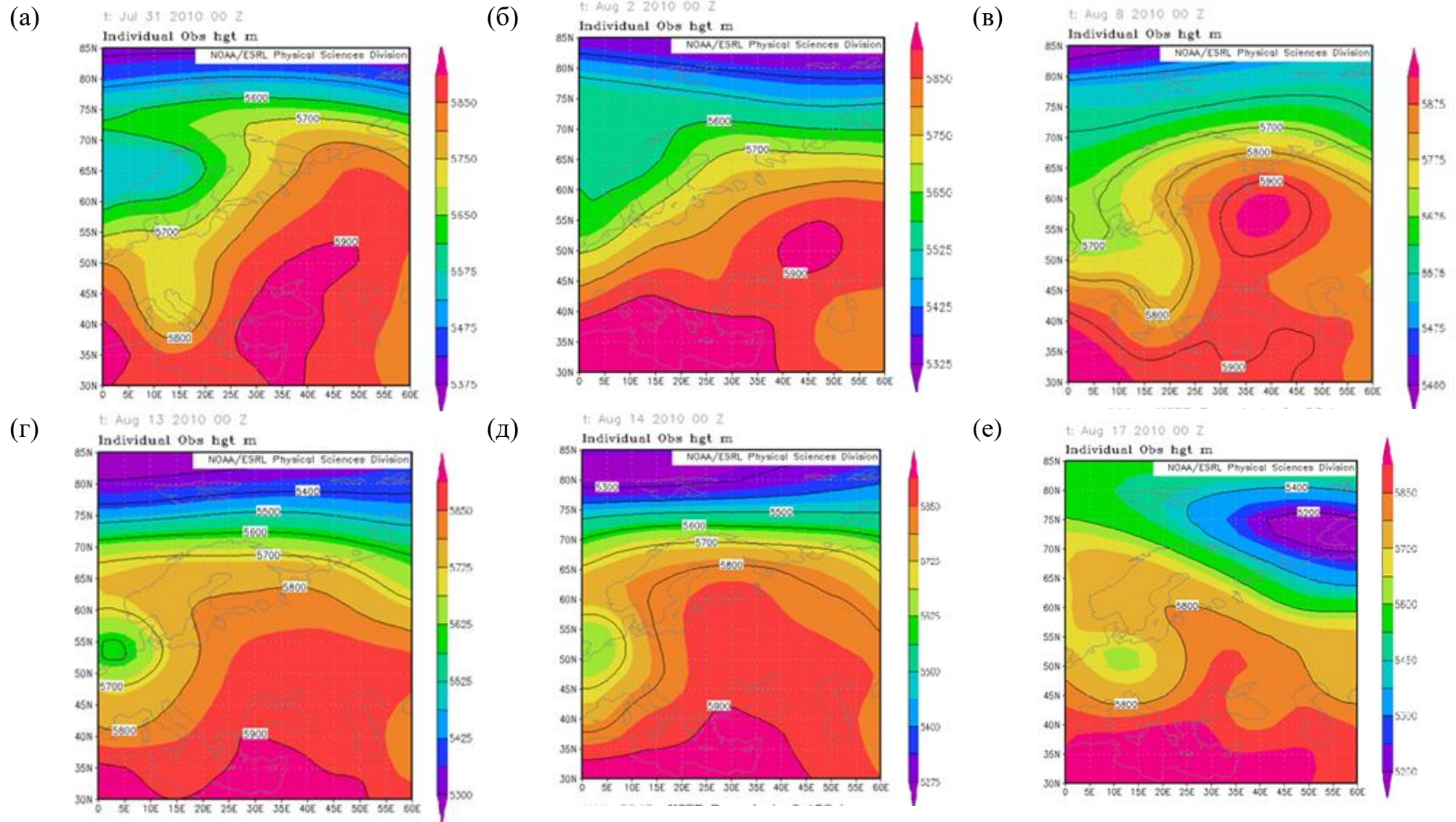


Рисунок 3.5 – Висота ізобаричної поверхні 500 гПа за 00 год. 31 липня (а), 2 (б), 8 (в), 13 (г), 14 (д) і 17 (е) серпня 2010 р.

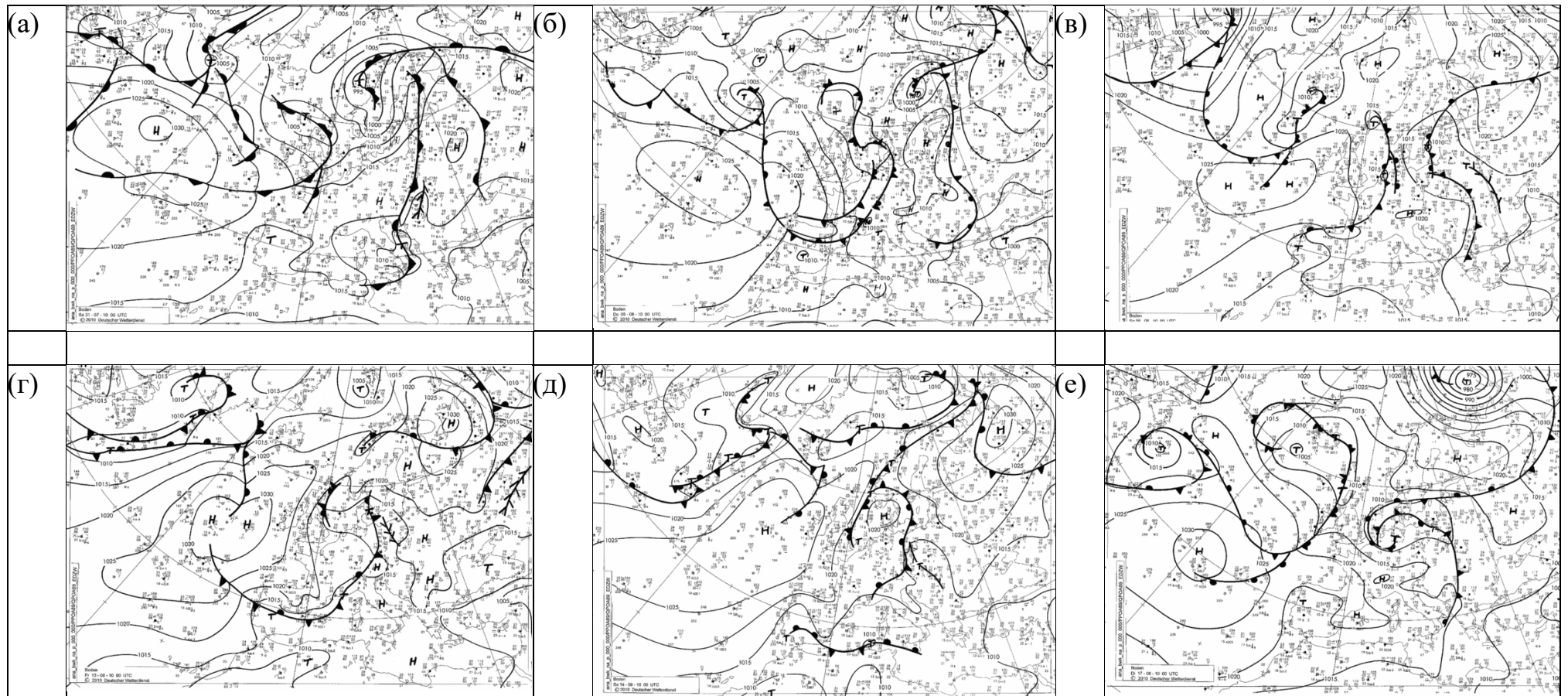


Рисунок 3.6 – Приземний синоптичний аналіз за 00 год. 31 липня (а), 5 (б), 8 (в), 13 (г), 14 (д) і 17 (е) серпня 2010 р.

В серпні 2010 р. спостерігається типова ситуація еволюції блокуючого антициклону, коли західні хвилі втрачають стійкість і розпадаються на добре виражені меридіональні течії з вихорами (рис. 3.5, Додаток Б, рис. Б.1). Це так званий тип омега блокування, коли в середній тропосфері формується інтенсивний витягнутий гребінь, в якому надалі утворюється відсічений високий антициклон. Зазвичай антициклонічна циркуляція опускається з верхніх шарів тропосфери донизу, поступово охоплюючи нижні шари.

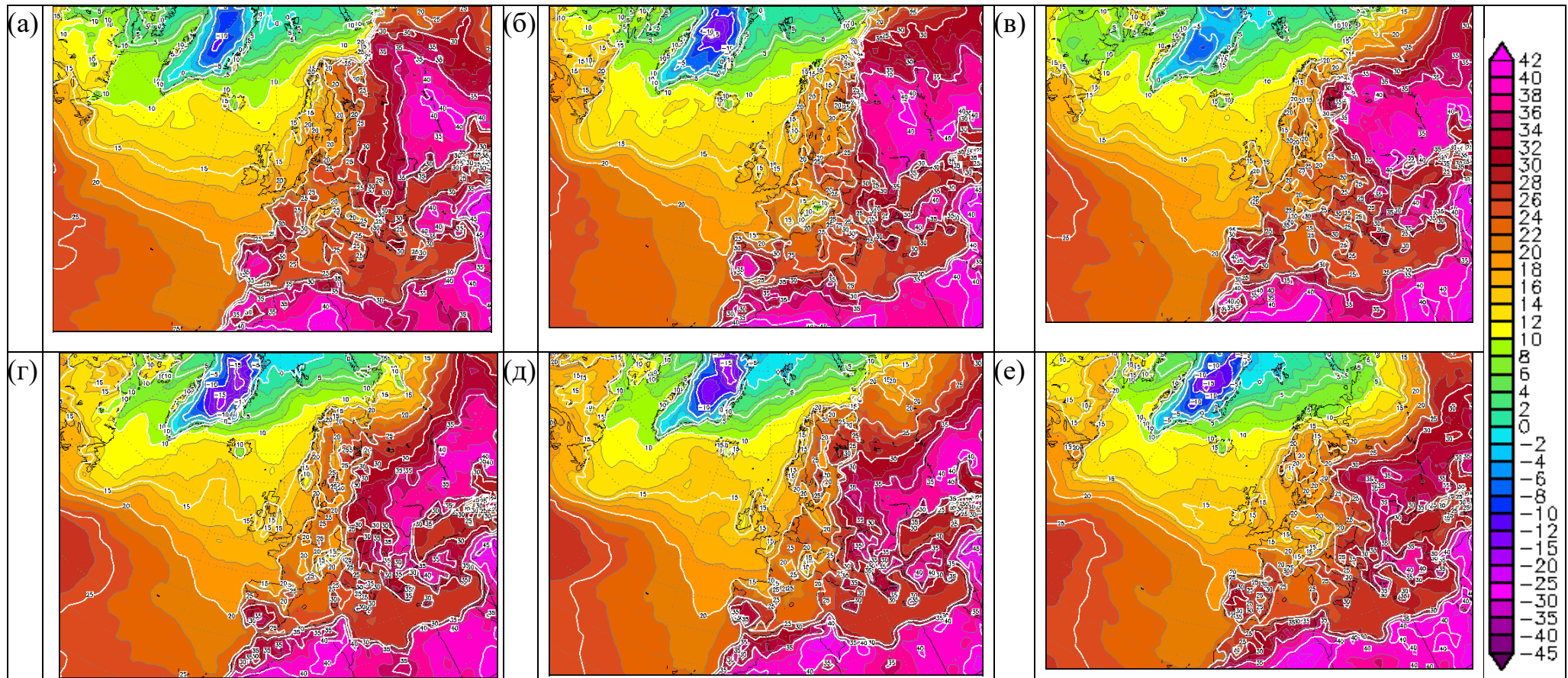


Рисунок 3.7 – Максимальна температура на рівні 2 м за 12 год. 31 липня (а), 5 (б), 8 (в), 13 (г), 14 (д) і 17 (е) серпня 2010 р.

17 серпня 2010 р. антициклон вже практично витискається на південь глибоким циклоном, якій сформувався над Баренцевим морем, і втрачає свою інтенсивність. В середній тропосфері також смуга високого тиску переміщується на південь, а її місце займає область низького тиску.

На рис. 3.7 показано, як змінювалась конфігурація термічного поля біля поверхні землі впродовж існування антициклону. Увесь час області антициклонічної циркуляції біля поверхні землі відповідали максимальні температури від 34 до 42°C, причому можна помітити, що під час утворення й існування відсіченого антициклону біля поверхні землі спостерігалась найбільш обширна область з температурами вищими від 40-42°C (рис. 3.7 а,б,в). Надалі, незважаючи на інтенсифікацію антициклону біля поверхні землі, площа області, охопленої найвищими температурами (40-42°C) починає зменшуватись (рис. 3.7 г,д), практично зникаючи 17 серпня 2010 р. Таким чином, можна зробити висновок, що формування і підтримку аномальних погодних явищ відповідають процеси в середній тропосфері, а баричне поле в нижній тропосфері відповідає на перебудову баричного поля у верхній тропосфері з запізненням. Слід зауважити, що весь час існування антициклону над східною територією Європи високі температури реєструвались не тільки над сушею, але і над Чорним і Середземним морями і північною частиною Атлантичного океану.

3 – 16 серпня 2015 р. у середній тропосфері (рис. 3.8) і біля поверхні землі (рис. 3.9).

блокування атмосфери 3 – 16 серпня 2015 р. помітний гребінь домінував над територією всієї Європи з системою поглибленого низького тиску в більш північних широтах (рис. 3.8). Цей процес блокування можна віднести до розщепленого типу блокування, який є найбільш поширеним влітку і який досить часто супроводжується інтенсивними хвилями тепла [4, 9].

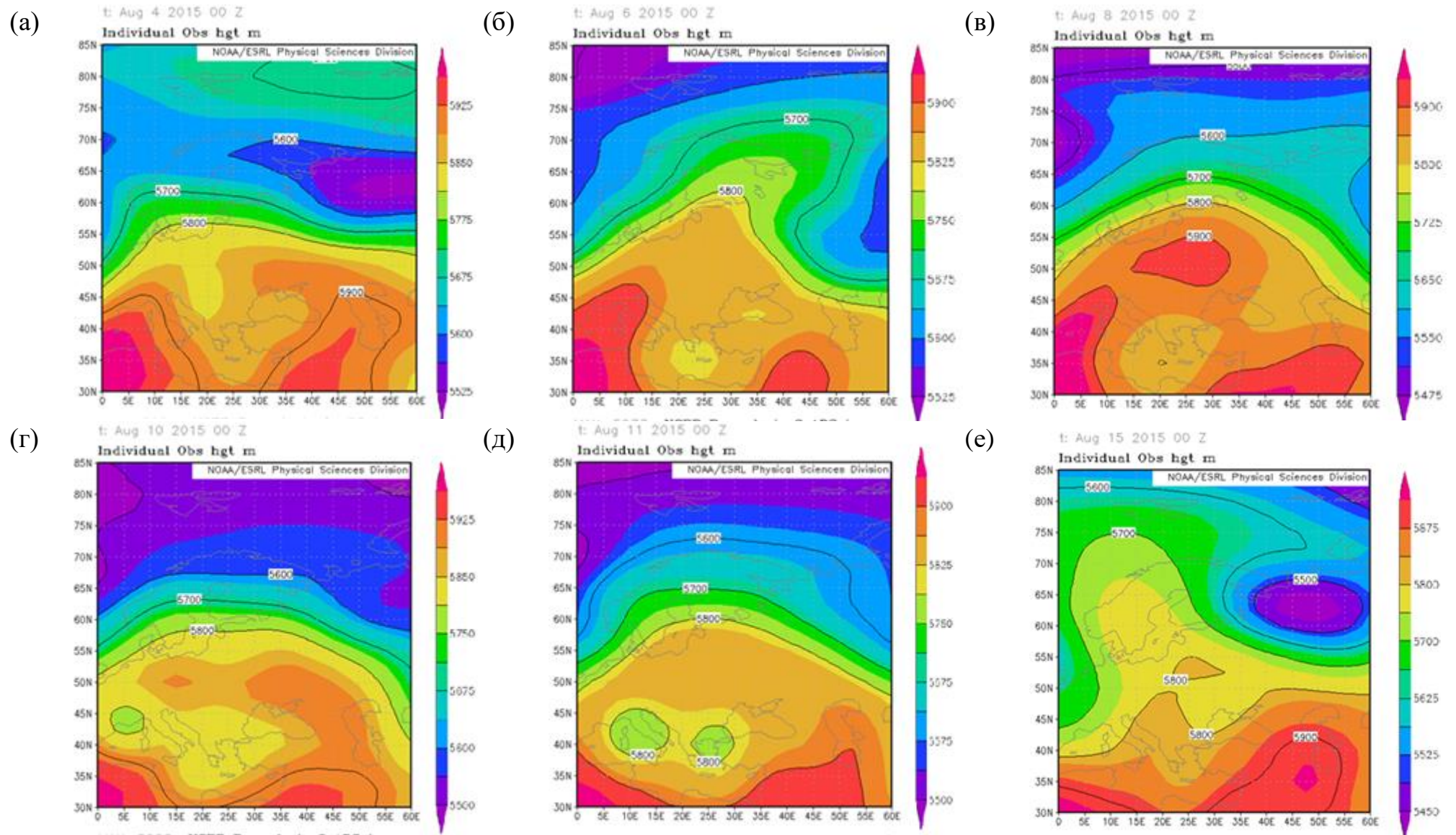


Рисунок 3.8 – Висота ізобаричної поверхні 500 гПа за 00 год. 4 (а), 6 (б), 8 (в), 10 (г), 11 (д) і 15 (е) серпня 2015 р.

