

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий

гідрометеорологічний інститут

Кафедра метеорології та кліматології

Кваліфікаційна робота магістра

на тему: Розподіл шквалів та небезпечних опадів на півдні України

Виконала студентка 2 курсу групи МЗМ-21

Спеціальності 103 «Науки про Землю»

Освітня програма

«Метеорологія і кліматологія»

Іванова Яна Сергіївна

Керівник канд. геогр. наук, доцент

Нажмудінова Олена Миколаївна

Рецензент канд. геогр. наук, доцент

Барсукова Олена Анатоліївна

Одеса 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий гідрометеорологічний інститут

Кафедра Метеорології та кліматології

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 103 «Науки про Землю»
(шифр і назва)

Освітня програма Метеорологія і кліматологія
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

метеорології та кліматології

Прокоф'єв О.М.

«10» жовтня 2022 року

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

студентці Івановій Яні Сергіївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розподіл шквалів та небезпечних опадів на півдні України

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

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

2. Строк подання студентом роботи 17 листопада 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи бюлетені погоди; оперативна синоптична інформація програми АРМсин; карти розподілу кількості опадів; карти, таблиці і зведення про штормові явища погоди та СМЯ; знімки МШСЗ.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Огляд та систематизація наукової літератури за темою роботи. 2) Формування вибірки вихідної інформації з випадків небезпечних опадів теплового півріччя 2017-2021 рр. по МС Одеса, Миколаїв, Херсон.

3) Формування вибірки вихідної інформації по шквалах теплового півріччя 2017-2021 рр. в Одеській, Миколаївській, Херсонській областях. 4) Дослідження повторюваності небезпечних та стихійних опадів і шквалів. 5) Класифікація синоптичних процесів при виникненні небезпечних опадів. 6) Аналіз процесів шквалоутворення на півдні України.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень.) Рисунок 4.1-4.3 – графіки та гістограми повторюваності опадів; рисунок 4.4-4.8 – приземні карти погоди; рисунок 4.9 - супутниковий знімок хмарності та таблиця добових штормових явищ; рисунок 5.1–5.5 - графіки та гістограми повторюваності шквалів; рисунок 5.6 (а)-(б) - приземна карта погоди та таблиця добових штормових явищ; рисунок 5.8, 5.11, 5.13, 5.15 – приземні карти погоди; рисунок 5.7, 5.9-5.10, 5.12, 5.14, 5.16 – супутникові знімки хмарності МШСЗ.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 10 жовтня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	Отримання завдання	10.10.22		
2.	Огляд наукової літератури, аналіз сучасних публікацій за темою дослідження. Складання теоретичних розділів роботи.	11.10 – 15.10.22	100	відмінно
3.	Вибір вихідних даних, складання таблиць, побудова графіків та гістограм.	16-20.10.22	100	відмінно
4.	Дослідження статистичних показників розподілу небезпечних і стихійних опадів та шквалів.	21-26.10.22	100	відмінно
5.	Класифікація циркуляційних процесів формування небезпечних опадів. Визначення особливостей синоптичних умов виникнення сильних шквалів.	27-31.10.22	100	відмінно
	Рубіжна атестація	01-05.11.22		
6.	Складання висновків проведеної роботи. Прикінцеве редагування тексту роботи.	06-16.11.22	100	відмінно
7.	Оформлення та надання керівникові роботи для складання висновку і процедури встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату.	17.11.22		
8.	Перевірка на антиплагіат та складання протоколу. Складання висновку керівника; підписання авторського договору.	18-20.11.22		
9.	Підготовка доповіді та презентації до захисту. Попередній захист магістерської роботи.	-		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		100	відмінно

Студентка

(підпис)

Іванова Я.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Нажмудінова О.М.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Розподіл шквалів та небезпечних опадів на півдні України».

Автор: Іванова Яна Сергіївна.

Актуальність теми полягає у необхідності досліджень розподілу небезпечних опадів та шквалів, що призводять до несприятливих наслідків, в умовах регіональних та глобальних змін клімату.

Мета роботи: визначення особливостей повторюваності небезпечних опадів та шквалів на півдні України.

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

- проаналізовано розподіл небезпечних опадів теплого півріччя 2017-2021 рр. за даними МС Одеса, Миколаїв, Херсон;
- досліджено повторюваність шквалів теплого півріччя 2017-2021 рр. за даними Одеської, Миколаївської та Херсонської областей;
- визначені циркуляційні процеси формування небезпечних опадів та шквалів.

Об'єкт дослідження: атмосферні опади та шквали.

Предмет дослідження: статистичні характеристики небезпечних опадів та шквалів.

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

Наукова новизна отриманих результатів. Визначено статистичні характеристики небезпечних опадів та шквалів останнього п'ятиріччя в умовах сучасних змін регіонального та глобального клімату.

Практичне значення отриманих результатів. Розподіл небезпечних опадів та шквалів останніх років надає уточнення кліматичних характеристик регіону та їх змін; класифікація синоптичних процесів формування небезпечних опадів може доповнювати методи діагнозу та прогнозу опадів.

Магістерська кваліфікаційна робота в об'ємі 74 сторінки складається з 5 розділів, висновків, переліку посилань з 26-ми джерел, трьох додатків, містить 27 рисунків в основному тексті.

Ключові слова: повторюваність, розподіл, небезпечні опади, шквал, атмосферний фронт, синоптичний процес, хмарність.

SUMMARY

Theme of master's qualification works «Distribution of squalls and dangerous precipitation in the south of Ukraine».

Author: Ivanova Yana.

The relevance of the topic lies in the need to study the distribution of dangerous precipitation and squalls leading to adverse effects in the face of regional and global climate change.

Objective: determination of the peculiarities of repeatability of dangerous precipitations and squalls in the south of Ukraine.

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

- analyzed the distribution of dangerous precipitation in the warm half of 2017-2021. according to meteorological stations Odessa, Nikolaev, Kherson;
- the repeatability of squalls of the warm half of 2017-2021 was investigated. according to the data of Odessa, Mykolaiv and Kherson regions;
- determined circulating processes of formation of dangerous precipitation and squalls.

Object of study: precipitation.

Subject of research: statistical characteristics of precipitation and squalls.

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

The scientific novelty of the obtained results. Statistical characteristics of precipitation and squalls of the last five years in the conditions of modern changes in the regional and global climate have been determined.

Practical significance of the obtained results. The distribution of dangerous precipitation and squalls of recent years provides clarification of the climatic characteristics of the region and their changes; classification of synoptic processes of formation of hazardous precipitation can complement the methods of diagnosis and forecast of precipitation.

Master's qualification work in volume 74 pages consists of five sections, conclusions, list of references from 26 sources, three applications, contains 27 figures in the main text.

Keywords: repeatability, distribution, hazardous precipitation, squall, atmospheric front, synoptic process, cloudiness.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Кліматична та географічна характеристика регіону дослідження.....	8
2 Зміни поля опадів на території України.....	13
2.1 Сучасні тенденції.....	13
2.2 Процеси опадоутворення.....	17
3 Загальні відомості про шквали.....	21
3.1 Основні поняття.....	21
3.2 Синоптичні умови виникнення шквалів.....	24
4 Дослідження посиленних опадів теплого півріччя на півдні України за період 2017-2021 рр.....	27
4.1 Повторюваність сильних опадів.....	27
4.2 Класифікація синоптичних процесів.....	30
5 Аналіз процесів шквалоутворення на півдні України за теплий період 2017-2021 рр.....	42
5.1 Статистичні показники.....	42
5.2 Огляд процесів формування шквалів.....	51
Висновки.....	61
Перелік джерел посилань.....	63
Додаток А. Довідка.....	66
Додаток Б. Повторюваність небезпечних та стихійних опадів теплого періоду 2017-2021 рр. на півдні України.....	67
Додаток В. Повторюваність шквалів на півдні України у теплий період 2017-2021 рр.....	70

ВСТУП

Магістерська робота присвячена дослідженню просторово-часової мінливості небезпечних та стихійних опадів і шквалів у теплому півріччі на півдні України.

Тема для вивчення є актуальною, оскільки в останні десятиліття в Україні зростає повторюваність небезпечних та стихійних явищ конвективного походження (сильні опади, шквали, гроза, град), які спричиняють великі руйнування та завдають значної шкоди народногосподарському комплексу країни.

Причиною збільшення кількості стихійних явищ погоди стали зміни клімату. Ці зміни зумовлені зростанням приземної та середньої температури тропосфери, які супроводжувались збільшенням її вологовмісту і призводять до зростання інтенсивності конвекції та потужності опадоутворюючих процесів. Суттєво вплинула на збільшення небезпечних та стихійних опадів в Україні у теплий період року також зміна атмосферної циркуляції у напрямку зростання меридіональності процесів, що привела до зміни районів формування циклонів, траєкторій їх переміщення та інтенсивності.

Повторюваність усіх типів стихійних опадів в Україні має виражений сезонний хід. Усі зливи, переважна кількість сильних та тривалих опадів спостерігається у теплий період. Зливи мають найбільшу повторюваність на півдні України. У більш південних районах країни спостерігається випередження на місяць розвитку зливонебезпечних процесів.

Сильні опади теплового півріччя часто супроводжуються конвективними явищами погоди, зокрема, шквалами.

Шквал являє собою вихор з горизонтальною віссю обертання, його максимальна повторюваність спостерігається в після полуденні та вечірні години. Шквали спостерігаються по всій Україні, значної інтенсивності вони набувають на території, де конвекція досягає найбільшого розвитку. Протягом

кількох останніх десятиліть відмічається тенденція до збільшення їх кількості на площі 100 км². Найбільш шквалонебезпечним є південь, зокрема Одеська область.

Враховуючи локальність явища, дані про шквали доцільно розглядати осередненими для певних територій, зокрема - для адміністративних областей.

У роботі досліджено небезпечні та стихійні опади за даними метеостанцій Одеси, Миколаєва та Херсона, а також повторюваність небезпечних та стихійних шквалів за даними метеостанцій Миколаївської, Одеської та Херсонської областей у тепле півріччя 2017-2021 рр.

Магістерська робота складається з 5 розділів.

У 1 розділі охарактеризовані фізико-географічні та кліматичні умови півдня країни, а саме, - Миколаївської, Одеської та Херсонської областей.

2 розділ деталізує тенденції змін поля опадів на території України. Особлива увага приділена сучасним науковим публікаціям.

3 розділ висвітлює загальні характеристики процесів шквалоутворення – визначення, класифікації, циркуляційні умови формування явища.

Практична частина роботи наведена у четвертому та п'ятому розділах. У 4 розділі проаналізовано повторюваність небезпечних та стихійних опадів теплого періоду п'ятиріччя 2017-2021 рр.; виділено класифікацію синоптичних процесів при утворенні посиленних опадів. 5 розділ містить показники повторюваності шквалів на півдні України, особливості місячного та річного ходу; досліджені процеси формування стихійних шквалів.

За напрямом дослідження опубліковано статті та тези [6-7].

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

1 ЗАГАЛЬНА КЛІМАТИЧНА ТА ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РЕГІОНУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Миколаївська область розташована на півдні України в межах Причорноморської низовини в басейні нижньої течії р. Південний Буг. Територія області становить 24,6 тис.км² (4,1% території України), протяжність із півночі на південь 194 км, із заходу на схід – 204 км.

Миколаївська область на півдні омивається водами Чорного моря. Також на півдні області, внаслідок затоплення морем гирлових ділянок річок, сформувалося 9 лиманів, найбільші з яких: Дніпровсько-Бузький (63 км), Тилігульський (60 км), Бузький (42 км), Березанський (26 км). До території області належать острів Березань та Кінбурнська коса. Поверхня області представляє собою рівнину, нахилену в південному напрямі. Більша частина області знаходиться у межах Причорноморської низовини, на півночі простягаються Подільська височина (правобережжя Південного Бугу) та Придніпровська височина (лівобережжя Південного Бугу), яка пересічена ярами, балками та долинами (рис.1.1). На території Миколаївської області протікає 110 річок. Основна водна артерія, що перетинає територію області з північного заходу на південний схід - Південний Буг з притоками Інгул, Кодима та іншими, в межах області досягає 257 км, друга за довжиною річка Інгул - 179 км. На сході області протікає Інгулець, який впадає у Дніпро.

За особливістю природних умов Миколаївська область розташована на півдні країни в межах двох фізико-географічних зон – Лісостепової (Кривоозерський та західна половина Первомайського району) та Степової (решта території) в басейні нижньої течії ріки Південний Буг.

Клімат на Миколаївщині помірно континентальний з м'якою малосніжною зимою та жарким посушливим літом. Близькість Чорного моря обумовлює порівняно холодні березень та квітень, а осінь, навпаки, відносно тепла. Середня температура січня -4,5°C, липня 22,2°C.

Річна кількість опадів коливається від 330 мм на півдні до 450 мм на півночі області. Середня річна кількість опадів змінюється в межах області від 400-700мм на півночі і більш 400 мм на півдні, найменше їх у жовтні, найбільше в липні. Випаровуваність складає майже 1000 мм опадів за рік, у зв'язку з цим клімат Миколаєва й області дуже посушливий. Опади випадають досить рівномірно, але в основному це літній період після грози та взимку у вигляді снігу і дощу. У холодний період випадає в середньому 160 мм, а у теплий - 290 мм опадів. Відмічаються місяці, коли опади відсутні. У середньому за рік спостерігається 139 днів з опадами; майже кожного літа бувають сильні зливи. Основна кількість опадів (65-70%) випадає в теплий період року у вигляді злив, іноді з градом, при цьому добова кількість опадів може досягати 60-70 мм. Щорічно встановлюється сніговий покрив, проте його висота незначна, але в окремі роки буває високий сніговий покрив. Середня висота снігового покриву 9-11 см.

Найменша кількість хмарності спостерігається у серпні, найбільша у грудні. Відносна вологість повітря в середньому за рік становить 73%, найменша - у серпні (60%), найбільша у грудні (86%).

Найбільшу повторюваність мають вітри з півночі, найменшу з південного сходу. Найбільша швидкість вітру в лютому, найменша у липні-вересні. У січні вона в середньому становить $4,1 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, в липні - $3,1 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. У теплий період року в степовій зоні області реєструється більше 15 днів із суховіями (у травні, серпні) [16].

Одеська область займає територію Північно-Західного Причорномор'я від гирла Дунаю до Тилігульського лиману (довжина морської берегової лінії в межах області перевищує 300 км) і простирається від моря на північ, вглиб суші на 200-250 км. Площа Одеської області складає 5,5% території України (33,3 тис. км²). На території області протікає 225 річок. Головні з них – Дунай, Дністер з Кучурганом, Південний Буг з Савранкою та Кодимою. Багато невеликих річок, які влітку пересихають. В області 28 водосховищ, 520 ставків. Озера – заплавні та лимано-лагунні. В межах області 15 лиманів.

Одещина розташовується в трьох кліматичних зонах: Придністровський Лісостеп, Західний Степ, Причорноморський Степ. За кліматичними особливостями Одеську область можна розділити на три частини: північну, центральну та південну. Північна частина області розташована у Лісостеповій зоні, центральна та південна – у Степовій. Клімат вологий, помірно континентальний, в цілому поєднує риси континентального і морського, при цьому існують певні розбіжності у кліматичних характеристиках приморських та континентальних районів області.

Погодні умови формує атмосферна циркуляція, яка визначає температурний режим та кількість опадів.

Зима в області м'яка, малосніжна та нестійка; середня температура січня від -2°C на півдні до -5°C на півночі. З травня по вересень впливає на погодні умови регіону тепле сухе повітря Азорського максимуму. Для весни характерні похмура погода та тумани, зумовлені охолоджуючим впливом моря. Літо переважно спекотне, сухе; середня температура липня від 21°C на північному заході до 23°C на півдні, максимальна температура повітря до $36-39^{\circ}\text{C}$ (в останні роки і більше). Осінь тривала, тепліша весни, в основному хмарна. Середня річна температура повітря коливається від $8,2^{\circ}\text{C}$ на півночі до $10,8^{\circ}\text{C}$ на півдні.

Річні суми опадів збільшуються з віддаленням від моря та зростанням висоти місцевості. Середня річна кількість опадів коливається у межах 438 – 373 мм. Річна кількість опадів на північному заході області перевищує 450 мм, у центральній частині становить 400 – 450 мм, а у південній – 400 мм. Опади здебільшого випадають влітку (часто у вигляді злив). З середини осені починається період облогових опадів, характерних для всього холодного півріччя. Найменше опадів випадає у лютому; найбільш тривалі опади взимку. Сніговий покрив по області встановлюється в другій декаді грудня. На півдні області більшість зим бувають безсніжними; у дуже м'які зими стійкий сніговий покрив не утворюється.

Число годин сонячного сяйва приблизно 2200 на рік. Тривалість вегетаційного періоду 168-210 діб із загальною сумою температур від 28°C до 34°C. Взимку переважають північні та південно-західні вітри, влітку – північно-західні та північні. Середня річна швидкість вітру 3,5–4,5 м·с⁻¹, на узбережжі зростає до 4–6 м·с⁻¹. Для південної частини області типовими є посухи, пилові бурі, суховії [9, 18].

Херсонська область - це степова зона Причорноморської низовини, яка пролягає на обох берегах р. Дніпро. Рельєф рівнинний, злегка похилий з північного сходу на південний захід. Найвища точка над рівнем моря - 100 м. Область омивається Чорним і Азовським морями, а також Сивашем (рис.1.1). Площа області 28,3 тис. км². Для правобережжя області характерні балки, для лівобережжя - неглибокі замкнуті зниження (поди). Вздовж морського узбережжя є піщані острови, півострови й коси, найбільшими з яких є Джарилгацький острів, півострів Єгорлицький Кут, Тендрівська коса. В сушу врізаються Дніпровський лиман і Тендрівська, Каргинська, Каланчацька, Перекопська та інші затоки. Найбільш розсічене узбережжя Сиваша.

Херсонська область розташована у континентальній області кліматичної зони помірних широт і характеризується помірно-континентальним кліматом з м'якою малосніжною зимою і жарким посушливим літом. Зі складових загальної циркуляції атмосфери (ЗЦА) на формування клімату Херсонщини найбільший вплив надають: розташування області в поясі низького тиску помірних широт - на шляху західного переносу повітря; переважання помірних (морських і континентальних) повітряних мас та окремі вторгнення арктичного або тропічного повітря.

Температурний режим області визначається особливостями атмосферної циркуляції, радіаційними факторами та характером підстильної поверхні. Окрім загально географічних факторів на зміну температур також впливає і антропогенний чинник. Найнижча температура повітря спостерігається у січні. Середня місячна температура січня становить на півночі -4,5°C, в центрі -3,5...-4°C, на півдні -3°C. Найтепліший місяць –

липень. Температура повітря в липні від 22°C на північному заході до 23°C на більшості території. Абсолютна максимальна температура сягає 40°C.

Херсонщина відноситься до території з континентальним типом річного ходу опадів, за якого сума опадів теплого періоду переважає над сумою опадів холодного періоду. Сніговий покрив нестійкий. Для Херсонщини характерні щорічні бездощові періоди різної тривалості. Багаторічна середня тривалість бездощових періодів перевищує 100 днів, у ці періоди тепло не витрачається на випаровування, а йде на нагрівання земної поверхні й приземного шару повітря, в результаті чого формуються посухи. Середня річна кількість опадів незначна - 300-400 мм. Спостерігається зменшення кількості опадів з півночі на південь. Найменше опадів випадає на узбережжях Чорного й Азовського морів - 300-325 мм, що пов'язано з бризовою циркуляцією. Переважна кількість опадів випадає влітку у вигляді злив.

Протягом року змінюється напрям та швидкість вітру. Пізньої осені, взимку та на початку весни переважають північні, північно-східні та східні вітри, влітку - вітри західного напрямку. Середня швидкість вітру на Херсонщині становить від 3,5 до 5 м·с⁻¹. Влітку часто спостерігається суховій, який при значній тривалості дуже висушує ґрунт [21, 25].

