

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра метеорології та кліматології

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: Характеристика термодинамічного стану атмосфери при
виникненні смерчів у Одеській області

Виконав студент 2 курсу групи МЗМ-19
спеціальності 103 - «Науки про Землю»
Масловський Євген Олександрович

Керівник к. геогр. н., доцент
Семергей-Чумаченко Аліна Борисівна

Рецензент д.геогр.н., професор
Ляшенко Галина Віталіївна

Одеса 2020

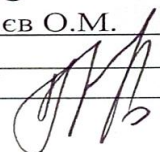
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет гідрометеорологічний інститут
Кафедра метеорології та кліматології
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 103 «Науки про Землю»
(шифр і назва)
Освітня програма Метеорологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Прокоф'єв О.М.

26 жовтня 2020 року



З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Масловському Євгену Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Характеристика термодинамічного стану атмосфери при виникненні смерчів у Одеській області

керівник роботи к.геогр.н., доц. Семергей-Чумаченко Аліна Борисівна
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти № 124-С від 16 жовтня 2020 р.

2. Строк подання студентом роботи 7 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи 1. Дані бази даних Європейської лабораторії сильних штормів (European Severe Storms Laboratory ESSL). 2. Синоптичні карти. 3. Супутникові знімки 4. Дані радіозондування над Одесою. 5. Дані моделі GFS

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Огляд літературних джерел за темою дослідження. 2. Характеристика умов формування смерчів над Україною. 3. Визначення річного та добового ходу смерчеутворення. 4. Систематизація синоптичних чинників напередодні виникнення смерчів над Одещиною. 5. Аналіз основних індексів конвекції напередодні смерчу. 6. Побудова годографів вітру та розрахунок індексів конвекції та визначення готовності атмосфери до виникнення вихорів.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень.) Рис. 1.1–1.3 – ілюстрації щодо умов утворення смерчів з літературних джерел. Рис. 2.1-2.3 – повторюваність, сезонний хід та інтенсивність смерчів над Україною, Рис. 2.4–2.14– умови смерчеутворення над Одеською областю влітку 2018 р. Рис. 3.1-3.12 – результати розрахунків індексів конвекції для випадків виникнення смерчів 17 червня та 3 липня 2018р.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 26 жовтня 2020 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	<i>Вивчення літературних джерел за темою дослідження</i>	26 жовтня 2020 р.	95	відмінно
2.	<i>Збір та попередня обробка вихідної інформації, складання бази даних до дослідження</i>	листопад 2020 р.	95	відмінно
3.	<i>Визначення просторово-часового режиму утворення смерчів над Одеською областю</i>	листопад 2020 р.	95	відмінно
4.	<i>Систематизація синоптичних умов напередодні виникнення смерчів над Одециною у 2018-2020 рр.</i>	листопад 2020 р.	95	відмінно
5.	<i>Побудова годографу вітру конвекції напередодні смерчу</i>	листопад 2020 р.	95	відмінно
6.	Рубіжна атестація	17.11.2020	95	відмінно
7.	<i>Розрахунок індексів конвекції та готовності атмосфери до виникнення вихорів у 2018-2020 рр.</i>	грудень 2020 р.	95	відмінно
8.	<i>Підведення підсумків та підготовка рукопису до друку</i>	грудень 2020 р.	95	відмінно
9.	<i>Оформлення магістерської роботи.</i>	грудень 2020 р.	95	відмінно
10.	<i>Підготовка комп'ютерної презентації та доповіді до захисту магістерської роботи.</i>	грудень 2020	95	відмінно
11.	<i>Перевірка на плагіат, підписання авторського договору</i>	8-10.12.2020		
12.	<i>Попередній захист магістерської роботи.</i>	грудень 2020 р.		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		95	відмінно

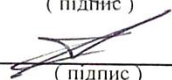
Студент



(підпис)
Масловський Є. О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



(підпис)
Семергей-Чумаченко А.Б.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема: «Характеристика термодинамічного стану атмосфери при виникненні смерчів у Одеській області»

Автор: Масловський Євген Олександрович

Актуальність визначається зростанням кількості випадків утворення смерчів, раптовістю їх виникнення та значними пошкодженнями на шляху проходження вихорю.

Визначення особливостей синоптичних процесів та показників термодинамічних умов напередодні виникнення вихорю може сприяти розробці системи раннього попередження про небезпечні погодні умови.

Мета дослідження – характеристика особливостей циркуляційних процесів та термодинамічного стану тропосфери над Одеською областю, які сприяли утворенню смерчів у 2018-2020 р.

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

- повторюваність смерчів на території України у 1990-2020 рр.;
- просторово-часовий розподіл смерчів над Одеською областю у 2018-2020 рр.;
- характеристика особливостей синоптичних процесів, що сприяли формуванню термодинамічного стану тропосфери, який міг сприяти утворенню вихорів;
- визначення показників термодинамічного стану тропосфери, які можуть вказувати на імовірне виникнення смерчів.

Об'єкт дослідження – смерчі на території Одеської області.

Предмет дослідження – синоптичні та термодинамічні умови утворення смерчів.

Методи дослідження –

- просторово-тимчасове узагальнення даних;
- синоптичний аналіз;
- аналіз продуктів наукастингу

Наукова новизна отриманих результатів.

В даній роботі *вперше* для території Одеської області:

- визначений сучасний режим смерчів;
- встановлені синоптичні умови утворення смерчів;
- з'ясований термодинамічний стану атмосфери напередодні виникнення смерчів у Одеській області.

Практичне значення отриманих результатів. Врахування особливостей синоптичних процесів та показників термодинамічних умов напередодні виникнення смерчів може сприяти розробці системи раннього попередження про небезпечні погодні умови в Одеській області.

Магістерська робота в обсязі 99 сторінок складається з 3 розділів, висновків, переліку посилань з 49 джерел, містить 65 рисунків та 9 таблиць.

Ключові слова: смерч, мезомасштабний вихор, небезпечна конвекція, годограф вітру, індекси конвекції

SUMMARY

Thesis Topic: «Characteristics of the thermodynamic state of the atmosphere in the event of tornadoes in the Odessa region»

Author: Maslovskii Ievgen

Relevance: Relevance is determined by the growing number of cases of tornadoes, the suddenness of their occurrence and significant damage in the path of the vortex. Determining the features of synoptic processes and indicators of thermodynamic conditions on the eve of a vortex can contribute to the development of an early warning system for dangerous weather conditions.

Aim of this study characteristics of the peculiarities of circulating processes and the thermodynamic state of the troposphere over the Odessa region, which contributed to the formation of tornadoes in 2018-2020.

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

- recurrence of tornadoes on the territory of Ukraine in 1990-2020;
- spatiotemporal distribution of twisters over the Odessa region in 2018-2020;
- characteristics of the features of synoptic processes that contributed to the formation of the thermodynamic state of the troposphere, which could contribute to the formation of vortices;
- determination of indicators of the thermodynamic state of the troposphere, which may indicate the probable occurrence of whirlwinds.

Object of scientific research - tornadoes in the Odessa region.

Subject of scientific research - synoptic and thermodynamic conditions of tornado formation.

Methods of scientific research is spatiotemporal generalization of meteorological information, synoptic analysis, analysis of nowcasting products'

Scientific novelty of results obtained.

In this study for the Odessa region for the first time

- defined modern twister regime;
- established synoptic conditions for the formation of tornadoes;
- clarified the thermodynamic state of the atmosphere on the eve of whirlwinds in Odessa region.

Practical importance of results obtained. Taking into account the peculiarities of synoptic processes and indicators of thermodynamic conditions on the eve of tornadoes can contribute to the development of an early warning system for dangerous weather conditions in the Odessa region.

The master thesis of 99 pages consists of 3 chapters, conclusions, bibliography of 49 sources, contains 65 figures and 9 tables.

Keywords: tornado, mesoscale vortex, dangerous convection, wind hodograph, convection indices.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Причини утворення смерчів.....	9
1.1 Загальні відомості про смерчі.....	9
1.2. Основні характеристики.....	11
1.3. Синоптичні умови виникнення смерчів.	16
2 Виникнення смерчів над Україною.....	26
2.1 Просторово-часовий розподіл смерчів над Україною	26
2.2. Аналіз умов напередодні виникнення смерчів над одеською областю 2018-2020рр.	33
2.2.1. Аналіз синоптичних та метеорологічних умов виникнення смерчу над Одеською областю 17 червня 2018 р.....	33
2.2.2. Аналіз синоптичних та метеорологічних умов виникнення смерчу над Одеською областю 03 липня 2018 р.....	40
2.2.3. Аналіз синоптичних та метеорологічних умов виникнення смерчу над Одеською областю 05 червня 2019 р.....	46
2.2.4. Аналіз синоптичних та метеорологічних умов виникнення смерчу над Одеською областю 03 серпня 2019 р.....	53
2.2.5. Аналіз синоптичних та метеорологічних умов виникнення смерчу над Одеською областю 30 червня 2020 р.....	60
2.2.6. Аналіз синоптичних та метеорологічних умов виникнення смерчу над Одеською областю 25 липня 2020 р.....	65
3. Термодинамічний стан атмосфери напередодні виникнення смерчів над Одеською областю 2018-2020рр.....	72
3.1 Аналіз можливості виникнення суперосередків.....	72
3.1.1. Аналіз можливості виникнення суперосередку на передодні смерчу над Одеською областю 17 червня 2018 р.....	72
3.1.2. Аналіз можливості виникнення суперосередку на передодні смерчу над Одеською областю 03 липня 2018 р.....	75
3.1.3. Аналіз можливості виникнення суперосередку на передодні смерчу над Одеською областю 05 червня 2019 р.....	77
3.1.4. Аналіз можливості виникнення суперосередку на передодні смерчу над Одеською областю 03 серпня 2019 р.....	79
3.1.5. Аналіз можливості виникнення суперосередку на передодні смерчу	

над Одеською областю 30 серпня 2020 р.....	81
3.1.6. Аналіз можливості виникнення суперосередку на передодні смерчу над Одеською областю 25 липня 2020 р.	83
3.2. Індекси нестійкості атмосфери та її готовності до розвитку суперосередків.....	86
Висновки	94
Перелік Посилань.....	96

ВСТУП

Смерч спричинює величезні катастрофічні руйнування внаслідок досить значної сили вітрового натиску і великої різниці тиску між ним і навколишнім середовищем. За останні роки внаслідок кліматичних змін смерчі все частіше з'являються над Україною, що визначає актуальність теми дослідження.

Мета кваліфікаційної роботи – характеристика циркуляційних процесів та термодинамічного стану тропосфери над південним заходом України, які сприяли утворенню смерчів на території Одеської області у 2018-2020рр.

Об'єкт дослідження: смерчі на території Одеської області у 2018-2020рр.

Предмет дослідження – характеристики стану атмосфери при виникненні смерчів над Одеською областю.

Методи дослідження – просторово-часове узагальнення даних, синоптико аналіз.

Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, переліку посилань та додатків.

У вступі формулюються мета та завдання роботи.

Перший розділ містить в собі загальну інформацію про механізми утворення смерчів, їх види та шкали інтенсивності.

Другий розділ присвячений аналізу режиму утворення смерчів над Одеською областю, визначенню повторюваності над Україною за 1990-2020 рр. , річного та добового ходу смерчеутворення над Одеською областю у 2018-2020 рр., виявленню особливостей синоптичних процесів, що зумовили формування термодинамічного стану тропосфери, який міг сприяти утворенню вихорів над регіоном.

У третьому розділі оцінюється термодинамічний стан тропосфери напередодні смерчів за допомогою годографів вітру та розрахунку індексів нестійкості.

У висновках представлені результати виконаної роботи.

Перелік посилань складається з 49 літературних джерел.

Робота виконана на кафедрі метеорології та кліматології ОДЕКУ під керівництвом к.геогр.н., доц. Семергей-Чумаченко А.Б. у рамках науково-дослідної роботи «Прогнозування небезпечних метеорологічних явищ над

південними районами України» (2015-2019 рр.) ДР № 0115U006532 та «Розробка та вдосконалення методів прогнозу небезпечних та стихійних метеорологічних явищ над Україною» (2020-2024 рр.) ДР № 0120U100487.

1 ПРИЧИНИ УТВОРЕННЯ СМЕРЧІВ

1.1 Загальні відомості про смерчі

Смерч - сильний маломасштабний вихор під хмарами з приблизно вертикальною, але часто зігнутою віссю [1]. Найбільш характерними видимими проявами смерчу є:

- материнська хмара, звідки смерч бере свій початок;
- стрімкий круговий рух повітря - вихор;
- підстильна поверхня землі або води, якої в більшості випадків торкається смерч.

В якості материнської хмари для смерчу звичайно виступає купчасто-дощова хмара (Cb), що часто супроводжується грозовою активністю, потужні купчасті хмари (Cu con) або ж хмари гарної погоди (Cu hum). Найчастіше смерчі виникають з правого боку хмари, представляючи собою продовження валу який обертається [2].

Тип материнської хмари смерчу в сукупності з атмосферними умовами, при яких він формується, визначають його інтенсивність. Під інтенсивністю смерчу розуміють характеристики кругового руху повітря всередині нього і ступінь залишених після нього руйнувань. Так в більшості випадків з Cb розвиваються найсильніші за своєю інтенсивності смерчі. Слабкі і нетривалі смерчі звичайно пов'язані з Cu con або Cu hum.

Круговий рух повітря в смерчі відбувається по спіралі, напрямок обертання зазвичай циклонічний - проти годинникової стрілки в північній півкулі і за годинниковою в південній. Однак мають місце випадки (менш 10% від загального числа) і антициклонічного обертання: в північній півкулі - за годинниковою стрілкою, у південній - проти [2, 3]. Найбільш часто вихор приймає форму воронки з розширенням, зверненої до материнської хмари. У природі також можна спостерігати смерчі у вигляді стовпів, рогів, конусів, піщаних годинник і ін. [4]. У більшості випадків в круговий рух повітря

залучаються частки пилу або краплі води з підстильної поверхні, а також краплі води з материнського хмари, внаслідок чого вихор стає видимим і яскраво окресленим.

Структура смерчу дуже складна. У центральній частині смерчу утворюється так зване ядро з досить сильними (60-80 м/с) низхідними потоками повітря. Навколо ядра відзначаються висхідні руху, швидкість яких становить 70-90 м/с [2]. Іноді навколо смерчу утворюються додаткові вихори, що створюють каскад і футляр (рис. 1.1. А). Особливо це характерно для водяних смерчів [4]. Тиск в центрі смерчу значно нижче, ніж на периферії. Швидке падіння тиску в сукупності з великими швидкостями вітру, що доходять іноді до 140 м/с, визначають руйнівні властивості смерчів [2]. Інтенсивною течією, що виникає поблизу поверхні зіткнення смерчу із сушею або водою предмети, що знаходяться поблизу, втягуються всередину нього.

Дотик смерчем підстильної поверхні, як правило, свідчить про закінчення основної фази його формування. Відомі випадки, коли з боку спостерігача здавалося, що смерч стрибає - воронка то опускається вниз, то піднімається вгору. У разі, якщо торкання не відбувається, то говорять про виникнення хмари-воронки (рис. 1.1.Б). Зазвичай інтенсивність смерчів не пов'язують з типом поверхні, над якою вони формуються, однак статистичні дані говорять про те, що водяні смерчі найчастіше мають малу інтенсивність, невелику по ширині воронку і нетривалі за часом свого існування.



Рис. 1.1. А) Структура смерчу; Б) Хмари-воронки

1.2. Основні характеристики

Основними кількісними характеристиками смерчів є: швидкість вітру, діаметр і висота вихору, довжина шляху, швидкість переміщення і час життя смерчу. Ці характеристики в природі дуже сильно варіюються. Швидкість вітру в смерчі може складати близько 20-140 м/с. Діаметр смерчу звичайно близько 200 м, однак він може варіюватися в широких діапазонах від 10м до 1.5-2км [5]. Висота вихору досягає декількох сотень метрів, іноді до 1.5 км. Що стосується довжини шляху і швидкості переміщення смерчу, то в середньому вони становлять 20-30 км і 50-60 км/год відповідно [6, 7]. Слабкі смерчі, особливо ті, які виникають над водною поверхнею, зазвичай або практично не переміщуються, або рухаються з невеликою швидкістю. Час життя смерчу залежить від багатьох чинників, зокрема, від інтенсивності підтримуючих його висхідних потоків, а також від особливостей підстильної поверхні на шляху його переміщення. Найчастіше він варіюється від декількох хвилин до декількох годин, для слабких смерчів, як правило, не перевищує 10 хвилин [8]. Найтриваліший смерч в історії був зафіксований в США в 1917 р. він проіснував 7 годині 20 хвилин [7]. Що стосується якісних

характеристик смерчів, то за свідченнями очевидців в деяких випадках їх супроводжують акустичні хвилі, що відчуюються як шипіння, свист або гуркіт. Гучність звуку в безпосередній близькості до смерчу велика, але швидко зменшується з відстанню [9]. Крім звуків очевидці також іноді спостерігають в смерчі світлові кулі, хмари, кільця і ін. [7]. Цей факт можна пояснити тим, що вихори в смерчі також генерують і електромагнітні поля, супроводжувані блискавками різної форми [10]. Перераховані особливості смерчів до сих пір не цілком вивчені.

Для класифікації смерчів було розроблено кілька шкал інтенсивності. Найбільш поширеною з них є введена в 1971 р в США шкала Фудзита (Fujita scale) (табл. 1.1) [11]. У 2007 р їй на зміну прийшла поліпшена шкала Фудзита (Enhanced Fujita Scale) (табл. 1.2) [12]. Незважаючи на деяку застарілість першої з них, в літературі до сих пір зустрічається класифікація смерчів в відповідно до цієї шкали.

На Землі велику частину складають смерчі F0 та F1, більш високі категорії велика рідкість. Категорії, вище F5, Фудзита ввів в якості теоретичних. Тому, максимальна категорія, що привласнюється смерчам – це F5, навіть якщо швидкість вітру буде перевищувати 512 км/год.

Таблиця 1.1 – Шкала Т. Фуджита [11]

Категорія	V		P, %	Характеристика руйнувань	
	<u>м/с</u>	<u>км/год</u>			
F0	18-33	64-116	38,9	Штормовий смерч. Обламає гілки дерев, вивіски, пошкоджує вишки, димові труби і стовпи	
F1	33-50	117-180	35,6	Помірний смерч. Зносить дахи і пересуває машини.	
F2	50-70	181-253	19,4	Значний смерч. Розбиваються вікна, вивертаються дерева, ламаються пересувні будинки.	
F3	70-93	254-332	4,9	Сильний смерч. Перекидає вагони і локомотиви, піднімає в повітря машини, більшість дерев вириває з коренем, руйнує стіни будинків.	
F4	93-117	333-418	1,1	Руйнівний смерч. Легкі будинки цілком піднімає в повітря, міцніші руйнує частково або повністю, машини переносить на величезні відстані.	
F5	117- 143	419-512	< 0,1	Неймовірний смерч. Далеко переносить міцні будівлі, зриваючи їх з фундаменту і відриває асфальт. Доценту руйнує населені пункти.	
F6—F12	> 143	> 512	<0,001	Апокаліптичний.	

Таблиця 1.2 – Покращена шкала Т. Фуджити [12]

Категорія	Оцінка швидкості вітру ^[2]			Потенційна шкода	Приклади збитків
	м/год	км/год	м/с		
EF0	65–85	105–137	29–37	Мінімальна шкода. Зриває дахи з деяких будинків; пошкоджує водостоки, сайдинг, димові труби і телевізійні вежі; ламає гілки дерев і неглибоко посаджені дерева, зносить вивіски.	
EF1	86–110	138–177	38–49	Помірна шкода. Зриває дахи; перевертає або сильно пошкоджує мобільні будинки; ламає зовнішні двері і вікна, переміщує автомобілі; деякі великі дерева виринає з коренем і забирає.	
EF2	111–135	178–217	50–61	Значна шкода. Зриває дахи добре побудованих будинків; зміщує основи каркасних будинків; повністю руйнує мобільні і дерев'яні будинки; ламає або виринає з коренем великі дерева; пошкоджує генеруються легкі об'єкти; перекидає товарні вагони; відриває від землі легкові машини.	
EF3	136–165	218–266	62–74	Сильна шкода. Зриває дах і ламає стіни добре побудованих будинків; завдає серйозної шкоди великим будівлям, таким як торгові центри; перекидає поїзда; виринає або валить великі дерева; відриває від землі і перевертає важкі машини; завдає серйозні пошкодження конструкцій зі слабкими підставами; рве конструкції зі сталеву оболонкою.	
EF4	166–200	267–322	75–89	Дуже сильна шкода. Повністю руйнує добре побудовані і цільні каркасні будинки; відриває від землі і перевертає автомобілі, поїзди та інші великі об'єкти; завдає пошкодження високим будівлям.	
EF5	200 і більше	322 і більше	90 і більше	Неймовірна шкода. Міцні, добре побудовані будинки повністю руйнує і змітає з лиця землі; завдає серйозні пошкодження залізобетонних конструкцій; високі будівлі серйозно пошкоджені (в гіршому випадку - отримують серйозні структурні деформації після стихії); деякі автомобілі, вантажівки і вагони відкидаються смерчем приблизно на 1 милю (1,6 км).	

Інша відома шкала - шкала TORRO [13], що отримала свою назву за назвою організації, що займалася її розробкою (Tornado and Storm Research Organization, Великобританія) (табл. 1.3). У цій шкалі виділяють 11 класів смерчів від T0 до T10. В якості визначальних ознак класу також використовується оціночна швидкість вітру і загальна характеристика руйнівних здібностей смерчу.

Іноді в літературі використовується більш спрощена шкала, що включає в себе три категорії: слабкі смерчі, сильні смерчі, вкрай сильні смерчі. У таблицях 1.1 і 1.2 кожного класу смерчів співставлена відповідна йому категорія.

Таблиця 1.3. Шкала TORRO

Клас	Оціночна швидкість вітру, м/с	Характеристика смерчу	Категорія смерчів
T0	17-24	дуже слабкий	Слабкі
T1	25-32	слабкий	
T2	33-41	помірний	
T3	42-51	сильний	
T4	52-61	дуже сильний	Сильні
T5	62-72	інтенсивний	
T6	73-83	помірно-руйнівний	
T7	84-95	сильно-руйнівний	
T8	96-107	дуже-сильно руйнівний	Дуже сильні
T9	108-120	інтенсивно-руйнівний	
T10	121-134	супер-смерч	

1.3. Синоптичні умови виникнення смерчів.

З [16-25] відомо, що утворенню смерченебезпечної хмарності, сприяє перегрів повітря у приземному шарі на невеликих площах порівняно з навколишнім простором. В [16-18] виділяють п'ять метеорологічних та синоптичних ознак, які сприяють утворенню смерчів:

1. Наявність динамічного фактора, який забезпечує підйом теплого та вологого повітря нижньої тропосфери вгору, що має місце у зонах хвилеутворення, циклонах, на атмосферних фронтах та на розділах повітряних мас з різною вологістю.

2. Велика конвективна нестійкість в атмосфері, яка характеризується вертикальними градієнтами температури, значно більшими волого-адіабатичних.

3. Сильні, з великим вертикальним зсувом, південно-західні вітри у середній та верхній тропосфері (наявність потужної струминної течії) та існування у приграничному шарі атмосфери струминної течії нижніх рівних рівнів, які мають південно-східний та південний напрямок.

4. Потік з півдня та південного-сходу вологого повітря в шарі земля-1000 м. та сухого повітря з заходу та південного-заходу в шарі 1000-2000 м.

5. Наявність затримуючого шару вище приграничного шару, внаслідок чого утворення потужних купчасто-дощових хмар відбувається «вибуховим» способом.

Аналіз можливості формування смерчу проводиться за тими ж вихідними матеріалами, які необхідні для оцінки розвитку систем глибокої конвекції і виникнення мезовихорів.

Смерчі утворюються в зонах активної конвекції в циклонах, що поглиблюються, на холодних фронтах, що загострюються, перед ними і під великими тропосферними депресіями. Приклад найтипівішої синоптичної ситуації, при якій утворюється смерч, представлений на рис. 1.2. Вузькі зони

добре вираженої конвергенції в граничному шарі атмосфери і значне подовжнє завихрення (на порядок вище навколишніх районів) в дуже нестійкій атмосфері свідчить про можливість виникнення смерчу.

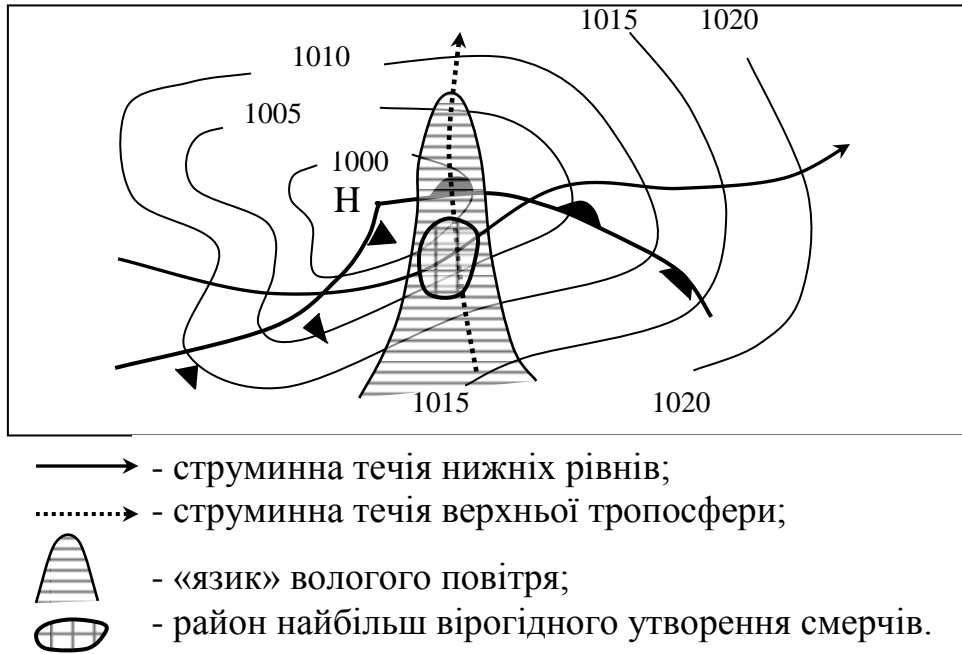


Рис. 1.1. Типова синоптична ситуація для смерчу.

З аналізу описів шквалів та смерчів, що проводилися в УкрГМЦ, виявлено ряд додаткових ознак, які характерні для синоптичних ситуацій при яких спостерігались смерчі на території України [24, 25]:

1. Атмосферний тиск на поверхні землі 995-1000 гПа; падіння тиску у теплому повітрі та ріст у холодному – 3-5 гПа/3 год.
2. Контрасти температур у фронтальній зоні біля земної поверхні перевищує 8-10 °С/300 км, а в шарі 500-1000 гПа -18-20 дам/1000 км.
3. Сходимість ізогіпсів вздовж потоку в середній тропосфері.
4. Перед виникненням смерчів у денні години часто спостерігаються високі температури повітря, які переважно досягають 25-30 °С.
5. Найчастіше смерчі виникають при:
 - 5.1. переміщенні через територію України циклонів з південного заходу та півдня;

- 5.2. розташуванні осі висотної улоговини на АТ-500 на схід від меридіану 10 °сх.д.,
- 5.3. розміщенні над Скандинавією циклонів, які простежуються до висоти 5-9 км;
- 5.4. південно-західній та південній орієнтації ВФЗ, та навіть наявності аномально орієнтованої південно-східної ВФЗ.

6. Верхня межа хмарності за даними МРЛ 9-13 км. та може досягти 15-17 км, перевищуючи нижню межу тропопаузи. Нижня межа хмарності найчастіше фіксується висотою 200-300 м.

7. Вологонасиченість повітря біля поверхні землі 10-15 г/кг.

8. Наявність струминної течії нижніх рівнів, що орієнтована перпендикулярно атмосферному фронту.

9. У більшості випадків на знімках штучних супутників землі (ШСЗ) з деякою завчасністю можна виявити осередок яскравої та щільної хмарності з викидами перистої хмарності у напрямку повітряного потоку в середній тропосфері в середній тропосфері та наявність струминної течії з холодної сторони, що вказує на відділення хмарного осередку від фронтальної хмарності та може бути ознакою формування самостійного мезоциклону з власною циркуляцією. Найчастіше хмарні осередки мають форму коми або підкови та дуже швидко збільшуються.

1.4. Механізми формування смерчів

Незважаючи на багаторічну історію вивчення смерчів в США механізми їх формування до сих пір не цілком вивчені. Відповідно до класичного уявлення про смерчегенез розглядаються два варіанти умов його здійснення. При першому варіанті передбачається, що інтенсивності наявної поблизу поверхні землі вертикальної завихренності недостатньо для виникнення смерчу, тому її посилення відбувається в процесі формування суперосередку [26]. Подібним чином виникають Мезоциклонічні смерчі.

Другий варіант передбачає, що смерчі не пов'язані з Мезоциклоном, а їх формування зумовлене процесами, що відбуваються поблизу поверхні.

1.4.1 Смерчі мезоциклонічного походження

Суперосередком називають потужну купчасто-дощову хмару, в структурі якої присутній мезоциклон - область, що обертається навколо вертикальної осі повітря діаметром від 2 до 5 км [5].

Трансформації купчасто-дощової хмари в суперосередок сприяє наявність великих зсувів вітру (змін швидкості і напрямку вітру з висотою) і струменевої течії нижнього рівня. Останнє в умовах зсуву вітру починає закручуватися, в результаті чого формується горизонтальна завихренність - потоки повітря, що обертаються навколо горизонтальної осі (рис. 1.3а). Пов'язані з купчасто-дощовою хмарою висхідні потоки, зустрічаючись з такими областями кругового руху повітря, починають поступово піднімати їх вгору, нахилиючи при цьому вісь їхнього обертання (рис. 1.3б). У кінцевому підсумку вихідна горизонтальна завихренність трансформується в вертикальну (рис. 1.3в) [8, 27].

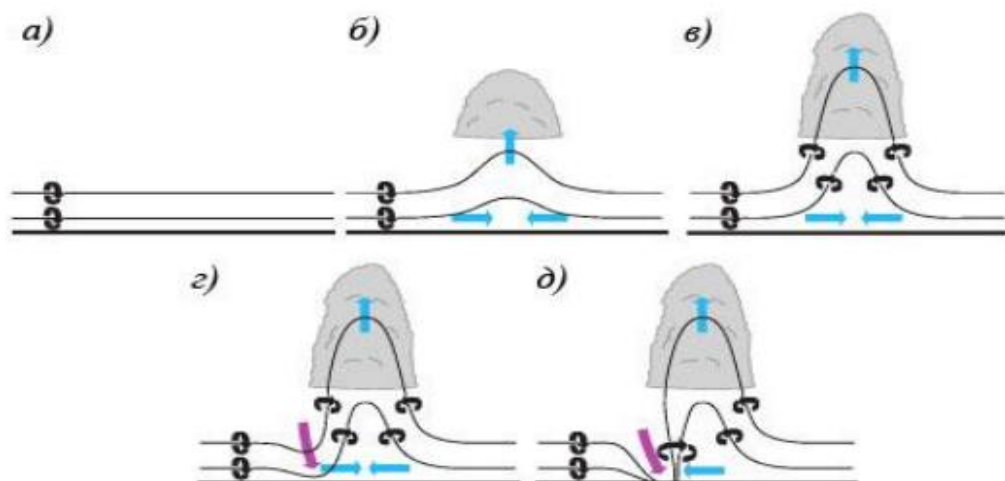


Рис. 1.3. Схема виникнення смерчів мезоциклонічного походження.

Якщо вихідне обертання повітря є досить сильним, то, вбудовуючись

в структуру купчасто-дощової хмари, воно спрямовується вгору, пробиває ковадло (верхню кордон хмари - anvil) і формує над нею піднесену верхівку - купол (overshooting top, рис. 1.4) [28]. В результаті в центрі хмари утворюється мезоциклон, а саме купчасто-дощова хмара стає суперосередком. Тривалий час існування суперосередку пояснюється зміщенням області випадіння опадів (низхідних потоків) від центру мезоциклону, де переважають висхідні потоки, які постійно підживлюють хмару. В міру ослаблення мезоциклону відбувається поступовий розпад і суперосередку. Формування мезоциклону є першою стадією смерчегенезу [28, 29].

