МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та аспірантської підготовки
Кафедра метеорології та кліматології

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: Смерчеутворення над Північно-Західним Причорномор'ям

Виконала студентка 2 курсу групи МНЗ-61м
спеціальності 103 - «Науки про Землю»
Кроленко Юлія Ігорівна

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

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

Одеса 2018

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Івус Г.П.
_____
"23" березня 2018 року

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

Кроленко Юлії Ігорівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Смерчеутворення над Північно-Західним Причорномор'ям*
керівник роботи *к.геогр.н., доц. Семергей–Чумаченко Аліна Борисівна*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом закладу вищої освіти 02 листопада 2017 р. № 321-С

2. Строк подання студентом роботи 01 червня 2018 року

3. Вихідні дані до роботи *1. Дані бази даних Європейської лабораторії сильних штормів (European Severe Storms Laboratory ESSL). 2. Синоптичні карти з архіву пакету АРМСин 3.0 3. Дані радіозондувань над Одесою.*

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 Північно-Західним Причорномор'ям. 5. Аналіз основних індексів конвекції напередодні смерчу. 6. Розрахунок індексів конвекції та визначення готовності атмосфери до виникнення вихорів.*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень.) Рис. 1.1–1.14 – ілюстрації щодо наслідків та умов утворення смерчів з літературних джерел. Рис. 2.1-2.8 – повторюваність, сезонний хід та інтенсивність смерчів над Україною з 2001 по 2017 рр., Рис. 3.1–3.4 – характеристика смерчеутворення над Північно-Західним Причорномор'ям з 2001 по 2017 рр., Рис. 4.1-4.11 – матеріали щодо виникнення смерчу 26 липня 2017 р.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 23 березня 2018 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	*Вивчення літературних джерел за темою дослідження*	з 26 березня 2018 р.	95	відмінно
2.	*Збір та попередня обробка вихідної інформації, складання бази даних до дослідження*	березень 2018 р.	95	відмінно
3.	*Визначення особливостей річного та добового ходу смерчеутворення над Північно-Західним Причорномор'ям*	квітень 2018 р.	95	відмінно
4.	*Систематизація синоптичних чинників напередодні виникнення смерчів над Північно-Західним Причорномор'ям.*	квітень 2018 р.	95	відмінно
5.	*Аналіз основних індексів конвекції напередодні смерчу.*	квітень 2018 р.	95	відмінно
6.	**Рубіжна атестація**	30.04 – 06.05.2018	95	відмінно
7.	*Розрахунок індексів конвекції та готовності атмосфери до виникнення вихорів 26 липня 2017 р*	травень 2018 р.	95	відмінно
8.	*Підведення підсумків та підготовка рукопису до друку*	25 травня 2018 р.	95	відмінно
9.	*Оформлення магістерської роботи.*	31 травня 2018 р.	95	відмінно
10.	*Підготовка комп'ютерної презентації та доповіді до захисту магістерської роботи.*	червень 2018	95	відмінно
11.	*Попередній захист магістерської роботи.*	червень 2018	95	відмінно
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		**95**	**відмінно**

Студент _____ *Кроленко Ю.І.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ *Семергей-Чумаченко А.Б.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Анотація

Тема: «Смерчеутворення над Північно-Західним Причорномор'ям»
Автор: Кроленко Юлія Ігорівна

Актуальність визначається необхідністю виявлення причин виникнення такого небезпечного та складного для прогнозування явища як смерч над Північно-Західним Причорномор'ям на сучасному матеріалі.

Метою дослідження визначення географічного та сезонного розподілу смерчів над Північно-Західним Причорномор'ям з 2001 по 2017 рр. та систематизація синоптичних процесів та основних прогностичних ознак напередодні їх виникнення.

Відповідно до поставленої мети було розв'язано такі **задачі**:
- визначений режим утворення смерчів над Північно-Західним Причорномор'ям у період змін клімату;
- встановлений комплекс синоптичних умов, які сприяли їх зародженню;
- виявлені особливості циркуляційних процесів та термодинамічного стану тропосфери напередодні смерчів за допомогою супутникової, радіолокаційної та модельної інформації;
- розроблені рекомендації щодо прогнозування смерчів над Північно-Західним Причорномор'ям.

Об'єкт дослідження – смерч

Предмет дослідження – характеристики стану атмосфери при виникнення смерчів над Північно-Західним Причорномор'ям.

Методи дослідження – просторово-часове узагальнення метеорологічної інформації, синоптико-кліматичний аналіз.

Наукова новизна отриманих результатів.
В даній роботі *вперше* для території Північно-Західного Причорномор'я:
- визначений сучасний режим виникнення смерчів над Україною та Північно-Західним Причорномор'ям в залежності від сезону, часу добу та географічного фактору;
- встановлений комплекс циркуляційних та термодинамічних умов утворення смерчів над Північно-Західним Причорномор'ям.

Практичне значення отриманих результатів. Врахування виявлених прогностичних маркерів можна використовувати для вдосконалення прогнозу можливості виникнення смерчу.

Магістерська робота в обсязі 61 сторінки складається з 4 розділів, висновків, переліку посилань з 39 джерел, містить 36 рисунків та 19 таблиць.

Ключові слова: *смерч, атмосферний вихор, F-шкала, індекси конвекції*.

Summary

Theme: "The formation of tornadoes over the Northwest Black Sea "
Author: Krolenko Yuliia

Actuality is determined by the need to identify the causes of the emergence of such a dangerous and difficult to predict the phenomenon as a tornado over the Northwest Black Sea on modern material.

The purpose of the study is to determine the geographic and seasonal distribution of tornadoes over the Northwest Black Sea from 2001 to 2017 and to systematize synoptic processes and the main predictive features on the eve of their occurrence.

In accordance with the set goal, the following **tasks** were solved:
- defined mode of formation of tornadoes over the Northwest Black Sea region during the period of climate change;
- received the set of synoptic conditions that contributed to their origin;
- revealed the features of circulation processes and thermodynamic state of troposphere on the eve of tornadoes using of satellite, radar and model information;
- developed the recommendations for predicting tornadoes over the Northwest Black Sea.

The object of the study - a tornado

Subject of research - characteristics of atmospheric state in the event of tornadoes over the Northwest Black Sea.

Methods of research - space-time generalization of data, synoptic-climatic analysis.

Scientific novelty of the obtained results.
In this work for *the first time* for the territory of Northwest Black Sea:
- determined the current mode of the occurrence of tornadoes over Ukraine and the Northwest Black Sea region is, depending on the season, time of day and geographic factor;
- defined the complex of circulating and thermodynamic conditions for the formation of tornadoes over the Northwest Black Sea coast.

The practical value of the results. Applying the detected prognostic markers can be used to improve the prediction of the possibility of a tornado.

Master's work in volume of 61 pages consists of 4 sections, conclusions, a list of references from 39 sources, contains 36 figures and 19 tables.

Keywords: *tornado, atmospheric whirlwind, F-scale, convection index.*

ЗМІСТ

Вступ.....6
1 Загальні відомості щодо виникнення смерчів.....7
1.1 Визначання та класифікація смерчів.....7
1.2 Вплив географічного фактора на поширення явища.....11
1.3 Найбільш руйнівні смерчі у 2017 р. 12
1.4 Смерчі у Чорноморському регіоні у 2017 р. 16
2 Режим смерчеутворення над Україною з 2001 по 2017 рр. 19
2.1 Повторюваність та річний хід виникнення смерчів над Україною 19
2.2 Регіональні особливості формування смерчів над Україною 23
2.3 Інтенсивність смерчів над Україною за шкалою Фуджита 27
3 Смерчі над Північно–Західним Причорномор'ям 28
3.1 Просторово-часовий розподіл смерчеутворення над Північно-Західним Причорномор'ям з 2001 по 2017 рр. 28
3.2 Характеристика метеорологічних та синоптичних умов напередодні смерчів над Північно-Західним Причорномор'ям з 2001 по 2017 рр. 31
4 Термодинамічні умови утворення смерчів.....37
4.1 Індекси нестійкості атмосфери та її готовності до розвитку суперосередків.....37
4.2 Аналіз індексів нестійкості атмосфери напередодні смерчів над Північно-Західним Причорномор'ям у 2001-2017 рр. 46
4.3 Розрахунок індексів конвекції та готовності атмосфери до виникнення вихорів над Херсонською областю 26 липня 2017 р. 48
Висновки 56
Перелік посилань.....57
Додаток А.....60

ВСТУП

Смерч спричинює величезні катастрофічні руйнування внаслідок досить значної сили вітрового натиску і великої різниці тиску між ним і навколишнім середовищем. Під час проходження смерчу в будівлях видавлюються рами, скручуються високі дерева, труби, щогли електропередачі. Швидкість вітру в стовпі піднімаючого повітря може досягати 50–100 м/с.

Метою магістерської роботи є визначення географічного та сезонного розподілу смерчів над Північно-Західним Причорномор'ям з 2001 по 2017 рр. та систематизація синоптичних процесів напередодні смерчів, розрахунок основних індексів конвекції перед їх виникненням.

Об'єкт дослідження – смерч

Предмет дослідження – характеристики стану атмосфери при виникнення смерчів над Північно-Західним Причорномор'ям.

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

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

У вступі формулюються мета та завдання роботи.

Перший розділ містить в собі загальну інформацію про смерчі, його вплив життя суспільства у різних куточках світу. Другий розділ присвячений аналізу режиму утворення смерчів над Україною.

Третій розділ складається з визначення повторюваності, річного та добового ходу смерчеутворення над Північно-Західним Причорномор'ям, макроциркуляційних процесів формування смерчів над регіоном за 2001-2017 рр. та аналізу синоптичної ситуацій 9 червня та 27 липня 2017 р.

У четвертому розділі оцінюється готовність атмосфери напередодні смерчу до розвитку небезпечної конвекції через аналіз індексів нестійкості.

У висновках представлені результати виконаної роботи.

Перелік посилань складається з 39 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).

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ЩОДО ВИНИКНЕННЯ СМЕРЧІВ

1.1 Визначання та класифікація смерчів

Смерч (торнадо, тромб) - це воронка, що надзвичайно швидко обертається, звисає з купчасто-дощової хмари і спостерігається як «воронкоподібна хмара» або «туба» (рис. 1.1). Добре розвинений смерч досягає землі і рухається по ній, приносячи сильні руйнування, але іноді смерч не досягає повного розвитку, звішуючись з хмари у вигляді воронки. Смерчі породжуються вихровими утвореннями в хмарах, але не циліндровими вертикальними, а горизонтальними спіральними вихорами.

Рис.1.1. Фотографії смерчів [33]

Отже, смерч являє собою атмосферний вихор малої горизонтальної довжини (характерний радіус 50–300 м, рідше до 1 км) і великої інтенсивності. Він виникає в конвективному осередку, пов’язаному з грозовою хмарою, і має вигляд лійки, що опускається з хмари, (серії лійок, стовпа та ін.). Лійка заповнена повітрям, що повільно рухається вниз. Її поверхня є майже ізобаричною. Смерч супроводжується грозою, дощем, градом, і якщо лійка досягає землі, то викликає значні руйнування. Торнадо поділяються на:

– слабкі – зі швидкістю вітру до 50 м/с (близько 70 % усіх торнадо);

– сильні – зі швидкістю вітру від 50 до 100 м/с (близько 28 %);

– катастрофічні – зі швидкістю вітру понад 100 м/с (близько 2 %).

У сильних і, можливо, у катастрофічних торнадо висхідний потік піднімається, обертаючись в тонкому шарі, що охоплює лійку. За деякими оцінками, швидкість вітру в торнадо може перевищувати швидкість звуку. Висота смерчу звичайно складає 800–1500 м. Залежно від того, де виникають і що втягують смерчі, їх поділяють на пісочні, пилові і водяні. Вони переміщуються в основному за напрямом вітру і супроводжуються грозою, зливою, градом [2, 3, 6, 7].

Накопичений матеріал [1-17, 19, 36, 37 та ін.] дозволяє стверджувати, що смерч – це вихор складної структури з вертикальною (нахиленою чи зігнутою) віссю, що опускається з нижньої межі потужних купчасто-дощових хмар до поверхні землі у вигляді білястої чи темноподібної воронки, яка обертається і характеризується значними швидкостями вітру, потужними низхідними (у центральній частині) і висхідними потоками, значною різницею атмосферного тиску від центра воронки до периферії, що у комплексі і створює надзвичайну енергію смерчу.

Смерчові хмари завжди володіють значною турбулентністю і неоднорідністю. Вони фактично є носіями, генераторами смерчів, тому їх часто називають материнськими хмарами. Смерчова хмара складається з двох частин: в основі розташовується хмара–комір (верхній ступінь) , а під ним лежить «стінна» хмара, від нижньої поверхні якого звисає сам смерч. Хмара – комір має ширину 3-4 км, товщину близько 300 м; верхня поверхня знаходиться на висоті 1500 м. Ширина стіни – хмари – 1,5...2,0 км, товщина - 300-450 м, нижня поверхня – на висоті 500–600 м [6]. Від стіни – хмари іноді відходить хмара – хвіст, довга і вузька, такої ж висоти і різної довжини.

Як правило смерч утворюється під правою частиною купчасто-дощової хмари (у напрямку руху), які формуються на холодних фронтах (оклюзії за типом холодного фронту), коли тепла повітряна маса є вологою і нестійкою, а контраст температур у зоні фронту біля поверхні землі перевищує 10°С.

Тривалість існування смерчу невелика: від декількох хвилин до декількох годин, довжина шляху в середньому 15-60 км, а іноді й близько 500 км (такі випадки спостерігалися в США). Швидкість руху смерчу різна: від 10–20 до 60–70 км/год та більше [3, 7].

Смерч складається з трьох частин: горизонтальних вихорів в материнській хмарі, воронки і додаткових вихорів. Воронка (основна частина смерчу) - це внутрішні порожнини і стінки, тобто це дрібномасштабний вихор. Поперечник внутрішньої порожнини смерчу – від декількох метрів до декількох сотень метрів, і цей простір майже чистий і безхмарний, більш або менш різко обмежений стінками, між якими іноді проскакують своєрідні блискавки. Рух повітря тут різко слабшає і, в основному, направлений вниз.

Найважливіша особливість смерчу – різке падіння тиску, іноді майже раптове. Рух повітря у внутрішній порожнині направлений зверху вниз і може досягати великої швидкості. У стінках смерчу, навпаки, рух повітря направлений по спіралі вгору і нерідко досягає 100–200 м/с і більше. Стінки смерчу – це його активна руйнуюча і характерна частина. Не дивлячись на те, що їх будова вельми різноманітна, можна виділити два основні типи: перший володіє щільними, гладкими, різко обмеженими стінками, у другого вони розпливчасті, нечітко окреслені.

Порожнина (воронка) значно ширша за стінки, ширина яких лише декілька метрів. Швидкість обертання воронки, а точніше її стінок, представляє також одну з особливостей смерчу. Ці швидкості вельми різні і швидко змінюються навіть у однієї і тієї ж воронки.

У 1973 р. Метеорологічна служба США прийняла в якості офіційної наступну шкалу інтенсивності смерчів, яка була розроблена у 1971 р. японським ученим Теодором Фуджита (Fujita scale або F-scale) [22]. Вся шкала складається з тринадцяти категорій: від F0 до F12.

При цьому, проміжок між F0 і F1 відповідає 11 і 12-му балу Бофортової шкали швидкості вітрів. На Землі велику частину складають торнадо F0 і F1, більш високі категорії велика рідкість. Сім категорій вище F5, Фуджита ввів в якості теоретичних. Тому, максимальна категорія, що привласнюється торнадо – це F5, бавить якщо швидкість вітру буде перевищувати 512 км/год. Теоретично швидкість вітру смерчу з інтенсивністю F12 дорівнює швидкості звуку, тобто 1000 км/год. Смерчі такої швидкості не зафіксовані.

Руйнування від торнадо категорії F6 і більш високих категорій в загалом не відрізняють від тих, які наніс би F5, так як більшість руйнувань нанесе периферія вихорю, ще до того, як вітер сили F6 дійде до території руйнувань.

Таблиця 1.1 – Шкала Т. Фуджита [22]

Категорія	V		P, %	Характеристика руйнувань	
	м/с	км/год			
F0	18-33	64-116	38,9	Штормовий смерч. Обламує 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. Дощенту руйнує населені пункти.	
F6—F12	> 143	> 512	<0,001	Апокаліптичний.	

1.2 Вплив географічного фактора на поширення явища

Смерчі реєструються над всією поверхнею Землі, крім полярних і екваторіальних широт. Найчастіше вони формуються над США і Австралією, рідше бувають в Новій Зеландії, Японії, Індії, Аргентині, Південній Африці, Європі. У середньому за рік у світі спостерігається від 1000 до 1500 смерчів, з них половина в США. Особливо в області так званої «алеї торнадо» – смуги найбільшої повторюваності смерчів – 20–30 °пн.ш., що проходить із півдня на північ, а потім на північний схід через штати Техас, Оклахому, Канзас, Міссурі (рис. 1.2).

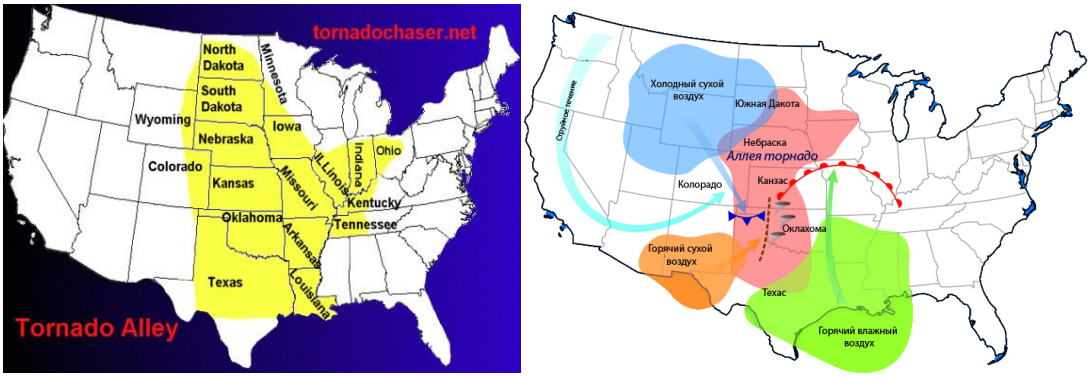

Рис. 1.2. Карта «алеї торнадо» в США» [23]

Тут потужні шари теплого повітря з Мексиканської затоки зіштовхуються з холодними повітряними масами з Канади. Таким чином, нижній шар повітря, піднімаючись, зіштовхується з холодною повітряною масою, виникає потужний зворотний потік теплого вологого повітря, ідуть сильні зливи й град. Якщо ж циркуляція досить сильна, а ззовні значні швидкості вітру, то починається обертання повітряного потоку й формується епіцентр, у якому виникає торнадо [19].