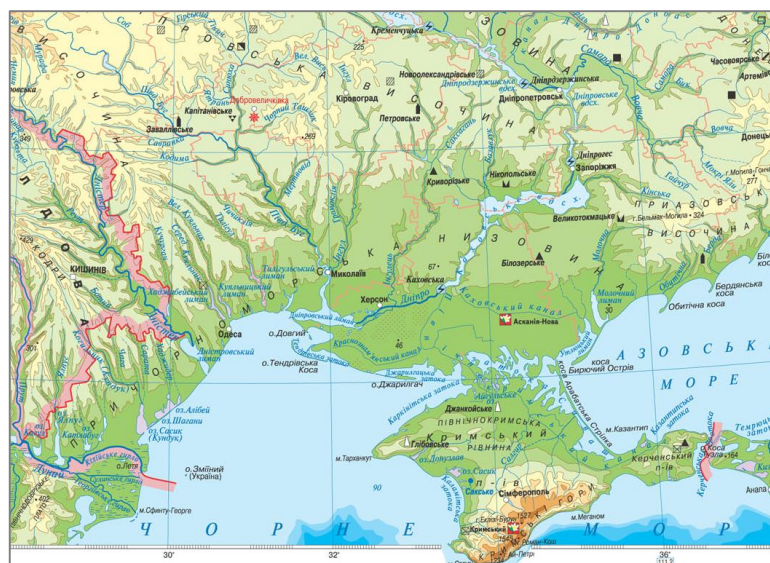


Рисунок 1.1 - Географічна карта півдня України

2 ЗМІНИ ПОЛЯ ОПАДІВ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

2.1 Сучасні тенденції

Основною закономірністю просторового розподілу небезпечних опадів на рівнинній території України є зменшення їх кількості з півночі та північного заходу у напрямі на південь та південний схід.

Найбільш тривалі дощі спостерігаються на заході України та у південних областях. Повторюваність усіх типів стихійних опадів в Україні має добре виражений сезонний хід. Усі зливи, 94% сильних опадів та 88% тривалих спостерігається у теплий період. Зливи мають найбільшу повторюваність на півдні України.

Стихійні опади починаються переважно у другій половині дня: початок більшості злив катастрофічного характеру припадає на момент максимального розвитку конвекції з 12 до 18 год, сильні дощі починаються у після полуденні та вечірні години. Тривалі опади починаються переважно у нічні години. На добовий хід повторюваності стихійних опадів впливає рельєф.

В Україні сильні зливи та дощі бувають кожен рік, а тривалі опади – двічі на три роки. Сильні зливи кожен рік відмічаються лише у південних, західних і центральних областях країни. Тривалі опади найбільш часто (кожні три-чотири роки) спостерігаються також південних та західних областях України.

Сильні зливи, як і інші конвективні явища, мають дуже локальний характер: одночасно вони можуть спостерігатись на території одного-двох адміністративних районів, у той час як сильні і тривалі дощі поширюються на значно більшу територію, особливо на заході та півдні країни [9, 12].

З початку 90-х рр. спостерігається тенденцію до зростання кількості випадків стихійних гідрометеорологічних явищ, яка зберігається й до цього часу. З початку XXI ст. вона стала більш виражена на всій території України,

але має деякі особливості в регіонах. Зокрема, у південному регіоні кількість випадків дуже сильних дощів зростає, також в цьому регіоні зростала частка більш сильних опадів. Відсоток дуже сильних дощів по відношенню до кількості випадків сильних дощів свідчить про інтенсивність процесів, що зумовлюють утворення опадів. В Україні він коливається від 2 до 5%. Максимум спостерігається на півдні країни [3].

У дослідженні [19] підтверджується наявність динаміки стихійних метеорологічних явищ як загальної закономірності, зумовленої особливостями зміни клімату. Різні явища мають різноманітну спрямованість, проте доміантною в останні 25 років є позитивна тенденція на фоні глобального потепління, за якого їх кількість в середньому збільшується майже на 4 випадки за рік. Таке збільшення СМЯ зумовлено глобальними змінами великомасштабної циркуляції атмосфери, зокрема, деяким зміщенням баричних центрів на схід.

Кількість випадків стихійних опадів протягом періоду 1971-2010 рр. зростає. Збільшується також кількість опадів, особливо максимальна, яка випадає під час дуже сильного дощу. Ці тенденції характерні майже для всієї території країни, але найбільше проявились у західному, північному та південному регіонах. Суттєво вплинула на збільшення повторюваності та інтенсивності стихійних опадів в Україні у теплий період року зміна атмосферної циркуляції у напрямку зростання меридіональності процесів, що привела до зміни районів формування циклонів, їх інтенсивності та траєкторій переміщення. У теплий період року ріст температури повітря, особливо максимальної, та вологовмісту атмосфери зумовили в Україні збільшення інтенсивності конвекції – конвективно доступної потенційної енергії, швидкості висхідних рухів, зниження рівня конденсації і підвищення рівня конвекції і призвели до збільшення нестійкості атмосфери. Внаслідок таких змін збільшилась кількість та інтенсивність небезпечних та стихійних опадів, шквалів, граду [1].

Проведені дослідження [11], виявили відмінності у річному розподілі опадів порівняно зі стандартною нормою опадів (СНО). Найбільші суми опадів за теплий період спостерігалися у серпні-жовтні, найменші – у квітні. У семи випадках з десяти посушливим місяцем був квітень, двічі – вересень. Розподіл вологих місяців має менш упорядкований характер, найбільша їх кількість припадає на червень та серпень. На значну нерівномірність та неоднозначність часового розподілу опадів вказує і те, що в окремі роки у теплому періоді відмічалися декілька вологих або посушливих місяців (чи обидва разом) з екстремальною кількістю опадів. Відмічається зміщення максимуму місячної кількості опадів з червня-липня переважно на серпень-вересень-жовтень.

У десятиріччі 2001–2010 рр. кількість сильних злив зросла більше ніж у двічі порівняно з попереднім. Областями з найбільшою кількістю сильних злив є АР Крим та Одеська область, де вони спостерігаються щорічно із 75-85% імовірністю. Найчастіше повторюються сильні зливи з опадами 30-40 мм. У чотири-п'ять разів зменшується повторюваність злив з опадами 41-50 мм. У 2001-2005 рр. відмічалось збільшення кількості сильних злив з сумами опадів 51-60 і 61-70 мм. Характерною особливістю зливової діяльності на початку XXI ст. є наявність сильних злив у квітні і жовтні та збільшення їхньої кількості у вересні, що є ознакою подальших змін сучасного клімату [23].

За період 1991-2013 рр. на 36 з 40 метеостанцій України був перекрытий багаторічний місячний максимум атмосферних опадів [24]. Це мало місце в усіх місяцях та за рік. Найбільші зміни по території України у максимальній місячній кількості опадів відбулися у місяці теплового періоду року: квітні, липні, та вересні. Трохи менші – лютому, березні, червню та серпні. Найменші зміни – у січні, жовтні, листопаді. У річному розрізі максимальна кількість опадів була перекрыта на 40% розглянутих станцій. На дев'яти станціях – в одному році, на шести станціях – у двох, на одній (ст. Херсон) – у трьох роках.

Висновки про зміни вологісного режиму на території України отримані у наукових працях [14-15] при дослідженні поля температури і опадів за літній

період 1991-2015 рр. та екстремальних опадів за період 2000-2016 рр. Зокрема зазначається, що нестійкість атмосферних процесів над територією України в останні роки характеризувалася такими погодними умовами, як різкі короткочасні перепади температури або дні зі зливовими опадами. Число днів зі зливовими опадами за літо невелике, але кількість опадів за один день може бути екстремальною. У літній сезон норми опадів практично по всій території збільшуються. Літні опади на більшій території України майже вдвічі перевищують весняні й осінні опади. Характерна риса сучасного режиму опадів простежується в нерівномірному розподілі опадів протягом місяців. Імовірнісний стан опадів для кожної області України з початку XXI ст. уточнює характер сучасних умов температури й вологості на території України. Серед літніх місяців червень найменш посушливий. Тільки незначна частина території часто має дефіцит опадів. Перевищення місячної норми найбільше характерно для Лівобережної України, центральної, а також південної її частини. У липні дефіцит опадів найчастіше спостерігається у південній частині України (Миколаївська, Херсонська, Запорізька області й північна частина Криму). Серпень є найсухішим літнім місяцем, у якому найбільш сильно проявляються контрасти між різними регіонами країни. Найбільша повторюваність дефіцитного зволоження характерна для південних та північних областей. У територіальному відношенні найбільш небезпечна ситуація складається для південних областей (Миколаївська, Херсонська й Запорізька області) - протягом липня-серпня можуть спостерігатися недостатні умови зволоження, незважаючи на те, що в червні ймовірність перезволоження досить висока.

В цілому, в Україні відзначається суттєва відмінність температурно-вологісного режиму між десятиліттями кінця XX і початку XXI ст. Аналіз температурно-вологісного режиму останнього десятиліття в умовах нового характеру глобальної температури повітря й стану великомасштабної атмосферної циркуляції виявляє новий регіональний клімат [14].

У наукових працях [13] наголошується, що на відміну від температури в багаторічному ході опадів немає вираженої тенденції. Тренд або трошки підвищується, або понижується. Бувають і піки, і тут же йде зниження. Не змінюється і середньомісячна кількість опадів. Але слід зазначити, що при підвищенні температури збільшуються стихійні опади. Одночасний розгляд зміни глобальної температури повітря і річної кількості опадів в Україні показує, що зв'язок між цими двома змінними не є лінійним. Це ускладнює прогнозування тенденції режиму зволоження на майбутнє.

2.2 Процеси опадоутворення

Умови розвитку процесів, що зумовлюють стихійну кількість опадів, визначаються комплексом циркуляційних та термодинамічних характеристик атмосфери. Виняток становлять короткочасні опади, до яких належать сильні зливи та сформовані опади. При їх утворенні, крім циркуляційних факторів, велику роль відіграє підстильна поверхня [9].

Особливості локалізації та інтенсивності небезпечних і стихійних явищ погоди значною мірою залежать від типу синоптичного процесу. Синоптичний процес – атмосферний макропроцес, що зберігається протягом деякого часу і характеризується певною структурою термобаричного поля, яка зумовлює переміщення і еволюцію баричних утворень, атмосферних фронтів та повітряних мас. Зміна районів формування циклонів, які виходять у теплий період року на територію України, свідчить про зростання меридіональної і послаблення зональної циркуляції і зумовлює зміну їх траєкторій переміщення. Переважна більшість циклонів, що своїм центром переміщуються через Україну у теплий період року, формуються під впливом південних та західних синоптичних процесів і виходять на її територію з

південною складовою та зумовлюють майже 90% небезпечних і стихійних явищ погоди [4].

Сильні опади теплового півріччя здебільшого пов'язані із зонами активної конвекції [2]. У південних областях зливи більш інтенсивні. Ступінь впливу водної поверхні на інтенсивність конвекції залежить від сезону, орієнтації берегової лінії відносно пануючого напрямку вітру. За першу половину теплового періоду (квітень – червень) на узбережжі Чорного і Азовського морів спостерігається 25–35% загальної кількості випадків небезпечних метеорологічних явищ (НЯ) та стихійних метеорологічних явищ (СМЯ) теплового періоду, тоді як на віддалі 100-150 км від берега вона зростає і становить 35-50%. Такий вплив водойм на небезпечну та стихійну кількість опадів проявляється тільки на навітряних берегах великих озер і водосховищ. Чим більша водойма, тим сильніше вона впливає на інтенсивність конвекції та конвективних явищ. Повторюваність сильних злив залежить також від географічної широти та циркуляційних факторів: кількість випадків зростає у широтному напрямі – з півночі на південь, особливо на рівнинній території. Найбільша кількість випадків стихійних короткочасних опадів спостерігається на півдні АР Крим, на Приазовській височині, а також на північно–східних схилах Карпат. Значна кількість сильних злив утворюється також на Причорноморській низовині, навітряних схилах Волино-Подільської, Придніпровської та Донецької височин.

У роботі [5] проведений синоптичний аналіз посиленого опадоутворення, наголошується, що небезпечні опади формуються за умов:

- 1) виходу на територію України південно-західних та південних циклонів або їх взаємодії з холодним фронтом з хвилями із заходу чи північного заходу;
- 2) наявності блокуючого процесу, що гальмує рух циклонів, при якому має місце як їх стаціонавання, так і аномальне переміщення. Часто циклон здійснює петлеподібний рух. Через блокування створюються великі горизонтальні градієнти тиску та температури, що зумовлюють хуртовини, сильні та дуже сильні опади.

Типи блокуючих процесів різні, але найчастіше циклон, що виходив на Україну, блокувався двома антициклонами - із заходу (Азорський) і сходу, іноді з півночі (полярний) і сходу. Однією з головних умов виникнення фронтальних опадів є наявність упорядкованих висхідних рухів, завдяки посиленню циркуляції внаслідок блокування упорядковані висхідні рухи будуть більші за середньостатистичні значення (близько $2 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$). Необхідним фактором для утворення опадів є наявність достатньої вологи, дефіцит точки роси повинен бути близьким до нуля. Виявилось, що у всіх синоптичних ситуаціях повітряні маси були досить вологими. У формуванні та тривалості сильних опадів значну роль відіграють такі характеристики динаміки атмосфери, як зсув вітру в опадоутворюючому прошарку та профіль і градієнт швидкості вітру у тропосфері. Практично всі випадки з небезпечними сумами опадів пов'язані з виходом на територію України неоклюдованих південних (40%), південно-західних, особливо з Придунайської низовини (53%) і, дуже рідко, західних та північно-західних (7%) циклонів.

В інших працях проведено класифікацію синоптичних процесів при сильних опадах влітку за даними 2001–2010 рр. [23]. Отримано поля класів імовірності поля геопотенціалу АТ-500 гПа та типові поля приземного тиску, а також уточнені мезомасштабні ситуації, які зумовлюють сильні опади протягом літнього сезону:

- висотний циклон відсічення, з окремим центром біля поверхні, атмосферними фронтами або малоградієнтним полем;
- розвинена висотна або приземна улоговина (циклон) у поєднанні з ХФ з хвилями, які призводять до значних опадів, або ділянки ХФ циклонів, що рухаються на північ від України;
- деформаційне поле (у тому числі замаскована улоговина) або зона взаємодії з квазістаціонарним гребенем на сході Європи. При цьому біля поверхні розташовуються атмосферні фронти з хвилями, переважно меридіонально орієнтовані.

При цьому типовим є розвиток конвективних осередків різних масштабів, у тому числі мезомасштабних комплексів (ММК), суперкомірок, перш за все у центрі, півдні або сході України, а також у Румунській (або причорноморській) зоні конвергенції. Більшість випадків сильних опадів улітку (57%) пов'язані з висотними ізольованими циклонами (відсічення), які зазвичай малорухомі й тривалий час впливають на територію дослідження. Найбільша частота реєстрації цих циклонів – у першій половині літа, коли вони забезпечують вологою підстильну поверхню під час вегетаційного періоду. Висотна улоговина має більшу швидкість переміщення і впливає на територію України 1-2 доби. Наприкінці літа більшу повторюваність мають синоптичні процеси у взаємодії з квазістаціонарним гребенем на сході Європи, причому Україна розташовується у перехідній зоні між висотним циклоном (улоговиною) і висотною областю підвищеного тиску.

3 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ШКВАЛИ

3.1 Основні поняття

Шквал – це різке посилення вітру зі зміною напрямку протягом короткого проміжку часу. Шквал являє собою вихор з горизонтальною віссю обертання [8, 12, 20, 22]. Серед небезпечних явищ, що спостерігаються у теплий період шквали становлять невеликий відсоток, але лєвова доля збитків, заподіяних різним галузям господарства НЯ та СМЯ припадає саме на них.

Шквал – один із типових проявів інтенсивної конвекції, в залежності від самої конвекції може охоплювати від декількох сотень квадратних метрів (локальні шквали, пов'язані з купчасто-дошовими хмарами, що розвиваються в однорідній повітряній масі) до зон – мезомасштабу (шквали пов'язані з відповідними конвективними системами). Лінія шквалів (ЛШ) являє собою мезомасштабну систему глибокої конвекції - мезомасштабу. Протяжність ЛШ може сягати тисячі кілометрів, а ширина – 50-100км.

Сильні шквали, як і інші конвективні явища, утворюються в результаті складної взаємодії атмосферних процесів:

- системи синоптичного масштабу, на фоні яких розвиваються конвективні процеси;
- системи мезомасштабу α і β ;
- окремі потужні купчасто-дошові хмари.

Лінійна структура конвективних течій виникає на фоні інтенсивних великомасштабних потоків, в яких спостерігаються значні зсуви швидкості вітру у вертикальному та горизонтальному напрямку. Швидкість вітру при шквалах залежить від енергії низхідного потоку, сили вітру в тропосфері, швидкості потоку, контрастів температури та ін. [2].

Перша умова, за якої виникає шквал – це формування потужної купчасто-дощової хмарності (Cb). Купчасто-дощові хмари утворюються в результаті реалізації значних запасів енергії нестійкості атмосфери. На початковому етапі виникають переважно висхідні потоки повітря, які під час розвитку Cb посилюються завдяки додатковому теплу, що виділяється у хмарному повітрі під час конденсації та кристалізації водяної пари. Коли у хмарах накопичується достатня кількість вологи і відбувається укрупнення хмарних елементів, деякі об'єми хмарного повітря починають опускатися донизу під дією маси накопиченої у хмарі краплино-рідкої вологи, кристалів та граду. Накопичення вологи відбувається найбільш інтенсивно на висоті, де температура повітря становить -10°C і нижче, а висхідні рухи досягають максимальних швидкостей. У процесі опускання об'ємів хмарного повітря вниз, волога в них випаровується, що, в свою чергу, зумовлює прискорення опускання повітря. Найбільш інтенсивні течії досягають поверхні землі і, трансформуючись у горизонтальний потік, створюють різке посилення вітру.

Друга умова формування шквалу - виникнення дрібномасштабних хвиль падіння та підвищення тиску, що спричиняє дуже великий баричні градієнти. Причиною цього процесу є потужні висхідні конвективні потоки у передній частині хмари і низхідні потоки – у центральній та тилівій частині. Висхідні рухи створюють дефіцит маси повітря, який супроводжується різким падінням тиску, а низхідні рухи визначають підвищення тиску. Наявність вертикальних потоків різних знаків сприяє формуванню шквального ворота з горизонтальною віссю перед Cb (рис. 2.1). Горизонтальна вісь знаходиться, у середньому, на висоті 500-600 м попереду Cb, за 1-2 км перед суцільною завісою дощу [8, 20].

Під час шквалу спостерігається різка зміна метеорологічних величин у приземному шарі атмосфери. Перед шквалом переважає падіння тиску, після шквалів - тиск зростає. Розподіл температури повітря при шквалах вказує на значний діапазон: на території України, за виключенням центральних

областей, шквали найчастіше виникають за температури повітря 20-25°C, а для центру характерні більш високі позначки (25-30°C) [2, 8, 10, 12, 20].