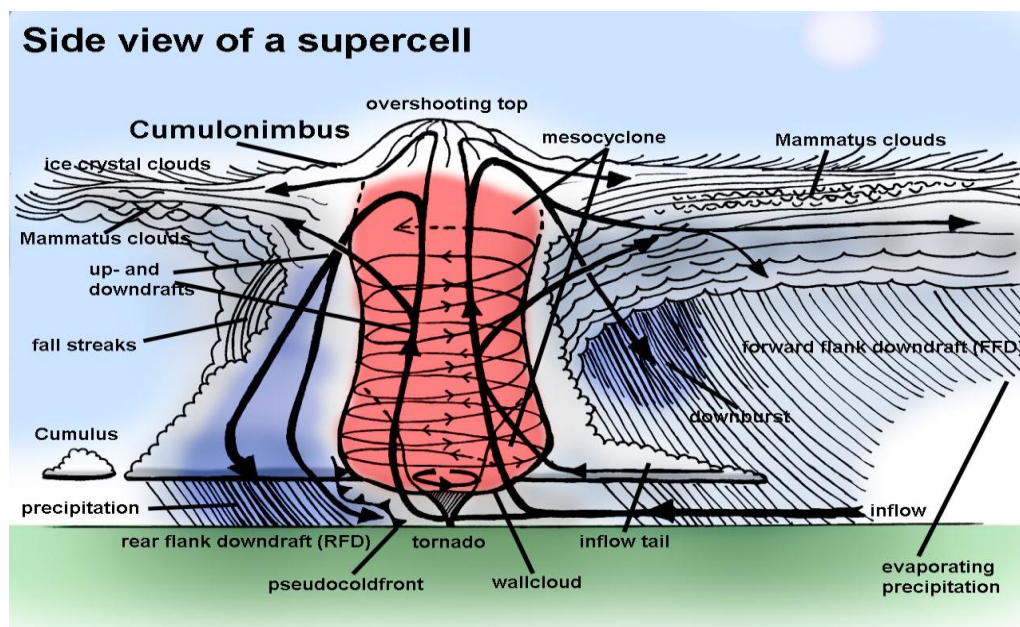


Рис. 1.4. Структура суперосередку.

На другій стадії за рахунок низхідних потоків суперосередку обертання яке виникло на висоті починає поширюватися вниз, переносячи з собою кутовий момент до поверхні землі (рис. 1.3г) [8, 29, 30]. Таким чином, поблизу неї виникає вертикальна завихренність. Якщо інтенсивність потоків велика, і вони транспортують завихренність безпосередньо до поверхні, то при зіткненні обертючих мас повітря з землею виникає сильний радіальний потік, який зміщує частинки повітря ближче до центру. З огляду на сталості

кутового моменту швидкості вони починають обертатися сильніше. Порушується циклострофічний баланс. Поблизу поверхні генерується стрімкий висхідний потік, що дає початок смерчу (рис. 1.3д) [30]. Як відомо, не у всіх суперосередках утворюються смерчі. Причиною цього є наявність багатьох факторів, які можуть перешкоджати їх формуванню. Наприклад, як правило, смерчі не виникають в умовах малої інтенсивності пов'язаних з суперосередком східних потоків, а також при наявності на поверхні стійко стратифікованого повітря з високою щільністю [28]. Крім того важливу роль в смерчегенезі грає відношення максимальної азимутальної швидкості v_{\max} в смерчі до швидкості висхідного потоку w - вихровий відношення (swirl ratio) [30]:

$$S = \frac{v_{\max}}{w} \quad (1.1)$$

Чим більше S , тим інтенсивніше обертання навколо вертикальної осі і тим більше падіння тиску в центрі вихору. при $S < 1$ поблизу поверхні відбувається поділ потоків, внаслідок чого смерч не утворюється [30]. при $S = 1$ можливе утворення слабкого смерчу. При великих значеннях S повітря поблизу поверхні спрямовується вгору, і формується інтенсивний висхідний вихор [30]. При підйомі до рівня основи суперосередку при зіткненні з більш повільним повітрям виникає низхідний потік, в якому радіус обертання спрямовується в нескінченність [28]. У верхній частині вихору іноді формується вторинний вихор званий футляром. Чим більше S , тим ближче до поверхні розташовується точка гальмування (stagnation point) (зміни напрямку руху потоку). При подальшому збільшенні S спадний потік розтікається по поверхні і формується двухкомірковий вихор з кільцеподібної областю висхідних потоків. Подібна організація потоків призводить до вторинного вихору в нижній частини смерчу. При вкрай високих значеннях S вихор стає нестійким, біля нього утворюється сімейство смерчів, що обертаються навколо осі центрального вихору [30].

При певних умовах смерч може сформуватися не поблизу поверхні

землі, а на деякій висоті. Якщо наявний поблизу поверхні кутовий момент невеликий, то смерч так і залишиться існувати в формі воронкоподібної хмари [30]. В даний час найбільш спірним моментом в представленому описі мезоциклонічного смерчегенезу є механізм формування завихреності поблизу поверхні землі. На думку багатьох фахівців, цей процес може бути дуже різноманітний [27]. Механізми формування мезоциклонічних смерчів визначають їх характерні риси: в більшості випадків смерчі даної категорії тривалі за часом свого існування, мають досить широку воронку і за рахунок великих швидкостей вітру залишають після себе значні руйнування.

1.4.2 Смерчи немезоциклонічного походження.

Немезоциклонічні смерчі (landspouts) формуються з швидко зростаючих купчастих хмар з низькою нижньою межею, що утворюються за рахунок сильного нагріву підстильної поверхні і високої вологості в приземному шарі. Ініціюючим фактором для смерчів даної категорії є наявність поблизу підстильної поверхні попередньо сформованої вертикальної завихреності [8, 26, 31]. Подібна завихреність зазвичай виникає в зоні зіткнення повітряних мас, що рухаються в різних напрямках, а також під впливом бризів [8, 31, 32]. З цієї причини іноді немезоциклонічні смерчі формуються цілим сімейством, шикуючись при цьому в ланцюжок. Відомі випадки, коли смерчі даної категорії спостерігали і на периферії суперосередків [8]. Немезоциклонічні смерчі починають формуватися через якийсь час після появи їх материнської хмари. У зоні конвергенції виникає ряд мікровихорів з вертикальною віссю обертання, що розташовуються на приблизно однаковій відстані один від одного (рис.1.5a). При взаємодії мікровихорів відстань між ними збільшується, збільшується і їх спільна циркуляція, відбувається посилення вертикальних потоків і зростання материнської хмари, з'являються перші обриси витягнутої вихрової структури (рис. 1.5b).

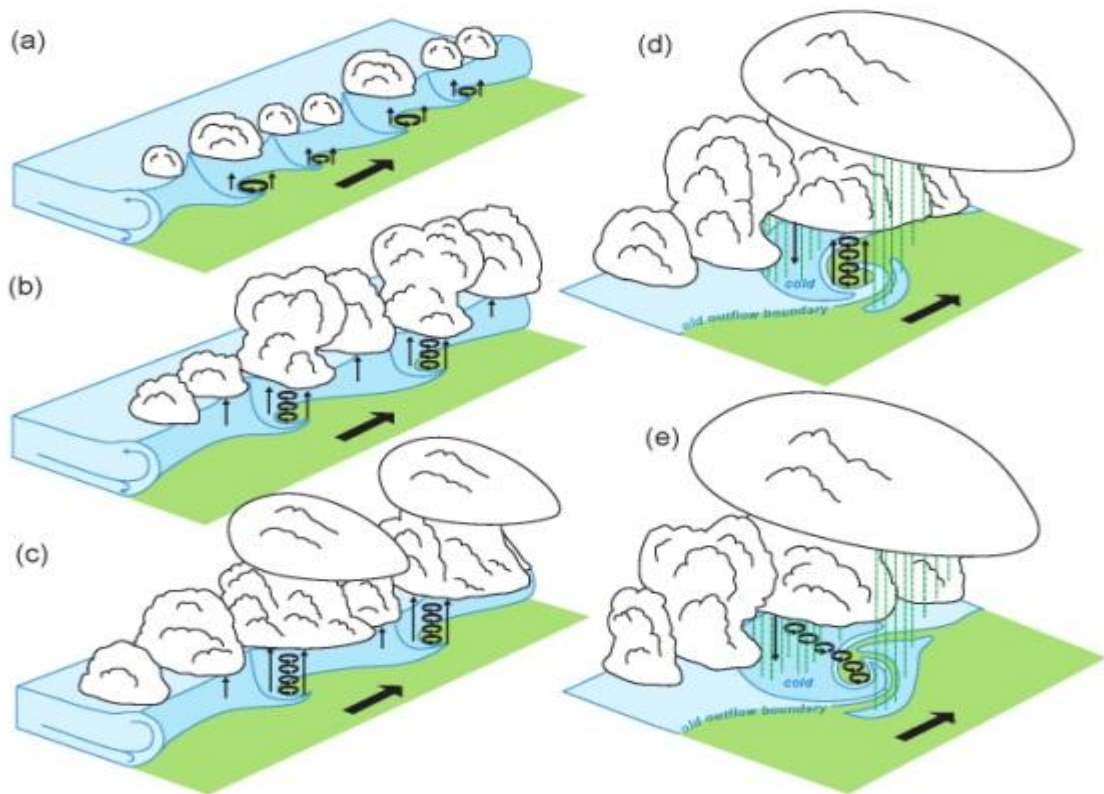


Рис. 1.5. Схема формування немезоциклонічних смерчів

Подальше посилення потоків призводить до того, що вертикальна завихреність починає поширюватися все далі вгору до основи хмари, збільшується вертикальна протяжність, формується смерч (рис. 1.5c). стійкість сформованої вихрової структури буде визначатися величиною зсуву вітру, а також появою низхідних потоків з материнської хмари (рис. 1.5d). Сильно мінливий з висотою вітер і низхідні потоки будуть придушувати приплив повітря до смерчу, що в кінцевому результаті призведе до його розпаду, (рис. 1.5e) [8]. Нерідко незадовго до розпаду відзначається нахил осі обертання смерчу. Смерчі немезоциклонічного походження, як правило, не такі інтенсивні, як Мезоциклонічні, з цієї причини їх дуже складно діагностувати на екрані радіолокатора. Проте, відомі випадки і досить сильних немезоциклонічних смерчів, які залишили після себе значні руйнування [33].

1.4.3 Водяні смерчі

Водяні смерчі (waterspouts) в більшості випадків мають в своїй основі немезоциклонічне походження і лише невелика їх частина пов'язана з суперосередком. Інтенсивні висхідні потоки, що сприяють утворенню швидко зростаючих купчастих хмар, які в подальшому і стають материнськими хмарами для водяних смерчів, як правило, зобов'язані своєю появою великій різниці температури поверхні води і температури повітря на деякій висоті від неї (1-3 км) [34-36]. Найчастіше водяні смерчі виникають над теплими водами морів або великих озер. Дослідник водяних смерчів Дж. Голден (J.H. Golden) виділив п'ять стадій їх утворення і подальшого існування [37-39]:

1) темна пляма (dark spot) - видимий на поверхні води диск, оточений великою областю з невизначеною формою і розмитими межами (рис. 1.6а), тривалість 1-22 хв;

2) Спіральний шлейф (spiral pattern) - шлейф від диска на поверхні води складається з крапель води і частинок повітря, що піднімаються вгору по гвинтовій траєкторії (рис. 1.6б), тривалість 2-7 хв;

3) розбризкуюче кільце (spray ring) - щільне вихровий кільце з водяних бризок, зване каскадом, і з'являється навколо спірального шлейфу (рис. 1.6в), тривалість 1-2 хв;

4) зрілий вихор (mature vortex) - водяний смерч стає видимим (від поверхні води до материнської хмари), набуває максимальної організації і інтенсивності; його воронка часто видається марною, сформованої з турбулентного конденсату; при своєму русі він залишає за собою серію хвиль на поверхні води (рис. 1.6г), тривалість 2-17 хв;

5) розпад (decay) - зважаючи на ослаблення припливу теплого повітря, вихор і пов'язаний з ним каскад починають розпадатися (рис. 1.6д), тривалість до 7 хв.

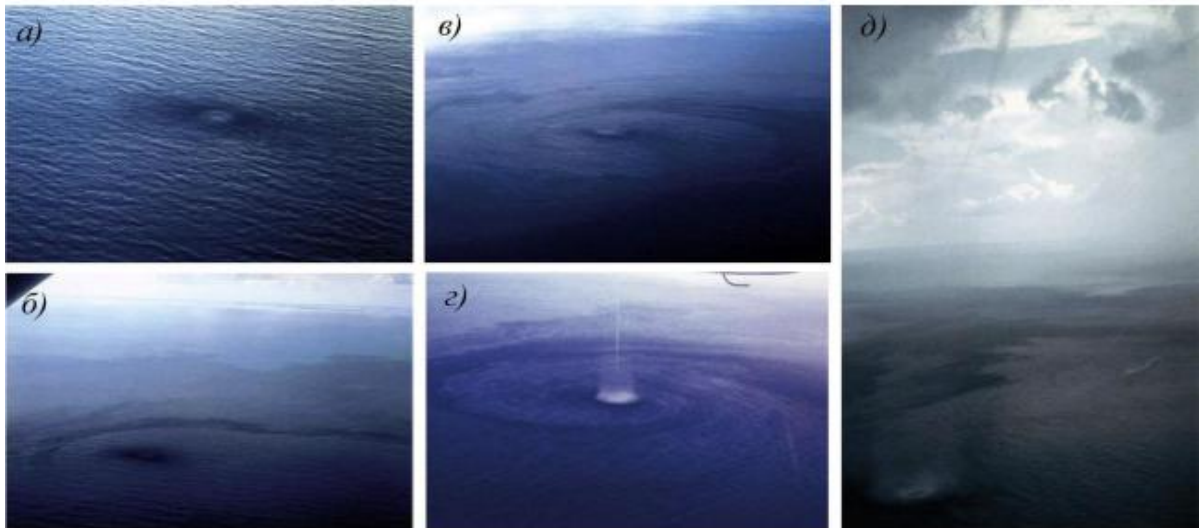


Рис. 1.6. Стадії утворення водяних смерчів

Швидкість вітру в водяних смерчах, як правило, не перевищує 22 м/с. В роботі [40] мала інтенсивність смерчів, що виникають над водною поверхнею, пояснюється неможливістю транспортування великого обсягу води на висоту, достатню для виділення теплоти переходу вода-лід, яка необхідна для їх підтримки. Найчастіше водяні смерчі малорухливі. Однак нерідкі випадки виходу таких смерчів на сушу, які, як правило, призводять до руйнування прибережної інфраструктури [33].

2 ВИНИКНЕННЯ СМЕРЧІВ НАД УКРАЇНОЮ.

2.1 Просторово-часовий розподіл смерчів над Україною

Щодо смерчів над територією України, то робити записи про них почали ще в давні часи. У стародавніх літописах відмічається, що в ті часи смерчі відбувалися 2-3 рази на століття. [16].

На території України з 1961 по 1990 рр. [41] зареєстровано 68 смерчів понад 30 пунктами України. Територіально смерчі локалізуються у вигляді трьох зон: одна проходить у напрямі Одеса-Харків і охоплює Запорізьку і Донецьку області (рис.2.1); друга простягається від Одеси до північних кордонів; третя виділяється на північному заході. Траєкторії скупчення смерчів розміщуються нерівномірно, окремими ділянками і відповідають положенню проходження фронтальних зон.



Рис. 2.1. Розподіл смерчів над Україною, 1961-1990 рр. [41]

Характер циркуляційних процесів і фізико-географічних особливостей України зумовлюють утворення смерчів у будь-якому її регіоні з 65 %-вою ймовірністю. Здебільшого вони спостерігаються у теплий період року. Найчастіше (34 %) смерчі бувають у червні-липні, менша повторюваність їх

у серпні (13 %), травні (12 %). У вересні-жовтні вони відмічаються переважно на півдні (Одеська, Херсонська області, Крим) і їх повторюваність у ці місяці становить 3-4 %.

До району з найбільшою повторюваністю (1 раз за 5 років) смерченебезпечних ситуацій слід віднести південь (Одеська, Запорізька, Миколаївська. Херсонська області). Дещо менша ймовірність (1 раз за 7 років) характерна для Київської, Волинської областей і Криму. На території Львівської, Черкаської і Донецької областей ймовірність виникнення смерчу дорівнює 10 % (1 раз за 10 років).

На території більшості областей (Чернігівська. Сумська, Рівненська, Житомирська, Хмельницька, Полтавська, Харківська, Тернопільська, Луганська, Вінницька, Івано-Франківська, Дніпропетровська, Чернівецька) смерчі спостерігаються 1 раз за 20 років (20 % ймовірність). У Кіровоградській та Закарпатській областях за розглянутий період, смерчі не зафіксовані [22].

В якості джерел вихідної інформації для дослідження використовувалися дані метеорологічних спостережень над станціями України (АРМСин) та інтерактивна база даних сайту Європейської лабораторії сильних штормів (European Severe Storms Laboratory ESSL) [42], всі випадки на вказаному ресурсі мали статус QC1, тобто були підтвержені фото- та відеоматеріалами, але не були зафіксовані на метеорологічних станціях (QC2).

Отже, за останні 30 років (1.01.1990-31.11.2020 рр.) зареєстровано 239 випадків (рис. 2.2, рис. 2.3) виникнення смерчів. Найбільш характерні вони для степової зони та центрального Полісся. Найчастіше це – південна частина України. В основному смерчі спостерігаються в теплий період року – з травня по вересень. Згідно з рис. 2.3. можна простежити певну циклічність виникнення смерчів на території України. Таке різке збільшення випадків виникнення смерчів порівнюючи 1990 р. та 2020 р. скоріше за все залежить від розвитку технологій фото та відео фіксації. А також доступністю

розповсюдження інформації. Останніми роками майже кожен випадок утворення смерчу потрапляє у об'єктиві смартфонів та миттєво завантажується у групи в соцмережах та месенджерах як цікава новина.

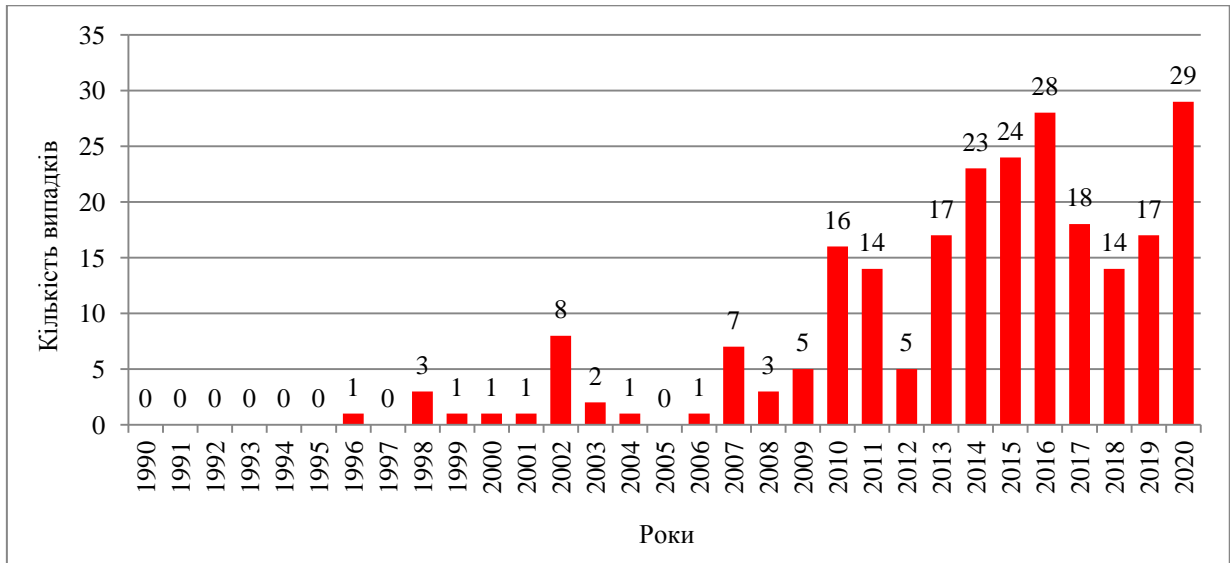


Рис. 2.2. Тенденція зміни кількості смерчів протягом періоду 1990-2020рр.

Згідно даним [42], на території України у 2018 р. включаючи півострів Крим, в 2018 р. спостерігалось 14 смерчів (табл. 2.1), більшість яких формувалася в південній частині країни (рис 2.2): АР Крим, Запорізька та Одеська області. Також, було виявлено по одному смерчу в центральній частині України (Вінницька область) та на півночі держави (Житомирська область).

Переважно вихори спостерігалися на узбережжі Чорного та Азовського морів (10 та 2 випадки, відповідно), а також Каховського водосховища (один випадок) внаслідок розриву властивостей підстильної поверхні на межі суші та моря.

У 2019 році кількість випадків виникнення смерчів дещо збільшилась, і становила вже 17 випадків. Більшість цих смерчів формувались біля узбережжя Чорного та Азовського морів.

В 2020 році ситуація досить сильно змінилась, кількість випадків склала 29 смерчів. Подібна тенденція спостерігалась в 2016 році (28 випадків). Як і

до цього основна частина смерчів спостерігались біля берегів Чорного та Азовського морів. Також збільшилась кількість випадків в центральній та західній частинах країни.

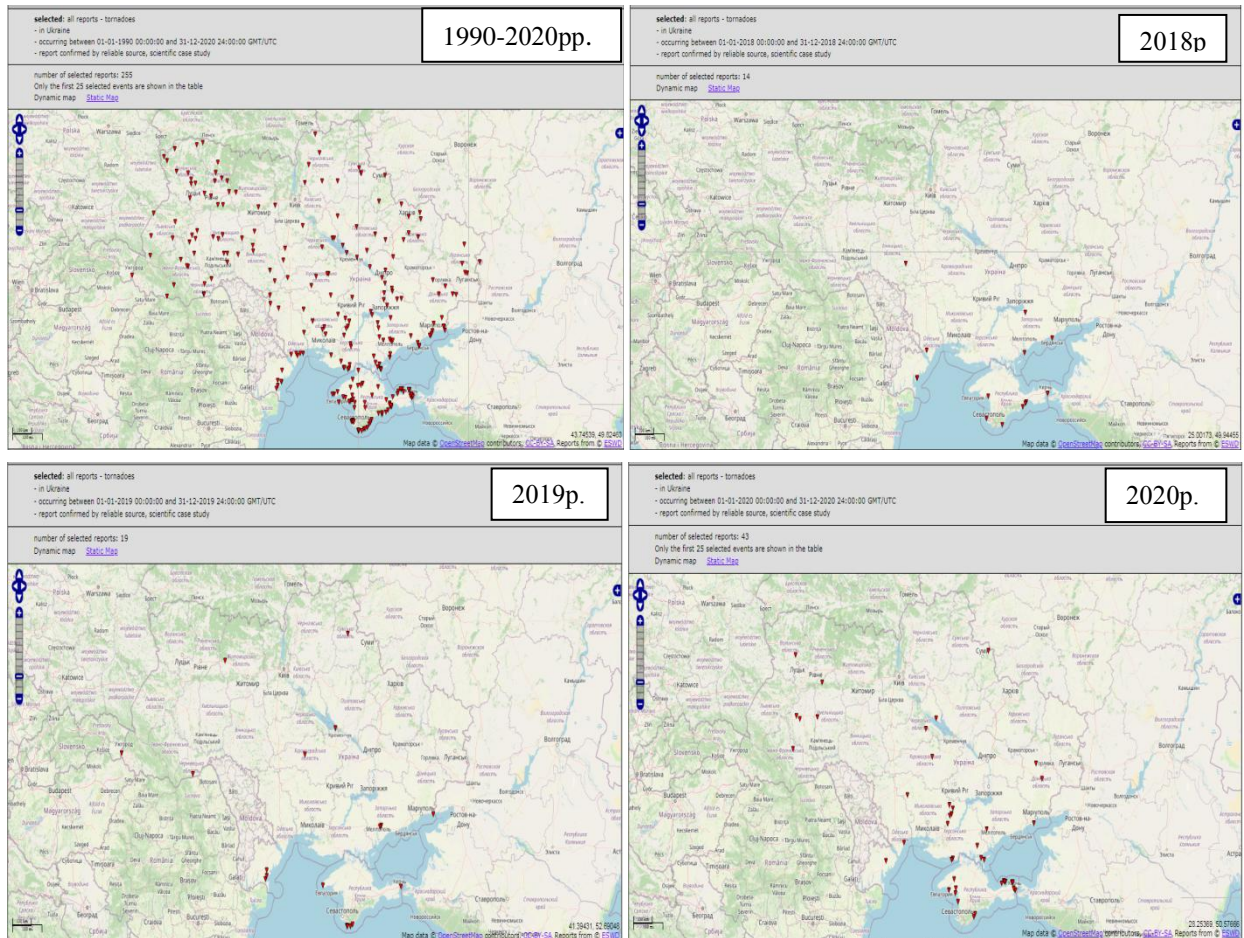


Рис. 2.3. Смерчі над територією України

Щодо сезонного ходу смерчеутворення, то як видно з рис. 2.3 та табл. 2.1(2018 рік), що протягом 2018 р. на території України всі смерчі спостерігаються лише в теплий період року: влітку (травень, червень) та на початку осені (вересень). Саме в цей час спостерігається достатній прогрів температури ґрунту та води. Після спаду високих позитивних температур тенденція ходу смерчеутворення різко знижується до нуля, і крайньою датою виникнення смерчу є 11 вересня 2018 р. у Вінницькій області.

У 2019 році (рис. 2.4 та табл. 2.1 (2019 рік)) ситуація дещо змінилась, збільшився період протягом якого спостерігались смерчі (6 місяців). В даному році смерчі почали спостерігатись вже з середини весни.

Максимальна їх кількість (6 явищ) зафіксована в травні. Крайньою датою утворення смерчу є 20 вересня 2019р.

В 2020 році (рис. 2.4 та табл. 2.1 (2020 рік)) ситуація дещо змінилась, період протягом якого спостерігались смерчі як і 2019 році становить 6 місяців. В даному році смерчі почали спостерігатись вже з кінця весни. Максимальна їх кількість (12 явищ) зафіксована в червні. Крайньою датою утворення смерчу є 17 жовтня 2020р.

Таблиця 2.1 - Дані про смерчі над територією України за 2018 рік.

№ п/п	Дата	Час, UTC	Населений пункт	Координати	
				φ, пн.ш.	λ, сх.д
1	2	3	4	5	6
2018 рік					
1	11. 09. 2018	15:00	Ладизин Вінницька область	48.64	29.27
2	06. 09. 2018	17:00	Феодосія, АРК	45.05	35.45
3	06. 09. 2018	17:00	Феодосія, АРК	45.03	35.42
4	06. 09. 2018	06:00	Коктебель, АРК	44.93	35.28
5	25. 07. 2018	09:00	Ялта, АРК	44.45	34.22
6	19. 07. 2018	15:00	Широке, Запорізька область	47.40	35.42
7	16. 07. 2018	10:30	Бердянськ, Запорізька область	46.75	36.79
8	03. 07. 2018	13:00	Теплодар, Одеська область	46.43	30.34
9	02. 07. 2018	06:30	Кирилівка, Запорізька область	46.37	35.37
10	30. 06. 2018	09:00	Севастополь, АРК	44.62	33.41
11	28. 06. 2018	23:30	Діброва, Житомирська область	50.91	29.22
12	25. 06. 2018	04:00	Керч, АРК	45.30	36.56
13	17. 06. 2018	11:00	Приморське, Одеська область	45.70	29.83
14	13. 05. 2018	12:00	Олянка, АРК	45.22	33.51
2019 рік					
1	20. 09. 2019	14:30	Нагірне Полтавська область	49.09	33.17
2	06. 09. 2019	12:30	Понизівка, АРК	44.35	33.95
3	06. 09. 2019	08:00	Форос, АРК	44.37	33.78
4	06. 08. 2019	06:10	Алупка, АРК	44.40	34.05
5	06. 08. 2019	06:05	Форос, АРК	44.36	33.77
6	03. 08. 2019	08:00	Приморське, Одеська область	45.52	29.60
7	07. 07. 2019	14:55	Сюрте, Закарпатська область	48.51	22.23
8	06. 07. 2019	15:00	Оленівка, АРК	45.37	32.53

Продовження таблиці 2.1

9	28.06.2019	07:20	Керч, АРК	45.33	36.53
10	05.06.2019	07:30	Десантне, Одеська область	45.59	29.67
11	25.05.2019	13:15	Буринь, Сумська область	51.20	33.82
12	25.05.2019	10:00	Константинівка, Запор. обл.	46.81	35.52
13	22.05.2019	11:30	Седове, Донецька область	47.08	38.18
14	20.05.2019	16:00	Кам'янка, Чернівецька область	48.03	25.89
15	16.05.2019	15:00	Пилиповичі, Житомирська область	50.61	27.52
16	29.04.2019	13:55	Злинка, Кіровоградська область	48.49	31.61
17	27.04.2019	16:00	Олевськ, Житомирська область	51.16	27.61
2020 рік					
1	17.10.2020	11:00	Кропивницький, Кіровоградська область	48.56	32.24
2	30.09.2020	12:00	Миколаївка, АРК	44.99	33.57
3	30.09.2020	08:15	Арабатська стрілка, Херсонська область	46.05	34.91
4	30.09.2020	07:00	Утьос, АРК	44.59	34.38
5	27.09.2020	04:45	Таврійське, Херсонська область	46.94	33.05
6	06.09.2020	05:15	Курортне, АРК	45.48	36.34
7	28.08.2020	08:00	Штормове, АРК	45.28	33.10
8	02.08.2020	12:00	Тусла, АРК	45.27	36.49
9	25.07.2020	12:00	Одеса, Одеська область	46.47	30.80
10	13.07.2020	18:00	Щолкіне, АРК	45.44	35.80
11	04.07.2020	16:00	Васютинці, Черкаська область	49.47	32.46
12	30.06.2020	11:00	Кулевча, Одеська область	46.01	29.88
13	28.06.2020	12:00	Порохня, Хмельницька область	49.50	26.36
14	23.06.2020	13.45	Генічеська гірка, Херсонська область	46.09	34.75
15	21.06.2020	16:10	Хотимир, Івано-Франківська область	48.75	25.10
16	21.06.2020	10:30	Керч, АРК	45.32	36.43
17	20.06.2020	11.30	Азовське море, АРК	45.51	35.93
18	20.06.2020	10:00	Мар'янівка, Тернопільська область	49.45	25.46
19	13.06.2020	14.05	Сиваське, Херсонська область	46.39	34.55
20	13.06.2020	12:00	Макіївка, Донецька область	48.03	37.88
21	09.06.2020	15:00	Таурів, Тернопільська область	49.53	25.28

Продовження таблиці 2.1

22	04.06.2020	15:00	Могриця, Сумська область	51.03	35.12
23	03.06.2020	10:45	Хорли, Херсонська область	46.04	33.24
24	26.05.2020	15.30	Доманівка, Миколаївська область	47.63	30.97
25	24.05.2020	13:00	Дмитрівка, Волинська область	50.93	25.25
26	24.05.2020	11:30	Нетішин, Хмельницька область	50.30	26.60
27	09.05.2020	07:00	Мелекіне, Донецька область	46.95	37.46
28	05.05.2020	15:00	Степне, Запорізька область	46.81	35.05
29	04.05.2020	15:15	Сміла, Черкаська область	49.23	31.92

Згідно рис. 2.4, у 2018 році найчастіше смерчі спостерігаються у ранкові та денні години (10 випадків або 70 %), вночі було лише два вихори над АРК та Житомирською областю. Ввечері (від 17 до 21 год.) смерчі виникали двічі 4 рази над Кримським півостровом. У 2019 р. (рис. 2.4) смерчі виникали виключно у ранкові та денні години (100 %). В 2020 р. (рис. 2.5) смерчі спостерігались в основному в першій половині доби. За весь рік лише одне явище було зафіксовано після 17 год. в Криму та в нічні години (до 04 годин ранку) в Херсонській області.