Самий руйнівний торнадо XX ст., що обрушився 3 травня 1999 року на американське місто Оклахома – Сіті, буйствував півтори години. Але як це не парадоксально, смерч, названий метеорологами «Чудовиськом», приніс людству й колосальні користі: уперше вченим удалося засікти радаром момент його зародження й дистанційно виміряти за допомогою пересувного

радара Доплера рекордну швидкість (близько 512 км·год$^{-1}$) недалеко від Оклахома–Сіті [37].

Найбільша повторюваність торнадо (смерчів) над сушею припадає на територію США – в середньому до 2000 за рік. В силу фізико-географічних факторів найбільш руйнівні з них виникають на Великих рівнинах.

На території СНД смерчі відносно рідкісне явище, так кількість зареєстрованих над країнами Співдружності за період 1944–1998 рр., складала 264 випадків, з яких 40 % були слабкими. За 140 років спостережень було відзначено 13 серйозних і два спустошуючі смерчі [16].

У Європейській частині СНД виділяють дві зони концентрації смерчеутворення. Перша перебуває між Москвою й Нижнім Новгородом, де спостерігалися два сильних смерчі. Друга – по обидві сторони українсько-білоруської границі із центром біля Києва, де були зафіксовані три серйозних смерчі (у Київській, Черкаській і Одеській областях) і велике число слабких і помірних явищ. Таким чином, Чорнобильська АЕС розташована саме в зоні щодо активного смерчеутворення [1].

Більш того, в Україні все частіше траплятимуться смерчі та міні–торнадо [8-11, 13, 17] через зміни клімату на планеті, тому дослідження цього феномену з часом набуває актуальності.

1.3 Найбільш руйнівні смерчі у 2017 р.

Перший потужний торнадо 2017 р., який потрапив до міжнародних СМІ виник 9 січня 2017 р. в другій половині дня над північно-центральною частиною Аргентини (провінція Сен-Луїс, між містами Тілісарао і Ренка). Буйство стихії тривало 20 хвилин і викликало паніку серед місцевих жителів. За даними метеорологів, швидкість вітру досягала 120 км/год. [26]

З 7 лютого 2017 р. південними штатами США пронеслися 9 торнадо, 4 з яких виявилися руйнівними (рис. 1.3). Воронки спостерігали в Новому Орлеані, Луїзіані (3 смерчі), Міссісіпі, Пончатауле, Батон Руж і Кілліані. Штормове попередження було оголошено в 23 американських штатах, а в найбільш постраждалих штатах оголошений «надзвичайний стан» [24].

Національний центр ураганів США (National Hurricane Center) попереджав, що через сезон ураганів в зоні ризику знаходяться близько 3

мільйонів жителів штатів Луїзіана, Міссісіпі та Алабами, які можуть стати кліматичними біженцями.

Рис. 1.3. Наслідки серії руйнівних торнадо в США [24]

25 січня 2017 р. гігантський «файернадо» (рис. 1.4), або вогненний торнадо, спостерігали на території Західної Австралії. Вогняний вихор піднявся в повітря аж на 1 км у висоту, повідомляє «National Geographic» [25].

Рис. 1.4. Фотографія вогненного торнадо [25]

Вогненні торнадо часто формуються під час інтенсивних чагарникових пожеж, коли палива дуже багато, а погодні умови – теплі і сухі. Енергія, яка викидається вогнем, змушує швидко підніматися колони гарячого повітря. Чим тонше колона, тим швидше вітер. Вітер, який розпалює пожежу, змушує цю колону повітря скривлюватися, формуючи невеликий торнадо. Швидкість вітру в файернадо досягає 160 км/год. (менше максимальної швидкості звичайних торнадо в 2-3 рази), температура всередині ядра вогняного торнадо може становити 1093 °С, а діаметр коливається від 30 до 90 см [28].

Ще один вогняний торнадо спостерігався у Португалії (09.10.2017 р.) під час масштабної лісової пожежі, тобто він утворився незалежно від метеорологічних чинників (рис. 1.5)

Рис. 1.5. Кадр з відеоролику вогняного торнадо в Португаліїї [20]

Згідно даних метеорологічного центру штату Оклахома, з 6 по 7 березня 2017 р. в центральних районах США (Канзас, Міссурі, Айова та Іллінойс) зареєстровано 32 торнадо, коли швидкість вітру досягала 65 км/год. У деяких районах штату Міссурі виявлений град розміром з бейсбольний м'яч [27].

Рис. 1.6. Наслідки торнадо та граду 6-7.03.2017 над центром США [27]

В результаті урагану з сильним дощем і великим градом було пошкоджено будинки в громадах на північ і на схід від Канзас-Сіті, торнадо зруйнував будинки і розкидав автомобілі по шосе. Згідно повідомлень засобів масової інформації [27], завдано збитків літакам і ангарів в аеропорту виконавчої влади округу Джонсон в Олате, штат Канзас. Ще близько 25 будинків були пошкоджені в результаті торнадо на північ від Канзас-Сіті, де без електрики залишилися понад 130 тисяч осіб. Отже, Національна метеорологічна служба присвоїла цьому торнадо інтенсивність F2. [27]

14 березня 2017 р. вночі, по південній частині американського штату Флорида пронеслися чотири торнадо, найпотужніший з них подолав відстань 8 км, а швидкість вітру досягала 155 км/год., повідомляє SunSentinel [30] та спричинив значні пошкодження (рис. 1.7). В округах Шарлотт і Бровард у Флориді також вночі 14 березня пронеслися три смерчі з інтенсивністю F1, в останньому окрузі зафіксовані грози і град.

Рис. 1.7. Наслідки торнадо в Флориді, США [30]

12 березня 2017 р. вранці південними регіонами Бразилії вдарила найпотужніша буря, що супроводжувалася торнадо і градом. Пік надзвичайної події стався в самому південному штаті Ріу-Гранді-ду-Сул, де постраждали 7 районів (рис. 1.8). В адміністративному центрі штату Порту-Алегрі порушено автомобільний рух транспорту, затоплені вулиці, сотні людей залишилися без даху, кілька людей загинули. [28]

Рис. 1.8. Наслідки торнадо в Бразилії [28]

Восени, а саме 9 вересня 2017 р. під час проходження урагану «Ірма», в штаті Флорида сформувалися щонайменше п'ять торнадо. Національна метеорологічна служба США повідомляла, що торнадо з'явилися в центральній і східній частинах штату в округах Мартін, Індіана-Рівер, Сент-Люсі, Бревард, Майамі-Дейд. Особливо тривожна обстановка в Сент-Люсі, де стихія погрожувала обрушитися на атомну електростанцію (рис. 1.10).

Рис. 1.10. Фотографії смерчу над АЕС в Сент-Люсі за 09.09.17 [21]

Опубліковано відео гігантської воронки, утвореної ураганом «Ірма» у Флориді. Ураган «Ірма» досяг американського штату Флорида. На узбережжя обрушилися величезні хвилі і сильні вітри, що супроводжуються дощами.

Рис. 1.10. Гігантська воронка у Флориді [32]

Очевидці публікують в мережі відео гігантської воронки, що утворилася в результаті впливу стихії. На кадрах видно, як величезний водяний стовп піднімається вгору. Синоптики попереджали [32], що через «Ірму» на території Флориди можуть утворюватися численні торнадо, які приведуть до великих руйнувань, що спонукало місцеву владу закликати більш шести мільйонів жителів до евакуації.

1.4 Смерчі у Чорноморському регіоні у 2017 р.

Наприкінці літа, а саме 29 серпня 2017 р., на сході Чорного моря біля узбережжя в районі м. Сочі над морем з’явилося відразу 12 вихорів (рис. 1.11) при проходженні холодної ділянки полярного фронту (рис. 1.12). Як свідчить [34], спочатку утворився один вихор, а через хвилину – інший. Далі до двох смерчів додалися ще кілька, та несподівано над морем утворилося 12

невеликих вихорів, які на сушу не вийшли. Через погрозу їх виходу на узбережжя у міжнародному аеропорту Сочі (Адлер) затримали 9 рейсів [34].

Рис. 1.11. Фотографія смерчів над морем біля Сочі [35]

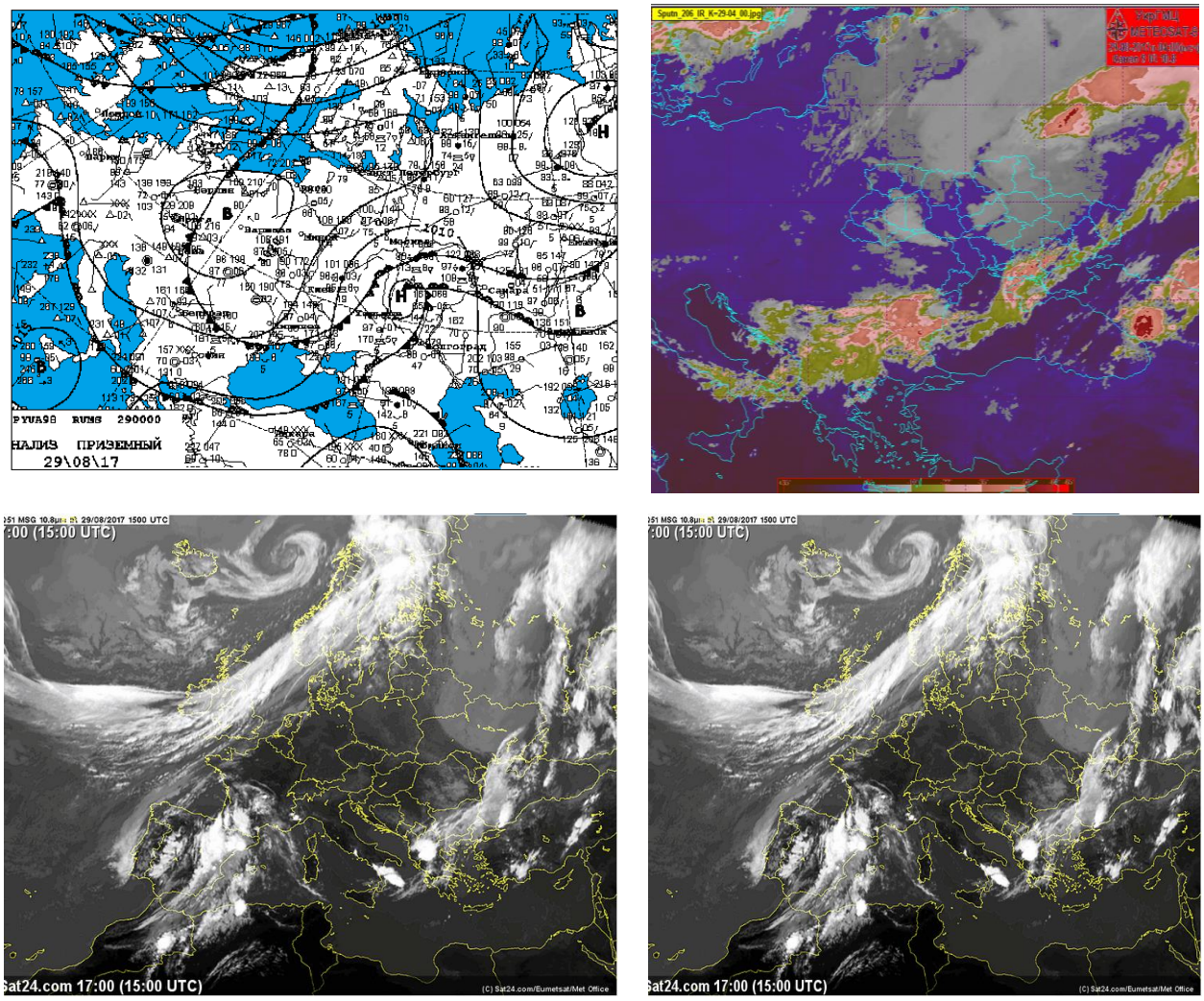

Рис. 1.12. Приземна та супутникова карти за 29 серпня 2017 р.

Над північно-західною частиною Чорного моря 23 вересня 2017 р. біля

Одеси можна було спостерігати зародження відразу двох смерчів, які виникли приблизно о 20:00 в купчасто-дощовій хмарі (рис. 1.13), яка проходила над морем недалеко від Одеси.

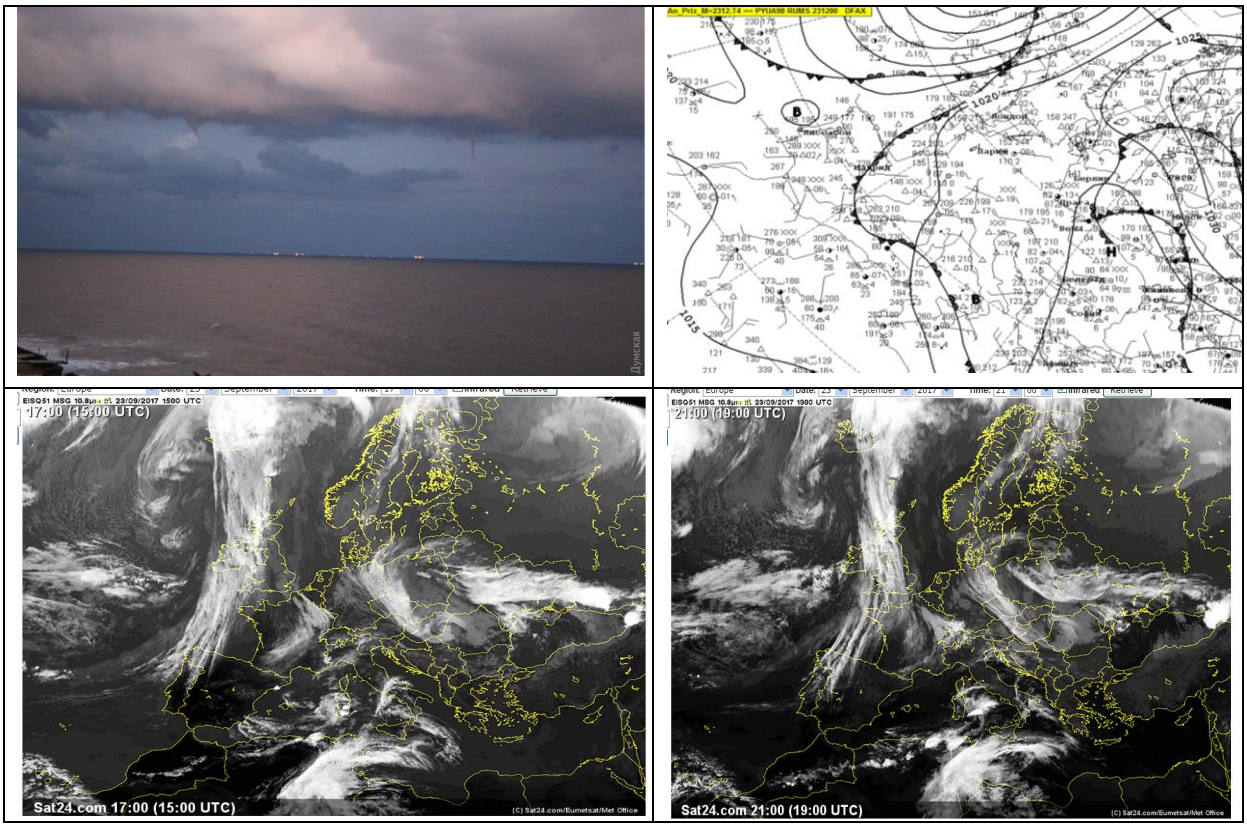

Рис 1.13. Фотографія смерчу, приземна за (06 UTC) та супутникові карти (15, 19 UTC) за 23 вересня 2017 р.

Вони трималися хвилин десять, потім зникли, так і не діставши до води, після їх зникнення почалася короткочасна злива. [12]

2 РЕЖИМ СМЕРЧЕУТВОРЕННЯ НАД УКРАЇНОЮ З 2001 ПО 2017 РР.

2.1 Повторюваність та річний хід виникнення смерчів над Україною

В якості джерел вихідної інформації використовувалися дані метеорологічних спостережень над станціями України (АРМСин) та інтерактивна база даних сайту Європейської лабораторії сильних штормів (European Severe Storms Laboratory ESSL) [18], всі випадки на вказаному ресурсі мали статус QC1, тобто були підтверджені фото- та відеоматеріалами, але не були зафіксовані на метеорологічних станціях (QC2).

В результаті роботи з вихідним матеріалом виявлено 262 випадки виникнення смерчів (табл. 2.1) над Україною з 2001 по 2017 рр., створена база даних та побудована карта їх розповсюдження (рис. 2.1).