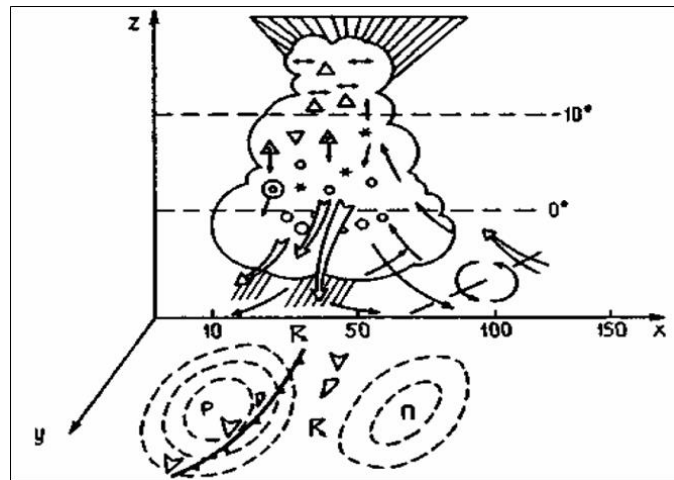


Рисунок 2.1 - Схема циркуляції у купчасто-дошовій хмарі при шквалі

Відповідно до положень [17] за швидкістю вітру шквали поділяють:

- НМЯ I рівня небезпеки – шквал 15-24 м·с⁻¹;
- СМЯ II рівня небезпеки – сильний шквал 25-34 м·с⁻¹;
- СМЯ III рівня небезпеки – надзвичайний шквал ≥ 35 м·с⁻¹.

Швидкість вітру при шквалах залежить від енергії низхідного потоку, сили вітру в тропосфері, швидкості потоку, контрастів температури та ін.

Середня швидкість вітру під час небезпечних і стихійних шквалів в Україні коливається від 18 до 22 м·с⁻¹. СМЯ зі швидкістю вітру ≥ 40 м·с⁻¹ спостерігаються вкрай рідко (~1%). Найбільшу інтенсивність небезпечні та стихійні шквали мають на південному заході країни, де їх середня швидкість становить 20-22 м·с⁻¹, а максимальна 32-40 м·с⁻¹.

Найчастіше (75%) сильні шквали тривають менше 20 хв. Близько 90% стихійних шквалів триває не більше 0,5 год. Інколи спостерігаються шквали, що тривають понад годину.

Найбільш тривалі сильні шквали спостерігаються у південних та центральних областях України, а найменш тривалі – на сході. Сильні шквали

мають незначну повторюваність по пункту, поширюються на невеликій території. Тобто сильні шквали мають локальний характер.

Шквали спостерігаються на всій території України. Найбільш шквалонебезпечним є південь, зокрема Одеська область (у середньому до 6 шквалів за рік). 4-6 шквалів відмічається у Херсонській області та Криму, від 2 до 4 у Львівській, Волинській, Кіровоградській, Черкаській, Житомирській, Київській, Чернігівській, Донецькій та Харківській областях, у решті областей - менше двох.

Повторюваність сильних шквалів в Україні має добре виражений сезонний хід. Шквал, як один із типових проявів інтенсивної конвекції, виникає тоді, коли цей процес досягає найбільшого розвитку, найчастіше (~60%) - у червні та липні. Можливі вони також і в холодний період.

Шквали мають чітко виражений добовий хід, з максимумом в після полуденні і вечірні години, що зумовлено інтенсивним розвитком конвекції у цей час. У цей період спостерігається близько 60% СГЯ. У ранкові і нічні години вони утворюються дуже рідко [2, 8, 10, 12, 20].

3.2 Синоптичні умови виникнення шквалів

В Україні шквали найчастіше (40 %) виникають у баричних улоговинах, які в основному спрямовані з півночі, північного заходу чи північного сходу. Значна їх повторюваність (33 %) також в умовах розмитого баричного поля. У зонах високого тиску (антициклон, гребінь) неодмінною умовою виникнення шквалу є наявність атмосферного фронту. Щодо висотного баричного поля, то найбільшу повторюваність має також улоговина (27%), дещо меншу - гребінь (22 %) та висотна фронтальна зона (20 %) [10].

За аеросиноптичними процесами формування шквалів їх поділяють на внутрішньомасові і фронтальні [8, 20, 22].

Загальні синоптичні умови, що сприяють розвитку шквалів:

1. Вершини хвильових збурень на фронтах та зони холодних фронтів, що переміщуються зі швидкістю 30...40 км год⁻¹ та більше.
2. Стаціонарні та малорухомі холодні фронти із хвильовими збуреннями.
3. Фронти оклюзії при їх переміщенні зі швидкістю 20..30 км год⁻¹.
4. Внутрішньомасові шквали виникають у другій половині дня в малоградієнтних областях низького або високого тиску.
5. Області невеликих баричних улоговин та теплі сектори циклонів.
6. Південні, південно-західні та західні периферії масштабних, малорухомих антициклонів при значній нестійкості теплої повітряної маси, денних температурах 28...30°C, точці роси 10...15°C та масовій частці водяної пари $\geq 10\%$.

Виникнення шквалу тісно (78 %) пов'язане з атмосферними фронтами, а в решті випадків - з внутрішньомасовими процесами. Серед фронтів істотно переважають холодні, особливо у східних областях. Здебільшого це малорухомі квазімеридіонально орієнтовані фронти, розташовані в улоговинах, які поступово переміщуються із заходу на схід. На них зазвичай утворюються хвилі, що у свою чергу сприяє розвитку конвекції і, як наслідок, виникненню шквалу. Приблизно з однаковою повторюваністю шквали виникають у системах фронтів оклюзії, теплих та вторинних холодних.

Найбільш небезпечні фронтальні шквали виникають частіше при проходженні холодних фронтів або холодних фронтів оклюзії, у смузі найбільш розвиненої конвективної нестійкості. Передній край цієї смуги шириною 50-70 км має назву лінії нестійкості (ЛН), яка звичайно збігається з лінією фронту біля поверхні землі. Іноді, у випадку насичення теплого повітря водяною парою, лінія нестійкості утворюється перед холодним фронтом, у теплому секторі циклону.

При проходженні холодного фронту та пов'язаного з ним шквалу спостерігається зниження температури та різке підвищення тиску. Контрасти

температури на холодному фронті, у випадках коли формується шквал над сушею, часто дорівнюють 8-10°C та більше. Максимальна температура теплого повітря перед фронтом звичайно досягає позначки 30°C, часто підвищується до 35-38°C. Зростання тиску за фронтом, у районі виникнення шквалів, складає 3-5 гПа за 3 год.

На супутникових знімках ЛШ мають вигляд скупчень крупних конвективних елементів, що розміщуються вздовж однієї лінії паралельно хмарній смузі холодного фронту. Відстань між лінією шквалів та хмарністю холодного фронту в середньому складає 200-300 км і зберігається майже постійною протягом всього періоду існування лінії шквалів, тобто швидкості переміщення цих хмарних систем співпадають. Хмарність ЛШ є неоднорідною за структурою і складається з лінійних фрагментів або скупчень купчасто-дошових хмар довжиною до 100 км і шириною близько 30 км. Період життя лінії шквалів складає звичайно більше доби, але окремі її елементи існують близько 5 - 6 годин.

Внутрішньомасові шквали пов'язані з хмарами С_b, які виникають при суто термічній конвекції або при термодинамічній конвекції у холодній нестійкій повітряній масі у тилу циклону. Шквал переміщується разом з купчасто-дошовою хмарою, тому у межах певної смуги, за останнім, формується так званий «слід» шквалу [8, 20, 22].

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПОСИЛЕНИХ ОПАДІВ ТЕПЛОГО ПІВРІЧЧЯ НА ПІВДНІ УКРАЇНИ ЗА ПЕРІОД 2017-2021 РР.

Для дослідження повторюваності небезпечних та стихійних опадів за зведеннями 3-х метеостанцій: Миколаїв, Херсон та Одеса, проаналізовано випадки з опадами ≥ 15 мм за теплі півріччя з 2017 по 2021 рік [25]. Опади у холодний період цього часового проміжку мали поодинокі випадки з сумами, які не досягали критерії небезпечних явищ погоди.

4.1 Повторюваність сильних опадів

За досліджуване п'ятиріччя зареєстровано 68 випадків опадів ≥ 15 мм з квітня по жовтень, з них максимум у 2021 р. - 21 випадок, також близький високий показник у 2019 р. (20) - табл. 4.1.

Найрідше сильні опади відмічалися у 2017-2018 рр. - лише по 8 епізодів.

Таблиця 4.1 – Річна повторюваність опадів ≥ 15 мм за теплий період 2017–2021 рр. на півдні України (кількість випадків)

Станція	Рік					Всього
	2017	2018	2019	2020	2021	
Херсон	2	3	9	3	5	22
Миколаїв	1	3	7	4	12	27
Одеса	5	2	4	4	4	19
Всього випадків	8	8	20	11	21	68

Підвищена повторюваність сильних опадів належить Миколаєву – 27 випадків. Найменша частота опадів відмічається в Одесі – 19 випадків, проте часом вони сягали високих рівнів небезпечності.

За роками розподіл між метеостанціями неоднорідний. Так, у Миколаєві максимум повторюваності досягнуто, в основному, за рахунок суттєвого зростання випадків у 2021 р. (12 випадків), а у 2017 р. опади ≥ 15 мм спостерігалися лише один раз. В Одесі розподіл за роками досить рівномірний 2-5 випадків на рік. У Херсоні, навпаки, значні коливання - від максимуму 9 випадків у 2019 р. до двох - у 2017 р. (рис.4.1).

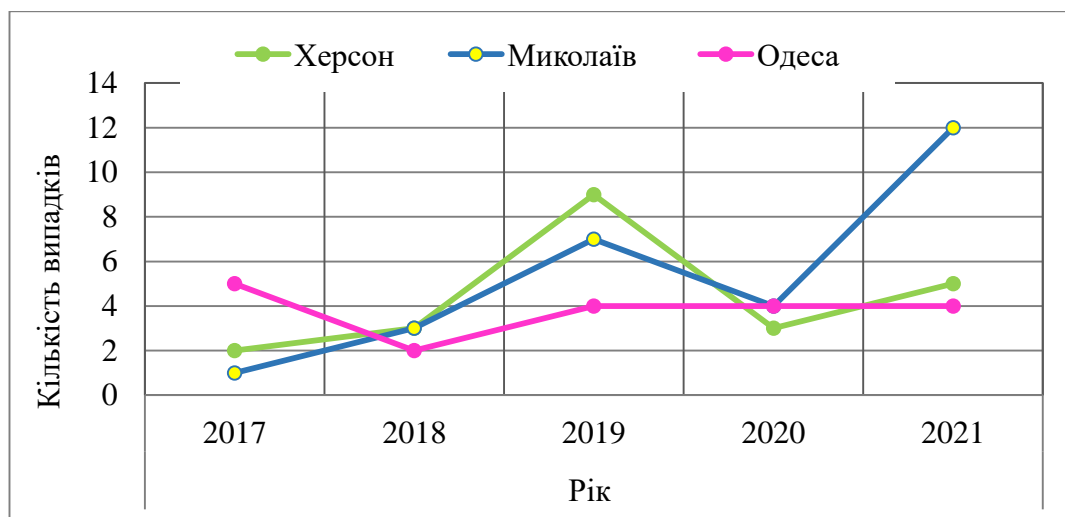


Рисунок 4.1 – Річна повторюваність опадів ≥ 15 мм за теплий період 2017-2021 рр. на півдні України

Загальна місячна повторюваність сильних опадів наведена у табл. 4.2 та проілюстрована на рис.4.2.

Найчастіше посилені опади відмічаються на півдні України з травня до липня – 66%. Максимум припадає на липень – 18 випадків (~26%). Також підвищені показники у червні – 15 (22%) та травні - 12 (18%). Найвища місячна річна повторюваність належить Миколаєву у червні – 8 епізодів.

Таблиця 4.2 – Загальна місячна повторюваність опадів ≥ 15 мм за теплий період 2017–2021 рр. на півдні України (кількість випадків)

Станції	Місяць						
	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень
Херсон	3	5	4	7	1	0	2
Миколаїв	0	5	8	6	3	3	2
Одеса	1	2	3	5	4	2	2
Всього	4	12	15	18	8	5	6

Найрідше опади ≥ 15 мм реєструвалися у квітні – 4 випадки (6%), дещо частіше у вересні та жовтні (відповідно 5 та 6). Відмітимо, що посилені опади не реєструвалися у Миколаєві у квітні та в Херсоні у вересні.



Рисунок 4.2 – Загальний місячний розподіл опадів ≥ 15 мм у теплому півріччі 2017-2021 рр. на півдні України

Проаналізовано повторюваність опадів за рівнем небезпечності згідно Настанови [15]. За теплі періоди 2017-2021 рр. спостерігалось 67 випадків із 68-ми - це категорія небезпечності НМЯ I (опади 15-49 мм). Та лише 1 випадок СМЯ II рівня небезпечності – це сильна злива 22 липня 2021 р. в Одесі.

4.2 Класифікація синоптичних процесів

У ході дослідження проведений синоптичний аналіз умов виникнення опадів з сумами ≥ 15 мм. Виділено класифікацію процесів, що сприяли формуванню посиленних опадів за даними оперативної синоптичної інформації та знімками хмарності [25].

Оскільки архівний приземний аналіз доступний за строк 00 UTC, уточнення синоптичних процесів за умов виникнення денних, вечірніх та нічних опадів проводилося із застосування супутникових знімків хмарності МШСЗ інфрачервоного діапазону IR та композитів [24, 26].

Аналіз показує, що частка фронтальних та внутрішньомасових (ВМ) опадів виявилася близькою – 35 (51%) та 33 (49%) випадки відповідно. Дещо підвищена частка опадів на холодному фронті – 29%, найрідше сильні опади реєструвалися у системі фронту оклюзії -5 випадків (табл. 4.3, рис.4.3). При подвійних сумах опадів, що досягли критерію НМЯ чи СМЯ протягом однієї доби, в таблиці вказано – денні опади «д», нічні опади «н».

Як зазначалося вище, переважна частина виділених сильних опадів припала на літо. Згідно сезонним змінам циркуляції атмосфери, фронтальна діяльність та циклонічні поля влітку дещо послаблені, а на холодних фронтах, особливо ХФ II роду, часто формуються потужні зливи, грозова діяльність з градом та шквалами.

За місяцями та у річному розподілі відмінностей за типами синоптичних процесів не визначено.

Таблиця 4.3 – Типи циркуляційних процесів при формуванні опадів $\geq 15\text{мм}$ за теплі півріччя 2017-2021 рр. на півдні України

Станція	Тип процесу			
	фронтальні опади			внутрішньо-масові опади
	ХФ	ТФ	ФО	
Миколаїв	14.05.2017	04.08.2019	16.06.2021	27.07.2018
	24.09.2018	14.06.2021	13.10.2021 (д)	08.09.2018
	08.07.2019	13.10.2021 (н)		22.05.2019
	30.06.2020			03.06.2019
	31.07.2020			08.06.2019
	07.08.2021 (н)			24.06.2019
	18.09.2021			30.07.2019
				16.06.2020
				18.06.2020
				28.05.2021
				29.05.2021
				31.05.2021
				05.07.2021
				21.07.2021
			07.08.2021 (д)	
Одеса	20.04.2017	08.10.2017	05.09.2020	14.08.2017
	04.07.2017	04.08.2019		27.07.2018
	14.07.2017	28.05.2020 (2)		08.06.2019
	24.09.2018			03.08.2019
	04.10.2019			14.06.2020
	22.07.2021			17.06.2021
	26.08.2021			05.07.2021
Херсон	18.04.2017	15.04.2019	21.04.2017	11.07.2018
	20.05.2018		03.06.2021	25.07.2018
	06.07.2019			24.05.2019
	08.07.2019			25.05.2019
	05.10.2019			03.06.2019
	12.08.2020			08.06.2019
				07.10.2019
				24.06.2020
				06.07.2020
				17.05.2021
				31.05.2021
			05.07.2021 (2)	
Всього випадків	20	8	5	35

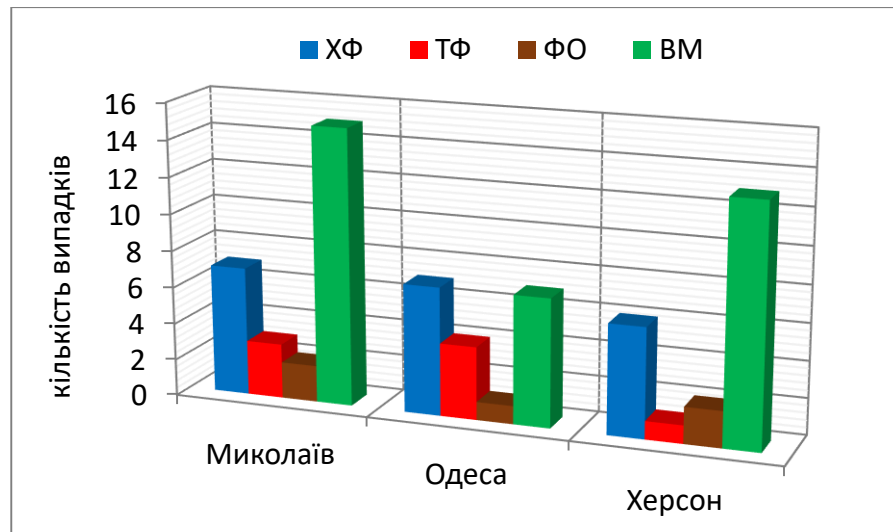


Рисунок 4.3 – Загальна повторюваність опадів ≥ 15 мм за походженням у теплі півріччя 2017-2021 рр. на півдні України

Надалі проілюстровано синоптичні ситуації формування опадів у хронологічному порядку із загальним аналізом погодних умов (рис.4.4-4.8).

За 2017 р. приземні баричні поля виділяють: 18 квітня південь України та Чорне море підпадає під вплив циклону, зливи відмічалися в денні години, коли на південь країни змістився холодний фронт. 20 числа південні регіони знаходяться на периферії двох циклонів з центрами над Балканами та Прикаспійською низовиною, у системі ХФ у післяполудневі години відмічався зливовий дощ в Одесі. Станом на 21 квітня територія півдня країни перебувала під впливом оклюдованого циклону, злизові опади виникли на фронті оклюзії.

14 травня на погодні умови Херсонської, Миколаївської та Одеської областей впливала система низького тиску, зливи мали фронтальне походження і виникли у системі ХФ.

Холодні фронти також зміщувалися через південь України з північного заходу 04 та 14 липня, що зумовило посилені опади.

14 серпня південь країни знаходиться під впливом висотного циклону, за уточненням у полі хмарності, нічні опади в Одесі мали внутрішньомасове походження.

08 жовтня над Чорним морем простежується південний циклон, через Одесу проходить теплий фронт у нічні строки.