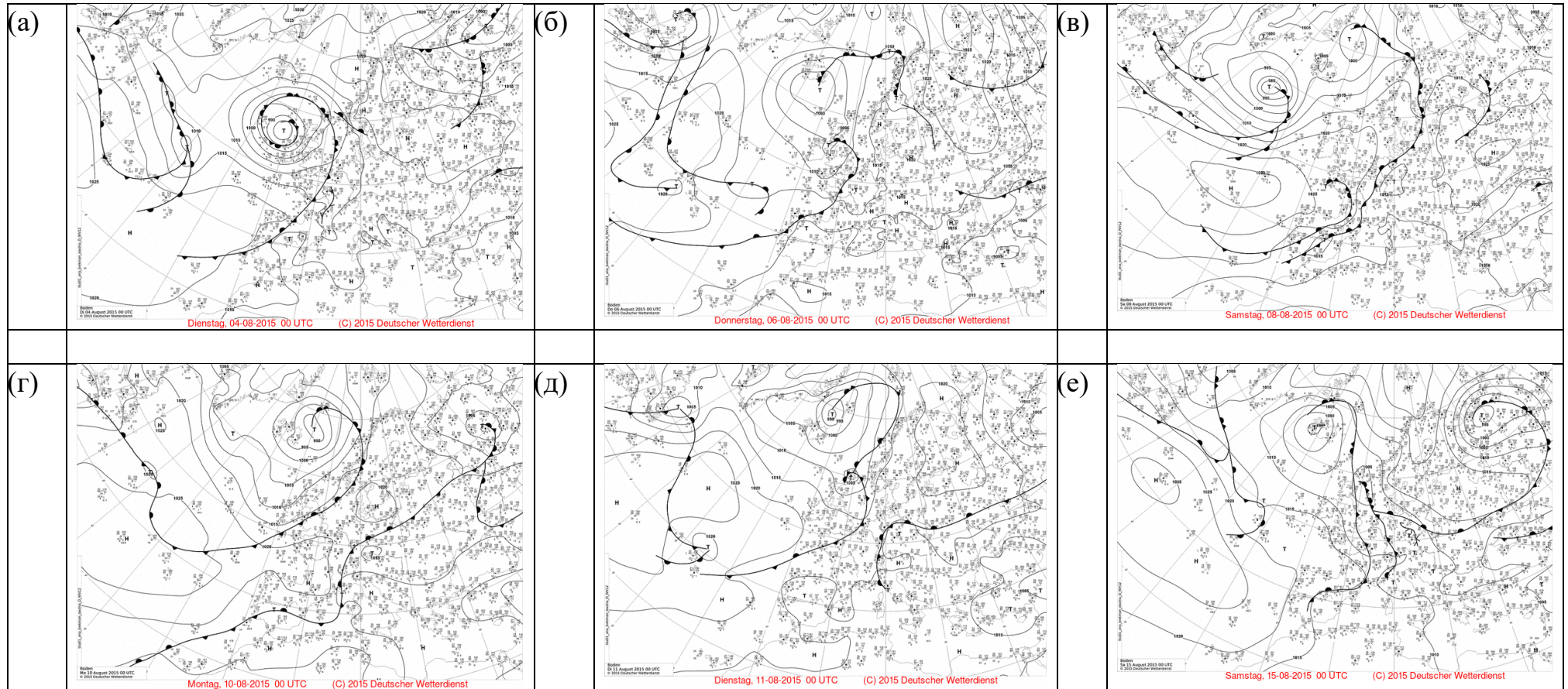


Рисунок 3.9 – Приземний синоптичний аналіз за 00 год. 4 (а), 6 (б), 8 (в), 10 (г), 11 (д) і 15 (е) серпня 2015 р.

На рис. 3.8 а,б,в можна побачити, як поступово висотна фронтальна зона розщеплюється і між двома гілками ВФЗ утворюється області низького і високого тиску, які найбільш яскраво виражені є саме в 8 серпня. Біля поверхні землі 4 серпня гребеню в середній тропосфері відповідає розмита область високого тиску, а 8 серпня антициклонові на 500 гПа поверхні на приземній карті відповідає двоцентровий обширний антициклон з одним центром над Європою, а другим – над північною Атлантикою. Найбільш інтенсивне блокування в полі індексу Тібальді-Мольтені (рис. 3.4 л) спостерігалось впродовж 8-9 серпня, в період коли біля поверхні землі реєструвались найвищі максимальні температури в Польщі і Західній Україні (рис. 3.10). 10 серпня спостерігалось зниження максимальних температур біля поверхні землі через активізацію фронтальної діяльності в Центральній Європі (рис. 3.10) і в цей час відбувається послаблення блокінгу в полі індекса Тібальді-Мольтені, а також структура поля геопотенціальної висоти 500 гПа стає досить розмитою: антициклон перетворюється на гребінь, а циклон – на улоговину.

Найбільш обширна область високих максимальних температур спостерігається в період утворення яскраво вираженої зони розщеплення зі сформованими антициклоном і циклоном. Коли територією Західної Європи пересуваються атмосферні фронти зона високих максимальних температур суттєво зменшується, проте над південними районами України максимальні температури сягають рекордних значень 40-42°C, що можна пояснити існуванням гребеня в середній тропосфері саме над цією територією. Найбільш інтенсивна антициклонічна циркуляція має місце саме над районами з найвищими температурами.

З аналізу обох випадків можна зробити висновок, що області найвищих температур, тобто аномальні погодні явища, завжди відповідають зонам антициклонічної циркуляції в середній тропосфері, незважаючи на баричну ситуацію біля поверхні землі. Зазвичай при атмосферному блокуванні на висотах антициклон має більшу інтенсивність, ніж біля поверхні землі.

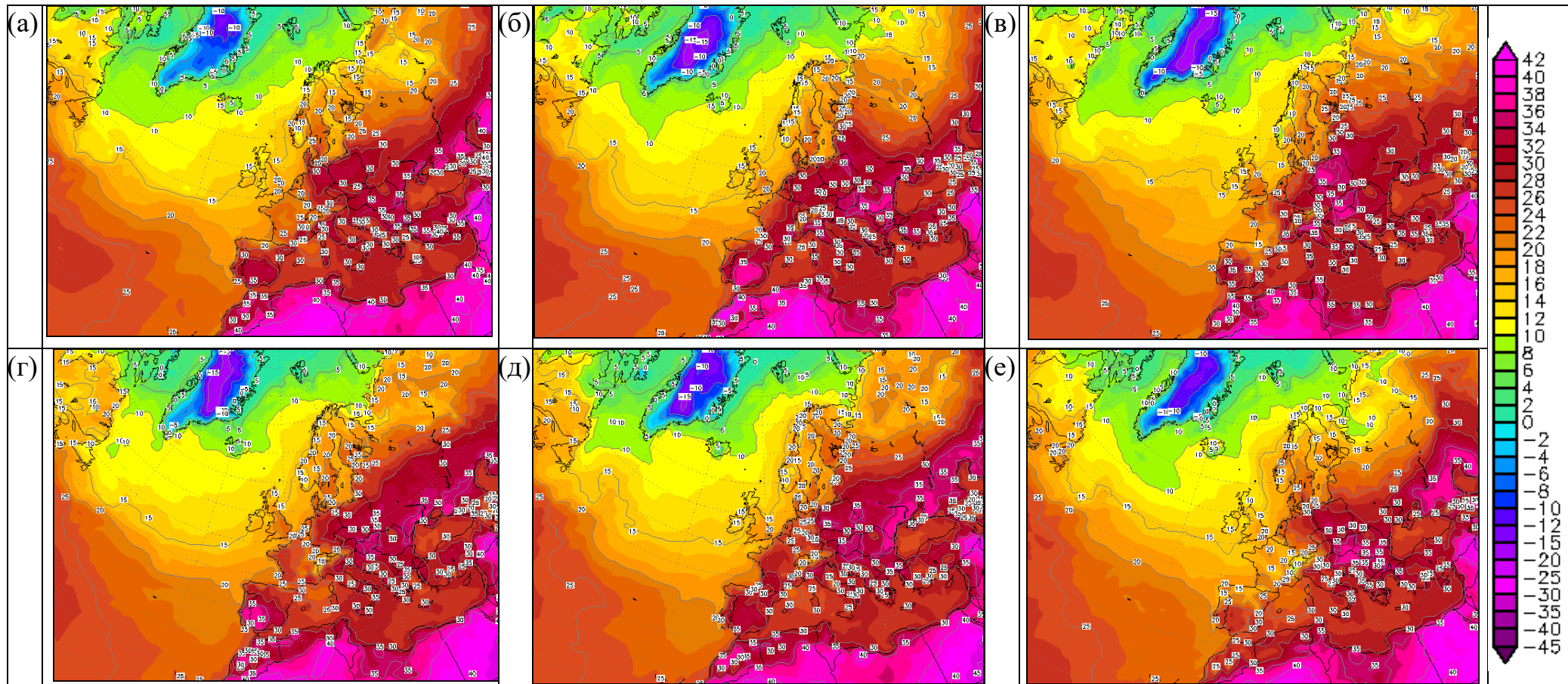


Рисунок 3.10 – Максимальна температура на рівні 2 м за 12 год. 4 (а), 6 (б), 8 (в), 10 (г), 11 (д) і 15 (е) серпня 2015 р.

В роботі [4] було висунуто гіпотезу і доведено, що підтримка антициклонічної циркуляції відбувається не тільки за рахунок великомасштабних процесів, а й за рахунок механізмів більш дрібного масштабу, які внаслідок додатних обернених зв'язків, які живлять антициклон. В якості таких механізмів можуть виступати самі аномальні явища, викликані антициклоном, такі як аномально спекотна погода, посуха, острів тепла тощо. Наприклад, як було зазначено вище, через посуху може формуватись термічний циклон біля поверхні землі, що сприяє утворенню антициклону на висотах, що в свою чергу зміцнює блокуючу структуру.

Окрім того, в антициклоні діють механізми, за рахунок яких підживлюватимуться і аномальні явища з ним пов'язані. Наприклад, низхідні рухи сприятимуть підвищенню температури через адіабатичне нагрівання повітря, що опускається. Таким чином, низхідні рухи, які дуже часто спостерігаються в нижній частині антициклону можуть інтенсифікувати хвилі тепла.

За рахунок низхідних рухів і високих температур вологість повітря суттєво зменшується, що може також посилювати таке явище як посуха.

З іншого боку, низхідні рухи і низька відносна вологість підживлюватимуть антициклон, тому окрім великомасштабних циркуляційних чинників, дуже важливо розглянути і інші механізми, які можуть впливати як на інтенсифікацію антициклонічного вихору, так і пов'язаних з ним аномальних погодних явищ.

На рис. 3. і 3.8 представлено еволюцію низькотропосферних (700 гПа) вертикальних рухів протягом 30 липня – 18 серпня 2010 р. і 3 – 16 серпня 2015 р. На рисунках вертикальні рухи надано в Па/с, тобто низхідним рухам відповідатиме знак “плюс”.

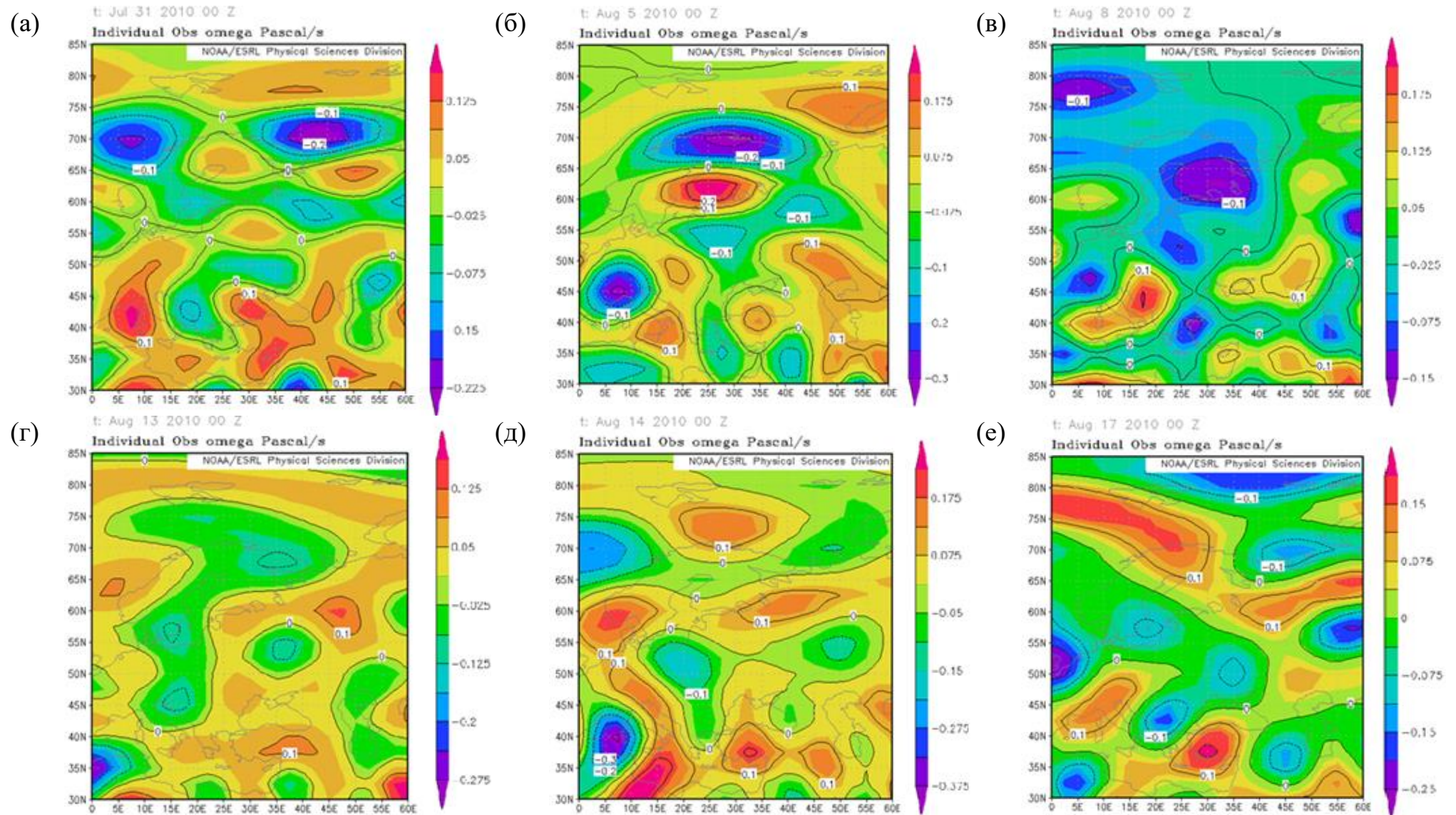


Рисунок 3.11 – Вертикальні рухи на ізобаричній поверхні 700 гПа за за 00 год. 31 липня (а), 5 (б), 8 (в), 13 (г), 14 (д) і 17 (е) серпня 2010 р.