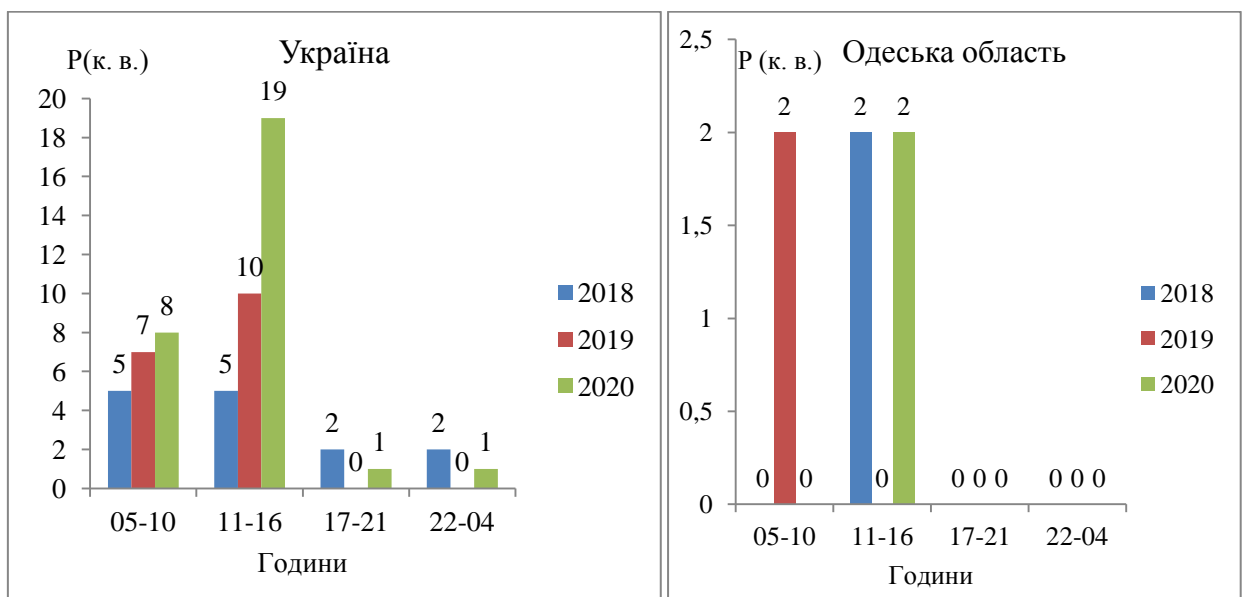


Рис. 2.4. Добовий хід виникнення смерчів над Україною та Одеською областю в період 2018-2020рр.

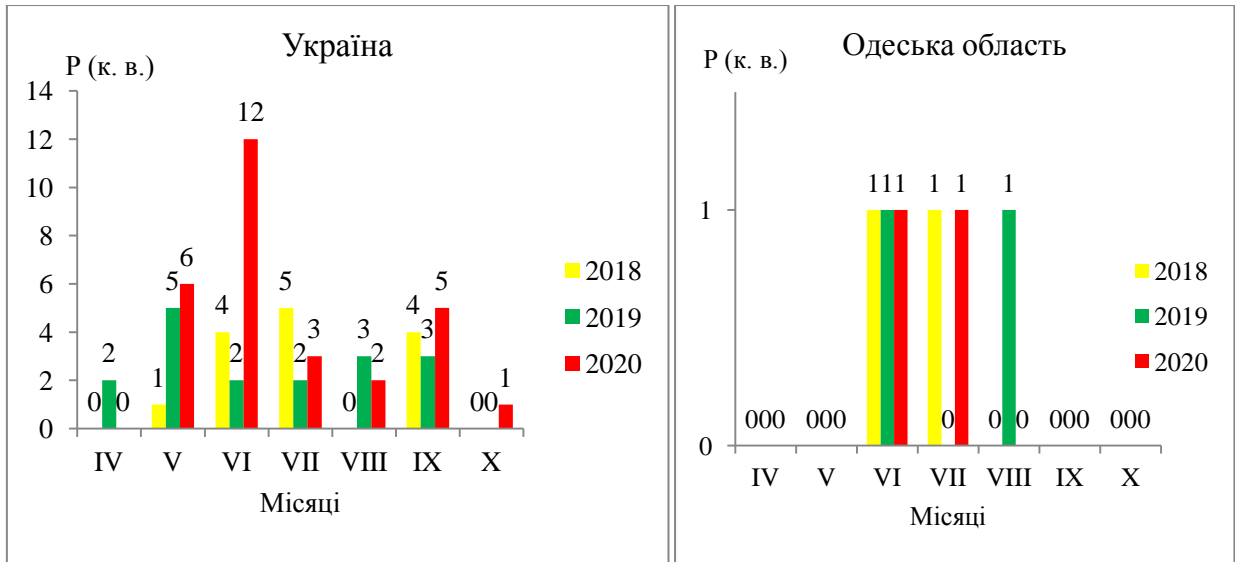


Рис. 2.5. Річний хід виникнення смерчів над Україною та Одеською областю в період 2018-2020рр.

Згідно з рисунками 2.4. та 2.5. (Одеська область) можна спостерігати та річним та добовим ходом смерчеутворення над Одеською областю. Так, в період з 2018 по 2020 роки смерчі в основному спостерігались в проміжок часу від 11 до 16 UTC.

За вказані роки смерчі над Одеською областю найчастіше утворювались в червні (3 випадки), на другому місці липень (2 випадки), та один випадок в серпні.

2.2. Аналіз умов напередодні виникнення смерчів над одеською областю 2018-2020рр.

2.2.1. Аналіз синоптичних та метеорологічних умов виникнення смерчу над Одеською областю 17 червня 2018 р.

На території Одеської області явище смерчу було зафіксовано 17 червня 2018 року, о 11 годині ранку, поблизу села Приморське (рис. 2.6). Згідно з даними Європейської бази даних про шторми [42] смерч утворився на

поверхні води, спостерігалось утворення смерченебезпечної хмарності, також явище супроводжувалося зливовим дощем і загальна його тривалість становила 30 хвилин.



Рис. 2.6. Смерч поблизу с. Приморське, Одеській області.

17 червня 2018 р., 11.00

У другі половині доби 17 червня 2018 р. (рис. 2.7) над південним заходом України спостерігалася активна грозова діяльність через проходження оклюдованої ділянки полярного фронту, яка у 00 UTC розміщувалася над півднем України з точкою оклюзії в районі Кримського перешийка.

Південь України у 00 UTC знаходився під впливом обширної баричної улоговини над Туреччиною, атмосферний тиск над Одещиною коливався від 1009 до 1012 гПа.

Якщо проаналізувати готовність атмосфери до розвитку конвекції за даними радіозонду над Одесою (00 UTC), то можна помітити нестійку стратифікацію атмосфери у шарі від 2,4 до 8,5 км та поворот вітру від північно-західного біля землі до південно-східного на висоті 1,2 км, тобто годограф вказує на можливість розвитку завихореності.

Ресурс [43] прогнозував високу імовірність розвитку небезпечних конвективних явищ через утворення зростаючих хмарних кластерів над Молдовою та півднем Румунії, а над та півднем Одещини передбачав можливість виникнення граду або смерчів.

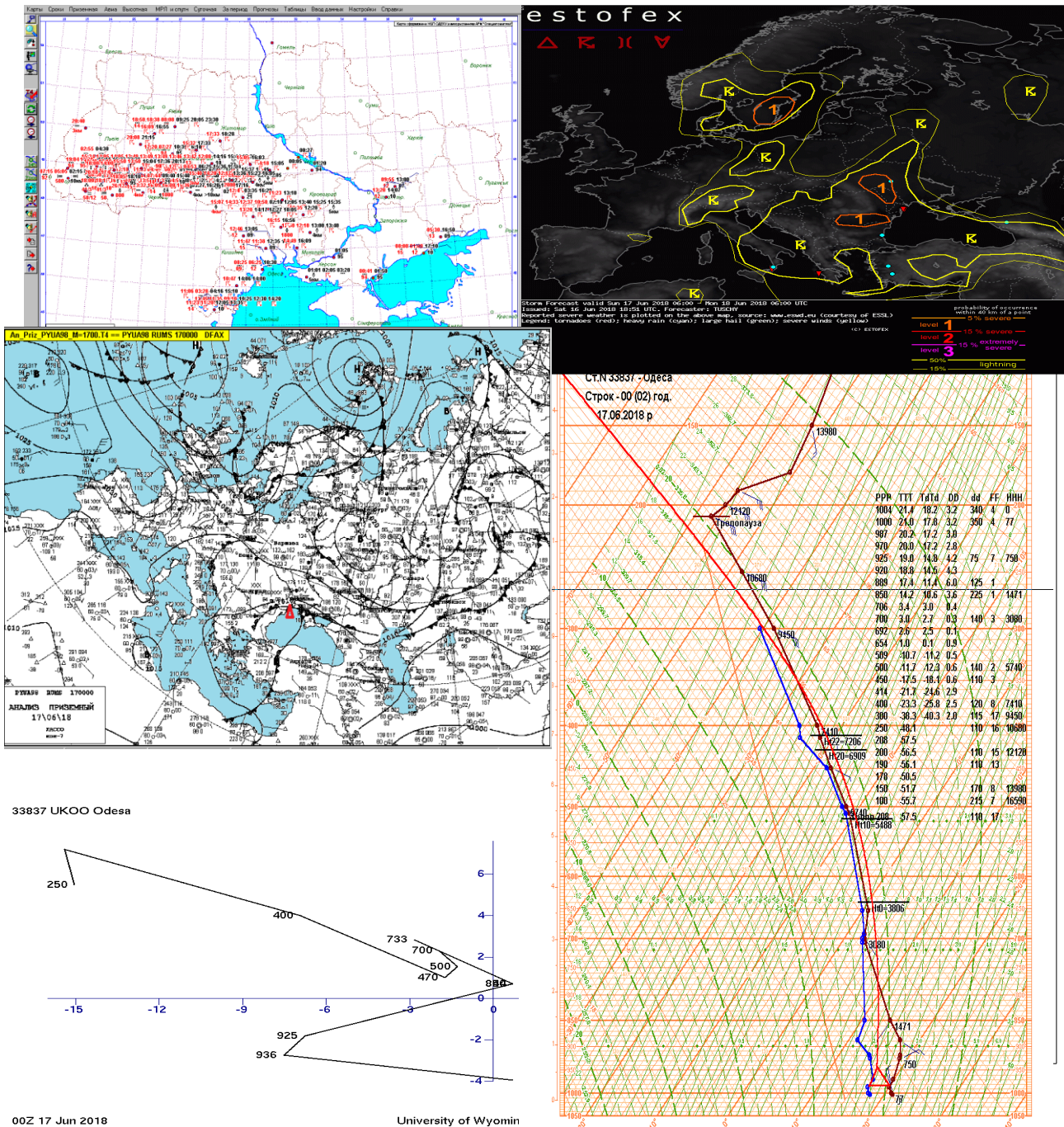


Рис. 2.7. Карта штормових оповіщень над Україною за добу та карта прогнозу небезпечних явищ на 17 червня 2018 р., приземний аналіз, радіозонд та годограф над Одесою за 00 UTC.

У наступні 12 годин спостерігалася утворення ліній конвергенції над Чорним морем (рис. 2.8) у межах висотної улоговини на рівні 500 гПа, яка простягалася від Скандинавії до Балканського півострова та Чорного моря, та поглиблювалася з утворенням замкнутого центру над центром України.

В межах вказаної відносно холодної баричної улоговини спостерігалися в 00 UTC окремі осередки висхідних рухів, один з яких чітко виявлявся Молдовою та Чорноморським узбережжям півдня Одещини та Кримським перешийком (точка оклюзії), які посилювалися у полудень.

Решта території України знаходиться під дією гребеню антициклону, який спостерігається над Європейською територією Росії. Ця область підвищення тиску пов'язана з впливом Азорського антициклону на територію Європи, та на її периферії спостерігається загострення фронтального розділу.

На супутникових знімках за 00 та 11 UTC над півднем України наявна купчасто-дощова хмарність, яка зростає впродовж першої половини доби. На карті хмарності за даний строк спостерігається розвиток потужної купчасто-дощової хмарності і збільшення її в розмірах. Вона розташована чітко над територією виникнення смерчу.

Щодо індексу нестійкості CAPE (рис. 2.9), то найбільших значень він досягає над територію Чорного моря (1600 Дж/кг), та над центральною Україною (1800 Дж/кг). В районі виникнення смерчу індекс CAPE не перевищує значення 600 Дж/кг, що відповідає слабким зливовим опадам.

Аналізуючи карти за 12:00 UTC, можна сказати, що приземний тиск в момент виникнення смерчу становить 1010 гПа. Також спостерігається ріст атмосферного тиску на 2 гПа/3 год. Температура повітря перед виникненням смерчу становила 21°C.

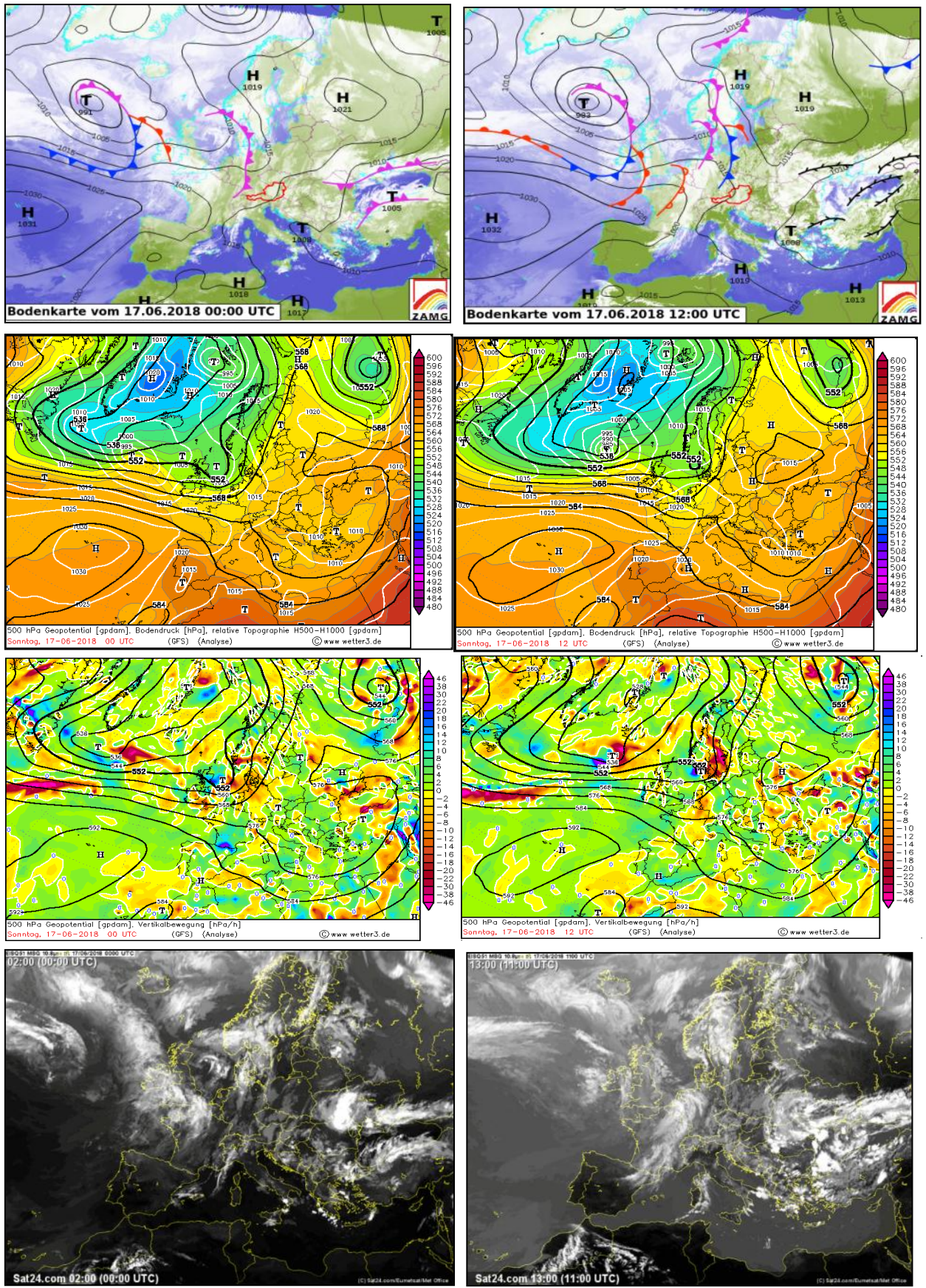


Рис. 2.8. Приземний аналіз [44], ВТ 500/100, АТ-500, карта вертикальних рухів [45] та хмарність за 00 та 12 UTC 17.06.2018 р.

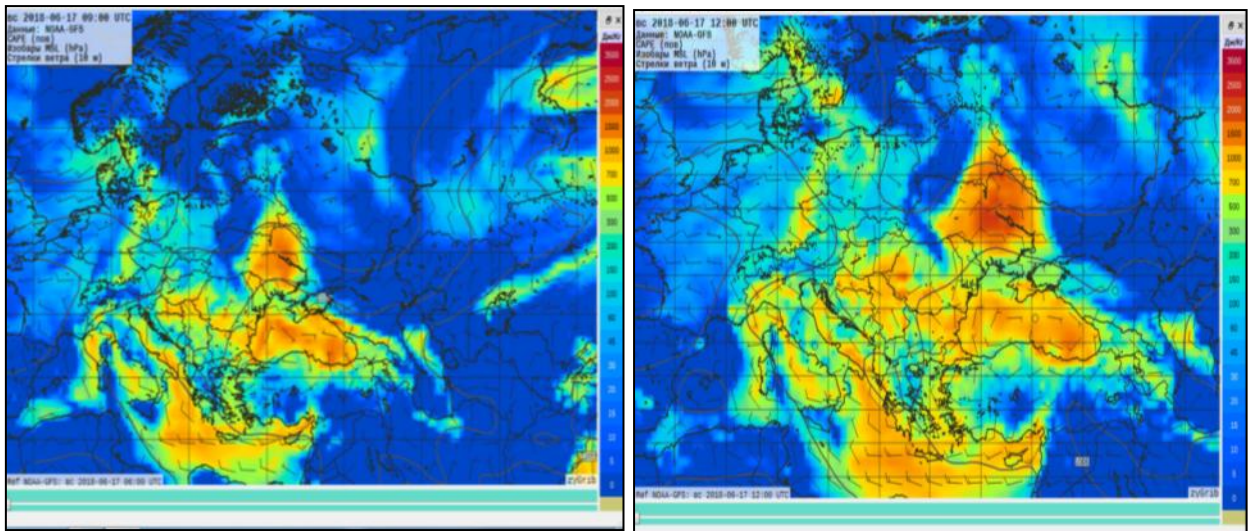


Рис. 2.9. Розподіл індексу CAPE за 09 та 12 UTC 17.06.2018 р.

Щодо індексу CAPE, то найбільші його значення за 14:00 UTC над територією Чорного моря змістились більш південніше та досягають 1700 Дж/кг. В той час як над центральною Україною положення індексу не змінилось, збільшився радіус його поширення та інтенсивність - 2300 Дж/кг.

Використовуючи архів продуктів наукастингу з ресурсу [46] можна відстежити розвиток та властивості хмарності напередодні смерчу з дискретністю за часом 15 хв (рис. 2.10).

Так, вже в 10 годин за місцевим часом конвективна хмарність над півднем України досягала 9-10 км, та впродовж наступної години зростала та утворився окремих хмарний осередок над місцем майбутнього смерчу. Температура верхньої межі цього утворення знизилася до 200 К або -73°C , отже склалися умови для розвитку небезпечних конвективних явищ (град, смерч та ін.). Цей об'єкт добре визначається на карті хмар, з яких спостерігаються опади, у вигляді скупчення хмар з 3-4 осередками з 90 % імовірністю опадів.

Автоматична інтерпретація хмарності (продукт ASII NWP) підтверджує наявність фронту оклюзії над півднем України в 10 годин місцевого часу та утворення мезомасштабних купчасто-дощових хмар та хмар холодної повітряної маси в 10.30-11.00.

Отже, смерч 17 червня 2018 р. утворився в термічно нестійкої повітряної масі через розвиток та збереження з 9 до 12 годин мезомасштабного конвективного комплексу біля узбережжя півдня Одеської області.

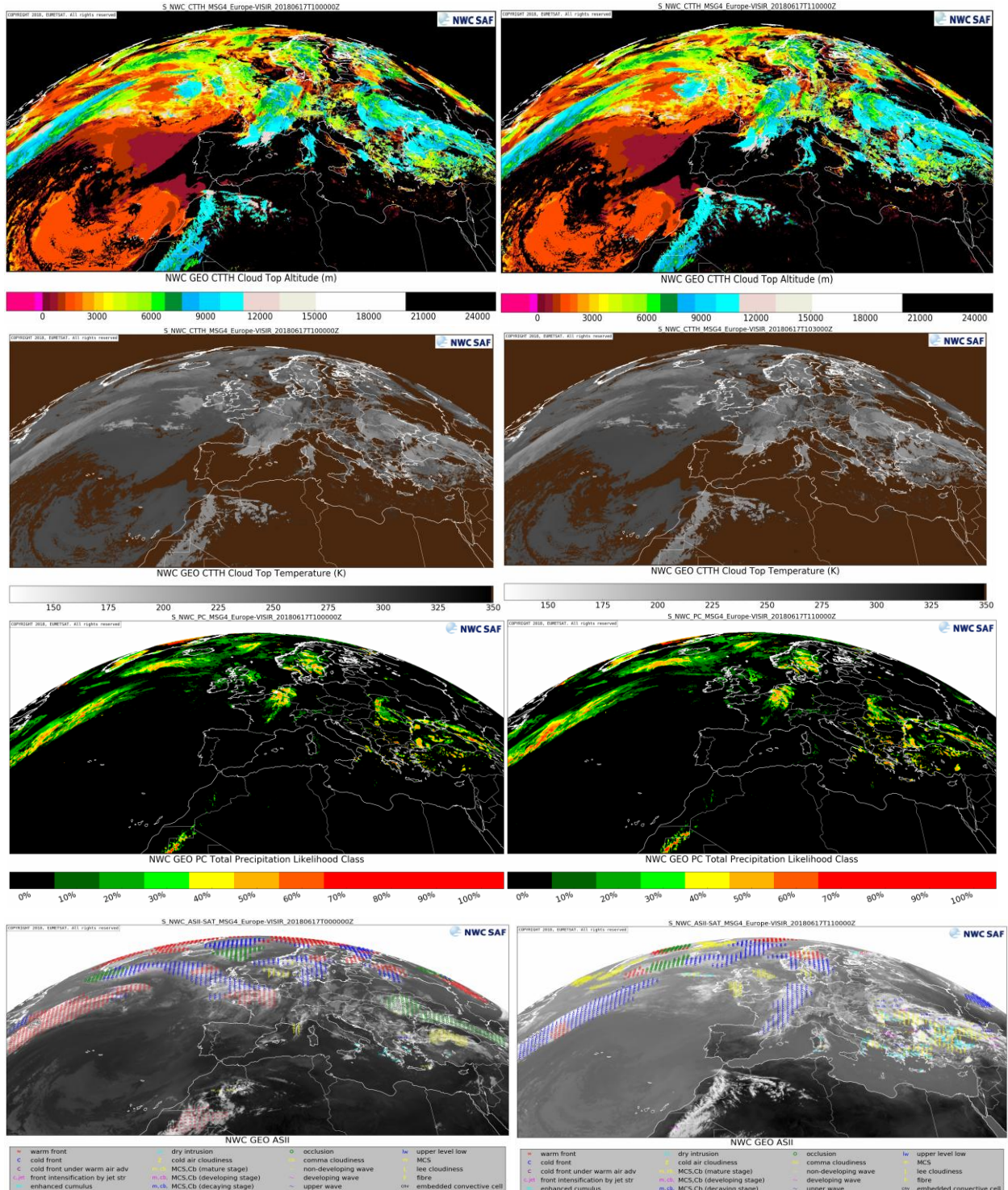


Рис. 2.10. Карти висоти та температури (СТТН) верхньої межі хмарності, характеру опадів з хмарності (TPLC) та інтерпретації хмарності за 10 та 11 годин 17.06.2018 р.

2.2.2. Аналіз синоптичних та метеорологічних умов виникнення смерчу над Одеською областю 03 липня 2018 р.

Смерч був зафіксований 03 липня 2018 року, о 13 годині, поблизу міста Теплодар. Згідно з даними Європейської бази даних про шторми (ESWD) [42] смерч утворився на суші (рис. 2.11.), спостерігалось утворення смерченебезпечної хмарності, також явище супроводжувалося слабким або помірним дощем.



Рис. 2.11. Смерч поблизу м. Теплодар 03 липня 2018 року [47].

Напрямок руху цього шторму – західний, південно-західний, східний північно-східний. В цьому випадку спостерігається утворення воронкоподібних хмар (funnel cloud). У другій половині доби 3 липня 2018 р. (рис. 2.12) над північню Одеської області спостерігалися зливові опади та гроза у 12.30-13.00.

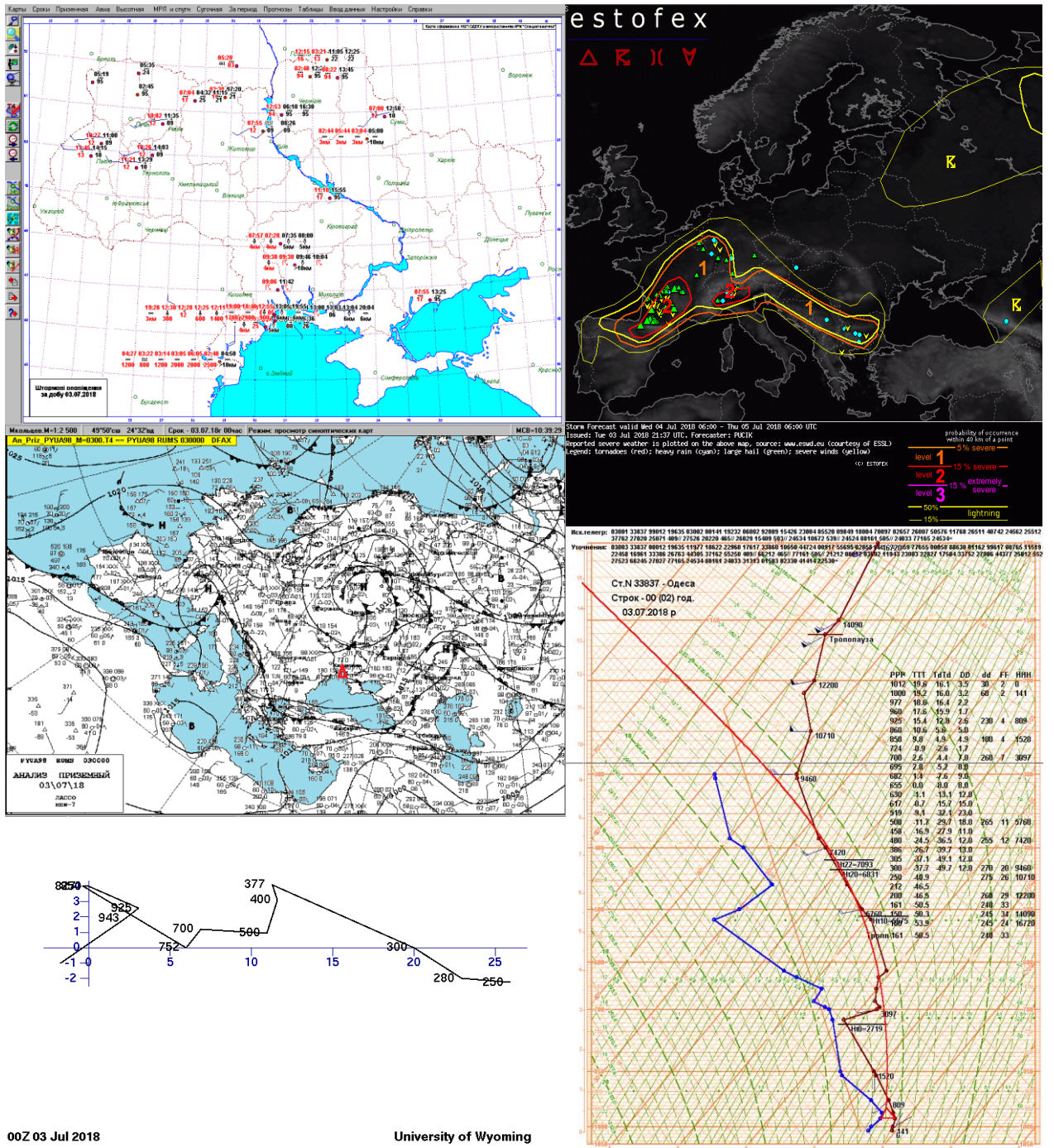


Рис. 2.12. Карта штормових оповіщень над Україною за добу та карта прогнозу небезпечних явищ на 3 липня 2018 р., приземний аналіз, радіозонд та годограф над Одесою за 00 UTC

Приземний аналіз у 00 UTC не виявляв проходження фронтальних розділів над Одеською областю, погодні умови якої визначалися тиловою частиною циклону з центром над територією Білорусі та Європейською частиною Росії з мінімальним тиском в 1010 гПа. Холодні ділянки

арктичного фронту розмивалися над центральними районами України, а полярний фронт розташовувався на південному узбережжі Чорного моря.

Південь України у 00 UTC знаходився під впливом обширної баричної улоговини, а атмосферний тиск над Одещиною коливався від 1014 до 1016гПа.

За даними радіозонду над Одесою (00 UTC), можна також виявити нестійку стратифікацію атмосфери у шарі від 600 м до 3,5 км та поворот вітру від північно-східного біля землі до південно-західного на висоті 700 м, тобто зсув вітру сильніше ніж у першому випадку, але годограф не вказує на можливість розвитку завихореності.

Ресурс [46] не прогнозував імовірність розвитку небезпечних конвективних явищ півднем Одещини, лише визначив можливість їх вдовж лінії полярного фронту та над центром циклону над ЄТР.

Аналізуючи приземний аналіз за 12:00 UTC (рис. 2.13) утворення лінії конвергенції над Молдовою та посилення хмарності. Згідно з висотною картою АТ 500 територія України перебуває в зоні дії баричної улоговини з висотним холодним центром над північними районами України, який зберігав своє розташування.

В межах вказаної холодної баричної улоговини спостерігалось в 00 та 12 UTC утворення смуг висхідних та низхідних вертикальних рухів. Так, в 00 UTC над районом виникнення смерчу була смуга висхідних потоків, а вже в 12 UTC там розташовувалася пара вертикальних рухів протилежного знаку, тобто могли скластися умови для розвитку вихорю з горизонтальною віссю.

Аналіз супутникових знімків наявність купчастої та купчасто-дощової хмарності, але хмарний осередок, що спостерігався в 04 UTC (6 годин) у момент близький до виникнення смерчу, трансформувалася у дещо меншу хмару та хмарну смугу.

За 03 липня 2018 р. о 11:00 UTC індекс CAPE на територію України слабо виражений майже над усією країною з максимальним значенням 100 Дж/кг (рис. 2.14).

