

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий  
гідрометеорологічний інститут  
Кафедра метеорології та кліматології

**Кваліфікаційна робота магістра**

на тему: Термодинамічна структура атмосфери в період формування  
конвективних явищ

Виконав студент 2 курсу групи МЗМ-22М  
Спеціальності 103 «Науки про Землю»  
Освітня програма  
«Метеорологія і кліматологія»  
Єжова Владислава Андріївна

Керівник канд. геогр. наук, ст. викладач  
Міщенко Наталя Михайлівна

Рецензент д-р геогр. наук, доцент  
Вольвач Оксана Василівна

Одеса 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий гідрометеорологічний інститут

Кафедра Метеорології та кліматології

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 103 “Науки про Землю”

(шифр і назва)

Освітня програма Метеорологія і кліматологія

(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри  
метеорології та кліматології

Прокоф'єв О.М.

“ 23 ” жовтня 2023 року

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

студенту(ці) Єжовій Владиславі Андріївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Термодинамічна структура атмосфери в період формування конвективних явищ

Керівник роботи Міщенко Наталя Михайлівна, к.геогр.н.

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

затверджені наказом ОДЕКУ від “16” жовтня 2023 року № 215-С

2. Строк подання студентом роботи 29 листопада 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи використовуються дані об'єктивного аналізу NCEP/NCAR полів відносного вихору та дивергенції, аеросиноптичний матеріал (карти приземного аналізу, аерологічні діаграми, карти баричної топографії АТ-850), поля термодинамічних характеристик атмосфери (відносного вихору, вертикальних рухів, тощо) моделі WRF

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Зібрати дати з грозами та зливовими опадами по території України, 2) для обраних дат зібрати фактичний аеросиноптичний матеріал, прогностичні дані радіозондування, дані об'єктивного аналізу NCEP, поля вихору, дивергенції та вертикальних рухів моделі WRF, 3) за обрані дати провести розрахунки параметрів нестійкості атмосфери СТ, VT, TT, 4) за даними об'єктивного аналізу розрахувати відносний вихор та дивергенцію для обраних станцій України та побудувати їх вертикальні профілі, 5) провести детальний опис та аналіз отриманого матеріалу.

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

3.1, 3.6, 3.11, 3.16, 3.21, 3.31 – Синоптичний матеріал (приземні та висотні карти баричної топографії АТ); 3.2-3.5, 3.7-3.10, 3.12-3.15, 3.17, 3.19, 3.20, 3.22-3.25, 3.27-3.30, 3.32-3.35 – Поля термодинамічних характеристик

## 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 23 жовтня 2023 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Отримання завдання	23.10.2023 р.		
2	Збір вихідних даних до роботи. Ознайомлення з літературними джерелами за темою кваліфікаційної роботи бакалавра.	24.10.2023 р. – 29.10.2023 р.	100	відмінно
3	Написання перших двох розділів кваліфікаційної роботи	30.10.2023 р. – 02.11.2023 р.	100	відмінно
4	Складання банку даних дат з грозами та зливами над територією України, збір синоптичного матеріалу за обрані дати, складання огляду синоптичних ситуацій	03.11.2023 р. – 08.11.2023 р.	100	відмінно
5	Збір прогностичних полів відносного вихору, дивергенції, вертикальних рухів та еквівалентних потенційних температур у дні формування нестійкості атмосфери. Описати динаміку змін цих полів з часом	09.11.2023 – 12.11.2023 р.	100	відмінно
6	Рубіжна атестація	13-17.11.2023 р	100	відмінно
7	Розрахунок параметрів нестійкості атмосфери СТ, VT, TT напередодні грозової активності.	18.11.2023 р. – 22.11.2023 р.	95	відмінно
8	Побудова вертикальних профілів відносного вихору та дивергенції в період формування грозової активності	23.11.2023 р. – 25.11.2023 р.	95	відмінно
9	Провести детальний аналіз отриманих результатів розрахунку, побудованих профілів. Співставити їх з полями термодинамічних характеристик атмосфери в період формування грозової активності.	27.11.2023 р. – 28.11.2023 р.	97	відмінно
10	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату	29.11.2023 р.	97	відмінно
11	Перевірка роботи на плагіат, складання протоколу і висновку керівника. Підписання авторського договору.	30.11-2.12.2023р	-	-
12	Підготовка презентаційного матеріалу	-	-	-
	<b>Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)</b>	-	-	-

Студент \_\_\_\_\_  
( підпис )

Єжова В. А.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
( підпис )

Міщенко Н.М.  
(прізвище та ініціали)



## АНОТАЦІЯ

**Тема магістерської кваліфікаційної роботи:** «Термодинамічна структура атмосфери в період формування конвективних явищ»

**Автор:** Єжова Владислава Андріївна

**Актуальність** кваліфікаційної роботи полягає в тому, що конвективні явища є однією з найбільших небезпек для авіації, а саме пов'язані з нею сильна турбулентність усередині купчастодошових хмар і поблизу них. Інтенсивні вертикальні рухи досить часто поєднуються з різкими поривами вітру, що обумовлюють штормову бовтанку літаків, інтенсивне обмерзання, град, зливові опади, шквали, та ін.

**Мета роботи:** дослідження термодинамічних характеристик атмосфери в період формування конвективних явищ погоди

**Завдання, що вирішувалися в роботі:** створення бази даних синоптичного аналізу та температурно-вітрового зондування атмосфери (фактичні та прогностичні) для випадків з грозою на станції Одеса, поля вихору, дивергенції та вертикальних рухів моделі WRF; розрахунки параметрів нестійкості атмосфери СТ, VT, TT.

**Об'єкт дослідження:** атмосферна конвекція

**Предмет дослідження:** предиктори для прогнозу нестійкості атмосфери

**Методи дослідження:** аналіз, моделювання, експеримент

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у дослідженні змін термодинамічних характеристик атмосфери в період формування грозової активності

**Практичне значення** отриманих результатів полягає у рекомендаціях до використання отриманих результатів в оперативній роботі синоптика-прогнозиста з ціллю уточнення прогнозу гроз та злизових опадів.

**Ключові слова:** зливові опади, грози, нестійкість атмосфери, конвекція, термодинамічні характеристики, модельні дані, об'єктивний аналіз, індекси нестійкості.

## ABSTRACT

**Topic of master's qualification work:** "Thermodynamic structure of the atmosphere during the formation of convective phenomena"

**Author:** Yezhova Vladyslava Andriivna

**Relevance of research** is the fact that convective phenomena are one of the greatest dangers for aviation, namely, the strong turbulence associated with them inside cumulus clouds and near them. Intense vertical movements are quite often combined with sharp gusts of wind, which cause stormy tumbling of planes, intense icing, hail, torrential rain, squalls, etc.

**The purpose of the work:** research of the thermodynamic characteristics of the atmosphere during the formation of convective weather phenomena

Tasks solved in the work: creation of a database of synoptic analysis and temperature and wind sounding of the atmosphere (actual and prognostic) for thunderstorms at the Odesa station, vortex fields, divergence and vertical movements of the WRF model; calculations of atmospheric instability parameters CT, VT, TT.

**Object of research:** atmospheric convection

**Subject of research:** predictors for the forecast of atmospheric instability

**Research methods:** analysis, modeling, experiment

**The scientific novelty** of the obtained results lies in the study of changes in the thermodynamic characteristics of the atmosphere during the formation of thunderstorm activity

**The practical significance** of the obtained results lies in recommendations for the use of the obtained results in the operational work of the weather forecaster with the aim of clarifying the forecast of thunderstorms and torrential precipitation.

**Key words:** torrential precipitation, thunderstorms, atmospheric instability, convection, thermodynamic characteristics, model data, objective analysis, instability indices.

## ЗМІСТ

Вступ	6
1 Умови утворення гроз	8
1.1 Плавучість, як основа для створення низхідних та висхідних рухів	8
1.2 Нестійкість атмосфери	9
1.3 Динаміка утворення гроз	10
1.4 Проблеми в прогнозуванні грози	15
2 Сучасні методи в прогнозуванні грозової активності. параметри індексів конвекції	17
2.1 Загальні поняття і класифікація	17
2.2 Параметри, які досліджувалися у роботі	18
3 Аналіз гідродинамічних характеристик атмосфери у дні формування конвекції	20
3.1 Співставлення синоптичних умов формування грозової активності з розподілом термодинамічних характеристик за 30.08.2021 р.	20
3.2 Співставлення синоптичних умов формування грозової активності з розподілом термодинамічних характеристик за 04.05.2022 р	23
3.3 Співставлення синоптичних умов формування грозової активності з розподілом термодинамічних характеристик за 04.08.2019 р.	28
3.4 Співставлення синоптичних умов формування грозової активності з розподілом термодинамічних характеристик за 26.08.2021 р.	34
3.5 Співставлення синоптичних умов формування грозової	39

активності з розподілом термодинамічних характеристик за 22.05.2022 р.	
3.6 Співставлення синоптичних умов формування грозової активності з розподілом термодинамічних характеристик за 05.04.2023 р.	43
3.7 Співставлення синоптичних умов формування грозової активності з розподілом термодинамічних характеристик за 09.04.2023 р.	47
3.8 Співставлення синоптичних умов формування грозової активності з розподілом термодинамічних характеристик за 11.04.2023 р.	52
3.9 Співставлення синоптичних умов формування грозової активності з розподілом термодинамічних характеристик за 12.04.2023 р.	56
3.10 Співставлення синоптичних умов формування грозової активності з розподілом термодинамічних характеристик за 16.04.2023 р.	57
3.11 Співставлення синоптичних умов формування грозової активності з розподілом термодинамічних характеристик за 19.04.2023 р.	61
Висновки	69
Список використаних джерел	70
Додаток	71



## ВСТУП

*Актуальність* кваліфікаційної роботи полягає в тому, що конвективні явища є найбільшою небезпекою для авіації, а саме пов'язані з нею сильна турбулентність усередині купчастодощових хмар і поблизу них. Інтенсивні вертикальні рухи досить часто поєднуються з різкими поривами вітру, що обумовлюють штормову бовтанку літаків, інтенсивне обмерзання, град, зливові опади, шквали, та ін. [1].

Методи прогнозу цих явищ існують, а саме моделі, але, як відомо, більшість методів прогнозу конвективних явищ обмежені по географії їх виникнення, оскільки критеріальні значення величин, прогностичні формули та графіки отримані в результаті обробки певного матеріалу спостережень для території, в межах якої проводилося дослідження. Також на території України катастрофічно мало і не достатньо часто проводяться аерологічні спостереження, які б дали значні покращення в прогнозуванні конвективних явищ. З урахуванням особливостей розвитку конвективного хмарності розроблено багато методів прогнозу гроз як внутрішньомасових, так і фронтальних.

*Метою* представленої роботи є дослідження термодинамічних характеристик атмосфери в період формування конвективних явищ погоди.

В якості вихідних використовуються аеросиноптичний матеріал (карти приземного аналізу, аерологічні діаграми, карти баричної топографії АТ-850 та ВТ) карти термодинамічних характеристик атмосфери (поля відносного вихору, вертикальних рухів, тощо) моделі WRF.

Робота викладена на 71 сторінка і складається зі вступу чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (25 посилань) та додатку.

В першому розділі представлена детальна інформація про умови утворення гроз. Тут перелічені як метеорологічні та синоптичні умови, також представлені фізичні механізми їх утворення.

В другому розділі розглянуті сучасні роботи за темою дослідження. Проаналізовані методи ідентифікації нестійкості атмосфери та інші методи прогнозування конвекції.

Третій розділ є практичним, в якому детально розглянуті випадки з грозовою активністю та зливовими опадами при різних синоптичних ситуаціях з детальним розбором цих випадків за допомогою термодинамічних характеристик атмосфери.

Обрана для дослідження тема знаходиться в рамках бюджетної кафедральної тематики «Розробка та вдосконалення методів прогнозу небезпечних та стихійних метеорологічних явищ над Україною» (1.01.2020-31.12.2024 рр.) № ДР 0120U100487.

## 1 УМОВИ УТВОРЕННЯ ГРОЗ

### 1.1 Плавучість, як основа для створення низхідних та висхідних рухів

Сила, яка змушує масу прискорюватися вгору, називається плавучістю, і вона пропорційна різниці щільності між масами, що піднімаються, та їх середовищем [2].

Плавучість — це висхідна сила, яка діє на ділянку повітря у відповідь на різницю в щільності між цією ділянкою та навколишнім середовищем. Ця сила змушує повітряну масу прискорюватися вертикально. Отже, процеси плавучості є основними для створення конвективних висхідних і низхідних рухів. Кілька факторів сприяють збільшенню або зменшенню плавучості повітряних мас. Підвищення потенційної температури та вмісту водяної пари збільшують плавучість, тоді як хмарна вода та опади зменшують плавучість.

Для великих масштабів руху плавучість і вертикальна сила градієнта тиску мають тенденцію врівноважувати один одного. Такі рухи знаходяться в гідростатичній рівновазі.

Для невеликих масштабів руху, як у конвекції, плавучість може значно перевищувати силу вертикального градієнта тиску. Отримані вертикальні прискорення можуть бути набагато більшими, ніж ті, які зазвичай пов'язані з великомасштабними рухами. Такі рухи називають негідростатичними.

Коли вертикальний зсув вітру слабкий, плавучість є домінуючим контролером конвективних висхідних і низхідних рухів. Більш сильні зсуви призводять до взаємодії між висхідним потоком і зсувом, діючи на посилення або придушення вертикального прискорення. [1-3].

## 1.2 Нестійкість атмосфери

Стійкість змінюється майже безперервно через коливання температур і циркуляції повітря в нижніх і верхніх шарах атмосфери.

Нестійка атмосфера – це атмосфера, де зміна температури з висотою або швидкість зміни температури дозволяє повітрю, яке витісняється вгору (наприклад, через нагрівання поверхні), продовжувати підніматися. Загалом, якщо температура повітря, що піднімається, тепліша, ніж повітря навколо нього, повітря продовжуватиме підніматися. Коли повітря піднімається й охолоджується, волога в повітрі може конденсуватися й утворюватися хмари. Нестійка атмосфера сприяє висхідному руху та утворенню вертикально розвинених хмар, таких як купчасті та купчасто-дощові, або грозові хмари [2, 3].

Нестійке середовище – це середовище, в якому повітряні маси можуть рухатися вгору. Повітря, що піднімається вгору, охолоджується повільніше, ніж швидкість атмосфери. Поки повітря, що піднімається, залишається теплішим за навколишнє середовище, воно продовжуватиме підніматися. Вертикальний рух припиниться, коли стане холодніше, ніж навколишнє середовище. Нестійкість важлива, оскільки повітря, що піднімається, сприяє розвитку вертикальних хмар, що може призвести до сильних штормів.

Якщо присутні три елементи для формування грози, тобто підйомна сила, нестійкість і достатня вологість, гроза проходить три стадії розвитку та розсіювання [4].

Три стадії грози – купчаста, зріла та розсіяна – можуть спричинити поривчастий непостійний вітер, небезпечні блискавки та сильні опади.

Рання стадія грози, коли стовпи повітря, що піднімаються, утворюють хмари, що складаються з куполів, горбів або веж. Освітлені сонцем частини цих хмар переважно яскраво-білі, тоді як їх основи відносно темні та плоскі на вигляд.

Хмарні вежі можуть височіти в небо на тисячі футів перед тим, як стати розвиненою грозою. Опадів на цьому етапі не випадає, але поривчастий вітер відносно поширений.

Зріла стадія, найактивніша стадія циклу грози, починається, коли вперше спостерігаються блискавка та грім. Під час цієї стадії в грозовій хмарі також утворюватимуться сильні висхідні та низхідні потоки [2].

Грозова хмара, яка називається купчасто-дощовою, надзвичайно щільна і вертикально розвинена, утворюючи або одну хмарну масу, або лінію складних хмар.

Підстави зрілих гроз темні, рвані. Вершина у формі ковадла виділяє хмару як купчасто-дощову. Ковадло вирівнюється, оскільки висхідний потік досяг стабільної тропопаузи. Випаровування опадів біля основи грози призводить до швидкого охолодження навколишнього повітря. У міру охолодження повітря стає більш щільним, змушуючи його прискорюватися до землі, коли нижній і відтік вітру.

Під час розсіювання хмар низхідні потоки існують через всю купчасто-дощову хмару. Без висхідного потоку для постачання грози джерелом вологи та енергії ядро грози руйнується. Колапс, що виникає в результаті, спричиняє низхідний порив охолодженого дощем повітря, який є сильним і поривчастим [3-5].

### 1.3 Динаміка утворення гроз

Гроза — одне з природних явищ земної атмосфери. У деяких культурах гроза приписується певним речам.

Вологість, нестійка атмосфера та підйомна сила (тепло) є трьома умовами, необхідними для утворення грози.

Грози класифікуються за трьома видами: однокоміркові,

багатокоміркові (лінія шквалу) і суперкомірки. І з цих трьох типів суперкомірка створює торнадо, що робить його найсильнішою та найнебезпечнішою грозою [2, 3].

Однокоміркові грози короткочасні (від 30 до 60 хвилин) з одним висхідним потоком, який швидко піднімається через тропосферу. Оподи починаються на зрільй стадії у вигляді одноразового низхідного потоку.

Коли низхідний потік досягає поверхні, він перериває висхідний потік і гроза розсіюється.

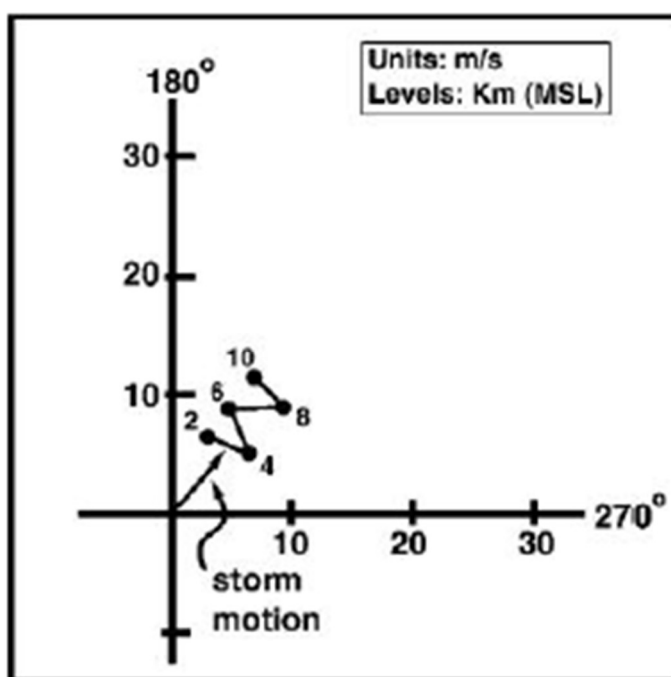


Рисунок 1.1 – Типова схема годографа однокоміркової грози

Критерії однокоміркових гроз: слабкий вертикальний і горизонтальний зсув вітру, профіль зсуву на годографі має випадковий малюнок, штормовий рух із середнім вітром на найнижчих 5-7 км, відсутня суворя погода (торнадо трапляються рідко, можливі короткочасні сильні вітри та град).

Спостерігати за розвитком осередків можна за допомогою метеорологічного радара. Коли суворя погода трапляється під час однокоміркових гроз, зазвичай це відбувається в сильніших і довготривалих

осередках.

Багатокоміркова гроза – це скупчення короткочасних одноклітинних штормів. Кожна комірка створює холодний потік, який може об’єднатися, щоб утворити фронт поривів. Конвергенція вздовж цієї межі призводить до появи нових осередків кожні 5-15 хвилин у конвергентній зоні. Ці грози тривають довше, ніж однокоміркові, оскільки вони зазвичай утворюються вздовж фронту поривів.

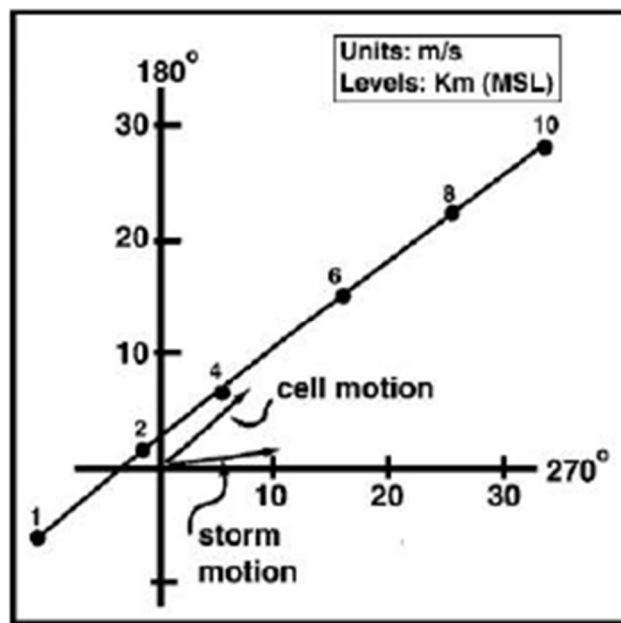


Рисунок 1.2 – Типова схема годографа багатокоміркової грози

Критерії багатокоміркових гроз: прямий або односпрямований профіль зсуву, сильний спрямований зсув на нижніх рівнях і сильний швидкісний зсув нагорі, рух осередку збігається з середнім вітром, штормові кластери поширюються в напрямку фронту поривів і праворуч від середнього вітру, супутня суворя погода (раптове затоплення з повільних комірок, великий град поблизу центрів низхідних рухів, короткочасні торнадо можливі вздовж фронтів поривів поблизу центрів висхідного потоку).

Суперкоміркові грози складаються з одного квазісталого обертального висхідного руху, переднього флангового низхідного руху, який утворює фронт

поривів, і заднього флангового низхідного потоку. Ці грози тривають кілька годин і є частими причинами суворої погоди. Існує три типи суперосередків: класичні, з високим рівнем опадів і з низьким рівнем опадів.

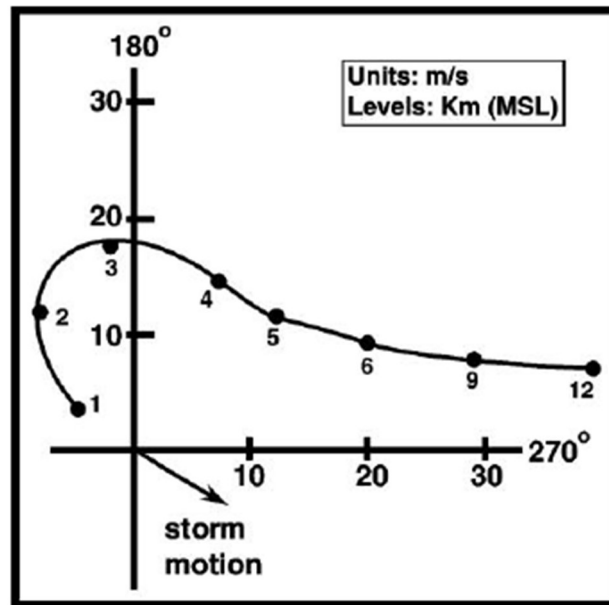


Рисунок 1.3 – Типова схема годографа суперкоміркової грози

Критерії суперкоміркових гроз: швидкість вітру зростає з висотою, вектор зсуву змінюється з висотою на нижніх рівнях, що може спричинити обертання грозового висхідного руху, викривлений профіль зсуву на нижніх рівнях стає прямолінійним вище 3 км, щонайменше 70 градусів спрямованого зсуву в перші 3 км, середня величина зсуву для суперосередків становить 90 градусів, «циклонічно викривлений» годограф, як показано на рис. 1.3, пов'язаний із циклонічно обертовими осередками, які рухаються праворуч від середнього (приземного – 6 км) вітру, «антициклонічно вигнуті» годографи вказували на грози, що рухалися ліворуч від середнього вітру (ці шторми є причинами граду) [6].

Усі грози проходять три стадії: стадія розвитку (купчаста хмара), стадія зрілості (купчасто-дощова хмара) і стадія розсіювання. Проходження цих трьох етапів займає в середньому 30 хвилин залежно від атмосферних умов.



Енергія, яка використовується для розвитку грози, походить від виділення прихованого тепла під час конденсації, що, у свою чергу, дозволяє повітряним частинкам, що піднімаються, залишатися теплішими, ніж навколишнє середовище, коли вони піднімаються.

Грози – це природна небезпека, яка спричиняє значні втрати життя та матеріальних цінностей через наслідки, такі як інтенсивні блискавки, град та екстремальні опади. Вертикально створювані купчасто-дошові хмари є основним джерелом грозових осередків, а вологість, підйомний механізм і атмосферна нестійкість є фундаментальними умовами для їх створення.

До руйнівної дії гроз, які є мезомасштабними конвективними системами, належать блискавка, сильні опади, град, пориви вітру. Типова тривалість життя грози становить 1-12 годин, а її просторове охоплення становить лише кілька кілометрів, що охоплює менший географічний і часовий регіон і ускладнює прогнозування.

Вважається, що щоденні грози в усьому світі бувають понад 40 000 разів і приблизно 15 мільйонів разів на рік. У певних регіонах Землі грози трапляються частіше, ніж в інших. До таких територій належать великі масиви суші, берегові лінії та міжтропічна зона конвергенції. Суша схильна до гроз порівняно з океанами, і вони більш поширені в тропічних районах, ніж у вищих широтах. Це пов'язано з утворенням вільної конвекції в результаті нагрівання великих масивів суші. Слід зазначити, що суша має вищу теплопровідність, ніж океан.

Існує два основних типи гроз: грози вітрового поля та грози масового поля, а також три їх підтипи.

Масові грози характеризуються підвищеними значеннями CAPE, наявністю CIN, високими температурами точки роси 2 м, високою ізотермою  $-10$  °C висоти та високого середнього тиску на рівні моря порівняно з іншими грозами в цій області. Вони відбуваються здебільшого в теплу пору року та завжди за схожих погодних умов і є більш важливими над європейським материком.

Підтип масового поля SX пов'язаний із змінними посиленого поверхневого обміну (SX), такими як сонячна радіація та відчутний тепловий потік, і на нього припадає приблизно половина гроз із полем мас на європейському материку.

Іншим основним типом грози є грози вітрового поля, які є більш різноманітними, але мають спільні характеристики середніх або знижених значень у змінних поля маси та підвищених або середніх значень у змінних поля вітру (висока швидкість вітру на різних висотах, сильні висхідні рухи, великий зсув хмар, збільшення розсіювання граничного шару) порівняно з іншими грозами в цій області. Вони домінують у холодну пору року, особливо взимку, і важливіші над морем. Іноді фізичні змінні хмари додатково збільшуються, що призводить до підтипу грози вітру-поля CP із великими розмірами хмар, підвищеною концентрацією частинок хмари (снігу, льоду, переохолоджених рідин) і великою кількістю опадів. Інший підтип, поле вітру (MF), характеризується зменшеними змінними поля маси (без MF) і часто виникає над морем [5].

#### 1.4 Проблеми в прогнозуванні грози

Вважається, що грозу важко передбачити через невеликий розмір і, відповідно, обмежену внутрішню передбачуваність. Складність також пов'язана з тим, що грози супроводжуються сильним дощем, смерчами, великим градом. Крім того, дослідження показали, що «годинний прогноз погоди» зазвичай не забезпечує своєчасних і точних погодних параметрів для раннього попередження, особливо під час зливи.

Поточна технологія не може забезпечити надійне довгострокове передбачення гроз для авіаційних операцій. Всесвітня метеорологічна організація стверджувала, що потреба в щільних мережах спостережень за

вітром, температурою та вологістю, недостатня спеціальна комп'ютерна потужність для прогнозування поточної дати в оперативних центрах і швидко зростаючі помилки моделі в масштабах, що дозволяють конвекцію, є трьома основними перешкодами. Всі ці труднощі пов'язані з проблемами, з якими стикається авіаційна промисловість. Неточне прогнозування погоди становить велику небезпеку для авіації. Таким чином, покращення прогнозів погоди та своєчасне попередження значною мірою підвищить рівень безпеки та ефективне планування польотів та управління повітряним рухом.