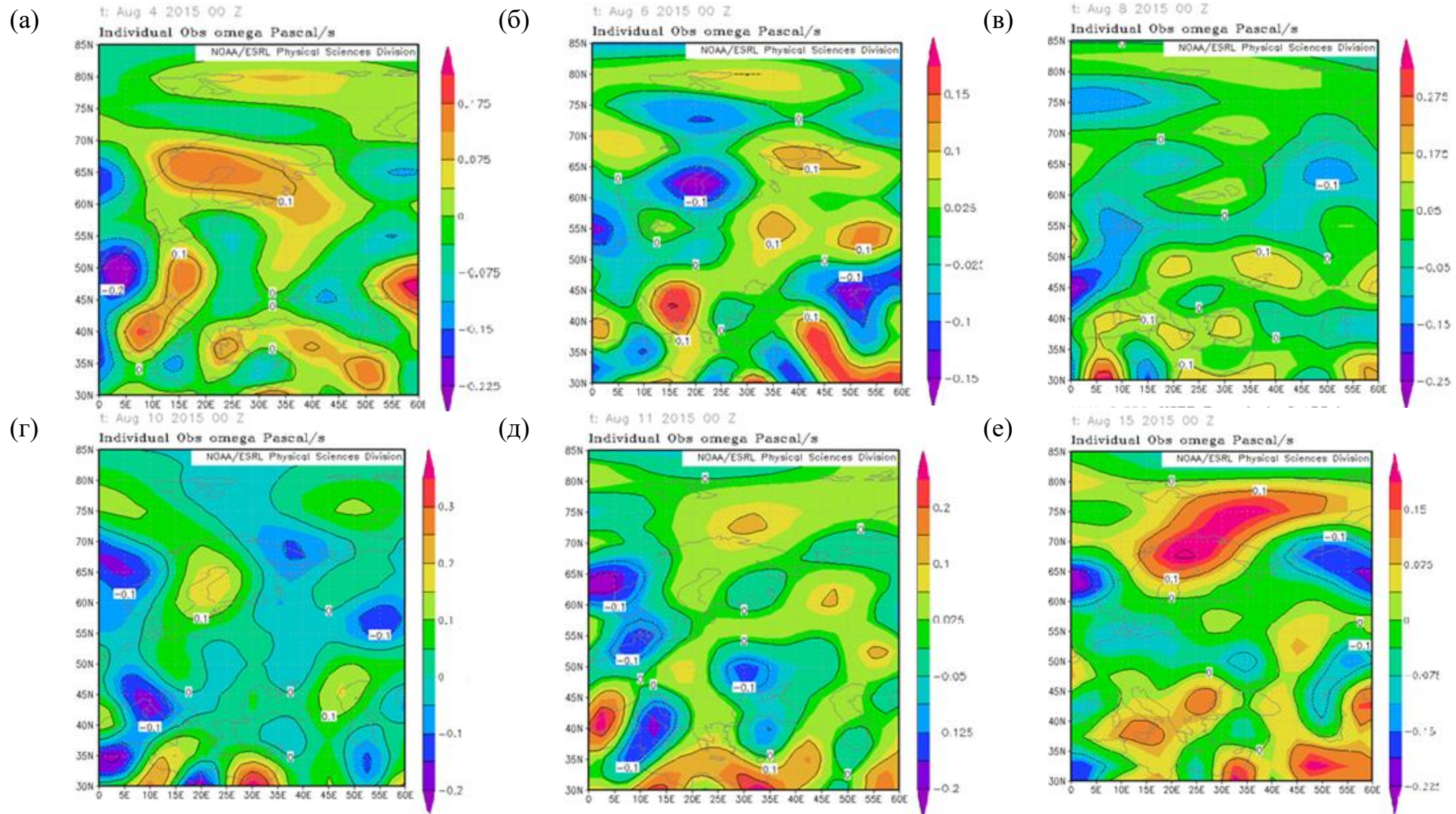


Рисунок 3.12 – Вертикальні рухи на ізобаричній поверхні 700 гПа за 00 год. 4 (а), 6 (б), 8 (в), 10 (г), 11 (д) і 15 (е) серпня 2015 р.

На самому початку блокування 31 липня 2010 р. практично весь перший природний синоптичний район був охоплений низхідними вертикальними рухами, що сприяло осіданню і адіабатичному нагріванню повітря, а отже підвищувало температуру повітря біля поверхні землі (рис. 3.5 а). З 30 липня до 9 серпня відбувалось поступове підвищення температури до 38-39°C (найвищі температури спостерігались 5 і 8 серпня), і саме в цей період добре виявляється блокування в полі критерію Тібальді-Мольтені і в полі геопотенціалу. Низхідні рухи 5 серпня є більш інтенсивними і охоплюють практично всю територію (рис. 3.5 б), над якою розташований блокуючий антициклон. 8 серпня поле вертикальних рухів має строкатий характер: області низхідних рухів чергуються з областями висхідних (рис. 3.5 в), що відбивається на інтенсивності максимальних температур – 9 серпня температури знижуються, але інтенсифікація низхідних рухів 13-14 серпня приводить до підтримання високих температур, хоча атмосферне блокування починає помітно слабшати (рис. 3.5 г,д,е).

В епізоді 2015 р., починаючи з початку атмосферного блокування, 4 серпня, низхідні рухи починають переважати над Європою (рис. 3.6 а) і ще більше посилюються, охоплюючи нові території, до 8 серпня (рис. 3.6 б, в). Саме в цей час спостерігаються найвищі температури над територією Європи, з чого можна зробити висновок, що внесок низхідних рухів в підвищення температури біля поверхні землі був істотним. Під час активізації атмосферних фронтів над Центральною Європою (10-11 серпня) низхідні рухи локалізуються, а над більшістю території Європи вертикальні рухи відсутні. Наприкінці хвилі тепла відбувається ще одне підвищення температури, яке можна пояснити як посиленням антициклону, що проявляється в полі критерію Тібальді-Мольтені, а також інтенсифікацією низхідних рухів, які знов охоплюють практично всю територію Європи (рис. 3.6 д,е).

На рис. 3.7 і 3.8 представлено поля відносної вологості і вектору швидкості вітру за окремі дати в періоди 30 липня – 18 серпня 2010 р. і 3 – 16 серпня 2015 р., а в Додатку В – за всі дати.

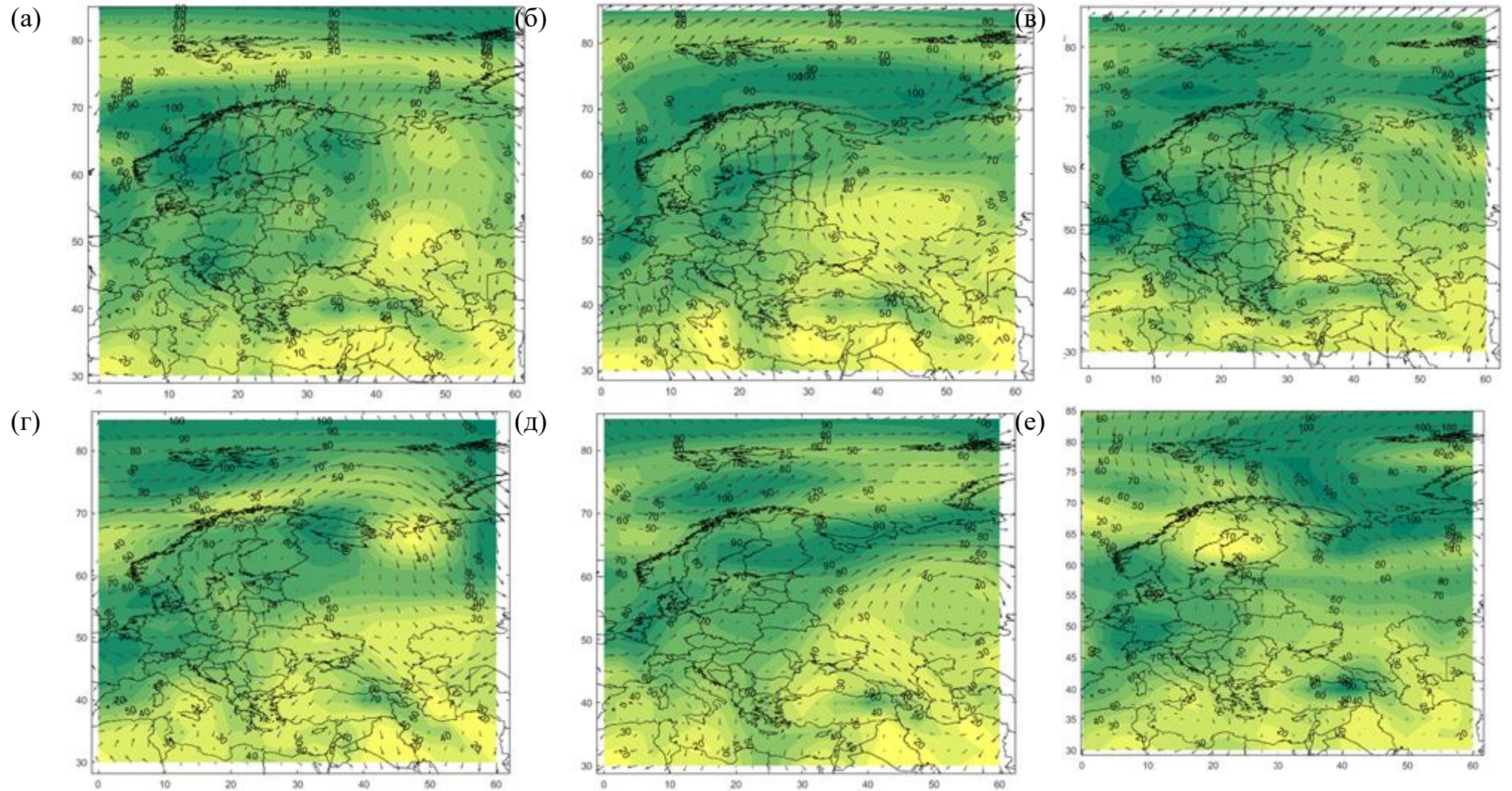


Рисунок 3.13 – Відносна вологість і вектор швидкості вітру на ізобаричній поверхні 850 гПа за за 00 год. 31 липня (а), 4 (б), 8 (в), 13 (г), 14 (д) і 17 (е) серпня 2010 р.

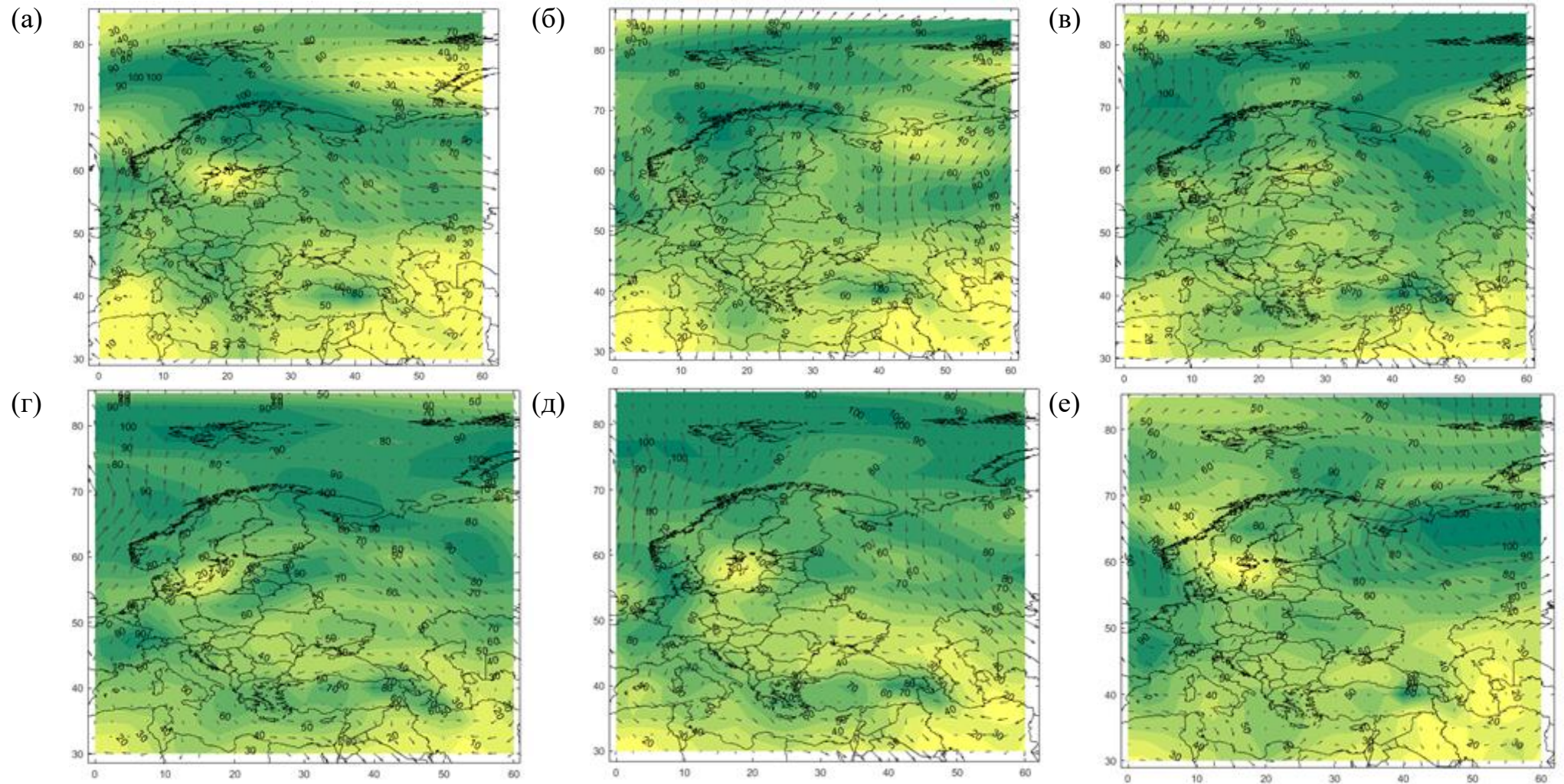


Рисунок 3.14 – Відносна вологість і вектор швидкості вітру на ізобаричній поверхні 850 гПа за 00 год. 4 (а), 6 (б), 8 (в), 10 (г), 11 (д) і 15 (е) серпня 2015 р.

З 30 липня по 8 серпня 2010 р. дуже добре виражена антициклональна циркуляція (рис. 3.7 а,б,в), за допомогою якої вносився з Каспійського моря на східні райони України, Белорусі і західні регіони Росії переноситься сухе повітря (відносна вологість в цьому районі сягає рекордно низьких значень 20-30%).

13-14 серпня ще утримується антициклональна циркуляція і на територію Східної України західно-південними потоками ще вносився сухе повітря (рис. 3.7 г,д), відносна вологість якого лишається рекордно низькою. І вже 17 серпня (рис. 3.7 е) антициклональна циркуляція помітно послаблюється, потоки змінюють свій напрямок і на території, які охоплювала хвиля тепла, переміщується вологе повітря (відносна вологість складає приблизно 70-80%), яке ослаблює хвилю тепла і посуху.

В епізоді 2015 р. з 3 по 8 серпня східними потоками сухе повітря (значення відносної вологості складають 20-30%) з Каспійського вносився в райони Чорного моря та південні регіони Європи, також на райони Західної Європи переміщується дуже сухе повітря (відносна вологість 10%) з північної Африки (рис. 3.8 а,б,в), що у другій половині блокування – 10-11 серпня, – коли антициклон починає слабшати, призводить до формування стійких осередків сухого повітря, де відносна вологість знижується до 40%, над регіонами Європи. І хоча обвалення хвиль Россбі припиняється в цей період і розпочинається руйнування антициклону, такі осередки ще підтримують всі процеси в середині антициклону і сприяють пролонгації хвилі тепла і посухи, що виявилось у вторинному підвищенні максимальних температур. 15 серпня відносна вологість починає поступово підвищуватись над територією всієї Європи.

Таким чином, в даному дослідженні було зроблено спробу дослідити динамічний взаємозв'язок між атмосферним блокуванням і посухою і хвилею тепла через процеси різних масштабів і було показано, що атмосферне блокування і 2010, і 2015 рр. підсилювало посуху і хвилі тепла впродовж усього періоду блокування.

В минулих дослідженнях, в яких приділяється увага, динамічному взаємозв'язку між атмосферним блокуванням і екстремальними явищами погоди, в більшості з цих досліджень робиться акцент на обумовленості екстремальних явищ атмосферним блокінгом, але зовсім не досліджуються обернені зв'язки і їх вплив на антициклони. В деяких роботах [5, 7] було досліджено вплив посух, хвиль тепла, пов'язаних зі змінами вологості ґрунту і міського острова тепла, пов'язаного зі зміною землекористуванні на блокування. В роботі [5] було вивчено взаємодію між хвилею тепла 2003 р і супутнім блокінгом і знайдено, що дефіцит вологості ґрунту в попередні місяці призвів до зменшення прихованого потоку тепла і збільшення явного потоку тепла. Це спричинило формування термічного циклону біля поверхні землі і посилення гребеня на висотах, який в свою чергу посилив атмосферний блокінг.

В двох випадках, розглянутих в цій роботі, також в липні 2010 р. і липні 2015 р. на висотах, завдяки посухам, які спостерігались в ці місяці, на висотах було сформовано області підвищеного тиску, що було виражено в аномаліях поля геопотенціальної висоти поверхні 500 гПа.

ВИСНОВКИ

Випадки інтенсивних хвиль тепла, які спостерігалися над територією України в період з 1999 по 2018 рр. і включали тривалі епізоди аномально спекотної погоди, розглядалися як процеси обвалення хвиль Россби. У 8 епізодах з 10 критерій Тібальді-Мольтені вказав на наявність блокування в атмосфері, хоча не завжди в полі даного індексу проявляються самі інтенсивні хвилі тепла. У виявлених епізодах блокування критерій Тібальді-Мольтені демонстрував добру безперервність просторово-часового розподілу. У 9 з 10 епізодів отримані результати добре узгоджувалися з полями аномалій геопотенціальних висот, а також з іншими ознаками, які супроводжують атмосферне блокування.

Більш детальний синоптичний і гідродинамічний аналіз було зроблено для двох епізодів: 31 липня – 18 серпня 2010 р. над східною і центральною Україною і 3 – 16 серпня 2015 р. над центральною і східною Європою, які супроводжувались інтенсивними хвилями тепла і екстремальною посухою. Обидва випадки були добре виражені в полі критерію Тібальді-Мольтені, проте, 12-13 серпня 2010 р. і 10-11 серпня 2015 р. критерій не вказував на наявність блокінгу і в ці періоди спостерігалось послаблення антициклону і суттєве зменшення інтенсивності супутніх екстремальних явищ.