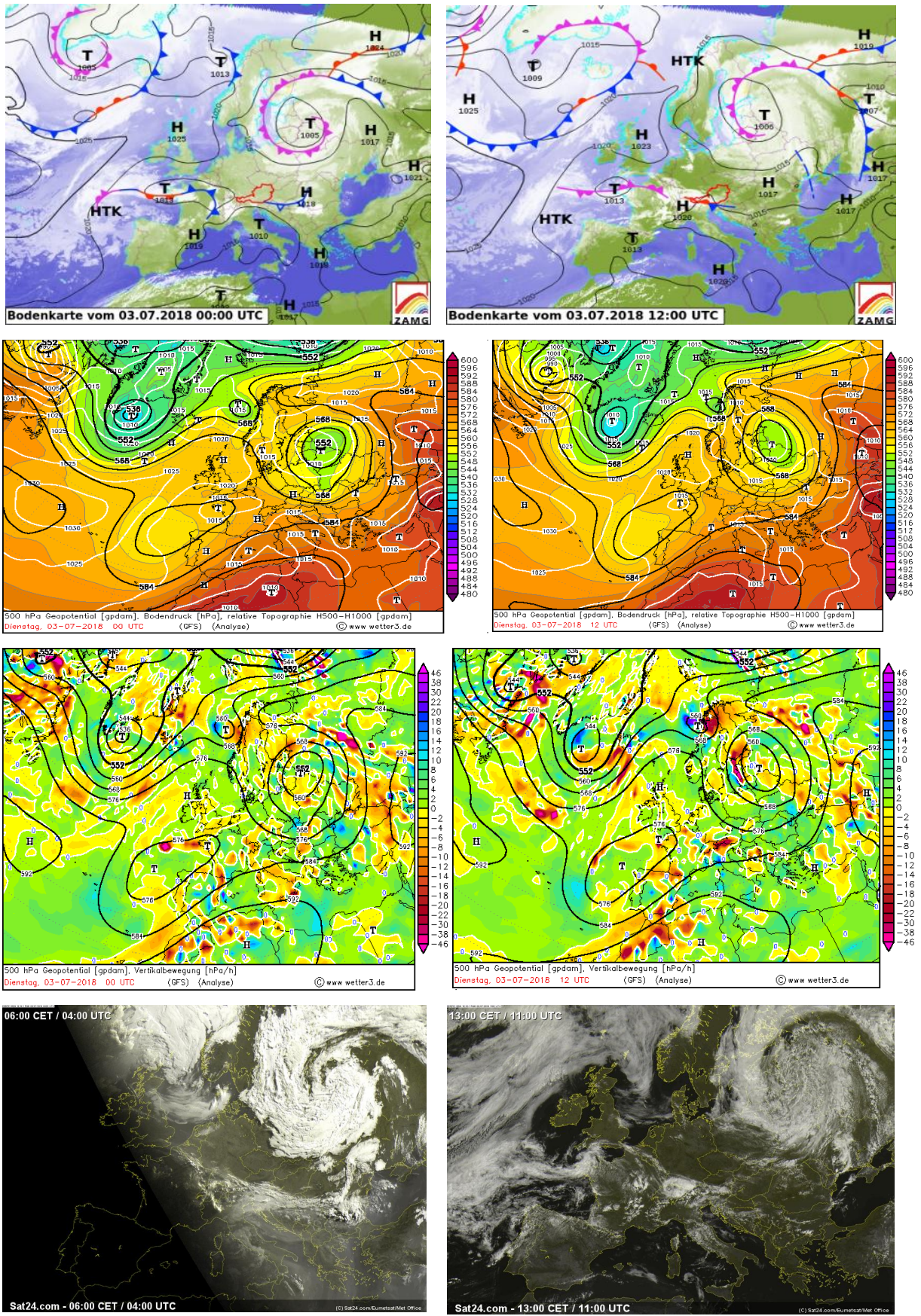


Рис. 2.13. Приземний аналіз [44], ВТ 500/100, АТ-500, карта вертикальних рухів [45] та хмарність за 00 та 12 UTC 3.07.2018 р.

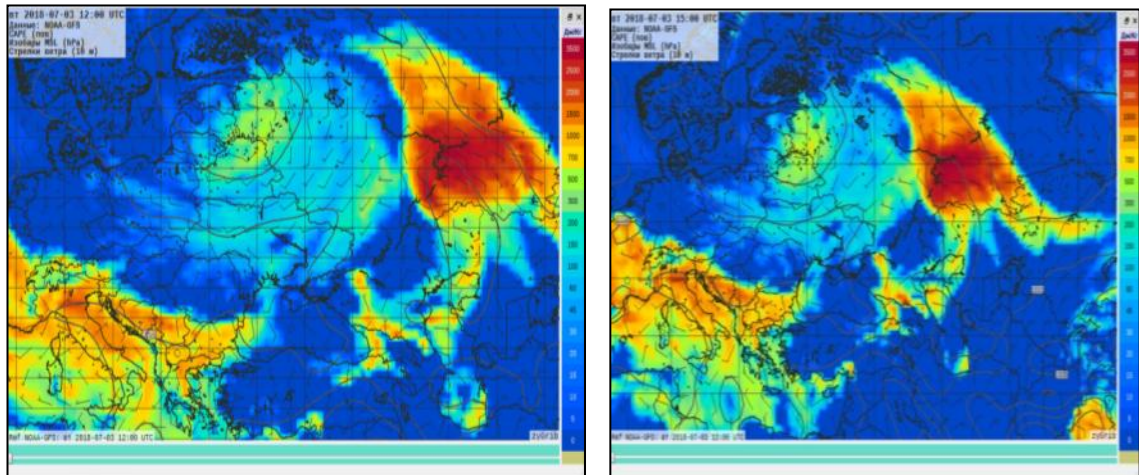


Рис. 2.14. Розподіл індексу CAPE за 12 та 15 UTC 03.07.2018 р.

На приземній карті погоди виявлено, що центр циклону майже не змінив свого положення. Атмосферний тиск в центрі виріс до 1006 гПа. Вся Південно-Східна частина України знаходиться під впливом антициклонічного гребеню з тиском 1015–1017 гПа.

В місці виникнення смерчу спостерігається атмосферний тиск 1016 гПа., за останні 3 години тиск не змінився. На момент виникнення явища температура повітря складала 26°C.

В даний строк відмічається розмивання смерченебезпечної хмарності над всією територією України. В основному спостерігається шарувато-купчаста хмарність, і лише місцями купчасто-дощова (рис. 2.16).

Над центральною частиною України та над Одеською областю спостерігається лінія нестійкості, а разом з нею потужна купчасто-дощова хмарність. Це явище також відмічено і на карті приземного аналізу.

Індекс CAPE, на 14 UTC посилюється, в порівнянні з 11:00 UTC (рис. 2.14). Він займає лівобережну Україну та частину правобережної (Полтавська, Харківська, Сумська, Донецька, Луганська області). Також підвищилось значення до 200 Дж/кг, місцями 300 Дж/кг.

Щодо висоти верхньої межі хмар за архівом продуктів наукастингу з

[44], то ця характеристика не перевищувалася 3500-4000 м, хмарна маса складалася з хмар середнього ярусу та купчасто-дошових.

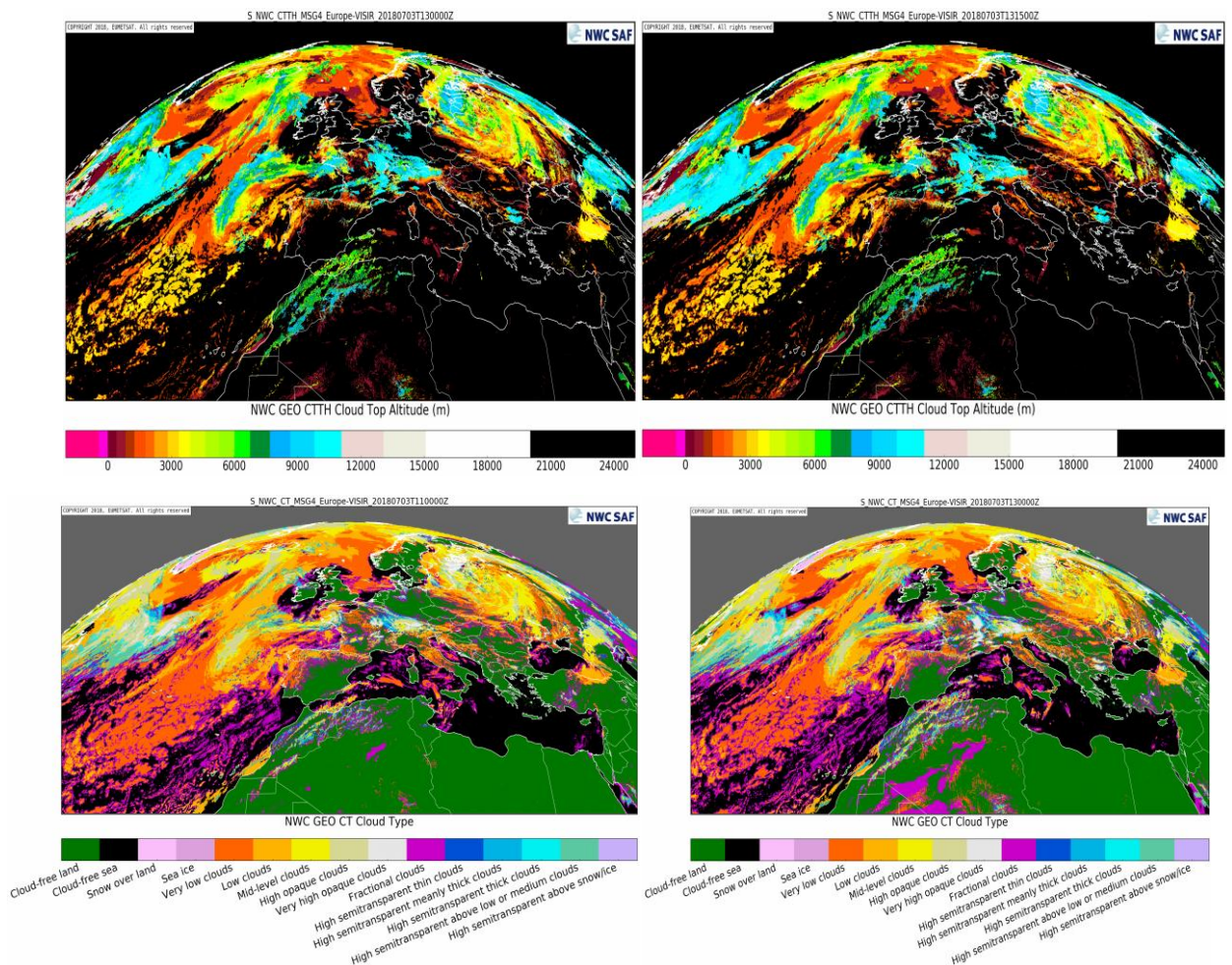


Рис. 2.15. Карти висоти (СТТН) верхньої межі хмарності та типу хмарності за 13.00 та 13.15 годин 3.07.2018 р.

Отже, смерч 3 липня 2018 р., можливо, виник в термічно нестійкої повітряної масі через формування зони з інтенсивними потоками протилежного напрямку без утворення мезомасштабного конвективного комплексу.

2.2.3. Аналіз синоптичних та метеорологічних умов виникнення смерчу над Одеською областю 05 червня 2019 р.

На території Одеської області в 2019 році перше явище смерчу було зафіксовано 05 червня, о 07:30 годині ранку, поблизу села Десантне (рис. 2.16). Згідно з даними Європейської бази даних про шторми [42] смерч утворився на поверхні води, над озером Сасик, спостерігалось утворення смерченебезпечної хмарності, також явище супроводжувалося зливовим дощем і загальна його тривалість становила 60 хвилин.



Рис. 2.16. Смерч поблизу с. Десантне, Одеської області.
05 червня 2019 р., 07.30 [47]

5 червня 2019 р. (рис. 2.17) над південним заходом України та над її центром спостерігалась активна грозова діяльність через неоднорідність баричного поля над Європою.

Територія України у 00 UTC знаходився під впливом розмитого баричного поля. На карті приземного аналізу спостерігаються антициклони Європейською територією Росії, територією України та Середземного моря.

Від Британії до Туреччини простежується наявність смуги низького тиску з градієнтом $0,25 \text{ гПа}/100\text{км}$. Атмосферний тиск над Одещиною становив 1014гПа .

Якщо проаналізувати готовність атмосфери до розвитку конвекції за даними радіозонду над Одесою (00 UTC), то можна помітити нестійку стратифікацію атмосфери у шарі від 2,0 до 10,5 км та поворот вітру від північного на висоті 2,5 км до північно-західного на висоті 7,5 км, тобто годограф вказує на можливість розвитку завихореності.

Ресурс [43] прогнозував високу імовірність розвитку небезпечних конвективних явищ через утворення зростаючих хмарних кластерів над Україною та Європою. Над та півднем та центром країни ресурс передбачав можливість виникнення грози з градом або смерчів. Також ресурс підтверджує наявність конвективний мезосистем.

У наступні 12 годин спостерігалось утворення ліній конвергенції над півднем країни (рис. 2.18) у межах висотної улоговини на рівні 500 гПа , яка простежується над Балканами та півднем Одеської області та поглиблювалася з утворенням замкненого центру над Румунією. На центральною та східною Україною простежується наявність висотного гребеня. Дана синоптична ситуація сприятлива для утворення завихрень.

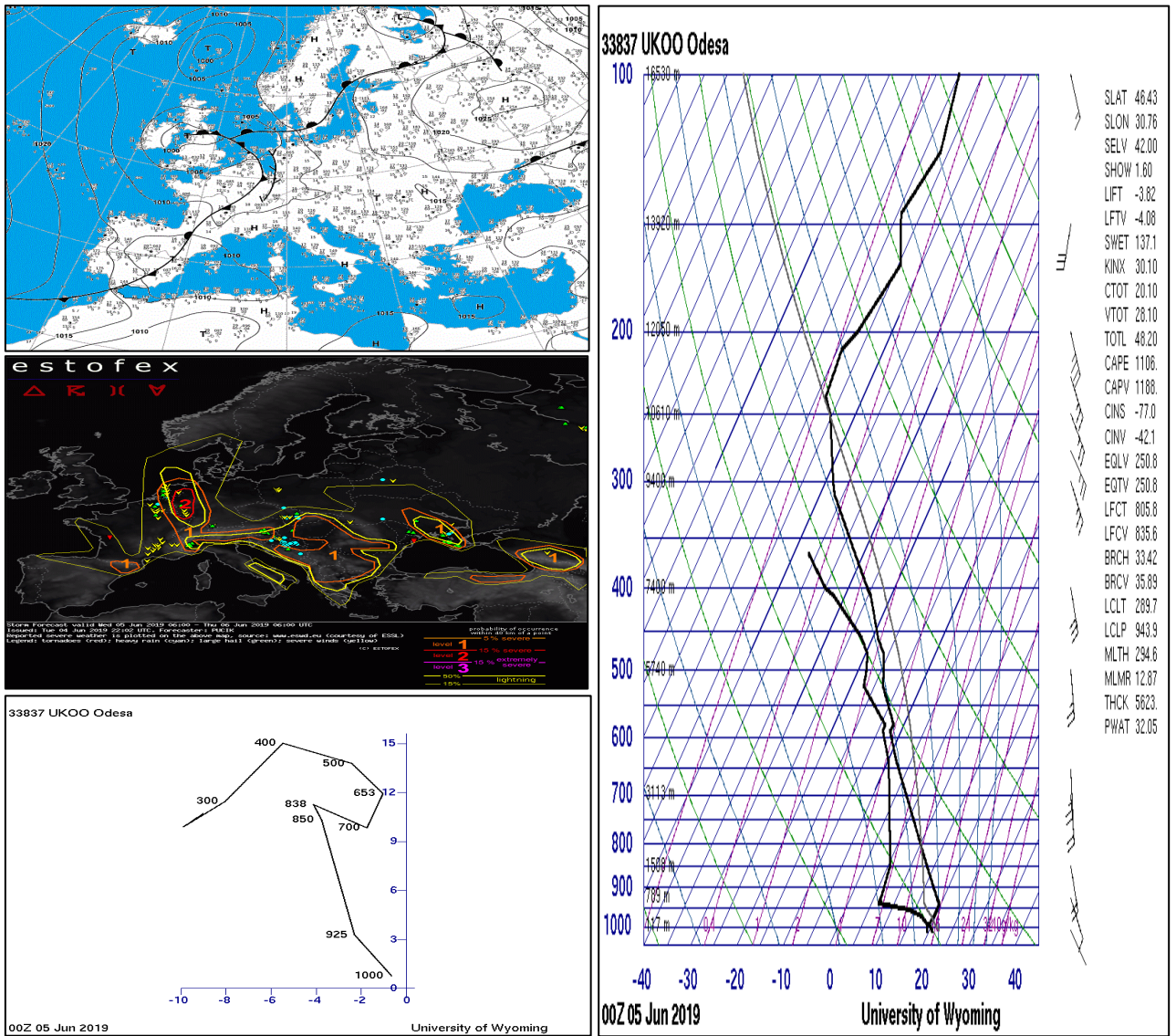


Рис. 2.17. Карта приземного аналізу, прогнозу небезпечних явищ на 05 червня 2019 р., , радіозонд та годограф над Одесою за 00 UTC

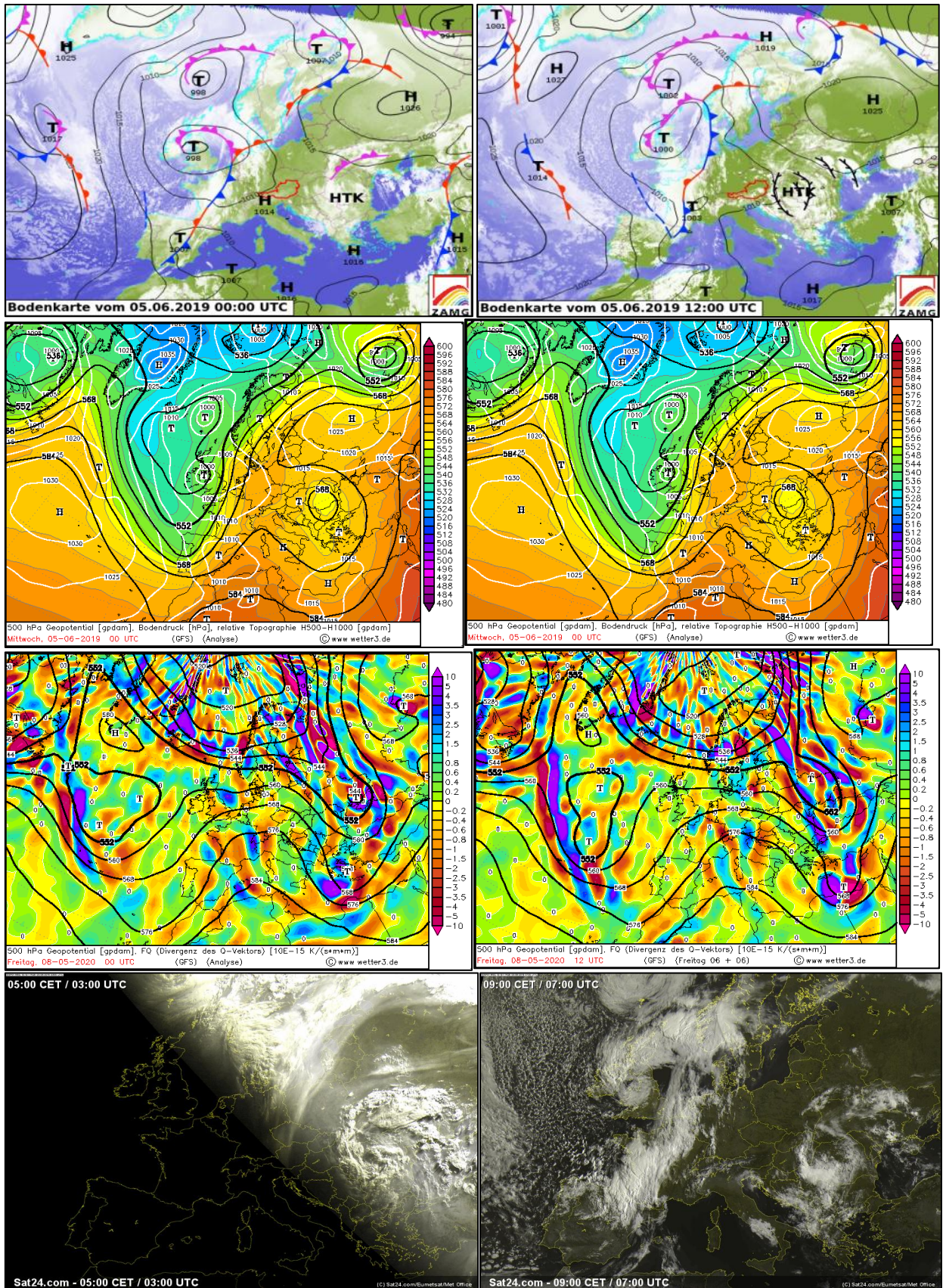


Рис. 2.18. Приземний аналіз [44], ВТ 500/100, АТ-500, карта вертикальних рухів [45] та хмарність за 03 та 07 UTC 05.06.2019 р.

В межах вказаної відносно холодної баричної улоговини спостерігалися в 00 UTC окремі осередки висхідних рухів, розташовані над Чорноморським узбережжям Одещини та Кримом, але в полудень вони стали слабшими.

Решта території України знаходиться під дією гребеню антициклону, який спостерігається над Європейською територією Росії. Ця область підвищення тиску пов'язана з впливом Азорського антициклону на територію Європи, та на її периферії спостерігається загострення фронтального розділу.

На супутникових знімках за 03 та 07 UTC над Україною наявна купчасто-дощова хмарність, яка зменшується впродовж першої половини доби. На карті хмарності за даний строк все ж спостерігається купчасто-дощова хмарність над одеською областю і збільшення її в розмірах.

Щодо індексу нестійкості CAPE (рис. 2.19), то найбільших значень він досягає над східною територією Чорного моря (2900 Дж/кг), також спостерігається посилення його біля берегів одеської області (1900 Дж/кг). В районі виникнення смерчу індекс CAPE не перевищує значення 100 Дж/кг.

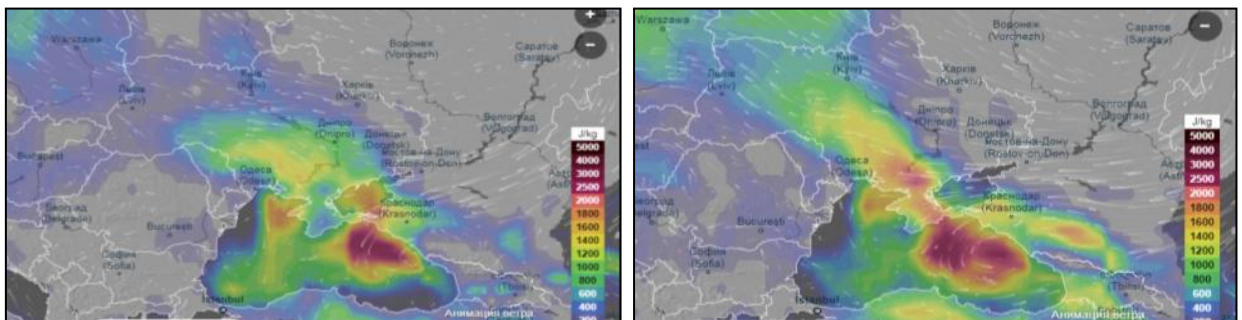


Рис. 2.19. Розподіл індексу CAPE за 00 та 09 UTC 05.06.2019 р.

Аналізуючи карти за 12:00 UTC, можна сказати, що приземний тиск не змінився, ситуація з баричним полем біля поверхні землі залишилась незмінною.

Щодо індексу CAPE, то найбільші його значення за 09:00 UTC над територією Чорного моря стали більш обширними, та розташовуються над

всією акваторією моря. Але, водночас змінилася інтенсивність індексу і о 09:00 UTC він сягав 2800 Дж/кг.

Використовуючи архів продуктів наукастингу з ресурсу [46] можна відстежити розвиток та властивості хмарності напередодні смерчу з дискретністю за часом 15 хв (рис. 2.20).

Так, вже в 07 годин за місцевим часом конвективна хмарність над півднем України досягала 8-9 км, та впродовж наступної півгодини залишалась незмінною. Температура верхньої межі цього утворення знизилася до 225 К або -48°C , отже склалися умови для розвитку небезпечних конвективних явищ (град, смерч та ін.). Цей об'єкт добре визначається на карті хмар над північною одеської області, з яких спостерігаються опади, у вигляді скупчення хмар з 30-40 % імовірністю опадів.

Автоматична інтерпретація хмарності (продукт ASII NWP) підтверджує наявність в 07:30 UTC утворення гряди купчасто-дощових хмар та хмар холодної повітряної маси.

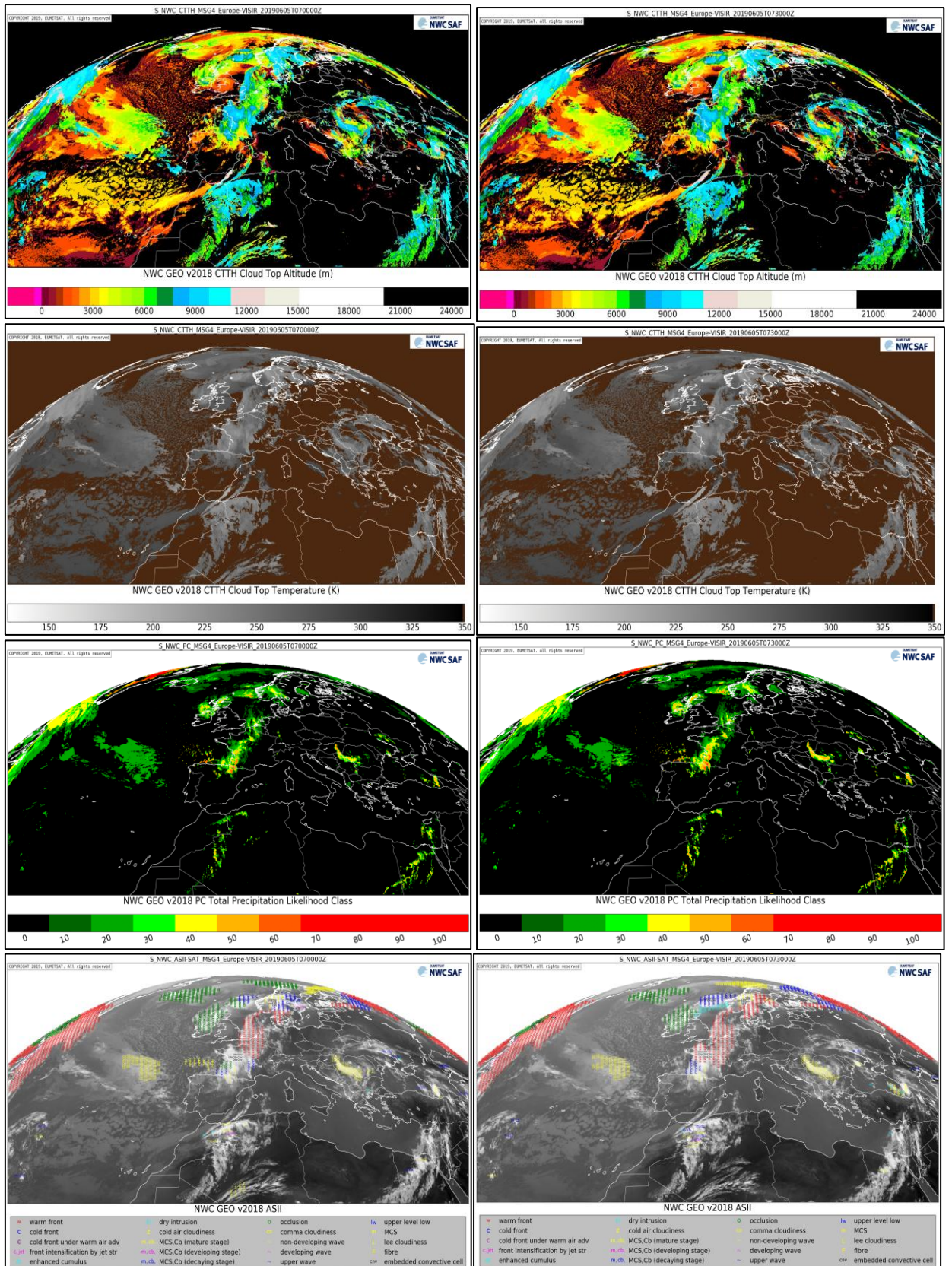


Рис. 2.20. Карти висоти та температури (СТТН) верхньої межі хмарності, характеру опадів з хмарності (TPLC) та інтерпретації хмарності за 07:00 та 07:30 годин 05.06.2019 р.

Отже, смерч 05 червня 2019 р. утворився в термічно нестійкої повітряної масі через розвиток та збереження з 00 до 07 годин гряди конвективного комплексу біля узбережжя півдня Одеської області.

2.2.4. Аналіз синоптичних та метеорологічних умов виникнення смерчу над Одеською областю 03 серпня 2019 р.

Другий смерч був зафіксований 03 серпня 2019 року, поблизу села Приморське (рис. 2.21). Згідно з даними Європейської бази даних про шторми [42] смерч утворився над поверхнею землі, спостерігалось утворення смерченебезпечної хмарності, також явище супроводжувалося зливовим дощем і загальна його тривалість становила 60 хвилин.



Рис. 2.21. Смерч поблизу с Приморське 03 серпня 2019 року [48].

3 серпня 2019 р. (рис. 2.22) над південним заходом України спостерігалася активна грозова діяльність. Територія України у 00 UTC знаходилась під впливом неоднорідного баричного поля. Північ та північний схід країни були під дією циклонічної улоговини з центром над ЄТР. На південь країни впливали невеликі антициклонічні утворення над

Чорноморським басейном. Атмосферний тиск над Одещиною становив 1009гПа.

Якщо проаналізувати готовність атмосфери до розвитку конвекції за даними радіозонду над Одесою (00 UTC), то можна помітити нестійку стратифікацію атмосфери у шарі від 2,4 до 5,0 км та поворот вітру від південно-східного на висоті 500 м до північно-східного на висоті 14,0 км, тобто годограф вказує на можливість розвитку завихореності.

Ресурс [43] прогнозував високу імовірність розвитку небезпечних конвективних явищ через утворення зростаючих хмарних кластерів над Україною та Європою. Над одеською областю та Молдовою ресурс передбачав можливість виникнення грози з градом або смерчів.

У наступні 12 годин спостерігалася утворення фронту оклюзії над одеською областю (рис. 2.23) у межах висотної улоговини на рівні 500 гПа, яка охоплює Україну та простягається від Скандинавії до Балканського півострова та Чорного моря.