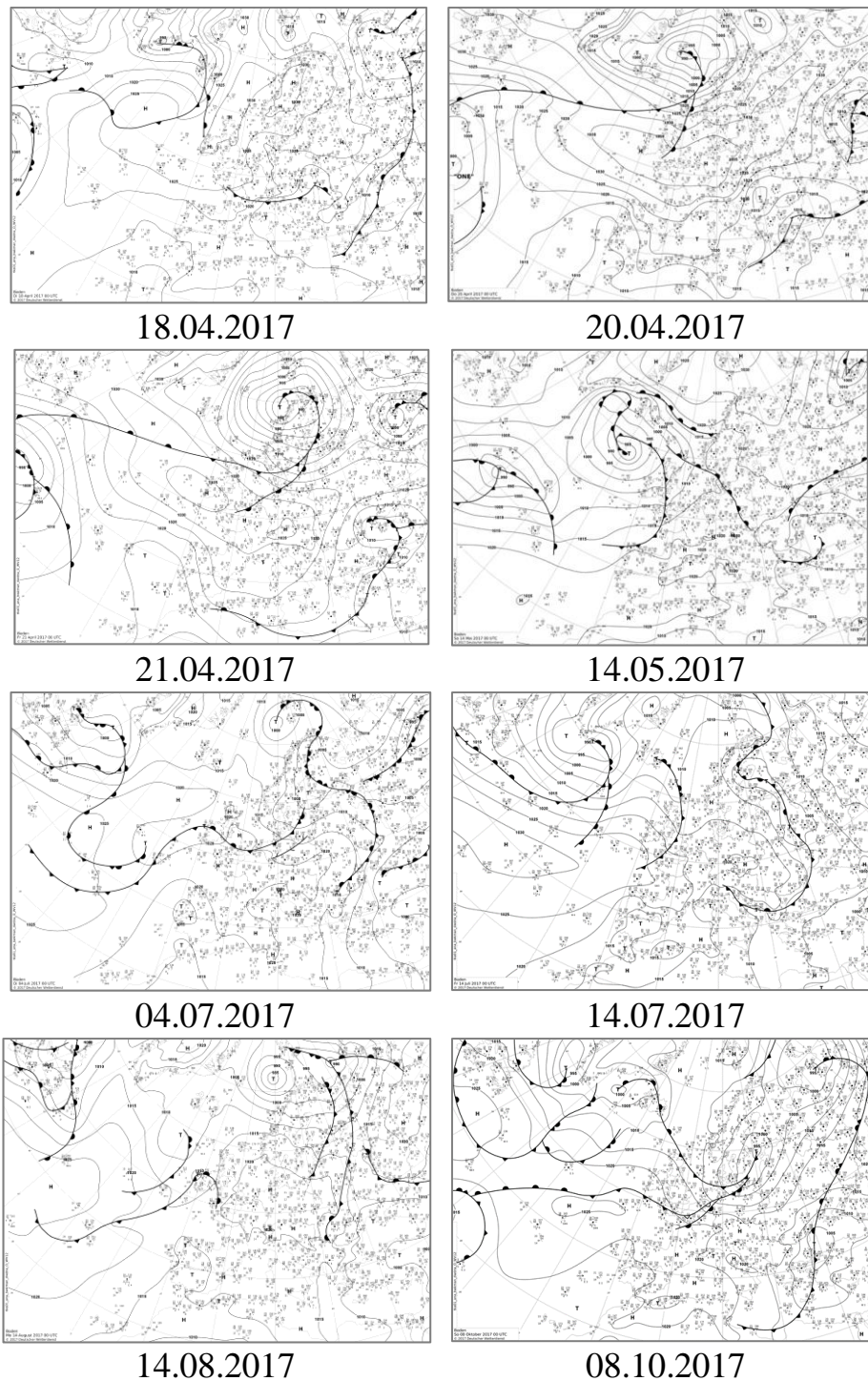
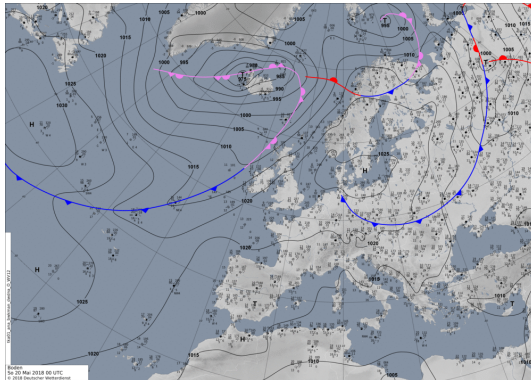


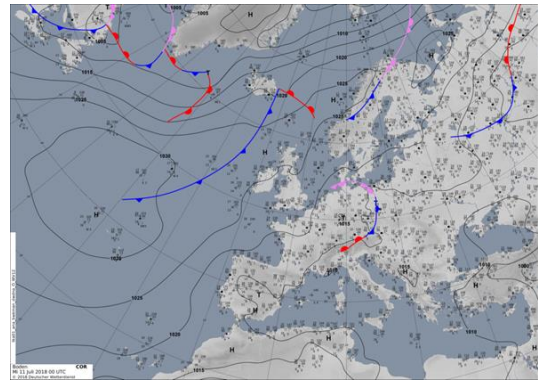
Рисунок 4.4 - Приземні карти погоди за тепле півріччя 2017 р., 00 UTC

На рис.4.5 наведено синоптичні ситуації приземних полів за тепле півріччя 2018 р. Зображено 6 баричних полів, хоча за 2018 р. виявлено 8

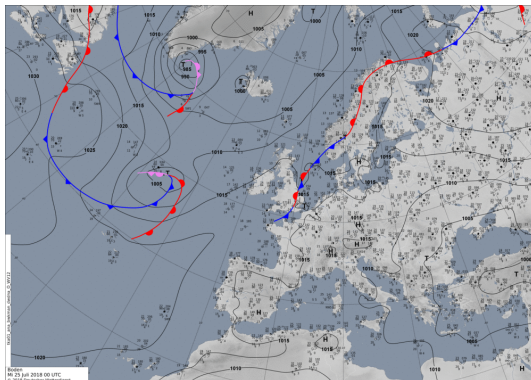
випадків – двічі дати співпадають за випадками сильних опадів на станціях (схожі ситуації також є в інших роках).



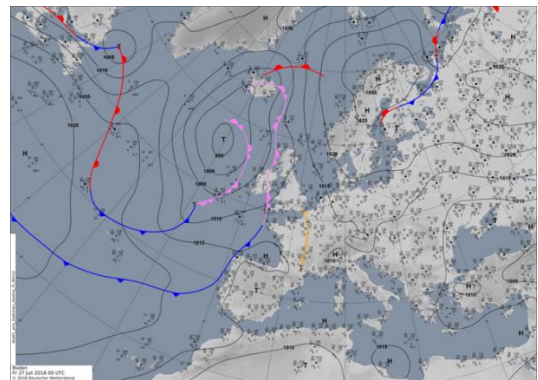
20.05.2018



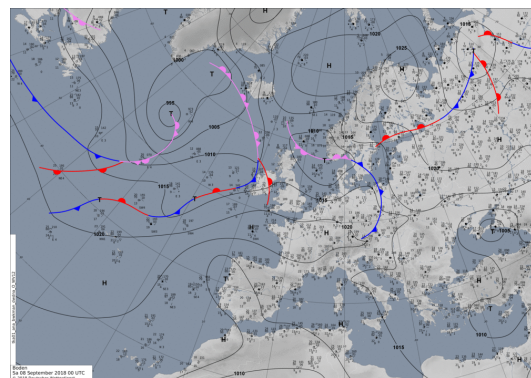
11.07.2018



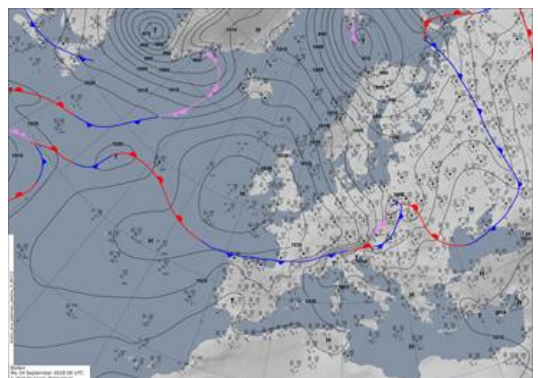
25.07.2018



27.07.2018



08.09.2018



24.09.2018

Рисунок 4.5 - Приземні карти погоди за тепле півріччя 2018 р., 00 UTC

Особливості циркуляційних процесів полягали у наступному: 20 травня на південь України зміщувався ХФ, що спричинило зливу у Херсоні.

11 липня на півдні країни фронтальна діяльність відсутня, спостерігається малоградієнтне поле, в результаті денного прогріву підстильної поверхні сформувалися умови для конвективних злив.

25 та 27 липня південь України знаходиться під впливом термічних циклонів, за даними супутникових знімків встановлено розвиток потужної конвективної внутрішньомасової хмарності та опадів (27 липня в Одесі 37 мм за 6 годин).

Внутрішньомасові опади також спостерігаються 08 вересня, а 24 вересня - денні опади у Миколаєві та Одесі виникли у системі активного холодного фронту, що зі значною швидкістю змістився з півночі від ранкових до денних строків спостереження.

Приземні баричні поля за теплий період 2019 р. демонструє рис. 4.6.

15 квітня дощ у Херсоні виник в результаті переміщення теплого фронту у системі циклону над Чорним морем та Кавказом.

22 та 24-25 травня спостерігаються внутрішньомасові денні опади при розвитку осередкової купчасто-дощової хмарності – південний регіон країни знаходиться в малоградієнтних полях.

03 та 08 червня південь знаходиться на периферії системи високого тиску, атмосферні фронти не визначаються, опади мали внутрішньомасове походження за рахунок термічної конвекції. Ці дати збігаються за випадінням опадів на всіх станціях, у Миколаєві 8 червня випало 43 мм за 12 годин - денна злива з грозою. 24 червня на півдні також відмічається розмите поле підвищеного тиску, у Миколаєві - зливовий дощ внутрішньомасового походження.

06 липня через Херсонську область у нічні строки зміщується ХФ оклюдованого масштабного циклону з центром над Східноєвропейською рівниною, це уточнення надають супутникові знімки ІЧ-діапазону за нічні години. 8 липня ХФ проходить Миколаїв у нічні години, а Херсон - в денні, відмічаються злизові дощі та грози.

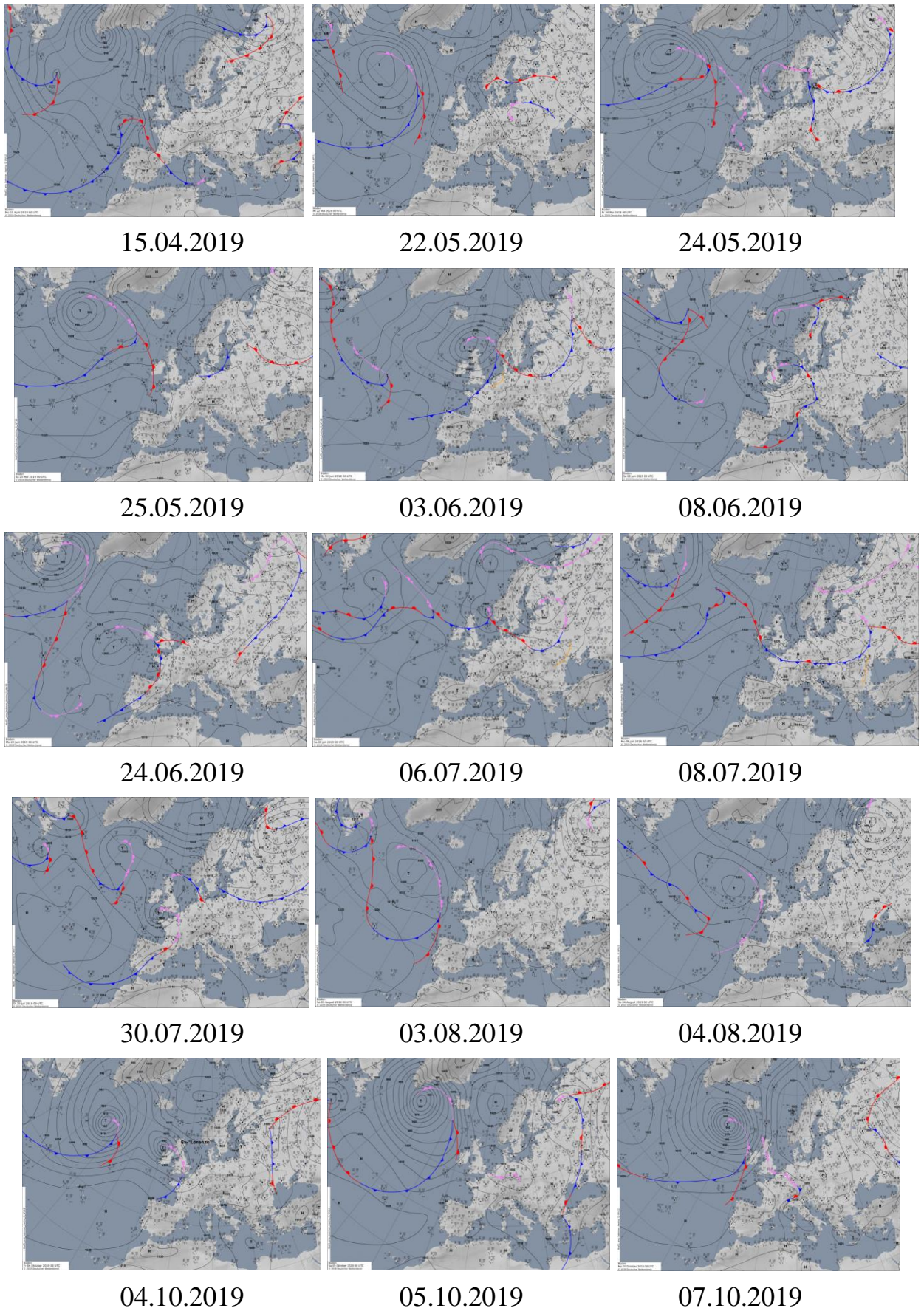


Рисунок 4.6 - Приземні карти погоди за тепле півріччя 2019 р., 00 UTC

30 липня у Миколаєві спостерігаються денні зливи внутрішньомасового походження при розвитку конвекції і розмиванні ХФ у денні години внаслідок термічного впливу.

На 03 серпня південь країни перебуває в малоградієнтному полі низького тиску, атмосферні фронти не відмічаються, потужна злива в Одесі (30 мм за 6 годин) сформувалася в зоні активної конвекції. До 4 серпня структура баричного поля біля поверхні землі змінюється - південь знаходиться під впливом циклону, нічні опади у Миколаєві та Одесі виникли на теплому фронті.

04 та 05 жовтня опади мали фронтальне походження (ХФ), а 07 жовтня у Херсоні - внутрішньомасове.

Синоптичні карти приземних баричних полів при формуванні небезпечних опадів за теплі півріччя 2020 р. проілюстровано на рис.4.7.

Виділяються наступні характеристики приземних полів: 28 травня сильні зливові дощі зафіксовані в Одесі в нічні та денні строки, опади були утворені на ТФ циклону з центром над Чорним морем.

14 червня нічна злива в Одесі, 16 червня сильна денна злива в 40 мм у Миколаєві, 18 червня зливовий дощ у Миколаєві та 24 червня злива у Херсоні мали внутрішньомасове походження. 30 числа сильні опади у Миколаєві виникли в системі холодного фронту.

06 липня сильна злива (33 мм) у Херсоні утворилася у малоградієнтному полі підвищеного тиску при розвитку конвекції, а 31 липня через південь країни зміщується холодний фронт, що зумовило посилені опади.

Злива з грозою у Херсоні 12 серпня сформувалася у системі холодного фронту; 05 вересня злива в Одесі виникла на фронті оклюзії.

Баричні приземні поля теплового періоду 2021 р. при формуванні сильних опадів представлено на рис.4.8.

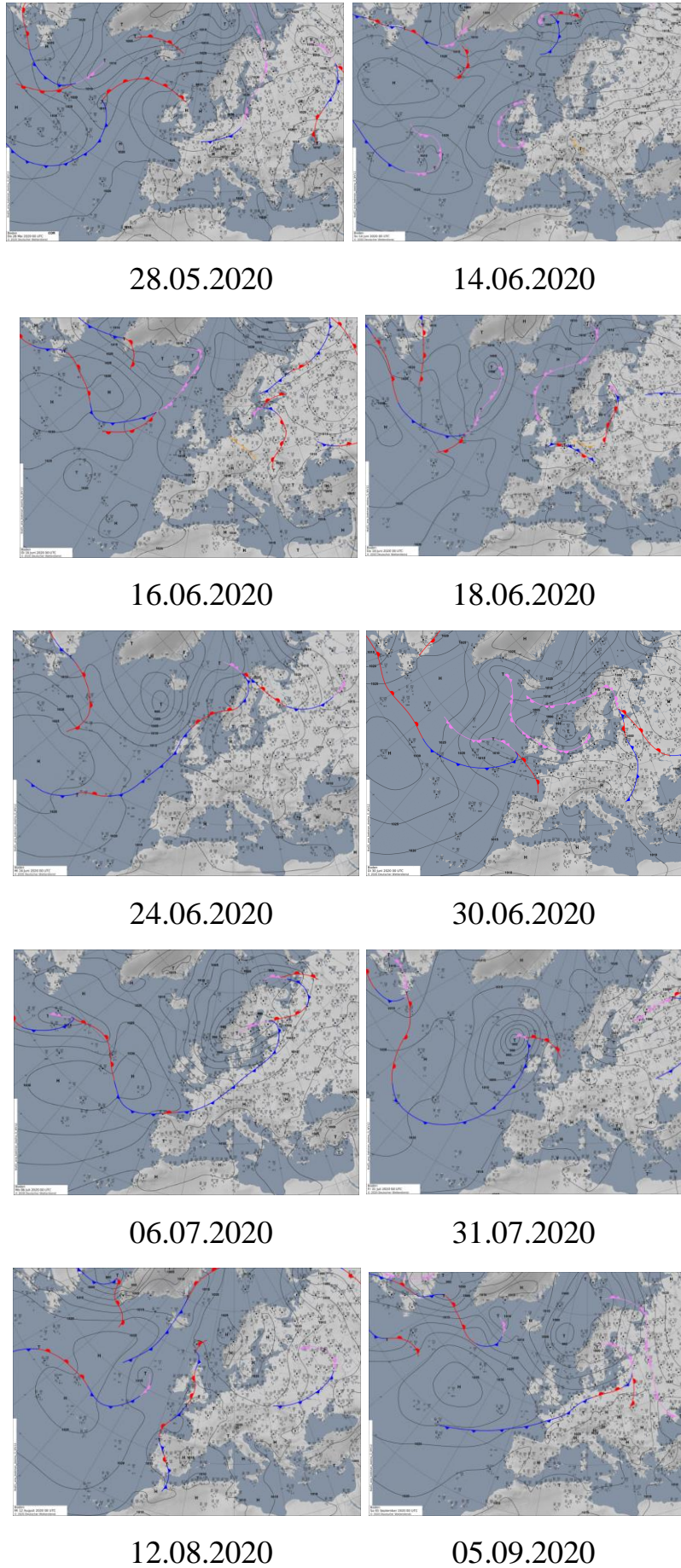


Рисунок 4.7 - Приземні карти погоди за тепле півріччя 2020 р., 00 UTC

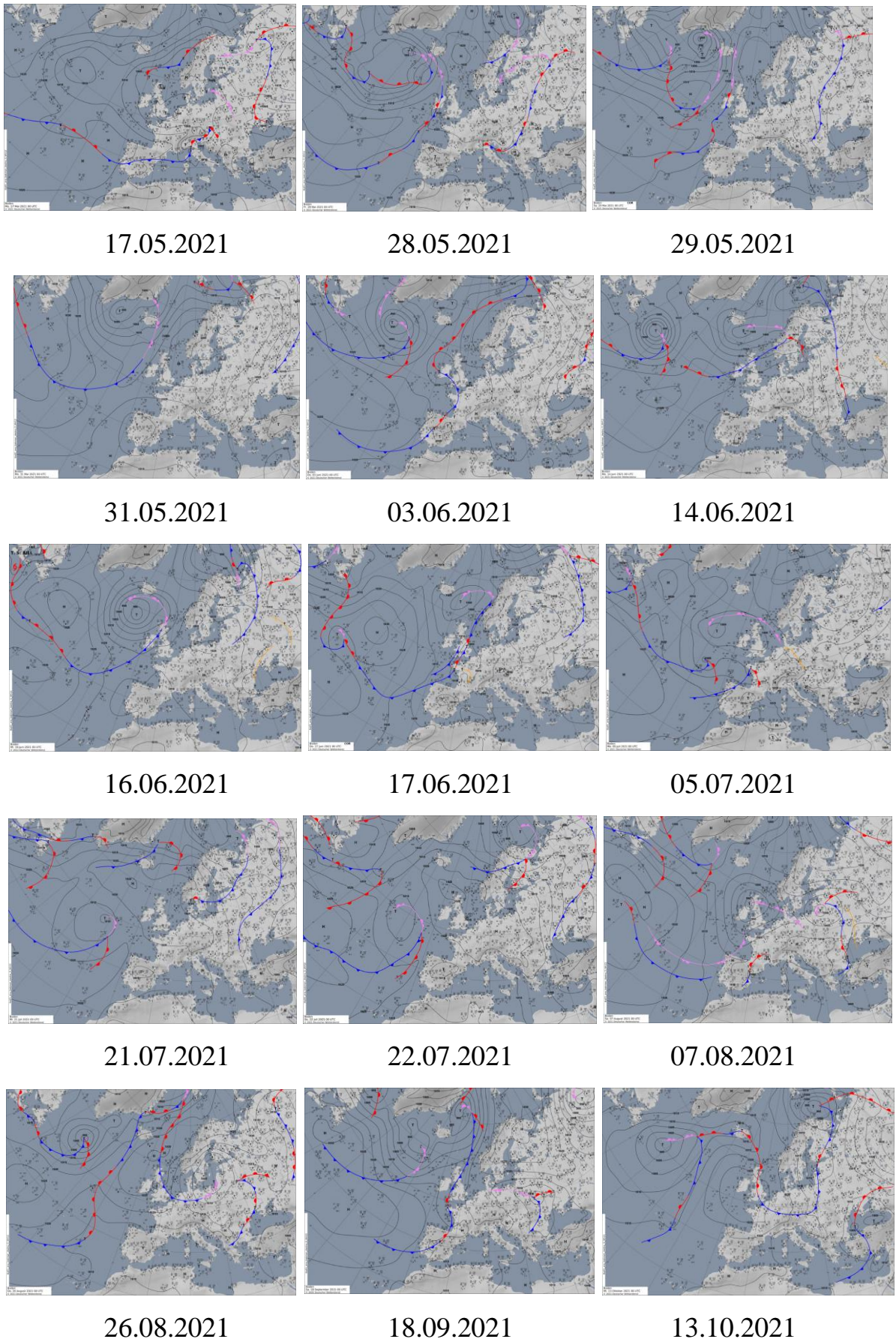


Рисунок 4.8 - Приземні карти погоди за тепле півріччя 2021 р., 00 UTC

17 травня потужна нічна злива у Херсоні – 40 мм за 6 годин виникла у системі мезомасштабного конвективного комплексу (МКК), які, як відомо, мають посилений розвиток від вечірніх до ранкових строків, ситуація уточнена за допомогою ІЧ супутникових знімків хмарності. Нічні та денні зливи 28-29 та 31 травня мали внутрішньомасове походження.