Впродовж обох епізодів атмосферного блокінгу над Україною і прилеглими територіями відбулось посилення хвилі тепла і посухи. Завдяки наявності блокуючого антициклону спостерігалися від'ємні аномалії опадів і аномально високі температури, які посилювались радіаційним нагріванням і адіабатичним опусканням повітря.

Екстремальні явища погоди підсилювались не тільки радіаційним нагріванням і адіабатичним опусканням повітря, але і адвекцією теплого і сухого повітря з південних областей на територію України.

На формування обох антициклонів вплинула наявність рекордної посухи в попередні місяці, оскільки як було вказано в роботі [5], посилення явного потоку тепла може призвести до формування термічного циклону біля поверхні землі і гребеня на висотах, що сприяє встановленню атмосферного блокінгу.

А. А. А.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бардин М.Ю. Региональные квазистационарные режимы зимней циркуляции в умеренных широтах Северного полушария. I. Географическое распределение. Аномалии геопотенциала, связанные с режимами // Метеорология и гидрология. – 1999. – № 1. – С. 5-19.
2. Бардин М.Ю. Региональные квазистационарные режимы зимней циркуляции в умеренных широтах Северного полушария. II. Пространственное распределение и горизонтальная структура флуктуаций // Метеорология и гидрология. – 1999. – № 2. – С. 12-24.
3. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 612 с.
4. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Л., Гидрометеиздат, 1977. – 712 с.
5. Иванова А.Р., Шакина Н.П., Скриптунова Е.Н., Богаевская Н.И. Сравнение динамических характеристик блокирующего антициклона лета 2010 года с более ранними эпизодами// Анализ условий аномальной погоды на территории России летом 2010 г. Сборник докладов/ под ред. д-ра физико-математических наук, проф. Шакиной/ ГУ «Гидрометцентр России». – М.: Триада, ЛТД, 2011. – С. 65-71. (2)
6. Лупо Э.Р., Мохов И.И., Достоглоу С., Куиц А.Р., Буркхард Дж. П. Оценка влияния процессов планетарного масштаба с анализом фазовых траекторий и энтропии на распад блокингов. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2007. – Т. 43, № 1. – С. 1-8.
7. Мохов И.И., Петухов В.К. Блокинги и их тенденции изменения // ДАН. РАН. – 1997. – Т. 337. – № 5. – С. 687–689.
8. Мультиановский Б.П. Влияние центров действия атмосферы на погоду Европейской России в теплое время года. // Засухи. Геофизич. Сб. – 1915. Т. II, вып. 3.

9. Пальмен Э., Ньютон Ч. Циркуляционные системы атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 400 с. (3)
10. Попова В.В. Летнее потепление на европейской территории России и экстремальная жара 2010 г. как проявление тенденций крупномасштабной атмосферной циркуляции в конце XX в. – XXI в. // Метеорология и гидрология. – 2014. – № 3. – С.37-49.
11. Рил Г., Алака М.А., Джордан К.Л., Ренар Р. Дж. Струйное течение. – М.: Иностранная литература, 1959. – 134 с.
12. Тудрий К. О. Диагноз и прогноз блокирующих атмосферных образований: диссертация на соискание степени кандидата Географических наук: 25.00.30 / Тудрий Кирилл Олегович; [Место защиты: ФГБОУ ВО Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова], 2017.
13. Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 568 с.
14. Шакина Н.П., Иванова А.Р. Блокирующие антициклоны: современное состояние исследований и прогнозирования // Метеорология и гидрология. – 2010. – № 11. – с. 5-19.
15. Шакина Н.П. Лекции по динамической метеорологии. – М.: ТРИАДА. ЛТД, 2013. – 160 с.
16. Austin J.F. The blocking of middle latitude westerly winds by planetary waves // Quart. J. Roy. Soc. – 1980. – V. 106, No 448. – pp. 327-350.
17. Barnes E. A., Slingo J., T. Woollings A methodology for the comparison of blocking climatologies across indices, models and climate scenarios // Clim. Dyn. – 2012. – V. 38. – pp. 2467–2481.
18. Collucci S.J., Loesch A.Z., Bosart L.F. Spectral evolution of blocking episode and comparison with wave interaction theory // J. Atmos. Sci. – 1981. –V. 38, No 10. – pp. 2092-2111.
19. Dong L., C. Mitra, S. Greer, E. Burt. The Dynamical Linkage of Atmospheric Blocking to Drought, Heatwave and Urban Heat Island in Southeastern US: A Multi-Scale Case Study. – Atmosphere, 2018, 9, 33. DOI: 10.3390/atmos9010033.

20. Elliott R., Smith T. A study of the effect on large blocking high on the general circulation in the Northern hemisphere westerlies // *J. Meteorol.* – 1949. V. 6, No 2. – pp. 67-85.
21. Fischer, E.M.; Seneviratne, S.I. Soil moisture-atmosphere interactions during the 2003 European summer heat wave. *J. Clim.* 2007, 20, 5081–5099
22. Garcia-Herrera, R.; Diaz, J.; Trigo, R.M.; Luterbacher, J.; Fischer, E.M. A review of the European summer heat wave of 2003. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 2010, 40, 267–306.
23. Grose, W. L. and B. J. Hoskins, 1979: On the influence of orography on large-scale atmospheric flow. *J. Atmos. Sci.*, 36, 223-234.
24. Hirsch, A.L.; Pitman, A.J.; Kala, J. The role of land cover change in modulating the soil moisture-temperature land-atmosphere coupling strength over Australia. *Geophys. Res. Lett.* 2014, 41, 5883–5890.
25. Hoskins, B.J. and Karoly, D.J. (1981) The Steady Linear Response of a Spherical Atmosphere to Thermal and Orographic Forcing. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 38, 1179-1196.
26. Hoskins B.J., James I.N., White G.H. The shape, propagation, and mean-flow interaction of large-scale weather systems // *J. Atmos. Sci.* 1983. V. 40. P. 1595–1612.
27. Kingston, D.G.; Stagge, J.H.; Tallaksen, L.M.; Hannah, D.M. European-scale drought: Understanding connections between atmospheric circulation and meteorological drought indices. *J. Clim.* 2015, 28, 505–516.
28. Masato G., Hoskins B.J., Woollings T.J. Can the frequency of blocking be described by a red-noise process? // *J. Atmos. Sci.* 2009. V. 66. No. 7. P. 2143–2149.
29. Pelly J., Hoskins B. A new perspective on blocking // *J. Atmos. Sci.* – 2003. – V. 60. – pp. 743–755.
30. Rex D.F. Blocking action in the middle troposphere and its effect upon regional climate. Part I: an aerological study of blocking action // *Tellus.* – 1950a. – V. 2. – pp. 196-211.

31. Rex D.F. Blocking action in the middle troposphere and its effect on regional climate. Part II: the climatology of blocking action // *Tellus*. – 19506. – V. 3. – pp. 275-301.
32. Russo S., J. Sillmann and E.M. Fischer, 2015, Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades. *Environ. Res. Lett.*10, 124003
33. Schneidereit, A.; Schubert, S.; Vargin, P.; Lunkkeit, F.; Zhu, X.; Peters, D.H.W.; Fraedrich, K. Large-scale flow and long-lasting blocking high over Russia: Summer 2010. *Mon. Weather Rev.* 2012, 140, 2967–2981.
34. Teng, H.; Branstator, G. Causes of extreme ridges that induce California droughts. *J. Clim.* 2017, 30, 1477–1492.
35. Tibaldi S. and F. Molteni, 1990, On the operational predictability of blocking. *Tellus*, 42A, 343-365
36. Trigo R. M., I. F. Trigo , C. C. DaCamara and T. J. Osborn, 2004, Climate impact of the European winter blocking episodes from the NCEP/NCAR Reanalyses. *Climate Dynamics* (2004) 23: 17–28.
37. Treidl R.A., Birch E.C., Sajeeki P. Blocking action in the Northern hemisphere: a climatological study // *Atmos. Ocean*. – 1981. – V. 19, No 1. – pp. 1-23.
38. Tyrlis E., Hoskins B.J. The morphology of Northern Hemisphere blocking // *J. Atmos. Sci.* 2008. V. 65. No. 5. P. 1653–1665.
39. Wang, S.Y.; Hippias, L.; Gillies, R.R.; Yoon, J. Probable causes of the abnormal ridge accompanying the 2013-2014 California drought: ENSO precursor and anthropogenic warming footprint. *Geophys. Res. Lett.* 2014, 41, 3220–3226.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Список конференцій та публікацій

Вид наукової роботи (теми наукових робіт, автор, керівник роботи)	Кількість кредитів
Участь у I етапі Всеукраїнського конкурсу наукових студентських робіт зі спеціальності «Науки про Землю (гідрометеорологія)» 2019-2020 н.р.	0,25
Університетські конференції, семінари, гуртки (інші):	
Конференції молодих вчених ОДЕКУ, 25-29 травня 2020 р., м. Одеса. Доповідь на тему: «Багатомасштабний взаємозв'язок атмосферного блокінгу з посухами і хвилями тепла».	0,25
Опубліковані тези конференцій:	
Холостенко А.М. Багатомасштабний взаємозв'язок атмосферного блокінгу з посухами і хвилями тепла. Матеріали ХІХ наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ. 25-29 травня 2020 р. Одеса: ОДЕКУ. 2020. 308-309 с.	0,25
Всього	9,75

ДОДАТОК Б

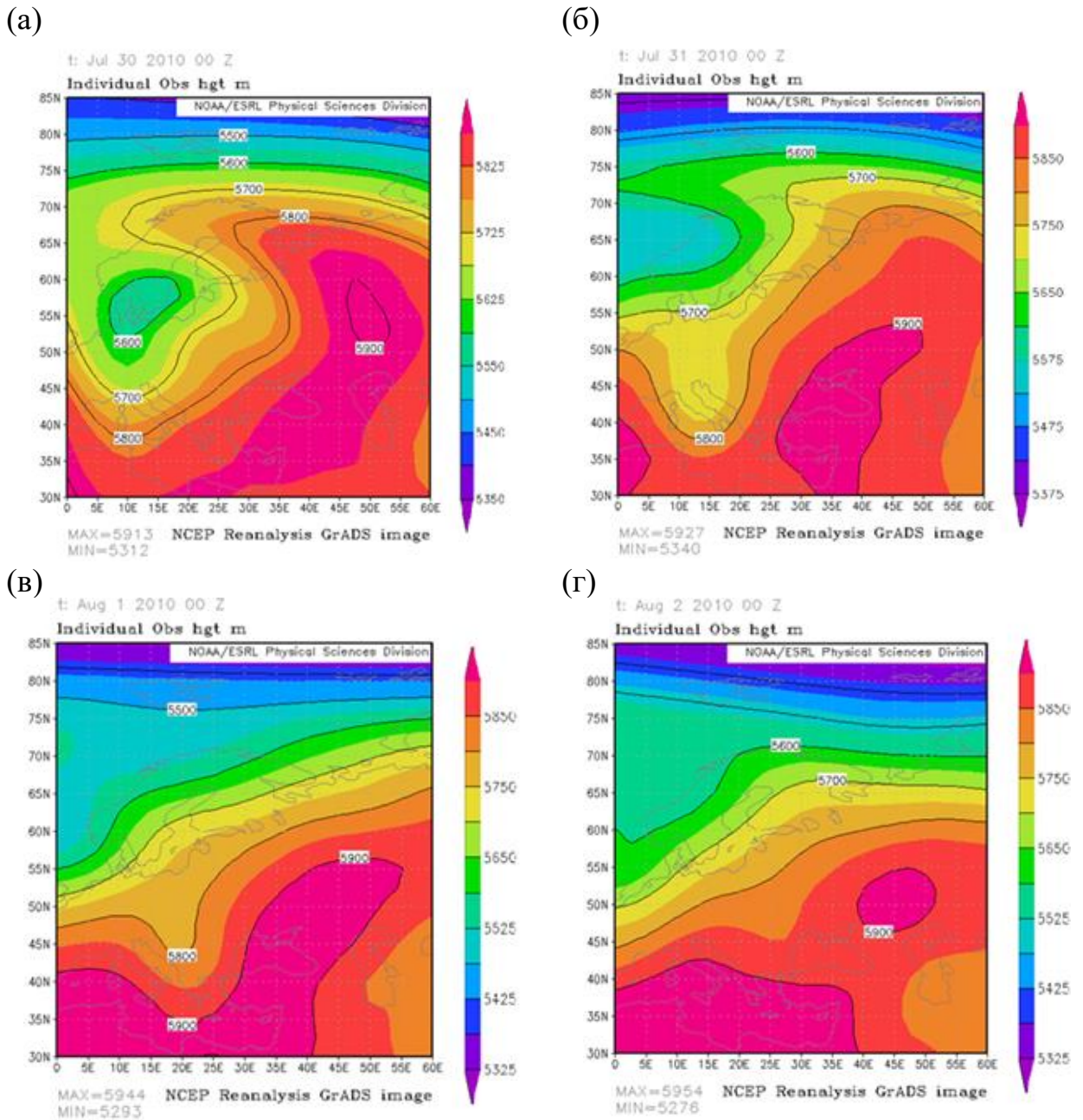
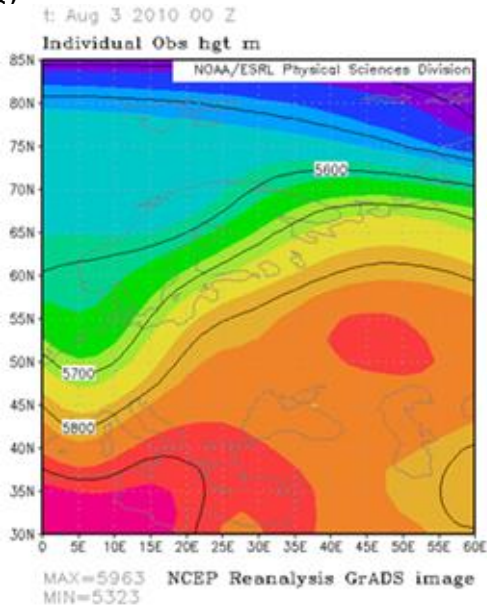
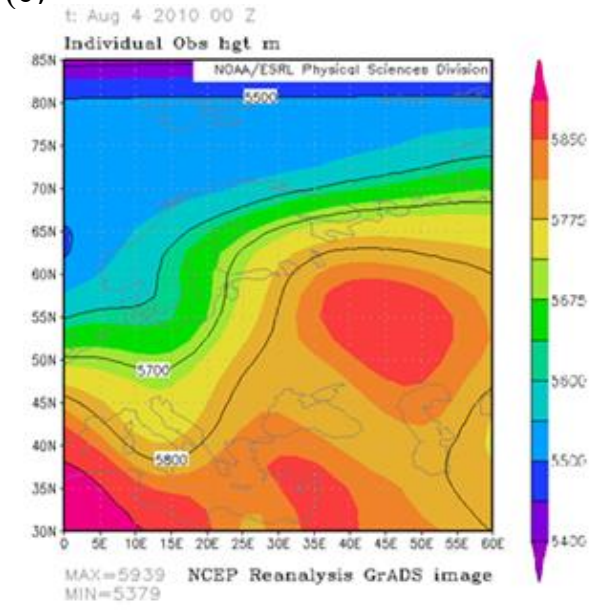


Рисунок Б.1 - Висота ізобаричної поверхні 500 гПа за 00 год. 30 липня (а), 31 липня (б), 1 серпня (в), 2 серпня (г), 3 серпня (д), 4 серпня (е), 5 серпня (ж), 6 серпня (и), 7 серпня (к), 8 серпня (л), 9 серпня (м), 10 серпня (н), 11 серпня (о), 12 серпня (п), 13 серпня (р), 14 серпня (с), 15 серпня (т), 16 серпня (у), 17 серпня (ф), 18 серпня (х) 2010 р.