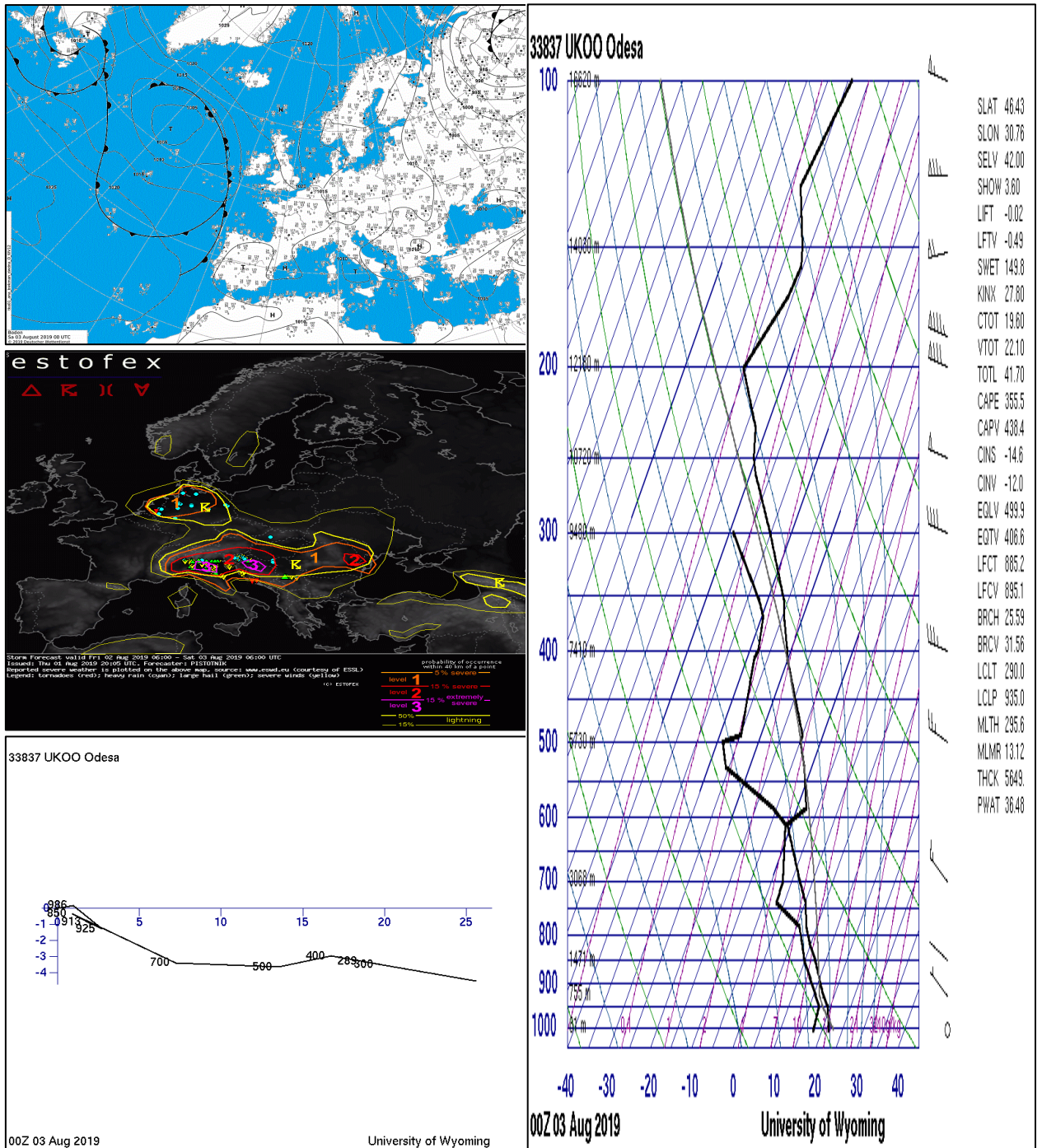


Рис. 2.22. Карта приземного аналізу, прогнозу небезпечних явищ на 03 серпня 2019 р., радіозонд та годограф над Одесою за 00 UTC

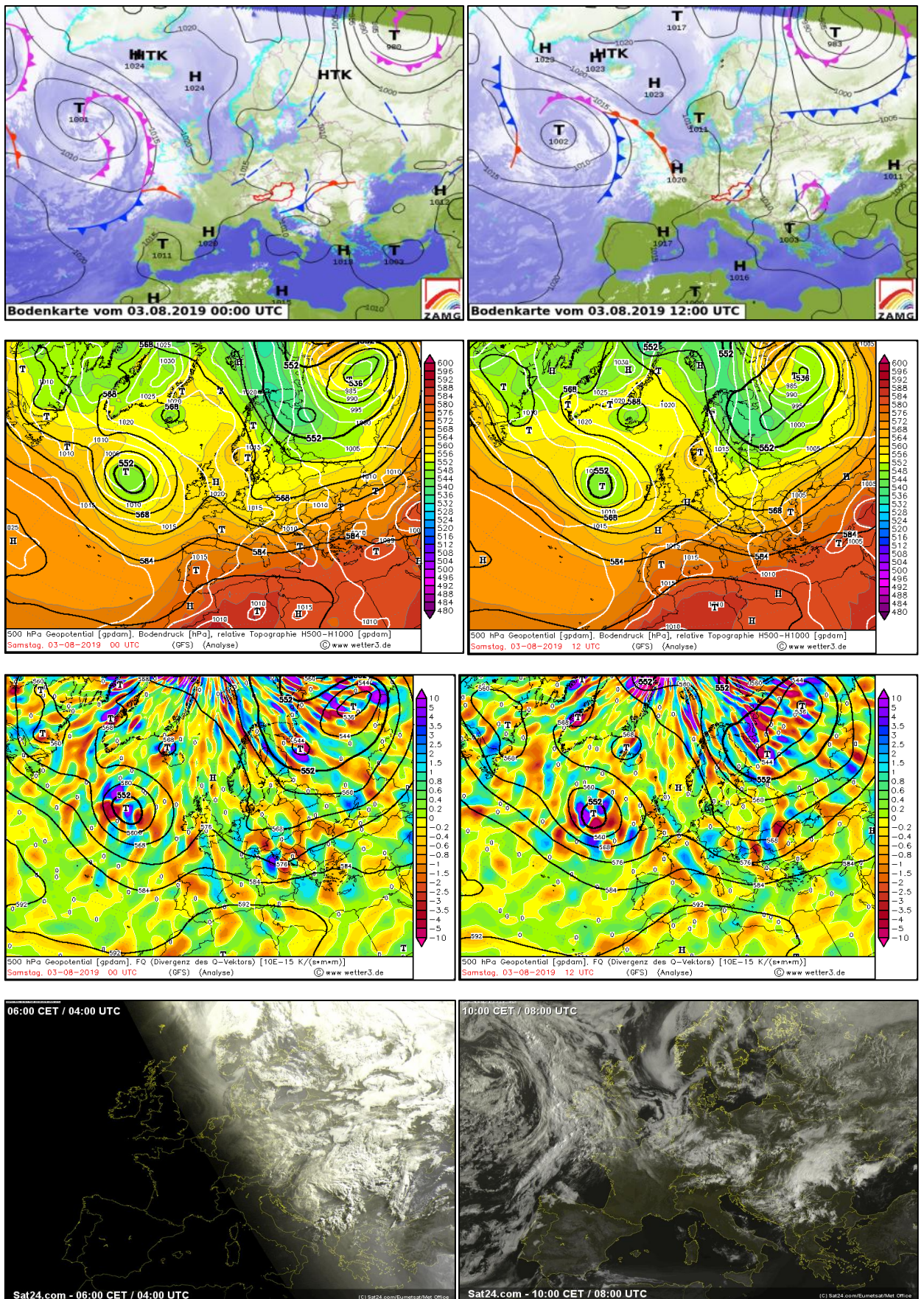


Рис. 2.23. Приземний аналіз [44], ВТ 500/100, АТ-500, карта вертикальних рухів [45] та хмарність за 04 та 08 UTC 03.08.2019 р.

В межах вказаної відносно холодної баричної улоговини спостерігалися в 00 UTC осередки висхідних рухів, розташовані над Чорноморським узбережжям, Кримом та заходом країни. До полудня осередок розташований над одеською областю стає сильнішим.

На супутникових знімках за 04 та 08 UTC над лівобережною Україною та над Чорноморським узбережжям країни наявна купчасто-дощова хмарність, яка зменшується впродовж першої половини доби. На карті хмарності за строк 08 UTC спостерігається купчасто-дощова хмарність над одеською областю.

Щодо індексу нестійкості CAPE (рис. 2.24), то найбільших значень він досягає над східною територією Чорного моря (1000 Дж/кг), та простягається до берегів одеської області. В районі виникнення смерчу індекс CAPE не перевищує значення 400 Дж/кг.

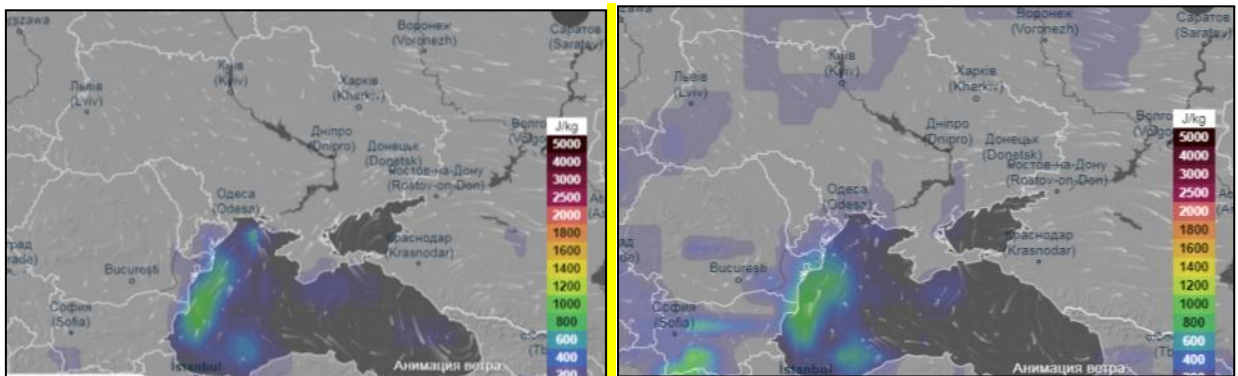


Рис. 2.24. Розподіл індексу CAPE за 06 та 09 UTC 03.08.2019 р.

Аналізуючи карти за 12:00 UTC, можна сказати, що приземний тиск почав падати і становить 1005 гПа.

Щодо індексу CAPE, то на строк 09:00 UTC зона розповсюдження конвективний рухів дещо зросла, але все ж залишається над заходом Чорного моря. Інтенсивність залишилася незмінною і дорівнює 400 Дж/кг.

Використовуючи архів продуктів наукастингу з ресурсу [46] можна відстежити розвиток та властивості хмарності напередодні смерчу з дискретністю за часом 15 хв (рис. 2.25).

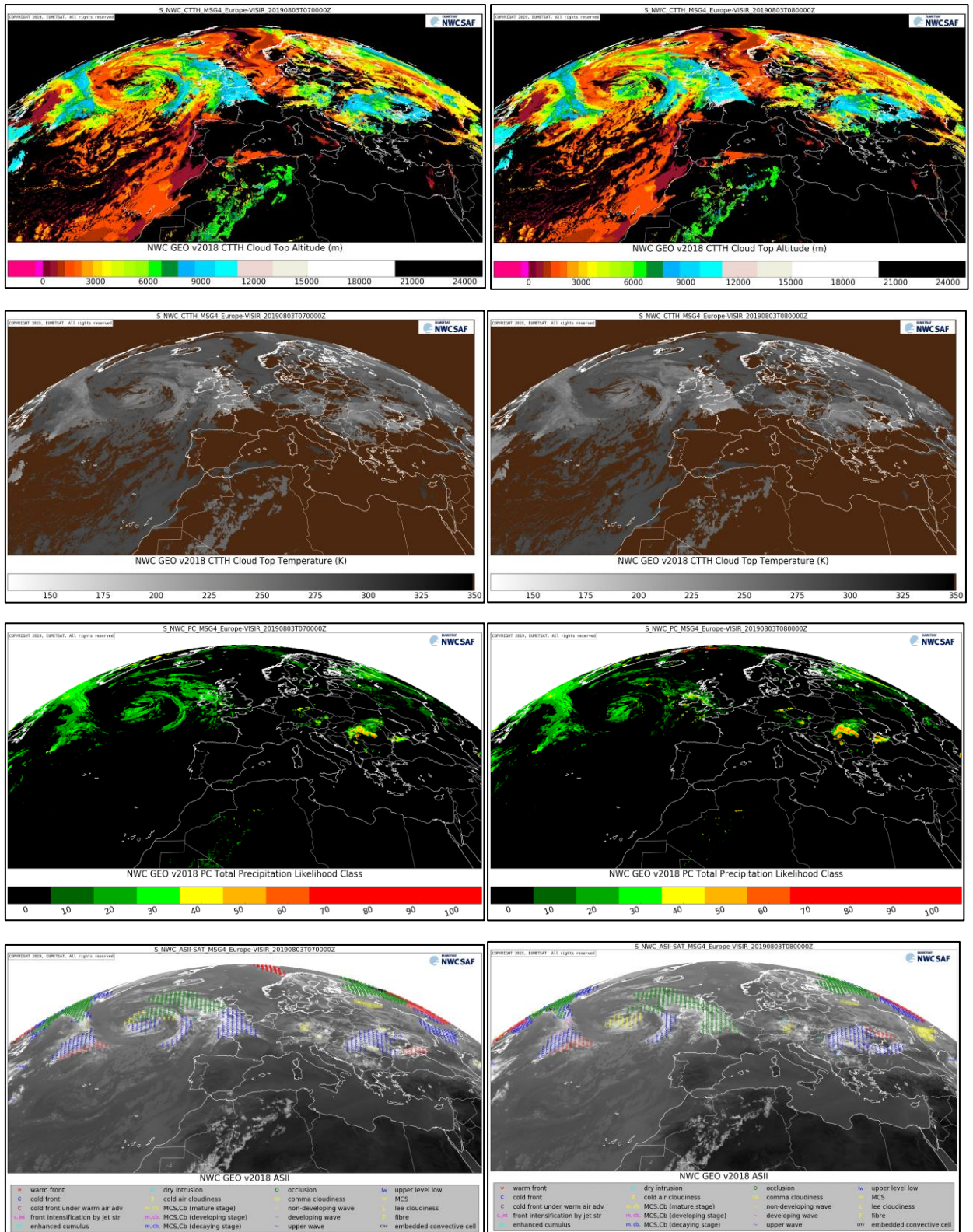


Рис. 2.25. Карти висоти та температури (СТТН) верхньої межі хмарності, характеру опадів з хмарності (TPLC) та інтерпретації хмарності за 07 та 08 годин 03.08.2019 р.

Так, вже в 07 годин за місцевим часом конвективна хмарність над півднем України досягала 10-12 км, та впродовж наступної години залишалась незмінною. Температура верхньої межі цього утворення знизилася до 215 К або -58 °С, отже склалися умови для розвитку небезпечних конвективних явищ (град, смерч та ін.). Цей об'єкт добре визначається на карті хмар над акваторією Чорного моря поблизу одеської області, з яких спостерігаються опади, у вигляді скупчення конвективних хмар з 30-70 % імовірністю опадів.

Автоматична інтерпретація хмарності (продукт ASII NWP) підтверджує наявність в 08:00 годин місцевого часу утворення мезомасштабних купчасто-дошових хмар та хмар холодної повітряної маси. Також, в даному випадку має місце прихована конвективна комірка.

Отже, смерч 03 серпня 2019 р. утворився в термічно нестійкої повітряної масі через розвиток та збереження з 07 до 08 годин мезомасштабного конвективного комплексу біля узбережжя півдня Одеської області.

2.2.5. Аналіз синоптичних та метеорологічних умов виникнення смерчу над Одеською областю 30 червня 2020 р.

Перше явище смерчу на території Одеської області в 2020 році спостерігалось біля села Кулевча 30 червня о 11 UTC. Згідно з Європейською базою даних, смерч був утворений над поверхнею землі.



Рисунок 2.26. Смерч поблизу с. Кулевча 30 червня 2020 року.

30 червня 2020 р. над Україною спостерігалась активна грозова діяльність. Територія країни у 00 UTC знаходилась в розмитому баричному полі, яке утворилося завдяки антициклонам над Атлантикою і ЄТР, та циклону біля берегів Скандинавії. Згідно з приземною картою, над Азовським морем утворився окремий центр низького тиску. Атмосферний тиск над Одесою становив 1006,5 гПа.

Ресурс [43] прогнозував ймовірність розвитку небезпечних конвективних явищ, таких як: грози, сильний град, сильні пориви вітру, надзвичайні опади та ймовірне виникнення торнадо, у зв'язку з проходженням холодного атмосферного фронту через територію України.

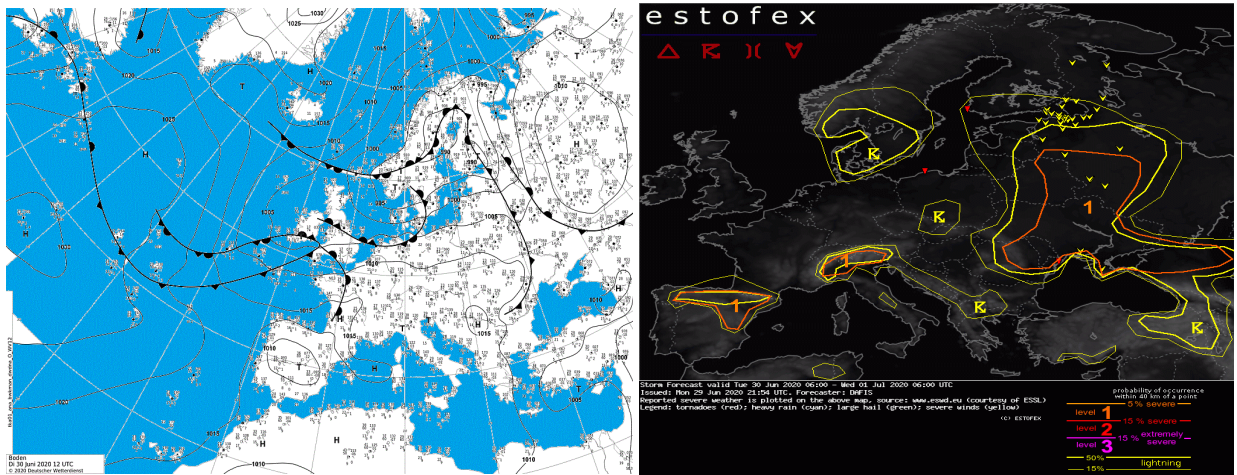


Рис. 2.27. Карта приземного аналізу, прогнозу небезпечних явищ на 30.06.2020 р.

На приземних картах ресурсу [44] від 00 UTC до 12 UTC (рис. 2.28) простежується переміщення лінії холодного фронту із західної частини країни до центральної, а разом з ним і проходження через ці території купчасто-дощової хмарності. Також за строк 00 UTC видно наявність лінії шквалів перед фронтом, яка в 12 UTC вже не простежується. Щодо карти AT500, видно що Україна знаходиться під дією висотної улоговини центр якої розташований біля берегів Скандинавії.

За строк 04 UTC на супутникових знімках над західною Україною спостерігається розвиток конвективної хмарності вздовж холодного фронту. На місці розташування лінії шквалів простежується окремий осередок добре розвиненої за висотою купчасто-дощової хмарності. В строк 11 UTC лінія фронту перемістився східніше. Разом з цим інтенсивність конвективний процесів слабшає, та зменшується вертикальна протяжність хмарності, та її кількість. Над Одеською областю, центральними районами країни та Кримом видно декілька осередків купчастої хмарності добре розвиненої по висоті. Лінія шквалів в даний строк вже не спостерігається.

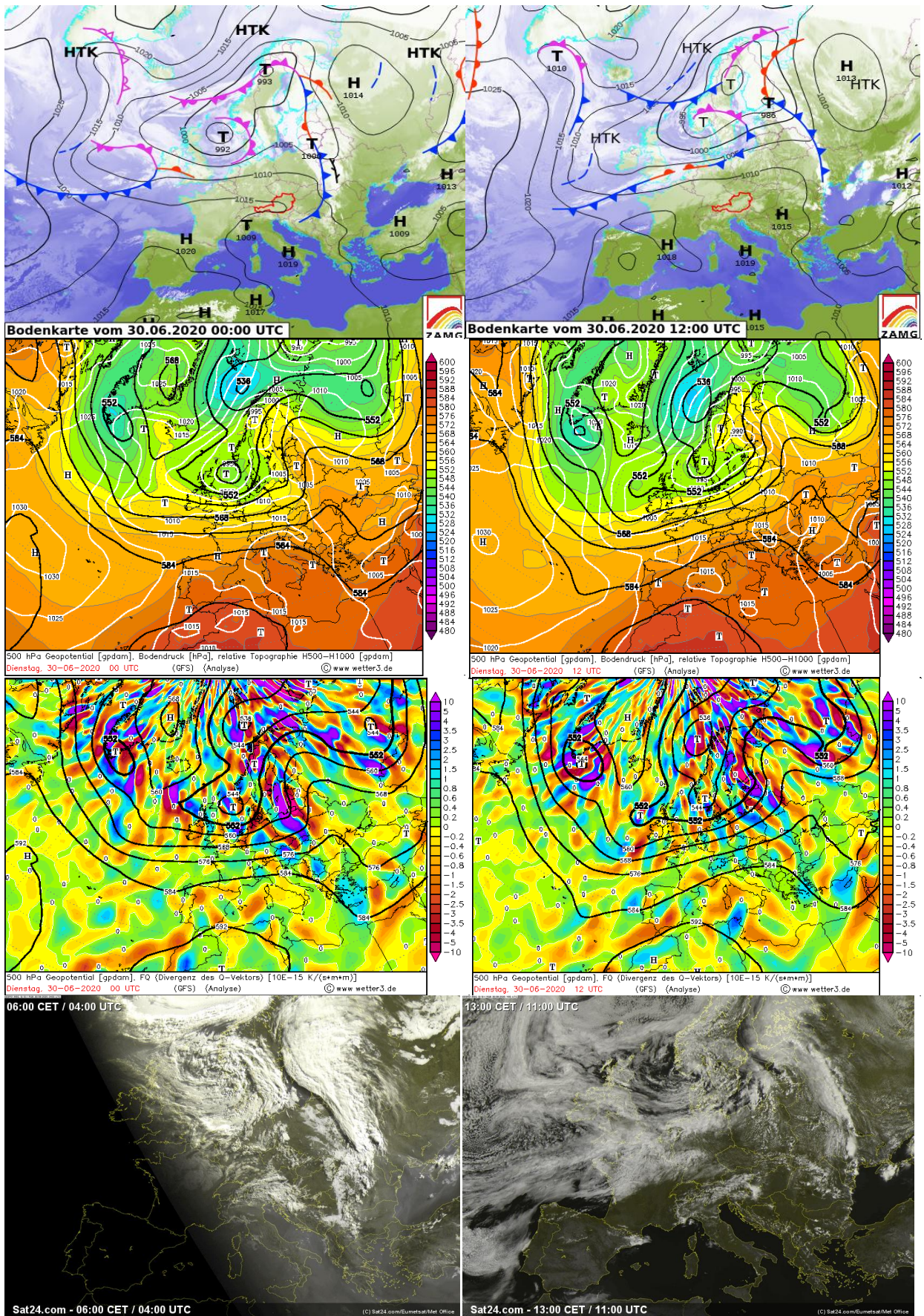


Рис. 2.28. Приземний аналіз [44], ВТ 500/100, АТ-500, карта вертикальних рухів [45] та хмарність 30.06.2020р.

Щодо індексу CAPE (рис. 2.29), то найбільших значень він досягає над територією Чорного моря та в зоні дії атмосферного фронту, в обидва строки. На момент виникнення явища значення індексу в місці виникнення сягало 500 Дж/кг, що відповідає невеликій нестійкості атмосфери: конвективній хмарності та зливовим опадам.

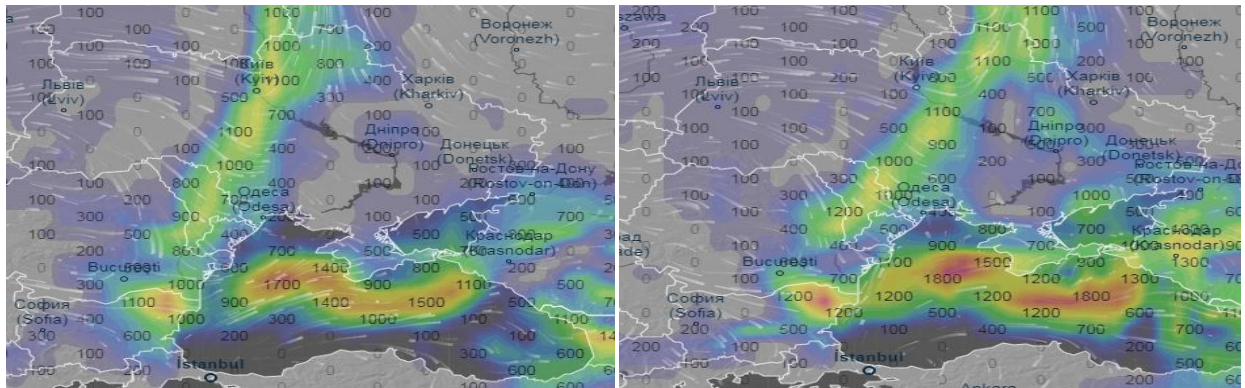


Рис. 2.29. Розподіл індексу CAPE за 09 та 12 UTC 30.06.2020 р.

Використовуючи архів продуктів наукастингу з ресурсу [46] можна відстежити розвиток та властивості хмарності напередодні смерчу з дискретністю за часом 15 хв (рис. 2.30).

Аналізуючи карти хмарності можна побачити, що вже в 10 UTC конвективна хмарність біля території Одеської області досягла значень близько 15 км, та впродовж наступної години не змінила своєї верхньої межі і змістилась на Одеську область. Температура верхньої межі цієї хмарності становила близько 200 К або -73°C , це говорить про те, що склалися умови для розвитку небезпечних конвективних явищ, таких як грози, град чи смерч.

Дана хмарність добре визначається на карті опадів, у вигляді невеликих скупчень, зокрема, є осередки над Одеською областю в 11 UTC, і представлені вони у вигляді осередків з 30-40% імовірністю опадів.

Автоматична інтерпретація хмарності (продукт ASII NWP) підтверджує наявність в строки 10 та 11 UTC над Одеською областю проходження холодного фронту та наявність поблизу області конвективних рухів.

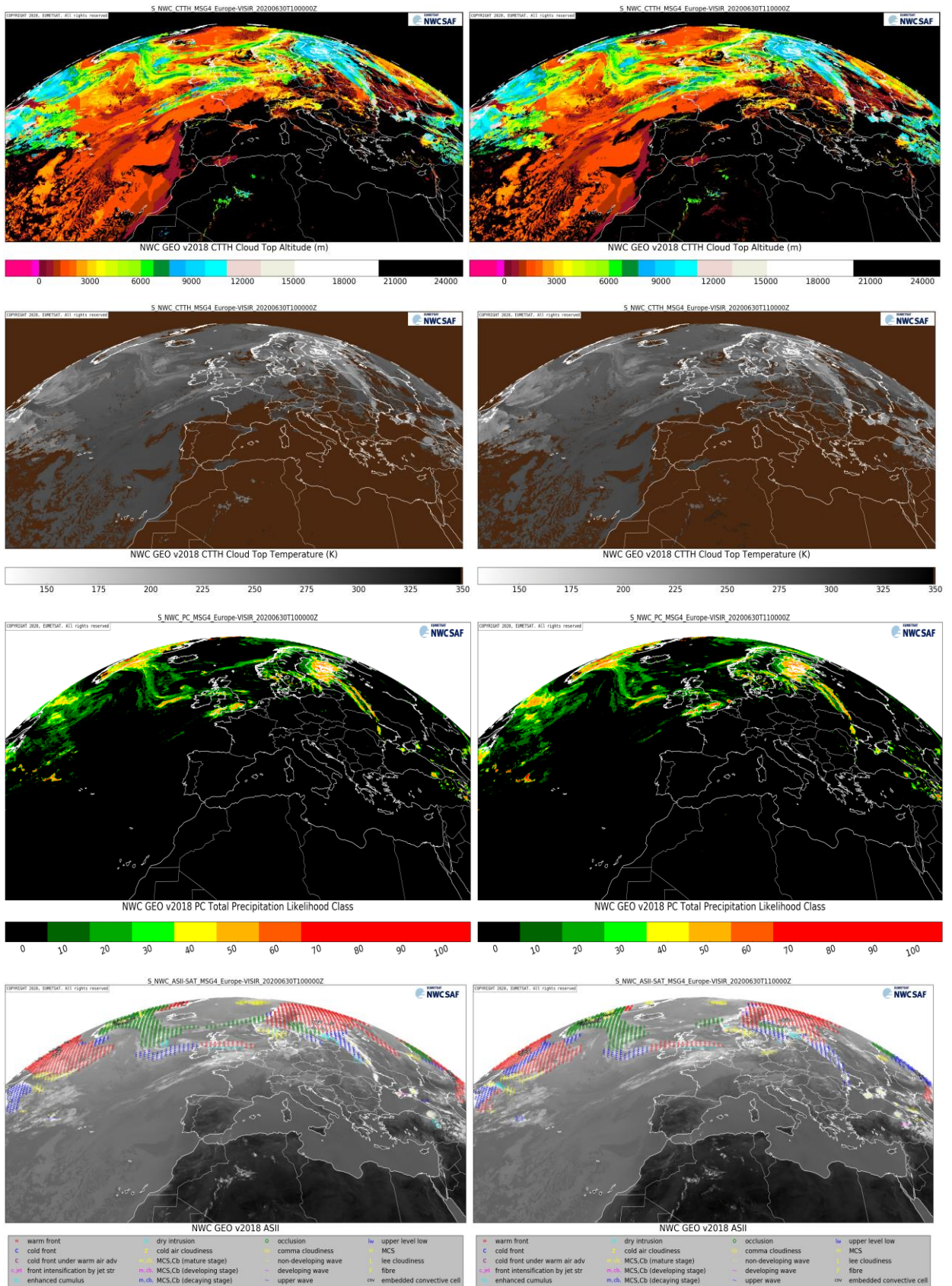


Рис. 2.30. Карти висоти та температури (СТТН) верхньої межі хмарності, характеру опадів з хмарності (TPLC) та інтерпретації хмарності за 10 та 11 годин 30.06.2020 р.

Отже, смерч 30 червня 2020 р. утворився в термічно нестійкій повітряній масі через проходження територією України холодного фронту та розвиток, в зв'язку з фронтом, конвективної хмарності над Одеською областю.

2.2.6. Аналіз синоптичних та метеорологічних умов виникнення смерчу над Одеською областю 25 липня 2020 р.

Друге явище смерчу в 2020 році поблизу Одеської області було зафіксоване 25 липня о 12:00 UTC, поблизу самого міста Одеса [42]. Згідно з Європейською базою даних смерч утворився над Чорним морем, там і спостерігався протягом всього періоду існування.



Рисунок 31. Смерч поблизу Одеської області 25 липня 2020 року.

25 липня 2020 р. на Україною в першу половину доби не спостерігалось жодної грозової діяльності. Вся центральна та західна територія країни в 00 UTC знаходилась в неоднорідному баричному полі. Яке було утворене улоговинами циклонів з центрами біля берегів Великої Британії і над Туреччиною, та Антициклонічними гребенями спрямованих з Атлантики та Скандинаві. Східна частина перебувала під дією другого антициклонічного гребеню вісь якого проходить через всю ЄТР. Атмосферний тиск над Одесою

становив 1013,9 гПа. Температура повітря над поверхнею моря та суші становила 23 та 30 °С відповідно.

Проаналізувавши готовність атмосфери до розвитку конвекції за даними радіозонду над Одесою за 00UTC, можна побачити нестійку стратифікацію атмосфери в шарі повітря від 3,1 до 4,4 км. Та певний поворот вітру від висоти 5,7 км та вище в напрямку від північно-західного до південно-західного, зі збільшенням швидкості вітру.

Ресурс [43] прогнозував високу імовірність розвитку небезпечних конвективних опадів та наявність гроз над Західною Україною через розвиток купчастої хмарності.

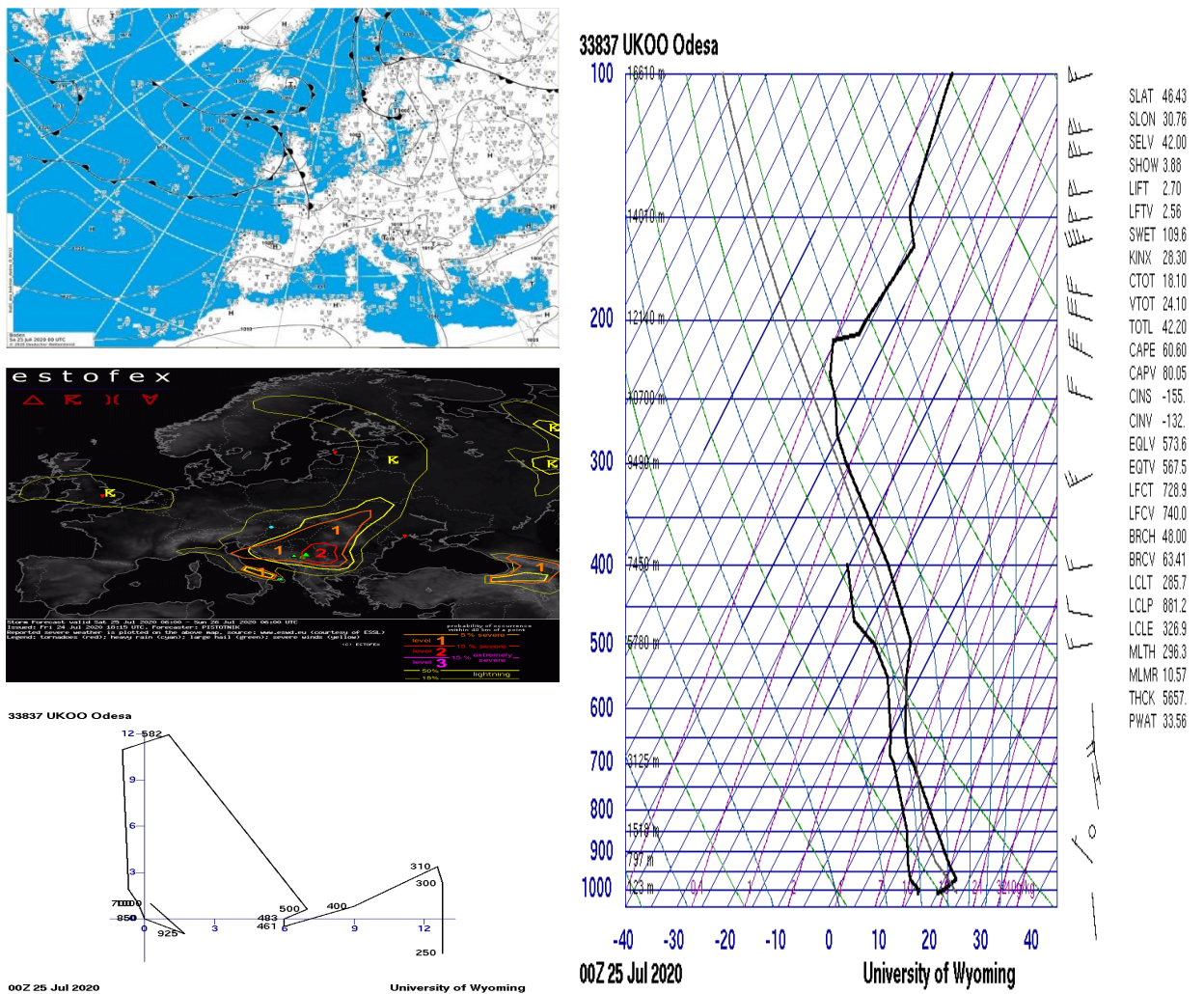


Рис. 2.32. Карта приземного аналізу, прогнозу небезпечних явищ на 25.07.2020 р., радіозонд та годограф над Одесою за 00 UTC

На приземних картах погоди ресурсу [44] від 06 UTC до 12 UTC (рис.2.33) простежується наявність фронту оклюзії біля західних кордонів країни. Впродовж вказаного періоду фронт зміщується на схід, разом з ним і фронтальна хмарність, але район утворення смерчу фронт не чіпає. Також за визначені строки видно наявність лінії сильних висхідних рухів, яка перемагається разом з оклюзією, та знаходиться в районі Адріатичного моря. На карті AT500 Україна також знаходиться в зоні розмитого баричного поля.