03 червня над Україною знаходився оклюдований циклон, опади у Херсоні виникли на ФО. 14 червня зливи відмічалися у денні строки, атмосферний фронт над півднем країни розмився і спостерігалися конвективні внутрішньомасові опади у Миколаєві. 16 числа на півдні спостерігається відокремлений фронт оклюзії, у системі якого сформувалися сильні нічні опади в 34 мм у Миколаєві. 17 червня злива в Одесі сформувалися на лінії нестійкості.

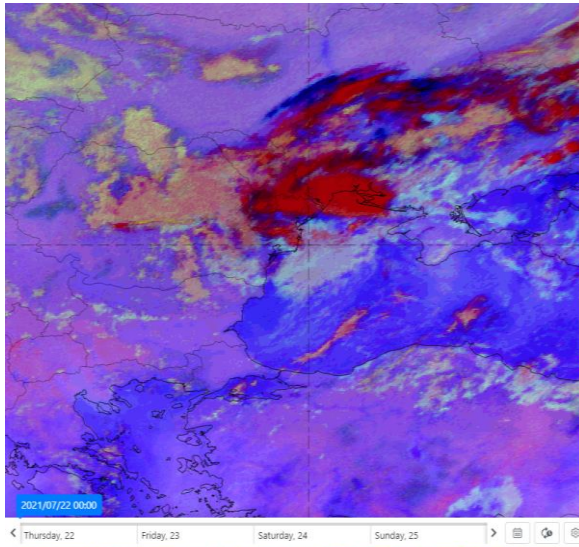
Сильні нічні зливи на всіх станціях фіксувалися 05 липня, а у Херсоні додатково ще й вдень - опади мали внутрішньомасове походження. 21 липня сильні внутрішньомасові опади спостерігалися у Миколаєві; 22 липня при переміщенні ХФ в Одесі відмічається стихійна злива.

Нічні опади фронтального походження мали місце у Миколаєві 07 серпня (33 мм), утворилися у системі потужної суперкомірки на ХФ, а денні, дещо слабші, відносяться до внутрішньомасових; 26 серпня ХФ проходить через Одещину, а 18 вересня – через Миколаївську область.

13 жовтня відмічалися посилені денні та нічні зливи дощі у Миколаєві, фронтального походження: нічні виникли на ТФ, а денні – у системі ФО.

Окремо визначимо особливості синоптичного процесу, за якого виникла стихійна злива СМЯ II рівня небезпеки 22 липня 2021 р. в Одесі – рис.4.9.

Оперативна інформація вказує, що злива виникла вночі у системі ХФ, на ділянці якого сформувалася потужна конвективна хмарність за типом багатокоміркової системи, проаналізовано супутниковий знімок RGB на час реєстрації зливи 00:14 - рис.4.9 (а). Розподіл небезпечних явищ по Одещині наведено у таблиці штормових явищ – рис.4.9 (б).



(а)

Таблиця добових штормових явищ погоди за 22.07.2021р	
Станція	Явища
33837 Одеса	00:14 STORM 00:02:36 522 01:45 AVIA 01:03:30 15 01:55 AVIA 01:03:36 9m 02:14 AVIA 01:03:55 09 09:11 STORM NO CODE 09:20 STORM NO CODE 14:54 STORM 44(16):53 13 17:19 AVIA 17(9):18 09
33898 Вилково	03:47 STORM DS(05):25 12 08:51 STORM 09(11):50 15 16:52 AVIA 16(18):30 10
98091 Порт Півден	01:37 AVIA 01(03):10 15 08:30 STORM 08(10):25 15 16:10 AVIA 15(17):50 10
33889 Ізмаїл	18:00 AVIA 17(19):30 10
33887 Болград	08:44 STORM 08(10):43 12 08:54 AVIA 09(11):33 09 10:36 STORM 10(12):34 12 15:47 AVIA 15(17):26 10 16:19 STORM 16(18):18 14 17:27 AVIA 17(19):06 07
33896 Сарата	07:49 STORM 07(09):50 13 18:26 AVIA 18(21):05 08
33830 Б.Дністр.	03:02 AVIA 01(03):30 15 18:26 AVIA 18(20):02 10
33834 Роздільна	02:07 AVIA 01(03):50 15 10:24 STORM 10(12):17 12 15:25 AVIA 15(17):05 08
33833 Сербка	09:07 STORM 08(10):50 12 15:11 AVIA 14(16):35 10
98088 Паромна пер	02:29 AVIA 02(04):30 08 10:22 STORM 10(12):15 15 16:11 STORM 13(15):10 13 16:45 AVIA 16(18):30 10
33761 Лобашка	08:51 STORM 08(10):49 12 13:07 AVIA 12(14):45 10
33836 Іллічівськ	00:22 STORM 00(02):20 14 00:46 AVIA 00(02):45 15 01:43 AVIA 01(03):40 10 01:54 AVIA 01(03):40 23 07:57 STORM 07(09):50 13 18:52 AVIA 18(19):35 09
54104 Одеса АМСЦ	05:38 STORM 05(07):26 12 06:40 STORM 06(08):38 15 16:36 AVIA 16(18):35 09

(б)

Рисунок 4.9 - Оперативні дані 22.07.2021 р.: (а) - супутниковий знімок хмарності MSG Night Microphysics; (б) – таблиця добових штормових явищ по території Одеської області

На території Одеської області в нічні години випала екстремальна сума опадів, що склала 60 мм за 12 год, з них – 52 мм за 2 години. Відмічалися значні пошкодження інфраструктури міста, підтоплення, руйнування доріг, повалення дерев тощо. Крім того, через зливу в місцевому аеропорту кілька літаків не змогли приземлитися.

5 АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ШКВАЛОУТВОРЕННЯ НА ПІВДНІ УКРАЇНИ ЗА ТЕПЛІЙ ПЕРІОД 2017-2021 РР

Вихідними даними для роботи виступили: бюлетені погоди (додаток Б, табл.Б.1), карти і таблиці розподілу штормових явищ погоди, штормові зведення, оперативна синоптична інформація за даними програми Армсин, супутникові знімки хмарності. Враховуючи локальність явища, дані про шквали доречно аналізувати осередненими для певних територій, зокрема - для адміністративних областей, у роботі досліджено характеристики шквалів на території Миколаївської, Одеської та Херсонської областей.

5.1 Статистичні показники

На першому етапі визначено особливості просторово-часового розподілу шквалів. Для аналізу відібрано випадки зі шквалами за теплий період п'ятиріччя - з 2017 по 2021 рік. Загальна річна повторюваність шквалів наведена у табл.5.1 та проілюстрована на рис.5.1.

Таблиця 5.1 – Річна повторюваність шквалів на півдні України за теплий період 2017-2021 рр.

Область	Кількість випадків / рік					Всього
	2017	2018	2019	2020	2021	
Миколаївська	0	1	4	1	2	8
Одеська	11	7	22	16	25	81
Херсонська	1	3	1	3	2	10
Всього	12	11	27	20	29	99

Всього зареєстровано 99 випадків шквалів різних категорій.

Максимум повторюваності шквалів фіксувалося у 2021 р. – 29 випадків (30%), також висока повторюваність 2019 року – 27 епізодів. Найрідше, більше ніж вдвічі, явище спостерігалось 2018 та 2017 рр. – 11 та 12 випадків відповідно.

У всі роки, з великим відривом, Одеська область виділяє високу частоту шквалоутворення – 81 випадок (82%) проти низьких показників у Херсонській та Миколаївській областях – лише 10 та 8 випадків відповідно – рис.5.1.

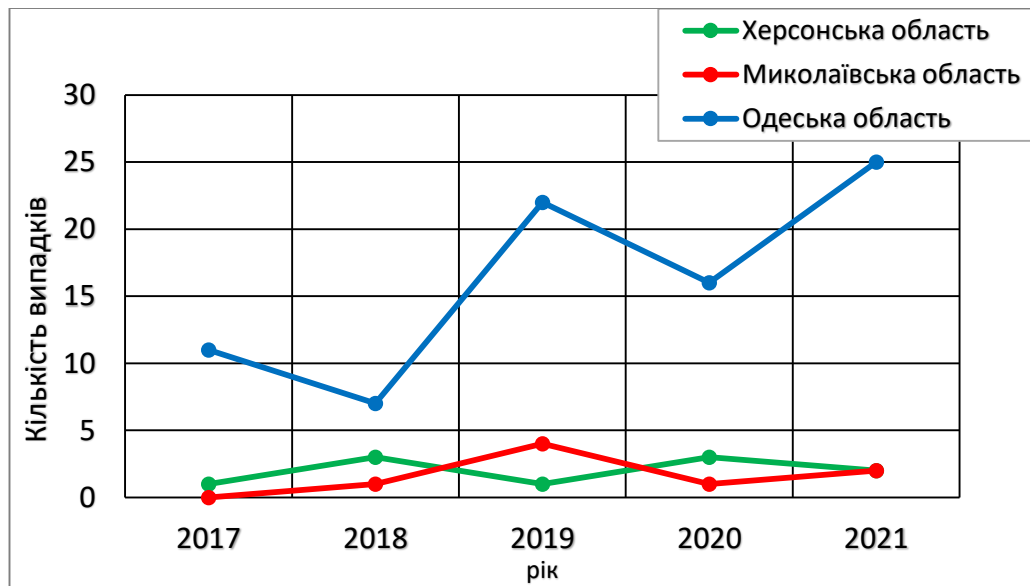


Рисунок 5.1 – Річна повторюваність шквалів на півдні України за теплий період 2017-2021 рр.

Повторюваність шквалів за рік у теплому періоді найвища в Одеській області у 2021 р. – 25 випадків, 2017 р. у Миколаєві шквали не реєструвалися.

За роками розподіл нерівномірний, так на Миколаївщині найчастіше шквали відмічені 2019 р. (4), а на Херсонщині – по 3 випадки 2018 і 2020 р.

Загалом, по станціях у Миколаївській області найбільша тотожна частота випадків належить МС Вознесенськ та Первомайськ – по 3 випадки, а у Херсонській області - по 3 випадки на МС Нижні Сірогози та Бехтери.

Аналізуючи розподіл високої повторюваності шквалів по Одещині, виділимо, що на деяких станціях області шквали спостерігаються частіше, що може бути пов'язане з географічними розташуванням метеостанцій. Так, один максимум частоти шквалоутворення виділяється на півночі та у центрі області - Любашівка (10), Сербка (8), Затишся (7), а другий поблизу узбережжя Чорного моря, – Чорноморськ (8), Порт Південний та Одеса АМСЦ – по 7 випадків (рис.5.2).



Рисунок 5.2 - Повторюваність шквалів по території Одеської області за тепле півріччя 2017-2021 рр.

Проведемо співставлення частоти виникнення шквалів у 2017-2021 рр. з кліматичними показниками згідно Кліматичного Кадастру України за період 1961-1990 рр. Так, середні кліматичні показники найбільшого числа днів зі шквалами не перевищують 2 дні для літніх місяців на МС Роздільна, Сарата,

Одеса, Вилкове, Ізмаїл. Для МС Білгород Дністровський та Сербка кліматичні дані показують максимум числа днів зі шквалами 2-5 з травня до вересня. Загалом ці показники збігаються. Проте винятком є зростаюча повторюваність шквалів на МС Любашівка та Затиштя - згідно кліматичним даним найбільше число днів зі шквалами на станціях лише 1 у липні та серпні.

Для Миколаївщини кліматичні показники виділяють максимум днів зі шквалами з травня по серпень – 2, для Вознесенська з травня по вересень – по одному, для Первомайська – по одному лише у серпні-вересні. Середня повторюваність відповідно кліматичній нормі низька – 0,2 і менше. Таким чином, не зважаючи на низьку повторюваність шквалів у досліджуване п'ятиріччя в області, можна виділити особливість: 2019 р. у Вознесенську та Первомайську зареєстровано по 2 шквали (при чому у Первомайську у червні-липні), що перевищує кліматичну норму. І, навпаки, у Миколаєві частка шквалів мала - 2 випадки за 5 років, по одному у 2020 та 2021 рр., що близько до норми.

У Херсонській області відмічається зниження повторюваності шквалів відносно норми, не більше 1 випадку за рік. Особливо чітко прослідковується для Нової Каховки, коли максимум днів зі шквалами відповідно кліматичним показникам 4 у травні та по 3 у липні-серпні, середні показники найвищі для червня – 0,7; за досліджувані 5 років шквал у Новій Каховці відмічався лише 1 раз у червні 2018 р.

Досліджено повторюваність шквалів помісячно.

Загальна місячна повторюваність шквалів наведена у табл.5.2 та проілюстрована на рис. 5.3.

У весняні та осінні місяці шквали не реєструвалися у Миколаївській області. Також у Херсонській області ранні у квітні та пізні у жовтні шквали не спостерігалися, та лише по одному випадку зі шквалом відмічалось у травні на МС Нижні Сірогози та у вересні – МС Велика Олександрівка.

В Одеській області шквали фіксувалися кожного місяця теплого періоду.

Таблиця 5.2 – Місячна повторюваність шквалів на півдні України за теплий період 2017-2021 рр.

Область	Місяць/ кількість випадків							Всього
	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	
Херсонська	0	1	5	2	1	1	0	10
Миколаївська	0	0	4	3	1	0	0	8
Одеська	1	5	28	29	13	4	1	81
Всього	1	6	37	34	15	5	1	99

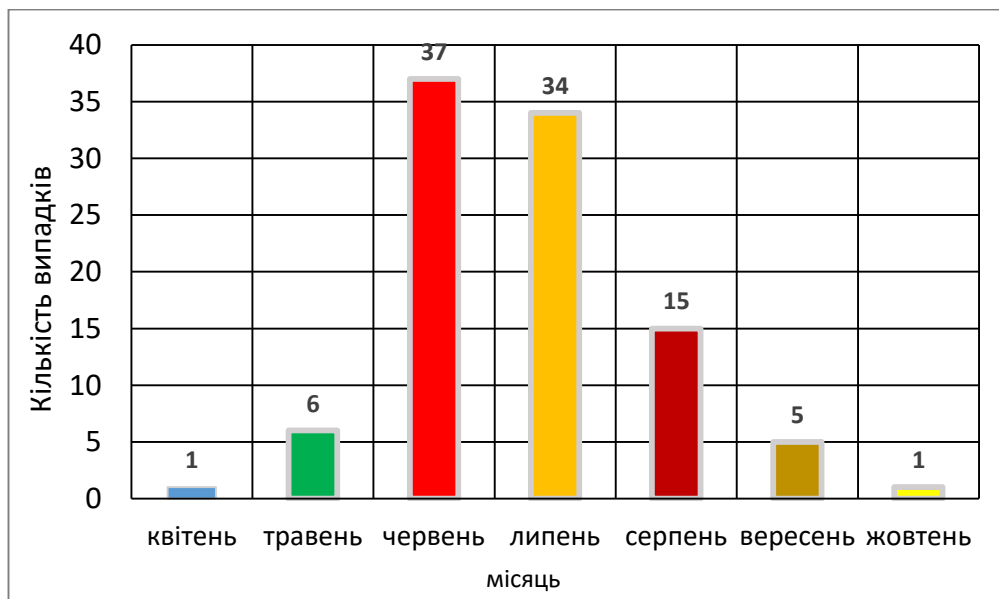


Рисунок 5.3 - Загальна місячна повторюваність шквалів на півдні України за теплий період 2017-2021 рр.

Найчастіше шквали формувалися на півдні України влітку, а саме - у червні – 37 випадків, з яких максимум 28 випадків припадає на Одеську область. Також високі показники у липні – 34 випадки, з яких 29 також

належить Одещині. До серпня частота утворення шквалів зменшується практично вдвічі – до 15, близька низька повторюваність шквалів припадає на вересень та травень (5 та 6 відповідно).

Одноразово відмічалися ранні та пізні шквали у квітні та жовтні, проте, досить сильні - це шквал 20 квітня 2017 р. на АМСЦ Одеса $22 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, та 24 жовтня 2018 р. на МС Сербка Одеської області - $21 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.

Таким чином, місячна повторюваність шквалів співпадає з середніми кліматичними показниками – при посиленні конвективних процесів зростає і повторюваність шквалів.

Надалі досліджено час формування шквалів задля визначення активності процесу протягом доби (табл.5.3, рис.5.4).

Таблиця 5.3 – Повторюваність шквалів за строками спостереження на півдні України за теплий період 2017-2021 рр. (кількість випадків)

Рік	Строки спостереження, год. МСЧ							
	00-03	03-06	06-09	09-12	12-15	15-18	18-21	21-00
2017	1	1	0	0	5	2	1	2
2018	0	1	0	3	4	2	0	1
2019	0	0	0	7	13	5	2	0
2020	0	0	1	3	8	5	1	2
2021	0	1	0	7	7	11	2	1
Всього	1	3	1	20	35	25	6	6

Аналіз виділяє, що найчастіше шквали формувалися у полуденні години, а саме – 35 випадків у строки 12-15 год., також висока частка шквалів припадає на строки 15-18 год. (25) та 09-12 год. (20). Такий розподіл пов'язаний з поступовим максимальним прогрівом підстильної поверхні до цих строків, що

призводить до різких змін тиску, потужних висхідних рухів повітря, посилення конвекції та розвитку купчасто-дощової хмарності.

Мінімум повторюваності шквалів належать нічним та раннім ранковим строкам, при «згасанні» активної конвекції, зниженні максимальної температури повітря та нічному радіаційному вихолодженні підстильної поверхні.

В період 00-03 та 06-09 год. шквали відмічалися одноразово.

Зазначимо, що у період 21 – 24 (00) год. зареєстровано 6 шквалів, такі процеси відповідають або переміщенню ХФ, або розвитку потужних мезомасштабних систем, зокрема – мезомасштабних конвективних комплексів (МКК), максимум розвитку яких припадає саме на нічні строки.