## 2 СУЧАСНІ МЕТОДИ В ПРОГНОЗУВАННІ ГРОЗОВОЇ АКТИВНОСТІ. ПАРАМЕТРИ ІНДЕКСІВ КОНВЕКЦІЇ

### 2.1 Загальні поняття і класифікація

Передбачення та прогнозування гроз є одним із найскладніших завдань через їх просторовий і часовий розмір, а також через їхню фізичну та нелінійну за своєю суттю поведінку.

Пілоти, диспетчери та інші працівники авіаційної галузі значною мірою покладаються на прогноз погоди та інформацію про умови, в яких вони будуть літати. Небезпеки для літаків включають деякі часті явища, які можуть бути менш очевидними для тих, хто знаходиться на землі. [5]

Спостереження над грозами, що проводяться на метеорологічних станціях, зводяться до того, що записується час появи або початку, грози та її кінець. Такі спостереження дозволяють побудувати карти гроз за кількістю грозових днів та отримати деяке уявлення про розподіл гроз у пори року та доби. Але для практики дуже цікавими та важливими є відомості не тільки про кількість грозових днів у тій чи іншій місцевості, але також і відомості про кількість грозових розрядів під час окремої грози, наскільки часто ці розряди йдуть один за одним.

Усередині материків грози найчастіше бувають у денний час, причому більш багата на грози друга половина доби, від 13 до 24 годин (найчастіше вони бувають між 15 і 18 годинами і найрідше – в ранкові години, в 5 – 7 годин) [6].

Модель WRF є мезомасштабною моделлю прогнозування погоди. Модель прогнозування погоди (WRF) є динамічною за своєю природою, що надає користувачеві можливість змінювати горизонтальну та вертикальну роздільну здатність і вибір домену. Підхід до моделювання для прогнозування грози вимагав деяких відповідних схем фізичної параметризації та змінних.

Дедалі більшим попитом користуються прогнози гроз. Точні прогнози щодо найімовірніших місць утворення гроз, їхнього потенційного значення та часу розсіювання.

Чисельне моделювання є одним із методів, які широко використовуються у всьому світі. В даний час більшість метеорологічних прогнозів зроблено з використанням даних моделі NWP у поєднанні з доступними спостереженнями.

Індекси грози часто використовуються для прогнозування конвекції за багато десятиліть. Здатність моделі прогнозувати грозові події необхідно оцінити та покращити, використовуючи індекси гроз, отримані з моделей і наборів даних спостережень.

## 2.2 Параметри, які досліджувалися у роботі

Розглянемо більш детально такі індекси нестійкості атмосфери, як Total Totals (TT) Index, Vertical Totals (VT) Index, Cross Totals (CT) Index.

Індекс Total Totals (TT) розраховується з використанням температури та точки роси при 850 гПа і температури 500 гПа. Чим вище точка роси і температура 850 гПа і чим нижча температура 500 гПа, тим більше нестабільність і отримане значення TT. Цей індекс є арифметичною комбінацією індексу VT та індексу CT. Він вважається найважливішим передвісником для короткострокового прогнозування грози.

Цей індекс може завищити прогноз погоди, коли недостатньо низького рівня вологи.

Розраховується індекс TT за формулою (2.1):

$$TT = CT + VT \quad (2.1)$$

Індекс Vertical Totals (VT) є мірою вертикальної стійкості без урахування вологості. Він є різницею між температурою на різних рівнях. Розглядається температура між 850 гПа і 500 гПа. Високе значення VT свідчить про нестійку атмосферу та велику кількість гроз. Його знаходять за формулою (2.2) [6, 7, 8]:

$$VT = T_{850} - T_{500} \quad (2.2)$$

Індекс Cross Totals (CT) – міра стійкості з урахуванням вологості. Він розраховується з використанням даних про температуру та температуру точки роси з кількох різних рівнів атмосфери. Високі значення CT індексу вказують на нестійку погоду та грози. Однак низькі значення вказують на стійке середовище та меншу грозову активність.

Якщо вологість і холодне повітря зосереджені трохи вище або нижче цих рівнів, значення CT не будуть надійним показником охоплення грозою або її інтенсивності.

Розраховується за формулою (2.4) [6, 8].

$$CT = Td_{850} - T_{500} \quad (2.4)$$

### 3 АНАЛІЗ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРИ У ДНІ ФОРМУВАННЯ КОНВЕКЦІЇ

#### 3.1 Співставлення синоптичних умов формування грозової активності з розподілом термодинамічних характеристик за 30.08.2021 р.

Як правило, конвективна діяльність над територією України має максимальну повторюваність в теплий період року та пов'язана з циклонічною активністю та холодними атмосферними фронтами. В той же час, досить часто конвекція спостерігається і в малоградієнтних полях як зниженого так і підвищеного тиску. Пов'язано це з активним розвитком конвекції в теплий період року. Тому, в оперативній роботі синоптика саме з початком теплового періоду додається необхідність стежити за можливістю формування конвекції.

На першому етапі роботи нами були відібрані випадки з грозами та зливовими опадами, за обрані випадки завантажені дані відносного вихору та дивергенції та побудовані відповідні поля, також завантажені карти вертикальних рухів, розраховані індекси нестійкості атмосфери СТ, VT, TT.

Слід одразу зазначити, що дане дослідження проводилося як за фактичним матеріалом так і за модельними даними, результати порівнювалися та на основі цього вже робились висновки.

Розглянемо декілька найбільш типових випадків з конвективною активністю по територіях України та проведемо їх аналіз за допомогою отриманого матеріалу.

Синоптична ситуація 30.08.2021 року визначалася улоговиною південного циклону та теплим сектором. В цей день в Києві відмічалися зливові опади та грози (Додаток А.1). Пов'язані вони були саме з проходженням гілки фронту оклюзії через станції. Хоча цей фронт оклюзії і

був по типу теплового, конвективна діяльність розвилася по обидві сторони фронту.

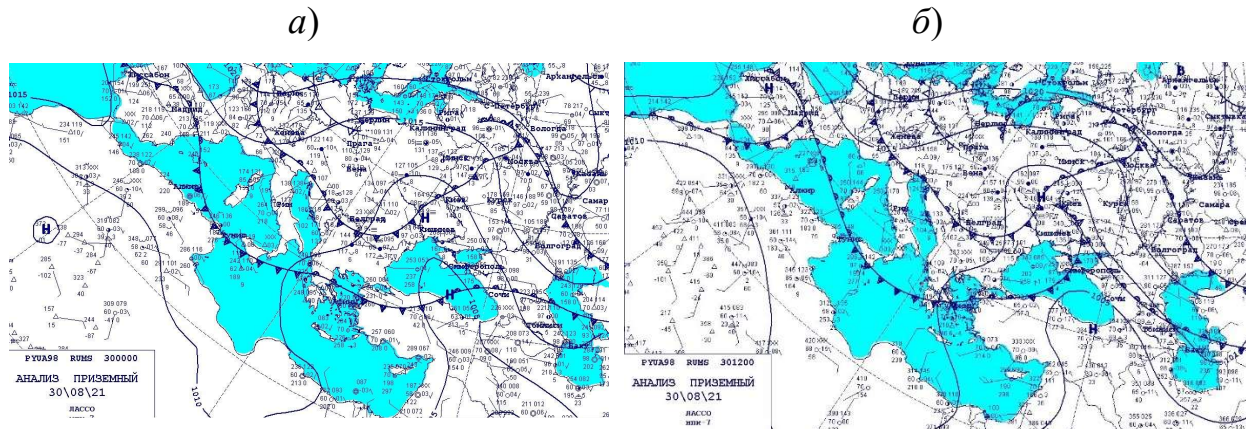


Рисунок 3.1 – Карти приземного аналізу за 00 та 12 год. СГЧ за 30.08.2021 р.

Даний циклон спостерігається з замкненим центром тільки у поверхні землі, також він має дві достатньо загострені фронтальні системи. О 12 годині можна побачити, що сформувався фронт оклюзії по обидва боки якого, як сказано вище, відмічаються зливові опади та грози.

Поля вихору на рівнях 1000...850 гПа (рис. 3.2) показали в районі даної улоговини додатні значення у вигляді такої самої улоговини (жовтий колір).

Поля дивергенції на тих же рівнях (Додаток А.2) показали в області приземної улоговини мінімальні значення (від'ємні) на всіх рівнях.

Вертикальний розподіл дивергенції хоч і показав від'ємні значення, поступово з висотою теж зростає, але додатних значень не досягає. Тобто збіжність повітряних течій з висотою слабшає (рис.3.3) в той час як у поверхні землі збіжність максимальна.

Розглянемо тепер розрахунок деяких індексів нестійкості атмосфери перед утворенням грози та в період її існування (табл. 3.1).



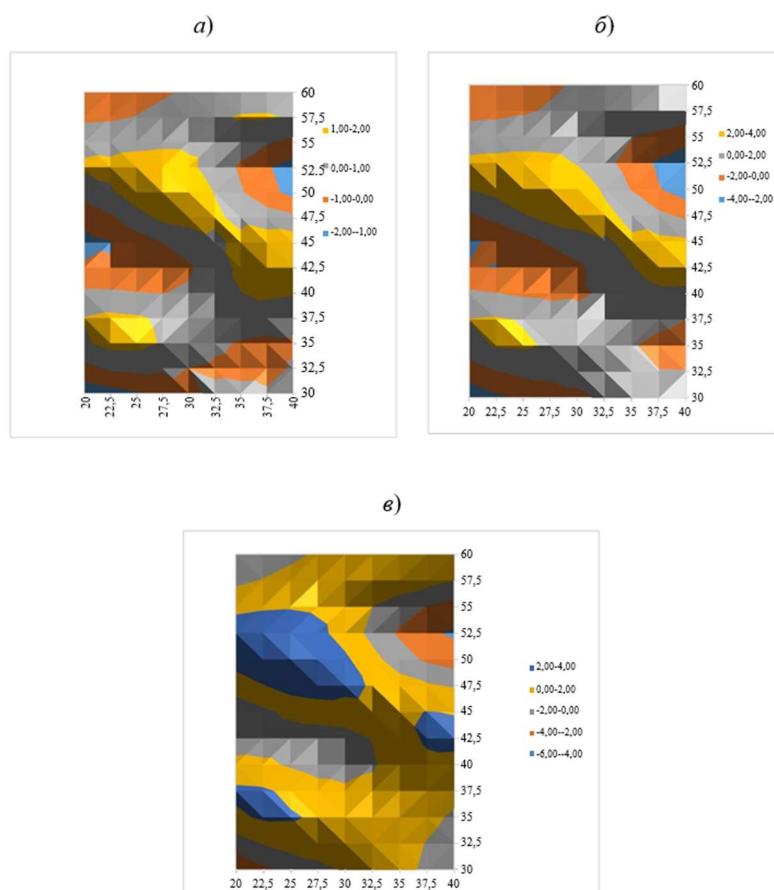


Рисунок 3.2 – Поля відносного вихору швидкості на рівнях 1000 а), 925 б) та 850 в) гПа за 30.08.2021 р.

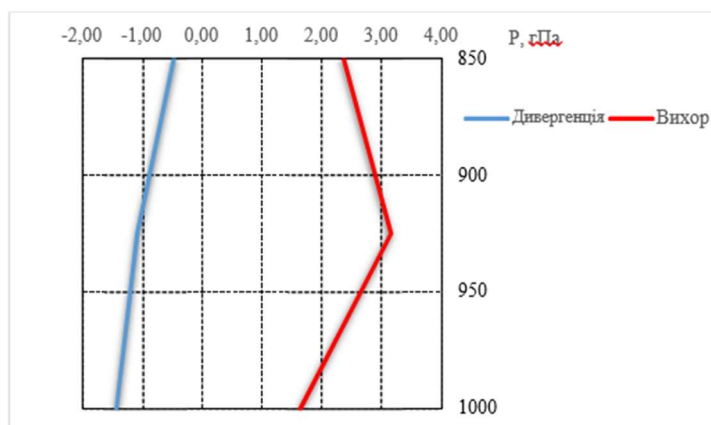


Рисунок 3.3 – Вертикальний розподіл відносного вихору та дивергенції в день формування грозової активності 30.08.2021 р. на ст. Київ

Побудований графік вертикального розподілу вихору на станції Київ показали, що до рівня 925 гПа вихор збільшує свої додатні значення (тобто завихореність проти годинникової стрілки).

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку індексів нестійкості атмосфери по станції Київ перед грозою та в період її існування

3	Київ													
4	T850	Td850	D850	F850	F500	T500	TD500	D500	CT	VT	TT	SWEAT2		
5	12 год. 29.08.2021	15,0	7,0	140	8	10	-12,1	-22,1	180	19	27	46	135	
6	00 год. 30.08.2021	10,6	0,6	355	10	33	-7,7	-22,7	310	8	18	27	102	
7	12 год. 30.08.2021	16,8	6,8	160	12	25	-11,7	-27,7	190	19	29	47	161	

Як бачимо 29.08.2021 р індекси CT, TT та VT спрогнозували виникнення грози, яка і спостерігалася вдень між строками, а індекс SWEAT – ні (критеріальне значення від 150 і більше). 30.08.2021 р. вже всі індекси показали сприятливі умови для формування гроз.

### 3.2 Співставлення синоптичних умов формування грозової активності з розподілом термодинамічних характеристик за 04.05.2022 р.

Синоптична ситуація 04.05.2022 визначалася малоградієнтним полем та холодним фронтом, який наближався до Одеси (рис.3.4а). Більшість території України знаходилася в холодній нестійкій повітряній масі яка визначалася конвективними хмарами, в той час як перед лінією фронту з 12 год. (рис 3.4б) спостерігалися зливи з грозами над південними та південно-східними територіями України.

На першому етапі роботи були проаналізовані поля відносного вихору швидкості на рівнях 500 гПа з 00 по 12 год, для визначення характеру циркуляції та її змін для територій, над якими спостерігалися конвективні явища.

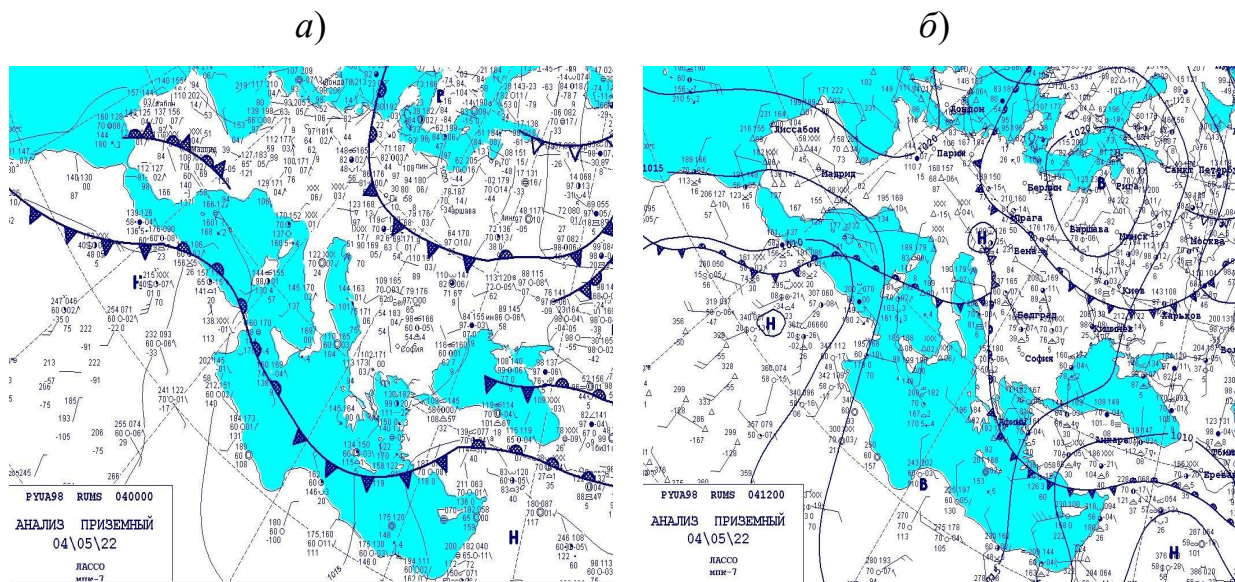


Рисунок 3.4 – Карти приземного аналізу 04.05.2022 р. за 00 а) та 12 б) год. СГЧ

Слід зазначити, що знак вихору не можна вважати як єдину характеристику для прогнозування формування конвекції. Із загальної вибірки, яка досліджувалася були виявлені випадки, коли при додатньому знаку вихору ні опади ні грози не відмічалися (в першому прикладі ст. Кривий Ріг, опади 29.08.2021 р. не спостерігалися).

Як бачимо із рисунку 3.5, південні регіони України знаходилися в додатних значеннях вихору (тобто в циклонічних циркуляціях) з 00 год, незважаючи на загальне антициклонічне поле. З 12 год, поле змінилося на від'ємні значення (антициклональну циркуляцію), але конвекція вже сформувалася і в Одесі спостерігалися зливові опади.

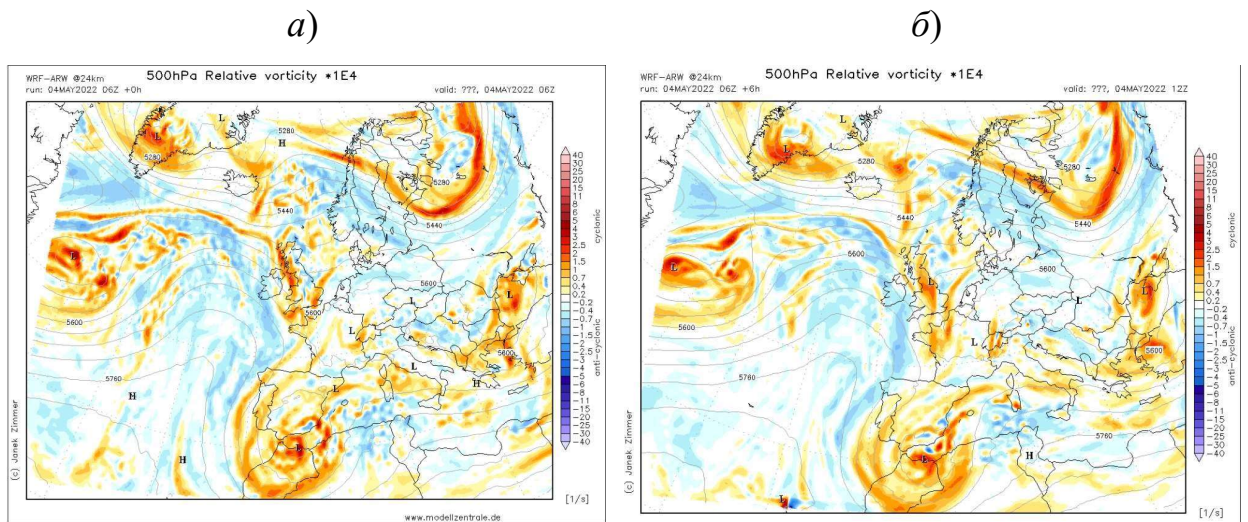


Рисунок 3.5 – Поля відносного вихору 04.05.2022 р. за 00 *a)* та 12 год *б)* СГЧ

Тому далі проведемо аналіз полів вертикальних рухів в атмосфері в обраний період. В роботі будемо використовувати прогностичні карти вертикальних рухів із АРМСин та з сайту модельних даних WRF (рис. 3.6).

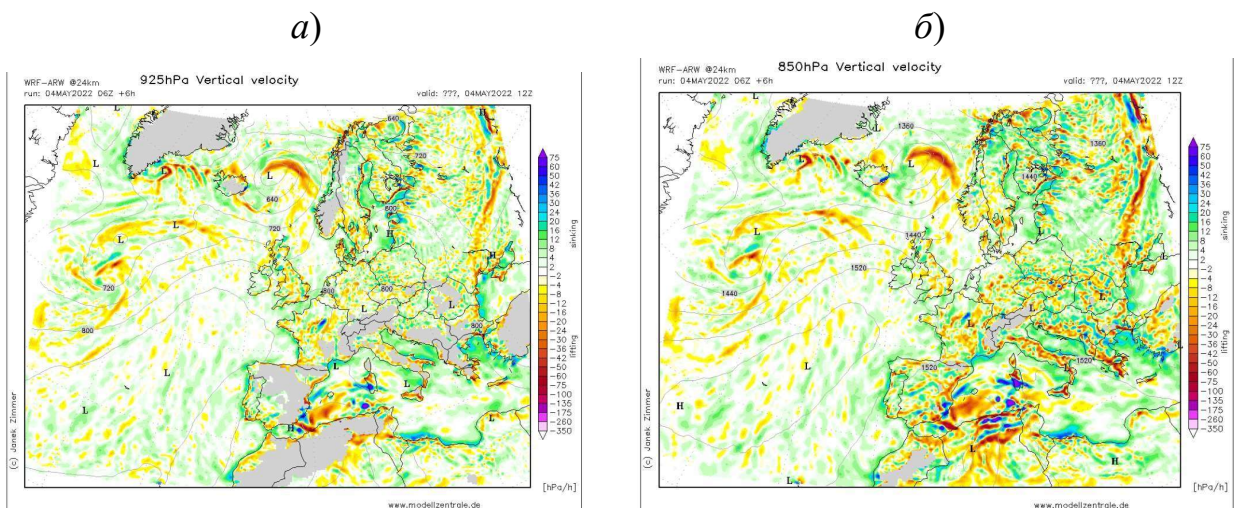


Рисунок 3.6 – Прогностичні поля вертикальних рухів 04.05.2022 р. на рівнях *a)* 925 гПа та *б)* 850 гПа на 12 год.

Як бачимо з полів вертикальних рухів, прогностичні дані над територією південних та центральних областей присутній від'ємний знак, тобто є умови

для висхідних потоків та формування хмарності з опадами. Аналіз аналогічного поля, але з АРМСин за 00 год також спрогнозував від'ємні значення але над всією територією України та на всіх рівнях (рис.3.7).

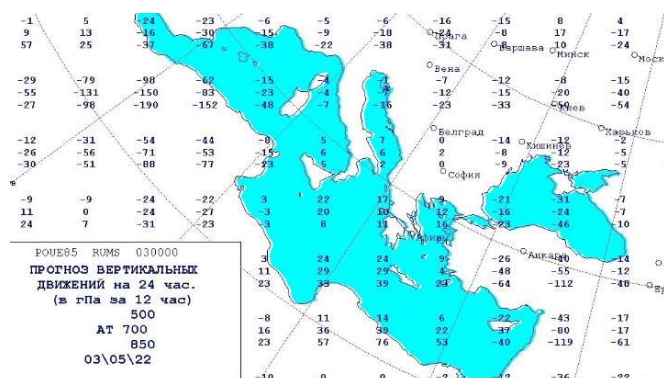


Рисунок 3.7 – Прогностична карта вертикальних рухів за 03.05.2022 р.  
+24 год

Вертикальний розподіл вихору та дивергенції над станцією Одеса показав наступний розподіл (рис. 3.8).

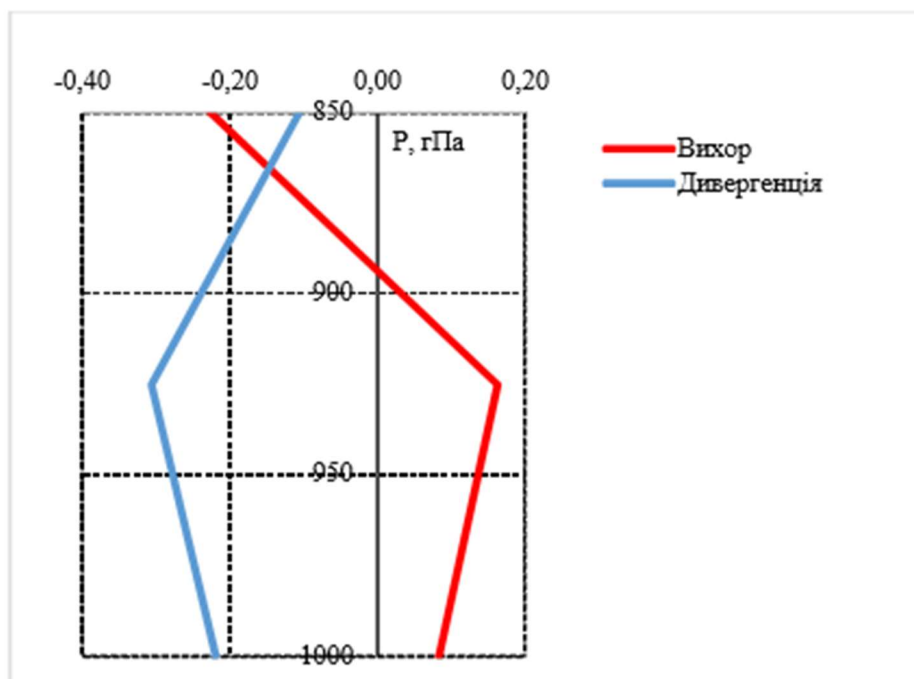


Рисунок 3.8 – Вертикальний розподіл відносного вихору та дивергенції  
в день формування грозової активності за 04.05.2022 на ст.  
Одеса

Максимальні додатні значення вихор має біля поверхні землі, в той час як з 900 гПа до 850 – від’ємні. Тобто, у поверхні землі відмічається циклонічне завихрення яке з рівня 900 гПа змінюється на антициклонічне. Дивергенція має від’ємні значення на всіх рівнях (збіжність потоків) але з висотою значення поступово збільшуються.

Далі спробуємо використати прогностичні аерологічні діаграми ст.Одеса для перевірки можливості за їх допомогою прогнозувати конвективну діяльність за наведеними вище індексами (табл.3.2).

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку індексів нестійкості атмосфери по станції Одеса перед грозою та в період її існування за прогностичними даними GFS

8	Прогностичні дан, Одеса, 2022	T850	Td850	D850	F850	F500	T500	Td500	D500	CT	VT	TT	SWEAT2
9	00 год. 04.05.2022	3,0	-2,0	45	5	5	-22,0	-30,0	50	20	25	45	17
10	06 год. 04.05.2022	3,0	-2,0	2	3	4	-22,0	-28,0	45	20	25	45	15
11	12 год. 04.05.2022	2,0	0,0	340	2	2	-22,0	-24,0	30	22	24	46	35
12	18 год. 04.05.2022	5,0	2,0	340	2	5	-22,0	-35,0	30	24	27	51	105

З наведеної таблиці ми можемо простежити як загальні результати розрахунків індексів нестійкості так і їх динаміку змін з часом. Червоним кольором в таблиці виділені значення тих індексів, які прогнозують грозу, блакитним –наближенні до критеріальних значень прогнозу грози. Як бачимо, це стосується тільки індексу VT порогове значення якого від 260 С.

По факту із рис. 3.9 ми можемо побачити, що зливи на станції Одеса 04.05.2022 р. спостерігалися приблизно з 12 години і, якщо порівняти з приземною картою за 12 год – опади розташовуються вздовж лінії холодного фронту. Злива на ст. Одеса спостерігалася всю другу половину доби, грози відмічалися до 16 години.