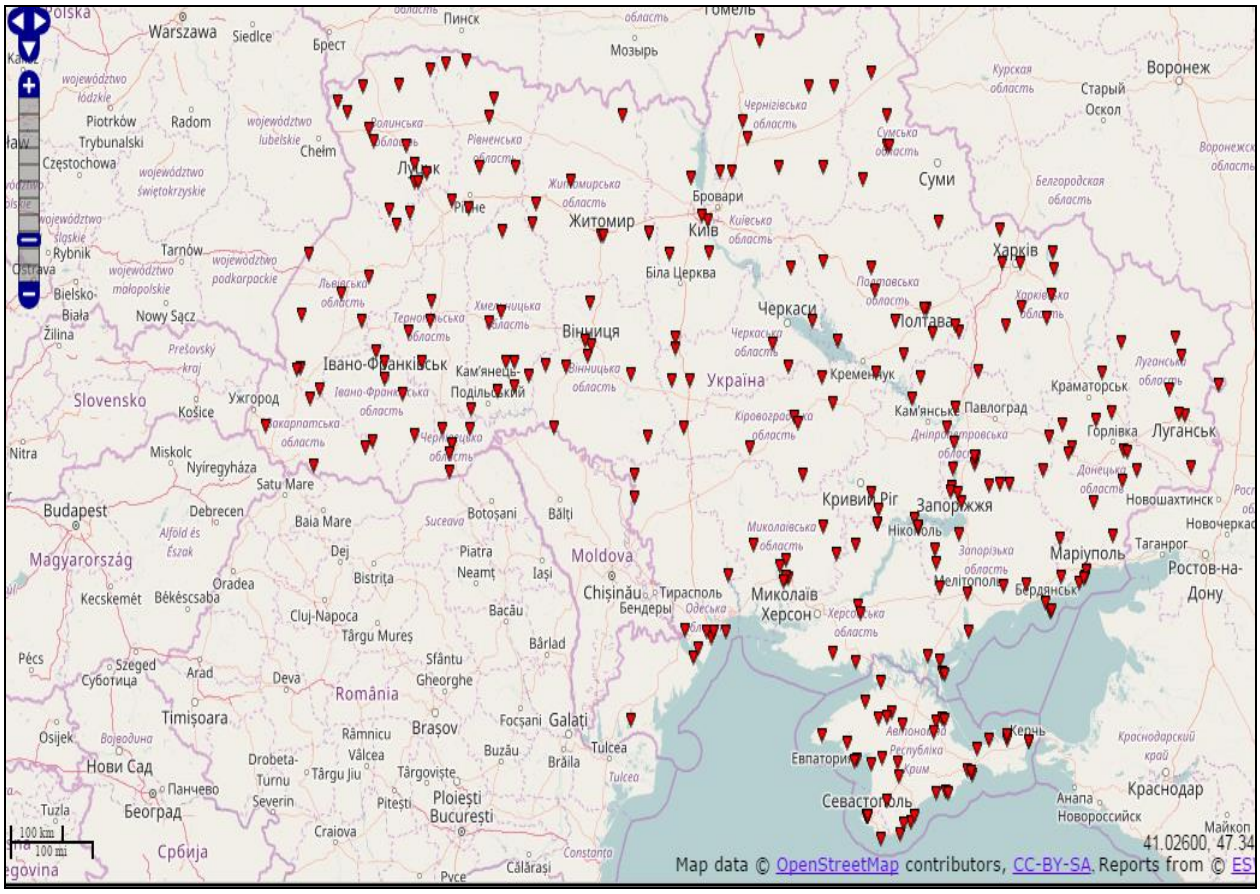

Рис. 2.1. Карта розповсюдження смерчів над Україною з 2001 по 2017 рр.

Таблиця 2.1 – Кількість випадків смерчів над Україною з 2001 по 2016 р.

Рік	Місяці									I-X
	I	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
2001					8					8
2002						3	4		1	8
2003					1	10	1			12
2004		5	1	1	3	3	9	1		23
2005		1	2	5		2		2		12
2006					1	3	20	1		25
2007				4	4	10	2			20
2008		3				2	2			7
2009					2	2	2	1		7
2010				6	5	6	1			18
2011	1			1	7	2	3			14
2012			1	1	5		1			8
2013				2	7	2	6			17
2014			2	8	4	4	1	1		20
2015				4	13	4	1	3		25
2016				16	4		3			23
2017				2	8	2	1	2		15
Всього	1	9	6	50	72	55	57	11	1	262

Як видно з графіка (рис. 2.2) в період 2001–2017 рр. кількість смерчів над Україною становила від 8 до 25 випадків на рік, тобто у середньому 15,4. Найчастіше смерчі (25 випадків) спостерігалися у 2006 та 2015 роках, а найменш за період, лише 7 вихорів, виявилося у 2008 та 2009 рр.

Аналіз міжрічної мінливості повторюваності смерчів дозволив зробити висновок про зростання кількості смерчів з 2001 по 2017 рр., але складно розрізнити внесок природних та соціальних чинників. Тобто, свою частку в збільшення кількості зареєстрованих смерчів вносить бурхливий розвиток за

останні роки соціальних мереж та наявності у населення можливості якісного фотографування подій та миттєвого розповсюдження знімків.

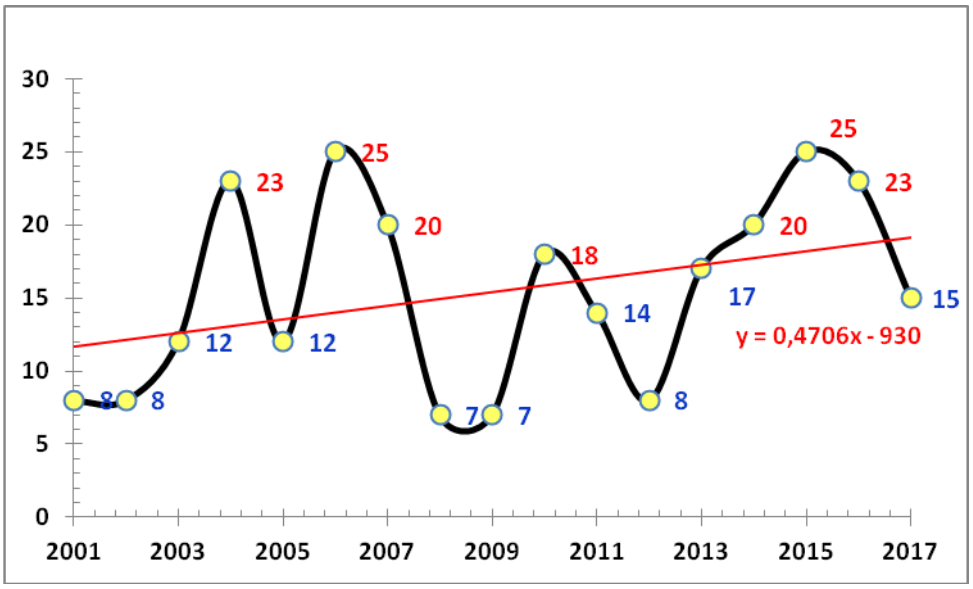

Рис. 2.2. Повторюваність смерчів (к.в.) над Україною у 2001-2017 рр.

Порівняння сезонного розподілу смерчеутворення над Україною за період 2001–2017 рр. (рис. 2.3) з [10] виявило відмінності, а саме останнім рокам властивий більш згладжений річний хід. Тобто, якщо у 1961-1990 рр. [10] переважна більшість вихорів (68 %) припадала порівну на червень та липень, то у 2001-2016 рр. на ці місяці пришлося лише 51 % за рахунок збільшення частки травня та серпня. Така відмінність, можливо, зумовлена пересуванням активних фронтальних розділів у другій половині червня після періоду високих температур на початку червня.

Як видно з рис. 2.4, найбільша кількість смерчів спостерігалася у серпні 2006 р. та у травні 2016 р., можливо, завдяки активної меридіональної циркуляції при пересуванні циклону з північного заходу на територію України.

Відносно активними (5-10 випадків на місяць) червень 2001 р., липень-серпень 2003-2004 рр., червень-серпень 2006-2007 рр., а також травень-червень 2010 рр. і травень-серпень 2013-2016 рр.

В цілому, за період 2001–2017 рр. смерчі переважно формувалися з травня по серпень (89 %), а на тепле півріччя припадало 96 %. Тобто, 11 смерчів виникло у холодну пору року, а значить без внеску термічної

конвекції, з них 9 випадків припало на березень, та по одному на січень 2011 та жовтень 2002 рр.

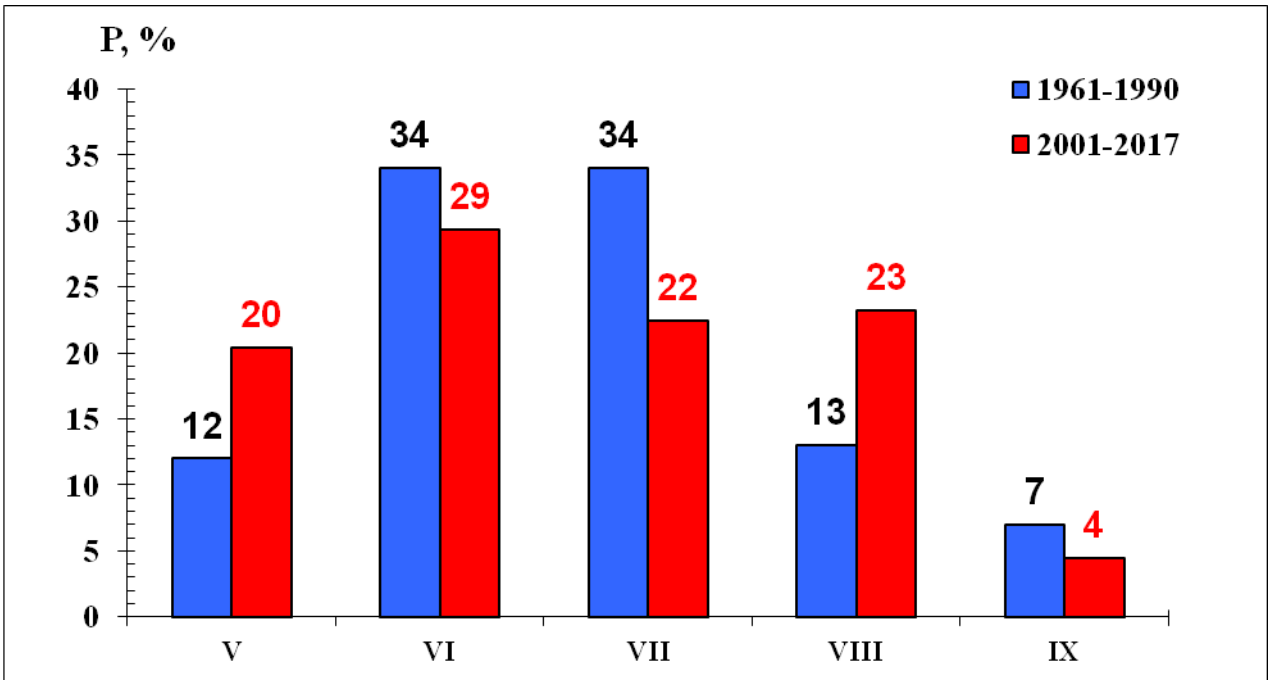

Рис. 2.3. Річний хід виникнення смерчів у 1961-1990 [10] та 2001–2017 рр.

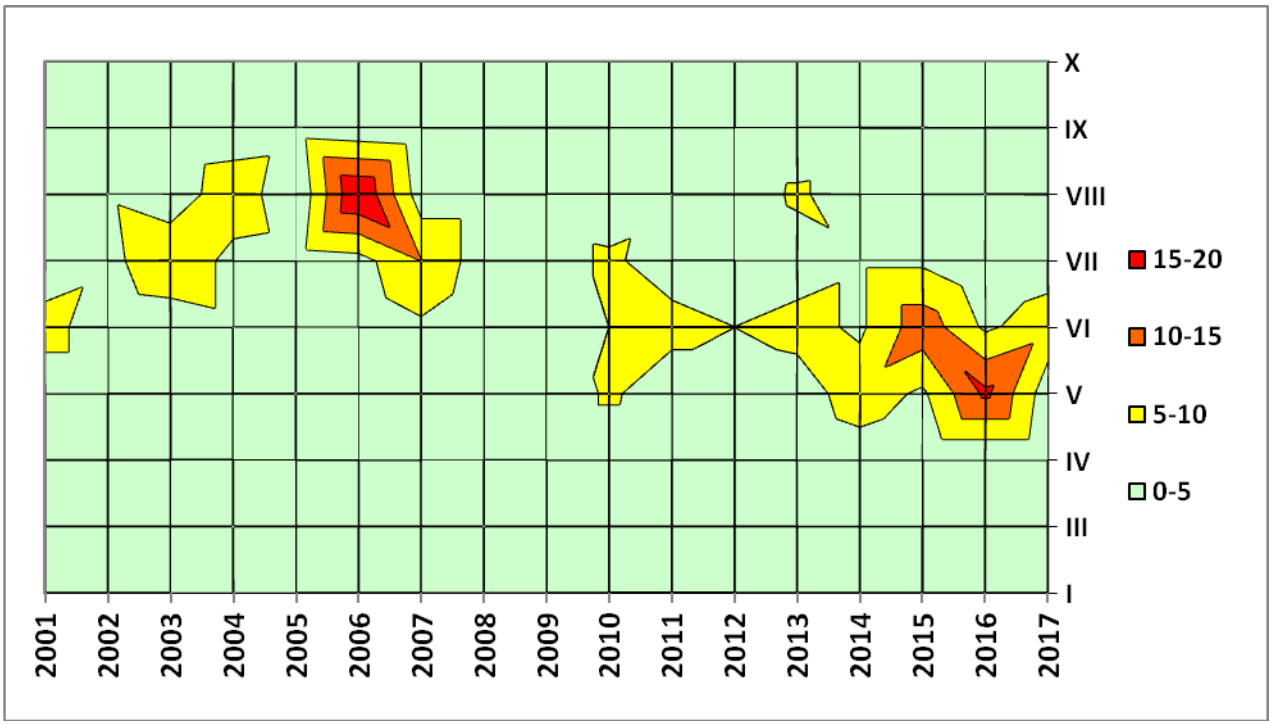

Рис. 2.4. Кількість випаків смерчів над Україною (2001-2017 рр.)

2.2 Регіональні особливості формування смерчів над Україною

Територія України характеризується різноманіттям фізико-географічних умов, тому вплив географічних факторів може проявляться у особливостях розподілу смерчів по різним регіонам України.

Як видно з табл. 2.2, від смерчів потерпала вся територія України, але частіше вони відбувалися на півдні країни (86 випадків), менш за все – на півночі (24 випадки). Також значна кількість вихорів виявилася над західними та центральними областями – 55 та 46 (рис. 2.5).

Таблиця 2.2 – Повторюваність смерчів по регіонам України

Регіон	Місяці													
	III		IV		V		VI		VII		VIII		IX	
	к.в.	%	к.в	%	к.в	%	к.в	%	к.в.	%	к.в.	%	к.в.	%
Північний	0	0	1	4	3	13	8	33	4	17	8	33	0	0
Південний	1	1	3	3	16	19	27	31	10	12	20	23	9	10
Східний	3	9	0	0	6	18	10	29	13	38	1	3	1	3
Західний	2	4	1	2	12	22	11	20	16	29	11	20	2	4
Центр	3	7	1	2	11	24	8	17	10	22	10	22	3	7
Україна	9	4	6	2	48	20	64	26	53	22	50	20	15	6

Виявлене відносне більш активне формування смерчів на півдні України, що, можливо, визначалося перевагою периферійних атмосферних процесів [6] у сполученні з впливом Чорного моря [11]. Характер цієї залежності буде встановлений у наступній роботі через аналіз особливостей циркуляційних умов регіону.

В залежності від регіону помітно змінювався сезонний хід смерчеутворення (рис. 2.6), а саме у північних та південних областях відносно менш активно утворювалися смерчі у липні (12 та 17 %). На заході та у центрі спостерігався взаємоподібний сезонний розподіл, коли з травня по серпень повторюваність смерчів складала приблизно 20 %.

Східні області відрізнялися наявною перевагою липневих вихорів (38 %) і раптовим їх зменшенням у серпні (3 %), а також помітною часткою у березні.

Можливо, скорочення кількості смерчів у серпні та вересні (лише по одному випадку) пов’язане з недостатнім вологозабезпеченням східних областей.

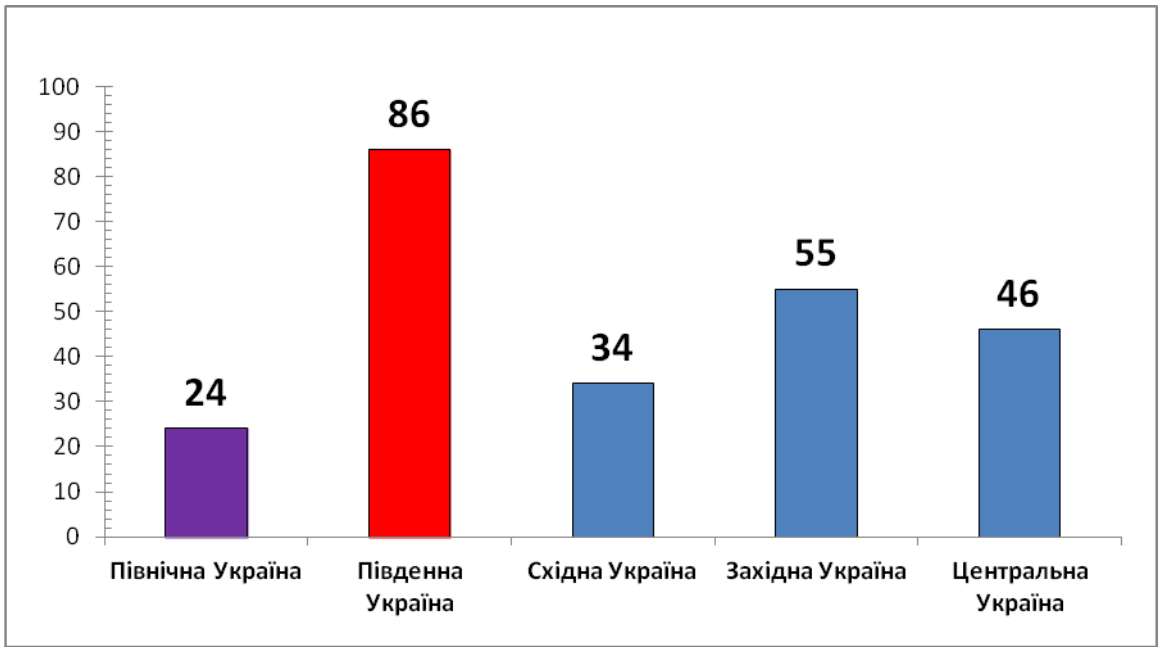

Рис. 2.5. Розподіл смерчів по регіонам України (2001-2017 рр.)