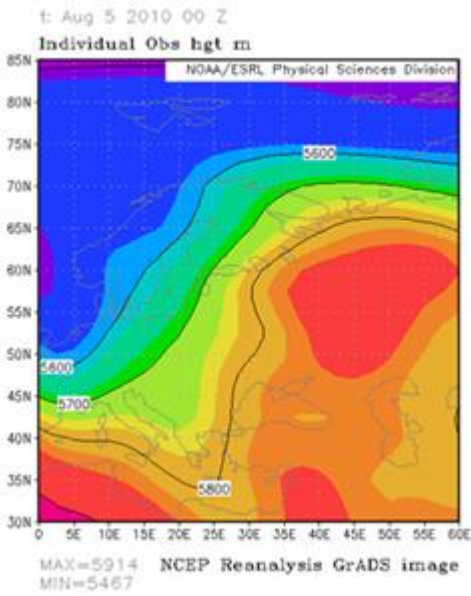
(Д)



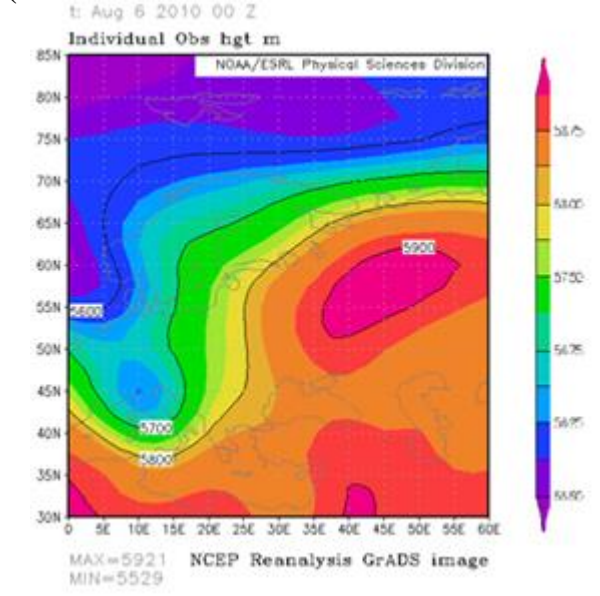
(е)



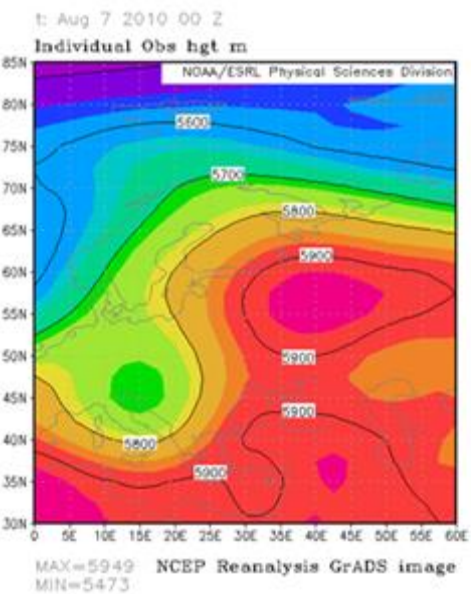
(Ж)



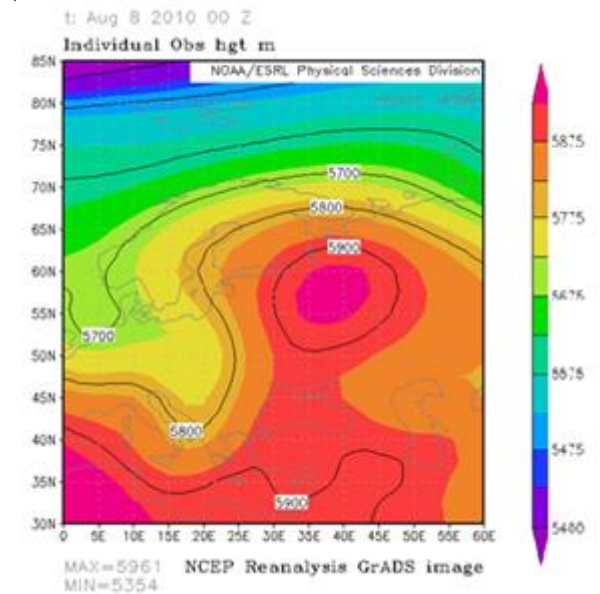
(И)



(К)

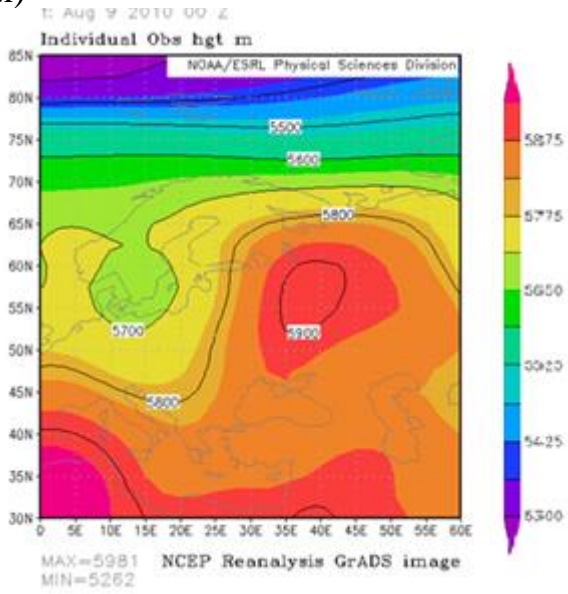


(Л)

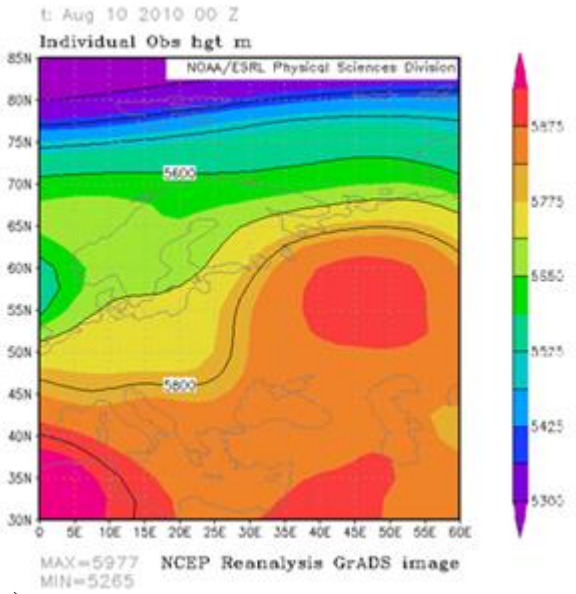


Продовження рисунку Б.1

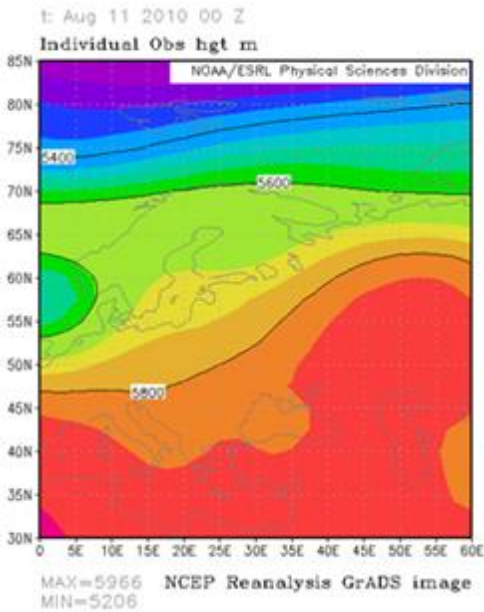
(M)



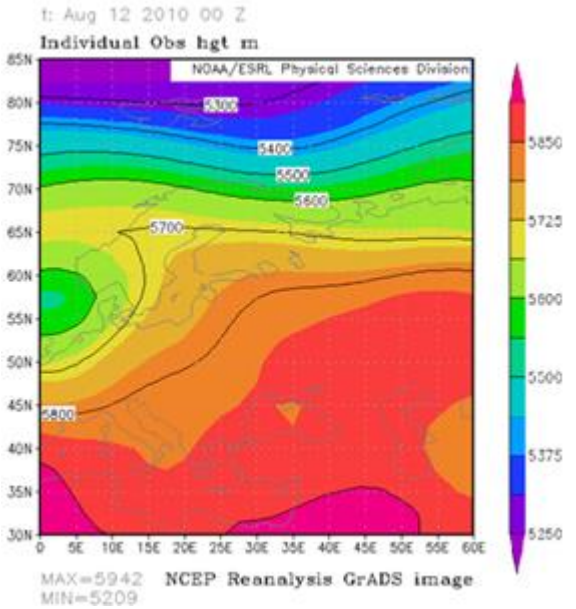
(H)



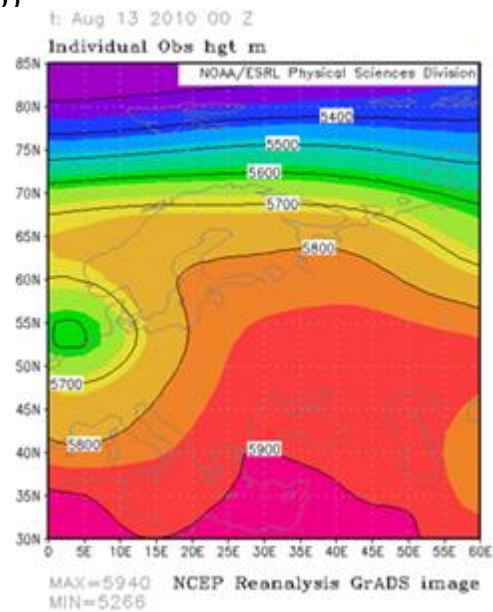
(O)



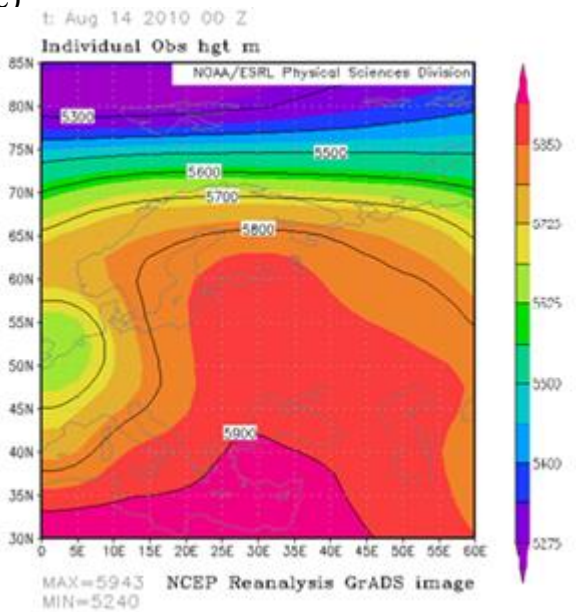
(П)



(P)

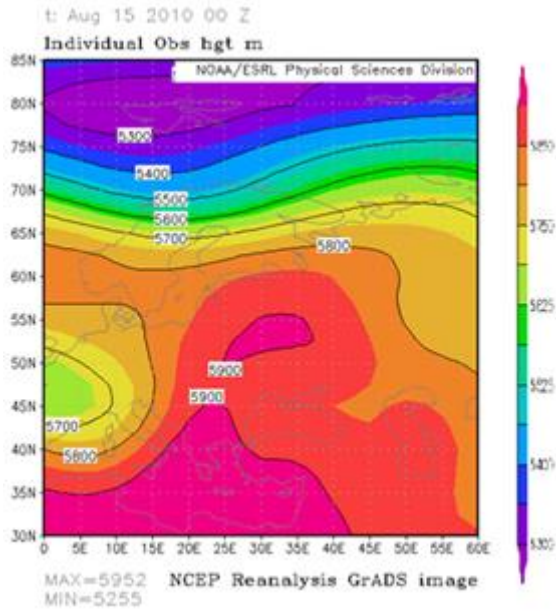


(C)

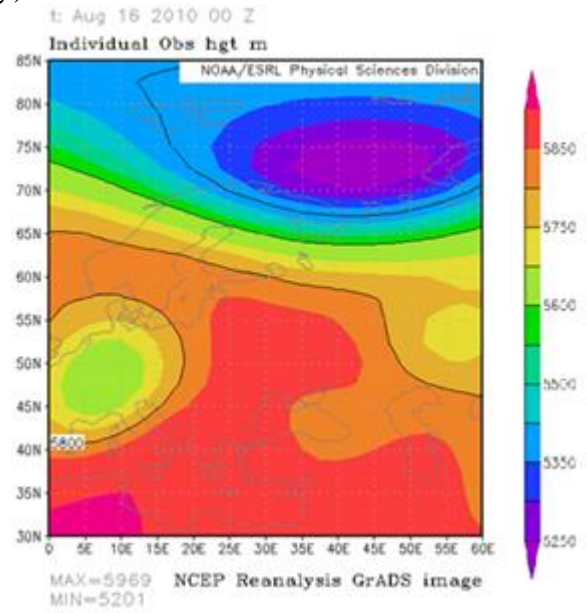


Продовження рисунку Б.1

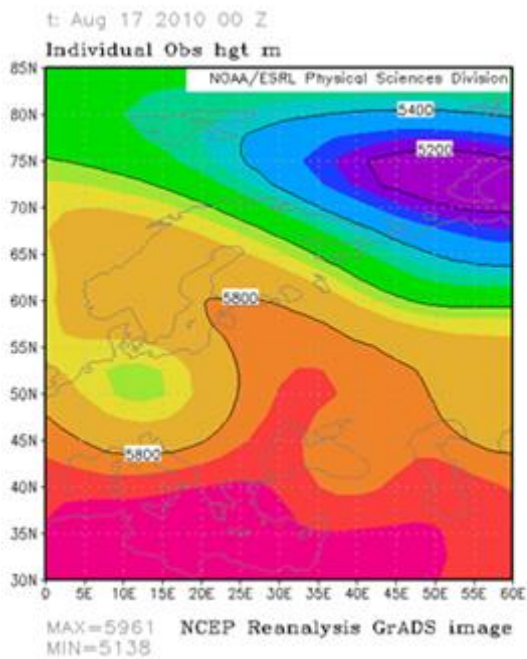
(T)



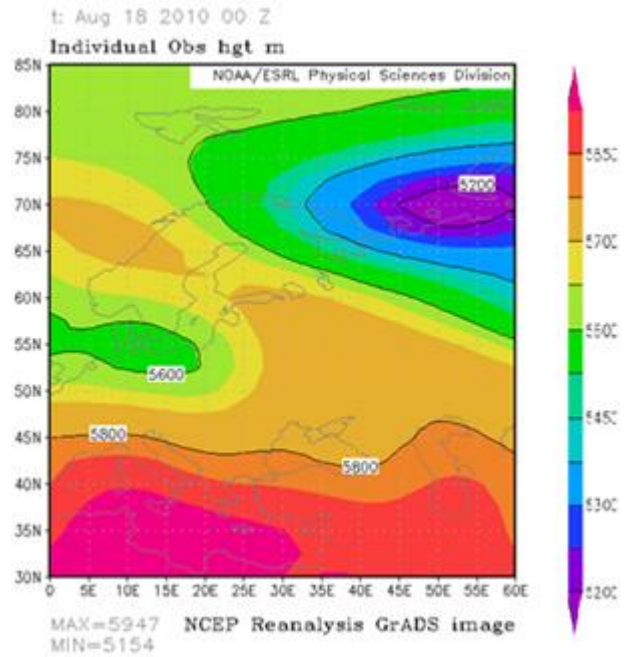
(y)



(φ)

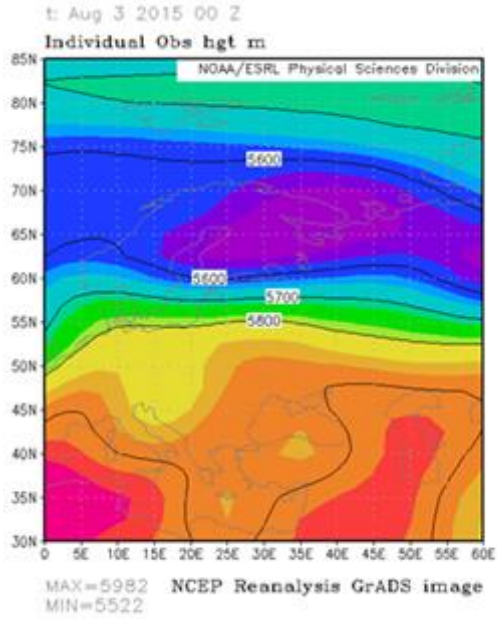


(x)

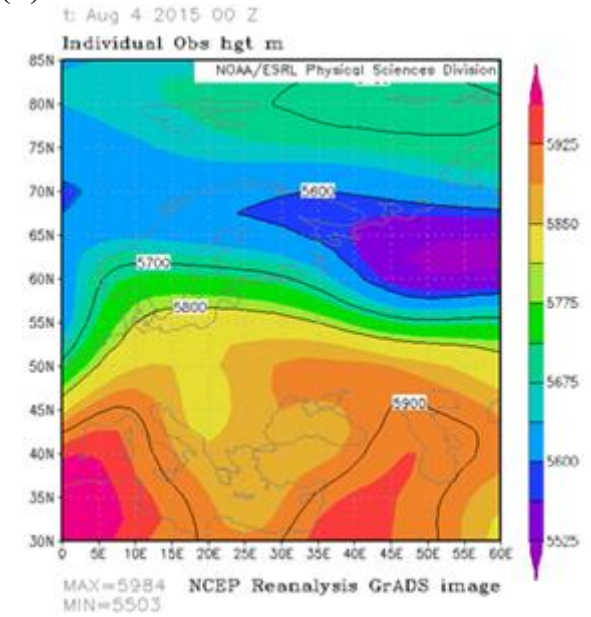


Продовження рисунку Б.1

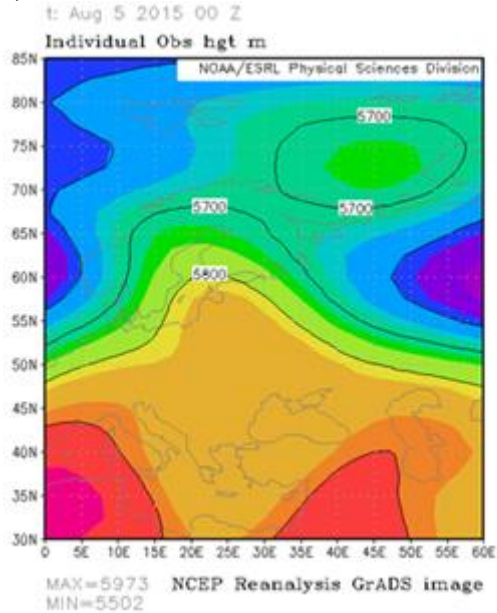
(a)