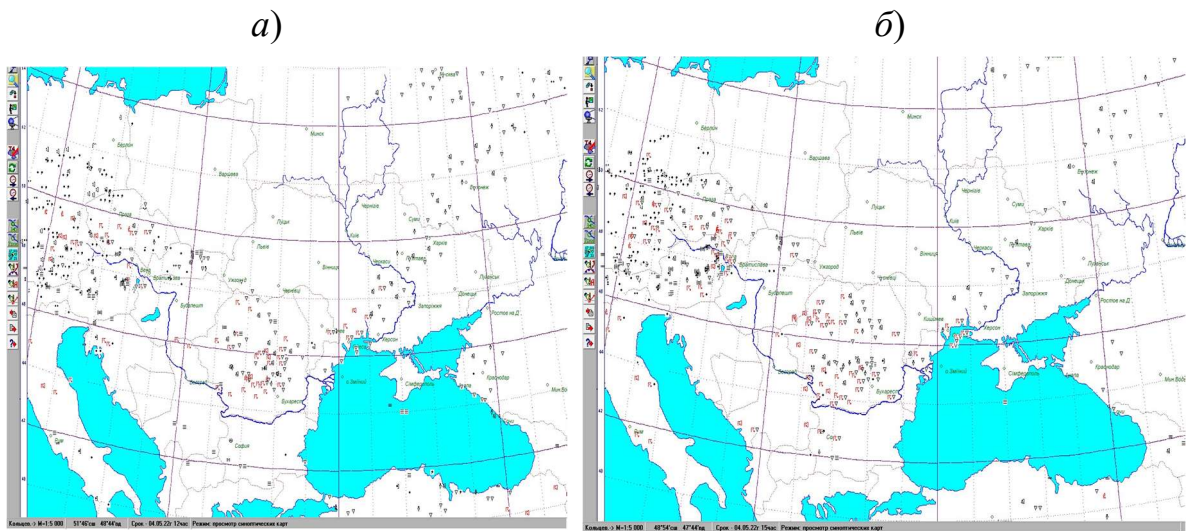


Рисунок 3.9 – Карта фактичних явищ погоди 04.05.2022 р. за а) 12 год та б) 15 год

Таким чином, за допомогою прогностичних полів вихору, дивергенції, вертикальних рухів та даних радіозондування можна спрогнозувати конвективні явища для заданої території не тільки в умовах відсутності фактичного матеріалу, а і для уточнення прогнозів за фактичним.

### 3.3 Співставлення синоптичних умов формування грозової активності з розподілом термодинамічних характеристик за 04.08.2019 р.

Синоптична ситуація 04.08.2019 року за 00 год визначалася тиловою частиною південного циклону з центром над Сімферополем, який утворився в улоговині північного циклону.

Циклон в 00 год буз низьким баричним утворенням (замкнений центр простежувався до рівня 850 гПа), як бачимо із карт АТ-850, 700 та ВТ 500/1000 – даний циклон є термічно неоднорідним як в 00 год, так і в 12 год.

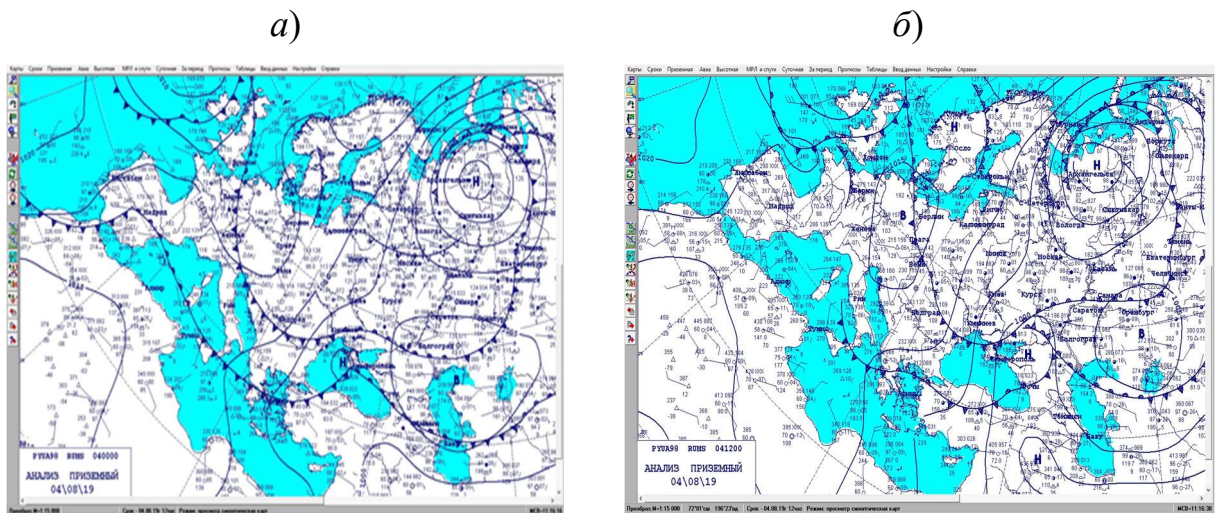


Рисунок 3.10 – Карты приземного анализа за а) 00 та б) 12 год. СГЧ  
04.08.2019 р.

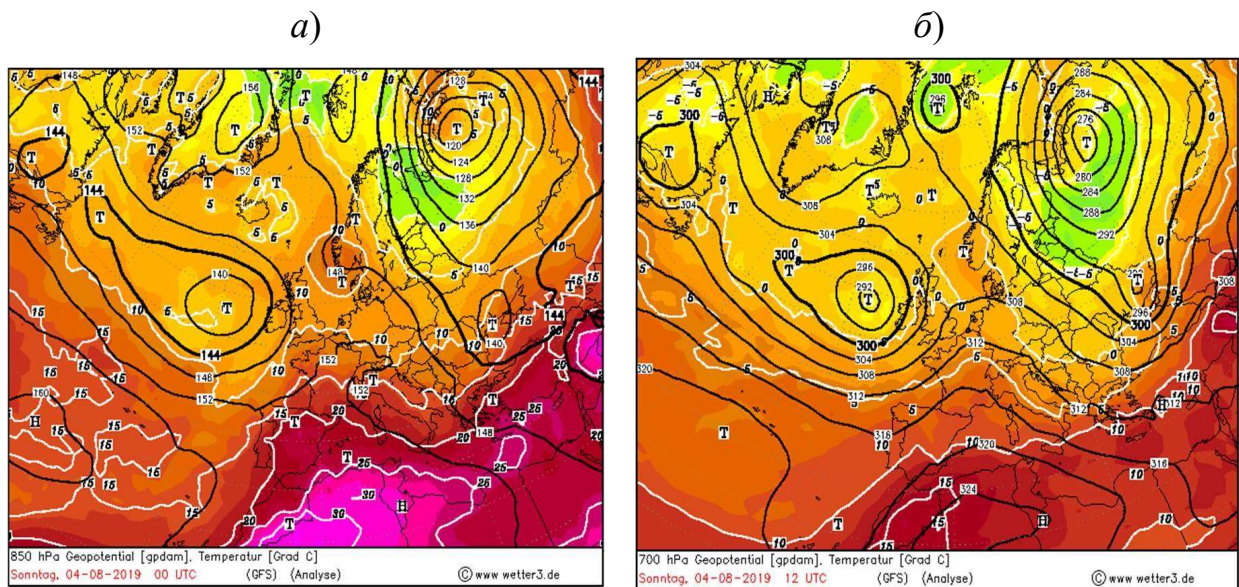
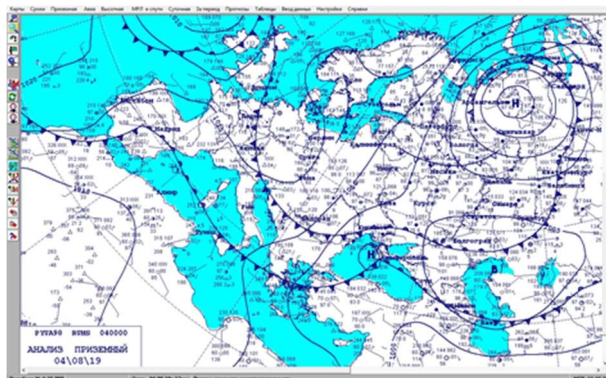


Рисунок 3.11 – Карты АТ-850 за 00 год. та АТ-700 за 12 год. СГЧ за  
04.08.2019 р.

При цьому, звертає увагу на себе той факт, що в тил даного циклону заходить гілка холодного фронту, при тому, що основна фронтальна система циклону вже оклюдована. Таким чином, даний циклон регенерує.



а)



б)

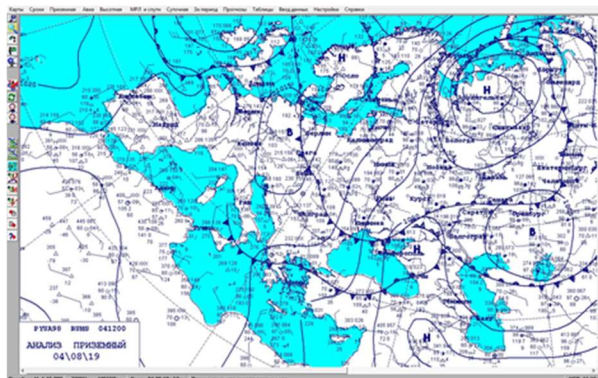
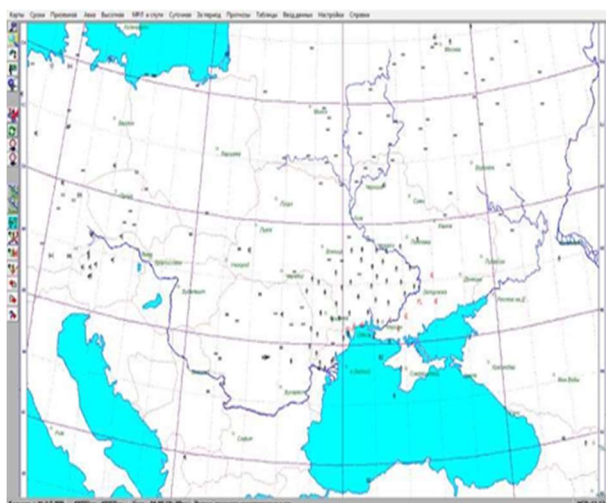


Рисунок 3.12 – Карты BT500/1000 за 00 та 12 год. СГЧ за 04.08.2019 р.

Як бачимо із карт явищ погоди, впродовж доби по всій території України, окрім західних областей, спостерігалися зливи та грози.

а)



б)

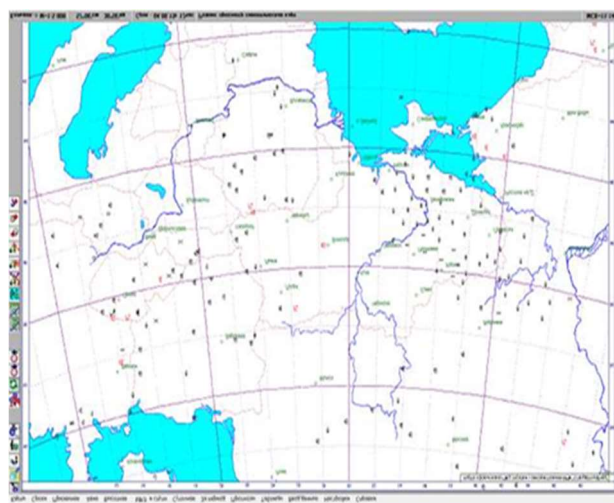


Рисунок 3.13 – Карты фактичних явищ погоди 04.08.2019 р. за а) 00 год та б) 12 год

Як бачимо з аерологічних (рис.3.14-3.15) діаграм по станції Київ за 00 та 12 годин, нестійкість атмосфери спостерігалася вже вночі.

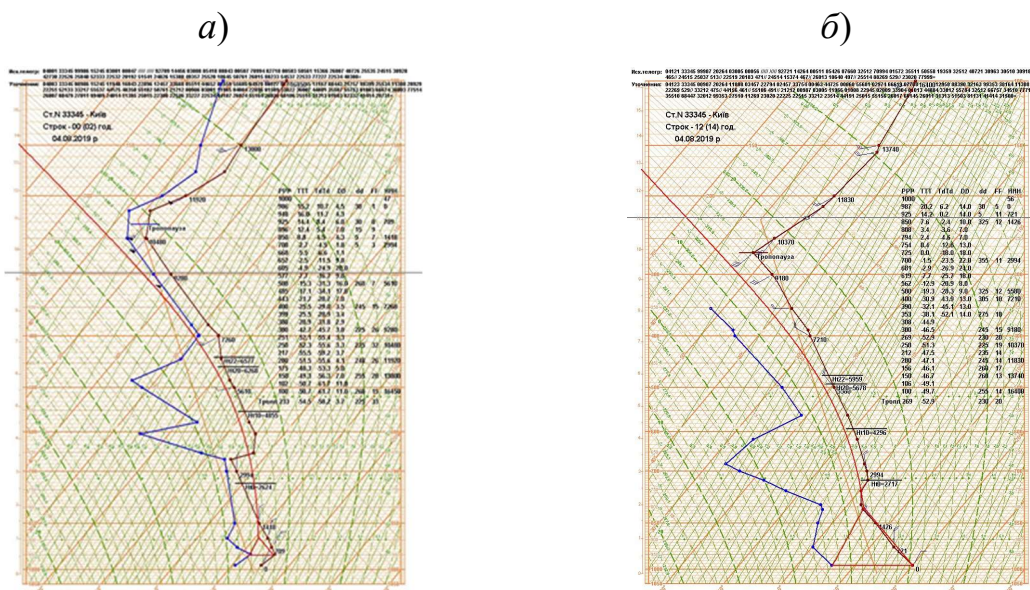


Рисунок 3.14 – Аерологічні діаграми за фактичними даними по ст. Київ за 04.08.2019 р. за 00 а) та 12 б) СГЧ

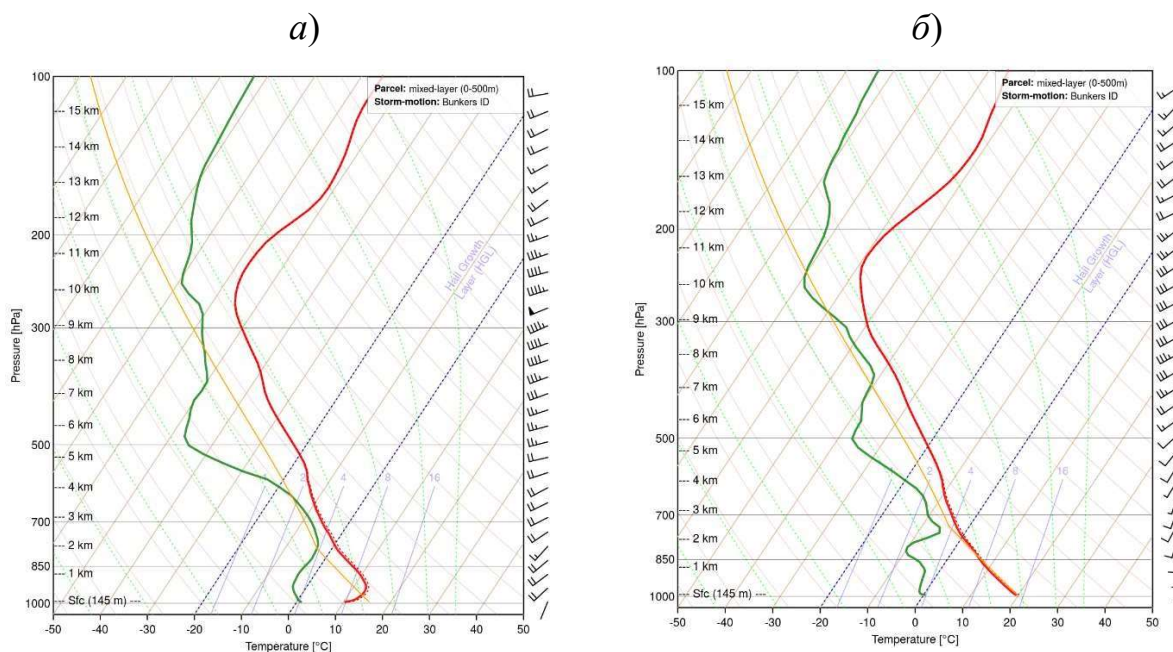


Рисунок 3.15 – Аерологічні діаграми за прогностичними даними по ст. Київ за 04.08.2019 р. за 00 а) та 12 б) СГЧ

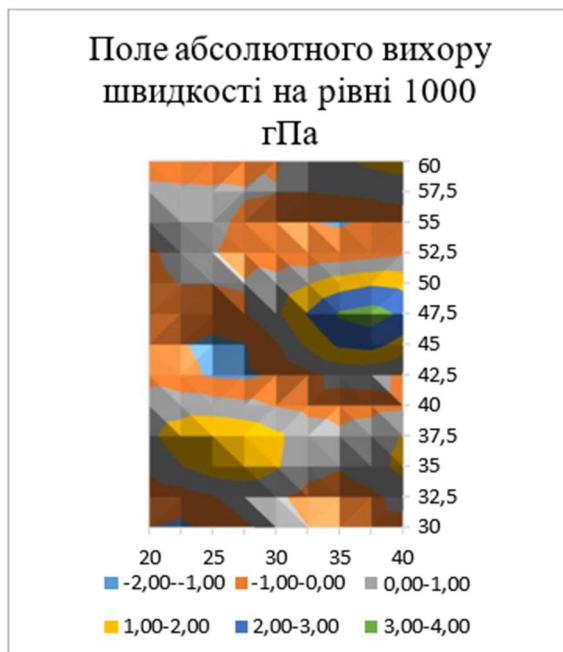
Як бачимо за 00 та 12 годин 04.08.2019 р. індекси СТ, ТТ та VT за фактичними даними не спрогнозували виникнення грози, як і SWEAT індекс (критеріальне значення від 150 і більше). За прогностичними даними за 00 та 12 годин індекси СТ, ТТ та VT спрогнозували можливість виникнення окремих гроз, а індекс SWEAT – ні.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку індексів нестійкості атмосфери по станції Київ за фактичними та прогностичними даними

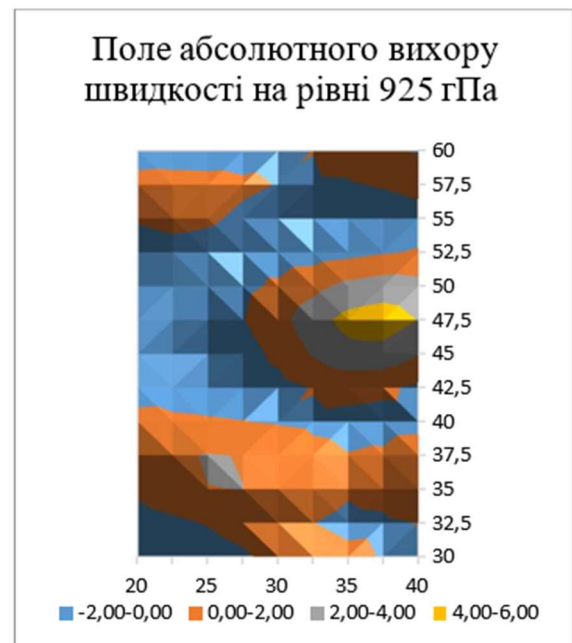
Київ												
Фактичні дані	T850	Td850	D850	F850	F500	T500	Td500	D500	СТ	VT	ТТ	SWEAT
00 год. 04.08.2019	8,8	4,5	5	7	7	-15,3	-31,3	260	20	24	44	95
12 год. 04.08.2019	7,6	2,4	325	12	12	19,3	-28,3	325	17	27	44	41
Прогностичні дані	T850	Td850	D850	F850	F500	T500	Td500	D500	СТ	VT	ТТ	SWEAT
00 год. 04.08.2019	6,7	-3,2	233	22	25	-22,5	-44,9	256	19	29	49	144
12 год. 04.08.2019	6,7	-6,9	179	14	14	-21,9	-37,0	226	15	29	43	41

Поля вихору на рівнях 1000...850 гПа (рис. 3.16) показали в районі даної улоговини додатні значення у вигляді такої самої улоговини.

а)



б)



в)

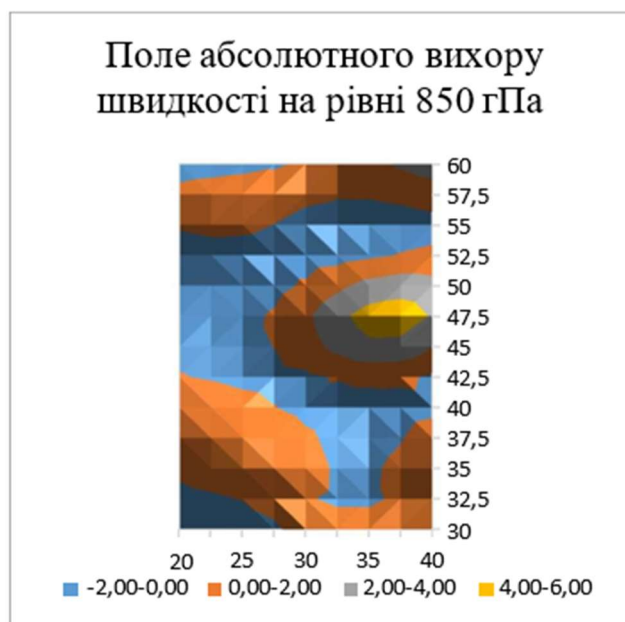
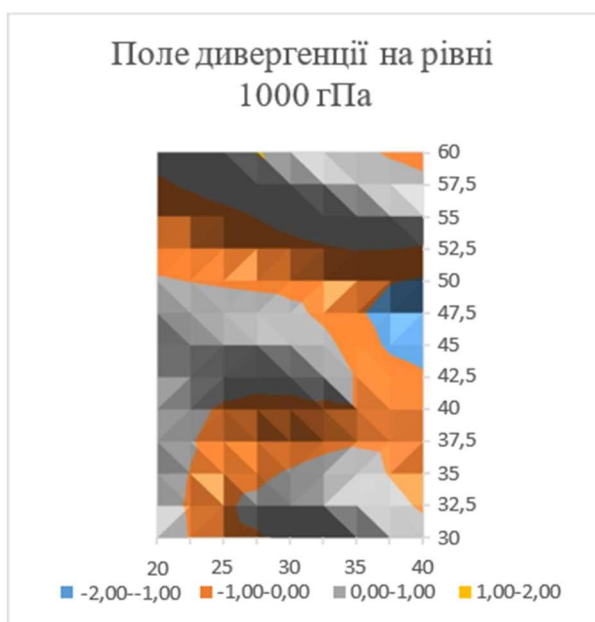


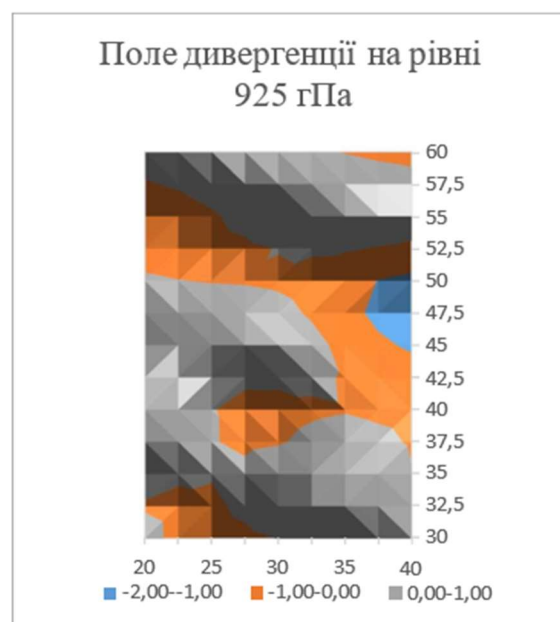
Рисунок 3.16 – Поля відносного вихору швидкості на рівнях 1000 а), 925 б) та 850 в) гПа за 04.08.2019 р.

Поля дивергенції на рівнях 1000...850 гПа (рис. 3.17) показали в районі даної улоговини від'ємні значення у вигляді такої самої улоговини.

а)



б)



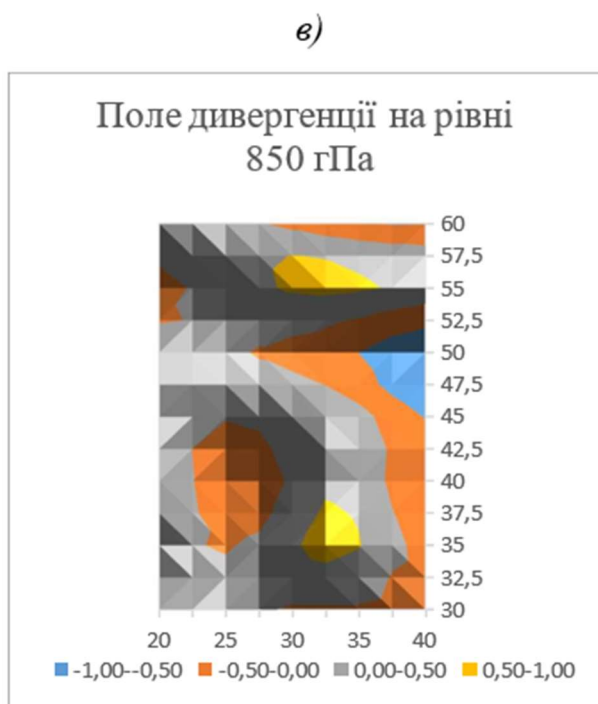


Рисунок 3.17 – Поля дивергенції на рівнях 1000 а), 925 б) та 850 в) гПа за 04.08.2019 р.

При цьому від’ємні значення індексу, які характеризують антициклональне поле, спостерігаються на сході. Максимальні додатні – над територією України.

#### 3.4 Співставлення синоптичних умов формування грозової активності з розподілом термодинамічних характеристик за 26.08.2021 р.

Синоптична ситуація 26.08.2021 року за 00 год визначалася малоградієнтним (3.18) полем зниженого тиску та холодним фронтом, який проходив через усю центральну частину України, а об 12 годині, даний атмосферний фронт спостерігався вже над південними та південно-східними територіями.

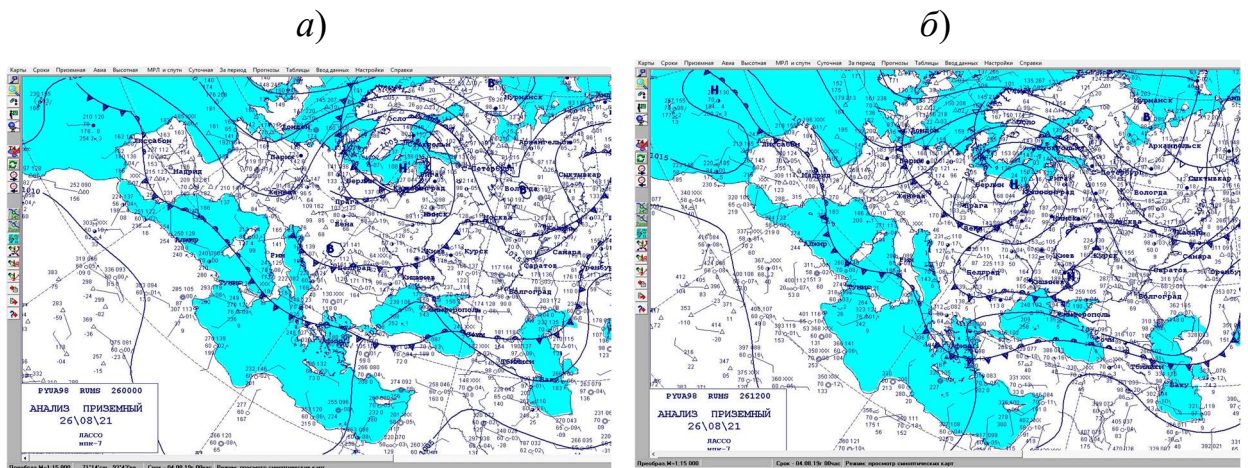


Рисунок 3.18 – Карти приземного аналізу за 00 та 12 год. СГЧ за 26.08.2021 р.

Таким чином, з 12 години територія України вже знаходилася за холодним фронтом, чим і зумовлені були конвективні явища погоди над цими територіями.

Як бачимо із рис. 3.9 (приземна карта за 12 год) о 12 год над південно-східною Україною сформувався центр циклону з фронтальною системою якого і були пов'язані зливові опади. На Ат-850 за 00 та 12 год бачимо (рис. 3.19), що в області формування циклону спостерігається термічна неоднорідність з досить активною адвекцією холоду в тил новому циклону.