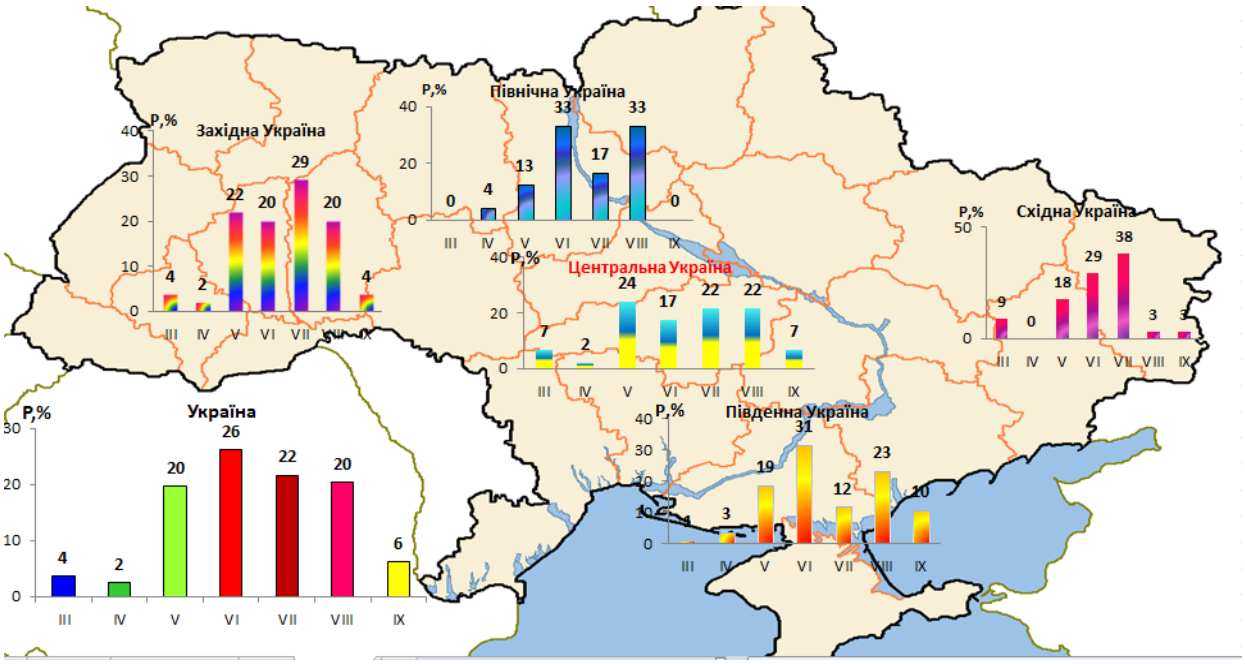

Рис. 2.6. Регіональні особливості сезонного смерчеутворення над Україною

За кліматичними даними [10] смерчі частіше (69,1 %) виникають над Україною у післяполудневі години (рис. 2.2) 15-18 та 12-15 UTC (42,4 і 27,1 %, відповідно), тобто в період максимального розвитку конвекції.

Період з 2001 по 2017 рр. (табл. 2.3) також характеризувався переважним утворенням смерчів з 12 по 18 год (58 %), але ця частка зменшилася на 11 % у порівнянні з [10], тобто зменшився внесок термічної конвекції у процеси виникнення смерчів.

Таблиця 2.3 – Добовий хід виникнення смерчів над Україною

Місяць	Строк, UTC							
	00-06		06-12		12-18		18-24	
	к.в.	%	к.в.	%	к.в.	%	к.в.	%
IV	0	0	1	17	5	83	0	0
V	2	4	12	25	33	69	1	2
VI	3	5	20	31	39	61	2	3
VII	4	8	14	26	31	58	4	8
VIII	5	10	19	38	22	44	4	8
IX	0	0	7	47	7	47	1	7
Регіони України	00-6		06-12		12-18		18-24	
	к.в.	%	к.в.	%	к.в.	%	к.в.	%
північний	2	8	9	36	14	56	0	0
південний	4	5	40	46	42	48	1	1
східний	0	0	13	38	20	59	1	3
західний	4	7	9	16	35	64	7	13
центральний	5	11	5	11	33	72	3	6
Україна	15	6	76	31	144	58	12	5

Аналіз добового ходу по окремих місяцях (рис. 2.7а) виявив відносну перевагу градації 12-18 UTC протягом всього теплого півріччя з поступовим зменшенням її частки від квітня до серпня. Можливо, з підвищенням температури від весни до літа, сприятливі умови для розвитку конвекції могли створювалися і вранці, тобто 06-12 UTC, а в серпні частки ранкових та денних

вихорів майже зрівнялися (38 та 44 %). Частка смерчів, що виникали ввечері (18-24 UTC) зростала також з квітня по вересень.

Якщо розглянути розподіл виникнення смерчів у залежності від часу доби та сезону, то з рис. 2.7б наявно видно, що найбільша кількість вихорів була зафіксована вдень (12-18 UTC) з травня по липень, що суттєво не відрізнялося від [10]. Цікаво, що у вересні, повторюваність ранкових та денних смерчів однакова (по 47 % або 7 випадків), можливо через їх відносно малу кількість (рис. 2.7г).

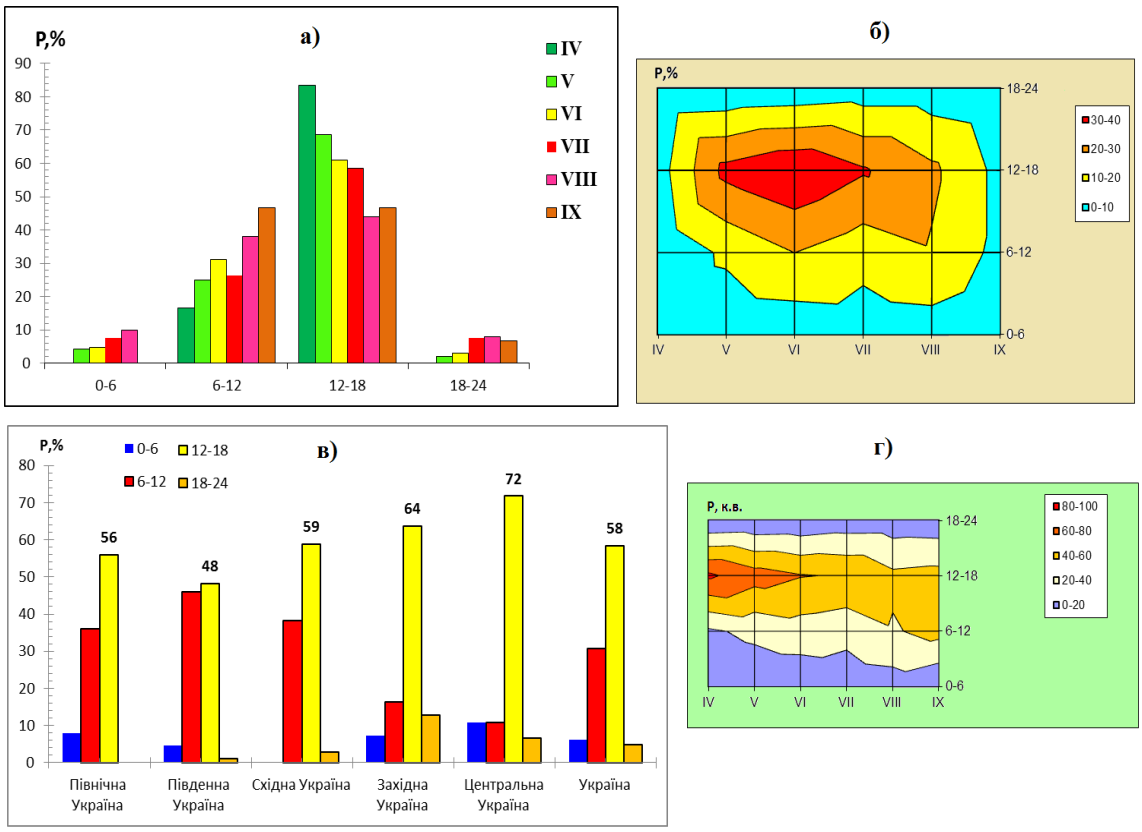

Рис. 2.7. Добовий хід (% та к.в.) формування смерчів для різних місяців (а-в) та регіонів (г) України (2001-2017 рр.)

Вплив географічного фактору на добовий хід можна помітити на рис. 2.7в, де у найбільш теплому регіоні, тобто на півдні України, частки ранкових та денних смерчів практично однакові (46 і 48 %). У центральних областях переважна більшість явищ (72 %) денні, водночас частка нічних смерчів теж відносно найбільша (11 %) за рахунок ранкових. На сході за весь період вночі не було жодного смерчу. Ввечері вихори частіше виникали на заході України (13 %), а на півночі їх не спостерігалося взагалі.

2.3 Інтенсивність смерчів над Україною за шкалою Фуджита

Щодо інтенсивності смерчів за шкалою Фуджита, то над Україною з 2001 по 2017 рр. переважали слабкі вихори (66 %), тобто класу F0. Сильні смерчі або клас F3 фіксувалися лише 6 разів, причому половину з них спостерігалася на півночі (рис. 2.8).

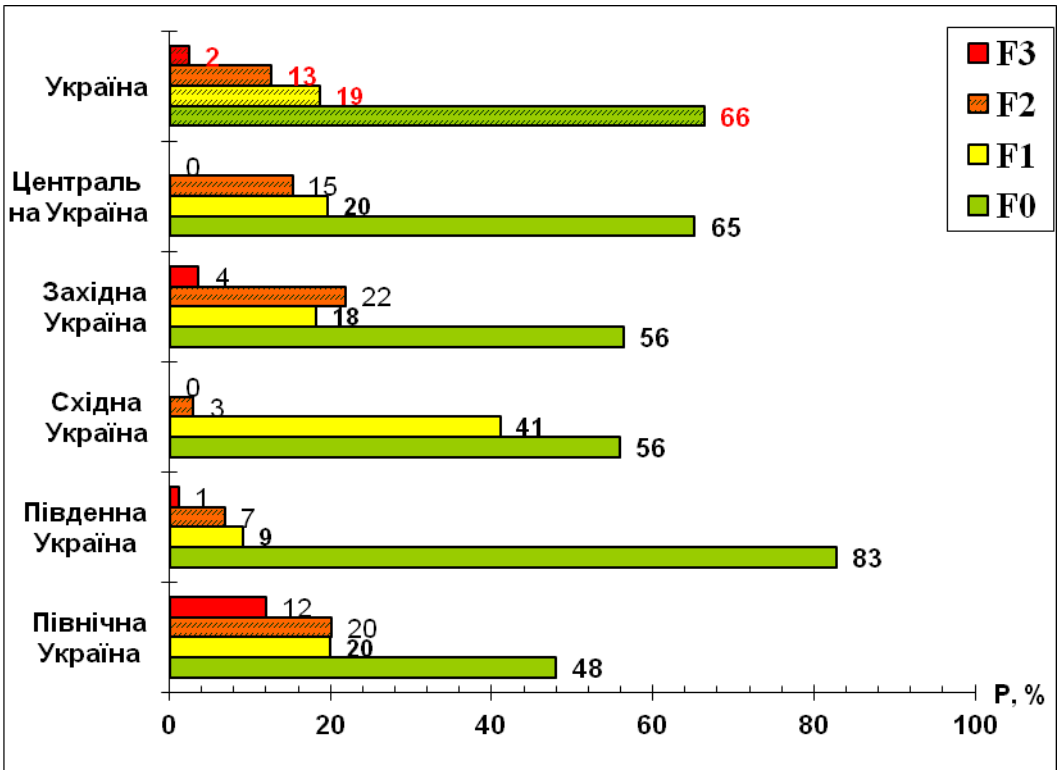

Рис. 2.8. Розподіл (%) смерчів по регіонам України за F-шкалою

На сході та у центрі України не було жодного сильного смерчу. Як видно з рисунка 2.8, найбільша частка класу F0 була характерною для південних регіонів (83 %), а найменша для північних (48 %). Смерчі з помірною інтенсивністю (F1) переважно утворювалися на сході України, а значні (F2) – на заході.

3 СМЕРЧІ НАД ПІВНІЧНО–ЗАХІДНИМ ПРИЧОРНОМОР’ЯМ

3.1 Просторово-часовий розподіл смерчеутворення над Північно-Західним Причорномор’ям з 2001 по 2017 рр.

В рамках дослідження розглянуті різні джерела метеорологічної інформації щодо виявлення випадків смерчів над. В якості джерел використовували дані метеорологічних спостережень над станціями Одеської, Миколаївської і Херсонської областей (АРМСин) та інтерактивну базу даних сайту Європейської лабораторії сильних штормів (European Severe Storms Laboratory ESSL) [18], а також створена власна база даних та побудована карта їх розповсюдження (рис. 3.1).

Рис. 3.1. Карта розповсюдження смерчів над Північно-Західним Причорномор’ям за період 2001-2017 рр.

В результаті роботи з вихідним матеріалом виявлено 27 випадків виникнення смерчів (табл. 3.1) над південним заходом України з 2001 по 2017 рр., які спостерігалися над Одеською, Миколаївською і Херсонською областями: 9, 7 та 11 випадків за період дослідження. Як видно з рис. 3.2. більшість смерчів над регіоном (38 %) виникала у червні, також вони активно

утворювалися у травні – 25%. З графіка добового ходу видно, що найчастіше смерчі виникали у денні години, а найрідше вони спостерігалися у нічний час.

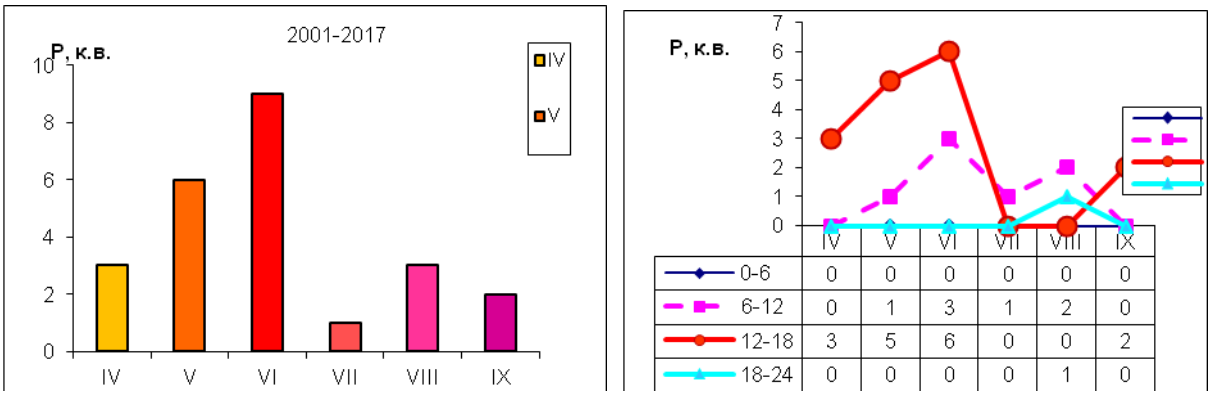

Рис. 3.2. Річний та добовий хід виникнення смерчів над Північно-Західним Причорномор'ям з 2001 по 2017 рр.

В залежності від області помітно змінювався сезонний хід смерчеутворення (рис. 3.3), а саме у Миколаївській області найбільше вихорів утворилося у червні (43 %) та жодного вихорю не відмічалося у липні.

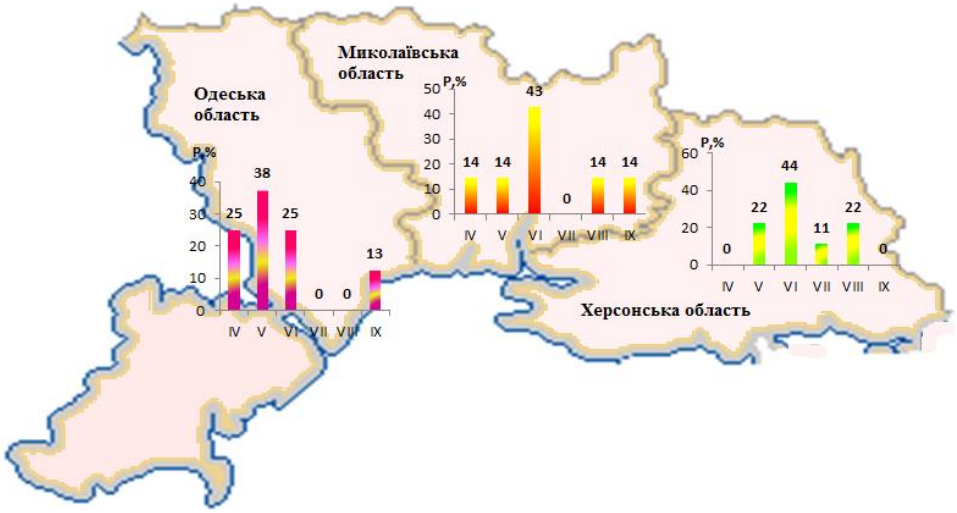

Рис. 3.3. Річний хід активності смерчеутворення над Північно-Західним Причорномор'ям

У Херсонській області також смерчі переважно відмічалися у червні, що склало 44%, значна кількість вихорів спостеріалася у травні та серпні (по 22%), вдвічі менше у липні (11%), а у квітні та вересні не було жодного вихорю. Над Одеською областю найчастіше смерчі виникали у травні (38%), у

квітні та червні їх повторюваність становила по 25%. У найспекотніші місяці літа (липень та серпень) вихорі не відмічалися взагалі (табл. 3.1). Виявилося, що за 17 років смерчі у липні спостерігалися лише двічі над Херсонщиною - 3 липня 2013 р. та 26 липня 2017 р. у серпні кількість вихорів зросла до трьох.

Таблиця 3.1 – Дані про смерчі над Північно-Західним Причорномор'ям 2001-2017 рр.

