УДК 551.589.1:577.1:524.3
УКПП XXXXXX
№ держреєстрації 0120U100487
Інв. № _____

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
65016, м. Одеса, вул. Львівська, 15; тел. (0482) 42-77-67, meteo@odeku.edu.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з НР
д.геогр.н., с.н.с.
_____ Ю.С. Тучковенко
23.12.2021

# ЗВІТ
# ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

## РОЗРОБКА ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ТА СТИХІЙНИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ЯВИЩ НАД УКРАЇНОЮ
(проміжний)

Науковий керівник НДР
к.геогр.н., доцент _____ А.Б. Семергей-Чумаченко
(підпис)
21.12.2021 р.

2021

Результати роботи розглянути на засіданні НТР ОДЕКУ
протокол № 7 від 23.12.2021 р.

# СПИСОК АВТОРІВ

| | | |
|---|---|---|
| Доцент кафедри метеорології та кліматології канд. геогр. наук, доцент | 21.12.21 | А.Б. Семергей-Чумаченко (реферат, вступ, висновки, розділи 1, 2) |
| Відповідальний виконавець, доцент кафедри метеорології та кліматології, канд. геогр. наук, доцент | 21.12.21 | Е.В. Агайар (розділи 1, 2 ) |
| Доцент кафедри метеорології та кліматології, канд. геогр. наук, доцент | 20.12.21 | О.М. Нажмудінова (розділи 1, 2) |
| Доцент кафедри метеорології та кліматології, канд. геогр. наук | 21.12.21 | Н.М. Міщенко (розділи 1,2) |
| Нормоконтролер | | Л.І. Моренець-Кубанська |

# РЕФЕРАТ

Звіт з НДР: 56 с., 28 рис., 5 табл., 69 джерел.

ПІВДЕННІ ЦИКЛОНИ, ФРОНТАЛЬНИЙ ПАРАМЕТР, АНОМАЛІЇ ТЕМПЕРАТУРИ, ШКВАЛИ, СМЕРЧІ, СИЛЬНІ І НАДЗВИЧАЙНІ ОПАДИ, ІНДЕКСИ КОНВЕКЦІЇ.

Об'єкт дослідження – метеорологічні та циркуляційні умови формування небезпечних метеорологічних явищ над Україною.

Мета роботи є розробка нових та вдосконалення існуючих методів прогнозу небезпечних та стихійних метеорологічних явищ над різними регіонами України, а також характеристика мінливості метеорологічних величин та циркуляційних умов на території України у тепле півріччя підчас кліматичних змін

Призначення роботи полягає у підвищенні якості прогностичного забезпечення економіки держави через розробку нових та вдосконалення традиційних методів прогнозу небезпечних метеорологічних умов, виявлення та типізацію метеорологічних і циркуляційних умов напередодні виникнення небезпечних явищ погоди над територією України.

Методи дослідження – обробка метеорологічних даних різного походження, просторово-часове узагальнення метеорологічної та синоптичної інформації, синоптичний аналіз, статистичний аналіз, кількісна оцінка стану атмосфери.

Визначені критеріальні значення фронтального параметру, які можуть підвищити якість прогнозування зливових опадів та грозової активності на території України.

Виявлені циркуляційні умови формування найбільших аномалій температури протягом 2020 р.

Встановлений географічний та сезонний розподіл виникнення смерчів та шквалів у Північно-Західному Причорномор'ї з 2006 по 2020 рр.

В результаті дослідження з використанням даних метеорологічних спостережень на станції Херсон та атмосферного реаналізу ERA5 за період 2005-2021 рр. визначений режим утворення сильних опадів, характер циркуляції та термодинамічний стан тропосфери напередодні їх посилення.

Умови одержання звіту: Одеський державний екологічний університет,
65016, Україна, м. Одеса, вул. Львівська 15.