За строки 06 та 12 UTC на супутникових знімках спостерігається наявність шаруватої та купчастої хмарності в зоні дії фронту оклюзії. В 06UTC також простежується наявність хмарності в північних районах, на решті території країни, згідно зі знімком, досить чисте небо. До строку 12UTC поле хмарності розширюється, займаючи майже всю територію України, але ця хмарність не є небезпечною.

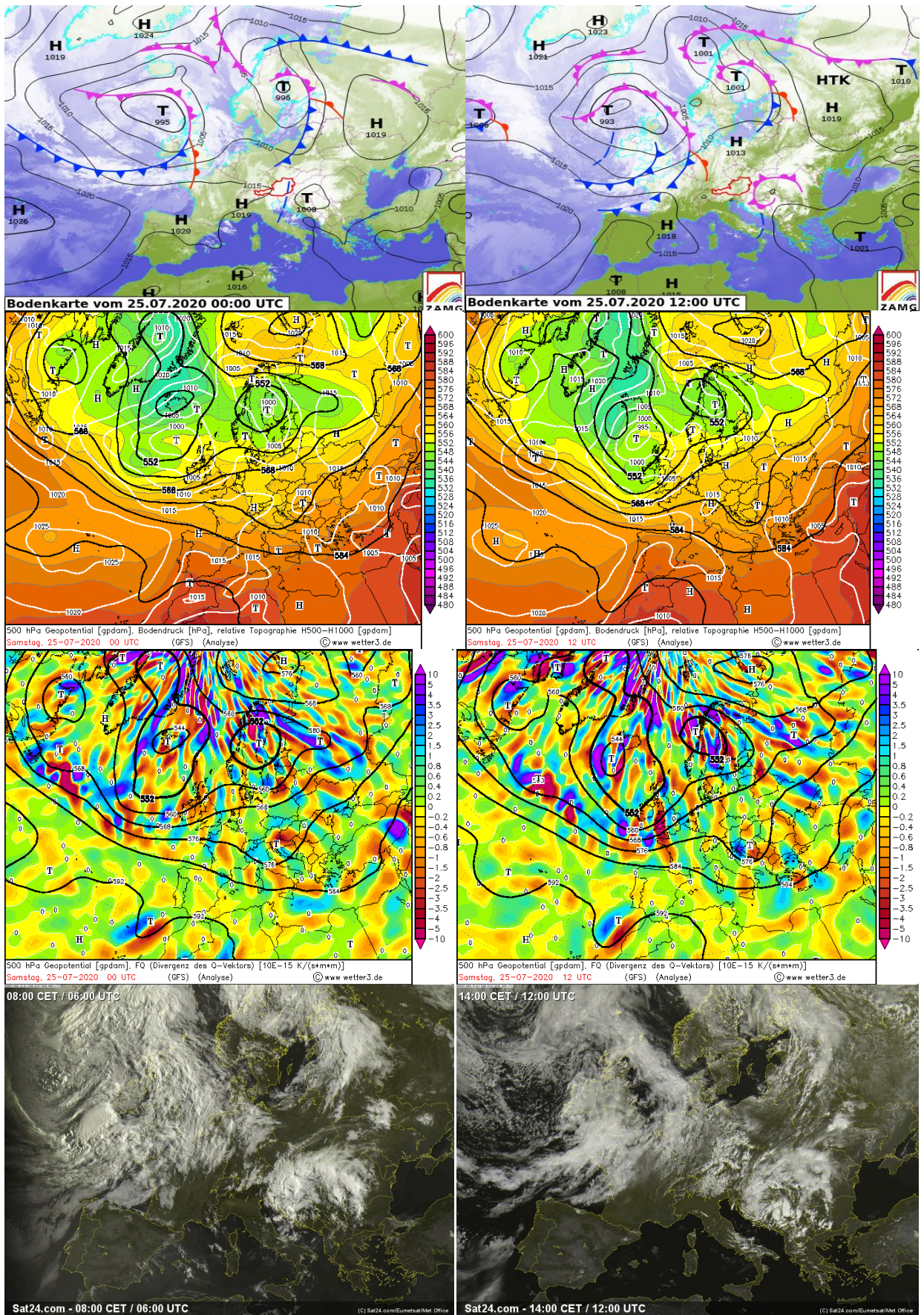


Рис. 2.33. Приземний аналіз [44], ВТ 500/100, АТ-500, карта вертикальних рухів [45] та хмарність 25.07.2020 р.

Щодо індексу CAPE (рис. 2.34), то доволі високих значень він досягає в зоні фронту оклюзії. В місці виникнення смерчу значення індексу дорівнює нулю в обидва строки.

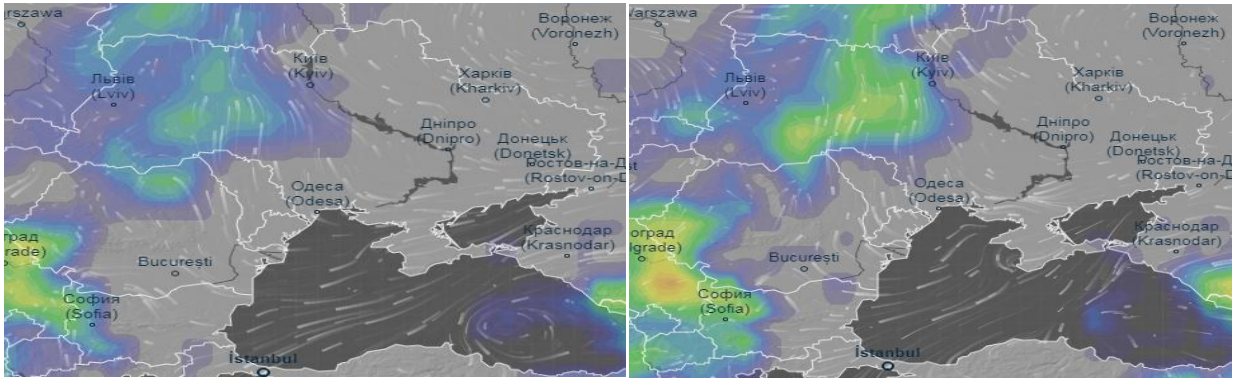


Рис. 2.34. Розподіл індексу CAPE за 09 та 12 UTC 25.007.2020 р.

Використовуючи архів продуктів наукастингу з ресурсу [46] можна відстежити розвиток та властивості хмарності напередодні смерчу з дискретністю за часом 15 хв (рис. 2.35).

Щодо смерчу 25 липня 2020 року на Одещиною, то на картах хмарності за строк 11 UTC можна побачити наявність хмарних утворень на заході України, з висотою верхньої межі хмарності 10 км, пов'язаної з фронтом оклюзії. Впродовж наступної години хмарне утворення трохи збільшилось в діаметрі не змінивши свого розташування. Температура верхньої межі склала 230 К або $-43\text{ }^{\circ}\text{C}$, тобто склалися певні умови для розвитку певних конвективний явищ.

Ця хмарність також простежується на карті опадів у вигляді скупчень. Але дані осередки займають лише, невеликий район західної України, також видно невеликий осередок над Києвом. Але, все ж конвективні опади присутні з імовірністю до 70%.

Автоматична інтерпретація хмарності (продукт ASII NWP) підтверджує наявність в строки 10 та 11 UTC над західною Україною наявність фронту оклюзії та разом з ним і розвиток хмарності різного типу.

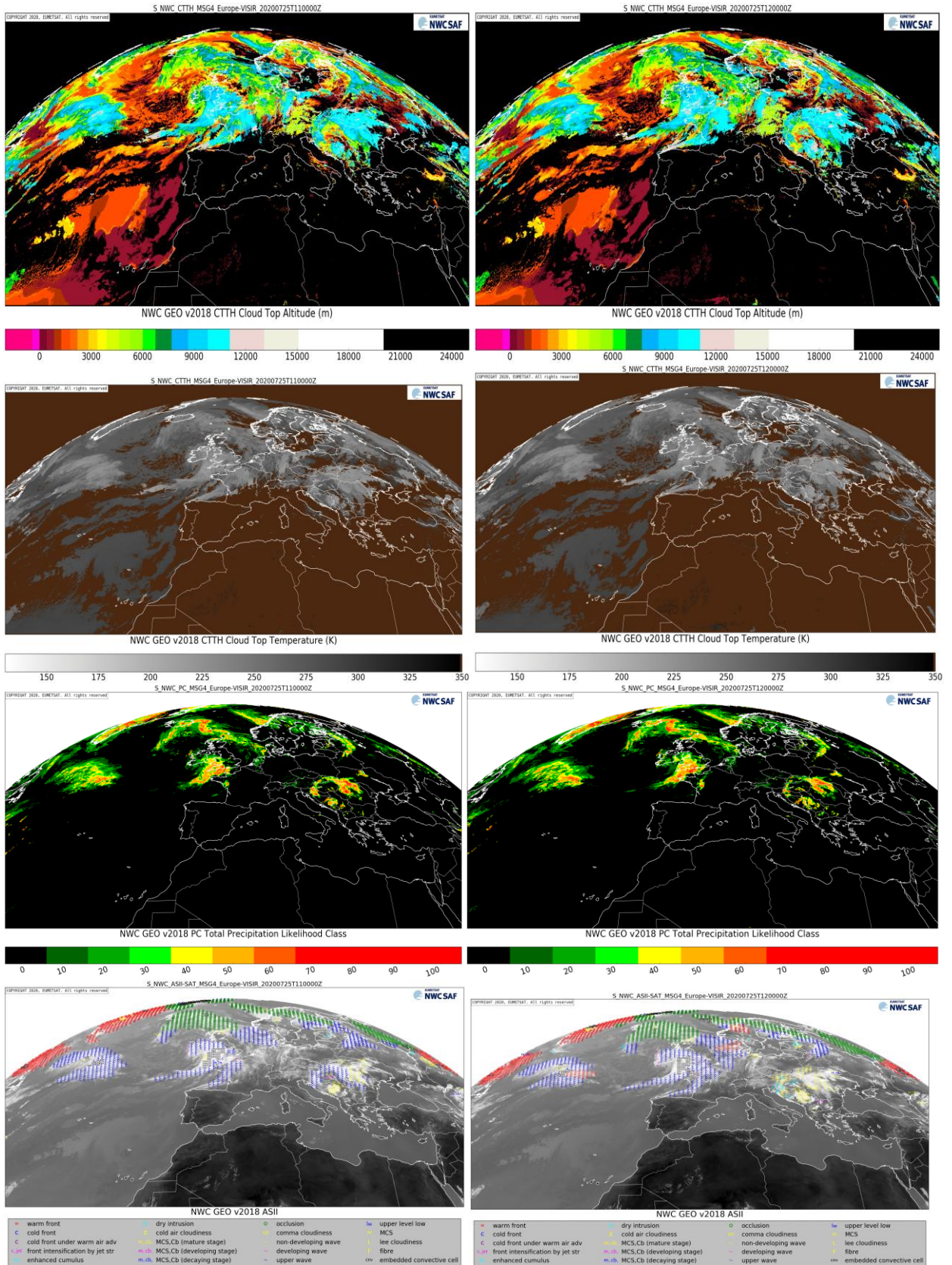


Рис. 2.35. Карти висоти та температури (СТТН) верхньої межі хмарності, характеру опадів з хмарності (TPLC) та інтерпретації хмарності за 11 та 12 годин 25.07.2020 р.

Отже, смерч 25 липня 2020 р. який утворився біля берегів Одеси, над Чорним морем, скоріше за все, був сформований через співдію декількох факторів, таких як: великий горизонтальний градієнт температури між узбережжям та точкою виникнення смерчу, висхідні рухи повітряних мас.

3. ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ СТАН АТМОСФЕРИ НАПЕРЕДОДНІ ВИНИКНЕННЯ СМЕРЧІВ НАД ОДЕСЬКОЮ ОБЛАСТЮ 2018- 2020РР.

3.1 Аналіз можливості виникнення суперосередків

3.1.1. Аналіз можливості виникнення суперосередку на передодні смерчу над Одеською областю 17 червня 2018 р.

Годограф швидкості вітру - це крива, яка з'єднує кінці векторів швидкості за різні проміжки часу, відраховані від однієї точки. Він вказує на можливість розвитку суперосередку в хмарі, та можливість виникнення стихійних явищ. Чим довший годограф, тим сильніший зсув вітру. Також важливу роль грає форма годографу, чим більш не лінійну форму він має, тим можливіше утворення небезпечних явищ.

Аналізуючи карти хмарності 17 червня 2018 року за строки 00,06,09,12 UTC, видно, що над місцем виникнення смерчу спостерігалася конвективна хмарність, тобто у випадку сприятливих умов було цілком можливе виникнення суперосередку (рис. 3.1-3.4).

Побудувавши годографи вітру за визначені строки та об'єднавши їх з хмарністю, можна зробити наступні висновки:

Годограф за строк 00 UTC (рис. 3.1) має виражену кривизну, яка простежується від поверхні землі до висоти 850 гПа – завихрення за годинниковою стрілкою. Це вказує на те, що вже вночі почали складатись умови для виникнення суперосередку.

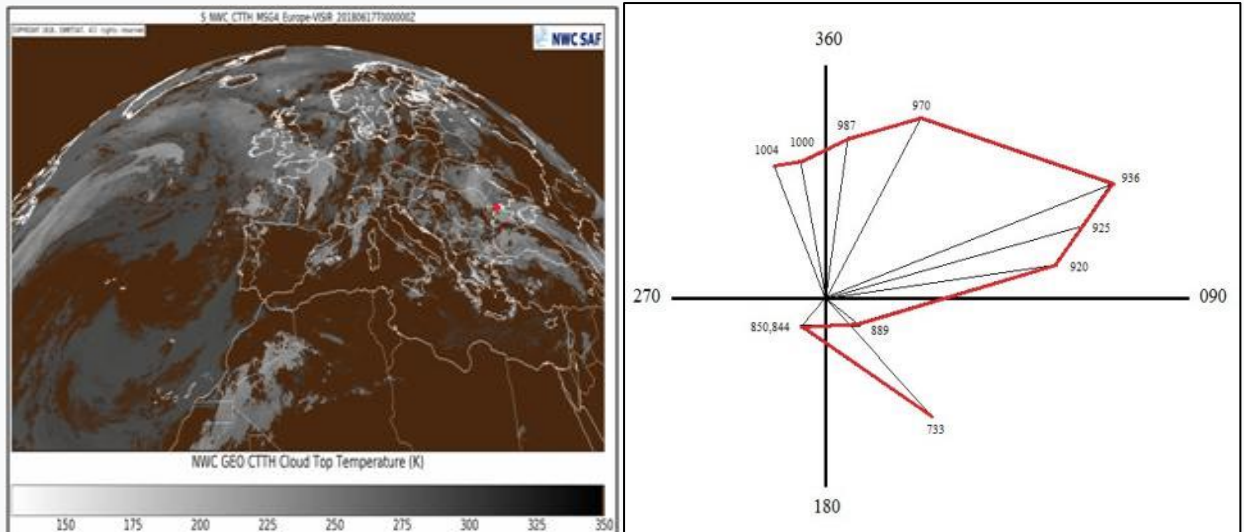


Рис. 3.1. Хмарність та годограф вітру над Одесою 17 червня 2018 р. о 00 UTC

Годографи за 06 та 09 UTC (рис. 3.2, 3.3) також мають певну кривизну, але вже меншої інтенсивності, ніж за 00 UTC, але вона простежується від поверхні землі до рівня 500 гПа – завихрення за годинниковою стрілкою. За ці строки завихрення зберігалось до 5 км, що свідчить про розвиток конвективного осередку з плином часу.

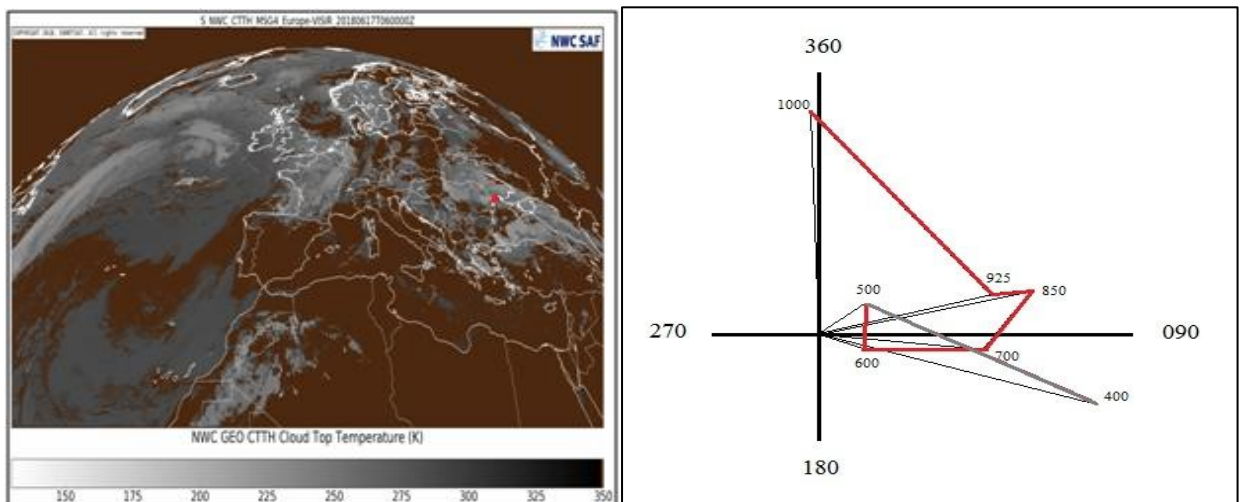


Рис. 3.2. Хмарність та годограф вітру над Одесою 17 червня 2018 р. о 06 UTC

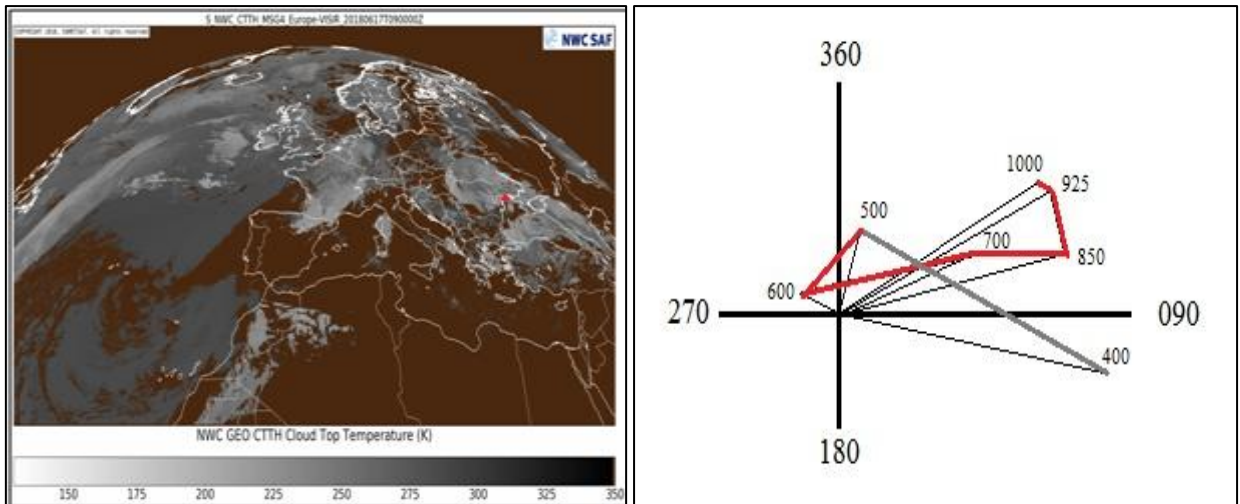


Рис. 3.3. Хмарність та годограф вітру над Одесою 17 червня 2018 р. о 09 UTC

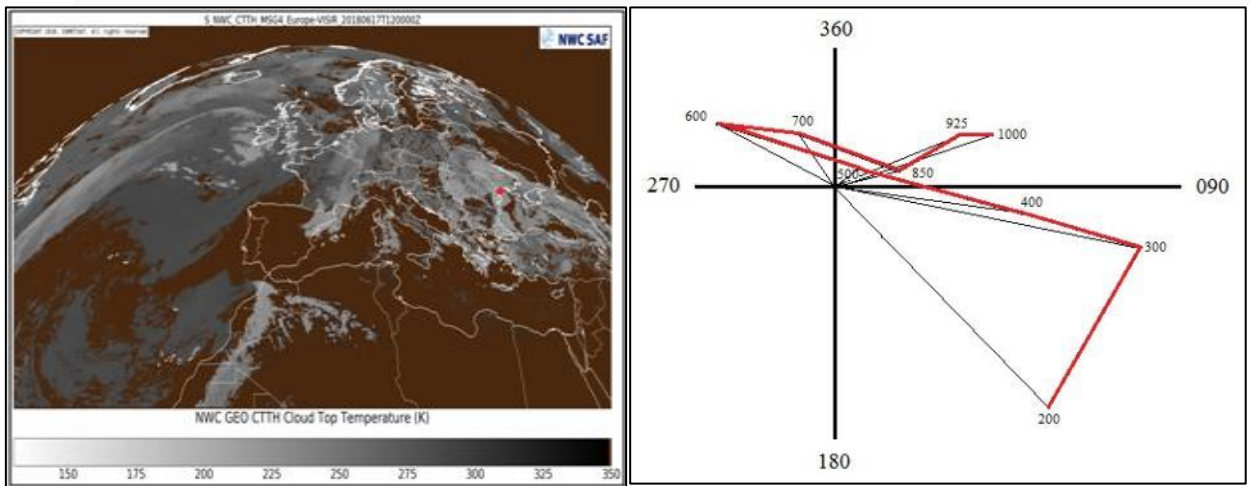


Рис. 3.4. Хмарність та годограф вітру над Одесою 17 червня 2018 р. о 12 UTC

Годограф за 12 UTC (рис 3.4) не має яскраво вираженої кривизни, що підтверджує припинення розвитку конвективного осередку, а з ним і небезпечних конвективних явищ.

Отже, загальний вигляд, довжина та форма годографів 17 червня 2018 р. над Одесою може свідчити про наявність значного зсуву вітру у нижній тропосфері та про високу імовірність розвитку конвективного шторму.

3.1.2. Аналіз можливості виникнення суперосередку на передодні смерчу над Одеською областю 03 липня 2018 р.

Аналізуючи карти хмарності 03 липня 2018 року за строки 00,06,12,15 UTC, видно, що над місцем виникнення смерчу спостерігався хмарний осередок.

Побудувавши годографи вітру за визначені строки та об'єднавши їх з хмарністю, можна зробити наступні висновки:

Годограф за строк 00 UTC (рис. 3.5) не має виражену кривизну. Це вказує на те, що вночі умови для виникнення суперосередку не склалися.

Годограф за 06 UTC (рис. 3.6) має певну кривизну, невеликої інтенсивності, вона простежується від поверхні землі до рівня 700 гПа – завихрення за годинниковою стрілкою. Від висоти 700 гПа до 500 гПа спостерігається завихрення проти годинникової стрілки, тобто наявна адвекція холоду.

Годограф за 12 UTC (рис. 3.7) на висоті від 700 до 200 гПа має завихрення проти годинникової стрілки (адвекція холоду).

Годограф за 15 UTC (рис. 3.8) має яскраво виражену кривизну проти годинникової стрілки.

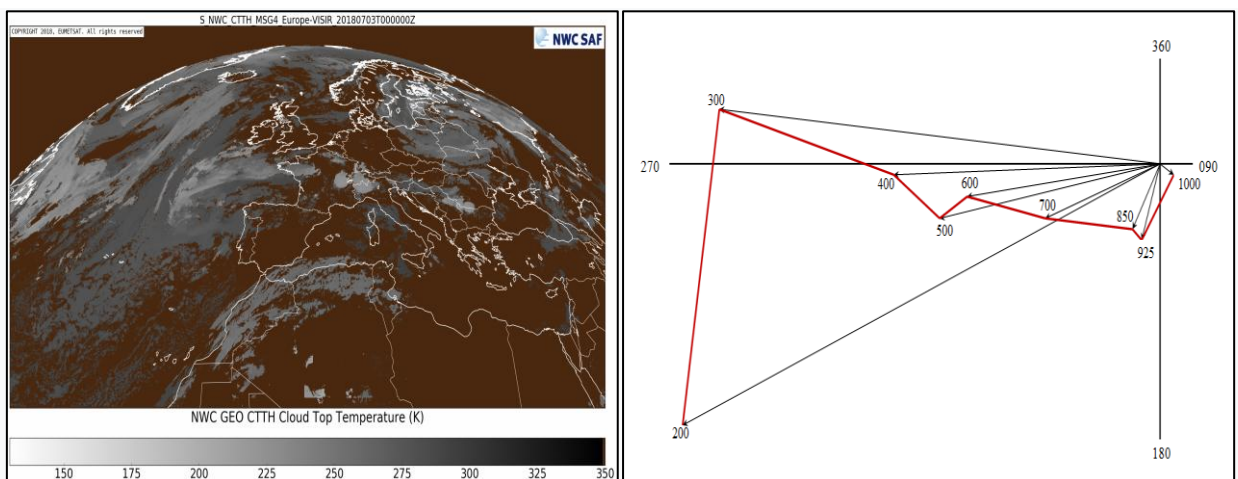


Рис. 3.5. Хмарність та годограф вітру над Одесою 3 липня 2018 р. о 00 UTC

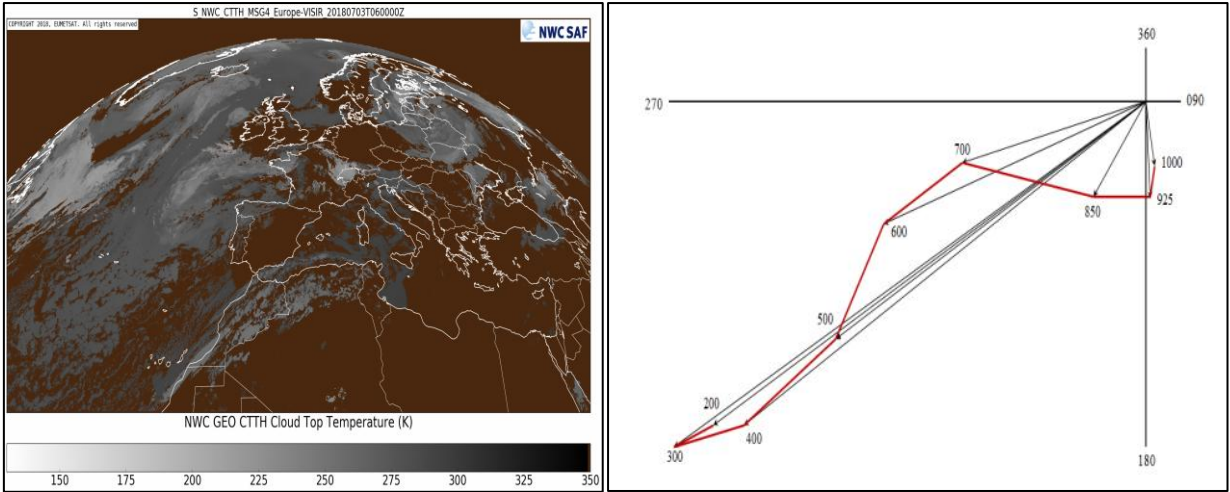


Рис. 3.6. Хмарність та годограф вітру над Одесою 3 липня 2018 р. о 06 UTC

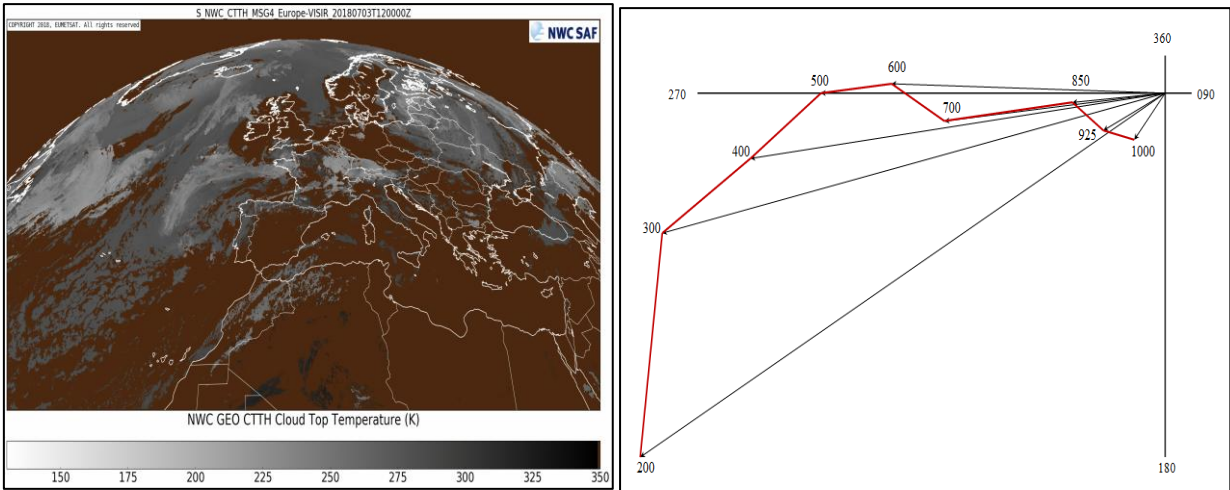


Рис. 3.7. Хмарність та годограф вітру над Одесою 3 липня 2018 р. о 09 UTC

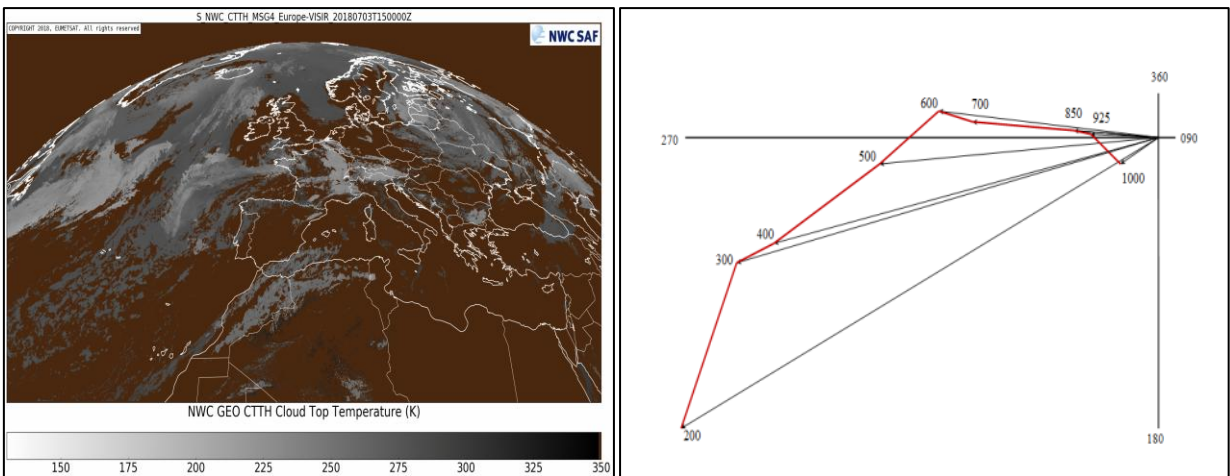


Рис. 3.8. Хмарність та годограф вітру над Одесою 3 липня 2018 р. о 12 UTC

Отже, загальний вигляд, довжина та форма годографів 3 липня 2018 р. над Одесою може свідчити про наявність значного зсуву вітру у нижній тропосфері та про певну імовірність розвитку конвективного шторму.