№ п/п	Дата	Час, UTC	Населений пункт	Координати	
				φ, пн.ш.	λ, сх.д
Миколаївська область					
1	15.06. 2001	16:00	Калинівка	47°23′	32°97′
2	11.08.2006	22:00	Миколаїв	46°97′	32°00′
3	28.06.2007	17:00	Миколаїв	47°00′	32°05′
4	21.04. 2014	14:00	Новий Степ	47°32′	31°45′
5	03.05. 2014	13:30	Миколаїв	46°98′	32°09′
6	06.09.2015	13:50	Костянтинівка	47°10′	31°94′
7	01.06.2016	10:18	Кандибине	47°18′	32°04′
8	10.05.2016	13:00	Привілля	46°16′	33°33′
Херсонська область					
1	13.08. 2002	09:00	Херсон	46°25′	32°90′
2	30.06. 2010	15:00	Чернянка	46°65′	33°40′
3	29.06. 2013	15:00	Велика Олександрівка	47°31′	33°32′
4	03.07.2013	11:30	Нова Каховка	46°72′	33°37′
5	23.06.2014	07:45	Щасливцеве	46°04′	34°94′
6	28.05.2015	13:15	Новоолексіївка	46°23′	34°64′
7	11.06.2015	15:00	Генічеськ	46°18′	34°85′
8	20.08.2015	09:00	Щасливе	46°05′	34°90′
9	10.05.2016	13:00	Привілля	46°16′	33°33′
10	09.06.2017	12:00	Нова Збуріївка	46°41′	32°39′
11	26.07.2017	08:30	Чорне море	45°10′	30°01′
Одеська область					
1	20.04.2005	15:00	Китай	45°58′	29°22′
2	26.05.2005	15:00	Бєлгород–Дністровський	46°20′	30°35′
3	18.09.2005	14:00	Одеса	46°47′	30°73′
4	22.04. 2012	12:00	Петрівка	48°00′	29°27′
5	06.06. 2012	15.00	Авангард	46°47′	30°60′
6	07.06. 2013	09.30	Одеса	46°40′	30°68′
7	28.05. 2014	11.00	Софіївка	47°02′	31°00′
8	10.05.2016	13:10	Велике Бурилове	47°78′	29°29′
Всього:			27		

Отже, над Північно-Західним Причорномор'ям смерчі частіше виникали з 2001 по 2017 рр. над Херсонщиною у післяполудневі години. Над всім регіоном більшість вихорів спостерігалося у травні та червні, квітень та вересень характеризувалися помірною активністю їх формування.

3.2 Характеристика метеорологічних та синоптичних умов напередодні смерчів над Північно-Західним Причорномор'ям з 2001 по 2017 рр.

Смерч - це явище, яке важко виявити та виміряти, ще складніше спрогнозувати, тому що він локальне явище. Проте утворення смерчів пов'язане з інтенсивними макромасштабними процесами – зонами активної конвекції та грозової діяльності, для яких характерна велика вертикальна нестійкість атмосфери. Такі умови спостерігаються найчастіше в циклонах, які швидко рухаються, в їх східних та південно-східних секторах, де найчастіше утворюються лінії нестійкості та шквалів; на ділянках холодних фронтів, де йде активне хвилеутворення. Проте навіть при таких умовах в атмосфері утворення смерчів відбувається дуже рідко. Це говорить про те, що суттєву роль в утворенні смерчів ймовірно відіграють мезомасштабні процеси - характер еволюції та рух хмар і хмарних систем.

Виявлено, що утворенню смерченебезпечної хмарності, сприяє перегрів повітря у приземному шарі на невеликих площах порівняно з навколишнім простором. В [34, 35, 12] виділяють п'ять метеорологічних та синоптичних ознак, які сприяють утворенню смерчів:

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

2. Велика конвективна нестійкість в атмосфері, яка характеризується вертикальними градієнтами температурі, 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 південному-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.

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 [4, 5]:

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 ніжних 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.

Якщо проаналізувати випадки, коли над південним заходом України спостерігалися смерчі, то можна оцінити сприятливість метеорологічних та аеросиноптичних умов виникненню небезпечних вихорів. Результати цього аналізу зведені у табл. 2.2, та підрахована сума всіх виявлених чинників.

Отже, найбільша кількість характерних ознак виявилося напередодні випадків: 1 червня 2016 р. у Миколаївській області, 30 червня 2010 р. та 28 травня 2015 р. у Херсонській області, 18 вересня 2005 р у Одеській області, хоча ці вихори не відрізнялися значною інтенсивністю – лише F0 за шкалою Фуджіта.

В цілому, смерчі над Північно-Західним Причорномор'ям виникали при відносно високих значення атмосферного тиску – від 1005 до 1015 гПа, а найнижчий тиск спостерігався перед останнім випадком у Миколаївській області, тобто 1 червня 2016 та становив не менш ніж 1000 гПа.

Цікаво, що значні градієнти приземної температури відмічався у дев'яти випадках, а за їх відсутністю утворювалися 15 смерчів. Над Одеською та Миколаївською областями було лише по два вихорю за умови термічно неоднорідного поля, тоді як над Херсонською областю подібних явищ відбулося більше половини (5 випадків).

Сходимість ізогіпсів вздовж потоку в середній тропосфері оцінувалася по полю геопотенціалу на рівнях 700-500 гПа, та виявилося, що лише у двох випадках над Миколаївською областю виявилася помітна конвергенція ізоліній, решта смерчів формувалася при майже прямих паралельних ізогіпсах. Над Одеською областю половина смерчів виникала за умов сходи мості потоків, а над Херсонською областю всі випадки утворювалися при її відсутності.

Цікаво, що високий фон приземної температури відмічався у семи випадках, а у відсутності спеки утворювалися 17 смерчів (при температурі не вище 15-22 °С). Над Миколаївською областю був лише один вихор за умови

спекотної погоди, над Одеською областю спостерігалося два випадки, тоді як над Херсонською областю подібних явищ відбулося менше половини (4 випадки), отже більшість смерчів виникло при відсутності спеки.

Таблиця 3.2 – Наявність ознак смерчеутворення напередодні над Північно-Західним Причорномор'ям 2001-2017 рр.

Область	Дата	Місяць	Рік	Ознаки												Сума
				1	2	3	4	5.1	5.2	5.3	5.4	6	7	8	9	
Миколаївська	15	6	2001	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	+	5
	11	8	2006	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+	5
	28	6	2007	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	-	+	5
	21	4	2014	-	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	5
	3	5	2014	-	-	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	6
	6	9	2015	-	+	-	-	+	+	+	+	+	-	+	+	8
	1	6	2016	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	10
Херсонська	13	8	2002	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	-	+	5
	30	6	2010	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	+	+	7
	29	6	2013	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	-	+	5
	3	7	2013	-	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	6
	23	6	2014	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	4
	28	5	2015	-	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	7
	11	6	2015	-	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	+	6
	20	8	2015	-	+	-	-	-	+	+	-	+	-	+	+	6
	10	5	2016	-	+	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+	4
	9	6	2017	-	+	-	-	-	+	+	-	+	-	+	+	6
	26	7	2017	-	+	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+	4
Одеська	20	4	2005	-	-	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	7
	26	5	2005	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	8
	18	9	2005	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10
	22	4	2012	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+	5
	6	6	2012	-	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	8
	7	6	2013	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	8
	28	5	2014	-	-	+	-	-	+	-	+	+	+	+	+	7
	10	5	2016	-	+	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+	4

Як показав аналіз синоптичної інформації, у 10 випадках формування смерчів з 24 спостерігалося переміщення циклону з півдня або південного сходу на північ або північний захід. Над Одеською та Миколаївською областями подібна ситуація складалася у більшості випадків, на відміну від Херсонської, де лише одного разу (28 травня 2015 р.) циклон пересувався з південного заходу на північний схід.

Наявність висотної улоговини на рівні 500 гПа була характерною для всього південно-західного регіону України під час формування смерчів, за винятком двох випадків (21 квітня 2014 р. у Миколаївській області та 13 серпня 2002 р. у Херсонській області).

Присутність циклону над Скандинавією не спостерігалася лише п’ять разів, причому над Одеською областю тричі та по одному разу над рештою регіону. Отже 80 % смерчів над нашими областями утворювалися за наявності глибокого циклону над Скандинавією, решта вихорів формувалася при іншій локалізації подібного баричного утворення.

Що стосується орієнтації ВФЗ, то характерна для розвитку небезпечної конвекції меридіональна не виявилася лише у п’яти випадках над Херсонською та Одеською областями, що не заважало розвитку потужної конвективної хмарності. Над Миколаївською областю всі вихори розвивалися при меридіональних потоках південних напрямків.

Верхня межа хмарності за даними метеорологічних радіолокаторів, розрахунків на аерологічних діаграмах або за супутниковими знімками жодного разу не опускалася нижче 9 км напередодні виникнення смерчу над Одеською областю. Над рештою регіону практично третина явищ утворювалася при менш високих хмарах.

Вологонасиченість повітря біля поверхні землі у чверті випадках спостерігалася від 10-11 до 11-13 г/кг, тобто відповідала типовому значенню 10-15 г/кг. Всі смерчі над Херсонською областю спостерігалися при відносно сухому повітрі – 8-9 та 10-11 г/кг. Порівняно с іншими областями більш вологе повітря біля землі напередодні смерчу виявилося в Одеській області, майже половина вихорів виникала при значній вологонасиченості.

Струминні течії ніжних рівнів з перпендикулярною орієнтацією до фронту виявлені за даними радіозондів (00 UTC) та полів швидкості вітру та ліній току [27] (00 і 12 UTC) у 38 % випадках над південним заходом України, причому у 63 % над Одеською областю низькі течії передували смерчам на відміну від інших областей.

Характерна потужна купчасто-дощова хмарність з викидами перистих хмар за напрямом потоку спостерігалася кожен раз за декілька годин до виникнення смерчу.

Отже, характерна хмарність властива кожному смерчу, але циркуляційні

умови, фон температури та вологості, аерологічна структура можуть відрізнятися один від одного за виключенням меридіональної улоговини на рівні 500 гПа для всіх випадків.

Останній вихор над Північно-Західним Причорномор'ям спостерігався 9 червня 2017 р., коли Херсонська область знаходилася під впливом улоговини малоазійської депресії. Холодний фронт зміщувався на фоні контрасту температури повітря, та активність фронту спостерігалася на лінії розділу море-суша (рис. 3.4).

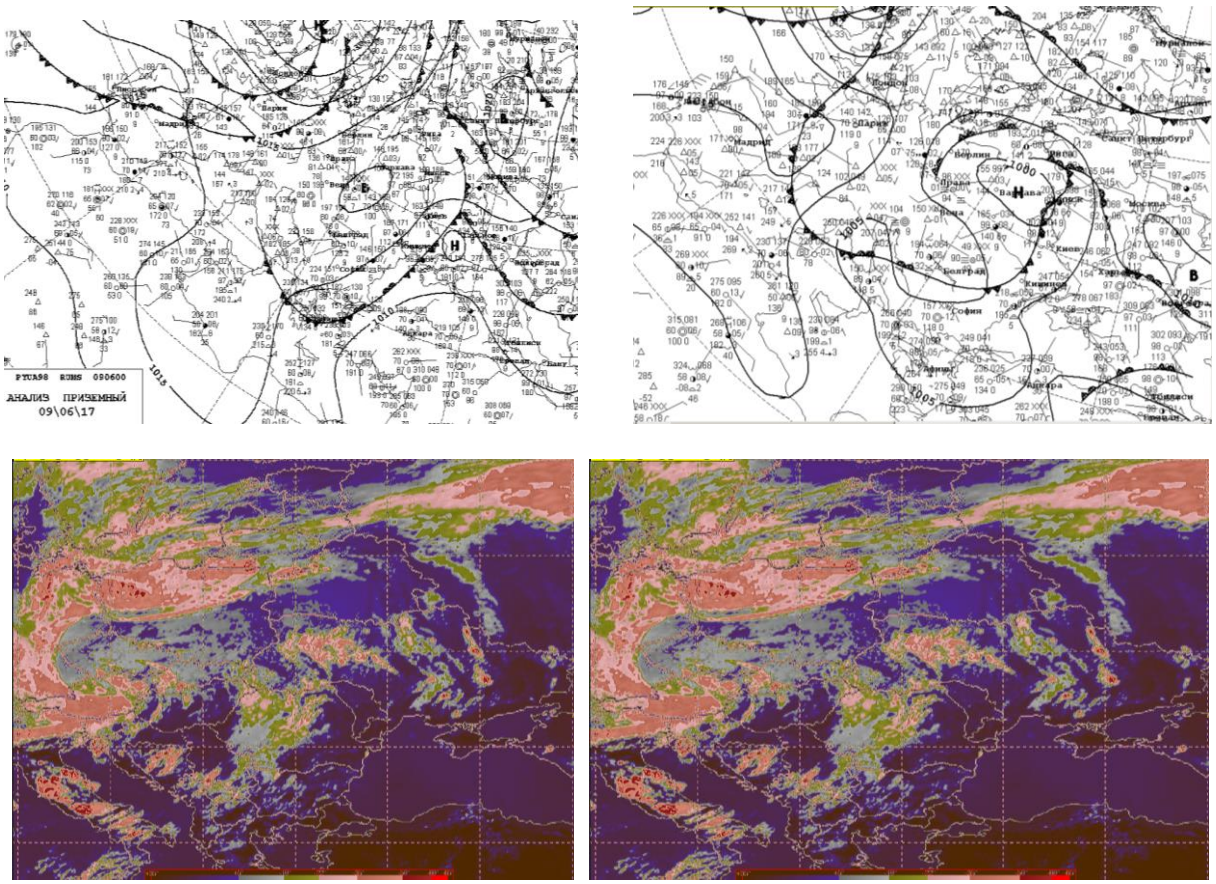

Рис. 3.4. Синоптичні карти та супутникові знімки 9.06.2017 р. 00 та 12 UTC

За даними приземної карти за 26 липня 12 UTC північно-західне Причорномор'ям знаходилося під впливом поля зниженого тиску, але спостерігалося зміщення фронтальної системи з північного заходу України. Через Київську область та райони Молдови зміщувався холодний фронт на фоні контрасту температур (перед фронтом спостерігалася максимальна температура повітря 31,1°С, за фронтом 21,6°С) – умови для виникнення шквалів.

4 ТЕРМОДИНАМІЧНІ УМОВИ УТВОРЕННЯ СМЕРЧІВ

4.1 Індекси нестійкості атмосфери та її готовності до розвитку суперосередків

В даний час в деяких прогностичних моделях погоди (наприклад, негідростатичних мезомасштабних моделях MM5 та WRF) для прогнозу розвитку грози, граду, шквалу та інших небезпечних явищ погоди, обумовлених розвитком конвекції, практикується використання значень індексів, що характеризують конвекцію за низкою параметрів [6, 17,33].

Кількісні значення індексів нестійкості, що розраховані на основі даних аерологічні 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:

$$CAPE = g \int_{LFCT}^{EL} dz * (Ti - Te)/Te, \qquad (4.1)$$

де, Ti – температура частки повітря, Te – 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 конвективної атмосфері дозволить кількісно оцінити ступінь розвитку конвекції і ймовірність утворення грози і граду (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Інтенсивність конвективних явищ за CAPE

CAPE, Дж/кг	Очікувана ситуація
400-1000	невелика нестійкість (Cu, Cb, слабкі зливові опади)
1000-2500	помірна нестійкість (Cb зі зливами, грози)
2500-3500	сильна нестійкість (грози, місцями сильні)
> 3500	дуже сильна нестійкість (сильні і дуже сильні грози, смерчі)

Індекси нестійкості Ki - індекс нестійкості або число Вайтинга (W). Розрахунок Ki заснований на вертикальному градієнті температури, вологості повітря в нижній тропосфері, а також враховує вертикальну протяжність вологого шару повітря. Ki характеризує ступінь конвективної нестійкості повітряної маси, яка необхідна для виникнення і розвитку гроз:

$$Ki = (T_{850} - T_{500}) + Td_{850} - \Delta Td_{700,}. \qquad (4.2)$$

де Ki – індекс нестійкості (число Вайтінга), T_{850} – температура повітря на ізобаричної поверхні 850 гПа, T_{500} – температура повітря на 500 гПа, Td_{850} - точка роси на 850 гПа, ΔTd_{700} - дефіцит точки роси на поверхні 700 гПа.

Індекс Ki краще за все використовувати влітку для прогнозування внутрішньомасових гроз. Порогові значення з табл. 4.2 можуть змінюватися залежно від сезону, географії та синоптичної ситуації.

Таблиця 4.2 – Порогові значення індексу нестійкості Вайтінга

Значення Ki	Що очікується	Співвідношення площі, де очікують грозу до території за якою складено прогноз, %
< 20	без гроз	-
20-25	окремі ізольовані грози	10-20
25-30	кілька гроз	20-50
30-35	розсіяні грози	50-70
35-40	численні грози	> 70
> 40	грози повсюдно	100

Наступний індекс нестійкості, це вертикальний індекс VT (Vertical Totals):

$$VT = T_{850} - T_{500}, \quad (4.3)$$

де T_{850} - температура повітря на ізобаричної поверхні 850 гПа, T_{500} - температура повітря на 500 гПа. Якщо VT > 28 ^{o}C, то тропосфера має високий потенціал конвективної нестійкості, який достатній для утворення гроз.

Далі, індекс CT - Cross Totals:

$$CT = Td_{850} - T_{500}, \quad (4.4)$$

де Td_{850} - точки роси на 850 гПа, T_{500} - температура повітря на 500 гПа.

Таблиця 4.3 – Інтенсивність конвективних явищ за CT

Значення CT	Очікувана ситуація
< 18	Тропосфера володіє низьким потенціалом конвективної нестійкості, який недостатній для грозової діяльності
18-19	Помірна нестійкість. Слабка грозова діяльність
20-21	Висока нестійкість. Грози.
22-23	Енергія нестійкості при якій можливі сильні грози.
24-25	Висока енергія нестійкості. Сильні грози.
> 25	Дуже висока енергія нестійкості. Дуже сильні грози.

На основі двох попередніх індексів (VT та CT) складається підсумковий індекс TT – (Total Totals):

$$TT = VT + CT, , \quad (4.5)$$

де CT - Cross Totals індекс, VT - Vertical Totals індекс.

Таблиця 4.4 – Інтенсивність конвективних явищ за TT

Значення TT	Очікувана ситуація
< 44	Грозова діяльність не можлива
44-45	Окрема гроза або кілька гроз
46-47	Розсіяні грозові осередки
48-49	Значні кількість гроз, окремі з яких сильні.
50-51	Розсіяні сильні грозові осередки, окремі осередки зі смерчем
52-55	Значна кількість вогнищ сильних гроз, окремі осередки зі смерчем
> 55	Численні сильні грози з сильними смерчами

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

$$SWEAT = 12 \cdot Td_{850} + 20 \cdot (TT - 49) + 3{,}888 \cdot F_{850} + 1{,}944 \cdot F_{500} + (125 \cdot (\sin(D_{500} - D_{850}) + 0{,}2)), \quad (4.6)$$

де Td_{850} - точка роси на 850 гПа (^oC), 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} - напрямок 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 $\leq$ 7 м/с.