# ЗМІСТ

Вступ ..... 5
1 Термодинамічний аналіз атмосферних фронтів південних циклонів та температурні аномалії ..... 6
1.1 Визначення критеріальних значень фронтального параметру для прогнозування зливових опадів та грозової активності на території України ..... 6
1.2 Температурні аномалії на території України у 2020 р. ..... 11
2 Небезпечні конвективні явища на півдні України ..... 21
2.1 Просторово-часовий розподіл смерчів та шквалів у Північно-Західному Причорномор'ї у 2006-2020 рр. ..... 21
2.2 Виникнення сильних опадів на станції Херсон за даними метеорологічних спостережень та реаналізу ERA5 у 2005-2021 рр. ..... 31
Висновки ..... 47
Перелік джерел посилання ..... 49

# ВСТУП

Даний звіт містить результати дослідження сучасного режиму і циркуляційних умов сильних опадів та конвективних явищ над різними регіонами України [1-3], кількісну оцінку фронтального параметру, яка може підвищити якість прогнозування зливових опадів та грозової активності на території України, врахування впливу циркуляційних умов формування найбільших аномалій температури повітря у 2020 р. [4] та порівняння з досягненнями минулих років [5-12].

Актуальність дослідження визначає зростання за останні десятиріччя на території України кількості виникнення небезпечних та стихійних метеорологічних явищ (СМЯ) [13-17 та ін.].

Вихідні матеріали дослідження – електронні щоденники метеорологічних спостережень [18], електронний архів аеросиноптичного матеріалу та штормові попередження пакету АРМСин та ресурси [19-22], дані об’єктивного аналізу NCEP-NCAR [23], аномалії середньомісячних значень приземної температури повітря та середньомісячного розподілу тиску на рівні моря з використанням базового періоду 1981-2010 рр. [24] та дані атмосферного реаналізу ERA5 [25] за 2005-2021 рр. [24].

У розробці наукової тематики приймали участь аспіранти Слободяник К.Л. [3, 26, 27] та Жук Д.О. [2, 28-31], магістри гр. МЗМ-20: Гелетій І.Ю., Омелянен-ко Ю.С., Панченко Є.А. [32-35] та гр. МЗМ-21: Біла В.С., Іванова Я.С., Маклигіна Т.І., Сівак А.В., Чорна А.Л., Яблоцька Д.В., студенти Веретнова В.О., Іванчікова І.О., Ланова Ю.С., Сівак  В.О., Бабаченко М.І. [36-41]. Попередні результати досліджень апробовані на міжнародних та всеукраїнських конференціях [27, 28, 30, 31, 35, 42-50].

Авторський колектив висловлює щиру подяку начальнику Гідрометцентра Чорного та Азовського морів к.геогр.н., доц. Ситову В.М та завідувачу відділом метеорологічних прогнозів Тарнавської О.В. за вчасне і беззаперечне забезпечення необхідною метеорологічною інформацією протягом всього циклу робіт.

# 1 ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ АТМОСФЕРНИХ ФРОНТІВ ПІВДЕННИХ ЦИКЛОНІВ ТА ТЕМПЕРАТУРНІ АНОМАЛІЇ

## 1.1 Визначення критеріальних значень фронтального параметру для прогнозування зливових опадів та грозової активності на території України

Фронтологічний аналіз є найважливішим етапом обробки метеорологічної інформації синоптиком, який значною мірою спирається на свій досвід і уявлення про положення і характер атмосферних фронтів і тим самим вносить певний відбиток суб'єктивізму. Фронти проводять на основі їх визначення як зон розділу різних повітряних мас, з урахуванням структури баричного і термічного полів, характеру адвекції температури, опадів та ін., але єдиних кількісних методів аналізу всіх факторів досі не існує [51].

Метою дослідження є визначення критеріальних значень фронтального параметру $\Psi$ для прогнозування зливових опадів та грозової активності над територією України, а у якості вихідних використовувався аеросиноптичний матеріал АРМСин та електронні щоденники погоди [18] та дані об’єктивного аналізу NCEP-NCAR [23].

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% [54] небезпечних і стихійних явищ погоди. Для Східної Європи південними є циклони, які зароджуються над Чорним і Середземним морями та прилеглими частинами континенту і переміщуються на північ і північний схід, поглиблюючись і спричиняючи різкі зміни погоди (інтенсивні опади, хуртовини, штормові вітри, ожеледь, значні коливання температури). Із загального числа південних циклонів, що зміщуються на територію України, 48% утворюються над акваторією Середземного моря, а 52% – Чорного моря [55].