За роками розподіл нерівномірний, проте зберігається загальна тенденція:

У 2017 р. максимум повторюваності явища припадає на полуденні години (12-15) – 5 (42% за рік) випадків. Зранку (06-09) та в дополудневі (09-12) години шквали не формувалися.

2018 року найчастіше шквали виникали також з 12 до 15 год. – 4 (36%) випадки. Також частіше шквали формувалися з 09 до 12 год. (3). Вночі, в строки 00-03 год., зранку - 06-09 год. та увечері - 18-21 год., шквали не відмічалися.

У 2019 р. найвища частота шквалоутворення, а саме 13 (48%), також припадає на строки 12-15 год. При цьому з 21 год. вечора до 09 год. ранку шквали не фіксувалися.

Наступного 2020 року час формування шквалів подібний – найчастіше шквали відмічалися з 12 до 15 год. - 8 (40%). З 00 год. до 06 год. шквали не реєструвалися.

У 2021 р. спостерігається певне порушення закономірності часу формування шквалів відповідно попередніх 4-х років - максимум належить післяполудневим годинам – строки 15-18 год., це 11 (38%) випадків. Також

часто шквали формувалися у період з 09 до 15 год. У строки 00-03 год. та 06-09 год. шквали не спостерігалися.



Рисунок 5.4 – Загальна повторюваність шквалів за строками спостереження

У роботі також проаналізовано повторюваність шквалів за рівнями небезпеки відповідно Настанови з метеорологічного прогнозування [15].

За досліджуваний період найбільша кількість шквалів належить категорії НМЯ I рівня – 93 (94%) випадки (табл.5.4, рис.5.5).

Слабких шквалів, зі швидкостями вітру до $15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ зареєстровано всього 4, один у 2017 р. - Порт Південний (Одеська область) $12 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ та 3 - у червні 2020 р., всі у Чорноморську (Одеська область), $13-14 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.

У 2018-2019 рр. відмічалися лише шквали НМЯ I рівня.

У теплих періодах 2020-2021 рр. зареєстровано по 1 випадку стихійного шквалу - СМЯ II рівня.

Надзвичайні шквали СМЯ III рівня за весь період дослідження не зафіксовані.

Таблиця 5.4 - Повторюваність шквалів за рівнями небезпеки на півдні України за теплий період 2017-2021 рр. (кількість випадків)

Рік	Рівень небезпеки			
	слабкий шквал <math><15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}</math>	НМЯ I рівня від 15 до 24 $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}</math>$	СМЯ II рівня сильний шквал від 25 до 34 $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}</math>$	СМЯ III рівня надзвичайний шквал $\geq 35 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}</math>$
2017	1	11	0	0
2018	0	11	0	0
2019	0	27	0	0
2020	3	16	1	0
2021	0	28	1	0
Всього	4	93	2	0

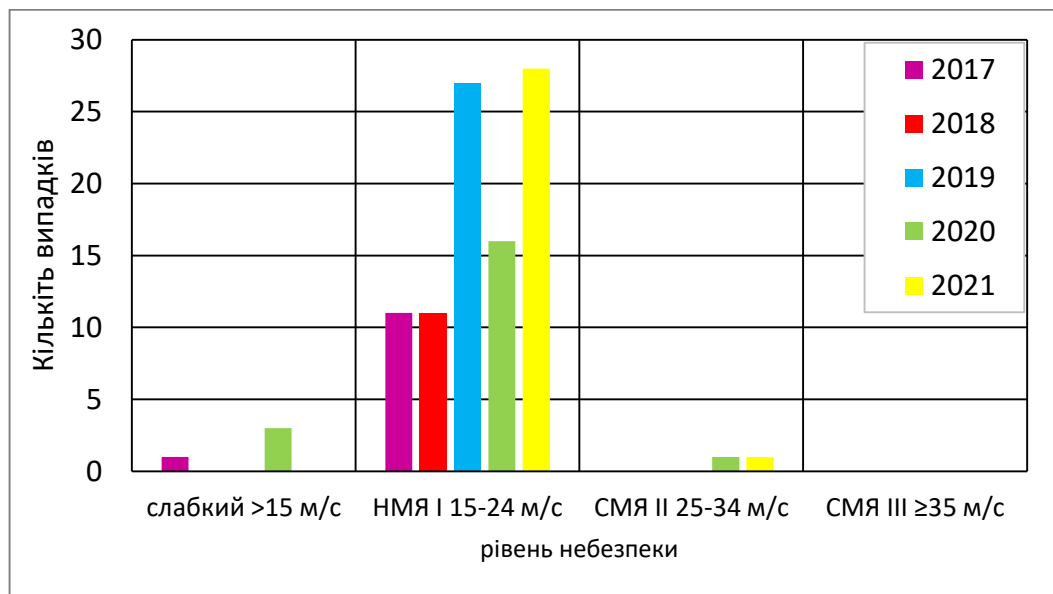


Рисунок 5.5 – Річна повторюваність шквалів за рівнями небезпеки у теплий період 2017-2021 рр.

5.2 Огляд процесів формування шквалів

За 5 років дослідження зареєстровано два випадки шквалу СМЯ II рівня небезпечності:

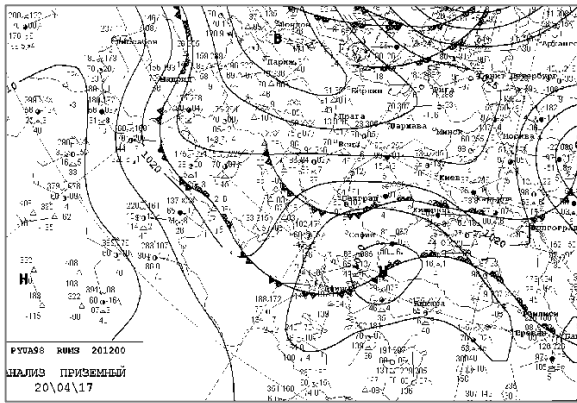
- 1) 30.06.2020 р. 13:23 МС Миколаїв – шквал $25 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.
- 2) 02.08.2021 р. 14:38 МС Сарата Одеської області – шквал $25 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.

Додатково відберемо для більш детального аналізу дві доби посиленого шквалоутворення на півдні країни 02-03 липня 2019 р., коли шквали різної інтенсивності відмічалися на кількох станціях. Окремо визначимо циркуляційні умови формування найбільш раннього шквалу досліджуваного періоду у квітні 2017 р.

Проаналізуємо синоптичні умови вказаних випадків зі шквалами у хронологічному порядку.

Випадок з комплексом погодних умов, що являють окремий інтерес відмічався 20 квітня 2017 р., це найбільш ранній шквал, зареєстрований за даними Одеса АМСЦ о 20:41, $22 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, при поєднанні протягом доби шквалу зі зливовим снігом 23 мм за 12 год. (СМЯ) та налипанням снігу (рис.5.6).

Шквал мав фронтальне походження. За приземною картою на 12 UTC виділяється південний циклон над півднем України, Балканами, Туреччиною та Чорним морем ($1007,3 \text{ гПа}$ у центрі). З вихором пов'язані 2 фронтальні системи - арктична та полярна, на денні строки циклон знаходиться у стадії розвитку молодого циклону. До кінця доби, на момент формування шквалу, циклон поглибився і перейшов до стадії оклюдування, що чітко видно за хмарною системою на супутникових знімках МШСЗ виду «хмарна кома», з потужною купчастою та купчасто-дощовою хмарністю яскраво-білого тону у смузі холодного фронту та фронту оклюзії – рис.5.7. Проаналізувавши температурні градієнти (середня добова температура в Одесі була нижче норми на $6,4^\circ\text{C}$), характеристики опадів, можна зробити висновок, що шквал сформувався у системі холодного фронту.



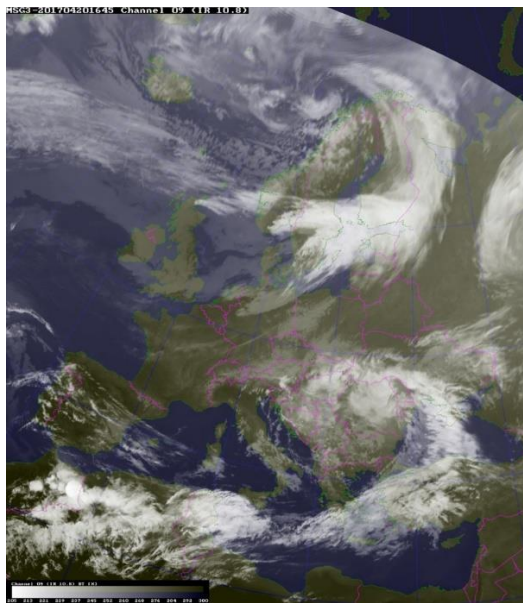
(a)

Таблиця добових штормових явищ погоди за 20.04.2017р

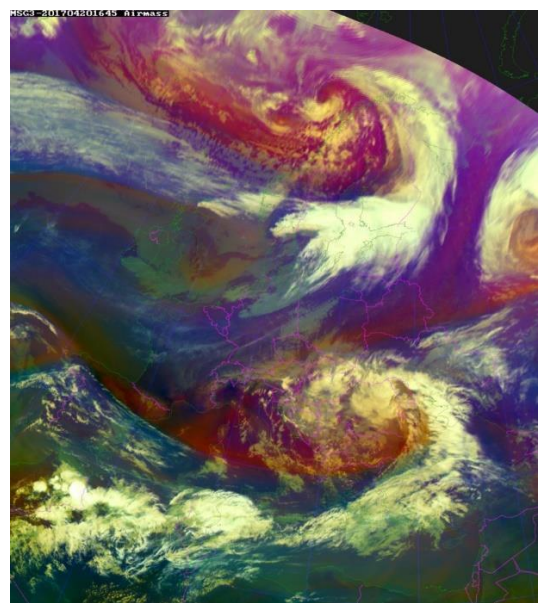
Станція	Явища											
33837 Одеса	05:38 STORM 141723	14:28 STORM 1619525	16:50 AVA 182117	18:17 AVA 182117	18:23 STORM 182117	18:27 STORM 182117	21:17 STORM 230224					
33898 Балково	08:57 STORM 15	12:13 STORM 15	12:54 AVA 15	20:03 STORM 15								
98091 Гурь Пляж	02:14 AVA 10	04:59 STORM 12	06:48 STORM 15	08:05 NO CODE	12:21 NO CODE	15:06 NO CODE	18:13 NO CODE					
33889 Іванів	03:06 STORM 15	08:33 STORM 21										
33887 Білград	02:11 STORM 12	06:20 STORM 12	06:21 STORM 12	07:56 STORM 2500	08:13 STORM 300	08:15 STORM 15	11:22 STORM 2500	12:54 STORM 900	14:14 STORM 2800	15:30 STORM 800	16:10 STORM 2500	18:32 STORM 800
33896 Сарата	08:22 STORM 15	08:28 STORM 15	16:31 STORM 15	16:46 STORM 15								
33830 Б.Дар'я	08:22 STORM 15											
33834 Родзька	04:42 STORM 12	08:18 STORM NO CODE	10:06 STORM p-3	10:14 STORM 800	12:40 STORM 12p-2	16:32 STORM NO CODE	16:42 STORM 300	18:06 STORM 3411	18:42 STORM 12p-2	19:43 STORM 13km	19:52 STORM 182232	
33833 Сарка	02:31 STORM 15	08:22 STORM 12	10:04 STORM 10	11:20 STORM 15	16:50 STORM NO CODE	16:52 STORM p-4	17:31 STORM 15	22:31 STORM 2201	22:41 STORM p-5	22:46 STORM 25		
98088 Пармена пер	08:18 STORM 15	08:25 STORM 17										
33769 Залізняк	05:32 STORM 12	07:05 STORM 15	07:48 STORM 17	08:32 STORM 1001	20:32 STORM 500							
33761 Лобушка	04:19 STORM 1000	04:38 STORM 800	07:07 STORM 4km	07:56 STORM 12	11:24 STORM 1200	12:16 STORM 10	14:14 STORM 12	14:19 STORM 1200	16:39 STORM 10	16:58 STORM 13	17:08 STORM 15	17:34 STORM 172823
33836 Ілчакська	12:31 STORM 17	14:23 NO CODE	18:26 STORM 1821225									
54104 Одеса АМСЦ	15:28 STORM p-1	16:25 STORM 10m-F	17:58 STORM 170845	17:49 STORM 162345	18:16 STORM 21	18:37 STORM 182238	20:41 STORM 202204	20:43 STORM 202204	20:47 STORM 202204			

(б)

Рисунок 5.6 – Оперативна синоптична інформація за 20.04.2017 р.:
 (а) - приземна карта погоди, 12 UTC; (б) - таблиця добових штормових явищ погоди по Одеській області



IR



RGB Airmass

Рисунок 5.7 - Супутникові знімки хмарності 20.04.2017 р., 16:45 UTC

02.07.2019 на МС Любашівка Одеської області о 14:26 та на МС Первомайськ Миколаївської області о 14:35 відмічалися шквали зі швидкістю $23 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ з грозами (НМЯ I рівня).

У близькі часові строки цієї доби шквали також зафіксовані на МС: 16:56 Кривий Ріг $26 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ СМЯ II рівня небезпеки та НМЯ I рівня: МС Сватово Луганської області – $19 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ о 16:17, МС Гайсин та МС Гайворон Вінницької області - $15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ о 13:16 та 13:35 відповідно.

03.07.2019 р. шквали НМЯ I рівня зареєстровані на переважній частині Одещини: Одеса АМСЦ $23 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, Вилково $22 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, Б.Дністровський $21 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, Паромна Переправа $20 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, Порт Південний, Болград, Ізмаїл - $18 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, Чорноморськ $16 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Шквали супроводжувалися зливами та грозами.

За даними приземної карти на 00 UTC 02 липня 2019 р. простежується малоградієнтне поле над Україною (рис.5.8). По півдню Європи, акваторіях Середземного та Чорного морів сформована видовжена смуга підвищеного тиску у відрозі Азорського максимуму. Фронтальні розділи розміщені далеко за межами країни.

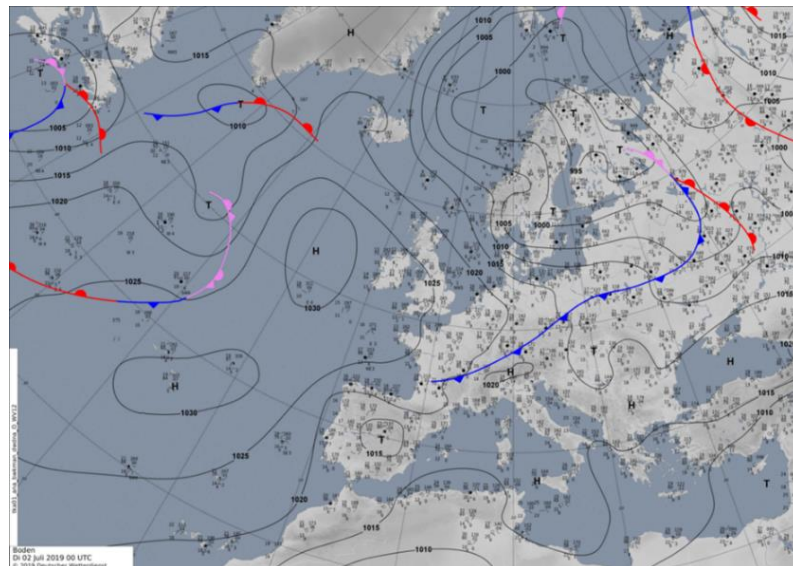


Рисунок 5.8 – Приземна карта погоди 02.07.2019, 00 UTC

Перший висновок – шквали на півдні мають нефронтальне походження. Проте, шквали в Одеській, Миколаївській та Вінницькій областях сформувався між строками 12-15 год., слід залучити додаткові дані з метою встановлення походження шквалів.

Уточнимо приналежність шквалів до внутрішньомасових процесів за знімками хмарності МШСЗ, як базових так і комбінованих спектральних каналів на строк, наближений до моментів реєстрації шквалів (рис.5.9-5.10).

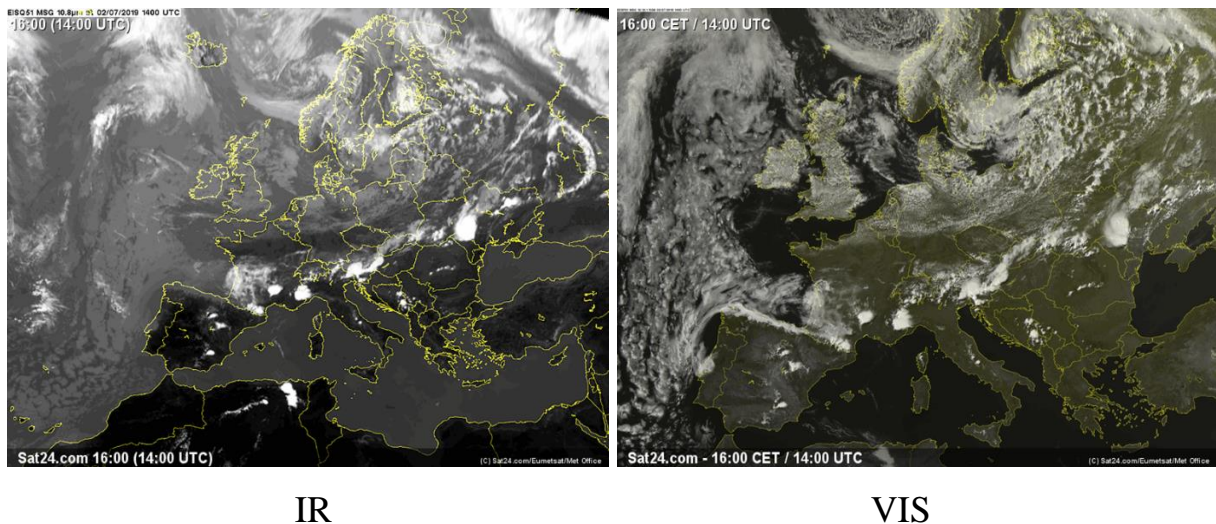


Рисунок 5.9 – Супутникові знімки хмарності 02.07.2019 р., 14:00 UTC

За супутниковими знімками хмарності виділяється потужний осередок за типом суперкомірки саме над північню Одеської та Миколаївської областей.

У каналі IR, де яскравість зображення залежить від температури верхньої межі хмар ВМХ, виділяється потужний осередок яскраво-білого тону при значному вертикальному розвитку суперкомірки і зледеніння вершин хмар за низьких температур. У каналі VIS ця суперкомірка теж має яскраво-білий тон внаслідок високого альбедо при щільній структурі Сб.

За композитом «Денна мікрофізика» на рис.5.10, строк 15:00 спостерігається активна система суперкомірки над Одещиною і Миколаївщиною та розвиток дочірніх осередків на півдні України.

Важливе значення даного RGB у можливості простеження динаміки утворення особливо небезпечної конвективної хмарності, спостереження фази та процесів розвитку конвекції (початок зледеніння на вершинах хмар, еволюція розміру часток та дисипація з переважно великими кристалами льоду). У цьому типі відображення конвективні хмари вже на дуже ранній стадії розвитку мають білий і яскраво-рожевий тон, стаючи усе більш рожевими при подальшій активізації.