Таблиця 4.5 – 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 підйому Li (Lifted index) - Різниця температур навколишнього повітря і деякого одиничного обсягу, який піднявся адіабатично від поверхні землі (або з заданого рівня) до рівня 500 гПа. Li розраховується з урахуванням залучення навколишнього повітря.

Індекс Li характеризує термічну стратифікацію атмосфери по відношенню до вертикальним переміщенням повітря. Якщо Li > 0, то атмосфера (у відповідному шарі) стійка. Якщо значення Li < 0, то атмосфера нестійка.

Таблиця 4.6 – Інтенсивність конвективних явищ за індексом Li

Значення Li	Очікувана ситуація
≥ 6	Глибока інверсія. Атмосфера дуже стійка. Розвинені низхідні рухи повітря
1…5	Стійкий стан атмосфери. Купчасті хмарність гарної погоди.
-2…0	Невелика нестійкість. Конвективна хмарність зі зливами, при інтенсивному денному прогріванні або в зоні атмосферного фронту - з грозами та градом.
-5…-3	Помірна нестійкість. Сильні грози
≤ - 6	Висока нестійкість. Дуже сильні грози.

Індекс Томсона - Ti (Thompson index):

$$Ti = Ki - Li, \qquad (4.7)$$

де Ki - індекс нестійкості(число Вайтінга), Li - Lifted index.

Таблиця 3.7 – Інтенсивність конвективних явищ за індексом Томсона (Ti)

Значення Ti	Очікувана ситуація
<25	без гроз
25-34	можливі грози
35-39	грози, місцями сильні
≥ 40	сильні грози

Індекс Шоуолтера – SHW (Showalter index):

$$SHW = T_{500} - T_{850}^{B}, \qquad (4.8)$$

де T_{850}^{B} - температура частки, що адіабатично піднімається з поверхні 850 гПа до 500 гПа (по вологій адіабаті з рівня конденсації), T_{500} - температура повітря на рівні 500 гПа.

Якщо в шарі 850-500 гПа спостерігаються інверсійні шари (незалежно від походження), даний метод не спрацьовує. Індекс Шоуолтера для території Східної Європи найбільш показовий для прогнозу вечірніх гроз.

Таблиця 4.8 – Інтенсивність конвективних явищ за індексом SHW

Значення SHW	Очікувана ситуація
> 3	немає конвекції
1…3	є умови для розвитку конвекції
-2…1	можливі слабкі грози
-3…-2	можливі грози, шквали (місцями сильні)
-6…-4	можливі сильні грози, шквали
< -6	можливі дуже сильні грози, шквали, смерчі

Найчастіше більша частина всіх смерчів (близько 70-80%) пов'язана з суперосередками і мезоциклоном, тому прогноз торнадо безпосередньо базується на прогнозі виникнення суперосередків.

1. 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:

$$BRN = \frac{CAPE}{0{,}5 \cdot \left(U_{6km} - U_{500m}\right)^2}, \qquad (4.9)$$

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

Зазвичай, при 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 BRN > 45 через значний кут нахилу висхідних потоків, суперосередки не будуть спостерігатися.

2. 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:

$$\text{BRN shear} = 0{,}5 \cdot \left(U_{6\text{km}} - U_{500\text{m}}\right)^2 \qquad (4.10)$$

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

Таблиця 4.9 – Інтенсивність конвективних явищ за індексом BRN Shear, $м^2/с^2$

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

Цей індекс добре показує відмінність між суперячейкой 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.

3. 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 супеосередка. Однак це не дуже хороший показник для визначення обертального потенціалу в нижньому шарі.

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

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

$$\text{LOSHR} = V_{1\text{km}} - V_{\text{sfc}} \qquad (4.11)$$

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: $м^2/с^2$

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 $м^2/с^2$) і 0-3 км (> 250 $м^2/с^2$). Зазначені значення свідчать про підвищену ймовірність виникнення суперосередків, хоча чіткої межі між прогнозом відсутності і наявності суперосередку немає.

$$SRH=V_{SR}*(\Delta \times V) \qquad (4.12)$$

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. 4.10).

Таблиця 4.10 – Критерії індексу Storm Relative Helicity

Значення SRH, $м^2/с^2$	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.

$$EHI = \frac{CAPE * SRH}{1{,}6 * 10^5} \qquad (4.13)$$

Високі значення EHI представляють середу, що володіє високим параметром CAPE і / або високою SRH (табл. 4.11)

Таблиця 4.11 – Критерії індексу Energy Helicity

Значення EHI	Очікувана ситуація
EHI < 1,0	Суперосередки та торнадо малоймовірні у більшості випадках, але необхідно мати відомості про конвекцію та зони зсуву, що може зробити значення EHI 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

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:

$$STP = LOSHR/20 \cdot SRH/100 \cdot CAPE/1000 \cdot (2000\text{-}LCL)/1500,$$

де LCL – висота рівню конденсації (гПа) для частки, що адіабатичне підіймається. Сильні смерчі слід чекати якщо STP ≥ 1.

4.2 Аналіз індексів нестійкості атмосфери напередодні смерчів над Північно-Західним Причорномор'ям у 2001-2017 рр.

При прогнозуванні виникнення грози, граду, шквалу та інших небезпечних явищ погоди, які обумовлені розвитком конвекції, практикується використання значень індексів, що характеризують конвекцію за низкою параметрів [6, 17, 33].

Для аналізу готовності атмосфери напередодні смерчів залучені аерологічні діаграми за строк 00 UTC над ст. Одеса-ГМО та розрахунки індексів нестійкості атмосфери у 00 та 12 UTC, що отримані за допомогою ресурсу [20], причому для строку 00 UTC проводилися як безпосередні розрахунки за даними радіозонду, так і за [20], які практично не розходилися у своїх значеннях (табл. 4.12).

Число Вайтінга або K index демонструє готовність атмосфери до виникнення декількох гроз на 20-50 % території, яка забезпечується прогнозом. Вертикальний індекс перевищує у більшості випадків 25 ^{o}C, тобто тропосфера має високий потенціал конвективної нестійкості, який достатній для утворення гроз. За значенням індексу CT (Cross total), в атмосфері була присутня енергія нестійкості при якій можливі сильні грози 5 разів, а у 3 випадках індекс не виявив умов для розвитку конвекції взагалі.

Підсумковий індекс (TT) свідчить про значну кількість вогнищ сильних гроз та окремі осередки зі смерчем вдень над Одеською областю лише двічі: 26 травня 2005 р. та 22 квітня 2012 р. По одному разу виявлялися за значенням TT умови для розвитку конвекції у кожній області, та третина вихорів виникла при TT < 44 ^{o}C, тобто коли за вказаним індексом не очікується умов для грозової діяльності. Решта випадків - розсіяні грозові осередки

За значенням комплексного індексу SWEAT для більшості випадків не було умов для виникнення сильних гроз в обидва строки за винятком 26 травня 2005 р., коли спостерігався висока рівень приземної температури над Одеською областю.

Додатні значення (17 випадків) індексу підйому (Lifted index) передбачають наявність інверсії температури, коли атмосфера дуже стійка та є розвинені низхідні рухи повітря, хоча супутникові знімки свідчать про

купчасто-дощову хмарність. Лише двічі (13 серпня 2002 р. та 29 червня 2013 р.) індексу підйому знизився до -6…-4 °С, що вказувало на високу нестійкість атмосфери та можливість гроз напередодні смерчів над Херсонською областю. Індекс Шоуолтера жодного разу не досягнув критерію (-6 °С), при яких можливі сильні грози, шквали та смерчі.

Таблиця 4.12 – Значення індексів конвекції за даними радіозондування на ст. Одеса-ГМО напередодні смерчів Північно-Західного Причорномор'я (2001-2017 рр.)

Дата	Срок	F	K index, °C	Vertical totals, °C	Cross totals, °C	Total totals, °C	SWEAT	Lifted index, °C	Showalter index, °C	BRN Shear, $м^2/с^2$
Миколаївська										
15.06.01	16:00	F0	23	21	18	40	117	8	6	1
11.08.06	22:00	F0	31	28	22	51	205	2	-1	36
28.06.07	17:00	F0	22	27	19	46	137	0	3	0
21.04.14	14:00	F0	19	27	20	48	9	4	4	72
03.05.14	13:30	F0	26	30	24	54	149	1	1	76
06.09.15	13:50	F0	20	25	12	37	128	3	9	7
01.06.16	10:18	F0	16	28	18	46	94	1	3	2
Херсонська										
13.08.02	9:00	F0	30	28	18	47	244	-4	1	11
30.06.10	15:00	F0	30	25	24	48	180	4	-1	1
29.06.13	15:00	F0	35	32	21	53	174	-6	-1	36
03.07.13	11:30	F0	7	21	15	39	93	7	7	21
23.06.14	7:45	F0	17	27	21	47	100	4	4	1
28.05.15	13:15	F0	24	23	19	41	48	-1	6	25
11.06.15	15:00	F0	15	27	14	41	6	4	7	5
20.08.15	9:00	F0	25	23	18	41	91	6	7	0
09.06.17	12:00	F1	23	26	23	51	27	2	4	12
26.07.17	8:30	F2	32	26	21	48	149	1	1	0
10.05.16	13:00	F0	18	29	22	48	71	9	2	2
Одеська										
20.04.05	15:00	F0	24	26	21	49	42	10	4	1
26.05.05	15:00	F2	30	32	24	57	303	-3	3	23
18.09.05	14:00	F0	35	23	23	42	179	13	-1	118
22.04.12	12:00	F0	29	29	26	55	181	3	0	15
06.06.12	15:00	F0	24	30	24	53	233	-1	-1	3
07.06.13	9:30	F0	28	28	22	49	73	2	2	4
28.05.14	11:00	F0	30	30	18	47	43	-3	3	132
10.05.16	13:10	F0	23	26	23	51	27	2	4	12

Індекс BRN не виявляв умов для формування суперосередків в обидва строки, за виключенням чотирьох випадків, з яких імовірні потужні суперосередки: 21 квітня та 3 травня 2014 р. над Миколаївською областю , 18 вересня 2005 р. та 28 травня 2014 р. над Одеською областю.

Таким чином, напередодні виникнення вихорів над південним заходом України тропосфера мала високий потенціал конвективної нестійкості, що достатній для утворення гроз, але безпосередньо не вказує на небезпеку утворення смерчу через локальній масштаб вихорю, крім того індекси конвекції по-різному відображають стан термічної стійкості.

4.3 Розрахунок індексів конвекції та готовності атмосфери до виникнення вихорів над Херсонською областю 26 липня 2017 р.

Останній смерч за період дослідження утворився 26 липня 2017 року о 9.30 за місцевим часом над акваторією Чорного моря з інтенсивністю F0. Вихор не вийшов на сушу та не завдав збитків, але надав сильних вражень очевидцям, які відпочивали на пляжах Херсонщини (рис. 4.1).

Рис. 4.1. Фотографія смерчу за 09.30 місцевого часу 26 липня 2017 р. [31]

Смерч 26 липня 2017 р. можна віднесте до водяного смерчу (waterspout), які виникають над поверхнею води та найчастіше існують близько 15-20 хвилин і розпадаються в море. При певних умовах вони можуть призвести до

пошкодження морських і маломореходних судів, що знаходяться в морі, і загибелі людей, що знаходяться на них. У разі виходу такого смерчу на сушу він може завдати шкоди майну людей, шо знаходяться на узбережжі.

Механізми, що зумовлюють формування водяних смерчів, визначаються категорією їх походження. Виділяють мезоциклонічні та немезоциклонічні водяні смерчі. Мезоциклонічні водяні смерчі (tornadic waterspouts) зазвичай формуються також як і звичайні смерчі над сушею з грозових купчасто-дощових хмар (суперосередків), що характеризуються наявністю мезоциклону. Вони спускаються з хмари разом з низсхідними потоками повітря, що розповсюджують супутнє мезоциклону обертання вниз до поверхні води. Згодом такі смерчі переміщуються по поверхні води і часто виходять на сушу, де продовжують свій рух. Вони мають досить широку воронку (300-400 м) і на шляху свого проходження наносять значних руйнувань. Немезоциклонічним водяним смерчам (non-tornadic) зазвичай сприяють купчасті хмари виду Cu hum (хмари гарної погоди) або Cu con (купчасті потужні хмари). Смерчі даної категорії формуються при наявності поблизу поверхні води кругового руху повітря (вертикальної завихренності), а також потужних висхідних потоків, які згодом поширюють цей рух вгору до основи материнської хмари.

Немезоциклонічні водяні смерчі звичайно мають невелику по ширині воронку (10-20 м), малу тривалість життя (15-20 хв). Заподіяні такими смерчами руйнування як правило незначні. У природі немезоциклонічні водяні смерчі утворюються частіше, ніж мезоциклонічні.

За даними приземної карти за 06.00 UTC 26 липня 2017 р. (рис. 4.2) Північно-Західне Причорномор’я знаходилося під впливом поля зниженого тиску, але спостерігалося пересування фронтальної системи з північного заходу України на південний схід, яке затримувалося через розвиток антициклону над Середньою Волгою.

Якщо проаналізувати готовність атмосфери до розвитку конвекції за даними радіозонду (00 UTC), то можна оцінити сприятливість термодинамічних умов виникненню небезпечних вихорів за 8 годин до його утворення (табл. 4.13).

Отже, число Вайтінга або K index демонструє готовність атмосфери до виникнення декількох гроз на 20-50 % території, яка забезпечується

прогнозом. Вертикальний індекс перевищує у більшості випадків 29,10 °С, тобто тропосфера має високий потенціал конвективної нестійкості, який достатній для утворення гроз. За значенням індексу СТ (Cross total) 26 липня індекс не виявив умов для розвитку конвекції взагалі. Підсумковий індекс (ТТ) свідчить про значну кількість гроз, окремі з яких сильні. За значенням комплексного індексу SWEAT 26 липня не виявилось умов для виникнення сильних гроз.

Таблиця 4.13 – Значення за індексів конвекції над Одесою 26.07.17 р. за 00 UTC

Ki, °C	Vertical Totals, °C	Cross Totals, °C	Totals Totals, °C	SWEAT	Lifted index, °C	Showalter index, °C	BRN, м^2/с^2
26.60	29.10	14.10	43.20	90.05	-5.11	4.32	59.57

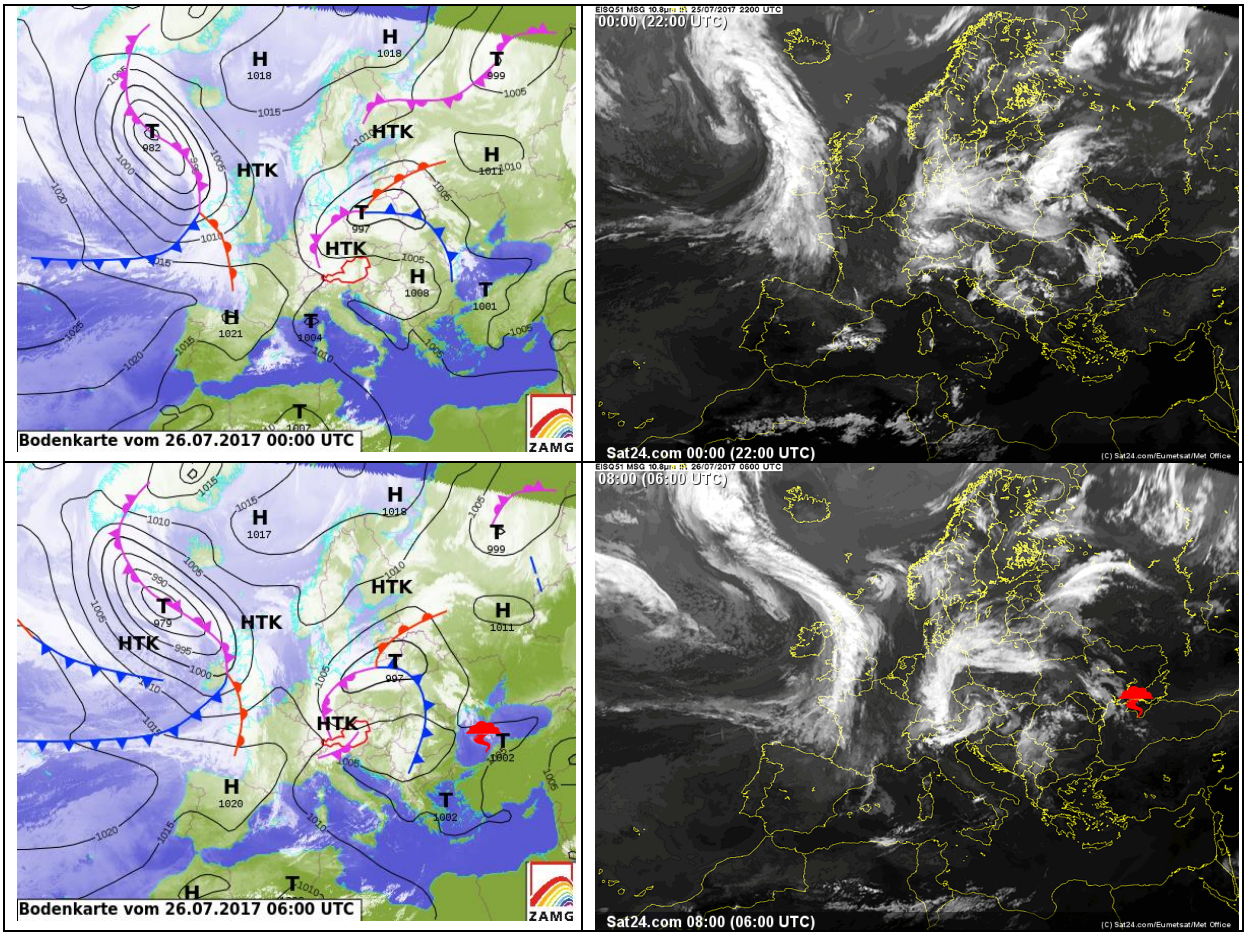

Рис. 4.2. Приземний аналіз та супутникові знімки за 00 та 06 UTC 26 липня 2017 р. [39]

Від'ємне значення індексу підйому (Lifted index) вказує на високу нестійкість атмосфери та можливість гроз напередодні смерчів над Херсонською областю. За індексом Шоуолтера 26 липня не було умов для виникнення конвекції. Індекс BRN не виявляв умов для формування суперосередків 26 липня.