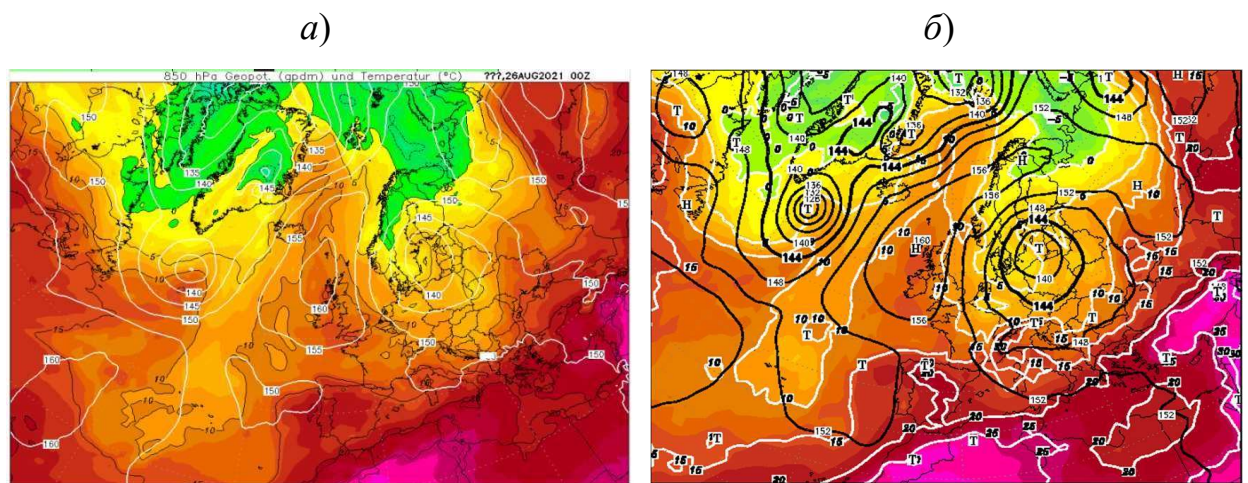


Рисунок 3.19 – Карти Ат-850 за 00 год. та 12 год. СГЧ за 26.08.2021 р.

Із карт явищ погоди за 00 та 12 год СГЧ (рис. 3.20) бачимо, що протягом доби спочатку центральна та західна, а потім і південна території України були в зливових опадах та грозах.

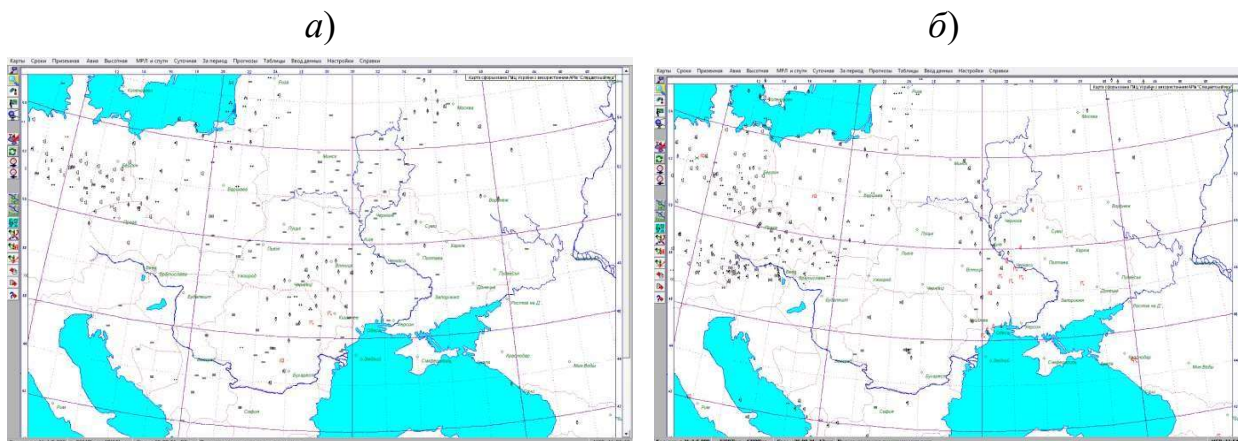


Рисунок 3.20 – Карт фактичних явищ погоди 26.08.2021 р. за а) 00 год та б) 12 год

На аерологічній діаграмі по ст. Кривий Ріг за 12 год. (3.21) за фактичними даними бачимо досить потужну нестійкість.

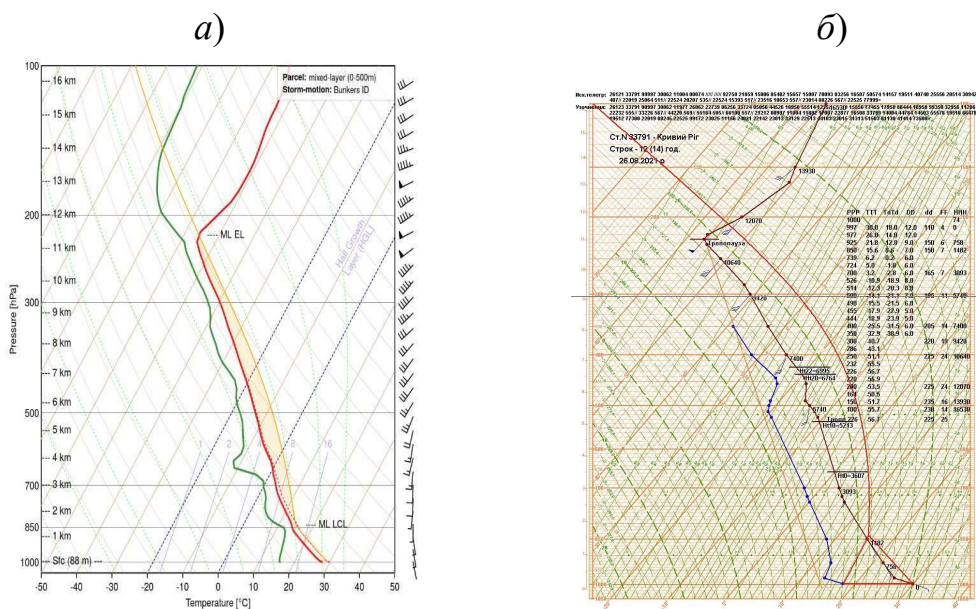


Рисунок 3.21 – Аерологічні діаграми по ст. Кривий Ріг за 26.08.2021 р. за а) за прогностичними даними та б) за фактичними даними СГЧ

Як бачимо за 12 годин 26.08.2021 р. (табл.3.4) за фактичними даними індекси СТ, ТТ, VT та SWEAT не спрогнозували можливість виникнення грози. За прогностичними даними індекс СТ показав дуже високу енергію нестійкості та дуже сильні грози, ТТ показав значну кількість гроз (окремі з яких сильні) та VT значення близьке до критичного (критеріальне значення від 28 і більше), що свідчить про можливе виникнення грози, також не спрогнозував утворення SWEAT індекс.

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку індексів нестійкості атмосфери по станції Кривий Ріг за фактичними та прогностичними даними

Кривий Ріг												
Фактичні дані	T850	Td850	D850	F850	F500	T500	Td500	D500	СТ	VT	ТТ	SWEAT
12 год. 26.08.2021	15,6	8,6	150	7	11	-14,1	-21,1	195	16	21	37	24
Прогностичні дані	T850	Td850	D850	F850	F500	T500	Td500	D500	СТ	VT	ТТ	SWEAT
12 год. 26.08.2021	14,3	12,0	175	8	26	-13,0	-17,3	208	25	27	52	246

Поля вихору на рівнях 1000...850 гПа (рис. 3.22) показали в районі даного мало градієнтного поля додатні значення у вигляді такого самого поля.

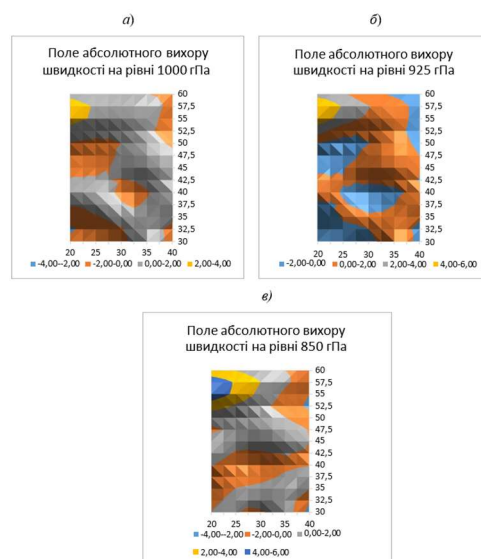


Рисунок 3.22 – Поля відносного вихору швидкості на рівнях 1000 а), 925 б) та 850 в) гПа за 26.08.2021 р.



Поля дивергенції на рівнях 1000...850 гПа (рис. 3.23) показали в районі даного малоградієнтного поля від'ємні значення у вигляді такого самого поля.

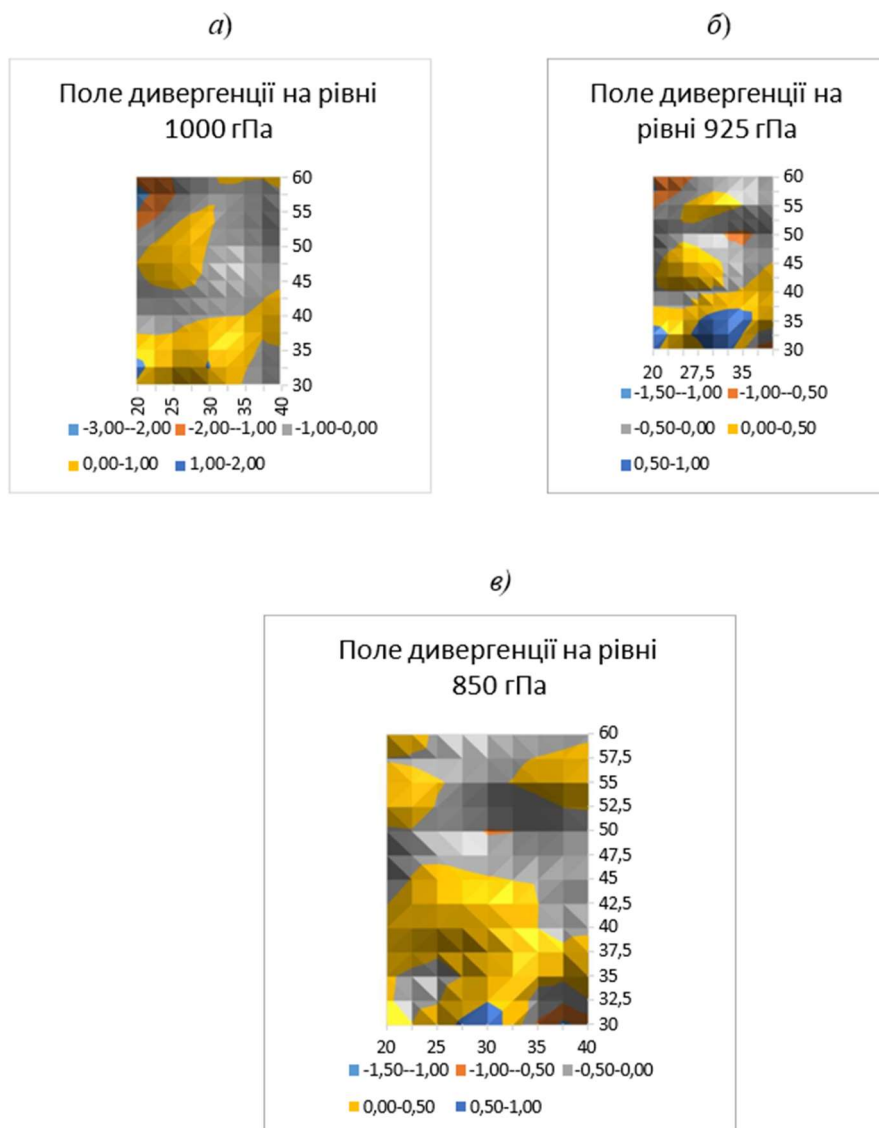


Рисунок 3.23 – Поля дивергенції на рівнях 1000 а), 925 б) та 850 в) гПа за 26.08.2021 р.

На рівні 925 гПа також простежується досить активна область збіжності повітряних течій над південними регіонами, що характерно для циклону.

### 3.5 Співставлення синоптичних умов формування грозової активності з розподілом термодинамічних характеристик за 22.05.2022 р.

Синоптична ситуація 22.05.22 року за 00 год (рис. 3.24) визначалася циклоном з центром східніше Києва. Тобто, центральна, західна та південна території України знаходилися в тилу даного циклону.

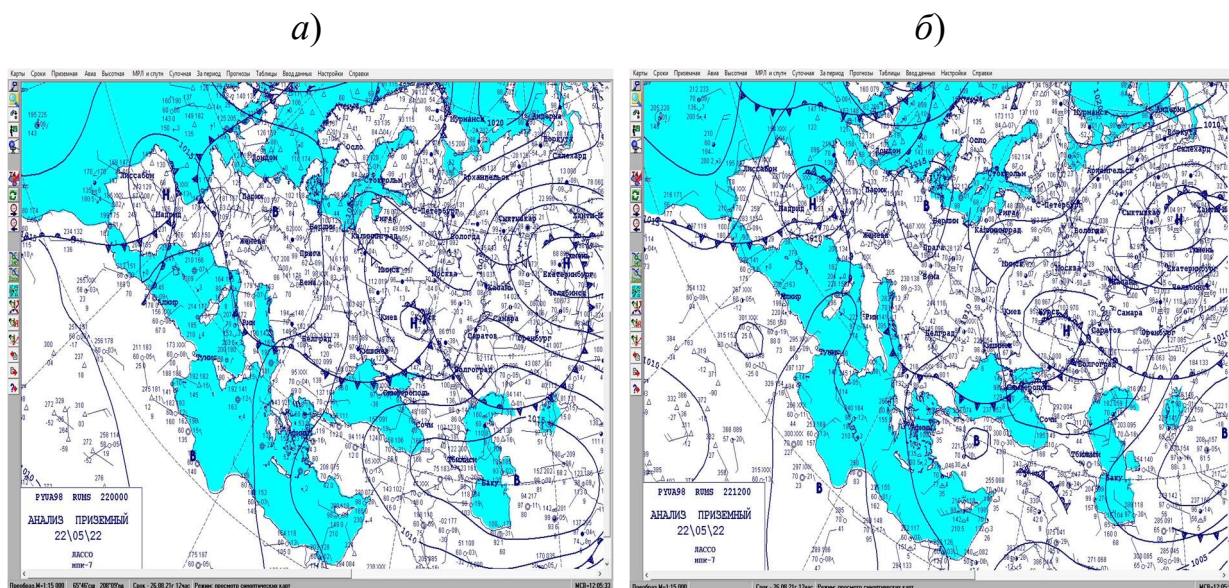


Рисунок 3.24 – Карти приземного аналізу за 00 та 12 год. СГЧ за 22.05.2022 р.

Циклон, як видно із рис. 3.24 є вже оклюдованим, але, при цьому на картах баричної топографії АТ 850-500 гПа, він все ще залишається термічно неоднорідним (рис. 3.25), а тиск в центрі продовжує знижуватися, що вказує на те, що циклон продовжує поглиблюватися. В цей день в столиці та по більшості території України відмічалися зливові опади.

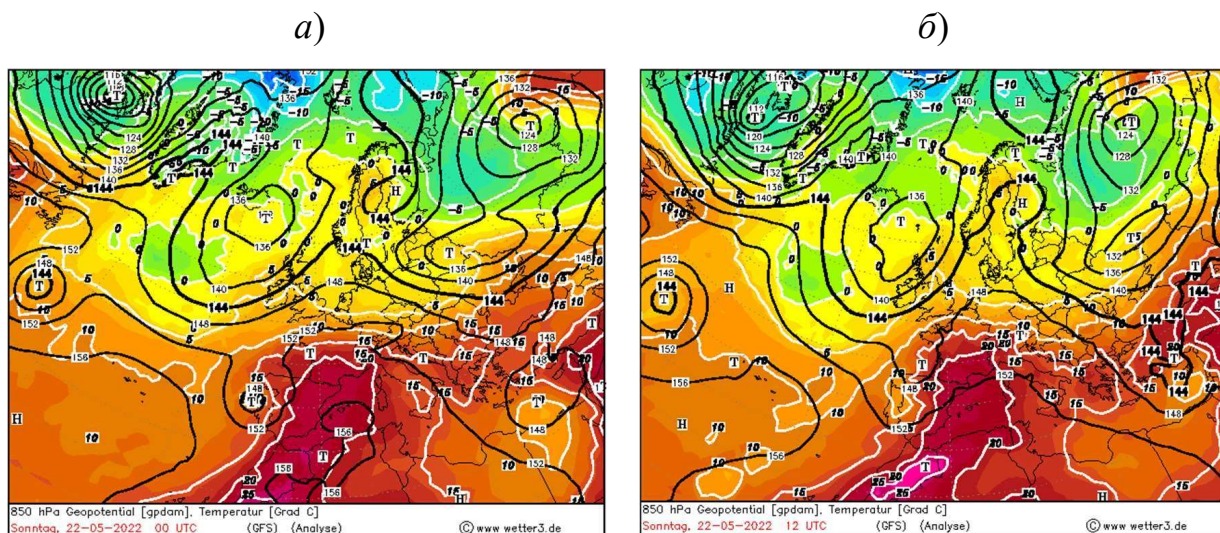


Рисунок 3.25 – Карты АТ-850 за 00 год. та АТ-700 за 12 год. СГЧ за 22.05.2022 р.

На аерологічній діаграмі за прогностичними даними по станції Кривий Ріг бачимо прогнозується стійка стратифікація як в 00 год. так і о 12 год. (рис.3.26).

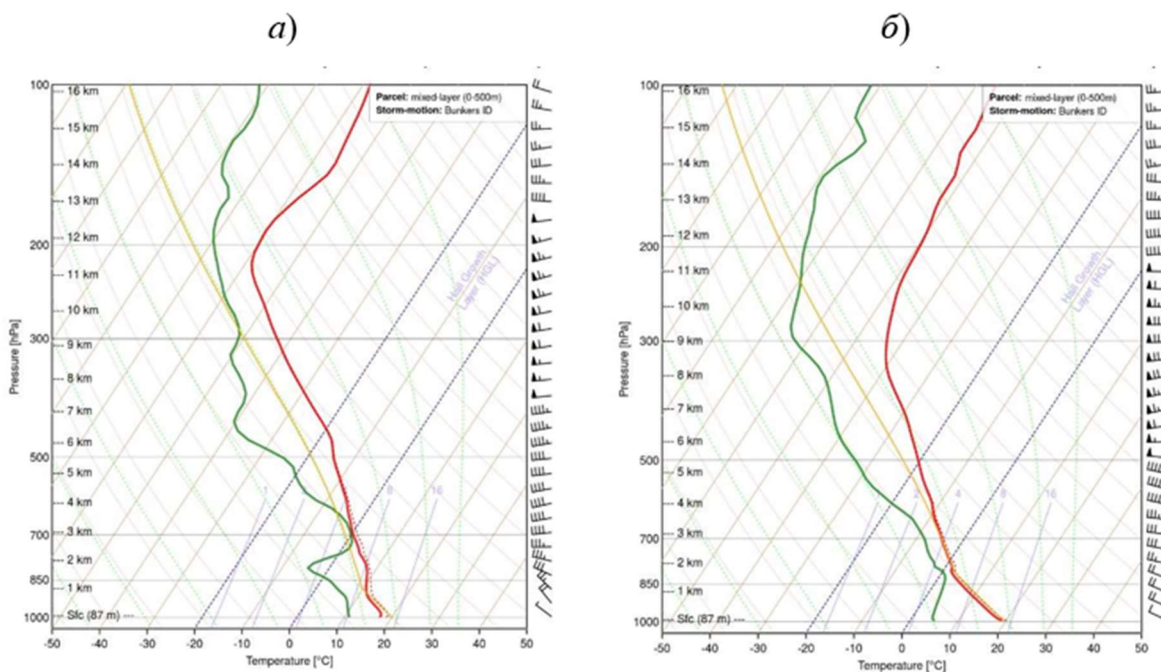


Рисунок 3.26 - Аерологічні діаграми за прогностичними даними по ст. Кривий Ріг за 22.05.2022 р. за 00 а) та 12 б) СГЧ

Як бачимо 22.05.2022 р. (табл.3.5) за прогностичними даними за 00 год індекси СТ, ТТ, VT та SWEAT не спрогнозували виникнення грози. За 12 годин індекси показали: СТ - енергія нестійкості при якій можливі сильні грози, ТТ - значна кількість гроз (окремі з яких сильні), а VT та SWEAT індекси не спрогнозували виникнення грози.

Таблиця 3.5 – Результати розрахунку індексів нестійкості атмосфери по станції Кривий Ріг за фактичними та прогностичними даними

Кривий Ріг												
Прогностичні дані	T850	Td850	D850	F850	F500	T500	Td500	D500	СТ	VT	ТТ	SWEAT
00 год.	9,5	1,5	300	33	44	-14,4	-24,9	264	16	24	40	128
12 год.	5,3	1,9	292	23	49	-20,3	-33,4	277	22	26	48	120

Поля вихору на рівнях 1000...850 гПа (рис. 3.27) показали в районі даної улоговини додатні значення у вигляді такої самої улоговини.

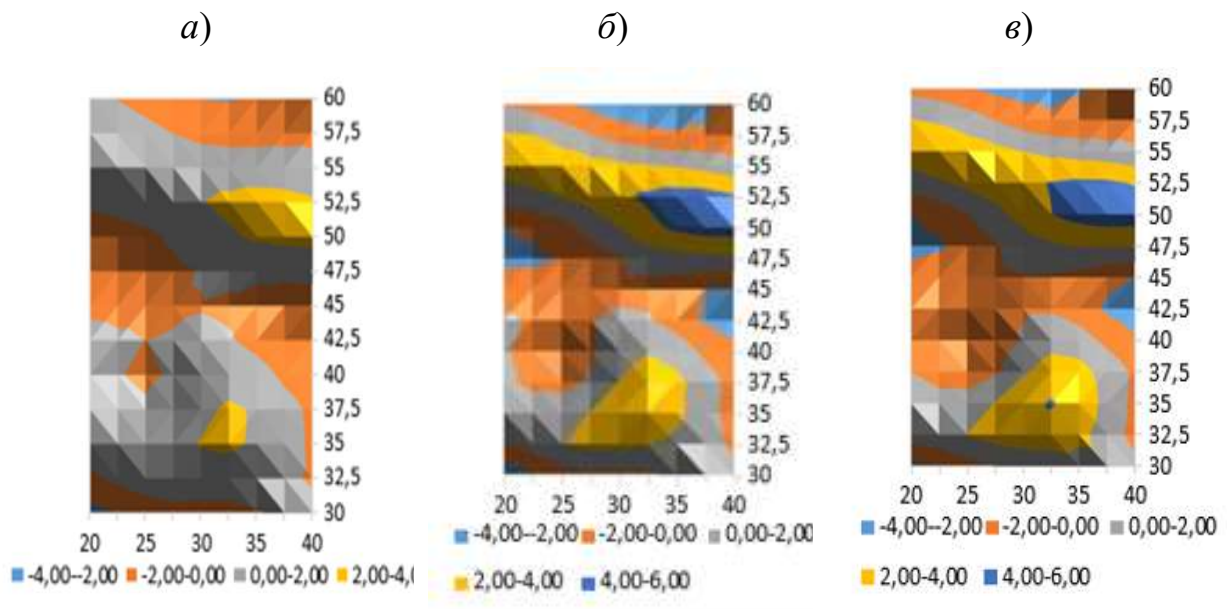


Рисунок 3.27 – Поля відносного вихору швидкості на рівнях 1000 а), 925 б) та 850 в) гПа за 22.05.2022 р.

Поля дивергенції на рівнях 1000...850 гПа (рис. 3.28) показали в районі даної улоговини від'ємні значення у вигляді такої самої улоговини.

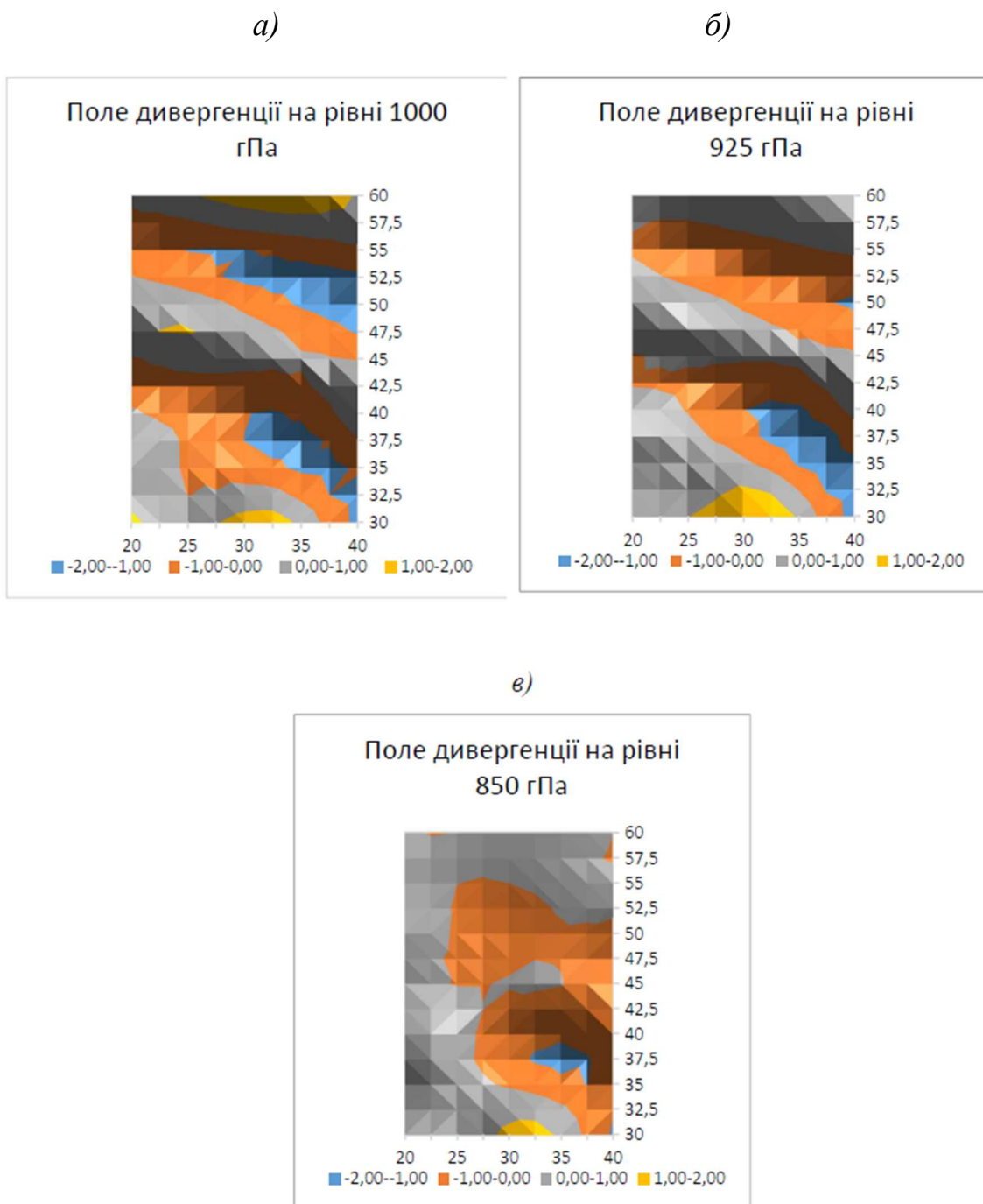


Рисунок 3.28 – Поля дивергенції на рівнях 1000 а), 925 б) та 850 в) гПа за 22.05.2022 р.