(б)



(в)



(г)

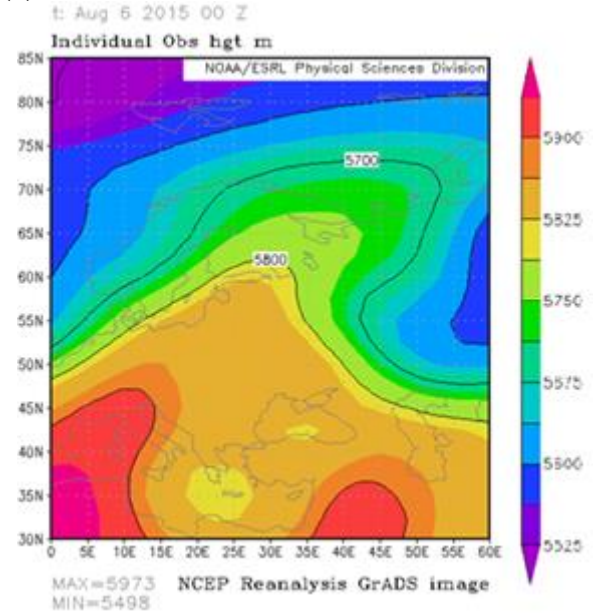
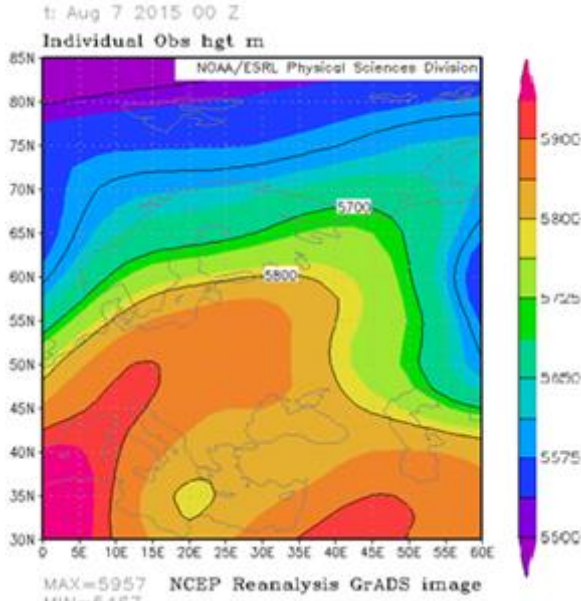
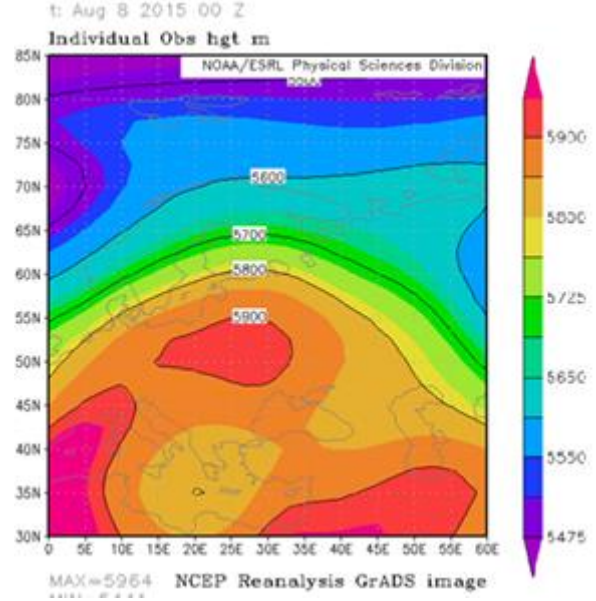


Рисунок Б.2 - Висота ізобаричної поверхні 500 гПа за 00 год.3 серпня (а), 4 серпня (б), 5 серпня (в), 6 серпня (г), 7 серпня (д), 8 серпня (е), 9 серпня (ж), 10 серпня (и), 11 серпня (к), 12 серпня (л), 13 серпня (м), 14 серпня (н), 15 серпня (о), 16 серпня (п) 2015 р.

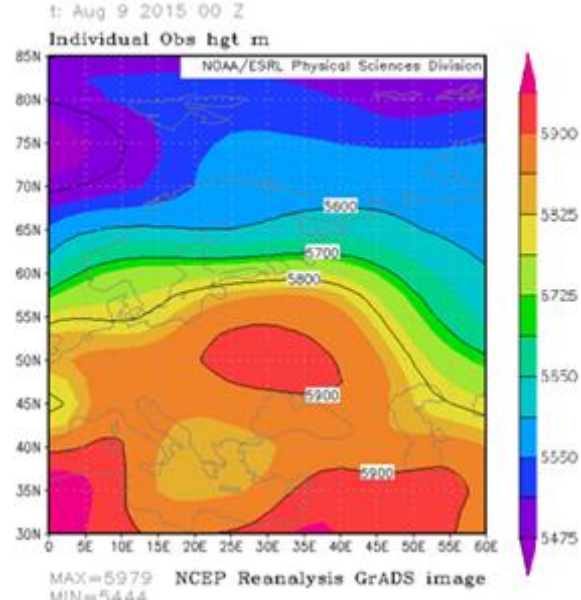
(Д)



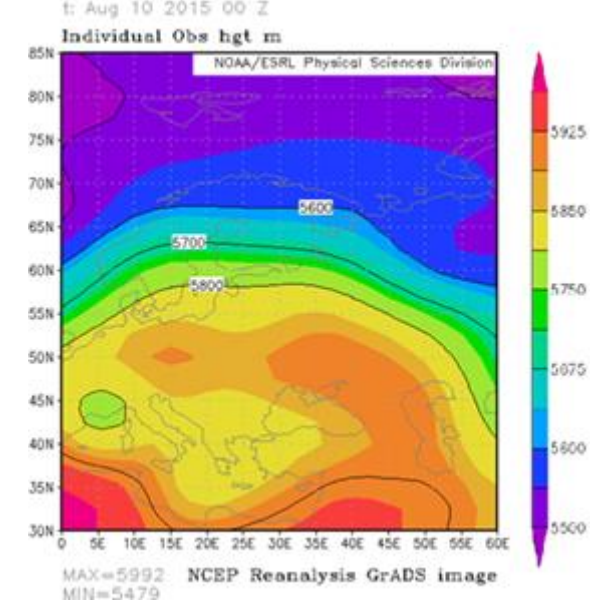
(e)



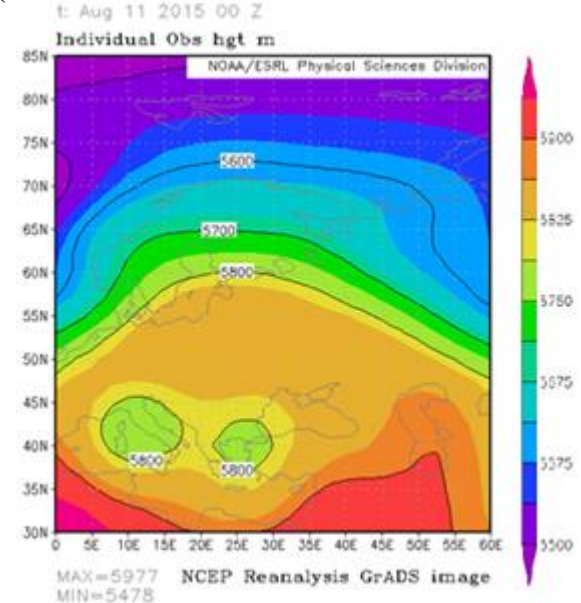
(Ж)



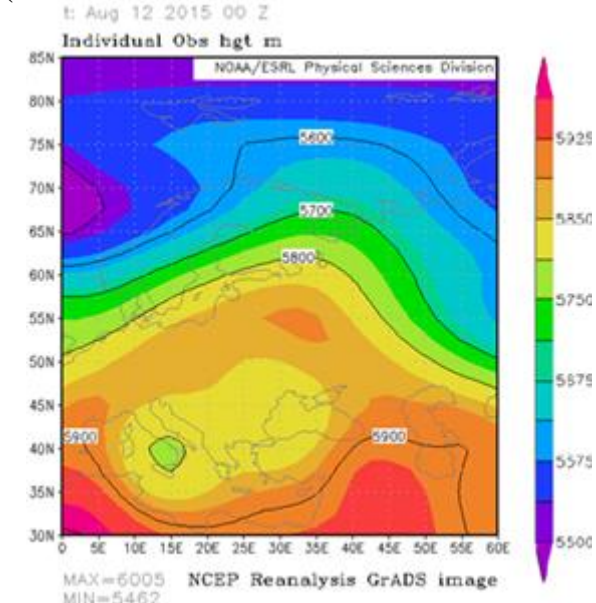
(И)



(К)

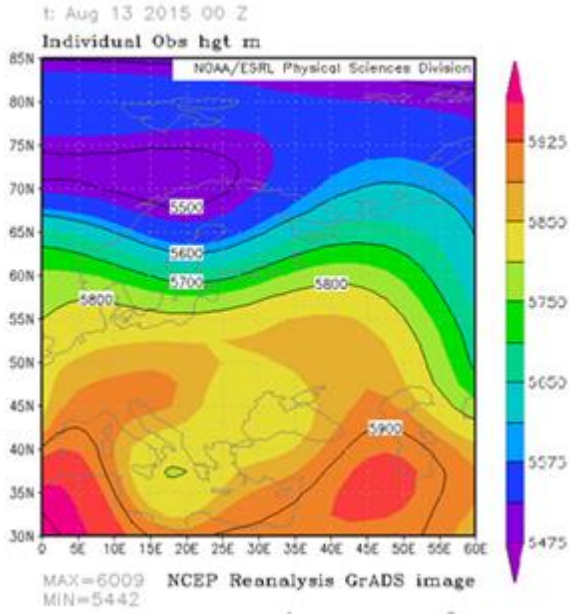


(Л)

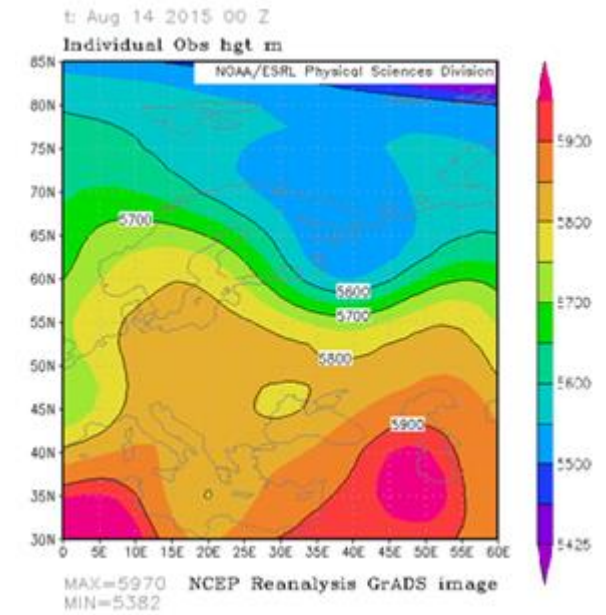


Продовження рисунку Б.2

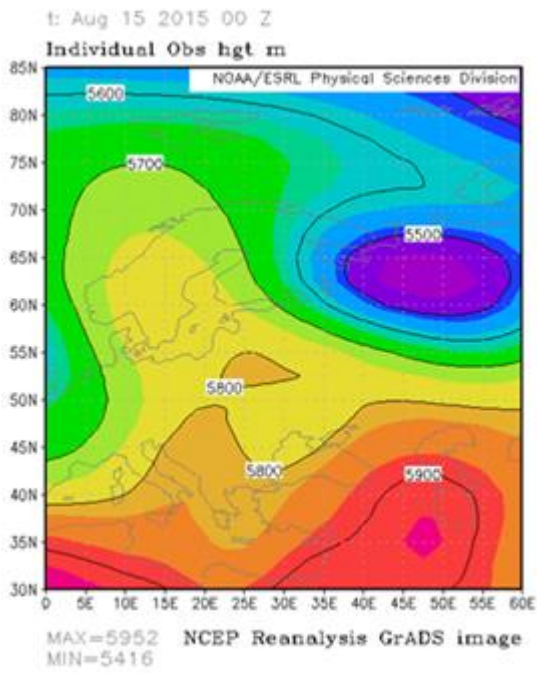
(M)



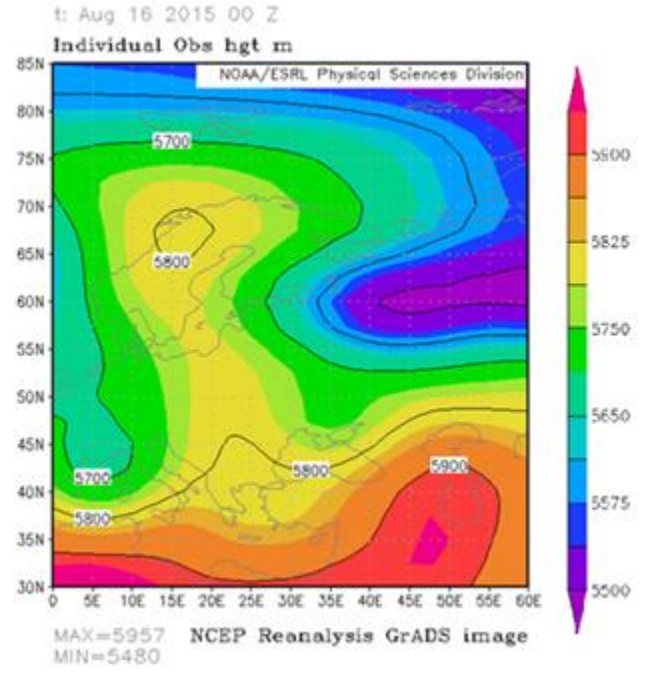
(H)



(O)



(II)



Продовження рисунку Б.2

ДОДАТОК В

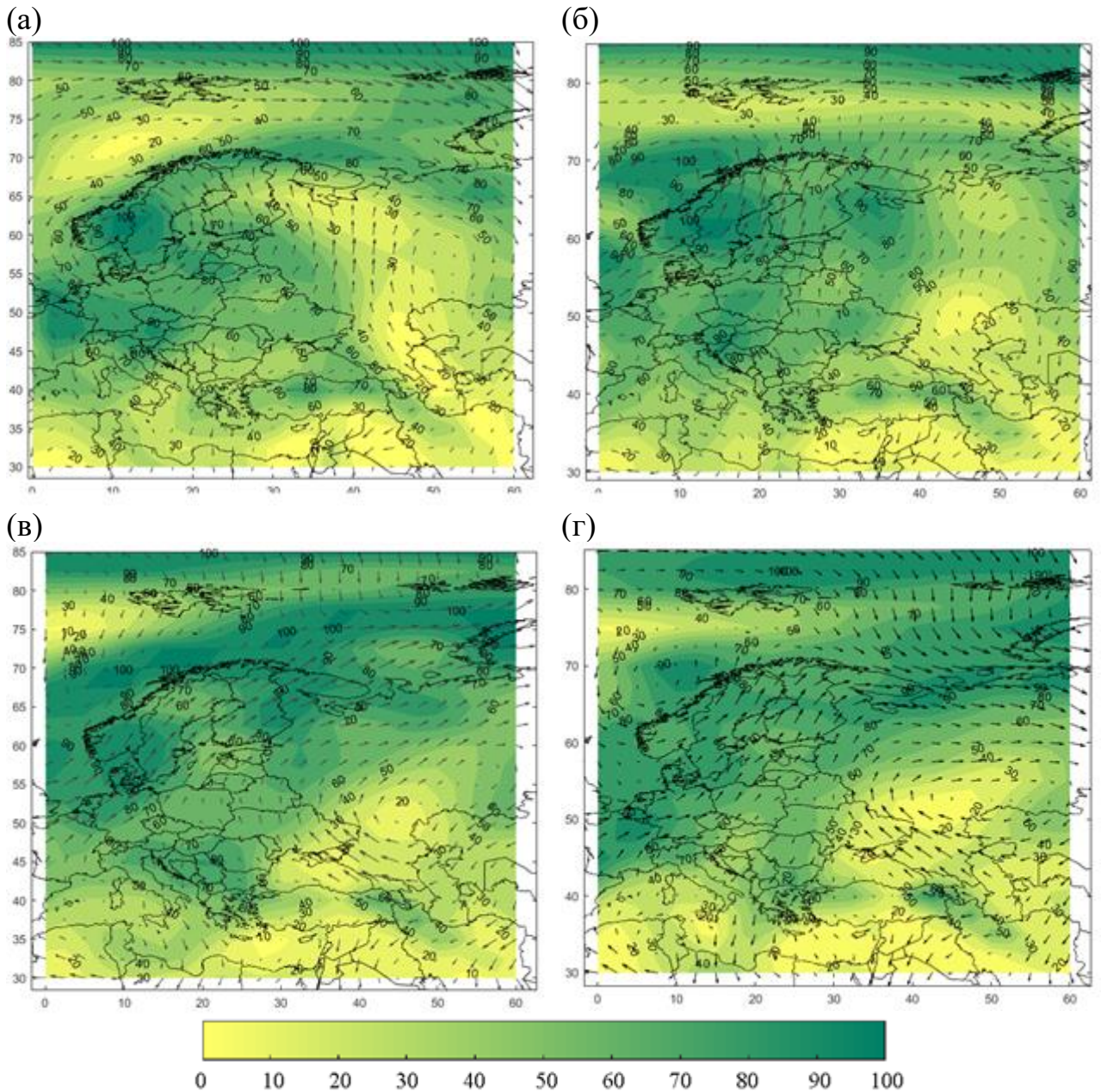
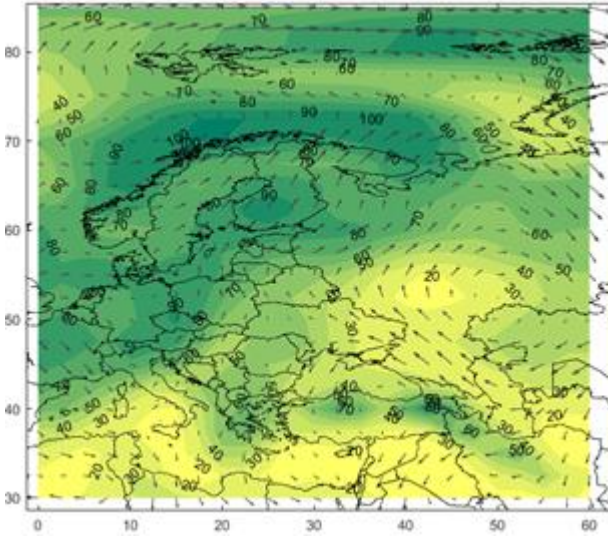
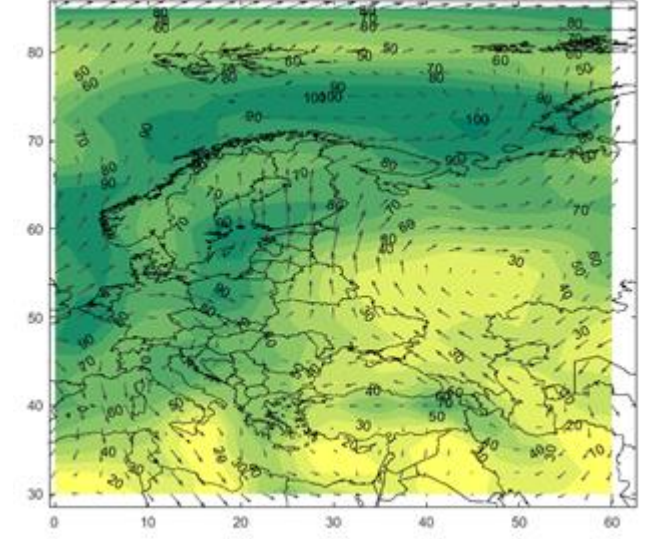