Таким чином, напередодні виникнення вихорів вже вночі 26 липня тропосфера мала високий потенціал конвективної нестійкості, що достатній для утворення гроз, але безпосередньо не вказує на небезпеку утворення смерчу через локальний масштаб вихорю та розбіжність часу зондування та виникнення явища (більш 8 годин). Як видно з рис. 4.3, нестійкість атмосфери в наступну добу значно зменшилася після проходження фронтальної системи та реалізації конвекці.

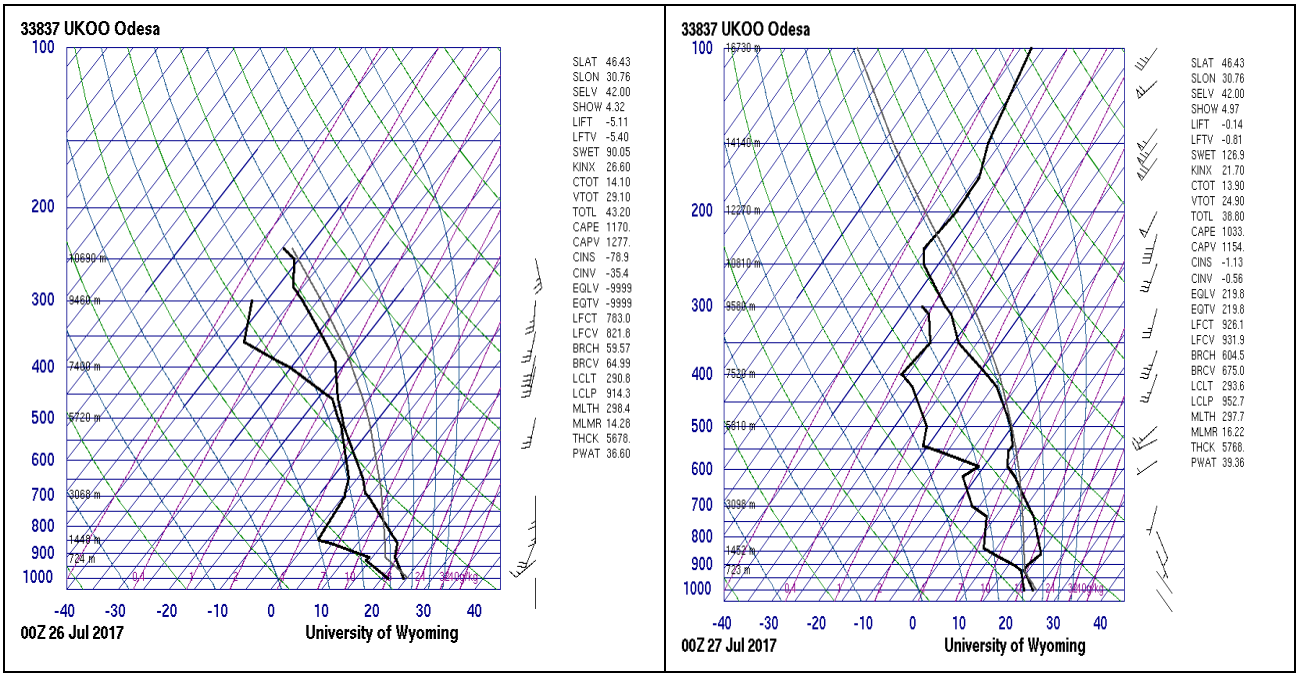

Рис. 4.3. Аерологічна діаграма за 00 UTC 26 і 27 липня 2017 р. (Одеса)

Для деталізації розрахунків індексів нестійкості та спіральності районом утворення смерчу залучені дані глобальної моделі GFS з кроком 50 км за 26 липня 2017 р., зі стартом реалізації у 00 і 06 UTC [38].

Розрахунки проводилися по полігону від 43,0 до 47,5 ^{o}пн.ш. та від 27,5 до 32,0 ^{o}сх.д., тобто охоплюючи регіон розвитку вихорю (45,6 ^{o}пн.ш. та 29,8 ^{o}сх.д.,) для двох строків 00 та 06 UTC. Результати розрахунків представлені на рис. 4.4-4.11.

Як видно з рис. 4.4, індекс CAPE або конвективна потенційна енергія була значною над акваторією Чорного моря вже опівночі та збільшилася до ранку приймаючи вигляд вузької смуги зі значеннями 2200 Дж/кг та вище. Інший індекс нестійкості Vertical Totals (VT), який є різницею між температурою на рівнях 850 та 500 гПа та відображає вертикальний градієнт температури повітря та потенціал її нестійкості, також у нічний строк (00 UTC) перевищував критерій, достатній для утворення гроз (28 °C), але у 06 UTC осередок високих значень VT перемістився на схід разом із смугою зливових опадів (рис. 4.5).

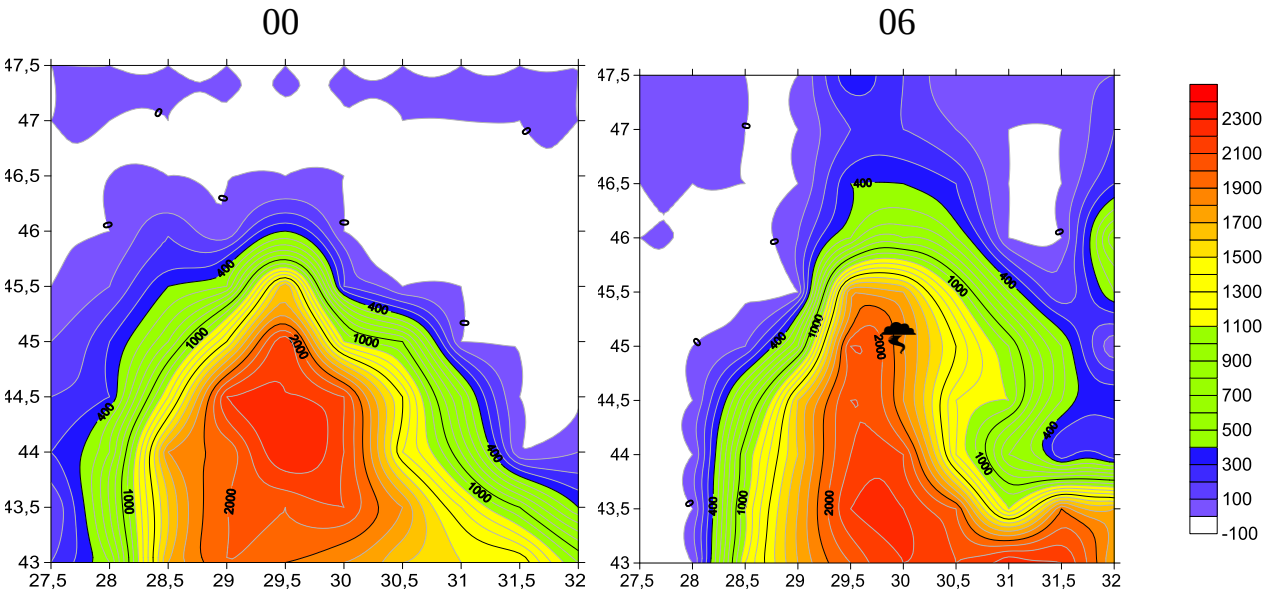

Рис. 4.4. Карта значень індексу CAPE за 00 і 06 UTC 26 липня 2017 р.

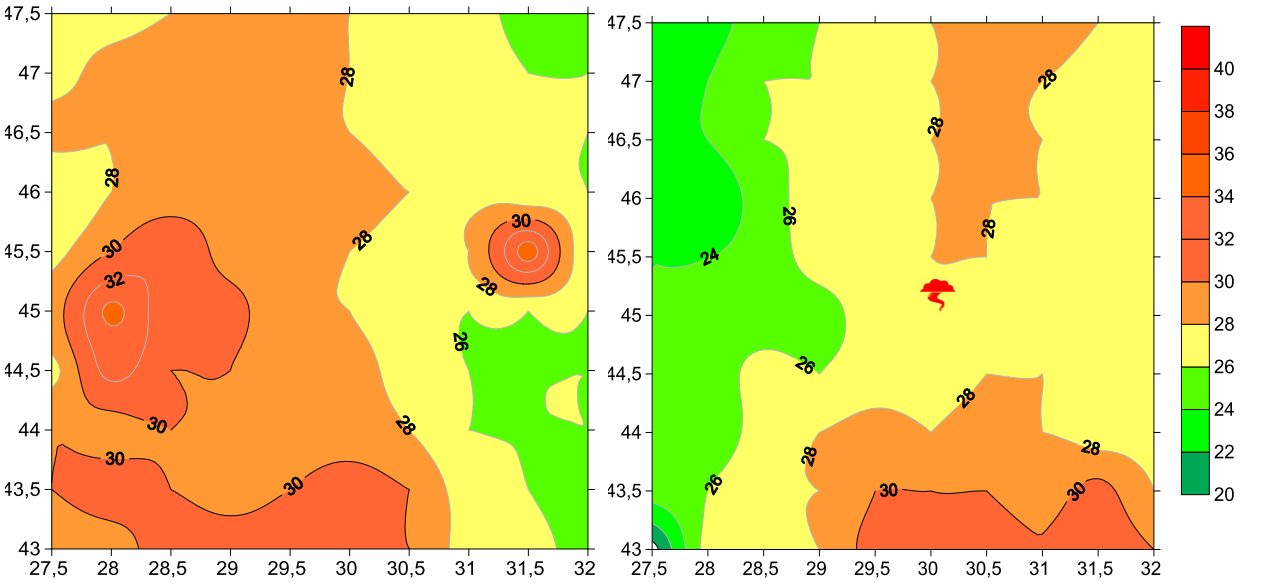

Рис. 4.5. Карта значень індексу VT за 00 і 06 UTC 26 липня 2017 р.

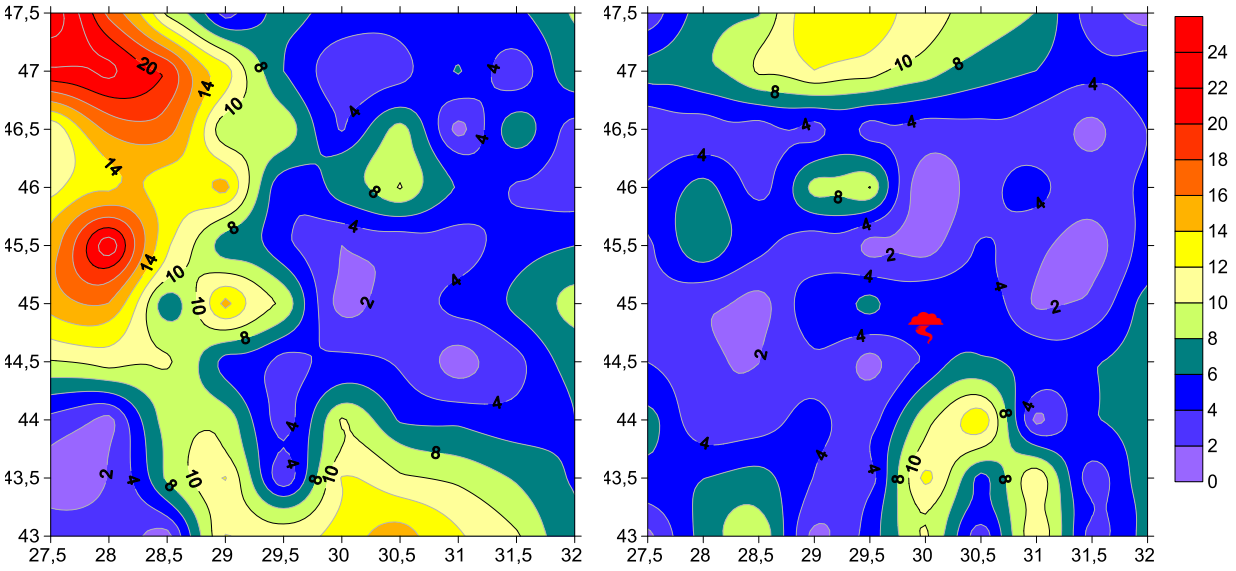

Рис. 4.6. Карта значень індексу LOSHR за 00 і 06 UTC 26 липня 2017 р.

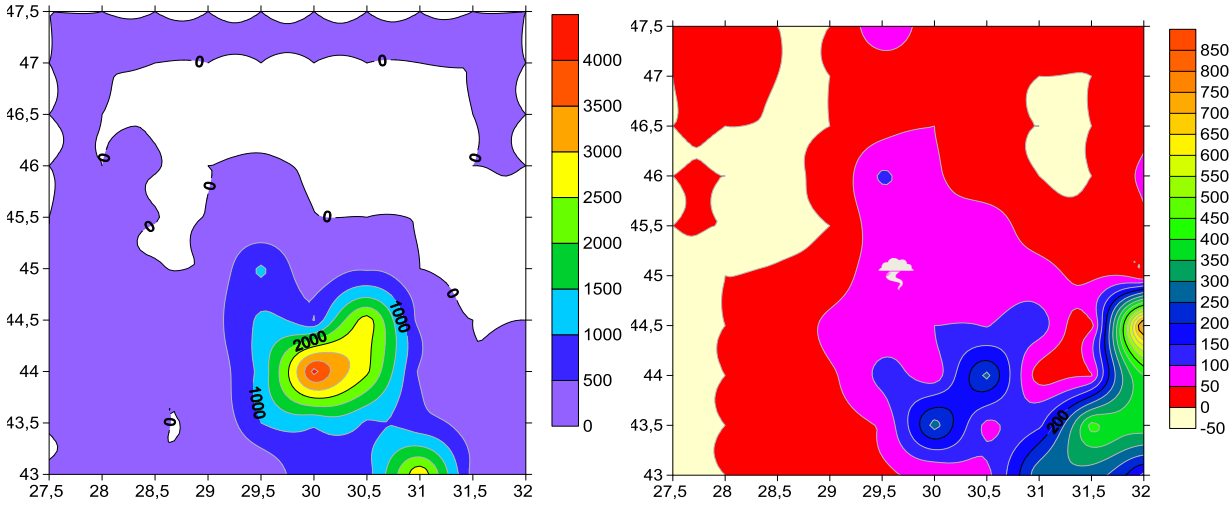

Рис. 4.7. Карта значень індексу BRN за 00 і 06 UTC 26 липня 2017 р.

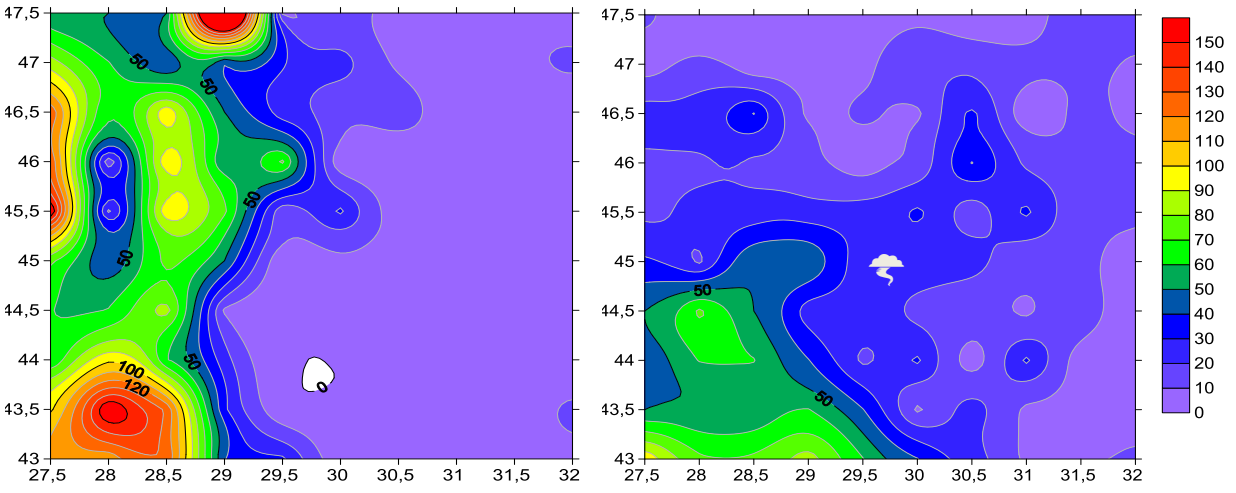

Рис. 4.8. Карта значень індексу BRNshear за 00 і 06 UTC 26 липня 2017 р.

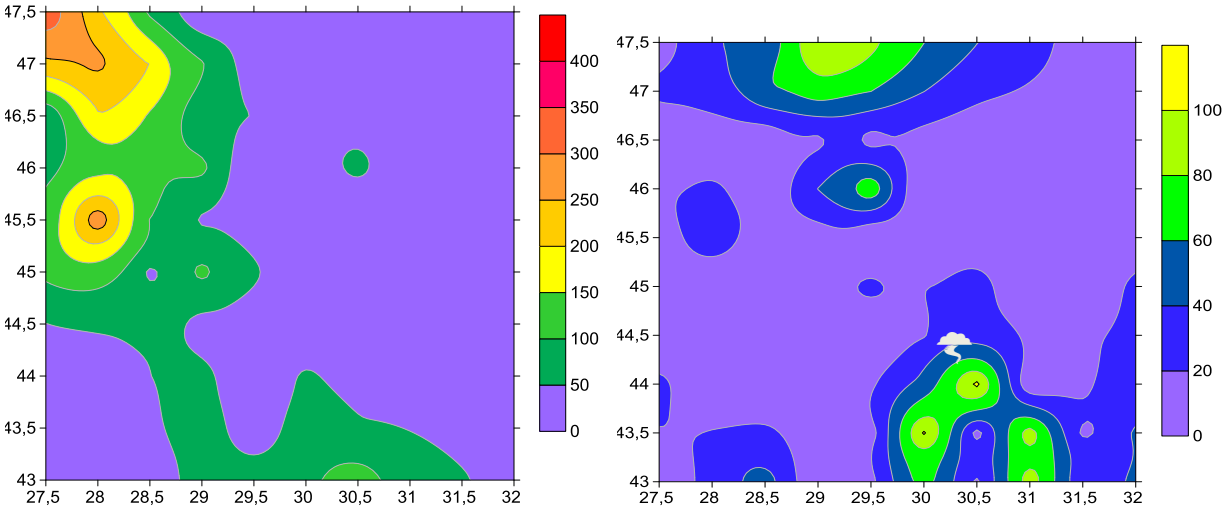

Рис. 4.9. Карта значень індексу SRH за 00 і 06 UTC 26 липня 2017 р.