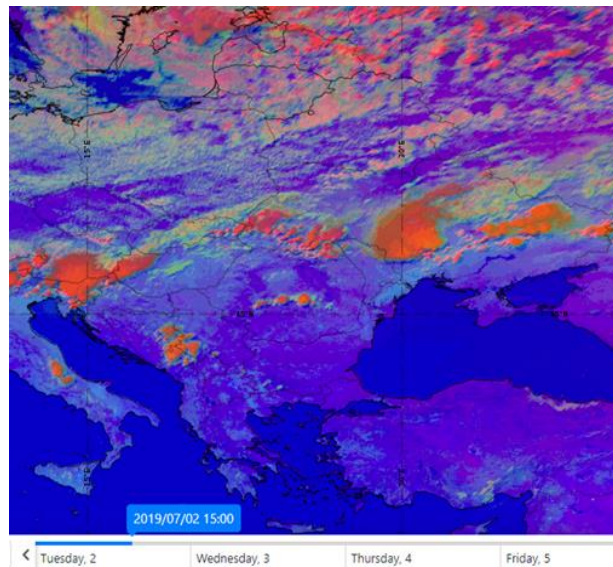


Рисунок 5.10 – Супутниковий знімок хмарності RGB Day Microphysics 02.07.2019 р., 15:00 UTC

Наступної доби 03 липня посилені процеси шквалоутворення охопили Одещину. На початок доби через Україну зміщувався холодний фронт. За даними приземної карти, полярний фронт з хвилями широтно орієнтований від Альп холодною ділянкою через Словачію на територію України і, далі, на Приволзьку височину - рис.5.11. Україна перебуває у малоградієнтному полі при розбіжності ізобар перехідної зони між відрогом Азорського максимуму над переважною частиною Європи і масштабним мінімумом над Східноєвропейською рівниною та Уралом. В результаті, градієнти тиску

невеликі, холодний фронт слабо виражений у полі метеорологічних величин у нічні строки.

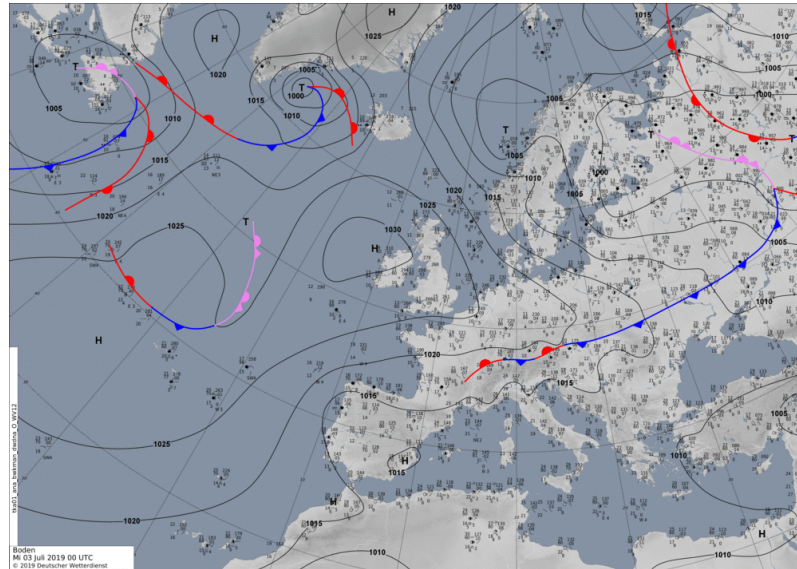
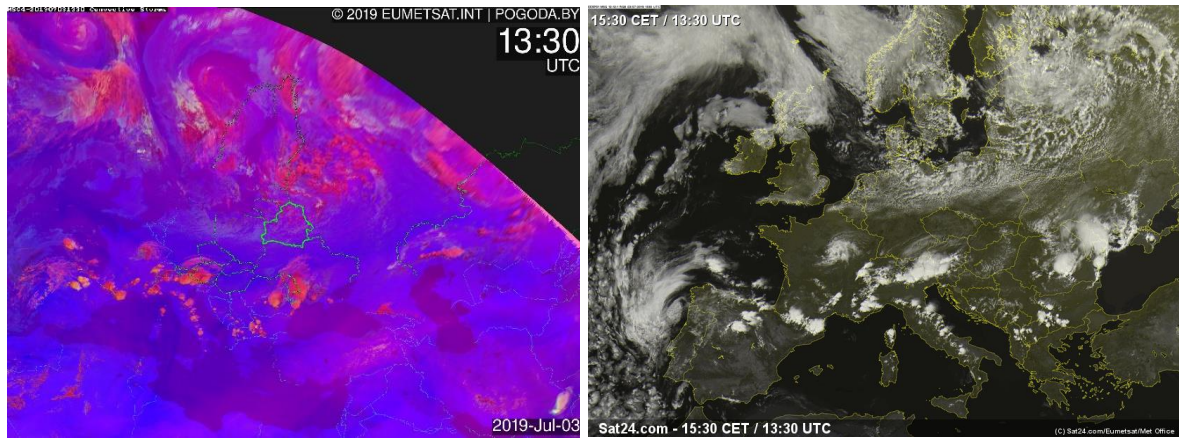


Рисунок 5.11 – Приземна карта погоди 03.07.2019, 00 UTC

Шквали по Одещині відмічалися в інтервалі часу 11-14 год., отже, необхідно проаналізувати пізніші часові проміжки за супутниковими знімками хмарності (рис.5.12). На 13:30 у полі хмарності над Північно-Західним Причорномор'ям чітко виділяються лінії шквалів (нестійкості) потужної купчасто-дошової хмарності. На знімку МПСЗ у видимому діапазоні VIS простежується лінійна структура розміщення осередків саме на півдні та в центрі Одеської області, хмари класифікуються як скупчення Св округлої форми з чіткими межами яскраво-білого тону через високе альbedo.

Знімок RGB Convective Storms вказує на додаткові характеристики процесів активної конвекції. ЛШ на південному заході країни має відтінки центральних частин скупчень Св до жовтогарячого, що свідчить про значний розвиток хмарності по вертикалі та зледеніння вершин. В таких потужних хмарах за інтенсивних висхідних потоків формуються куполи (Overshooting Tops). Як правило, ЛШ виникають перед холодним фронтом на деякій відстані.



RGB Convective Storms

VIS

Рисунок 5.12 – Супутникові знімки хмарності 03.07.2019 р., 13:30 UTC

Надалі визначимо умови формування двох випадків стихійних шквалів. Зазначимо, що в обох випадках шквали сформувалися на ХФ, при цьому структура хмарності фронтів, їх орієнтація та характеристики подібні.

30 червня 2020 р. на 13:23 у Миколаєві зафіксовано шквал зі швидкістю $25 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Також у строки 09-15 год. шквали відмічалися на станціях: Одеса АМСЦ $18 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, МС Вилково і Затишшя (Одеська обл.) - $18 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ та $16 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ відповідно. Шквали супроводжувалися зливовими дощами та грозами - у Миколаєві зареєстровано НМЯ I рівня злива 23 мм за 12 год.

На строк 00 год. за даними приземної карти України знаходиться в малоградієнтному полі зниженого тиску (рис.5.13). Із вторинного центру циклону над Латвією на Карпати меридіонально видовжений холодний фронт, а на північний схід України - тепла ділянка фронту, що змінює знак на холодний на сході країни. Основний центр оклюдованого циклону у стадії заповнення знаходиться над Фінляндією. До денних строків ХФ зміщується до сходу і визначає погодні умови на півдні країни.

За знімками хмарності у видимому та інфрачервоному діапазонах спостерігається типова хмарна система оклюдованого циклону з подовженою хмарною смугою ХФ (рис.5.14).

Хмарність холодного фронту являє собою ланцюжок осередків потужних купчасто-дощових хмар з покриттям перистих яскраво-білого тону в обох спектральних діапазонах завдяки щільності та значному вертикальному розвитку. Смуга досить вузька, що відповідає структурі активного ХФ II роду.

Таким чином, шквали на півдні країни мали фронтальне походження.

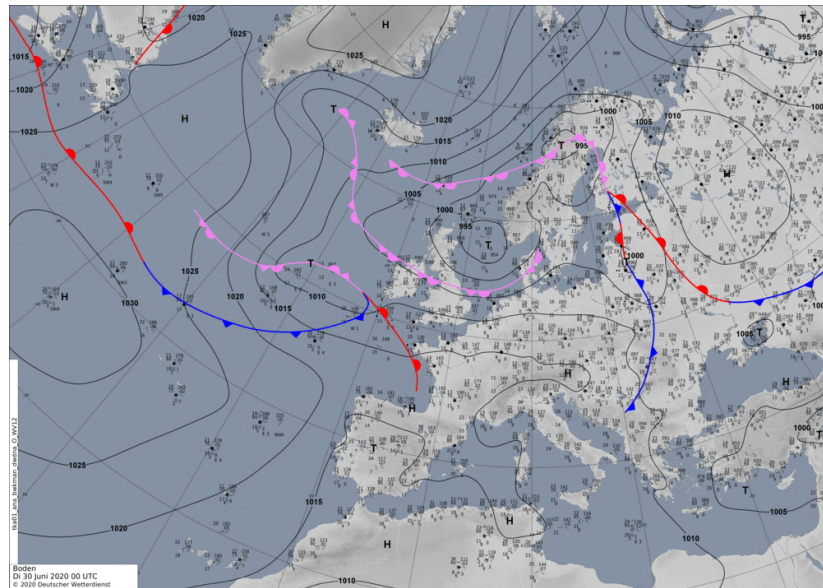
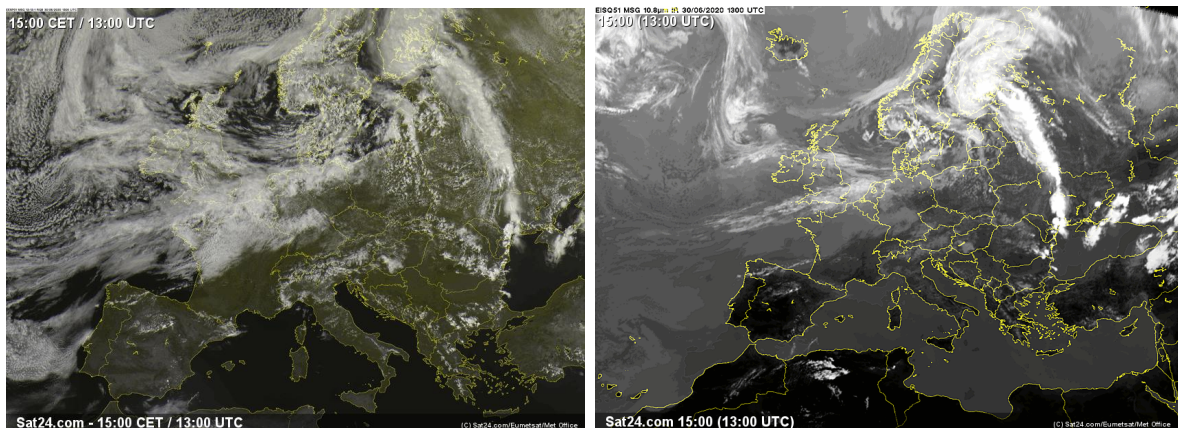


Рисунок 5.13 – Приземна карта погоди 30.06.2020 р., 00 UTC



VIS

IR

Рисунок 5.14 – Супутникові знімки хмарності 30.06.2020 р., 13:00 UTC

Другий випадок стихійного шквалу – 02 серпня 2021 р. в Одеській області. На 14:38 на МС Сарата зафіксовано шквал СМЯ II рівня $25 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$,

також у строки 12-15 год. по області відмічалися шквали у Сербці $22 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ та Роздільній $17 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Шквали супроводжувалися грозами та градом.

За даними приземного аналізу територія України знаходиться у малоградієнтному полі (рис.5.15). З заходу на Європу поширюється відріг Азорського максимуму, а зі Скандинавії – поглиблена улоговина північного циклону з криволінійною віссю від Фінляндії через країни Балтії на Польщу і далі до Балкан. До північно-західних та західних кордонів України наближується ділянка ХФ меридіональної орієнтації при формуванні на хвилі полярного фронту центру циклону над Польщею. За добу старий циклон регенерує. Шквали на півдні України відмічалися у полуденні та після полуденні строки при розвитку конвекції у фронтальній системі. До опівдня ділянка ХФ зміщується на південний схід і впливає на погодні умови північної, центральної та південної частини країни.

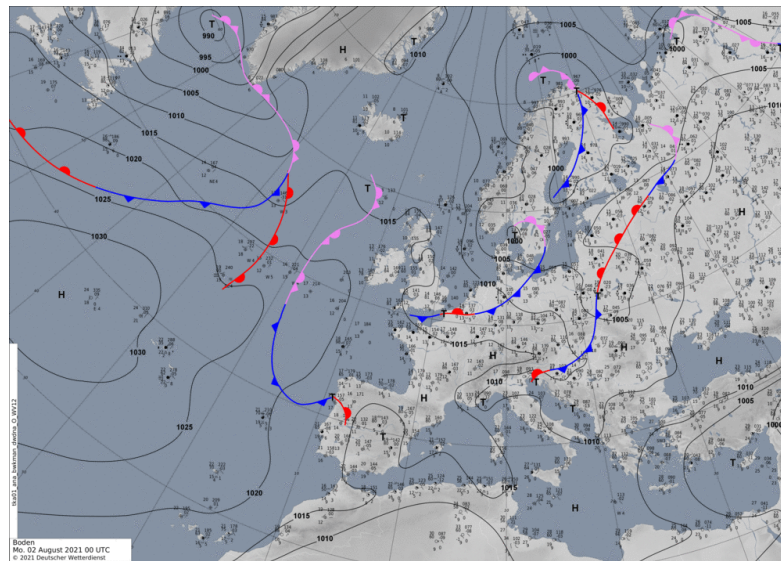
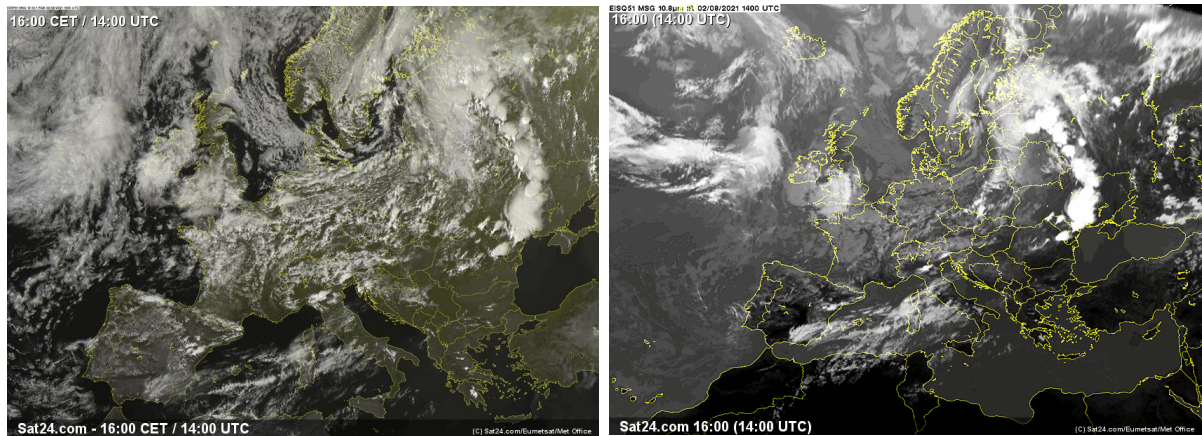


Рисунок 5.15 – Приземна карта погоди 02.08.2021 р., 00 UTC

Цей процес виразно демонструють супутникові знімки хмарності, на яких чітко виділяється потужна хмарна система холодного фронту II роду – рис.5.16. В даному випадку лінія шквалів збігається з лінією фронту. Купчасто-дощові хмари спостерігаються у вузькій смужі та являють собою не

окремі конвективні хмари, а безперервний ланцюг, або хмарний вал. Над Східноєвропейською рівниною ЛШ має вигляд ще окремих скупчень Сб, а над Україною, на південному кінці пасма хмарності ХФ, формується багатокоміркова хмарність при збільшенні товщини смуги. Яскравість зображення ЛШ у VIS-діапазоні висока через значне альbedo щільних купчастих та купчасто-дошових хмар, а в IR-діапазоні яскраво-білі відтінки вказують на значний вертикальний розвиток хмар, коли їх вершини є зледенілими.

Таким чином, шквали 02 серпня 2021 р. сформувалися у системі ХФ.



VIS

IR

Рисунок 5.16 – Супутникові знімки хмарності 02.08.2021 р., 14:00 UTC

ВИСНОВКИ

В результаті проведеного дослідження можна зробити наступні висновки:

1. За теплий період 2017-2021 рр. на півдні України за даними МС Миколаїв, Одеса, Херсон зареєстровано 68 випадків опадів ≥ 15 мм. Всі виділені опади мали рідку фазу. Найбільша повторюваність небезпечних опадів у Миколаєві – 27 (40%) випадків.
2. У річному ході максимум небезпечних опадів припадає на 2021 р. – 21 (31%) випадок, мінімум - 2017 та 2018 рр., по 8 (12%).
3. Найчастіше посилені опади на півдні України відмічалися з травня до липня – 66%. Максимум припадає на липень – 18 випадків (~26%), мінімум у квітні (4).
4. Більшість випадків (67) - це категорія небезпечності НМЯ I (опадів 15-49 мм); зареєстровано 1 випадок СМЯ II рівня небезпечності.
5. Стихійна злива 22 липня 2021 р. в Одесі (60 мм за 12 год.) виникла у системі холодного фронту.
6. Проведено класифікацію синоптичних процесів, що зумовлюють посилені опади. Частка фронтальних та внутрішньомасових опадів виявилася близькою – 35 та 33 випадки відповідно. Дещо підвищена частка опадів на холодному фронті – 29%, найрідше сильні опади реєструвалися у системі фронту оклюзії.
7. За даними метеостанцій Миколаївської, Одеської та Херсонської областей у досліджуваній період зареєстровано 99 випадків шквалів різних категорій небезпечності.
8. Максимум повторюваності шквалів припадає на 2021 р. – 29 (30%) випадків, мінімум у 2018 р. - 11 (12%).
9. У всі роки Одеська область виділяє найвищу частоту шквалоутворення – 81 випадок (82%). За станціями домінує Любашівка – 10 випадків

Розподіл по області виділяє один максимум частоти шквалоутворення на півночі та у центрі, а другий - побіля узбережжя Чорного моря.

10. Найчастіше шквали формувалися на півдні України влітку: червень – 37 випадків. Одноразово відмічено ранній шквал - у квітні та пізній – у жовтні.
11. Максимум процесів шквалоутворення припадає на полуденні години – строки 12-15 год. (35 випадків), висока частка - строки 15-18 год. (25) та 09-12 год. (20). Лише по одному шквалу зареєстровано у строки 00-03 та 06-09 год.
12. Найбільша кількість шквалів належить до категорії НМЯ I рівня – 93 випадки. Відмічено 4 слабких шквали ($<15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$) та 2 - СМЯ II рівня. Надзвичайні шквали СМЯ III рівня не зафіксовані.
13. Стихійні шквали зі швидкостями $25 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ 30.06.2020 р. на МС Миколаїв та 02.08.2021 р. на МС Сарата Одеської області сформувалися у системі холодного фронту II роду.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Балабух В.О. Зміна інтенсивності, повторюваності та локалізації небезпечних явищ погоди в Україні та їх регіональні особливості / В.О. Балабух, О.М. Лавриненко, С.М. Ягодинець, Л.В. Малицька, Ю.О. Базалєєва // *Системи контролю оточуючої середовища: сб. науч. тр.* 2013. Вып.19. С. 189-198.
2. Балабух В.А. Межгодовая изменчивость интенсивности конвекции в Украине // *Глобальные и региональные изменения климата / под ред. В.И. Осадчего.* К.: Ника-Центр, 2011. С.150-159.
3. Балабух В.О. Мінливість дуже сильних дощів і сильних злив в Україні. *Наук. праці УкрНДГМІ.* 2008. Вып.257. С.61-72.
4. Балабух В.О. Траєкторії циклонів, що зумовлюють небезпечну і стихійну кількість опадів в Україні у теплий період року. *Наук. праці УкрНДГМІ.* 2004. Вып.253. С.103-119.
5. Заболоцька Т.М., Підгурська В.М., Шпиталь Т.М. Небезпечно сильні опади в Україні та можливі причини їх утворення. *Наук. праці УкрНДГМІ.* 2006. Вып. 255. С.25-41.
6. Іванова Я.С., Нажмудінова О.М. Зміни поля опадів у Херсонській області. *Матеріали студентської наукової конференції ОДЕКУ / Одеса: ОДЕКУ.* 2021. С.402-405.
7. Іванова Я.С., Нажмудінова О.М. Характеристики небезпечних та стихійних опадів теплого періоду на півдні України. *Матеріали XXI наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ.* Одеса: ОДЕКУ. 2022. С.206-207.
8. Івус Г.П., Гурська Л.М. Методичні вказівки для лабораторної роботи з дисципліни «Короткострокові прогнози погоди» на тему «Прогноз шквалів». Одеса: ОДЕКУ, 2011. 29 с.