Рисунок В.1 - Відносна вологість і вектор швидкості вітру на ізобаричній поверхні 850 гПа за 00 год. 30 липня (а), 31 липня (б), 1 серпня (в), 2 серпня (г), 3 серпня (д), 4 серпня (е), 5 серпня (ж), 6 серпня (и), 7 серпня (к), 8 серпня (л), 9 серпня (м), 10 серпня (н), 11 серпня (о), 12 серпня (п), 13 серпня (р), 14 серпня (с), 15 серпня (т), 16 серпня (у), 17 серпня (ф), 18 серпня (х) 2010 р.

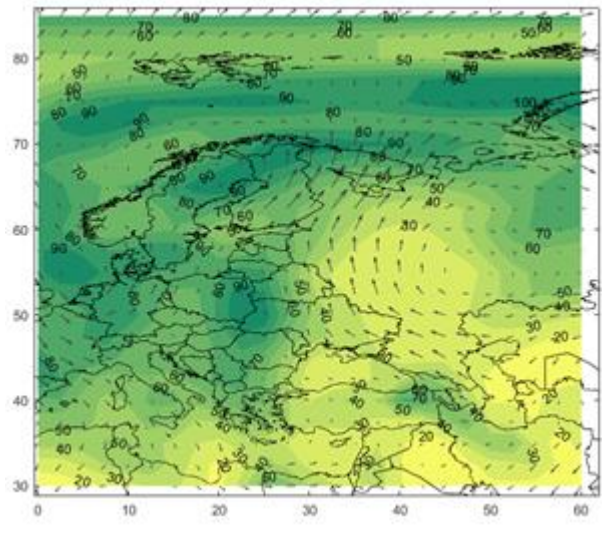
(Д)



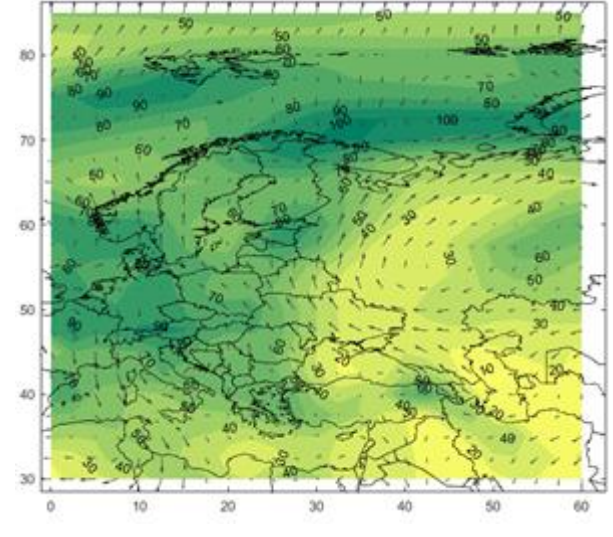
(е)



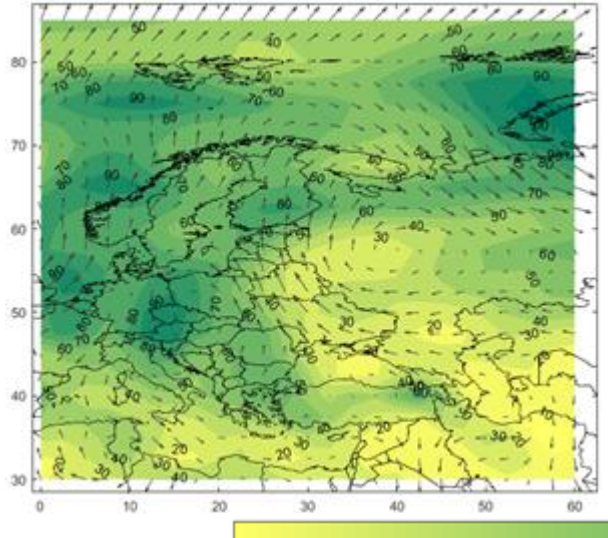
(Ж)



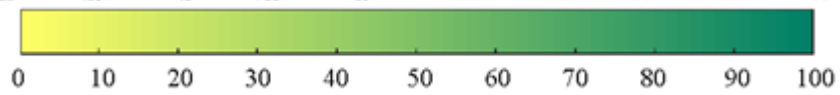
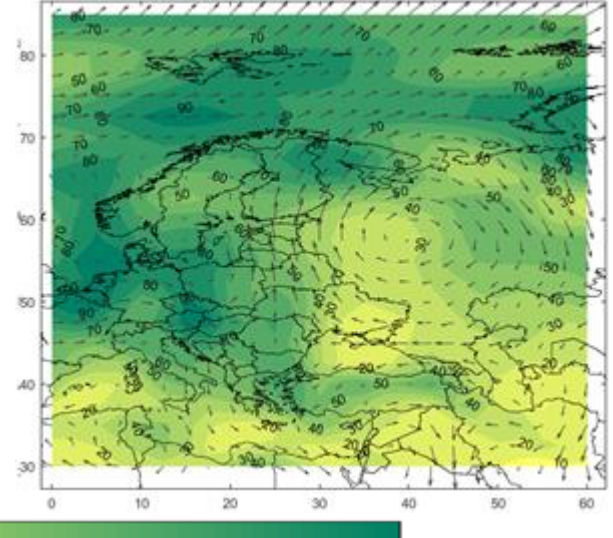
(И)



(К)

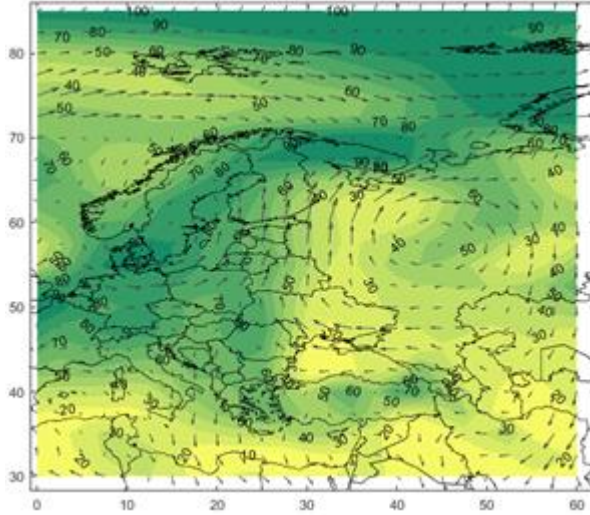


(Л)

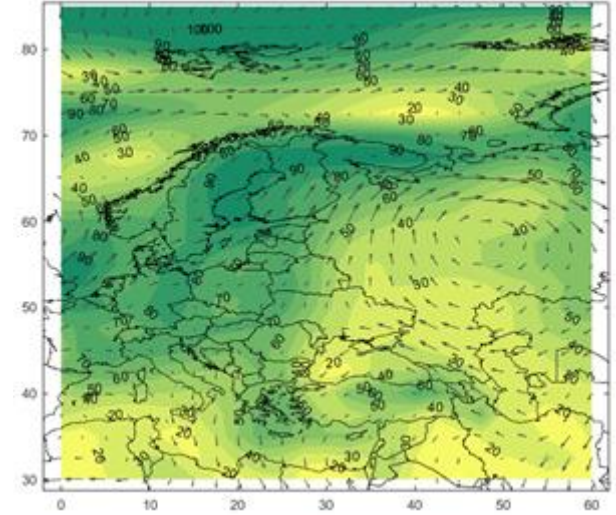


Продовження рисунку В.1

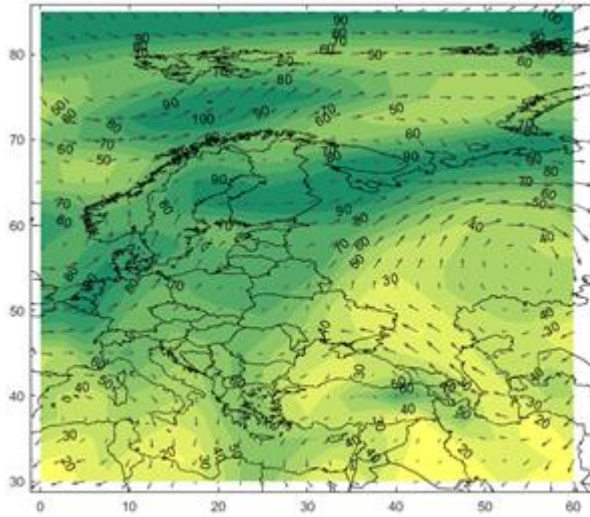
(M)



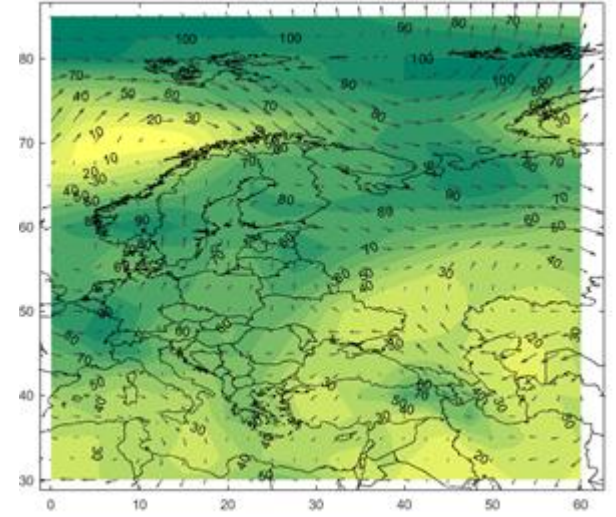
(H)



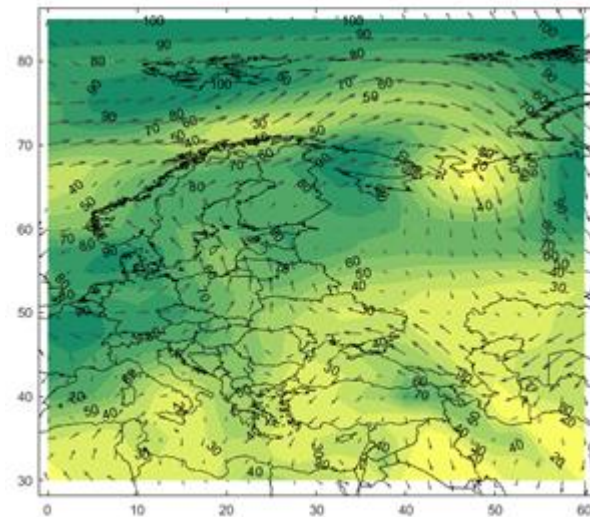
(o)



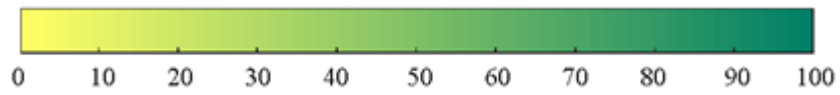
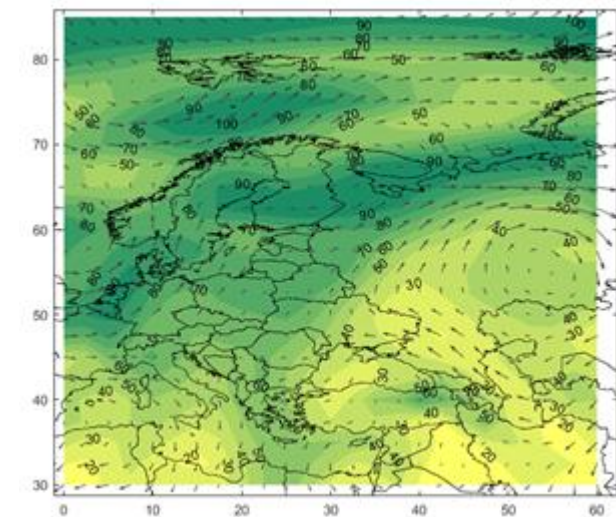
(II)



(p)

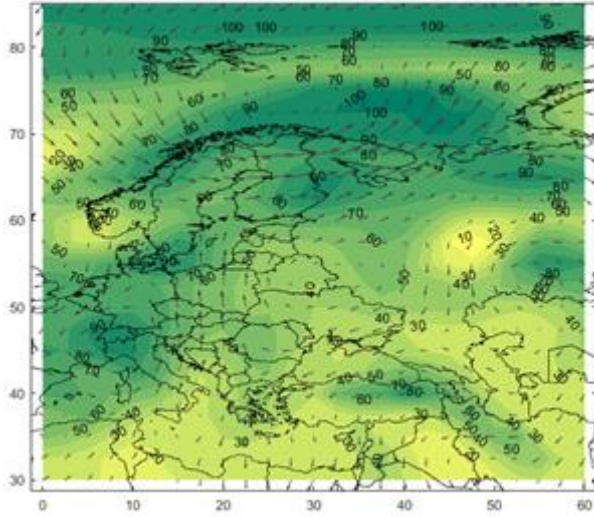


(c)

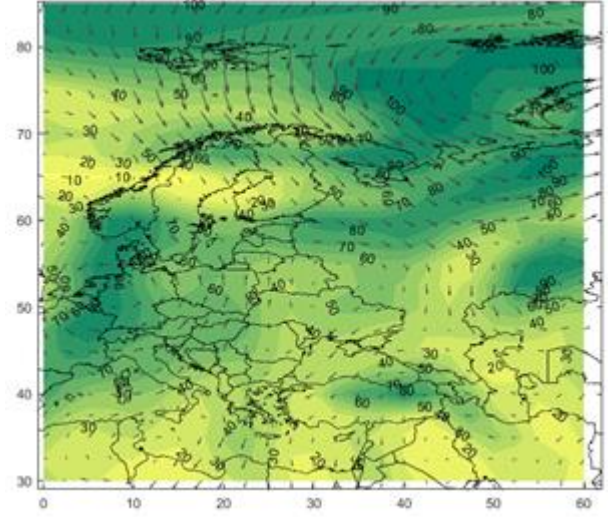


Продовження рисунку В.1

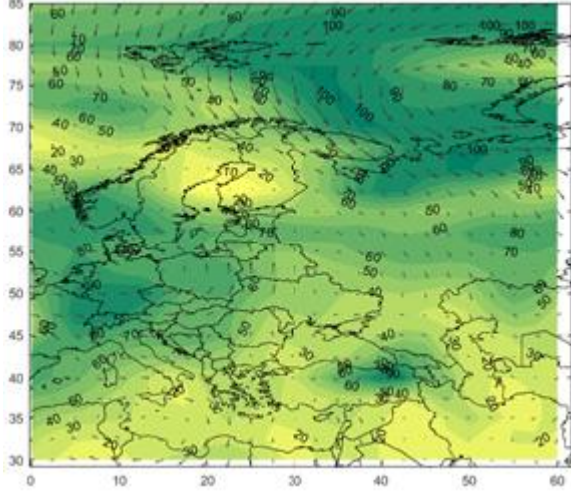
(r)