Згідно [54] південні циклони, що досягають території України, переважно приходять з 5 регіонів:

1. Захід Чорного моря; Нижньодунайська низовина;
2. Італія; Адріатичне море;
3. Середньодунайська низовина;
4. Егейське море;
5. Мала Азія.

За період з 2017 до 2020 рр. виявлено формування 146 південних циклонів, але лише 68 з них (47 %) досягали території України. Як видно з рис. 1.1, частіше південні циклони діставалися України та ускладнювали погодні умови у холодне півріччя.

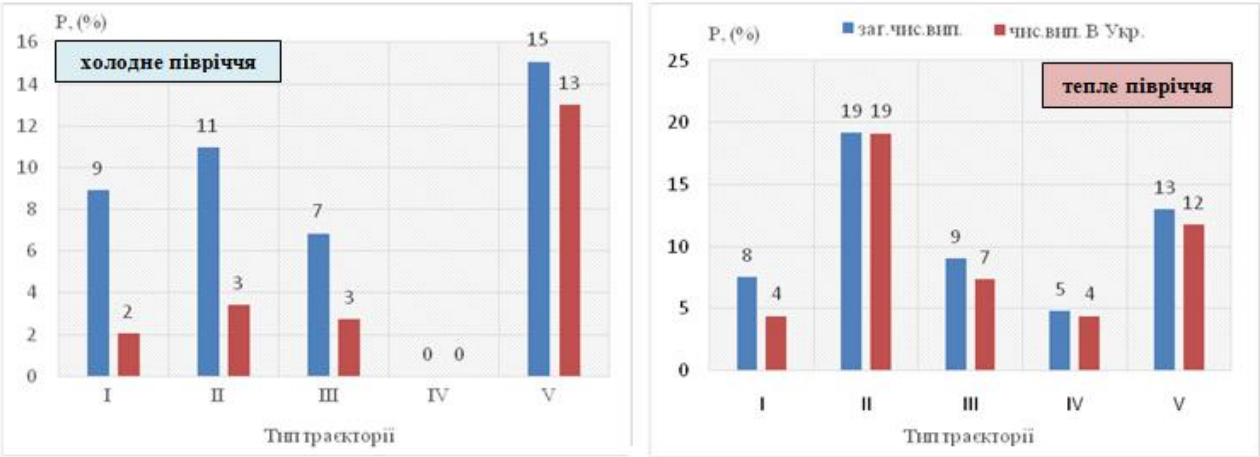



Рисунок 1.1 - Повторюваність південних циклонів, які досягли України у залежності від типу траєкторії з 2017 по 2020 рр.

В тепле півріччя 2017-2020 рр. переважною була V траєкторія (Мала Азія) та II (Італія). Для території України – практично так само, але IV траєкторія (Егейське море) не досягала України, а II мала значно меншу повторюваність. В холодне півріччя найбільшу повторюваність мав II тип траєкторії, дещо меншу – V, території України найчастіше досягали південні циклони II типу з території Італії.

Щодо аналізу термодинамічної структури атмосферних фронтів південних циклонів, то застосувався метод, в якому для об'єктивного аналізу атмосферних

фронтів запропонований фронтальний параметр $\Psi$, розрахунок якого проводився за наступними формулами [51]:

$$\psi = \nabla \left| \nabla ZTE \right| n_{ZTE}$$

$$ZTE = -\sum (R/g) \overline{T_e} \ln\left( p_{500} / p_{850} \right) \tag{1.1}$$

де: $R$ – питома газова стала,

$g$ – прискорення сили тяжіння,

$T_e$ – середня еквівалентна температура,

$\nabla$ - оператор градієнту,

$n_{ZTE}$ одиничний вектор, спрямований у бік зменшення

$\nabla ZTE$, $ZTE$ - еквівалентна товщина шару від 850 до 500 гПа.

Розробниками цього параметру [52, 53] показано, що параметр $\Psi$ можна використовувати не лише для проведення ліній фронтів, але і для виділення зон опадів, пов'язаних з фронтами. Іншими словами, автори методу пропонують за допомогою $\Psi$ виділяти зони фронтів, в яких опади найбільш імовірні.

Для аналізу термодинамічної структури атмосферних фронтів обрані випадки південних циклонів з 11 по 15 жовтня 2020 р., коли спостерігалася регенерація південного циклону.