### 3.6 Співставлення синоптичних умов формування грозової активності з розподілом термодинамічних характеристик за 05.04.2023 р.

Синоптична ситуація 05.04.2023 р. (рис.3.29) визначалася улоговиною південного циклону та наближенням до станції Одеса холодного фронту. Даний циклон з 12 год UTC по 18 год. знаходився на стадії максимального розвитку але все ще є залишається термічно неоднорідним, до того ж в тил йому ще й заходить нова гілка холодного фронту, що вказує на подальшу регенерацію даного циклону.

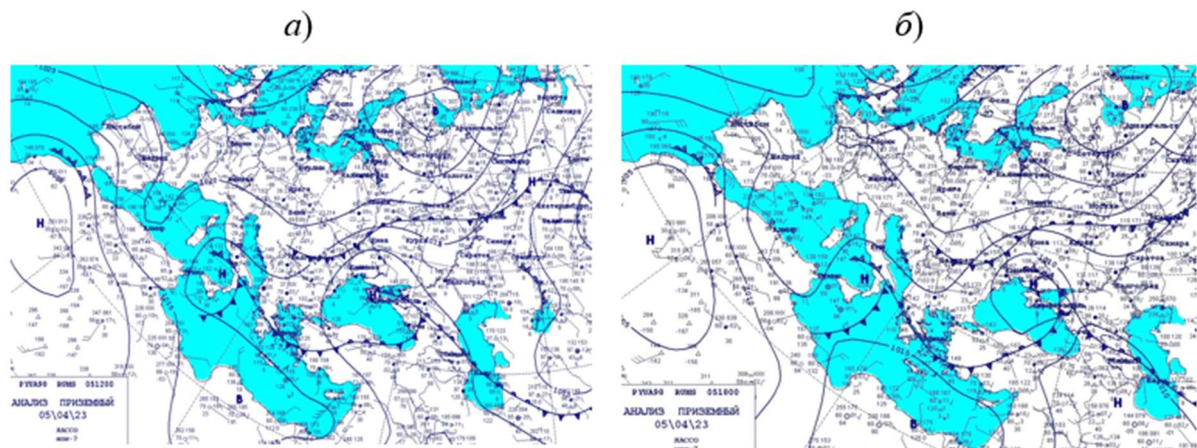


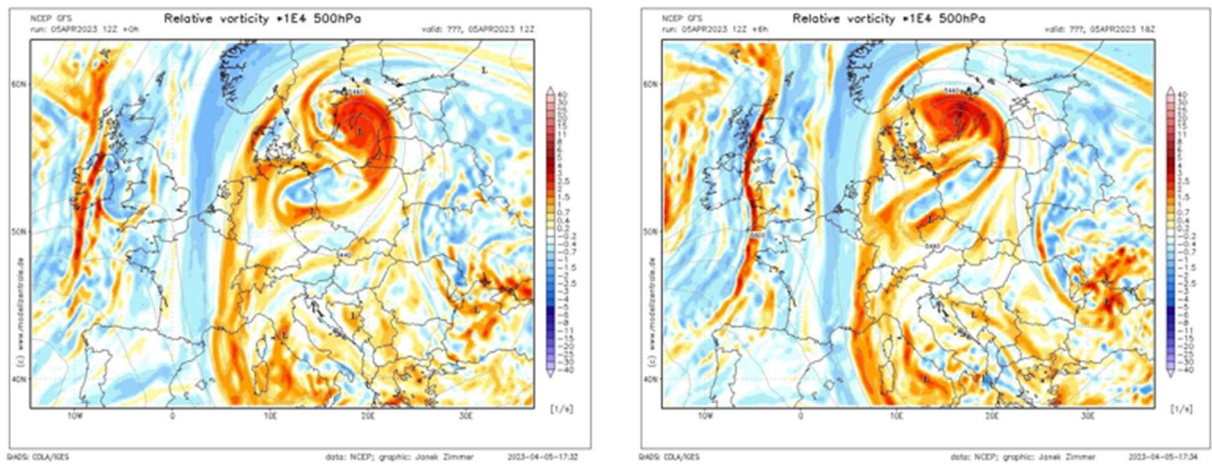
Рисунок 3.29 – Карты приземного аналізу за 12 та 18 год. СГЧ за 05.04.2023 р.

Як бачимо із рис.3.30 а) - поля відносного вихору швидкості на рівні 500 гПа за 12 та 18 год. – вихор швидкості з часом посилюється, тобто збільшується площа додатних його значень, що вказує на подальше поглиблення циклону. Таке зростання простежується від початку зливи з поступовим зменшення значень вихору та припинення злив по південним регіонам України.

Поля вертикальних рухів – рис. 3.30 б) показали, що територія України знаходиться в полі їх від’ємних значень, тобто у висхідних рухах і, що відповідає утворенню конвективної хмарності і можливості опадів.

Але, самостійне використання однієї карти висхідних рухів не дасть точного прогнозу можливості утворення опадів, їх слід використовувати лише в комплексі з іншими полями, в нашому випадку – з полем вихору швидкості.

a)



б)

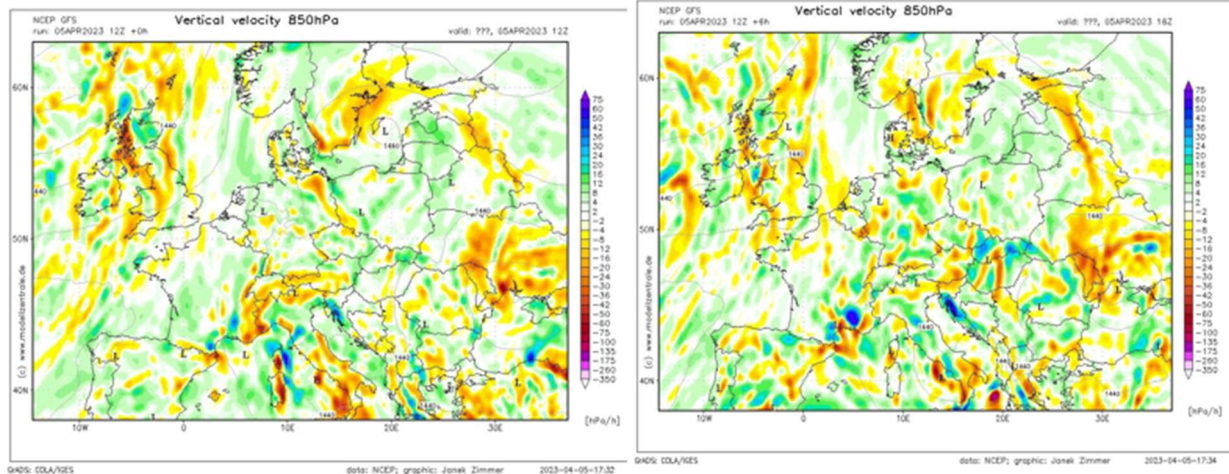


Рисунок 3.30 – Карти за 05.04.2023 р. за 12 та 18 год. СГЧ: а) відносного вихору швидкості на рівні 500 гПа та б) вертикальних рухів на рівні 850 гПа

У тих випадках, коли ці поля будуть показували зворотню картину, тобто, наприклад від'ємні значення вихору та від'ємні значення вертикальних рухів, опадів не спостерігалось.

Поля еквівалентної потенційної температури (рис.3.31) показують значні градієнти над територією західної України. Ця область відповідає холодному атмосферному фронту і може вказувати на загострену його ділянку. Як бачимо, з плином часу з південного сходу надходять більш високі значення еквівалентної температури, що спонукає на збільшення градієнтів над західними територіями, де ці значення значно нижчі.

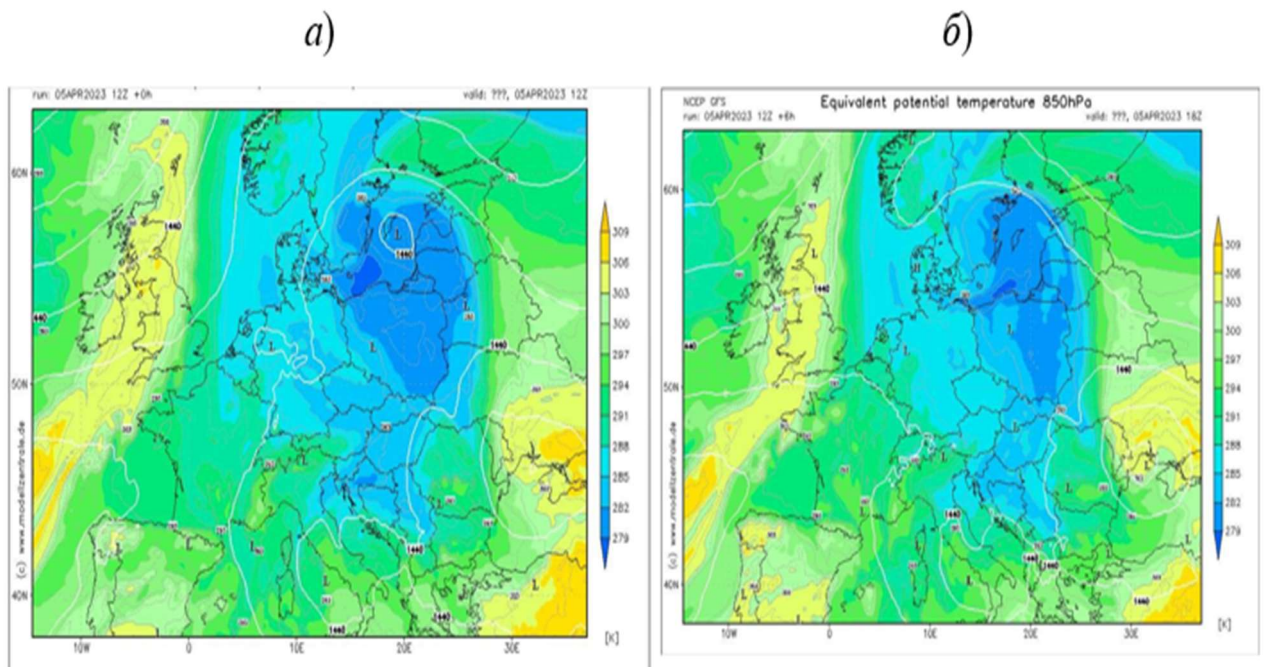


Рисунок 3.31 – Карти еквівалентних потенційних температур за 12 та 18 год. СГЧ за 05.04.2023 р.

На картах фактичних явищ погоди можемо побачити досить великі області з опадами в зоні південного циклона протягом доби 05.04.2023 р. (рис.3.32).



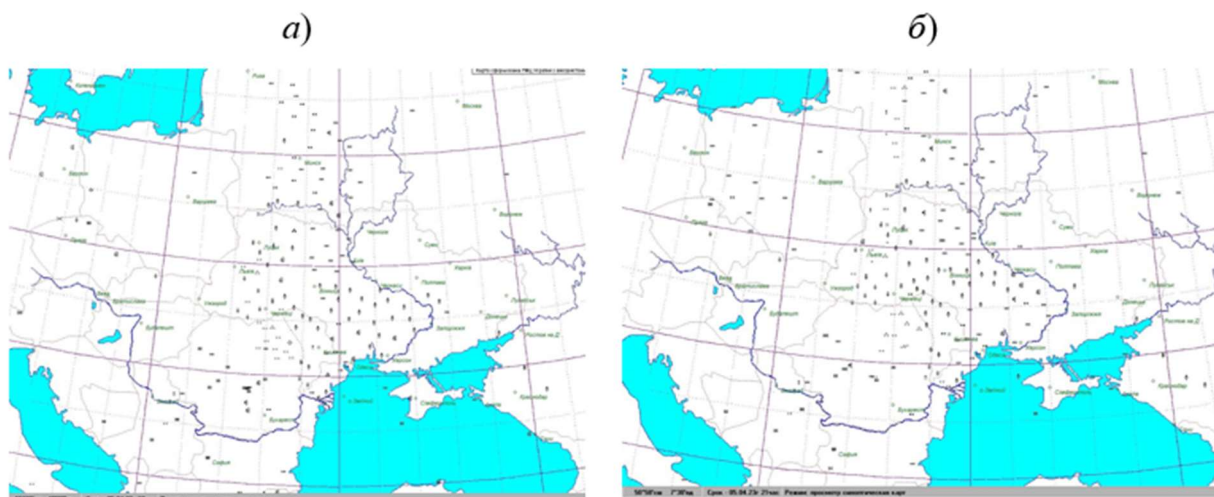


Рисунок 3.32 – Карти явищ погоди 05.04.2023 р. за а) 12 год та б) 21 год

Як показали прогностичні карти вертикальних рухів з 04.04.2023 на 05.04.2023 р. (рис.3.33), висхідні рухи в атмосфері над територією України досить добре спрогнозувалися. В той же час, як показали інші випадки, не завжди наявність висхідних рухів на всіх рівнях є достатніми умовами для формування опадів. Щоб прогноз був більш точним, слід цей параметр використовувати в комплексі з іншими, наприклад з відносним вихором швидкості або з параметрами нестійкості.

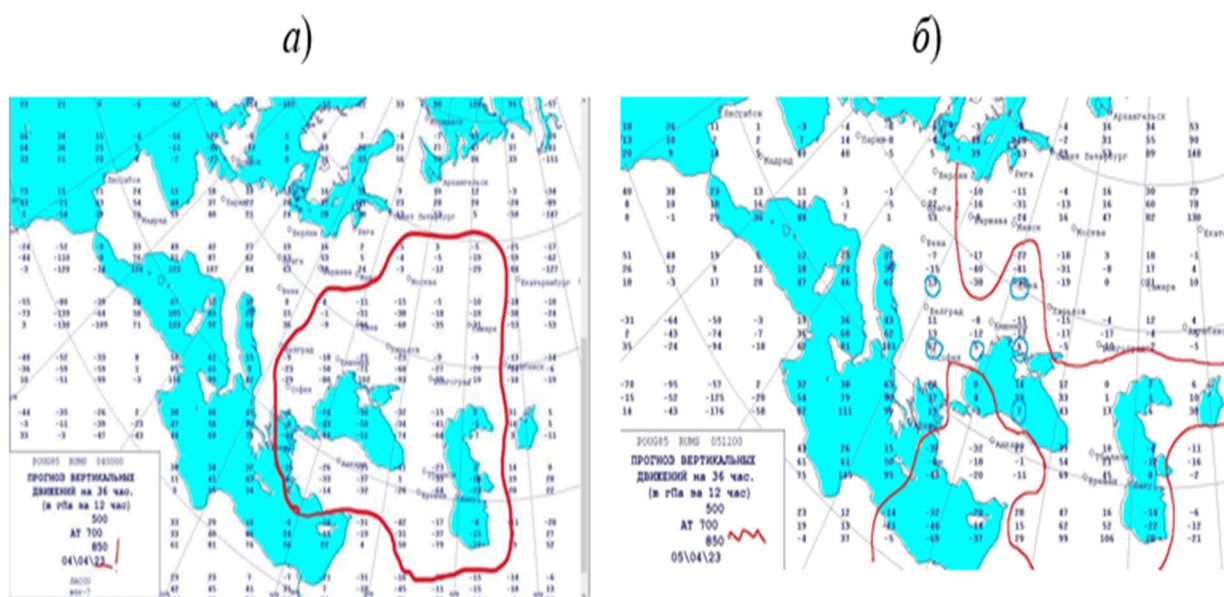


Рисунок 3.33 - Прогностична карта вертикальних рухів за а) 04.04.2023 р. та б) 05.04.2023 р. на 36 год.

Із таблиці 3.6 бачимо, що всі індекси спрогнозували грозову активність в Одесі.

Таблиця 3.6 – Результати розрахунку індексів нестійкості атмосфери по станції Одеса за прогностичними даними за 05.04.2023 р.

1   Одеса											
Прогностичні дані	T850	Td850	D850	F850	F500	T500	Td500	D500	CT	VT	TT
00 год. 05.04.2023	8,0	0,0	130	2	4	-23,0	-23,0	150	23	31	54
06 год. 05.04.2023	5,0	1,0	140	4	4	-23,0	-23,0	140	24	28	52
12 год. 05.04.2023	7,0	7,0	40	4	4	-22,3	-23,2	70	29	29	59
18 год. 05.04.2023	7,0	2,0	170	4	9	-25,0	-23,3	180	27	32	59

Слід одразу зазначити, що вихідними даними для розрахунку слугували дані GFS зняті з прогностичних аерологічних діаграм для ст. Одеса.

### 3.7 Співставлення синоптичних умов формування грозової активності з розподілом термодинамічних характеристик за 09.04.2023 р.

Синоптична ситуація 09.04.2023 р. визначалася малоградієнтним полем зниженого тиску (рис. 3.34). В цей день в Одесі о 15 год відмічалися сильні зливи. Пов'язані вони були саме з проходженням гілки фронту оклюзії. Хоча цей фронт оклюзії і був по типу теплового, конвективна діяльність розвилася по обидві сторони фронту.

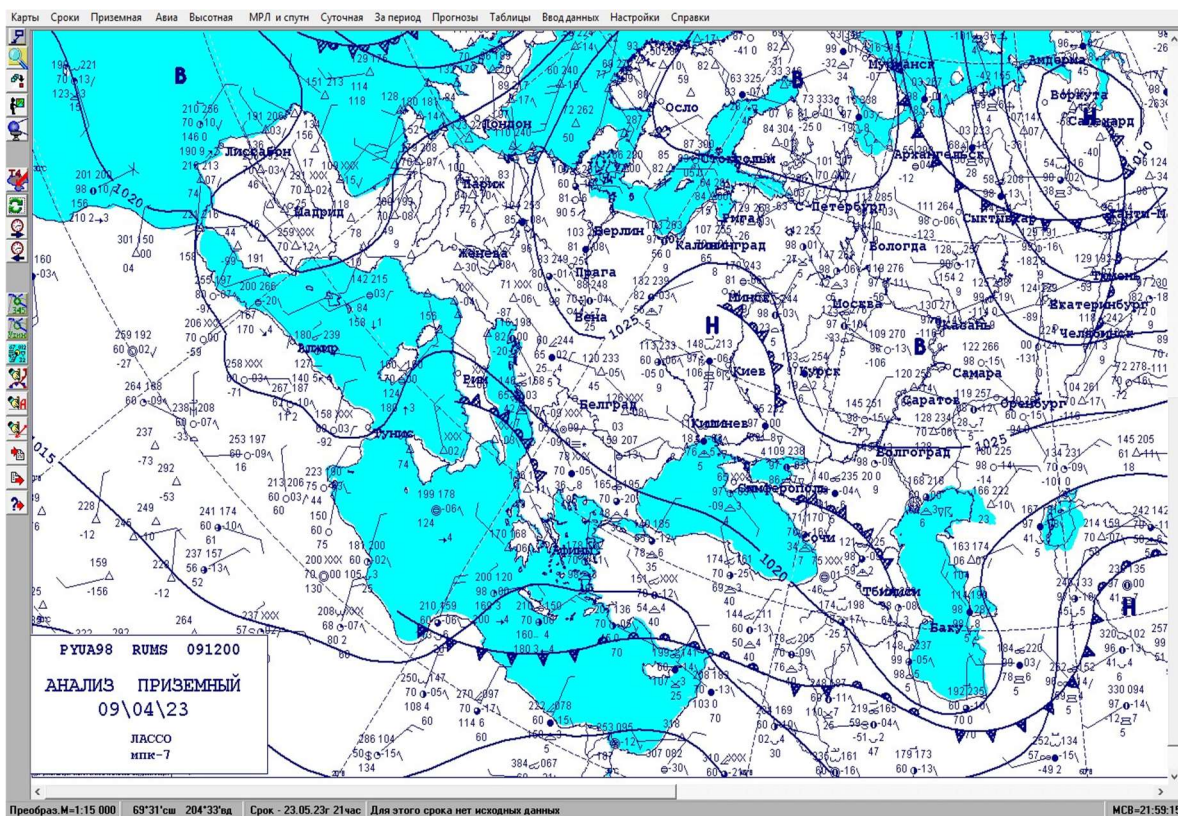
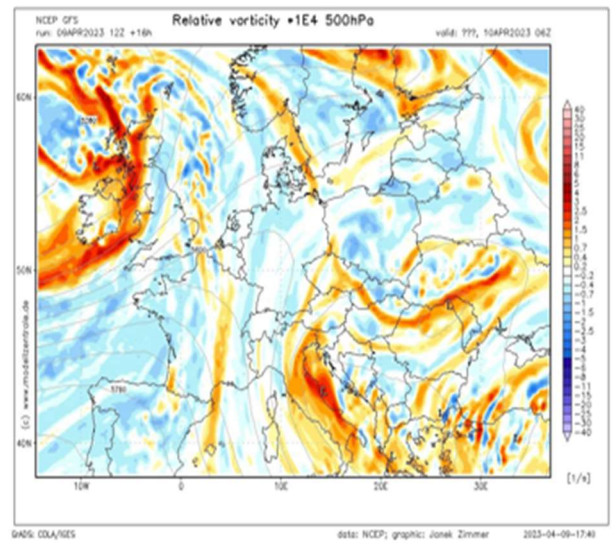
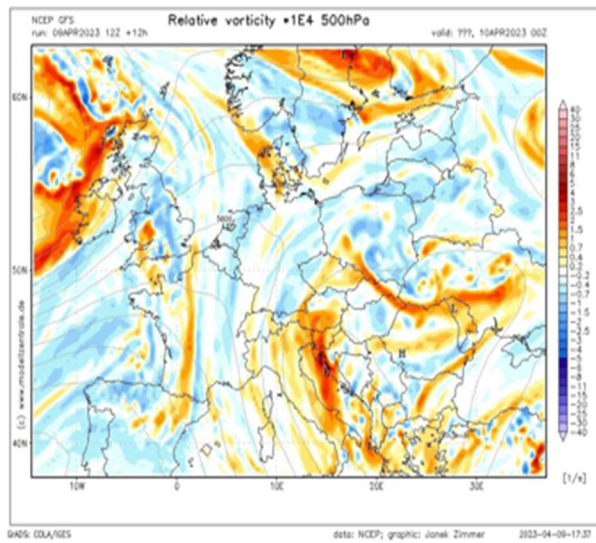


Рисунок 3.34 – Карта приземного аналізу за 12 год. СГЧ за 09.04.2023 р.

Послідовні зміни вертикальних рухів (рис. 3.35) з часом показують, що протягом доби циклонічна циркуляція (додані значення відносного вихору швидкості) буде поглиблюватися, в той же час висхідні вертикальні рухи на рівні 850 гПа на заході послаблювалися, але залишалися в межах циклонічної циркуляції як і відносний вихор швидкості над центральними областями України. При цьому слід зазначити, що по території України залишаються окремі осередки з висхідними вертикальними рухами, що підтверджує той факт, що даний циклон буде поглиблюватися та на окремих територіях можливі конвективні опади.

а)



б)

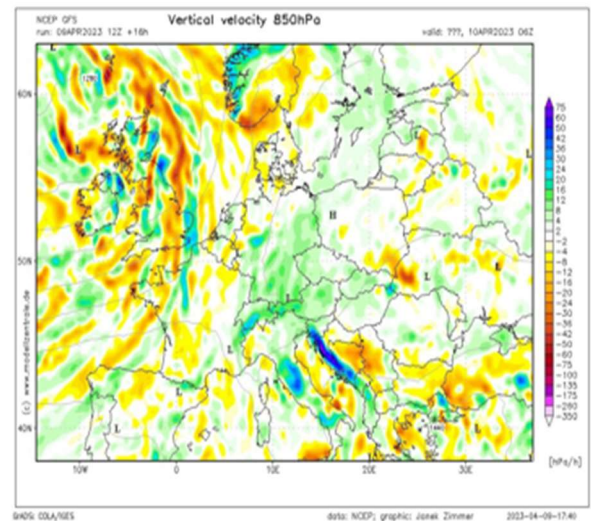
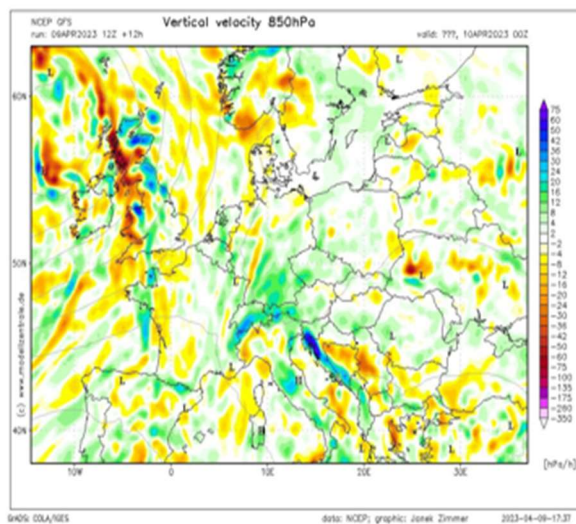
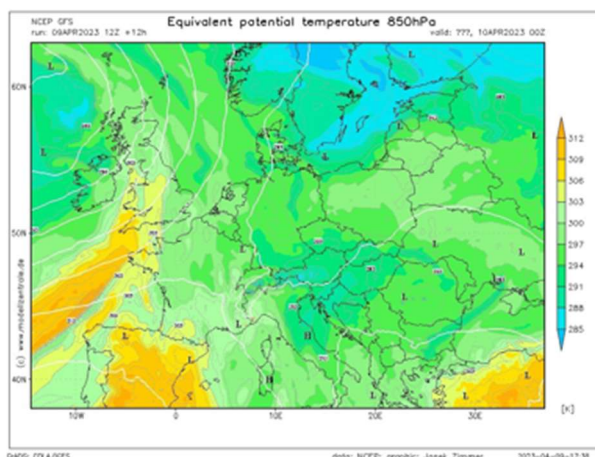


Рисунок 3.35 – Карты за 09.04.2023 р. за 12 та 18 год. СГЧ: а) відносного вихору швидкості на рівні 500 гПа та б) вертикальних рухів на рівні 850 гПа

Поля еквівалентної потенційної температури (рис. 3.36) показують значні градієнти над територією західної України. Ця область відповідає холодному атмосферному фронту і може вказувати на загострену його ділянку.

а)



б)

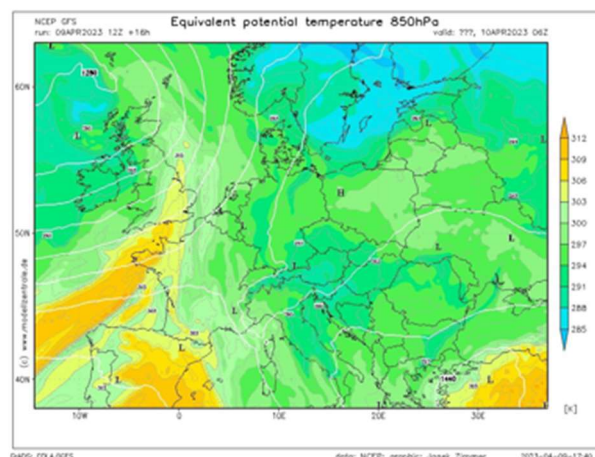
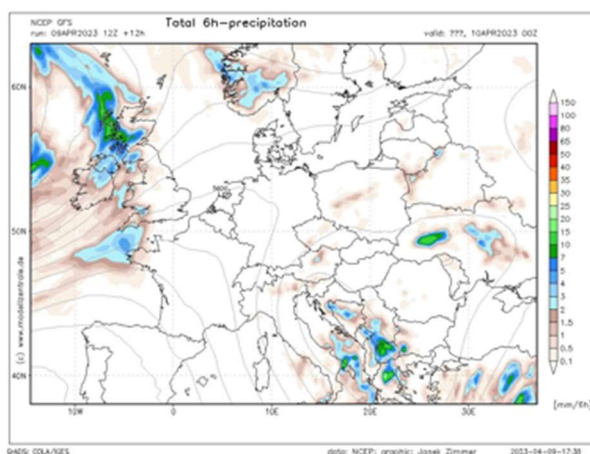


Рисунок 3.36 – Карты еквівалентних потенційних температур за 12 та 18 год. СГЧ за 09.04.2023 р.