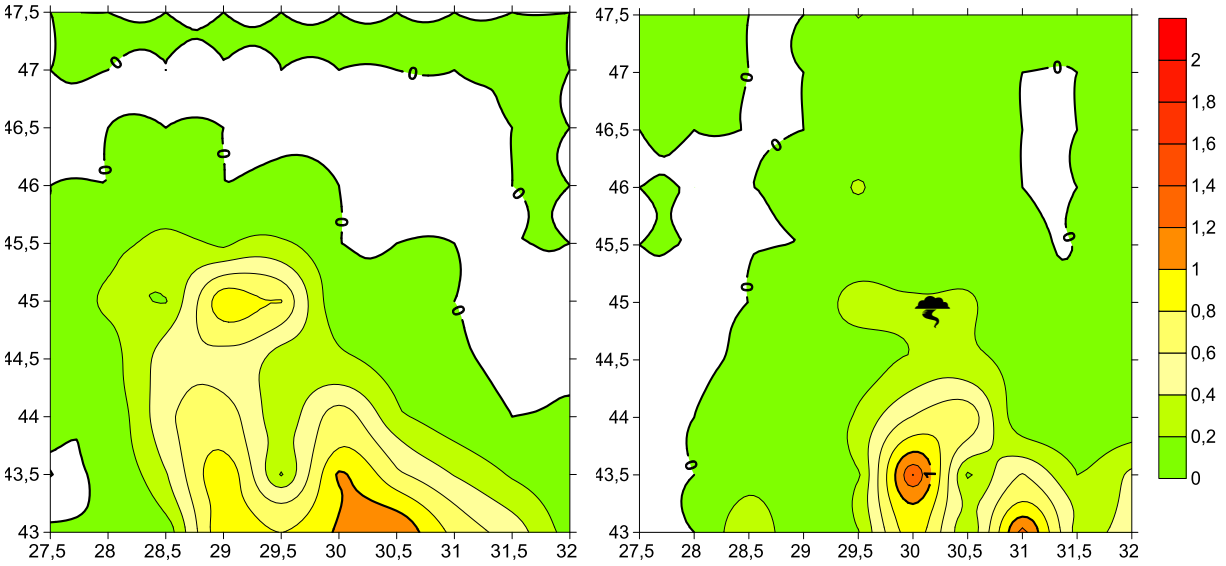

Рис. 4.10. Карта значень індексу EHI за 00 і 06 UTC 26 липня 2017 р.

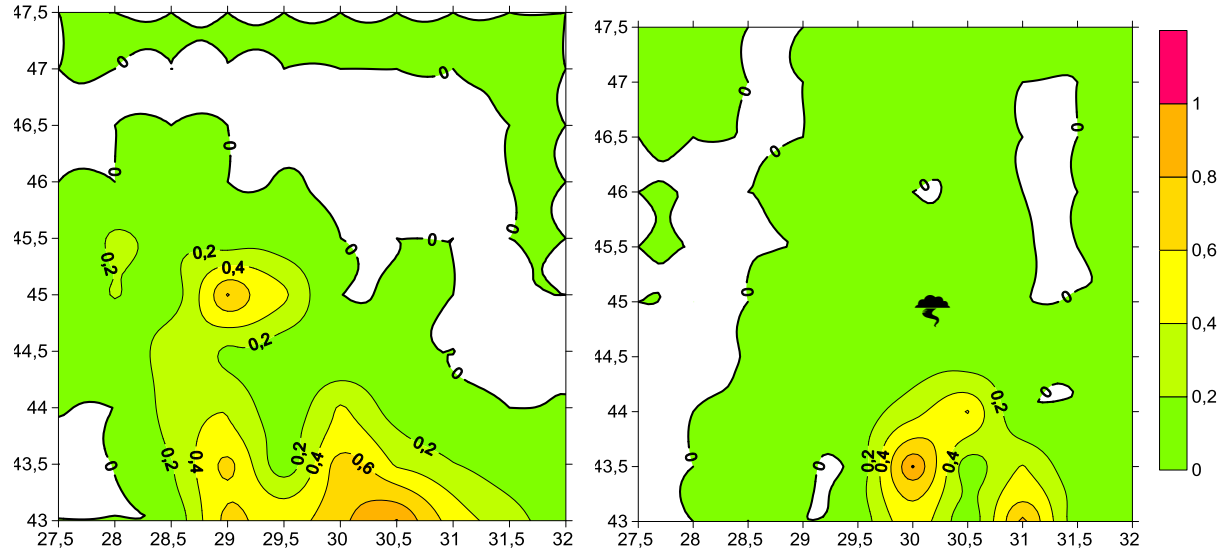

Рис. 4.11. Карта значень індексу STP за 00 і 06 UTC 26 липня 2017

Отже, атмосфера мала високу нейстійкість та потенціал для грозоутворення, тому проаналізуємо індекси, що поєднують термічну та динамічну нестійкість, а саме індекси LOSHR, Балка Ричардсона (BRN та BRN Shear).

Розрахунок вертикального зсуву вітру у шарі від 10 м до 1 км (рис. 4.6) виявив значну площу з підвищенною величиною цього індексу над Одеською областю в 00 UTC та акваторією Чорного моря, причому LOSHR над Одещиною був вище, але у сполученні зі стійким станом атмосфери це не призвело до розвитку небезпечних погодних явищ. Вранці над районом виникнення смерчу індекс LOSHR перевищував 13 м/с, що могло сприяти виникненню вихорю.

Індекс BRN, який відображує відношення турбулентності, що викликана термічними процесами до турбулентності, що викликана вертикальним зрушенням вітру, над місцем майбутнього утворення смерчу, перевищував 45, (рис. 4.7) тобто не передбачав розвитку потужних суперосередків через сильні вертикальні потоки повітря зі значним кутом нахилу. Але якщо розрахувати додатковий показник цього індексу (BRN Shear), то він вказуватиме (рис. 4.8) на високу імовірність виникнення слабких суперосередків, особливо над південним заходом полігону обчислень.

Значення індексу відносної спіральності шторму (SRH) у шарі від землі до 1 км (рис. 4.9) перевищує 100 м²/с² саме над районом розвитку вихорю за півгодини до його виникнення, а вночі у цьому районі від не досягав навіть 80 м²/с² при одночасних високих значеннях над Одещиною.

Результати розрахунків індексу енергії спіральності (EHI) та параметру торнадо (STP) також виявила можливість розвитку суперосередків та слабких торнадо над акваторією Чорного моря поблизу узбережжя Херсонщини 26 липня 2017 р.

Отже, розрахунок параметрів конвекції за даними глобальної моделі GFS з кроком 50 км за 26 липня 2017 р. можуть виявити район з високою імовірністю виникнення смерчів.

ВИСНОВКИ

В результаті дослідження отримані наступні висновки:

1. Над північно-західним Причорномор’ям з 2001 по 2017 рр., виявлено 27 випадків виникнення смерчів, з відносною перевагою активності їх утворення над Херсонщиною (11 випадків).

2. Більшість смерчів над регіоном (38 %) виникала у червні, також вони активно утворювалися у травні – 25%. Найчастіше смерчі виникали у денні часи, рідше вони спостерігалися у нічний час.

3. В залежності від області помітно змінювався сезонний хід смерчеутворення, а саме у Миколаївській та Херсонській областях найбільше вихорів утворилося у червні, а над Одеською областю найчастіше смерчі виникали у травні.

5. Характерна хмарність властива кожному смерчу, але циркуляційні умови, фон температури та вологості, аерологічна структура можуть відрізнятися один від одного за виключенням меридіональної улоговини на рівні 500 гПа для всіх випадків.

6. Напередодні виникнення вихорів над північно-західним Причорномор’ям тропосфера мала високий потенціал конвективної нестійкості, що достатній для утворення гроз, але безпосередньо не вказує на небезпеку утворення смерчу через локальний масштаб вихорю, крім того індекси конвекції по-різному відображають стан термічної стійкості.

7. Розрахунок параметрів конвекції за даними глобальної моделі GFS з кроком 50 км за 26 липня 2017 р. виявили район з високої імовірністю виникнення смерчів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Брюхань Ф.Ф., Ляхов М.Е., Погребняк В.Н. Смерчеопасные зоны в СССР и размещение атомных станций // Изв.АН СССР. Сер. геогр. 1989. № 1. С. 40-48.

2. Будилина Е.М., Прох Л.З., Снитковский А.И. Смерчи и шквалы умеренных широт. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 32 с.

3. Волеваха В.А., Токарь Н.Ф. Шквали и смерчи на Украине в 1984-1985 гг. // Труди УкрНИГМИ. 1987. Вип. 225. С. 46-55.

4. Горбатенко В.П., Константинова Д.А. Конвекция в атмосфере над юго-востоком Западной Сибири // Оптика атмосферы океана. 2009. Т. 22. № 1. С. 17-21.

5. Ивус Г.П., Семергей-Чумаченко А.Б. Смерчи и струйные течения низких уровней (обзор литературных источников) // Культура народов Причерноморья. 2006. № 73. С. 156-158.

6. Івус Г. П. Спеціалізовані прогнози погоди. Одеса: ТЕС, 2012. 407 с.

7. Івус Г.П. Практикум зі спеціалізованих прогнозів погоди. Одеса: Екологія, 200. 321 с.

8. Івус Г.П., Семергей-Чумаченко А.Б., Агайар Е.В. Оценка эффективности использования спутниковой информации для прогнозирования смерчеопасных ситуаций над югом Украины // Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей. Государственная гидрометеорологическая служба Украины. 2010. № 1 (11). С. 43-53.

9. Каталог смерчей, которые наблюдались на территории Украины в 1987-2003 гг. ВМП Укр ГМЦ. 145 с.

10. Клімат України. К.: Видавництво Раєвського, 2003. 343 с.

11. Лєсков Б.Н., Пірнач Г.М., Сирота М.В., Шпиг В.М. Смерчі у Криму 22 липня 2002 року // Наук. праці УкрНДГМІ. 2007. Вип. 256. С. 75-91.

12. Новости Одессы. http://dumskaya.net/news/v-odesse-nablyudali-zarozhdenie-dvuh-smerchey-fo-077405/ (дата звернення 15.11.2017 р.).

13. Осадчий В.І., Бабіченко В.М. Динаміка стихійних метеорологічних явищ в Україні // Український метеорологічний журнал. 2012. № 4. С. 8-14.

14. Ромов А.И. Причины образования смерчей и рекомендации к анализу и прогнозу смерчеопасных ситуаций // Труды УкрНИГМИ. 1988. Вып. 233. С. 23-29.

15. Семергей-Чумаченко А.Б. Гидродинамические характеристики нижней тропосферы над Украиной перед возникновением смерчей. Одеса: Екологія, 2008. Вип. 50. Частина І. С. 94-100.

16. Снитковский А.И. Смерчи на территории СССР // Метеорология и гидрология. 1987. Вып. 8. С. 12 - 25.

17. 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.

18. European Severe Weather Database. http://www.essl.org/ESWD/ (дата звернення 11.01.2018 р.).

19. Hanstrum B.N., Mills G.A., Watson A., Monteverdi J.P., Doswell C.A. The cool-season tornadoes of California and southern Australia // Weather and Forecasting. 2002. Vol. 17. № 4. P.705-722.

20. http://ren.tv/novosti/2017-10-09/prekrasno-i-opasno-v-portugalii-nablyudali-ognennyy-tornado (дата звернення 10.04.2017 р.).

21. http://u-f.ru/news/society/u6624/2017/09/11/244762 (дата звернення 10.10.2017 р.).

22. http://uk.wikipedia.org/wiki/Шкала_Фудзіти (дата звернення 15.11.2017 р.).

23. http://www.graduates.su/tmp/tornado-alley-usa (дата звернення 11.01.2018 р.).

24. https://geocenter.info/category/tornadoes (дата звернення 10.04.2017 р.).

25. https://geocenter.info/new/fajernado-v-avstralii (дата звернення 10.04.2017 р.).

26. https://geocenter.info/new/moshchnyy-tornado-v-argentine (дата звернення 10.04.2017 р.).

27. https://geocenter.info/new/posledstvija-tornado-v-ssha-mart-2017 (дата звернення 10.04.2017 р.).

28. https://geocenter.info/new/serija-tornado-na-juge-brazilii (дата звернення 10.04.2017 р.).

29. https://geocenter.info/new/seriya-razrushitelnyh-tornado-v-ssha (дата звернення 10.04.2017 р.).

30. https://geocenter.info/new/tornado-vo-floride (дата звернення 21.04.2017 р.).

31. https://pp.userapi.com/c836422/v836422745/58939/Z1z3z5bbHEE.jpg (дата звернення 15.05.2018 р.).

32. https://mir24.tv/news/16261522/gigantskaya-voronka-pogloshchaet-doma-vo-floride (дата звернення 10.10.2017 р.).

33. https://www.gismeteo.ua/news/ (дата звернення 11.01.2018 р.).

34. https://www.kuban.kp.ru/daily/26724/3750248/ (дата звернення 12.11.2017 р.).

35. https://www.youtube.com/watch?v=Mfe8XTWdnRs (дата звернення 12.11.2017 р.).

36. Kunz M. The skill of convective parameters and indices to predict isolated and severe thunderstorms // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2007. Vol. 7. P. 327-342.

37. Miller D.J., Doswell C.A., Brooks H.E., Stumpf G.J., Rasmussen E.N. Highway overpasses as tornado shelters: fallout from the 3 may 1999 Oklahoma/Kansas violent tornado outbreak. http://www.srh.noaa.gov/oun/papers/overpass/slide01.html (дата звернення 14.03.2017 р.)

38. National Centers for Environmental Information. https://www.ncei.noaa.gov/thredds/catalog/gfs-003-files/201707/20170726/catalog.html?dataset=gfs-g3iles/201707/20170726/gfs_3_20170726_1200_000.grb2 (дата звернення 20.03.2018 р.).

39. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. https://www.zamg.ac.at/cms/de/wetter/wetterkarte?tag=26&monat=07&jahr=2017&utc=12 (дата звернення 10.03.2018 р.).

Додаток А

кафедри метеорології та кліматології
на магістерську роботу студентки гр. МНЗ–61м
факультету магістерської та аспірантської підготовки ОДЕКУ

Кроленко Юлії Ігорівни

Тема магістерської роботи
«Смерчеутворення над Північно-Західним Причорномор’ям»

Кваліфікаційна магістерська робота виконана в рамках науково-дослідної роботи «Прогнозування небезпечних метеорологічних явищ над південними районами України» (2015-2019 рр., ДР № 0115U006532).

Завідуючий кафедрою
метеорології та кліматології проф. Івус Г.П.

Таблиця А.1 – Список конференцій та публікацій

Вид наукової роботи (теми наукових робіт, автор, керівник роботи)	**Кількість кредитів**
Наукові статті	
1. Кроленко Ю.І., Семергей–Чумаченко А.Б. Особливості виникнення смерчів над Україною у 2015 Р. // Збірник статей за матеріалами студентської наук. конференції ОДЕКУ 12-14 квітня 2016 р. С. 237-239. 2. Semergei-Chumachenko A.B., Krolenko Y.I**.** Tornadoes over Ukraine in 2001-2016 // in SWorld Journal, Issue №12 (Scientific world, Ivanovo, 2017) – URL: http://www.sworldjournal.com/e-journal/j12.pdf (date:30/03/2017) - page 30-35- Article CID Number: j12-034, DOI:10.21893/2227-6920.2017-12.034 3. Семергей–Чумаченко А.Б., Кроленко Ю.І. Смерчі над південним заходом України // Вестник ГМЦ ЧАМ. 2018.- № 1 (21). С. 29-41.	0,25 0,25 0,25
Університетські конференції, семінари, гуртки	
1. Студентська конференція 12 та 14 квітня 2016 р. Тема доповіді: Особливості виникнення смерчів над Україною у 2015 р. 2. Конференція молодих вчених ОДЕКУ 4-7 травня 2017 р. Тема доповіді: Циркуляційні та термодинамічні умови виникнення смерчів над південним заходом України 3. ІІІ міжнародна наукова конференція молодих вчених «Сучасна гідрометеорологія: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення» 21-23 березня 2018 р. Тема доповіді: Смерчі над південним заходом України з 2001 по 2017 р. 4. Конференція молодих вчених ОДЕКУ 2-8 травня 2018 р. Тема доповіді: - Умови виникнення смерчів над південним заходом України; - Whirlwinds over the South West of Ukraine from 2001 to 2017 5. Наукові гуртки та семінари	0,25 0,25 0,75 0,25 0,25 0,25
Опубліковані тези конференцій:	
1. Кроленко Ю.І., Семергей-Чумаченко А.Б. Циркуляційні та термодинамічні умови виникнення смерчів над південним заходом України // Матеріали наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ. 2017. С. 177. *2.* Кроленко Ю.І., Семергей-Чумаченко А.Б. Смерчі над південним заходом України з 2001 по 2017 р. // Матеріали ІІІ міжнародної наукової конференції молодих вчених «Сучасна гідрометеорологія: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення». 2018. *здано до друку* 3. Кроленко Ю.І., Семергей-Чумаченко А.Б. Умови виникнення смерчів над південним заходом України // Матеріали наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ. 2018 . *здано до друку* 4. Krolenko Yu.I., Shabliy O.V. Whirlwinds over the South West of Ukraine from 2001 to 2017 // Матеріали наук. конф. молодих вчених ОДЕКУ. – 2018.	0,25 0,75 0,25 0,25
Участь у виконанні НДР	
«Прогнозування небезпечних метеорологічних явищ над південними районами України» (2015-2019 рр.) ДР № 0115U006532 - **2016** та **2017** рр**.**	0,20 0,20
Конкурсні роботи:	
Конкурс наукових робіт серед студентів ОДЕКУ за напрямком географічні науки (гідрометеорологія) у жовтні-листопаді 2015-2017 рр., ОДЕКУ, м. Одеса: 1. Синоптичні умови виникнення смерчів над Україною у 2015 р. (2015) 2. Смерчі над Україною у 2001-2016 рр. (2016) 3. Смерчі над південним заходом України (2017)	0,25 0,50 0,25
ВСЬОГО	**5,9**