9. Климат Одессы / под ред. Л.К. Смекаловой, Ц.А. Швер. Ленинград: Гидрометеиздат, 1986. 174 с.
10. Клімат України / під ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ. Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.
11. Кульбіда М.І., Олійник З.Я., Паламарчук Л.В., Галицька Є.І. Аналіз режиму опадів на території України за десятиріччя 2002-2011 рр. *Фізична географія та геоморфологія*. 2013. Вип.1 (69). С.127-138.
10. Ліпінський, В.М., Осадчий, В.І., Бабіченко, В.М. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986–2005рр.). К.: Ніка–Центр. 2006. 312с.
11. Лялько В.І., Єлістратова Л.О., Кульбіда М.І., Апостолов О.А., Барабаш М.Б. Особливості змін клімату в Україні на кінець ХХ – початок ХХІ ст. за наземними та супутниковими даними. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2015. Вип.6. С.33-84.
12. Мартазінова В.Ф., Иванова Е.К., Щеглов А.А. Тенденция современного температурно-влажностного режима Украины к аномальности за счёт атмосферных процессов в летний сезон. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2016. Вип. 268. С.15-24.
13. Мартазінова В.Ф., Щеглов А.А. Характер экстремальных осадков начала ХХІ столетия на территории Украины. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2018. Вип.22. С.36-45.
14. Мозгова М.В. Дослідження кліматичних і термічних умов, як факторів ефективного розвитку земельного маркетингу. (на прикладі Миколаївської області) URL: http://www.rusnauka.com/33_NIEK_2008/Economics/37259.doc.htm (дата звернення 10.10.2022).
15. Настанова з метеорологічного прогнозування. Укр.ГМЦ. Київ. 2019. URL: https://meteo.gov.ua/ua/33345/meteorology/meteorology_guidance_documents_useful_information/ (дата звернення: 12.10.2022).
16. Одеський регіон: передумови формування, структура та територіальна організація господарства: навч. посібник / Одес. нац. ун-т

- ім. І.І. Мечникова; авт. колектив: О.Г. Топчієв, І.І. Кондратюк, В.В. Яворська та ін. Одеса: «Астропрінт», 2012. 336 с.
- 17.Осадчий В.І., Бабіченко В.М. Динаміка стихійних метеорологічних явищ в Україні. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2012. Вип.4. С.8-14.
- 18.Практикум з синоптичної метеорології: Навчальний посібник / під ред. Г.П. Івус, С.М. Іванової. Одеса: «ТЭС», 2004. 419 с.
- 19.Природа Херсонської області: Фізико-географічний нарис / ред. М.Ф. Бойко. К.: Фітосоціоцентр, 1998. 120 с.
- 20.Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч.І. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1986. 702 с.
- 21.Татарчук О.Г., Тимофєєв В.Є. Сильні зливи на території України на рубежі ХХ–ХХІ століть. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка*. Географія. 2017. Вип. 1(66)/ 2(67). С.89-93.
- 22.Татарчук О.Г., Тимофєєв В.Є. Характеристика найбільшої місячної кількості опадів на території України в умовах сучасного клімату. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка*. Географія. 2015. Вип.1(63). С.33–37.
- 23.Чорний С.Г. Сучасні зміни клімату на Херсонщині / *Натураліст (довкілля)* / С.Г. Чорний, Г.І. Тищенко, Н.С. Кувавїна. URL: <http://proeco.visti.net/naturalist/ecology/clim.htm>. (дата звернення: 12.10.2022).
- 24.<http://212.232.25.232/ng-maps/>
- 25.https://rp5.ua/Погода_в_мире
- 26.<https://www.wetterzentrale.de/rean>

ДОДАТОК А

Довідка

кафедри метеорології та кліматології
до кваліфікаційної роботи
магістра гр. МЗМ-21 Іванової Яни Сергіївни
на тему
«Розподіл шквалів та небезпечних опадів на півдні України»

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

Зав. кафедри

/Прокоф'єв О.М./

Додаток Б

Повторюваність небезпечних та стихійних опадів теплого періоду
2017-2021 рр. на півдні України.

Таблиця В.1 – Вихідні дані, ст. 33846 Миколаїв

Дата/ строк спостереження	Кількість опадів RRR (мм) за інтервал часу t_R (год.)			Явища погоди (WW)
	НМЯ I $\geq 15-49$	СМЯ II $\geq 50-79$	СМЯ III ≥ 80	
1	3	4	5	6
14.05.2017 06:00	19/12			зливовий дощ
Всього за 2017 р.	1	-	-	
27.07.2018 06:00	27/12			гроза, зливовий дощ
08.09.2018 06:00	19/12			зливовий дощ
24.09.2018 18:00	18/12			зливовий дощ
Всього за 2018 р.	3	-	-	
22.05.2019 18:00	18/12			гроза, зливовий дощ
03.06.2019 18:00	15/12			злива
08.06.2019 18:00	43/12			гроза, злива
24.06.2019 18:00	26/12			зливовий дощ
08.07.2019 06:00	16/12			зливовий дощ
30.07.2019 18:00	29/12			гроза, злива
04.08.2019 06:00	24/12			злива
Всього за 2019 р.	7	-	-	
16.06.2020 18:00	40/12			гроза, зливовий дощ
18.06.2020 18:00	17/12			гроза, зливовий дощ
30.06.2020 18:00	23/12			гроза, злива
31.07.2020 06:00	20/12			гроза, зливовий дощ
Всього за 2020 р.	4	-	-	
28.05.2021 18:00	29/12			гроза, злива
29.05.2021 06:00	29/12			гроза, злива
31.05.2021 18:00	16/12			гроза, зливовий дощ
14.06.2021 18:00	17/12			гроза, злива
16.06.2021 06:00	34/12			гроза, злива
05.07.2021 06:00	19/12			гроза, зливовий дощ
21.07.2021 18:00	22/12			гроза, зливовий дощ
07.08.2021 06:00	33/12			гроза, злива
07.08.2021 18:00	16/12			гроза, злива
18.09.2021 18:00	24/12			гроза, злива
13.10.2021 06:00	15/12			зливовий дощ
13.10.2021 18:00	24/12			зливовий дощ
Всього за 2021 р.	12	-	-	

Таблиця В.2 – Вихідні дані, ст.33837 Одеса

Дата/ строк спостереження	Кількість опадів RRR (мм) за інтервал часу t_R (год.)			Явища погоди (WW)
	НМЯ I $\geq 15-49$	СМЯ II $\geq 50-79$	СМЯ III ≥ 80	
1	3	4	5	6
20.04.2017 18:00	19/12			зливовий дощ
04.07.2017 06:00	17/6			гроза, зливовий дощ
14.07.2017 06:00	23/6			гроза, злива
14.08.2017 06:00	30/12			гроза, злива
08.10.2017 06:00	15/12			дощ незливовий
Всього за 2017 р.	5	-	-	
27.07.2018 06:00	37/6			гроза, зливовий дощ
24.09.2018 18:00	16/12			гроза, зливовий дощ
Всього за 2018 р.	2	-	-	
08.06.2019 18:00	18/12			гроза, зливовий дощ
03.08.2019 18:00	35/12 (30/6)			гроза, зливовий дощ
04.08.2019 06:00	27/12			гроза, зливовий дощ
04.10.2019 18:00	17/6			дощ незливовий
Всього за 2019 р.	4	-	-	
28.05.2020 06:00	24/12			зливовий дощ сильний
28.05.2020 18:00	27/6			злива
14.06.2020 06:00	17/12			злива
05.09.2020 06:00	19/12			гроза, злива
Всього за 2020 р.	4	-	-	
17.06.2021 18:00	18/12			злива
05.07.2021 06:00	23/12			гроза, зливовий дощ
22.07.2021 06:00		60/12 (52/2)		гроза, злива
26.08.2021 18:00	26/12			гроза, зливовий дощ
Всього за 2021 р.	3	1	-	

Таблиця В.3 – Вихідні дані, ст. 33902 Херсон

Дата/ строк спостереження	Кількість опадів RRR (мм) за інтервал часу t_R (год.)			Явища погоди (WW)
	НМЯ I $\geq 15-49$	СМЯ II $\geq 50-79$	СМЯ III ≥ 80	
1	3	4	5	6
18.04.2017 18:00	23/12 (16/6)			зливовий дощ
21.04.2017 06:00	18/12			зливовий дощ
Всього за 2017 р.	2	-	-	
20.05.2018 18:00	24/12			злива
11.07.2018 18:00	16/12			гроза, злива
25.07.2018 18:00	30/12			злива
Всього за 2018 р.	3	-	-	
15.04.2019 18:00	18/12			дощ
24.05.2019 18:00	15/12			гроза, злива
25.05.2019 18:00	30/12			зливовий дощ
03.06.2019 18:00	27/6			гроза, злива
08.06.2019 18:00	19/12			гроза, зливовий дощ
06.07.2019 06:00	18/12			гроза, злива
08.07.2019 18:00	22/12			гроза, злива
05.10.2019 18:00	26/6			
07.10.2019 18:00	17/12			зливовий дощ
Всього за 2019 р.	9	-	-	
24.06.2020 18:00	18/12			злива
06.07.2020 18:00	33/12			гроза, злива
12.08.2020 18:00	19/12			гроза, злива
Всього за 2020 р.	3	-	-	
17.05.2021 06:00	45/12 (40/6)			гроза, злива
31.05.2021 18:00	22/12 (18/6)			гроза, злива
03.06.2021 06:00	15/12			зливовий дощ
05.07.2021 06:00	32/12 (16/6)			гроза, злива
05.07.2021 18:00	15/12			гроза, злива
Всього за 2021 р.	5	-	-	

Додаток В

Повторюваність шквалів на півдні України у теплий період 2017-2021 рр.

Таблиця Б.1 – Вихідні дані

Дата/ час	Станція	Характеристики шквалів	
		швидкість вітру при шквалі, м·с ⁻¹	явища погоди
1	2	3	4
20.04.2017 20:41	Одеса АМСЦ	22	шквал, налипання снігу, зливовий сніг 23/12
15.05.2017 16:25	Чорноморськ (Одеська обл.)	16	шквал, гроза
20.05.2017 14:40	Усть-Дунайськ (Одеська обл.)	22	шквал, гроза
20.06.2017 15:11	Б.Дністровський (Одеська обл.)	15	шквал, гроза
21.06.2017 13:16	Порт Південний (Одеська обл.)	12	шквал, злива, гроза, град 5 мм
21.06.2017 13:24	Б.Дністровський (Одеська обл.)	19	шквал, гроза
27.06.2017 22:35	Затишшя (Одеська обл.)	19	шквал, гроза
03.07.2017 23:54	Одеса АМСЦ	22	шквал, гроза
28.07.2017 12:58	Любашівка (Одеська обл.)	19	шквал, гроза, град 34 мм
06.08.2017 13:28	Бехтери (Херсонська обл.)	18	шквал, гроза, злива, град 7 мм
14.08.2017 00:11, 04:04	Порт Південний (Одеська обл.)	15/15	шквал, гроза
Всього за 2017 р.		12	
07.05.2018 15:20	Сарата (Одеська обл.)	17	шквал, гроза
06.06.2018 10:24	Нова Каховка (Херсонська обл.)	18	шквал, злива, гроза
28.06.2018 21:53	Одеса	18	шквал, злива, гроза
30.06.2018 11:20	Усть-Дунайськ (Одеська обл.)	20	шквал, гроза
30.06.2018 13:42	Н.Сірогози (Херсонська обл.)	21	шквал, злива, гроза
13.07.2018 11:20	Вилково (Одеська обл.)	18	шквал, гроза
28.07.2018 15:01	Первомайськ (Миколаївська обл.)	20	шквал, гроза, злива, град 12 мм
06.09.2018 05:00	В.Олександрівка (Херсонська обл.)	15	шквал, гроза, злива, град 6 мм

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4
24.09.2018 13:52	Одеса АМСЦ	22	шквал, злива, гроза
24.09.2018 14:38	Сербка (Одеська обл.)	18	шквал, гроза
24.10.2018 12:23	Сербка (Одеська обл.)	21	шквал
Всього за 2018 р.	11		
04.06.2019 18:40	Вознесенськ (Миколаївська обл.)	19	шквал, гроза
09.06.2019 13:43	Бехтери (Херсонська обл.)	18	шквал, гроза, зливовий дощ
27.06.2019 14:45	Первомайськ (Миколаївська обл.)	19	шквал
27.06.2019 17:10	Сербка (Одеська обл.)	15	шквал, гроза
27.06.2019 17:21	Болград (Одеська обл.)	16	шквал, гроза
27.06.2019 17:56	Ізмаїл (Одеська обл.)	20	шквал, гроза
27.06.2019 19:44	Одеса АМСЦ	20	шквал, гроза, зливовий дощ
02.07.2019 14:26	Любашівка (Одеська обл.)	26	шквал, гроза
02.07.2019 14:35	Первомайськ (Миколаївська обл.)	23	шквал, гроза
03.07.2019 11:19	Порт Південний (Одеська обл.)	18	шквал, гроза
03.07.2019 11:35	Болград (Одеська обл.)	18	шквал, гроза, зливовий дощ
03.07.2019 12:32	Ізмаїл (Одеська обл.)	18	шквал, гроза
03.07.2019 13:14	Вилково (Одеська обл.)	22	шквал, гроза
03.07.2019 13:38	Чорноморськ (Одеська обл.)	16	шквал, гроза
03.07.2019 13:41	Одеса АМСЦ	23	шквал, гроза, зливовий дощ
03.07.2019 13:52	Паромна Переправа (Одеська обл.)	20	шквал
03.07.2019 13:54	Б.Дністровський (Одеська обл.)	21	шквал, гроза
05.07.2019 13:30	Вознесенськ (Миколаївська обл.)	16	шквал, гроза, зливовий дощ
14.07.2019 11:17	Любашівка (Одеська обл.)	15	шквал, гроза, дощ
22.07.2019 15:17	Ізмаїл (Одеська обл.)	18	шквал, гроза

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4
30.07.2019 14:32	Ізмаїл (Одеська обл.)	17	шквал, гроза
30.07.2019 15:26	Сербка (Одеська обл.)	15	шквал, гроза
09.08.2019 10:22	Роздільна (Одеська обл.)	17	шквал, гроза
09.08.2019 10:48	Б.Дністровський (Одеська обл.)	16	шквал
09.08.2019 11:15	Одеса	16	шквал, гроза
09.08.2019 11:23	Чорноморськ (Одеська обл.)	16	шквал
09.08.2019 12:09	Сербка (Одеська обл.)	22	шквал, гроза
Всього за 2019 р.	27		
06.05.2020 16:22	Усть-Дунайськ (Одеська обл.)	20	шквал
01.06.2020 07:40	Нижні Сірогози (Херсонська обл.)	16	шквал, гроза
12.06.2020 13:16	Любашівка (Одеська обл.)	18	шквал, гроза
19.06.2020 15:45	Чорноморськ (Одеська обл.)	14	шквал, гроза
24.06.2020 09:37	Чорноморськ (Одеська обл.)	13	шквал, гроза
24.06.2020 11:19	Бехтери (Херсонська обл.)	18	шквал, гроза, зливовий дощ
29.06.2020 13:15	Чорноморськ (Одеська обл.)	13	шквал, гроза
29.06.2020 13:40	Паромна Переправа (Одеська обл.)	15	шквал, гроза
30.06.2020 09:53	Затишся (Одеська обл.)	16	шквал, гроза
30.06.2020 12:19	Одеса АМСЦ	18	шквал, гроза
30.06.2020 13:23	Миколаїв	25	шквал, гроза, зливовий дощ
30.06.2020 13:31	Вилково (Одеська обл.)	18	шквал, гроза
06.07.2020 13:05	Херсон	23	шквал, гроза, град, зливовий дощ
07.07.2020 14:20	Усть-Дунайськ (Одеська обл.)	24	шквал, гроза
30.07.2020 20:24	Затишся (Одеська обл.)	16	шквал, гроза, зливовий дощ
30.07.2020 22:03	Одеса АМСЦ	16	шквал, гроза

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4
30.07.2020 22:11	Порт Південний (Одеська обл.)	20	шквал, гроза
31.07.2020 15:30	Паромна Переправа (Одеська обл.)	15	шквал
31.07.2020 16:12	Вилково (Одеська обл.)	18	шквал, гроза
31.07.2020 16:20	Ізмаїл (Одеська обл.)	20	шквал, гроза
Всього за 2020 р.	20		
11.05.2021 17:38	Любашівка (Одеська обл.)	15	шквал, гроза
18.05.2021 16:14	Нижні Сірогози (Херсонська обл.)	18	шквал, гроза
08.06.2021 11:41	Вознесенськ (Миколаївська обл.)	16	шквал, гроза
08.06.2021 14:11	Паромна Переправа (Одеська обл.)	17	шквал
15.06.2021 11:15	Чорноморськ (Одеська обл.)	22	шквал, гроза, зливовий дощ
15.06.2021 11:25	Любашівка (Одеська обл.)	21	шквал, гроза
15.06.2021 11:36	Б.Дністровський (Одеська обл.)	23	шквал, гроза, зливовий дощ
15.06.2021 12:14	Болград (Одеська обл.)	20	шквал, гроза
22.06.2021 03:04	Б.Дністровський (Одеська обл.)	17	шквал, гроза
22.06.2021 15:59	Любашівка (Одеська обл.)	15	шквал, гроза
26.06.2021 17:57	Паромна Переправа (Одеська обл.)	15	шквал
26.06.2021 18:31	Порт Південний (Одеська обл.)	23	шквал, гроза, зливовий дощ
30.06.2021 16:32	Затиштя (Одеська обл.)	15	шквал, гроза
02.07.2021 22:59	Болград (Одеська обл.)	15	шквал, гроза
11.07.2021 17:11	Затиштя (Одеська обл.)	17	шквал, гроза, град 2 мм, зливовий дощ 51/2
20.07.2021 16:05	Любашівка (Одеська обл.)	19	шквал, гроза, град 8 мм, зливовий дощ
21.07.2021 17:15	Асканія Нова (Херсонська обл.)	18	шквал, гроза, град 6 мм, зливовий дощ
29.07.2021 17:14	Затиштя (Одеська обл.)	15	шквал, гроза
29.07.2021 17:39	Любашівка (Одеська обл.)	15	шквал

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4
29.07.2021 19:18	Сербка (Одеська обл.)	20	шквал, гроза
02.08.2021 12:59	Роздільна (Одеська обл.)	17	шквал, гроза, град 4 мм, зливовий дощ
02.08.2021 13:38	Сербка (Одеська обл.)	22	шквал, гроза
02.08.2021 14:38	Сарата (Одеська обл.)	25	шквал, гроза, град, зливовий дощ
06.08.2021 09:11	Затиштя (Одеська обл.)	18	шквал, гроза, град, зливовий дощ 51/9
06.08.2021 09:33	Любашівка (Одеська обл.)	19	шквал, гроза, зливовий дощ 56/9
06.08.2021 10:38	Сербка (Одеська обл.)	16	шквал, гроза
18.08.2021 15:54	Миколаїв	17	шквал, гроза
14.09.2021 13:12	Чорноморськ (Одеська обл.)	15	шквал, гроза
14.09.2021 13:49	Порт Південний (Одеська обл.)	18	шквал, гроза
Всього за 2021 р.	29		