На картах явищ погоди (рис.3.37) можемо побачити над центральною та західною частиною України області з опадами з максимумами на заході протягом досліджуваного періоду. Над Одесою опадів не спостерігається.

а)



б)

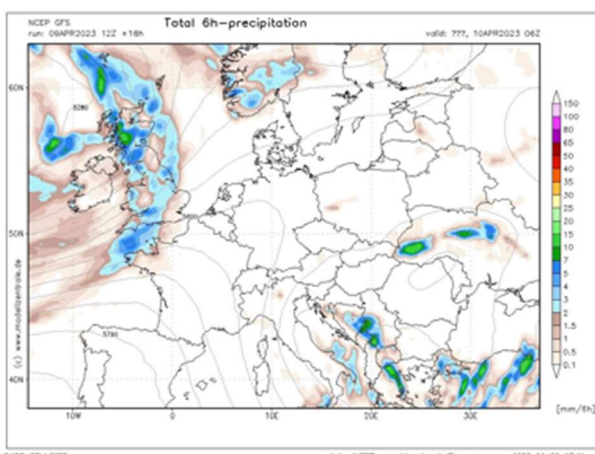


Рисунок 3.37 – Карта явищ погоди 09.04.2023 р. за а) 12 год та б) 18 год

Як показали прогностичні карти вертикальних рухів з 08.04.2023 на 09.04.2023 р. на 36 год. (рис.3.38) висхідні рухи в атмосфері над територією України добре спрогнозувалися.

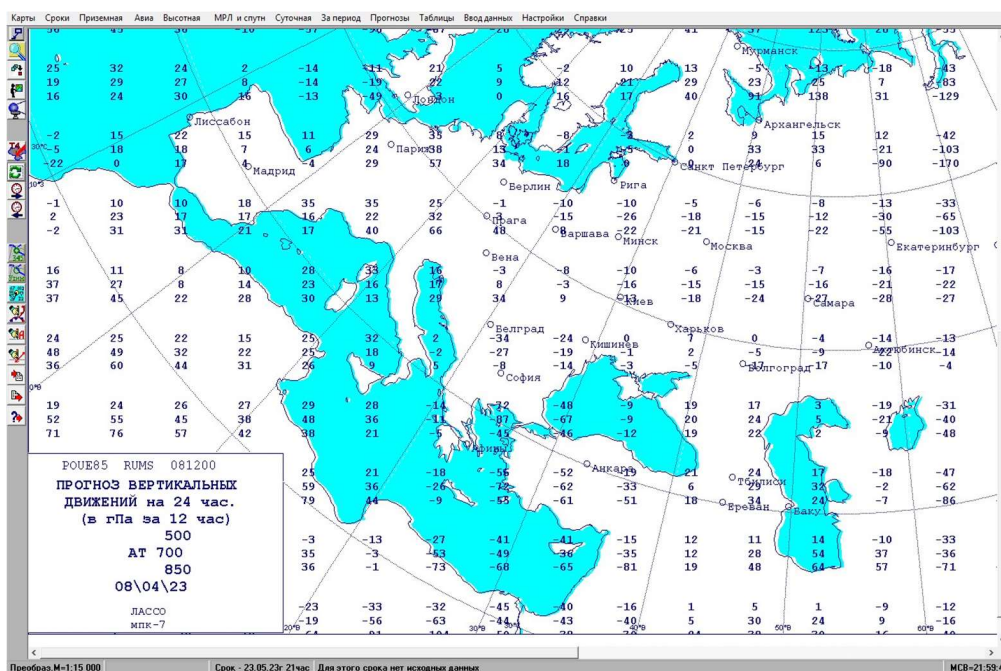


Рисунок 3.38 - Прогностична карта вертикальних рухів за 08.04.2023 р.  
СГЧ на 24 год.

Із таблиці 3.7 бачимо, що найкращий результат по модельним даним показав індекс СТ (за 00 та 18 год. спрогнозувалися), інші індекси були близькі до критеріальних значень.

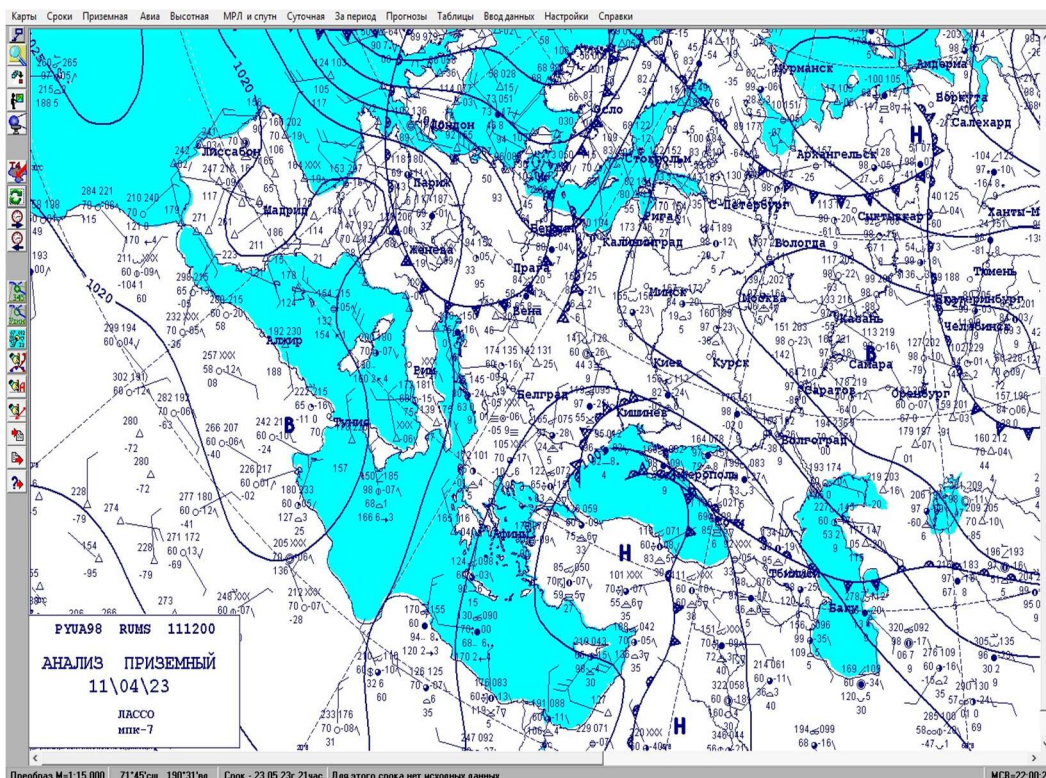
Таблиця 3.7 – Результати розрахунку індексів нестійкості атмосфери по станції Одеса за прогностичними даними за 09.04.2023 р.

Строки	T850	Td850	D850	F850	F500	T500	Td500	D500	СТ	VT	TT
00 год. 09.04.2023	-7,0	-9,0	180	2	4	-27,0	-41,0	220	18	20	38
06 год. 09.04.2023	-7,0	-10,0	350	2	4	-26,0	-35,0	210	16	19	35
12 год. 09.04.2023	-7,0	-11,0	290	1	2	-28,0	-31,0	180	17	21	38
18 год. 09.04.2023	-6,0	-7,5	310	1	4	-28,0	-35,0	230	21	22	43

Таким чином, індекси давали попередження про можливість утворення конвективної діяльності.

### 3.8 Співставлення синоптичних умов формування грозової активності з розподілом термодинамічних характеристик за 11.04.2023 р.

Синоптична ситуація 11.04.2023 р. визначалася улоговиною південного циклону (рис. 3.39). та наближенням до станції Одеса гілки фронту оклюзії по типу теплового. В цей день в Одесі спостерігалися зливові опади.



Послідовні зміни вертикальних рухів (рис. 3.40) з часом показують, що протягом доби, висхідні вертикальні рухи на рівні 850 гПа послаблюються як і відносний вихор швидкості.

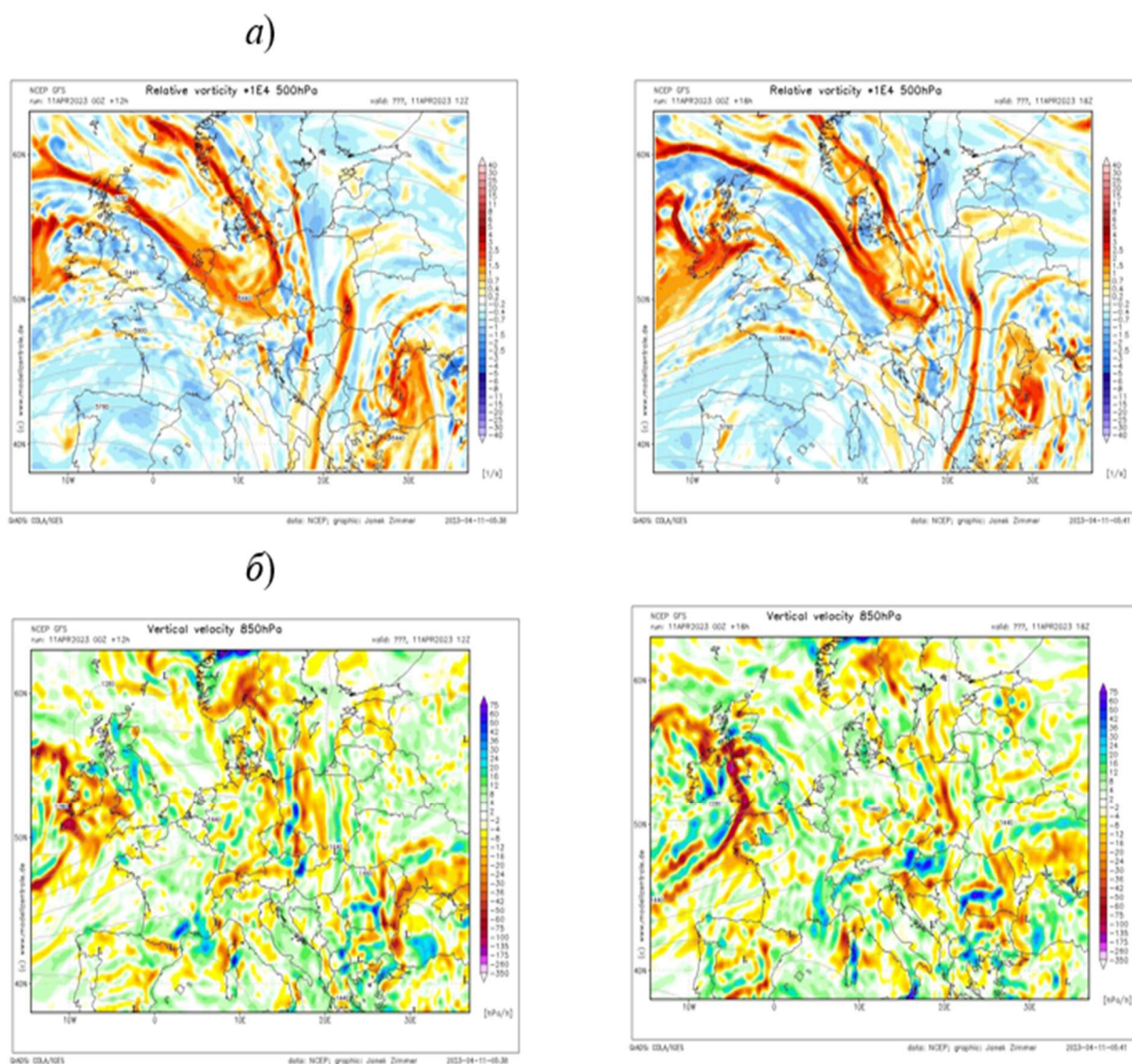


Рисунок 3.40 – Карти за 11.04.2023 р. за 12 та 18 год. СГЧ: а) відносного вихору швидкості на рівні 500 гПа та б) вертикальних рухів на рівні 850 гПа

Поля еквівалентної потенційної температури (рис. 3.41) показують значні градієнти над південно-східною територією України. Ця область відповідає холодному атмосферному фронту і може вказувати на загострену його ділянку.



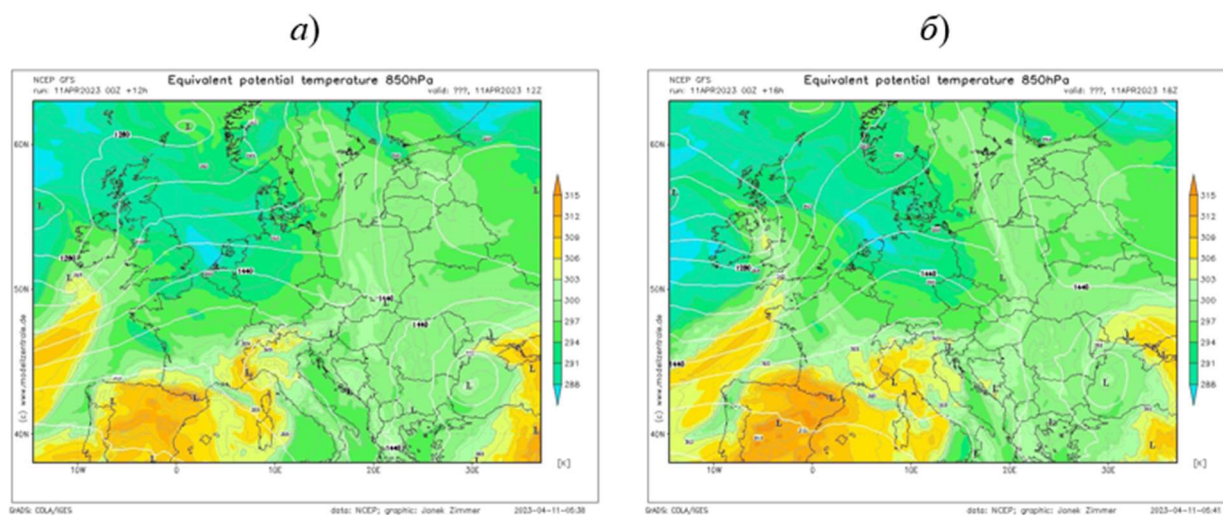


Рисунок 3.40 – Карти еквівалентних потенційних температур за 12 та 18 год. СГЧ за 11.04.2023 р.

На картах явищ погоди (рис. 3.41) можемо побачити на півдні України спостерігаються області з опадами з максимумами в Одесі.

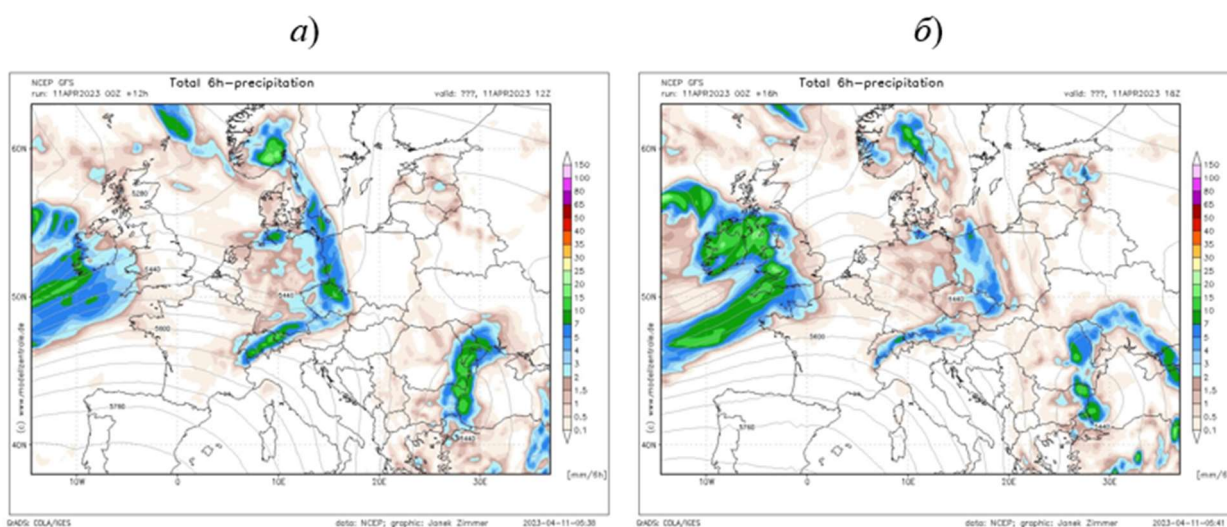


Рисунок 3.41 – Карта явищ погоди 09.04.2023 р. за а) 12 год та б) 18 год

Як показали прогностичні карти вертикальних рухів з 10.04.2023 на 11.04.2023 р. на 24 год. (рис.3.42) висхідні рухи в атмосфері над територією України добре спрогнозувалися.

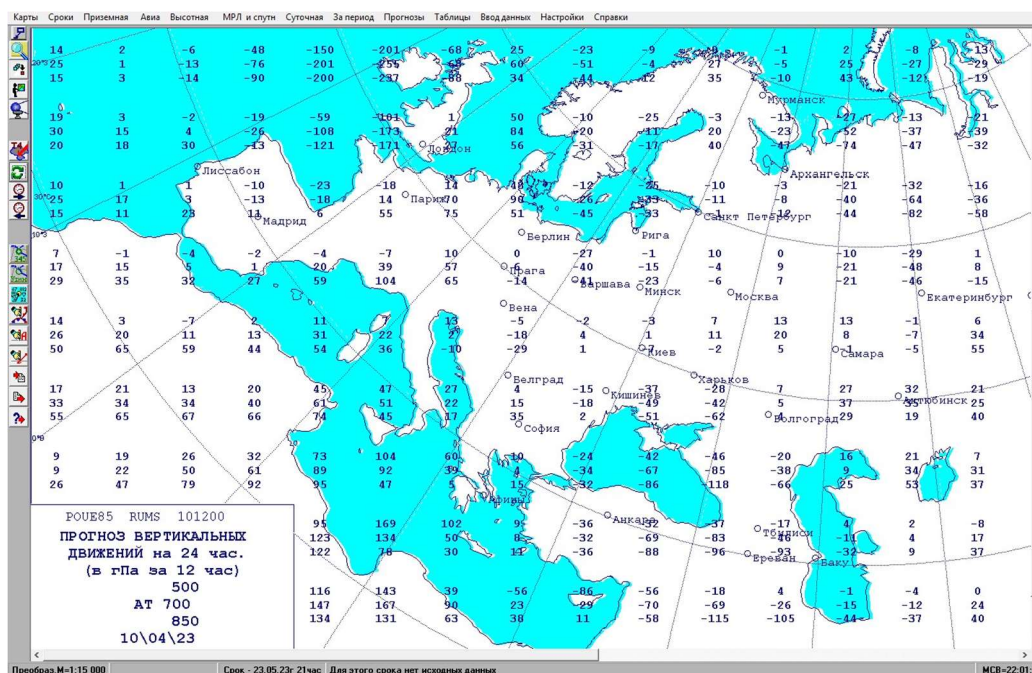


Рисунок 3.42 - Прогностична карта вертикальних рухів за 10.04.2023 р.  
СГЧ на 24 год.

Із таблиці 3.8 бачимо, що найкращий результат по модельним даним показав індекс СТ (тільки за 18 год. спрогнозувалися), інші індекси були близькі до критеріальних значень.

Таблиця 3.8 – Результати розрахунку індексів нестійкості атмосфери по станції Одеса за прогностичними даними за 11.04.2023 р.

Строки	T850	Td850	D850	F850	F500	T500	Td500	D500	СТ	VT	TT
00 год. 11.04.2023	-1,0	-13,0	100	2	7	-23,5	-43,5	130	11	23	33
06 год. 11.04.2023	-5,0	-8,5	60	7	2	-23,0	-23,0	120	15	18	33
12 год. 11.04.2023	-4,3	-4,6	80	9	7	-22,0	-22,0	100	17	18	35
18 год. 11.04.2023	-1,0	-2,0	120	4	7	-23,0	-47,0	130	21	22	43

### 3.9 Співставлення синоптичних умов формування грозової активності з розподілом термодинамічних характеристик за 12.04.2023 р.

Синоптична ситуація 12.04.2023 р. визначалася улоговиною циклону та впливом фронту оклюзії (рис. 3.43). В цей день в Одесі після 18 год відмічалися зливові опади. Пов'язані вони були саме з проходженням гілки фронту оклюзії через станції.

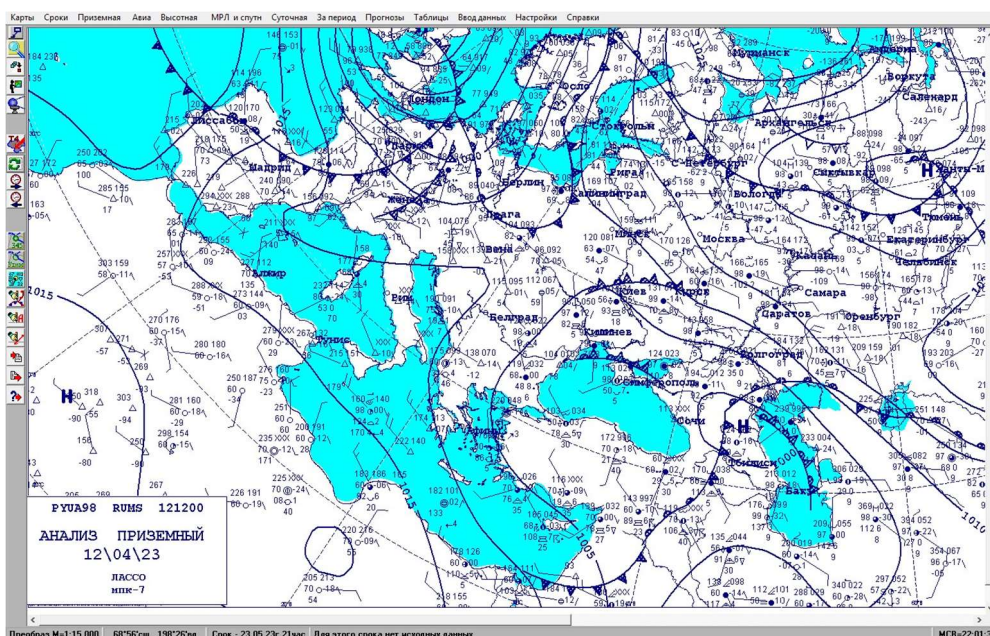
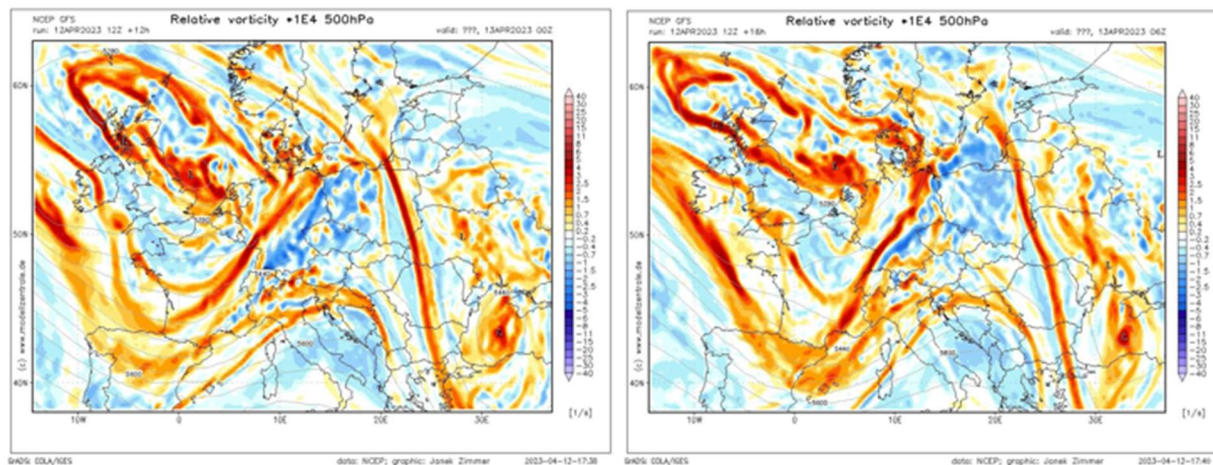


Рисунок 3.43 – Карта приземного аналізу за 12 год. СГЧ за 12.04.2023 р.

Послідовні зміни вертикальних рухів (рис. 3.44) з часом показують, що протягом доби, висхідні вертикальні рухи на рівні 850 гПа посилюються як і відносний вихор швидкості (посилення циклонічної циркуляції), що підтверджує той факт, що даний циклон буде поглиблюватися та можливі конвективні опади.

a)



б)

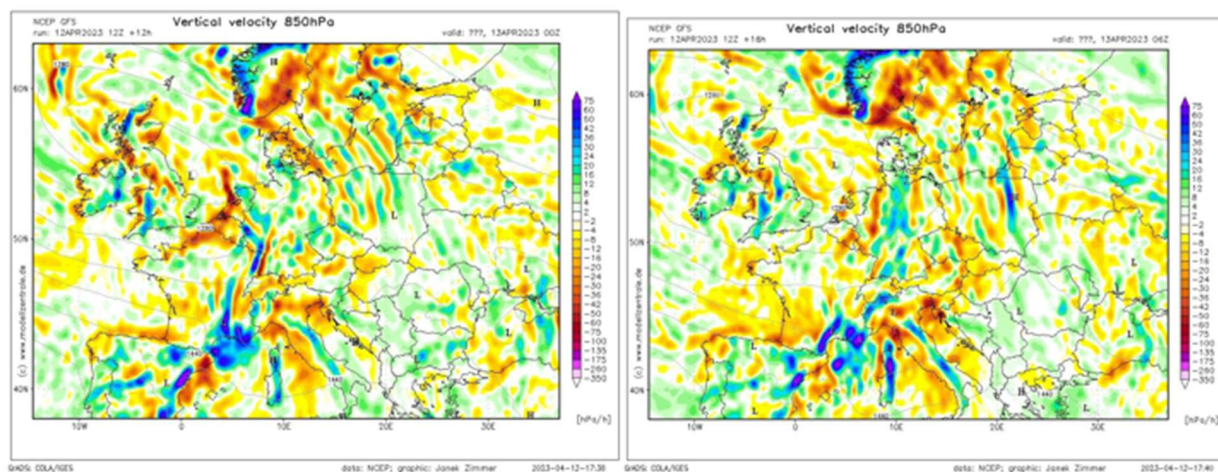


Рисунок 3.44 – Карты за 12.04.2023 р. за 12 та 18 год. СГЧ: а) відносного вихору швидкості на рівні 500 гПа та б) вертикальних рухів на рівні 850 гПа

Поля еквівалентної потенційної температури (рис. 3.45) показують значні градієнти над центральною територією України.