3.1.3. Аналіз можливості виникнення суперосередку на передодні смерчу над Одеською областю 05 червня 2019 р.

Аналізуючи карти хмарності 17 червня 2018 року за строки 00,06,09,12 UTC, видно, що над місцем виникнення смерчу спостерігалися невеликі гряди конвективної хмарності.

Побудувавши годографи вітру за визначені строки та об'єднавши їх з хмарністю, можна зробити наступні висновки:

Годограф за строк 00 UTC (рис. 3.8) має виражену кривизну, яка простежується від поверхні землі до висоти 600 гПа – завихрення за годинниковою стрілкою. Це вказує на те, що вночі склалися можливі умови для виникнення суперосередку.

Годографи за 06, 09 та 12 UTC (рис. 3.10, 3.11, 3.12) не мають яскраво вираженого завихрення яке могло б сприяти утворенню суперосередку.

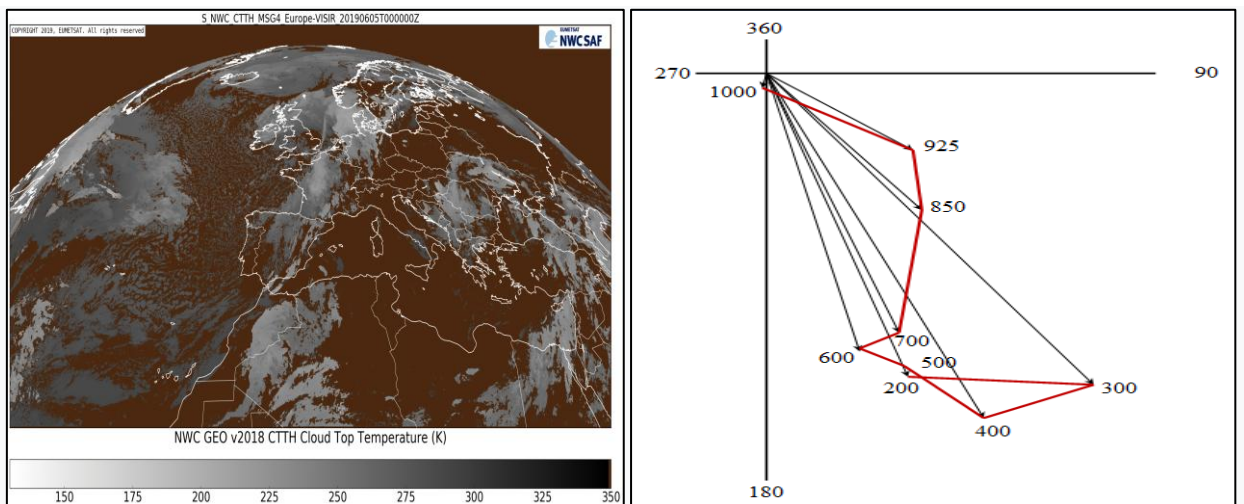


Рис. 3.9. Хмарність та годограф вітру над Одесою 05 червня 2019 р. о 00 UTC

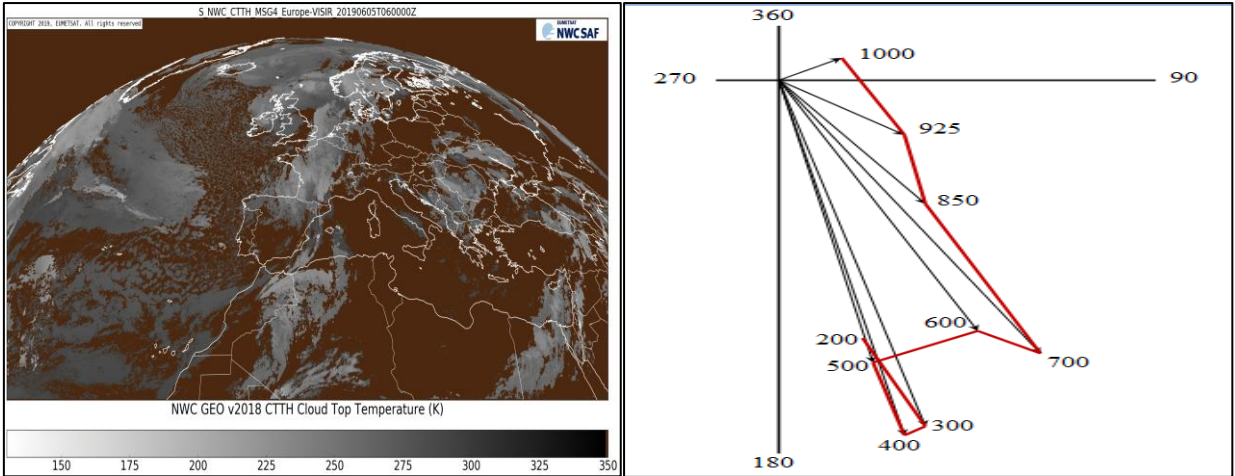


Рис. 3.10. Хмарність та годограф вітру над Одесою 05 червня 2019 р. о 06 UTC

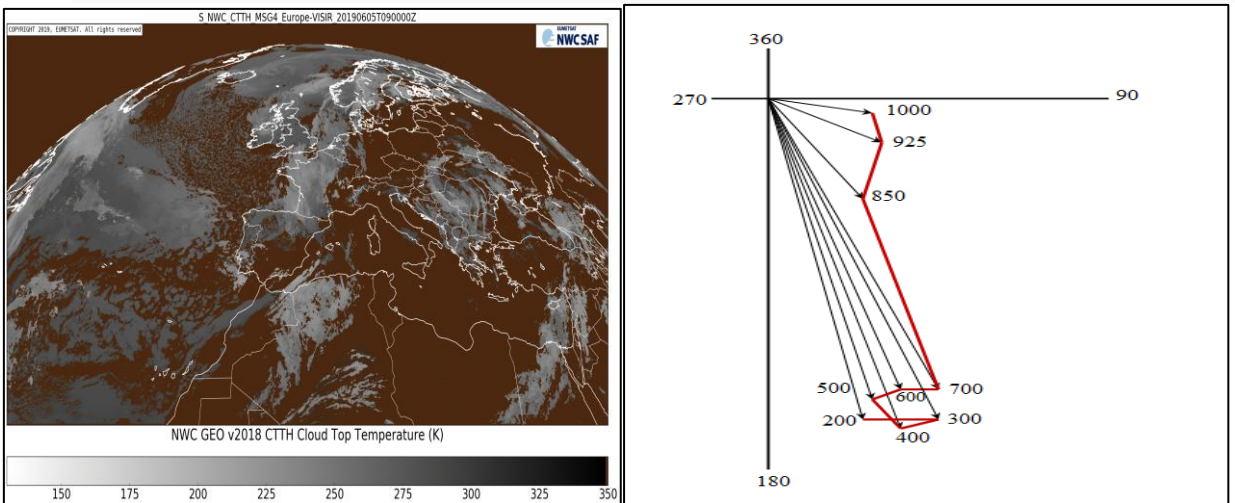


Рис. 3.11. Хмарність та годограф вітру над Одесою 05 червня 2019 р. о 09 UTC

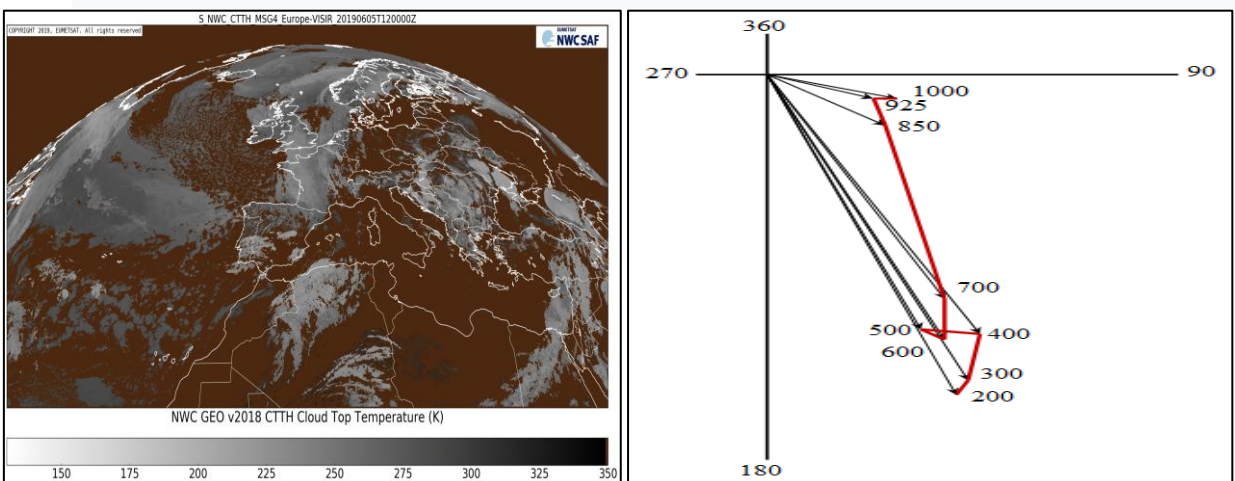


Рис. 3.12. Хмарність та годограф вітру над Одесою 05 червня 2019 р. о
12 UTC

Отже, загальний вигляд, довжина та форма годографів 05 червня 2019 р. над Одесою може свідчити про те, що в цей день не склалися умови для розвитку значного зсуву вітру у нижній тропосфері та конвективного шторму.

3.1.4. Аналіз можливості виникнення суперосередку на передодні смерчу над Одеською областю 03 серпня 2019 р.

Аналізуючи карти хмарності 03 серпня 2018 року за строки 00,06,09,12 UTC, видно, що над місцем виникнення смерчу спостерігалася конвективна хмарність, тобто у випадку сприятливих умов було цілком можливе виникнення суперосередку.

Побудувавши годографи вітру за визначені строки та об'єднавши їх з хмарністю, можна зробити наступні висновки:

Годограф за строк 00 UTC (рис. 3.13) має виражену кривизну проти годинникової стрілки від поверхні землі до висоти 500 гПа. Також на висоті від 500 до 200 гПа простежується невелика завихреність за годинниковою стрілкою. Тобто, Вночі почали складатись умови для виникнення суперосередку.

Годографи за 06 UTC (рис. 3.14) має певну кривизну, невеликої інтенсивності, яка простежується від рівня 700 до 500 гПа – завихрення за годинниковою стрілкою.

Годограф за 09 UTC (рис 3.15) не має яскраво вираженої кривизни.

Годограф за 12 UTC (рис 3.16) має певну кривизну за годинниковою стрілкою, від поверхні землі до висоти 600 гПа.

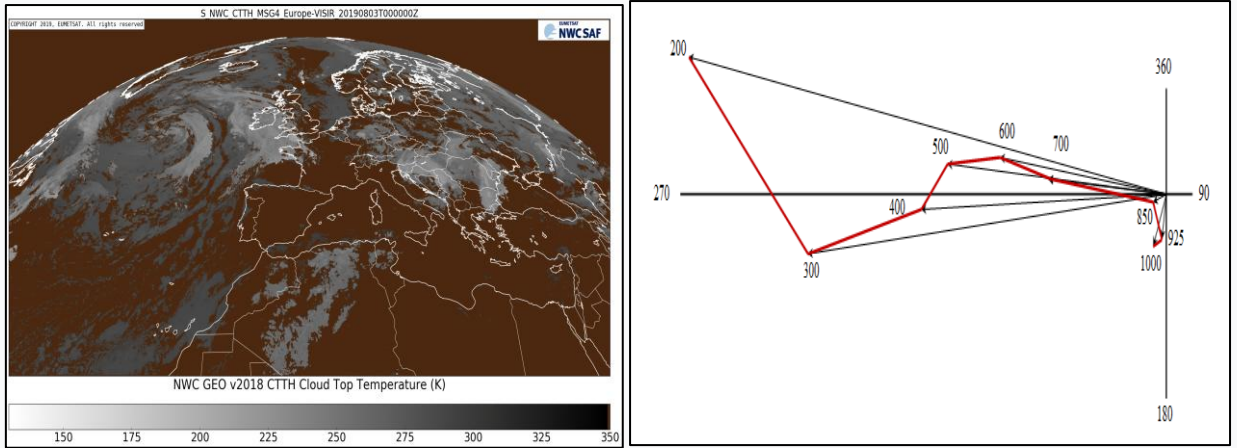


Рис. 3.13. Хмарність та годограф вітру над Одесою 03 серпня 2019 р. о 00 UTC

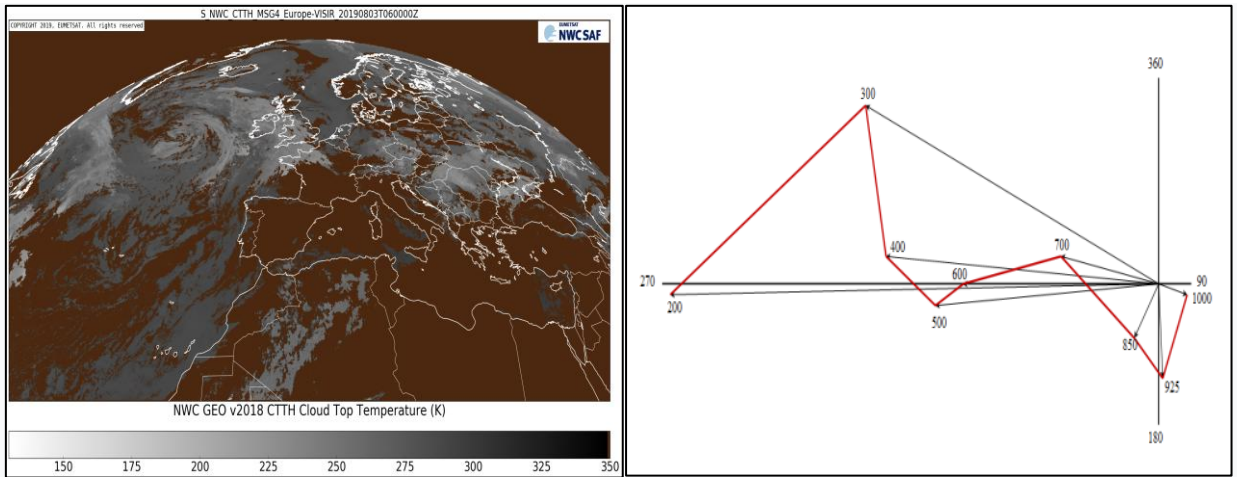


Рис. 3.14. Хмарність та годограф вітру над Одесою 03 серпня 2019 р. о 06 UTC

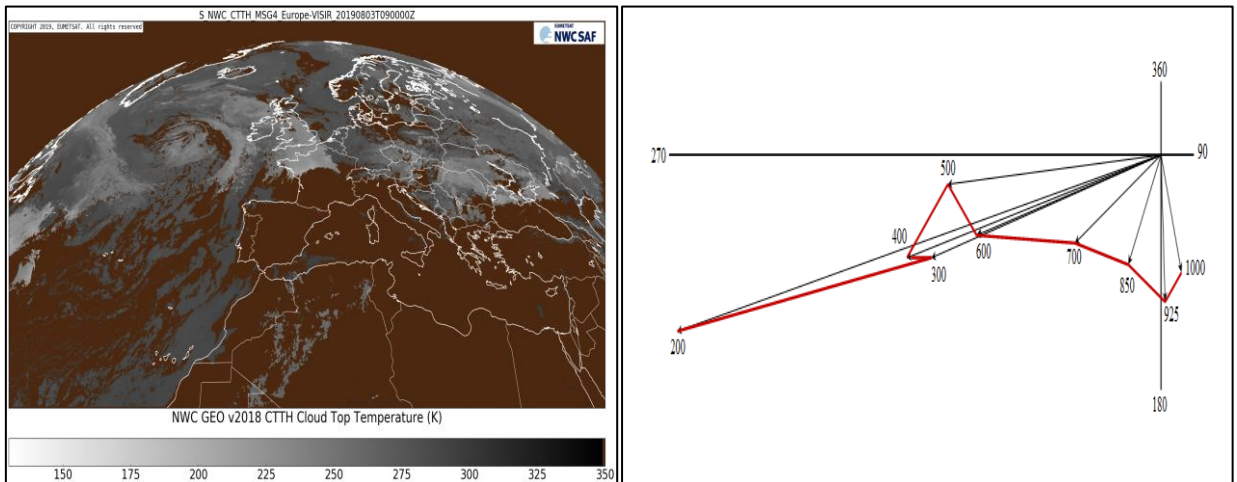


Рис. 3.15. Хмарність та годограф вітру над Одесою 03 серпня 2019 р. о 09 UTC

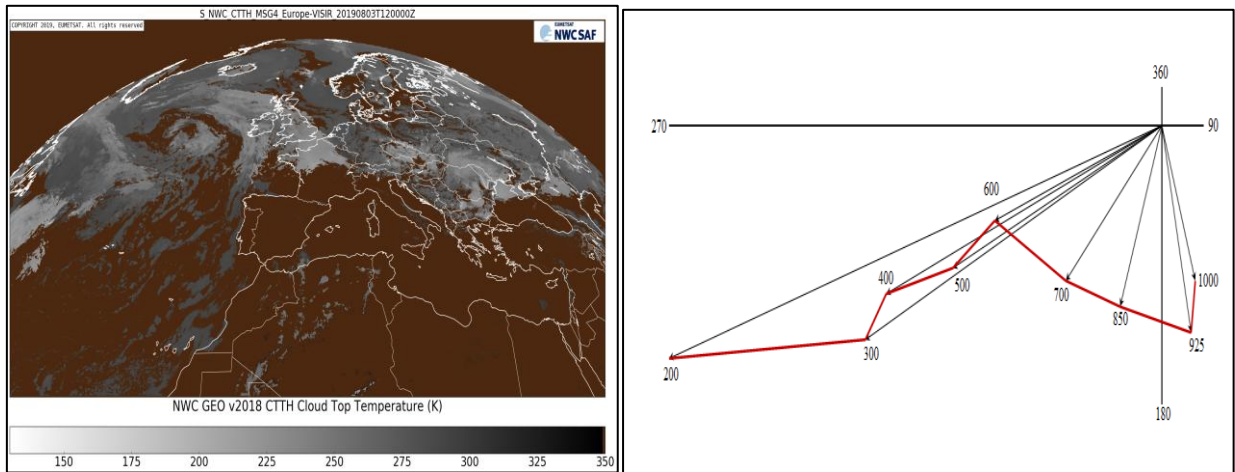


Рис. 3.16. Хмарність та годограф вітру над Одесою 03 серпня 2019 р. о 12 UTC

Отже, загальний вигляд, довжина та форма годографів 03 серпня 2019 р. над Одесою може свідчити про наявність значного зсуву вітру у нижній тропосфері та про високу імовірність розвитку конвективного шторму.

3.1.5. Аналіз можливості виникнення суперосередку на передодні смерчу над Одеською областю 30 серпня 2020 р.

Аналізуючи карти хмарності 30 серпня 2020 року за строки 00,06,09,12 UTC, видно, що над місцем виникнення смерчу спостерігалася конвективна хмарність, тобто у випадку сприятливих умов було цілком можливе виникнення суперосередку.

Побудувавши годографи вітру за визначені строки та об'єднавши їх з хмарністю, можна зробити наступні висновки:

Годограф за строк 00 UTC (рис. 3.17) має виражену кривизну за годинниковою стрілкою від поверхні землі до висоти 500 гПа. Тобто, вночі почали складатись певні умови для виникнення суперосередку.

Годограф за 06 UTC (рис. 3.18) має кривизну, яка простежується від землі до висоти 400 гПа – завихрення за годинниковою стрілкою.

Годограф за 09 UTC (рис. 3.19) також має певну кривизну від поверхні 600 гПа до 200 гПа.

Годограф за 12 UTC (рис 3.20) теж має кривизну за годинниковою стрілкою, від 700 до 200 гПа.

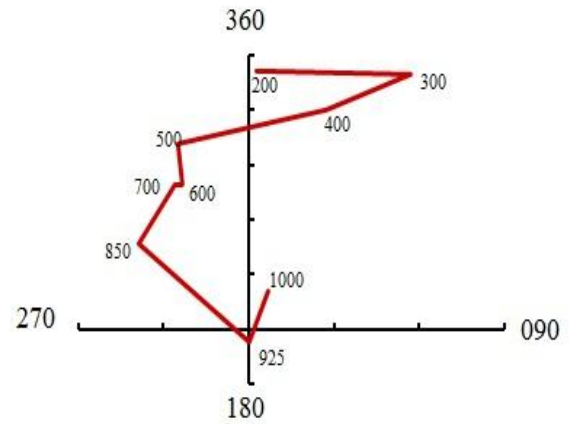
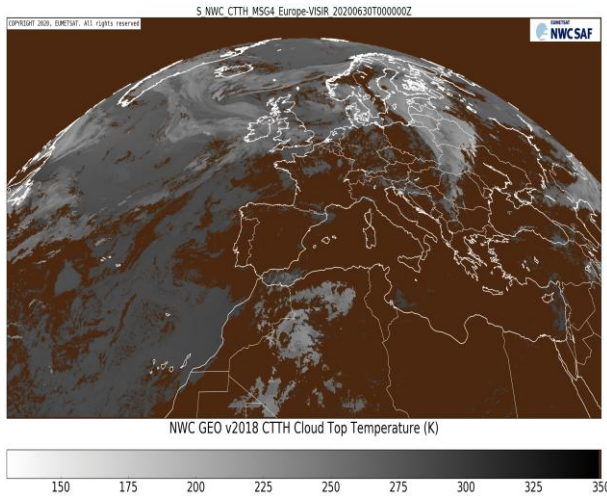


Рис. 3.17. Хмарність та годограф вітру над Одесою 30 серпня 2020 р. о 00UTC

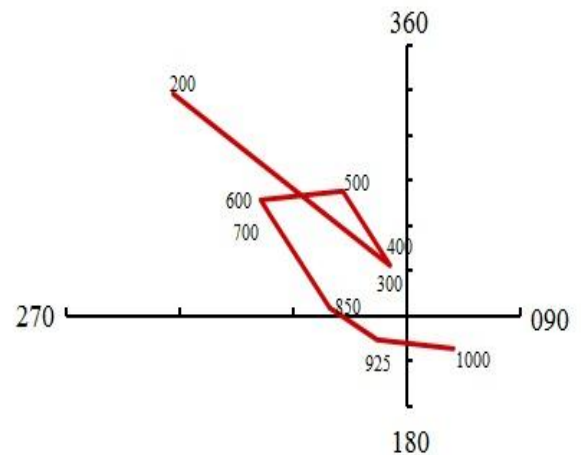
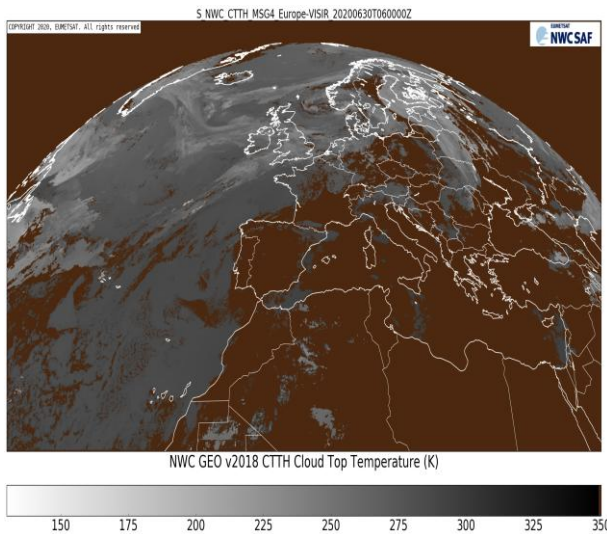


Рис. 3.18. Хмарність та годограф вітру над Одесою 30 серпня 2020 р. о 06UTC

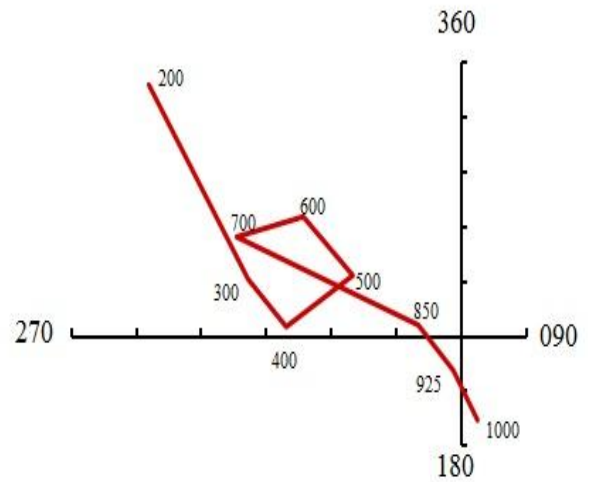
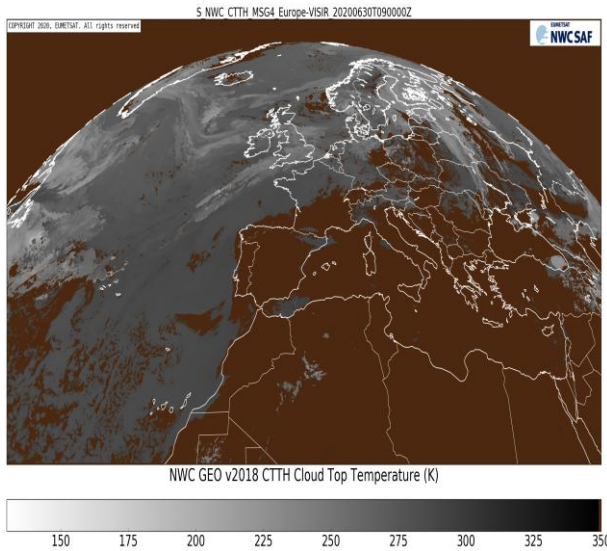


Рис. 3.19. Хмарність та годограф вітру над Одесою 30 серпня 2020 р. о 09 UTC

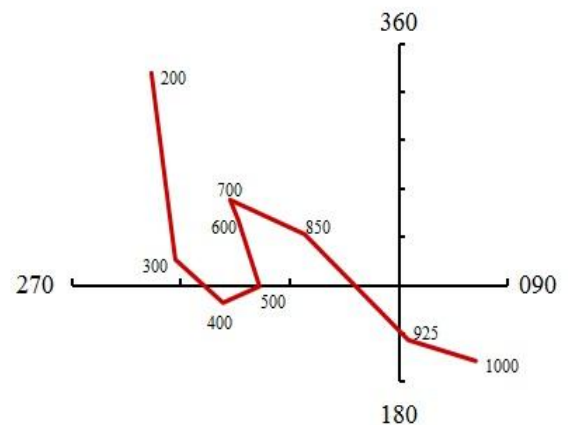
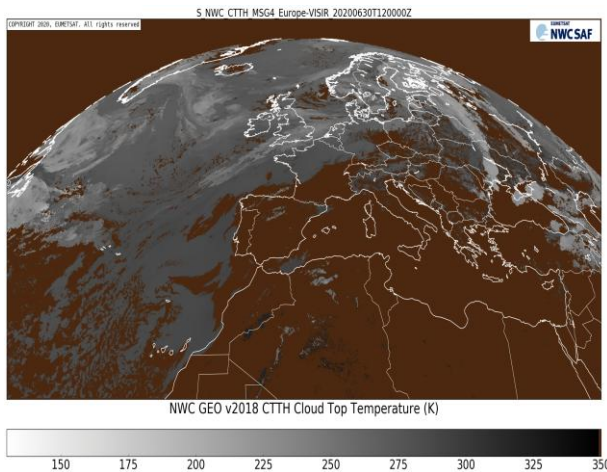


Рис. 3.20. Хмарність та годограф вітру над Одесою 30 серпня 2020 р. о 12 UTC

Отже, загальний вигляд, довжина та форма годографів 30 серпня 2020 р. над Одесою може свідчити про наявність значного зсуву вітру у нижній тропосфері та про високу імовірність розвитку конвективного шторму.

3.1.6. Аналіз можливості виникнення суперосередку на передодні смерчу над Одеською областю 25 липня 2020 р.

Аналізуючи карти хмарності 25 липня 2020 року за строки 00,06,09,12 UTC, над місцем виникнення смерчу не спостерігалось конвективної хмарності, але все ж були побудовані годографи для повноти дослідження.

Побудувавши годографи вітру за визначені строки та об'єднавши їх з хмарністю, можна зробити наступні висновки:

На годографах за 00, 06, та 09 UTC (рис. 3.21, 3.22, 3.23) не простежується жодної кривизни за з висотою.

Годограф за 12 UTC (рис. 3.24) має певну кривизну проти годинникової стрілки, від поверхні землі до 700 гПа, дана тенденція годографа спостерігається саме на момент виникнення смерчу.