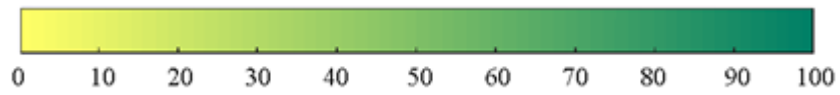
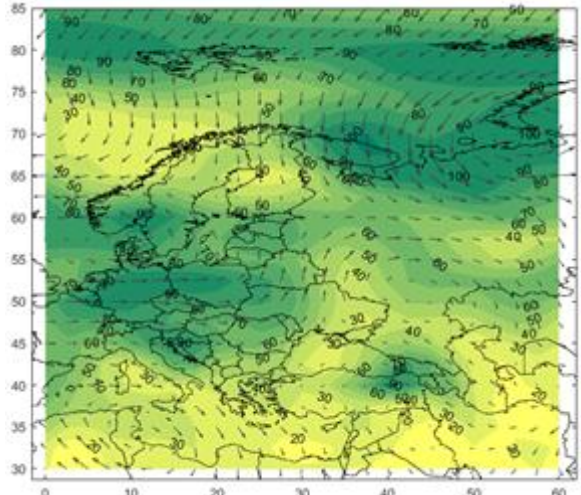
(y)



(ф)



(x)



Продовження рисунку В.1

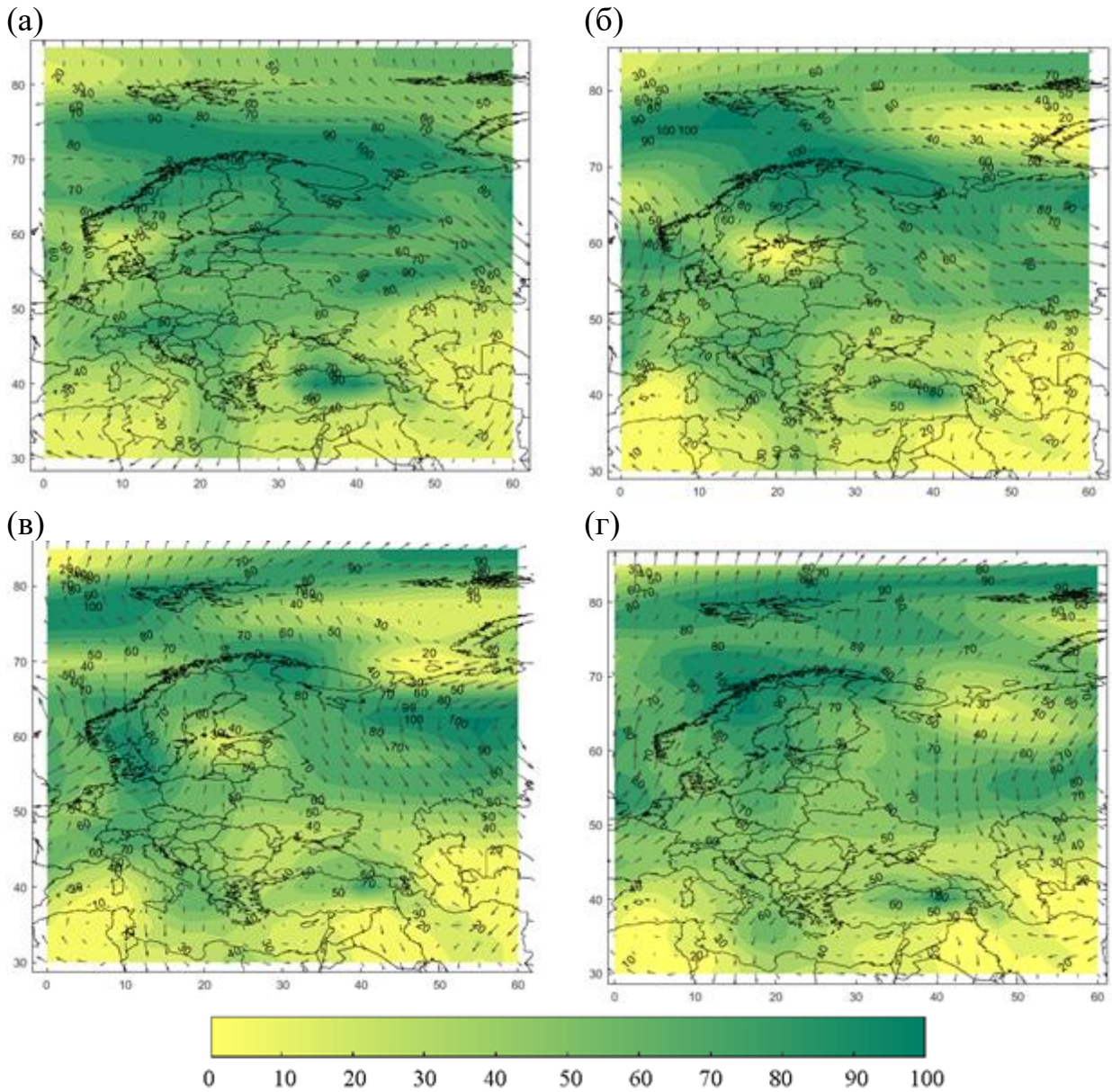
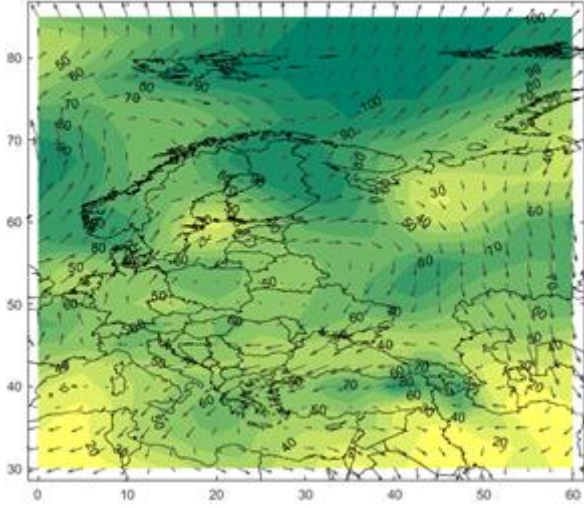
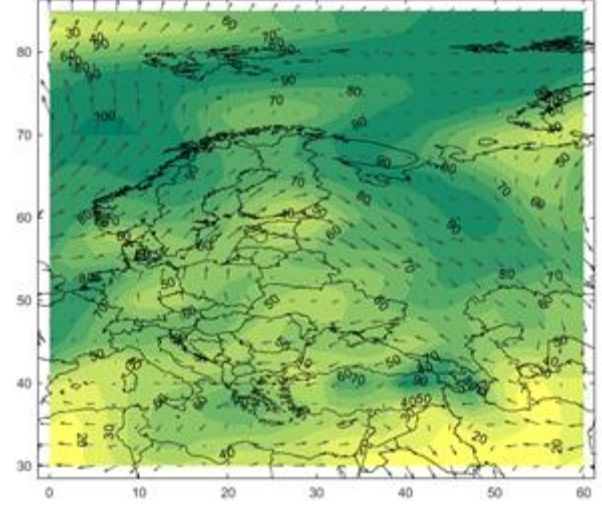


Рисунок В.2 - Відносна вологість і вектор швидкості вітру на ізобаричній поверхні 850 гПа за 00 год. 3 серпня (а), 4 серпня (б), 5 серпня (в), 6 серпня (г), 7 серпня (д), 8 серпня (е), 9 серпня (ж), 10 серпня (и), 11 серпня (к), 12 серпня (л), 13 серпня (м), 14 серпня (н), 15 серпня (о), 16 серпня (п) 2015 р.

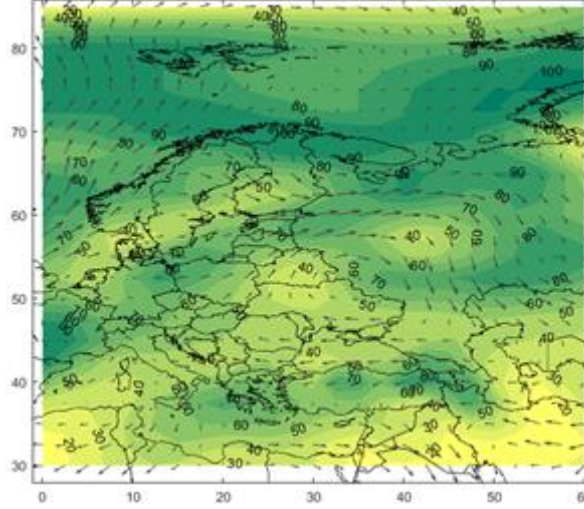
(Д)



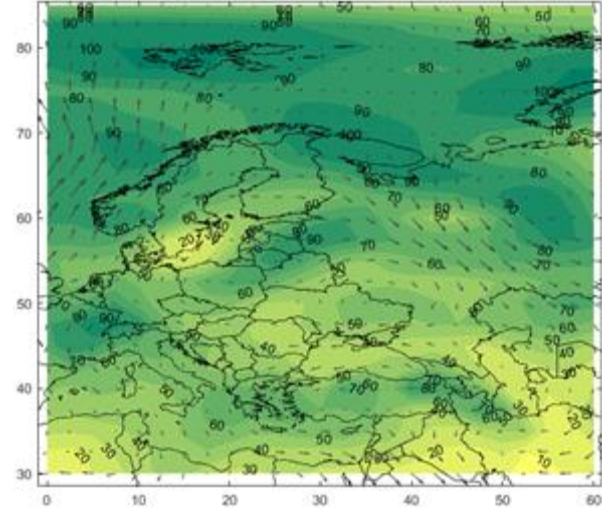
(е)



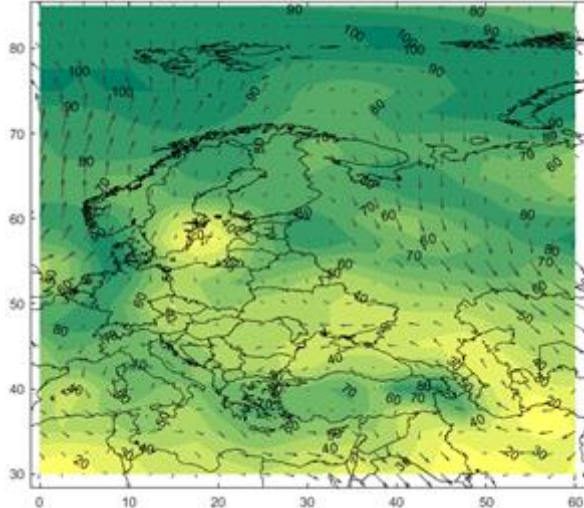
(Ж)



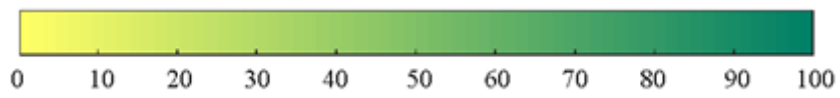
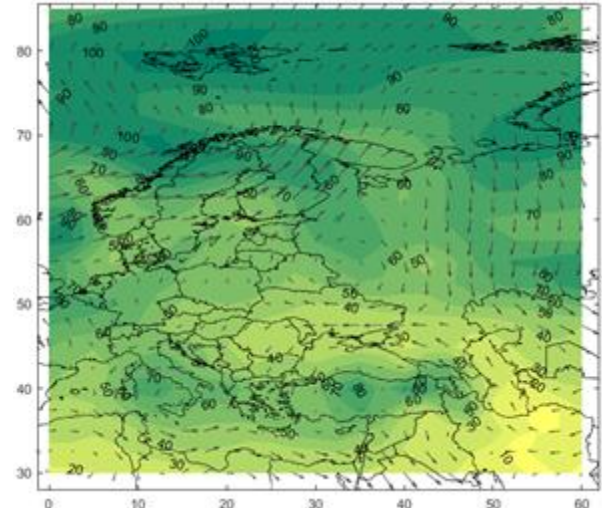
(и)



(к)

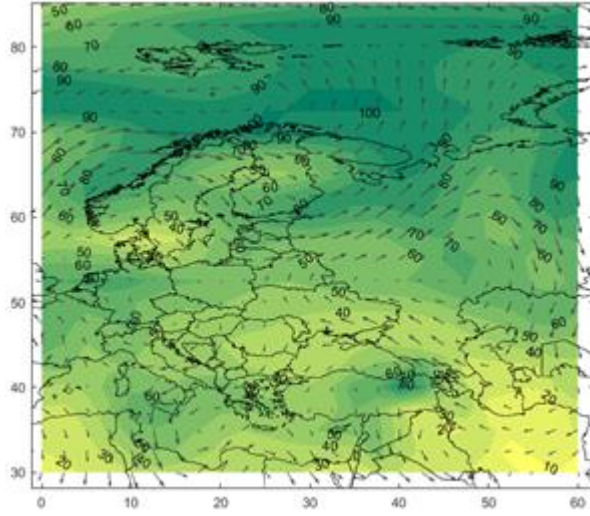


(лг)

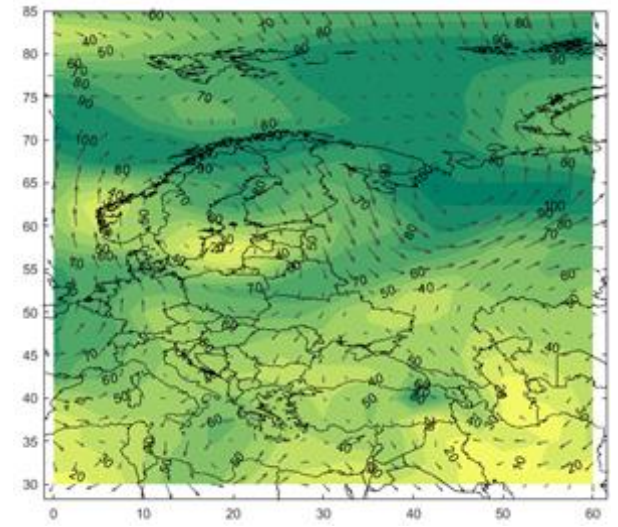


Продовження рисунку В.2

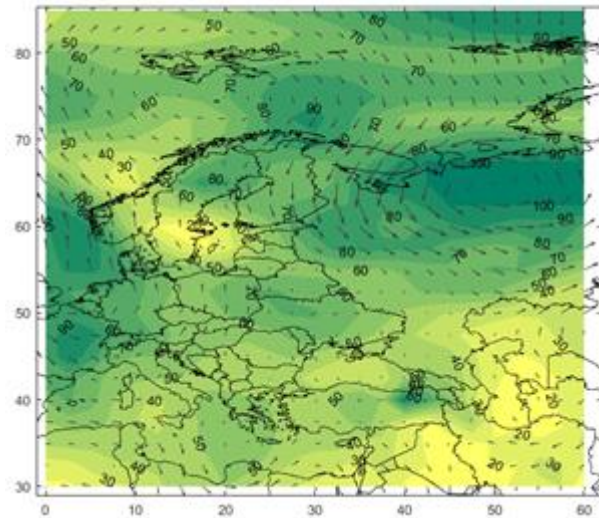
(М)



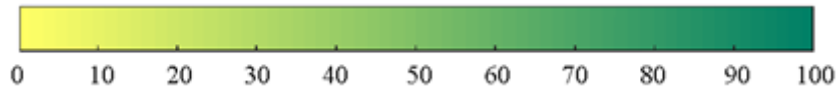
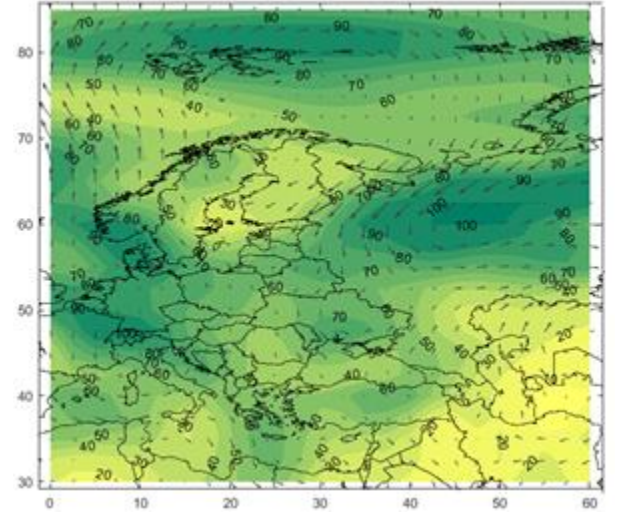
(Н)



(О)



(П)



Продовження рисунку В.2