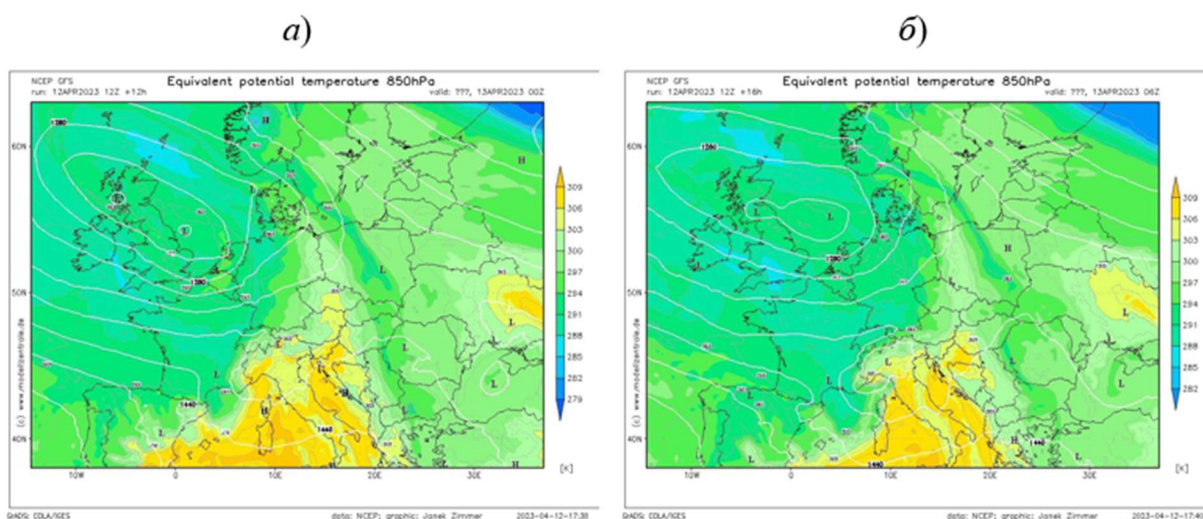


Рисунок 3.45 – Карти еквівалентних потенційних температур за 12 та 18 год. СГЧ за 12.04.2023 р.

На картах явищ погоди (рис. 3.46) можемо побачити області з опадами, які проходять через центральну частину України.

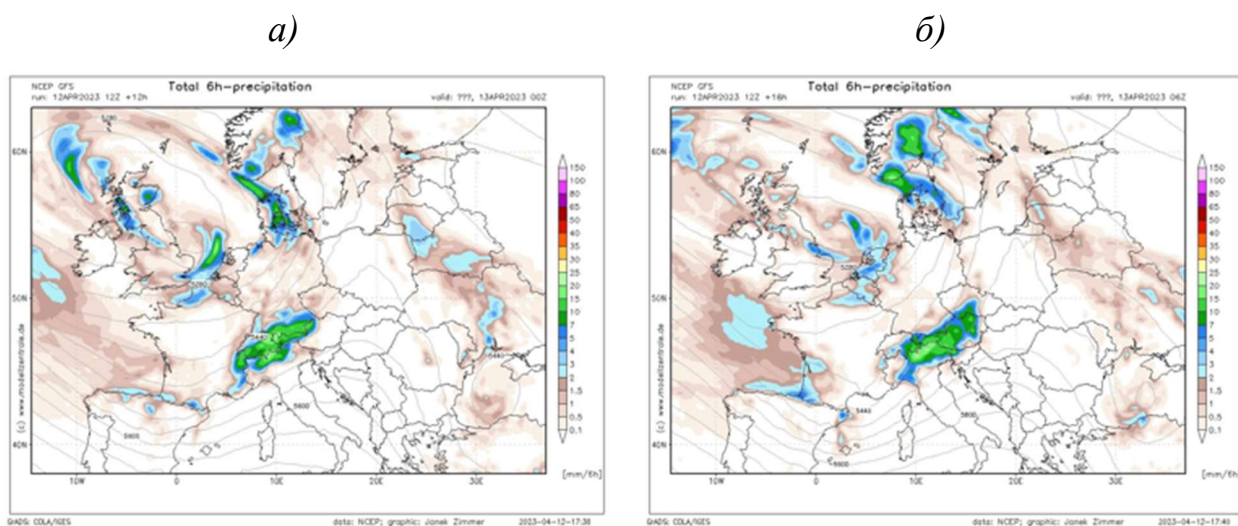


Рисунок 3.47 – Карта явищ погоди 12.04.2023 р. за а) 12 год та б) 18 год

Як показали прогностичні карти вертикальних рухів з 11.04.2023 на 12.04.2023 р. на 24 год. (рис.3.48) висхідні рухи в атмосфері над територією України добре спрогнозувалися.

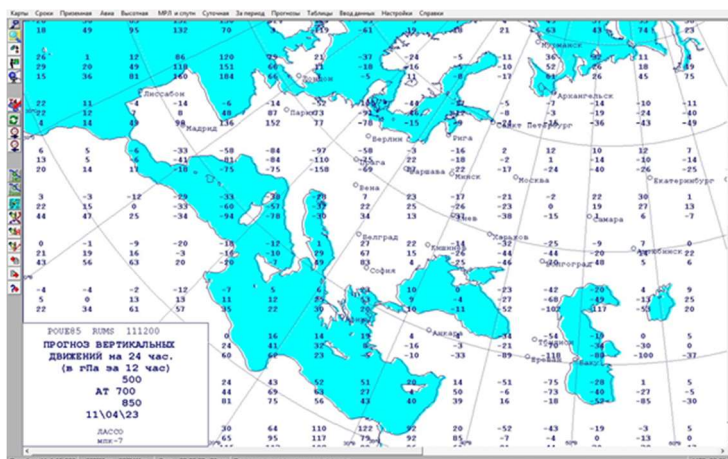


Рисунок 3.48 - Прогностична карта вертикальних рухів за 11.04.2023 р. СГЧ на 24 год.

Із таблиці 3.9 бачимо, що найкращий результат по модельним даним показав індекс СТ (за 00 та 6 год. спрогнозувалися), інші індекси були близькі до критеріальних значень.

Таблиця 3.9 – Результати розрахунку індексів нестійкості атмосфери по станції Одеса за прогностичними даними за 12.04.2023 р.

Строки	T850	Td850	D850	F850	F500	T500	Td500	D500	СТ	VT	TT
00 год. 12.04.2023	-4,0	-5,0	40	2	4	-25,0	-28,0	120	20	21	41
06 год. 12.04.2023	-4,0	-4,3	350	2	2	-25,0	-25,0	30	21	21	42
12 год. 12.04.2023	-4,0	-7,0	320	2	2	-24,0	-27,0	350	17	20	37
18 год. 12.04.2023	-3,0	-11,0	120	4	4	-24,0	-24,0	120	13	21	34

### 3.10 Співставлення синоптичних умов формування грозової активності з розподілом термодинамічних характеристик за 16.04.2023 р.

Синоптична ситуація 16.04.2023 р. визначалася улоговиною циклону та наближенням до станцій теплої гілки оклюдованого фронту по типу теплового (рис. 3.49). В цей день в Одесі не спостерігалось опадів.

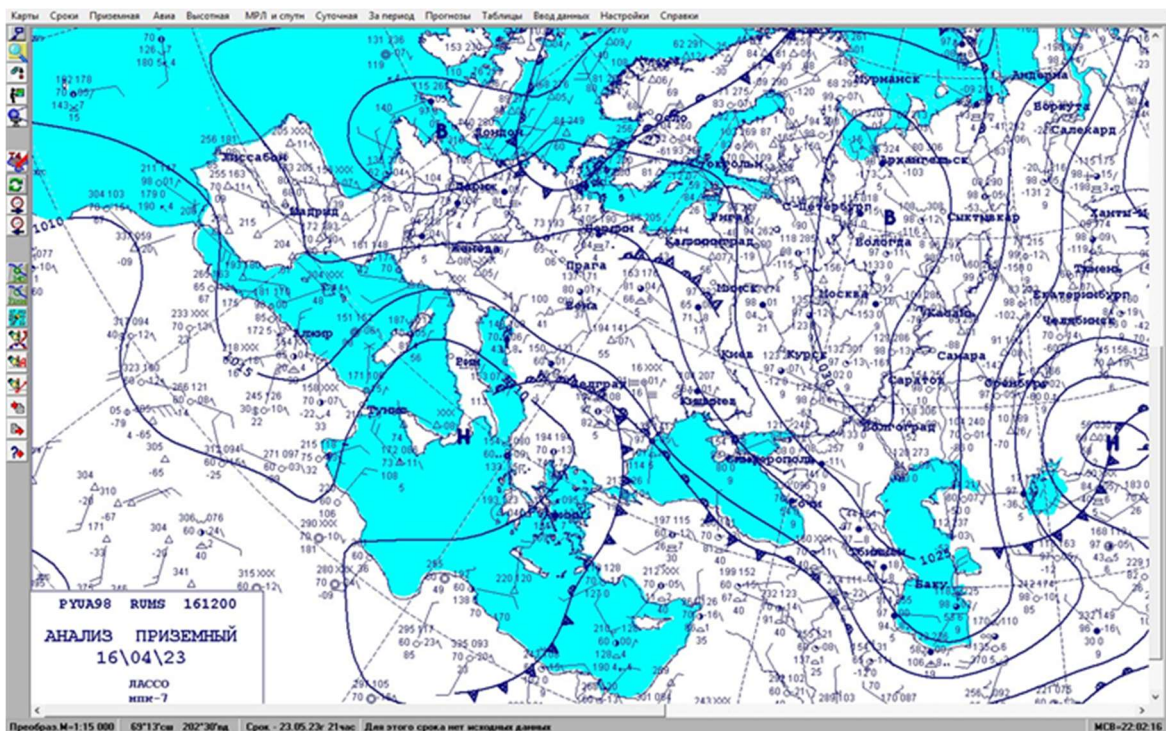
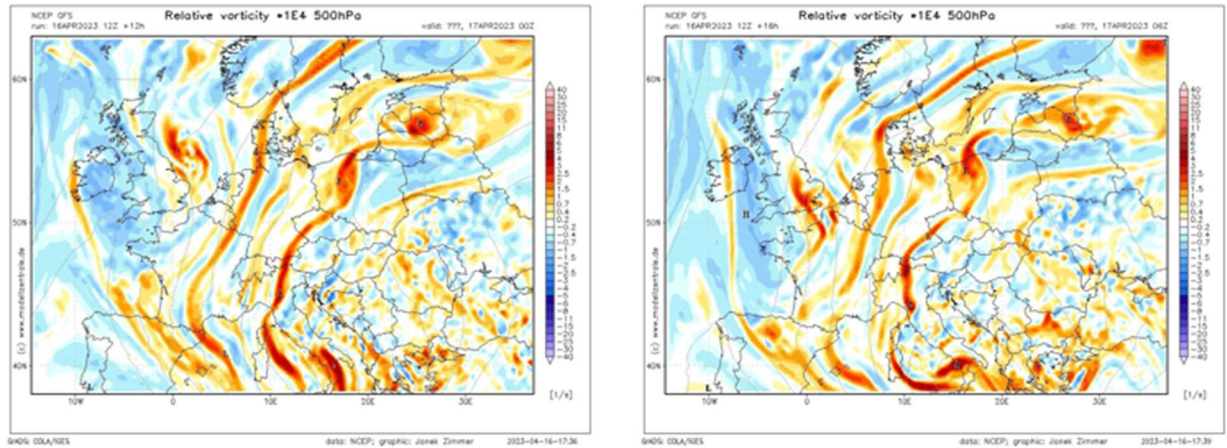


Рисунок 3.49 – Карта приземного аналізу за 12 год. СГЧ за 16.04.2023 р.

Послідовні зміни вертикальних рухів (рис. 3.50) з часом показують, що протягом доби, висхідні вертикальні рухи на рівні 850 гПа посилюються як і відносний вихор швидкості (посилення циклонічної циркуляції), що підтверджує той факт, що даний циклон буде поглиблюватися та можливі конвективні опади.

а)



б)

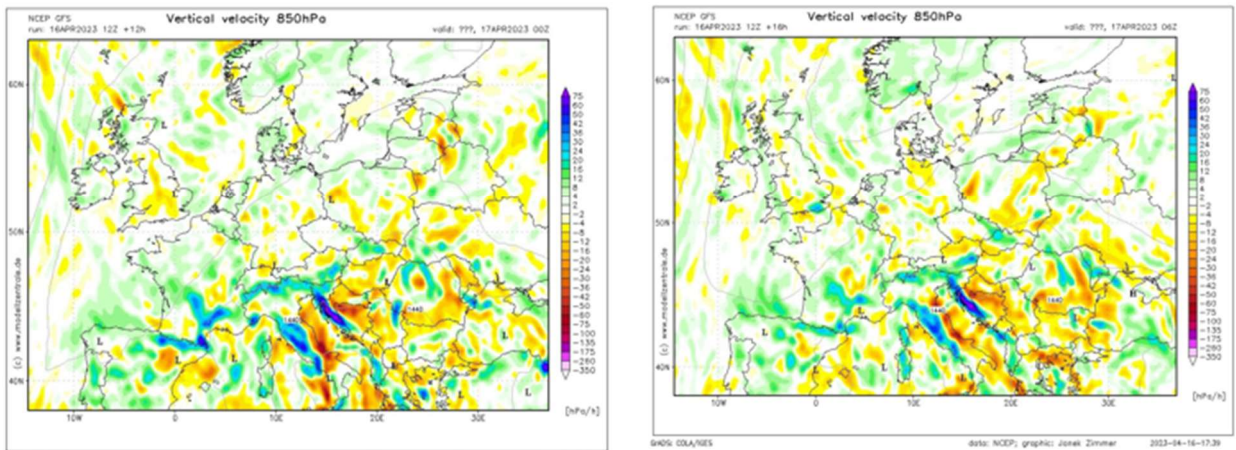


Рисунок 3.50 – Карты за 16.04.2023 р. за 12 та 18 год. СГЧ: а) відносного вихору швидкості на рівні 500 гПа та б) вертикальних рухів на рівні 850 гПа

Поля еквівалентної потенційної температури (рис. 3.51) показують значні градієнти через центр України. Ця область відповідає холодному атмосферному фронту і може вказувати на загострену його ділянку. Як бачимо, з плином часу з заходу надходять більш високі значення еквівалентної температури, що спонукає на збільшення градієнтів над західними територіями, де ці значення значно нижчі.



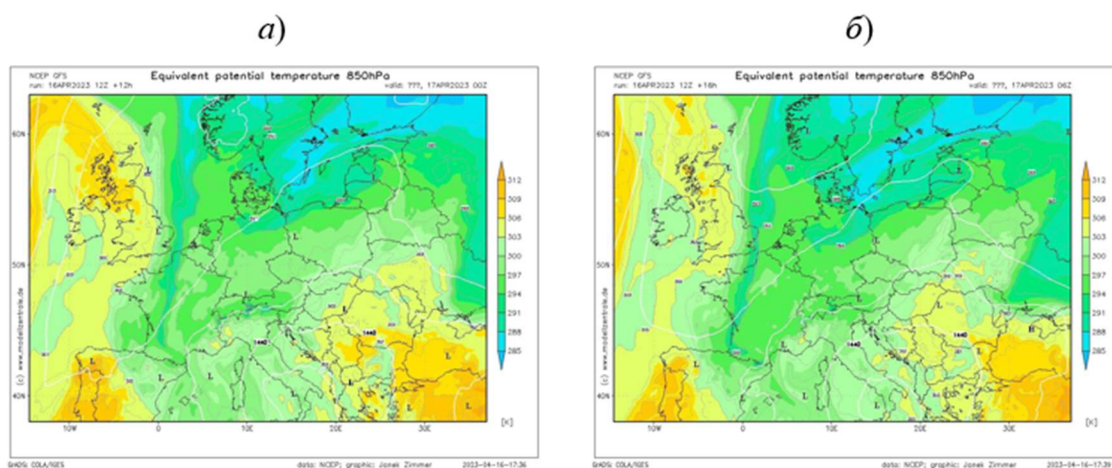


Рисунок 3.51 – Карти еквівалентних потенційних температур за 12 та 18 год. СГЧ за 16.04.2023 р.

На картах явищ погоди (рис. 3.52) можемо побачити області з опадами на заході України, які посилюються к 18 год.

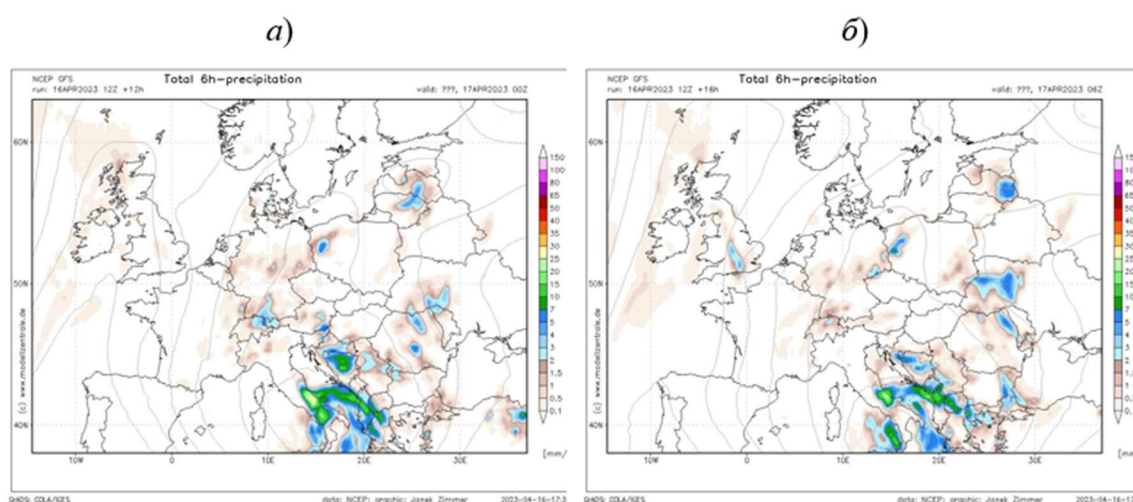


Рисунок 3.52 – Карта явищ погоди 16.04.2023 р. за а) 12 год та б) 18 год

Як показали прогностичні карти вертикальних рухів з 15.04.2023 на 16.04.2023 р. на 24 год. (рис.3.53) висхідні рухи в атмосфері над територією України добре спрогнозувалися.

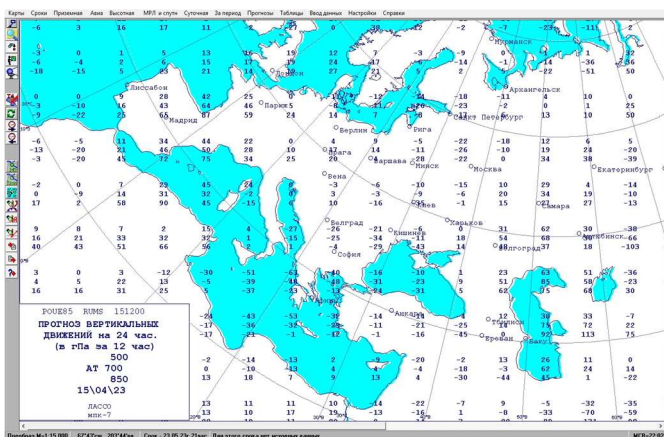


Рисунок 3.53 - Прогностична карта вертикальних рухів за 15.04.2023 р.  
СГЧ на 24 год.

Із таблиці 3.10 бачимо, що найкращий результат по модельним даним показав індекс СТ (за всі строки спрогнозувалися окрім 12 год.), інші індекси були близькі до критеріальних значень.

Таблиця 3.10 – Результати розрахунку індексів нестійкості атмосфери по станції Одеса за прогностичними даними за 16.04.2023 р.

Строки	T850	Td850	D850	F850	F500	T500	Td500	D500	СТ	VT	TT
00 год. 16.04.2023	-1,0	-3,0	140	4	2	-23,0	-23,0	150	20	22	42
06 год. 16.04.2023	-0,3	-4,0	130	4	4	-23,0	-23,0	150	19	23	42
12 год. 16.04.2023	0,0	-5,0	120	7	4	-21,0	-21,0	160	16	21	37
18 год. 16.04.2023	-1,8	-2,0	160	4	4	-22,0	-22,0	170	20	20	40

### 3.11 Співставлення синоптичних умов формування грозової активності з розподілом термодинамічних характеристик за 19.04.2023 р.

Синоптична ситуація 19.04.2023 р. (рис.3.54) визначалася улоговиною південного циклону та проходженням фронту оклюзії по типу теплового. В цей день в Одесі з 12 год відмічалися зливові опади.

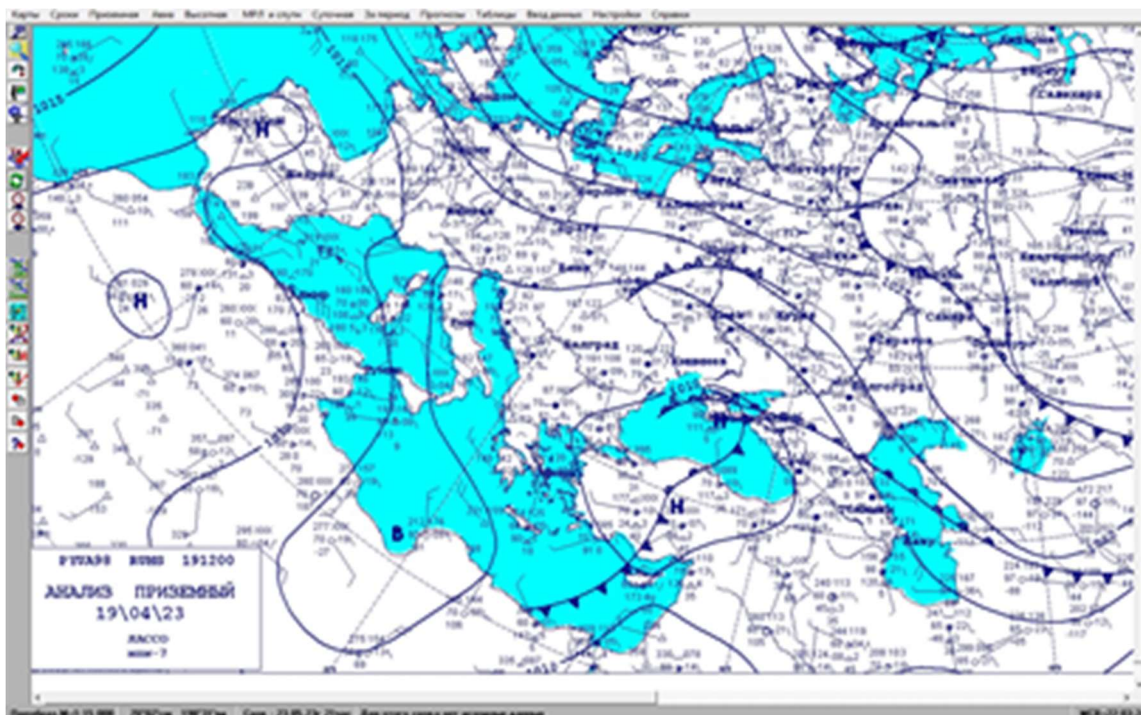


Рисунок 3.54 – Карта приземного аналізу за 12 год. СГЧ за 19.04.2023 р.

Послідовні зміни вертикальних рухів (рис. 3.55) з часом показують, що протягом доби, висхідні вертикальні рухи на рівні 850 гПа посилюються як і відносний вихор швидкості (посилення циклонічної циркуляції), що підтверджує той факт, що даний циклон буде поглиблюватися та можливі конвективні опади.

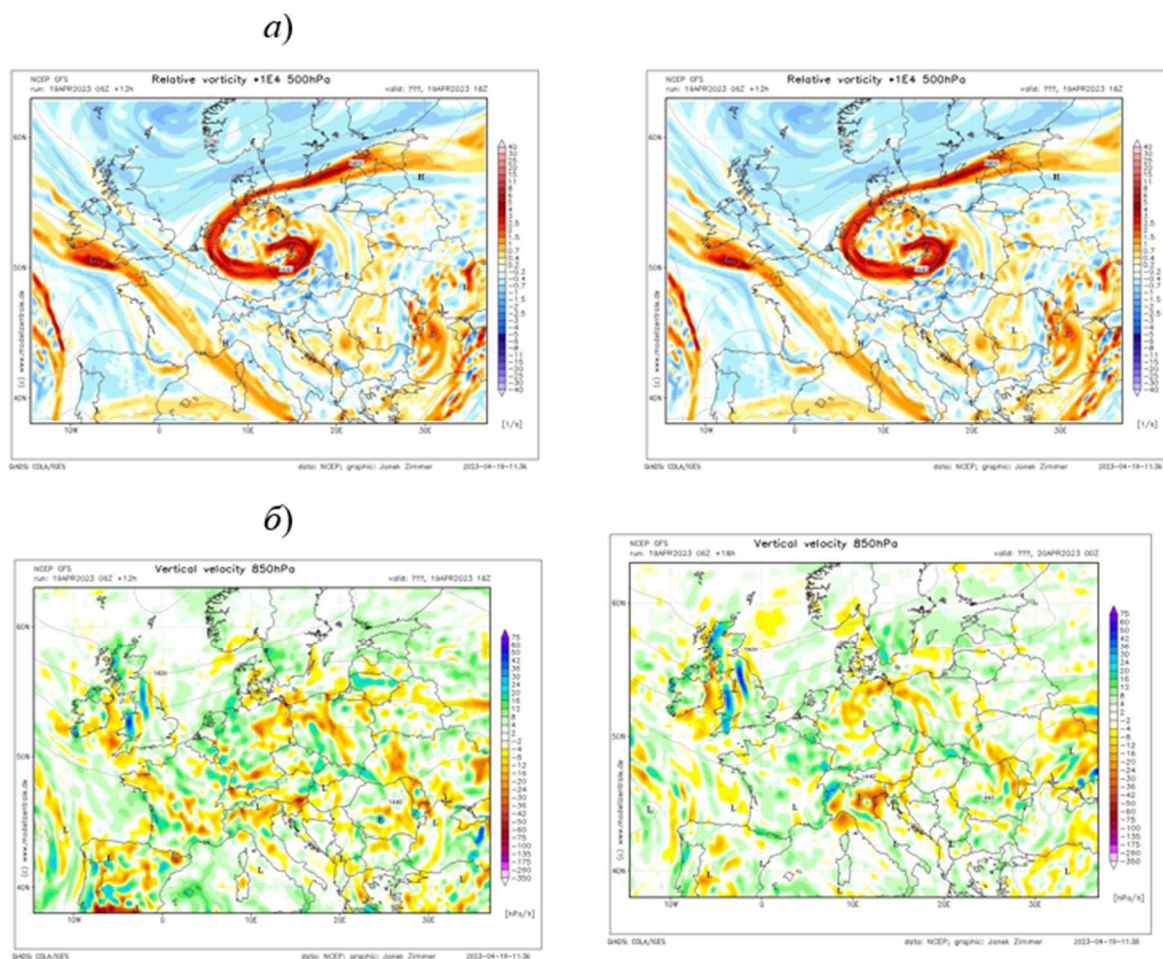


Рисунок 3.55 – Карты за 19.04.2023 р. за 12 та 18 год. СГЧ: а) відносного вихору швидкості на рівні 500 гПа та б) вертикальних рухів на рівні 850 гПа

Поля еквівалентної потенційної температури (рис. 3.56) показують значні градієнти від північного сходу до південного заходу України. Ця область відповідає холодному атмосферному фронту і може вказувати на загострену його ділянку. Як бачимо, з плином часу зі сходу надходять більш високі значення еквівалентної температури, що спонукає на збільшення градієнтів над західними територіями, де ці значення значно нижчі.