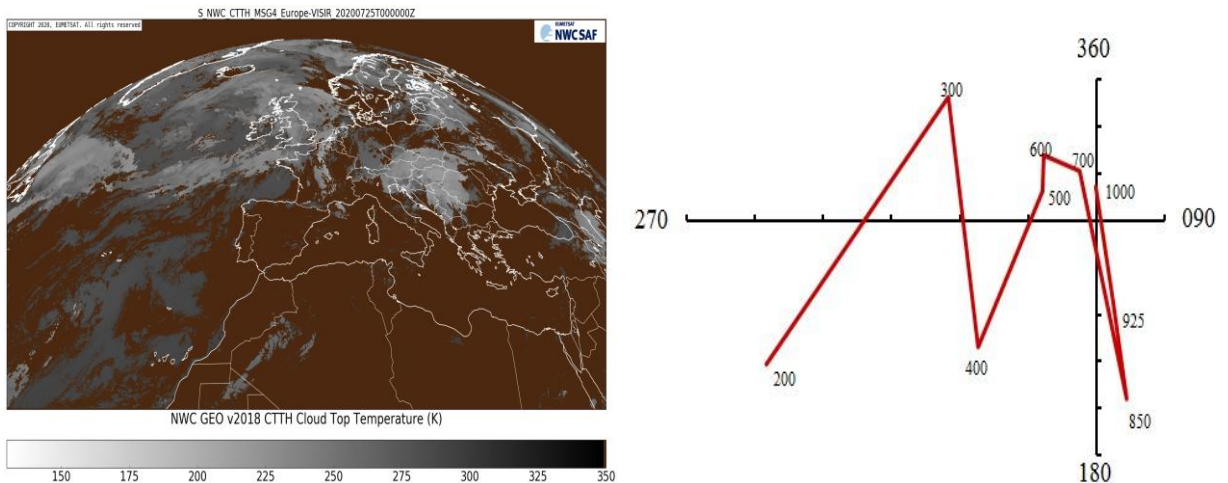


Рис. 3.21. Хмарність та годограф вітру над Одесою 25 липня 2020 р. о 00UTC

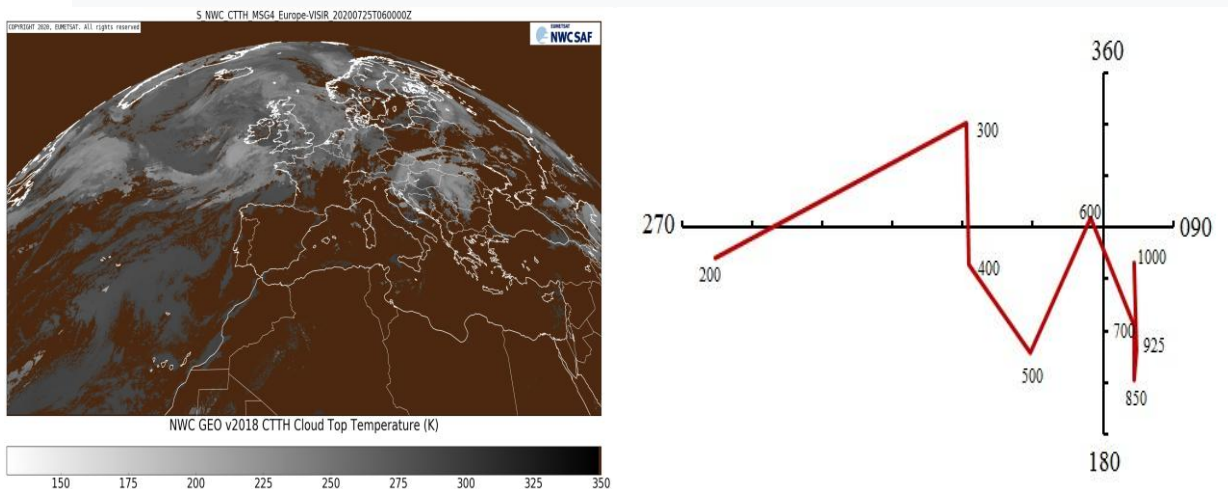


Рис. 3.22. Хмарність та годограф вітру над Одесою 25 липня 2020 р. о 06 UTC

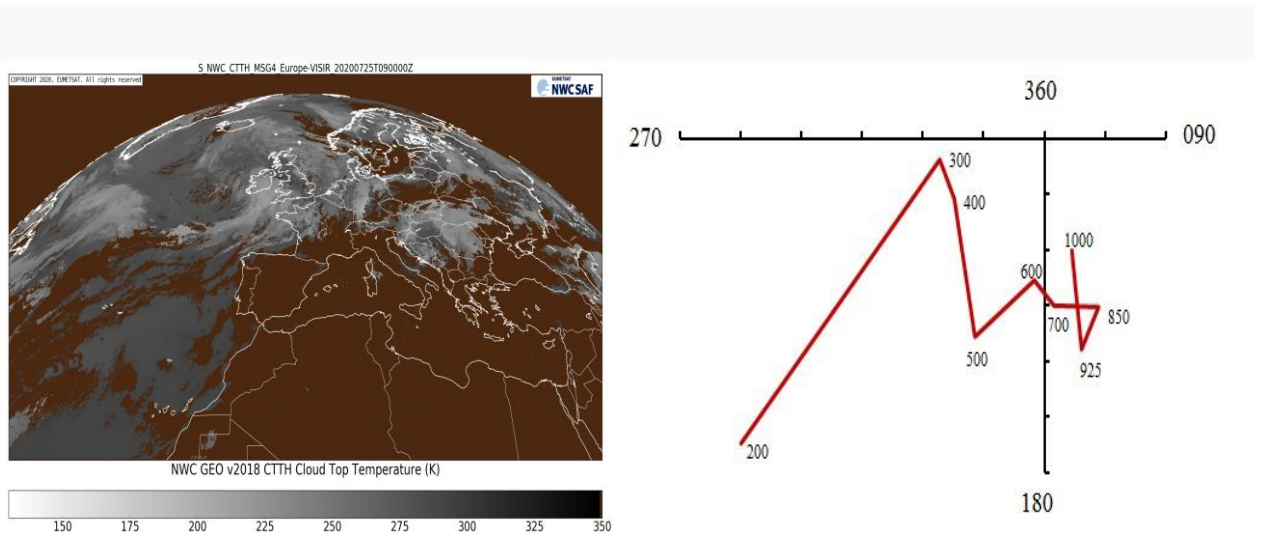


Рис. 3.23. Хмарність та годограф вітру над Одесою 25 липня 2020 р. о 09 UTC

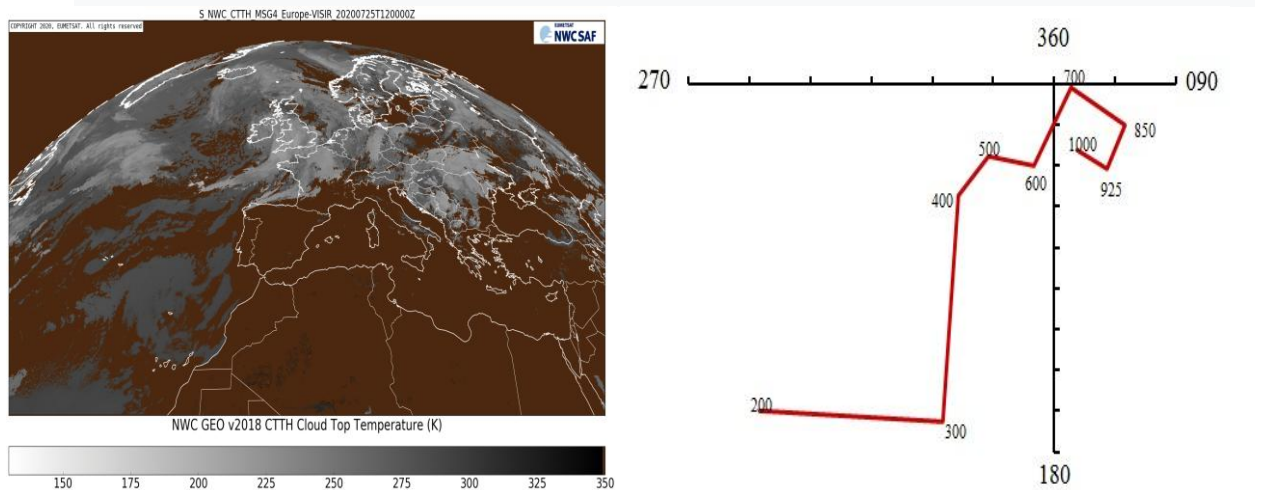


Рис. 3.24. Хмарність та годограф вітру над Одесою 25 липня 2020 р. о 12 UTC

Отже, загальний вигляд, довжина та форма годографів 25 липня 2020 р. над Одесою може свідчити про те що в даний період не склалися умови для розвитку значного зсуву вітру у нижній тропосфері та конвективного шторму. А кривизна годографу о 12 UTC може бути пов'язана з самим смерчем.

3.2. Індeksi нестійкості атмосфери та її готовності до розвитку суперосередків.

В даний час в деяких прогностичних моделях погоди для прогнозу розвитку грози, граду, шквалу та інших небезпечних явищ погоди, обумовлених розвитком конвекції, практикується використання значень індексів, що характеризують конвекцію за низкою параметрів [18, 49].

Кількісні значення індексів нестійкості, що розраховані на основі даних аерологічного зондування, дозволяють визначити потужність конвекції і, як наслідок, ймовірність розвитку того чи іншого небезпечного конвективного явища в альтернативних прогнозах.

Одним з найбільш часто використовуваних індексів є така характеристика потужності нестійкого шару, як конвективна потенційна енергія. Її досить ефективно відображає індекс CAPE (Convective Available Potential Energy), який розраховується за формулою:

$$CAPE = g \int_{LFCT}^{EL} dz * (Ti - Te) / Te, \quad (3.1)$$

де, T_i – температура частки повітря, T_e – температура навколишнього повітря, g – прискорення вільного падіння, $LFCT$ – рівень конденсації, EL – рівень конвекції.

Загальний запас енергії нестійкості в атмосфері CAPE знаходиться як алгебраїчна сума енергій нестійкості окремих шарів від рівня конденсації до рівня конвекції.

Більш високі значення енергії нестійкості вказують на більш інтенсивну конвекцію в хмарі, тобто на більш небезпечні явища погоди. Енергія нестійкості або індекс CAPE є незмінним предиктором в прогнозі небезпечних явищ, пов'язаних з конвекцією. Високий рівень потенційної енергії атмосфери є неодмінною умовою того, що піднімається частка

досягне значно більших висот, ніж рівень вільної конвекції, а, отже, збільшується небезпека розвитку таких явищ погоди як гроза і град.

Аналіз значень цього індексу в конвективній атмосфері дозволить кількісно оцінити ступінь розвитку конвекції і ймовірність утворення грози і граду (табл. 3.1).

Метеорологами ВПС США (1994 р.) був розроблений комплексний критерій для діагнозу і прогнозу небезпечних і стихійних явищ погоди, пов'язаних з конвективною хмарністю – індекс нестійкості SWEAT – (Severe Weather ThrEAT), який містить в себе індекс нестійкості повітряної маси, швидкість і зсув вітру.

$$SWEAT=12 \times Td_{850} + 20 \times (TT-49) + 3.888 \times F_{850} + 1.944 \times F_{500} + (125 \times (D_{500} - D_{850}) + 0.2) \quad (3.2)$$

де Td_{850} - точка роси на 850 гПа ($^{\circ}C$), TT - Total Totals індекс, F_{850} - швидкість вітру (м/с) на 850 гПа, F_{500} - швидкість вітру (м/с) на 500 гПа, D_{500} і D_{850} - напрямку вітру (град.) на відповідних поверхнях.

Другий член рівняння буде дорівнювати 0, якщо $TT \leq 49$. Останній доданок у формулі буде рівнятися нулю, якщо не виконується будь-яке з наступних умов:

- D_{850} в діапазоні від 130 до 250 градусів;
- D_{500} в діапазоні від 210 до 310 градусів;
- різниця в напрямку вітру ($D_{500} - D_{850}$) > 0 ;
- F_{850} і F_{500} швидкості вітру ≤ 7 м/с.

Таблиця 3.1 – Інтенсивність конвективних явищ за SWEAT

Значення SWEAT	Очікувана ситуація
< 250	немає умов для виникнення сильних гроз
250-350	сильні грози, град і шквали
350-400	дуже сильні грози, великий град та сильні шквали
> 400	дуже сильні грози, великий град, сильні шквали, сильні смерчі

Індекс Балка Ричардсона (Bulk Richardson Number) ІБР або BRN є безрозмірною величиною в метеорології, яка об'єднує вертикальну стійкість і вертикальний зсув (як правило, стабільність, що розділена зсувом). Він являє собою відношення турбулентності, що викликана термічними процесами до турбулентності, що викликана вертикальним зрушенням вітру. Практично, значення індексу BRN показують, чи є конвекція вільної або примусовою. Високі значення індексу означають нестійкість і/або слабкі вертикальні зсуви в навколишньому середовищі. Низькі значення індексу вказують на слабку нестійкість і/або сильний зсув вітру. Зазвичай значення BRN в межах від 10 до 45 означають сприятливі умови для розвитку суперосередка. BRN розраховується за формулою:

$$\text{BRN} = \frac{\text{CAPE}}{0,5 \cdot (U_{6\text{km}} - U_{500\text{m}})^2}, \quad (3.3)$$

де $U_{6\text{ km}}$ - швидкість вітру на висоті 6 км; $U_{500\text{ m}}$ - швидкість вітру на висоті 500 м; CAPE - доступна конвективна потенційна енергія.

Зазвичай, при $\text{BRN} < 10$, вертикальний зсув домінує над плавучістю. При значеннях індексу від 10 до 45 зсув буде врівноважувати плавучість, а такі умови сприятливі для розвитку потужних суперосередків. При $\text{BRN} > 45$ через значний кут нахилу висхідних потоків, суперосередки не будуть спостерігатися.

Незважаючи на те, що індекс BRN є дуже хорошим показником для прогнозу суперосередків і наявності мезоциклона в середній тропосфері, він не здатний спрогнозувати інтенсивність мезоциклона на нижньому рівні (у шарі тертя) і ймовірність торнадо. Тому саме для цих цілей запроваджено додатковий показник - BRN Shear:

$$\text{BRN shear} = 0,5 \cdot (U_{6\text{km}} - U_{500\text{m}})^2 \quad (3.4)$$

До того ж, цей показник часто використовується для визначення різних видів суперосередків, які генерують або не генерують торнадо (табл.3.2).

Цей індекс добре показує відмінність між суперячейкою і звичайної грозою, а так само інтенсивність мезоциклона в середньому шарі грози. І чим вище його значення, тим сильніший зсув вітру, а отже і велика ймовірність суперячейки.

Таблиця 3.2 – Інтенсивність конвективних явищ за індексом
BRNshear, м²/с²

Значення BRN Shear	Очікувана ситуація
40-140	Імовірні потужні суперосередки
35-40	Імовірні слабкі суперосередки
< 35	Низька ймовірність розвитку суперосередка

Глибокий шар зсуву (DLS) або зсув вітру в шарі 0-6 км Визначається як величина векторної відмінності між вектором швидкості вітру на висоті 450 гПа і вектором вітру біля поверхні землі. В якості альтернативи можна використовувати довжину годографа в шарі від 0 до 6 км. Зсуви в цьому шарі використовується для визначення потенціалу суперосередка. Однак це не дуже хороший показник для визначення обертального потенціалу в нижньому шарі.

При DLS > 40 kt розвиток суперосередку найбільш ймовірний, а при DLS від 35 до 39 kt - малий потенціал для розвитку суперосередку.

Індекс LOSHR - векторна різниця між вітром на рівнях 1 км і 10 м. Критеріальне значення індексу 10 м/с (смерч). Одиниці вимірювання: м/с

$$\text{LOSHR} = V_{1\text{km}} - V_{\text{sfc}} \quad (3.5)$$

Індекс SHEAR – величина вертикального зсуву вітру в шарі 0-6 км вище рівня землі. Одиниці вимірювання: м/с

Індекс Storm Relative Helicity (SRH) - відносна спіральність шторму, тобто оцінка спроможності (потенціалу) циклонічного обертання висхідних потоків для розвитку грози, одиниці вимірювання: $\text{м}^2/\text{с}^2$

Для прогнозування суперосередків немає чіткого межового значення SRH, тому що їх формування найчастіше пов'язане з шаром вертикального зсуву вітру. Розраховується в нижніх шарах 0-1 км ($> 100 \text{ м}^2/\text{с}^2$) і 0-3 км ($> 250 \text{ м}^2/\text{с}^2$). Зазначені значення свідчать про підвищену ймовірність виникнення суперосередків, хоча чіткої межі між прогнозом відсутності і наявності суперосередку немає.

$$\text{SRH} = V_{\text{SR}} * (\Delta \times V) \quad (3.6)$$

Наприклад, шторм рухається вправо від середнього вітру при наявності вертикального зсуву та буде більш реагувати на високу відносну спіральність і V_{SR} (відносну швидкість) потоку всередині шторму, ніж звичайний осередок, що рухається за середнім вітром (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Критерії індексу Storm Relative Helicity

Значення SRH, $\text{м}^2/\text{с}^2$	Очікувана ситуація
Hs-r = 150	Розвиток суперосередків
Hs-r = 150-299	Можливий розвиток слабкого торнадо
Hs-r = 300-449	Можливий розвиток сильного торнадо
Hs-r > 450	Можливий розвиток дуже сильного торнадо

Примітка: ці значення спіральності припускають, що при розвитку грози шторм буде рухатися вправо щодо середнього вітру. Значення є справедливими для шару 0-3 км.

Індекс Energy Helicity (індекс енергії спіральності) - спроба скомбінувати CAPE и SRH в одному індексі для оцінки потенціалу розвитку

суперосередку та мезоциклону. Безрозмірна величина.

$$EHI = \frac{CAPE * SRH}{1,6 * 10^5} \quad (3.7)$$

Високі значення ЕНІ представляють середу, що володіє високим параметром CAPE і / або високою SRH (табл. 3.11)

Значення індексу Significant Tornado Parameter (STP або параметру сильних смерчів) розраховуються для визначення сприятливості стану атмосфери для виникнення торнадо інтенсивністю F2 та більше за формулою:

$$STP = LOSHR/20 \cdot SRH/100 \cdot CAPE/1000 \cdot (2000-LCL)/1500, \quad (3.14)$$

де LCL – висота рівню конденсації (гПа) для частки, що адіабатично підіймається. Сильні смерчі слід чекати якщо $STP \geq 1$.

Таблиця 3.4 – Критерії індексу Energy Helicity

Значення ЕНІ	Очікувана ситуація
$EHI < 1,0$	Суперосередки та торнадо мало ймовірні у більшості випадках, але необхідно мати відомості про конвекцію та зони зсуву, що може зробити значення ЕНІ не репрезентативними
$EHI = 1,0-2,0$	Суперосередки та торнадо можливі, але зазвичай торнадо не інтенсивний або довго живучий. Можна отримати не суперосередковий / зсувовий вихор торнадо біля передньої кромки дуги радіолуни /LEWPS
$EHI = 2,0-2,4$	Дуже ймовірні суперосередки і мезоциклон - можливий розвиток торнадо.
$EHI = 2,5-2,9$	Мезоциклон - утворення суперосередкового торнадо дуже ймовірно.
$EHI = 3,0-3,9$	Сильний мезоциклон – утворення торнадо (F2 і F3) можливе.
$EHI > 4,0$	Дуже сильний (вибуховий) мезоциклон - утворення торнадо (F4 і F5) можливе

Для кожного випадку виникнення смерчу над Одеською областю за період 2018-2020 рр. були розраховані індекси конвективної нестійкості, та дані розрахунків занесені до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5. Індекси нестійкості атмосфери в період виникнення смерчів над Одеською областю (2018-2020 рр.)

Дата	Час	LOSHR м/с	BRNshear м ² /с ²	SRH м ² /с ²	ЕНІ	SWEAT	STP
17.06.2018	9	5,5	3,9	21,9	0,1	133,1	0,0246
	12	6,4	2,2	20,5	0,1	198,0	0,02275
03.07.2018	6	6,0	141,1	22,8	0,0	269,7	0,00366
	12	6,9	115,5	25,2	0,0	276,4	0,00459
05.06.2019	6	6,1	8,8	18,6	0,0	127,3	0,00139
	9	5,2	58,3	18,4	0,0	31,0	0,00825
03.08.2019	6	3,6	9,7	11,7	0,0	110,0	0,00592
	9	0,7	9,7	3,7	0,0	308,3	0,00048
30.06.2020	9	4,1	0,8	8,9	0,0	146,2	0,00786
	12	5,8	8,4	20,0	0,1	118,5	0,03059
25.07.2020	9	3,5	9,2	15,2	0,0	230,4	0
	12	9,7	0,0	50,1	0,0	-3,5	0

Проаналізувавши дані таблиці ІІІІ можна зробити певні висновки щодо умов можливості виникнення смерчів.

Значення індексу LOSHR в усіх випадках менше відповідного критерію (10м/с), це вказує на те що векторна різниця швидкості вітру на рівнях 1км та 10м досить мала для можливості утворення суперосередку.

Індекс BRNshear майже в усіх випадках менше критерію розвитку суперосередків. Лише 03 липня 2018 року, в обидва строки розрахунків, значення індексу входить в межі критерію при якому очікуються потужні суперосередку (40-140). Також, 5 червня 2019 року в строк 09 UTC спостерігається ріст індексу в порівнянні з попереднім строком, та відповідність цього значення критерію при якому також, очікуються потужні суперосередки.

Щодо індексу SRH, то, як і у випадку з індексом LOSHR, жодне значення не входить до визначених критеріїв, які повинні сягати більше $150\text{м}^2/\text{с}^2$.

Всі розраховані значення індексу ЕНІ не входять до критеріїв, при яких можна з впевненістю говорити про виникнення суперосередків та смерчів (>1.0). Дані розрахунків цього індексу вказують на можливість виникнення конвективних явищ, але був би доцільним розрахунок індексу спіральності для окремих шарів.

Розрахунок індексу SWEAT показав, що майже в усіх випадках значення не досягають визначених критеріїв (>250). Але є виключення, 03 липня 2018 року в обидва строки розрахунків та 3 серпня 2019 року в строк 09 UTC значення індексу входило в градацію при якій очікуються сильні грози, град та шквали.

Розрахунки індексу STP показали, що в усіх випадках значення розрахованої величини значно менше потрібного критерію, який дорівнює одиниці.

Згідно з отриманими результатами індексів нестійкості атмосфери, можна говорити про те що найкращі умови для розвитку суперосередку над Одеською областю, та можливість виникнення мезоциклонічного смерчу склалися 03 липня 2018 року.

Слабкі значення індексів нестійкості говорять про можливість виникнення невеликих, слабких смерчів, основну роль в формуванні яких грає динамічний фактор.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної магістерської роботи отримані наступні висновки:

1. За період 1990-2020 рр. на території України спостерігалось 239 випадків смерчів. З 2018 по 2020 рік загалом налічується 60 випадків по території країни, з них 6 випадків були зафіксовані в Одеській області. Найчастіше смерчі в області спостерігались в денні години з 11 до 16 UTC, в теплий період року: червень, липень, серпень.

2. Синоптичні ситуації які спостерігались в моменти виникнення смерчів дещо відмінні в деяких випадках. Обидва смерчі в 2018 році були утворені в баричній улоговині, з відмінністю в інтенсивності розвитку явища. Також, 17 червня простежувалась наявність ліній конвергенції. 03 липня наявність смуг сильних висхідних рухів та розвиток воронкоподібної хмарності.

Смерчі в 2019 та 2020 році над Одеською областю були утворені в розмитому баричному полі з деякими відмінностями. 05 червня 2019 року простежувалась наявність лінії конвергенції над Одеською областю. 30 червня 2020 року над територією України спостерігалось проходження холодного фронту, а разом з ним, розвиток конвективної хмарності.

3. Побудувавши годографи вітру за даними вертикального зондування атмосфери, в дні виникнення явищ можна сказати наступне:

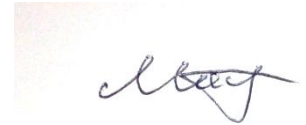
17.06.2018; 03.07.2018; 03.08.2019 та 30.06. 2020 рр. кривизна годографів вказує наявність значного зсуву вітру та можливість розвитку суперосередку з утворенням мезоциклонічних смерчів.

Годографи 05.06.2019 та 25.07.2020 не мають характерної для суперосередку кривизни, тож смерчі були утворені не в звязку з мезомасштабним конвективний комплексом.

4. Розрахувавши та проаналізувавши індекси нестійкості атмосфери, можна говорити про те що, майже в усіх випадках виникнення вихорів над Одеською областю визначена величина не досягає встановленого критерію

при якому розвиваються смерчі. Лише 03 липня 2018 року такі індекси як BRNshear та SWEAT встановлених критеріїв, які характерні для виникнення смерчів.

Також, слабкі значення індексів нестійкості можуть говорити про можливість виникнення невеликих, слабких смерчів, основну роль в формуванні яких грає динамічний фактор.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'S. V. S.', located in the lower right quadrant of the page.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Хромов, С.П. Метеорологический словарь , Л.И. Мамонтов. – Л: Гидрометеиздат, 1974. – 569 с.
2. Атмосфера. Справочник: под редакцией Ю.С. Седунова. – Л: Гидрометеиздат, 1991. – 510 с.
3. Интенсивные атмосферные вихри и их динамика. Под ред. И.И. Мохова, М.В. Курганского О.Г. Чхетиани. – М.: ГЕОС, 2018. – 482 с.
4. Наливкин, Д.В. Ураганы, бури и смерчи. Географические особенности и геологическая деятельность. – Л.: Наука, 1969. – 487 с.
5. Bluestein, H.V. Severe Convective Storms and Tornadoes: Observations and Dynamics. – Berlin: Springer-Verlag, 2013. – P. 456.
6. Варакин, А.Ю. Торнадо. – М.: Физматлит, 2011. – 344 с.
7. Наливкин, Д.В. Смерчи / Д.В. Наливкин. – М.: Наука, 1984. – 112 с.
8. Markowski, P.M. Mesoscale Meteorology in Midlatitudes. New Jersey: Willey, 2010. P. 407.
9. Хандожко, Л.А. Оценка успешности метеорологических прогнозов. – Л.: Ленинградский политехнический институт, 1977. 68 с.
10. Андрущенко, В.А. Интенсивные атмосферные вихри: Проблема оценки и управления рисками. Методы предотвращения. – М: Ленанд, 2017. – 304 с.
11. Fujita Tornado Damage Scale [Электронный ресурс]: <http://www.spc.noaa.gov/faq/tornado/f-scale.html> (дата звернення 01.11.2020).
12. Enhanced F Scale for Tornado Damage [Электронный ресурс]: <http://www.spc.noaa.gov/faq/tornado/ef-scale.html> (дата звернення 01.11.2020).
13. The International Tornado Intensity Scale [Электронный ресурс]: <http://www.torro.org.uk/tscale.php> (дата звернення 01.11.2020).
14. Алексеева, А.А. Оценка максимальной скорости конвективного потока, характеристик ливневых осадков и града по радиолокационной информации. Труды Гидрометцентра России. 2016. Вып. 360. С. 135 – 148.

15. Алексеева А.А. Распознавание конвективных стихийных явлений погоды на основе цифровой информации с ИСЗ с целью их сверхкраткосрочного прогноза. Труды Гидрометцентра России. 2000. Вып. 335. С. 59 – 73.
16. Будилина Е.М., Прох Л.З., Снитковский А.И. Смерчи и шквалы умеренных широт. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 32 с
17. Волеваха В.А., Токарь Н.Ф. Шквали и смерчи на Украине в 1984-1985 гг. Труды УкрНИГМИ. 1987. Вип. 225.- С. 46-55.
18. Івус Г. П. Спеціалізовані прогнози погоди. Одеса: ТЕС, 2012. 407 с.
19. Івус Г.П., Семергей-Чумаченко А.Б. Смерчи и струйные течения низких уровней (обзор литературных источников). Культура народов Причерноморья. 2006. № 73. С. 156-158.
20. Ромов А.И. Причины образования смерчей и рекомендации к анализу и прогнозу смерчеопасных ситуаций. Труды УкрНИГМИ. 1988. Вып. 233. С.23-29.
21. Семергей–Чумаченко А.Б., Кроленко Ю.І. Смерчі над південним заходом України. Вестник ГМЦ ЧАМ. 2018.- № 1 (21). С. 29-41.
22. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005 рр.). За ред. В.М.Ліпінського, В.І.Осадчого, В.М.Бабіченко. К.: Ніка-Центр, 2006. – 312 с.
23. http://old.geology.lnu.edu.ua/phis_geo/fourman/E-books-FVV/Interactive%20books/Meteorology/Weather%20and%20Climate/METEO-PHENOMENA/Tornado/tornado.htm (дата звернення 07.11.2020 р.).
24. <https://glavcom.ua/odesa/video/na-odeshchini-vidpochivayuchi-sposterigali-yak-u-mori-pronissya-smerch-506083.html> (дата звернення 08.11.2020 р.).
25. <https://kp.ua/citynews/612563-v-odesskoi-oblasty-smerch-na-neskolko-sekund-podbrosyl-v-vozdukh-podroстка> (дата звернення 08.11.2020 р.).

26. Pielke, R.A. Atmospheric Vortices. Fluid Vortices / S.I. Green. – Dordrecht: Springer, 1995. P. 617 – 650.
27. Grazulis, T.P. The Tornado: Nature's ultimate windstorm. Norman: University of Oklahoma Press, 2001. P. 340.
28. Davies-Jones, R. A review of supercell and tornado dynamics Atmospheric Research. 2015. Vol. 158–159. P. 274 – 291.
29. Markowski, P.M. Tornadogenesis: Our current understanding, forecasting considerations, and questions to guide future. Atmospheric Research. 2009. Vol. 93. P. 3 – 10.
30. Davies-Jones, R. Tornadoes and Tornadic Storms - Severe Convective Storms C.A. Doswell. Washington: American Meteorological Society, 2001. P. 167 – 221.
31. Wakimoto, R.M. Non-supercell Tornado. Monthly Weather Review. 1989. Vol. 117. No. 6. P. 1113 – 1140.
32. Dotzek, N. Waterspouts over the North and Baltic Seas: Observations and climatology, prediction and reporting. Meteorologische Zeitschrift. 2010. Vol. 19. No. 1. P. 115 – 129.
33. Allaby, M. Tornadoes. New York: Facts on File Inc., 2004. P. 176.
34. Прох, Л.З. Смерчи и шквалы. – М.: Знание, 1981. – 48 с.
35. Smith, B.B. Waterspouts [Электронный ресурс]: <https://www.weather.gov/apx/waterspout> (дата звернения 12.11.2020).
36. Thornton, M.A. A new Spin on Waterspout Forecasting [Электронный ресурс] <http://www.sailingscuttlebutt.com/2015/08/20/a-new-spin-on-waterspout/forecasting/> (дата звернения 12.11.2020).
37. Golden J.H. Scale-Interaction Implication for the Waterspout Life Cycle. Journal of Applied Meteorology. 1974. Vol. 13. No. 6 P. 693–709.
38. Golden, J.H. The life cycle of Florida Keys waterspouts. Journal of Applied Meteorology. 1974. Vol. 13. No. 6. P. 676 – 692.

39. Golden, J.H. Waterspouts. Encyclopedia of Atmospheric Sciences: Editor-in-Chief J.R. Holton, second edition, volume 3 New York:Academic Press, 2015. P. 369 – 383.
40. Кушин, В.В. Смерч. М.: Энергоатомиздат, 1993. 128 с.
41. Клімат України. К.: Видавництво Раєвського, 2003. 343 с.
42. European Severe Weather Database. <http://www.essl.org/ESWD/> (дата звернення 20.11.2020 р.).
43. European Storm Forecast Experiment. Forecast archive. <http://www.estofex.org/> (дата звернення 20.11.2020 р.).
44. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. <https://www.zamg.ac.at/cms/de/wetter/wetterkarte?tag=26&monat=07&jahr=2017&utc=12> (дата звернення 25.11.2020 р.).
45. http://www2.wetter3.de/archiv_gfs_dt.html (дата звернення 25.11.2020р.)
46. <http://www.nwcsaf.org/web/guest/nec/geo-geostationary-archiv> (дата звернення 25.11.2020 р.).
47. <http://hrabro.od.ua/160-po-odesskoj-oblasti-pronessja-smerch.html>
48. <https://od.oblast.online/news/po-odesskoj-oblasti-pronessya-moshhnyj-smerch/>
49. National Centers for Environmental Information. <https://www.ncei.noaa.gov/> (дата звернення 28.11.2020р.).

Додаток А

кафедри метеорології та кліматології
на магістерську роботу студентки гр. МЗМ–19
гідрометеорологічного інституту ОДЕКУ

Масловського Євгена Олександровича

Тема магістерської роботи

«Характеристика термодинамічного стану атмосфери при
виникненні смерчів у Одеській області»

Кваліфікаційна магістерська робота виконана в рамках науково-дослідних робіт «Прогнозування небезпечних метеорологічних явищ над південними районами України» (2015-2019 рр., ДР № 0115U006532) та «Розробка та вдосконалення методів прогнозу небезпечних та стихійних метеорологічних явищ над Україною» (2020-2024 рр.) ДР № 0120U100487).

Зав. кафедрою

метеорології та кліматології

к.геогр.н., доц. Прокоф'єв О.М.

Таблиця А.1 – Список конференцій та публікацій

Вид наукової роботи (теми наукових робіт, автор, керівник роботи)	Кількість кредитів
Наукові статті	
Університетські конференції, семінари, гуртки	
1. Конференція молодих вчених ОДЕКУ 25-29 травня 2020 р. Тема доповіді: «Термодинамічні умови утворення смерчів над Одеською областю»	0,25
2. Наукові гуртки та семінари 2019, 2020	0,25
Опубліковані тези конференцій:	
Глушкова А.В., Семергей-Чумаченко А. Б. <u>Утворення смерчів над Одеською областю у 2018 та 2019 рр.</u> // Матеріали XIX наук. конференції молодих вчених ОДЕКУ. 2020. С. 294-295.	0,25
Участь у виконанні НДР	
«Прогнозування небезпечних метеорологічних явищ над південними районами України» (2015-2019 рр.) ДР № 0115U006532 - 2019 р.	0,20
«Розробка та вдосконалення методів прогнозу небезпечних та стихійних метеорологічних явищ над Україною» (2020-2024 рр.) ДР № 0120U100487 - 2020 р	0,20
Конкурсні роботи:	
Конкурс наукових робіт серед студентів ОДЕКУ за напрямком географічні науки (гідрометеорологія ОДЕКУ, м. Одеса:	
- Утворення смерчів над Одеською областю (2019)	0,25
- Оцінка можливості виникнення суперосередків напередодні смерчів над Одеською областю (2020)	0,25
ВСЬОГО	1,65