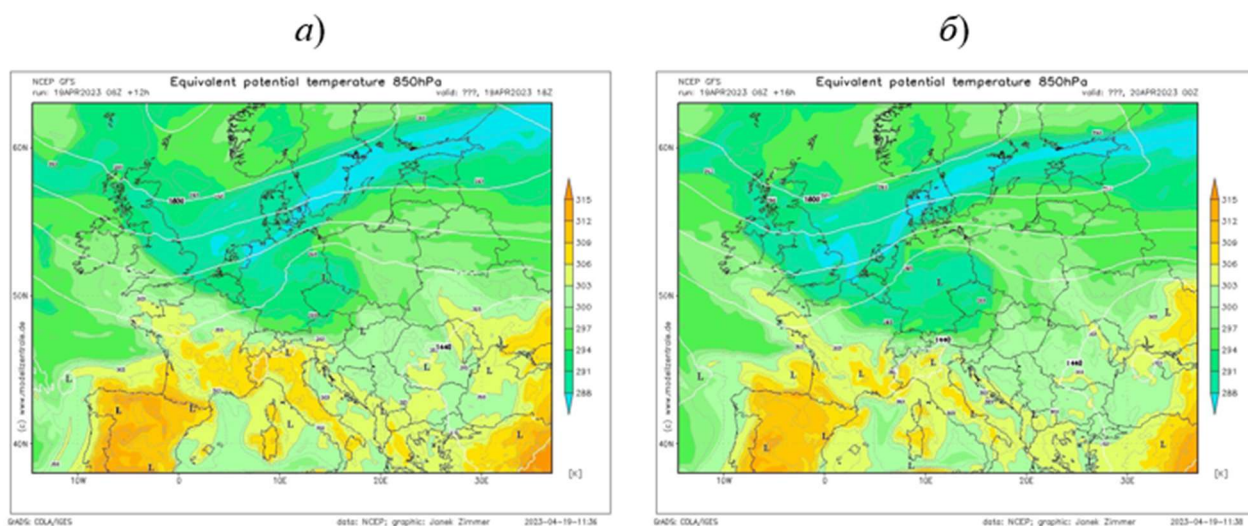


Рисунок 3.56 – Карти еквівалентних потенційних температур за 12 та 18 год. СГЧ за 19.04.2023 р.

На картах явищ погоди (рис. 3.57) можемо побачити області з опадами з північного сходу до південного заходу України, які послаблюються к 18 год.

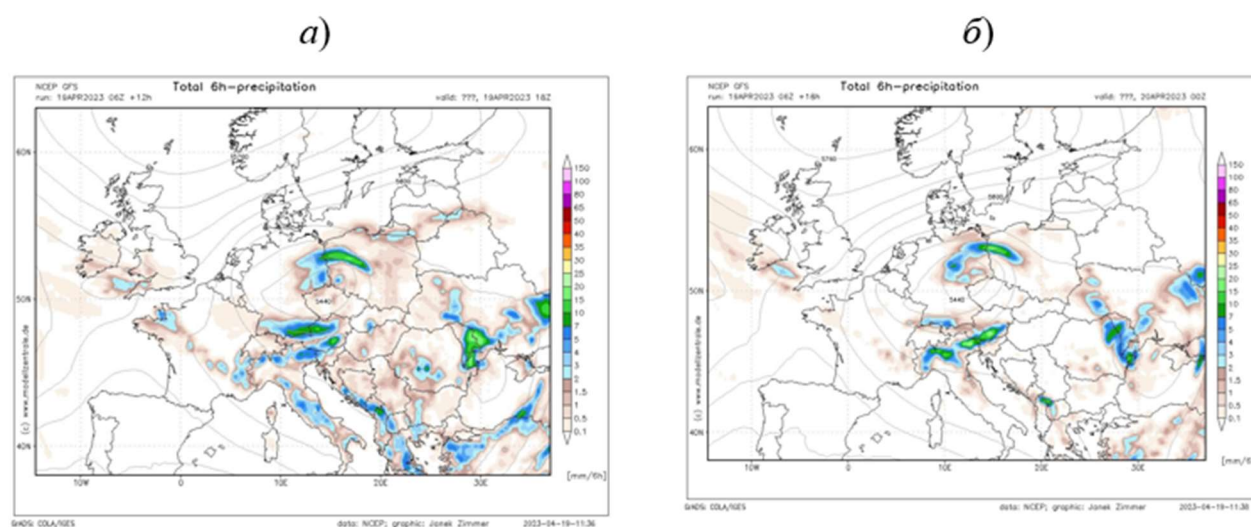


Рисунок 3.57 – Карта явищ погоди 19.04.2023 р. за а) 12 год та б) 18 год

Як показали прогностичні карти вертикальних рухів з 18.04.2023 на 19.04.2023 р. на 24 год. (рис.3.58) висхідні рухи в атмосфері над територією України добре спрогнозувалися.

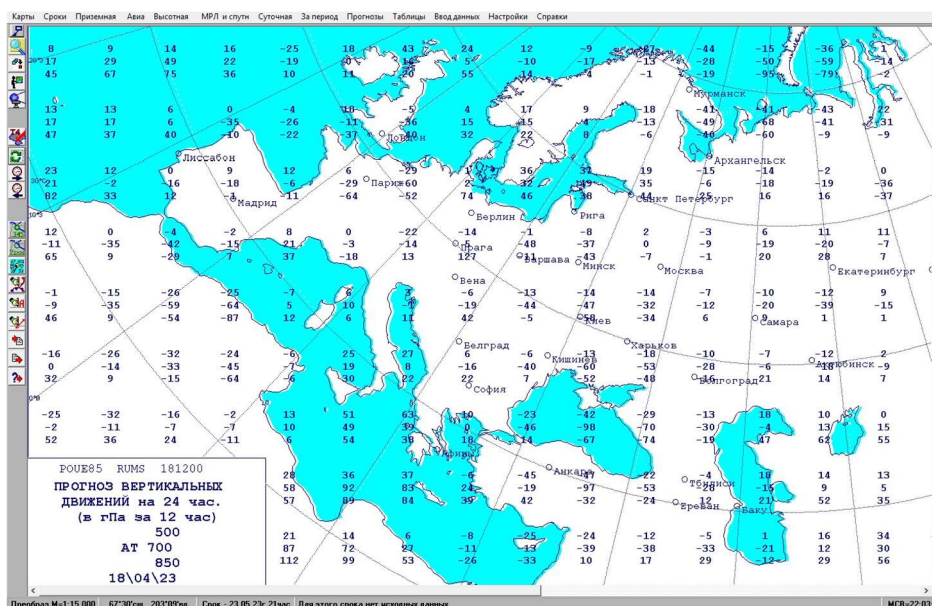


Рисунок 3.58 - Прогностична карта вертикальних рухів за 18.04.2023 р. СГЧ на 24 год.

Із таблиці 3.11 бачимо, що найкращий результат по модельним даним показав індекс СТ (спрогнозувалися за 00 та 18 год.) та індекс VT (спрогнозувалися тільки за 6 год.), інші індекси були близькі до критеріальних значень.

Таблиця 3.11 – Результати розрахунку індексів нестійкості атмосфери по станції Одеса за прогностичними даними за 19.04.2023 р.

Строки	T850	Td850	D850	F850	F500	T500	Td500	D500	СТ	VT	TT
00 год. 19.04.2023	-4,0	-5,0	20	4	2	-24,0	-37,0	30	19	20	39
06 год. 19.04.2023	0,0	-7,0	180	2	2	-24,0	-24,0	180	17	24	41
12 год. 19.04.2023	-3,0	-6,0	30	2	2	-23,0	-23,0	140	17	20	37
18 год. 19.04.2023	-2,2	-2,4	40	1	2	-23,0	-23,0	120	21	21	41

Синоптична ситуація 20.04.2023 р. (рис.59) визначалася року визначалася улоговиною південного циклону. В цей день в Одесі відмічалися зливові опади та грози. Пов'язані вони були саме з проходженням гілки фронту оклюзії через станції.

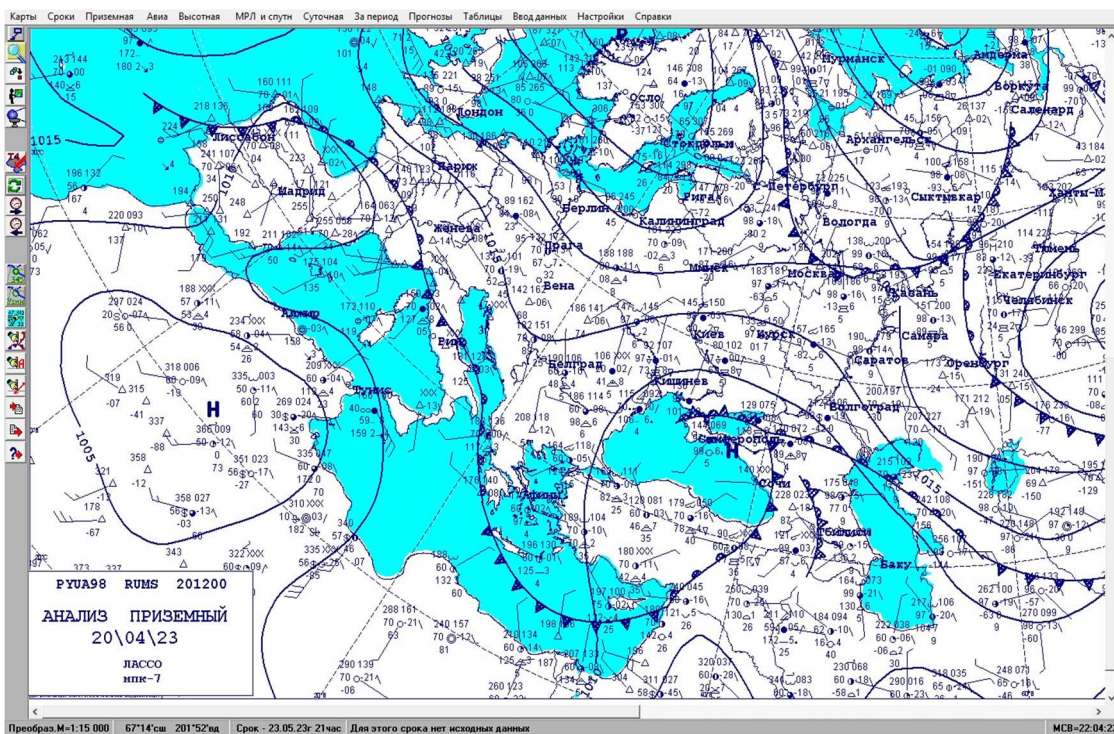
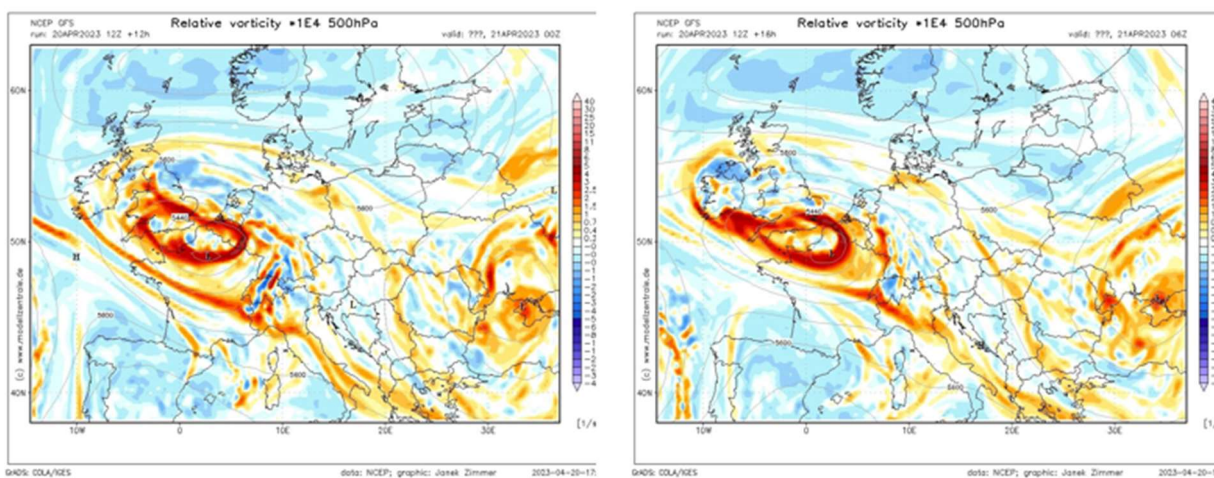


Рисунок 3.59 – Карта приземного анализу за 12 год. СГЧ за 20.04.2023 р.

Послідовні зміни вертикальних рухів (рис. 3.60) з часом показують, що протягом доби, висхідні вертикальні рухи на рівні 850 гПа посилюються як і відносний вихор швидкості (посилення циклонічної циркуляції), що підтверджує той факт, що даний циклон буде поглиблюватися та можливі конвективні опади.

a)



б)

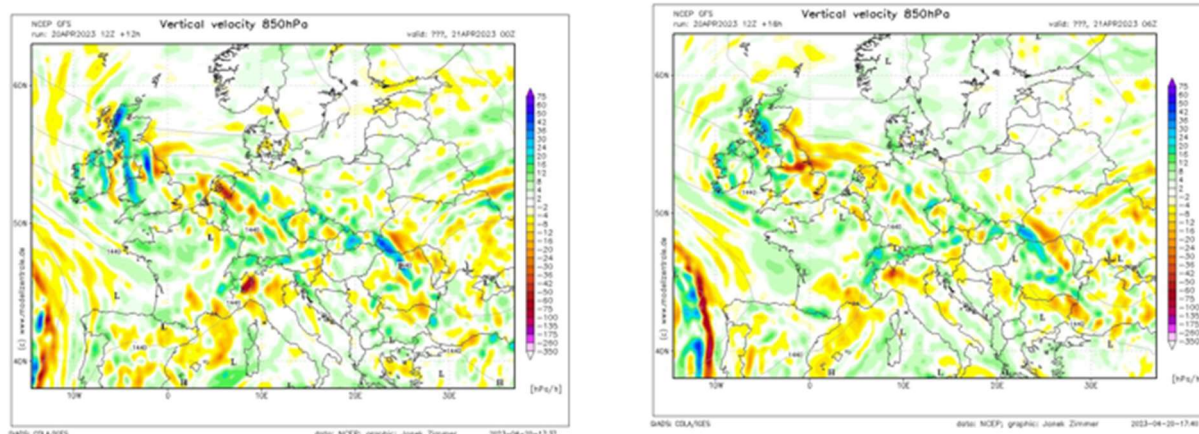


Рисунок 3.60 – Карты за 20.04.2023 р. за 12 та 18 год. СГЧ: а) відносного вихору швидкості на рівні 500 гПа та б) вертикальних рухів на рівні 850 гПа

Поля еквівалентної потенційної температури (рис. 3.61) показують значні градієнти через центр України.

а)

б)

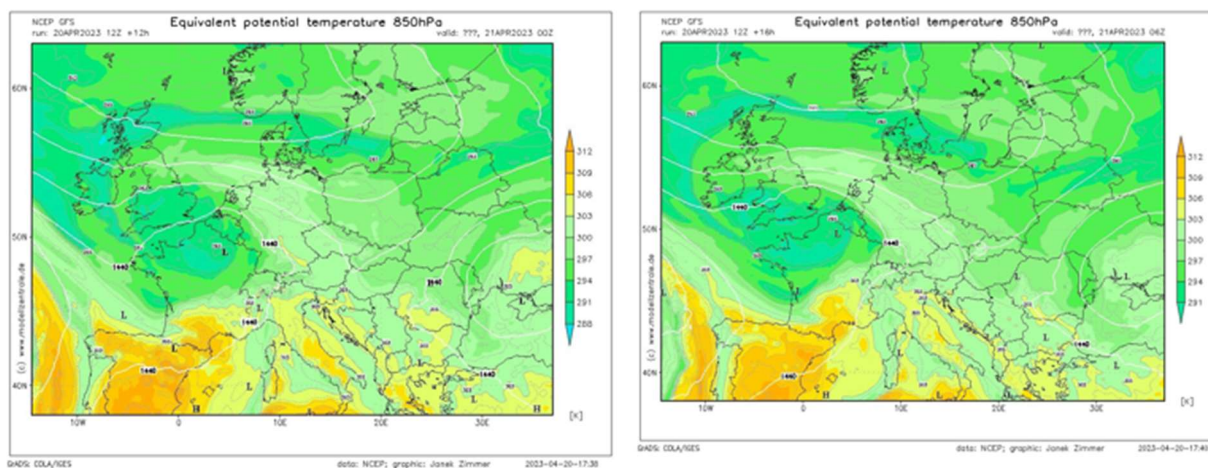


Рисунок 3.61 – Карты еквівалентних потенційних температур за 12 та 18 год. СГЧ за 20.04.2023 р.

На картах явищ погоди (рис. 3.62) можемо побачити області з опадами по всій території України, окрім заходу, які посилюються к 18 год.



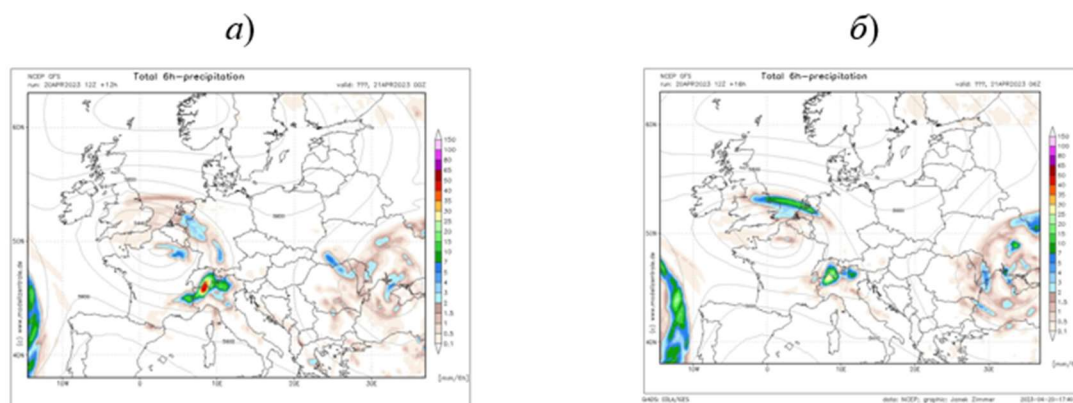


Рисунок 3.62 – Карта явищ погоди 20.04.2023 р. за а) 12 год та б) 18 год

Як показали прогностичні карти вертикальних рухів з 19.04.2023 на 20.04.2023 р. на 24 год. (рис.3.63) висхідні рухи в атмосфері над територією України добре спрогнозувалися.

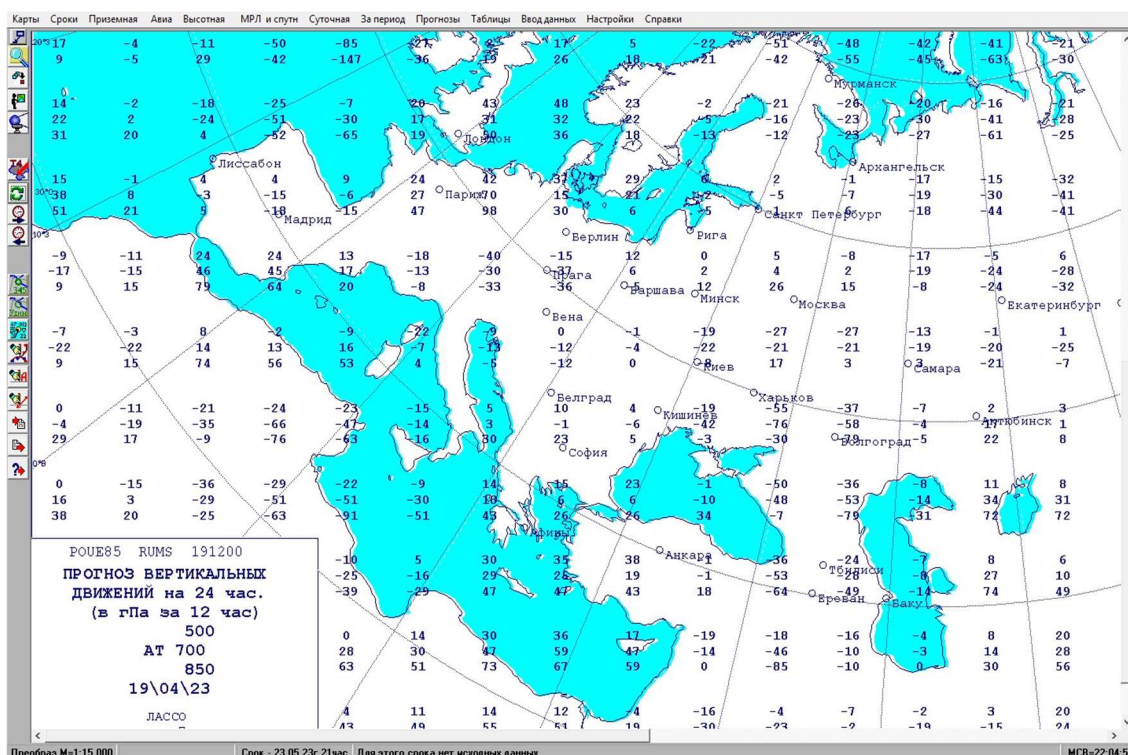


Рисунок 3.63 - Прогностична карта вертикальних рухів за 19.04.2023 р. СГЧ на 24 год.

Із таблиці 3.12 бачимо, що всі індекси спрогнозували грозову активність в Одесі. Значення індексів характеризують інтенсивність грозової активності. Найменші значення індексів відмічаються з 0 до 6 години 05.04, максимум о 12 годині із 18 зменшення.

Таблиця 3.12 – Результати розрахунку індексів нестійкості атмосфери по станції Одеса за прогностичними даними за 20.04.2023 р.

Строки	T850	Td850	D850	F850	F500	T500	Td500	D500	CT	VT	TT
00 год. 20.04.2023	-4,0	-4,0	340	1	4	-25,0	-34,0	10	21	21	42
06 год. 20.04.2023	-5,0	-5,0	310	2	2	-24,0	-26,0	180	19	19	38
12 год. 20.04.2023	-5,8	-6,0	50	1	2	-25,0	-28,0	30	19	19	38
18 год. 20.04.2023	-4,8	-5,0	10	1	2	-25,0	-35,0	20	20	20	40

Слід одразу зазначити, що вихідними даними для розрахунку слугували дані GFS зняті з прогностичних аерологічних діаграм для ст. Одеса.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконаної роботи можна зробити наступні висновки:

1. Як показало дослідження, сучасні модельні дані GFS показують достатньо точні прогнози можливості утворення конвекції за аерологічними діаграмами. В наведеному дослідженні практично всі випадки з грозами та зливами були попереджені.
2. Поля вихору за модельними даними WRF дозволяють ідентифікувати еволюційні зміни циклонічного поля та атмосферних фронтів, а в поєднанні з вертикальними рухами та параметрами нестійкості дозволяють уточнити розвиток конвекції.
3. Поля вертикальних рухів даними WRF показують можливість формування висхідних рухів, які в подальшому можуть спровокувати розвиток як конвективних опадів так і гроз.
4. Еквівалентна потенційна температура досить чітко показала межу атмосферного фронту (холодної його ділянки), з яким в подальшому і були пов'язані зливові опади та грози по території України.
5. Розраховані індекси нестійкості атмосфери з різною завчасністю за даними GFS спрогнозували грозову активність для всіх обраних дат. Деякі розбіжності спостерігалися лише з прогнозом інтенсивності, але це, можливо, нюанс критеріальних значень, які необхідно уточнювати для кожного регіону.
6. Аналіз всіх зазначених полів для обраних випадків показав, що для формування зливових опадів необхідно щоб приблизно за 12 годин до їх початку інтенсивно збільшувалися значення відносного вихору та висхідні потоки від 850 до 500 гПа, також в цій зоні будуть спостерігатися або максимуми еквівалентної потенційної температури або значні її градієнти поблизу району прогнозу. Послаблення з часом цих показників буде вказувати на поступове послаблення злив.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Грушевський О.М., Міщенко Н.М., Мансарлійський В.Ф., Бурцева В.М. Про можливості діагнозу і прогнозу глибокої конвекції в оперативній діяльності. Український гідрометеорологічний журнал. 2018. № 22. С. 5-15.
2. Грушевський О.М., Міщенко Н.М. Діагноз і прогноз конвективних явищ. Навчальний посібник. 2020. ОДЕКУ. 120 с.
3. Andersson, T., Andersson, M., Jacobsson, C., Nilsson, S., 1989: Thermodynamic indices for forecasting thunderstorm CIN southern Sweden. Meteorol. Mag. 116, 141-146.
4. Charba, J.P., 1977: Operational system for predicting thunderstorms two to six hours in advance. NOAA Technical Memo. NWS TDL-64. 24pp.
5. Grieser Jü. Convection Parameters. 2012. <http://www.juergen-grieser.de/CovectionParameters/ConvectionParameters.pdf>
6. Pickup, N.M., 1982: Consideration of the effect of 500-hPa cyclonicity on the success of some thudnerstorm forecasting techniques. Meteor. Mag., 111, 87-97.
7. Roland Stull. Practical Meteorology: An Algebra-based Survey of Atmospheric Science. - Vancouver 2016. - 924 с.
8. Robert V. Rohli, Chunyan Li. Meteorology for Coastal Scientists, 2021. 286 p.
9. Stull R. Practical Meteorology. An Algebra-based Survey of Atmospheric Science. Dept. of Earth, Ocean & Atmospheric Sciences University of British Columbia. 2016. С. 503-508, 523-527, 557-559.
10. Vasquez T. Storm Cha CIN g. Handbook, 2-nd edition. 2009. С.215
11. Н. Ш. Гусейнов, В. М. Шпиг, Б. М. Меліков. Фізична географія та геоморфологія, 2013. 126 с.
11. Patrick J. O'Brien, Frederic R. Ross. Aerographer's Mate Second Class, Volume 2. 1990. 24 p.

12. RAOB. The Complete RAwinsonde OBservation Program. A product of Environmental Research Services, LLC. User Guide Technical Manual. Version 6.6/ed. By J.Shewchuk. Matamoras (PA): Environmental Research Services, 2016. 196 p.
13. Robert V. Rohli, Chunyan Li. Meteorology for Coastal Scientists, 2021. 286 p.
- 15 Showalter, A.K., 1947: A stability index for forecasting thunderstorms. Bull. Amer. Meteor. Soc., 34, 250-252.
16. Pickup, N.M., 1982: Consideration of the effect of 500-hPa cyclonicity on the success of some thudnerstorm forecasting techniques. Meteor. Mag., 111, 87-97.
17. Charba, J.P., 1977: Operational system for predicting thunderstorms two to six hours in advance. NOAA Technical Memo. NWS TDL-64. 24pp.
18. Barlow, W.R., 1993: A new index for prediction of deep convection. Preprints, 17th Conf. on Severe Local Storms. Amer. Meteor., St. Louis, MO, pp. 129-132.
19. Stull R. Practical Meteorology. An Algebra-based Survey of Atmospheric Science. Dept. of Earth, Ocean & Atmospheric Sciences University of British Columbia. 2016. C. 503-508, 523-527, 557-559.
20. Vasquez T. Storm Cha CIN g. Handbook, 2-nd edition. 2009. C.
21. Andersson, T., Andersson, M., Jacobsson, C., Nilsson, S., 1989: Thermodynamic indices for forecasting thunderstorm CIN southern Sweden. Meteorol. Mag. 116, 141-146.
22. Roland Stull. Practical Meteorology: An Algebra-based Survey of Atmospheric Science. - Vancouver 2016. - 924 с.
23. [http://research.atmos.ucla.edu/weather/C110/Documents/tmp/basic\\_w\\_xradar/navmenu.php](http://research.atmos.ucla.edu/weather/C110/Documents/tmp/basic_w_xradar/navmenu.php)
24. Міжнародний науково-дослідний інститут прогнозування клімату (IRI), Web, <http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/currentinfo/QuickLook.html>
25. Сторінка NOAA El Niño, <http://www.elnino.noaa.gov/>

## Додаток А

## ДОВІДКА

кафедри метеорології та кліматології  
до магістерської кваліфікаційної роботи  
студентки 2 курсу групи МЗМ-22  
Єжової Владислави Андріївни

на тему:

Термодинамічна структура атмосфери в період формування конвективних  
явищ

Доповідь на науковій конференції молодих вчених ОДЕКУ 23-31 травня 2023 р., на тему: «Просторово-часовий розподіл розрахункових полів метеорологічних величин в період конвективної активності»

<https://odeku.edu.ua/wp-content/uploads/materiali-hhii-naukovo%D1%97-konferenczi%D1%97-molodih-vchenih-odeku-23-31-travnya-2023-roku-1.pdf>