У першу добу періоду дослідження, тобто 11 жовтня 2020 р., циклон, з центром над Італією окреслений однією замкненою ізобарою, мінімальним тиском у центрі 1012 гПа та добре вираженою термобаричною неоднорідністю знаходився на другій стадії розвитку (рис. 1.2а). Поле фронтального параметру показало максимальні значення в тилу даного баричного утворення, за холодним фронтом (Ψ=30). Це досить велике його значення, і в [51-53] визначається як ознака утворення опадів, проте опади над Італією відмічалися лише з 9 год.

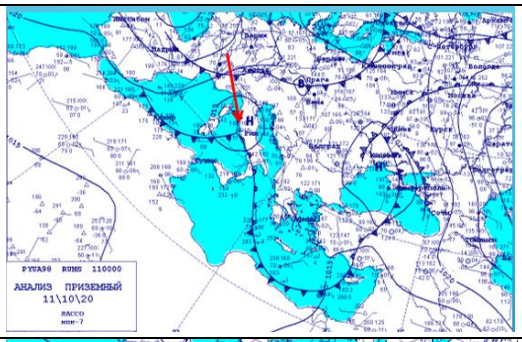
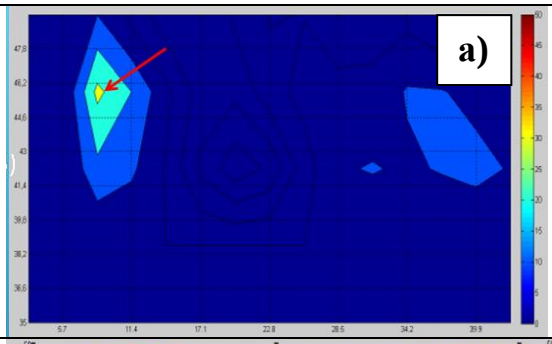
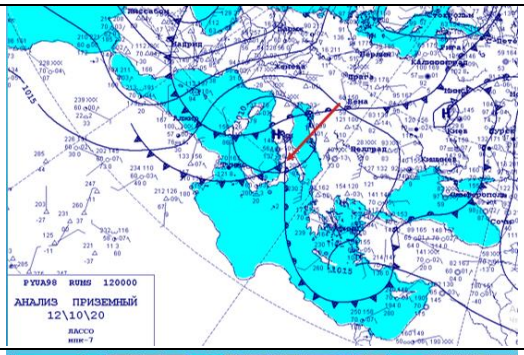
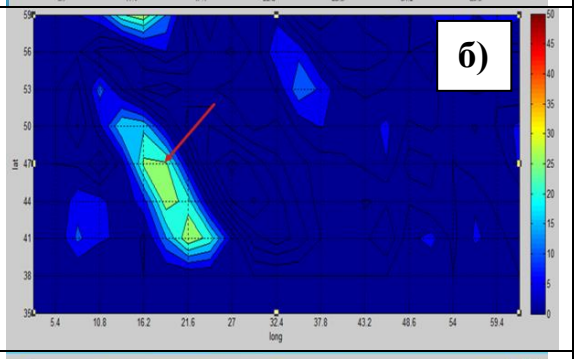
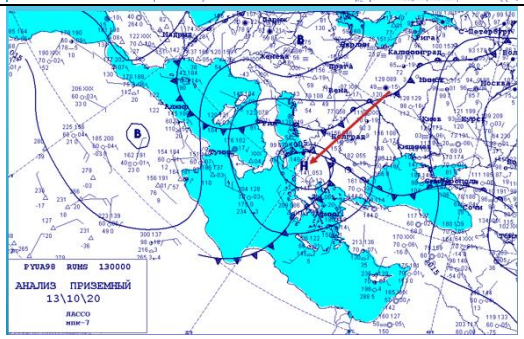
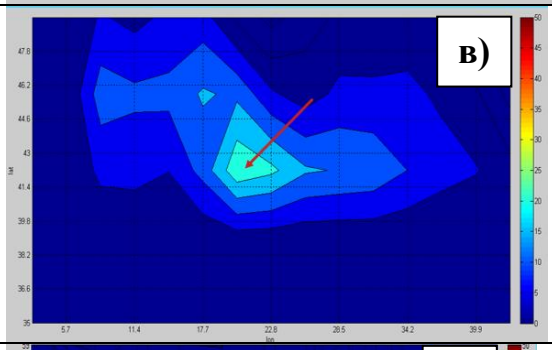
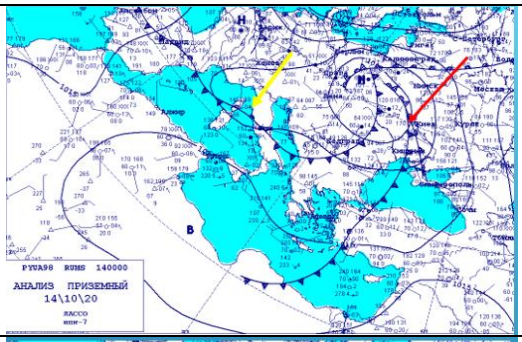
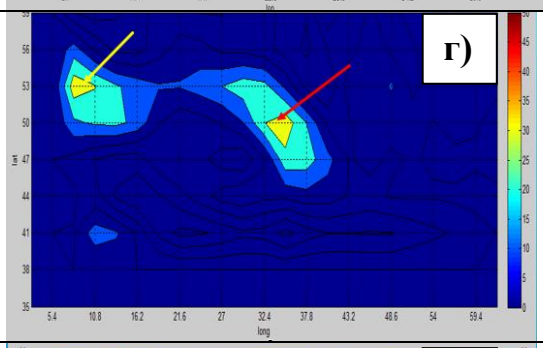
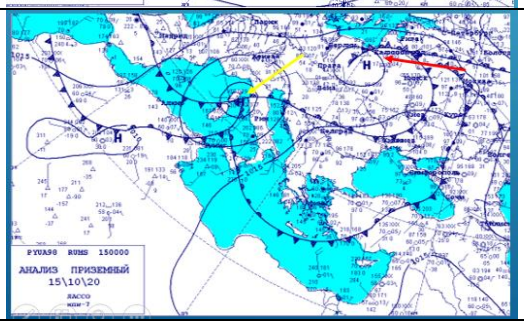
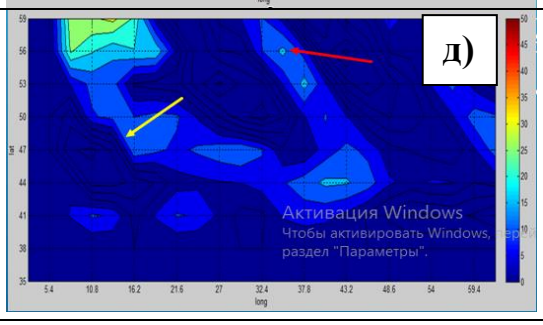
| | | |
|---|---|---|
| 11.10.20 |   |   |
| 12.10.20 |   |   |
| 13.10.20 |   |   |
| 14.10.20 |   |   |
| 15.10.20 |   |   |

Рисунок 1.2 - Карти приземного аналізу та поле фронтального параметру Ψ 11-15 жовтня 2020 р.

Впродовж доби тиск в центрі циклону продовжував падати, о 12 годині він вже складав 1007 гПа а в деяких містах Італії вже спостерігалися зливові опади. З 18 год. циклон вже перейшов до стадії максимального розвитку, в нього з'явився фронт оклюзії і він стан високим баричним утворенням, хоча термічна неоднорідність ще спостерігається, більшу частину циклону вже займає холодне повітря.

У наступну добу, 12 жовтня 2020 р. в тил циклону заходить нова гілка атмосферного фронту (холодна), що сприяло початку регенерації баричного утворення (рис. 1.2б). В Римі вже відмічаються зливові опади з грозами. Поле фронтального параметру показало осередки максимальних значень (Ψ=30) які відповідають на приземній карті центру циклону та фронту оклюзії та невеликій ділянці теплого фронту.

Таким чином, можна зробити висновок, що фронт залишається загостреним, хоча циклон і знаходиться на стадії максимального розвитку.

З 13 жовтня 2020 р. центр циклону перемістився на території Албанії та Сербії, тиск в центрі складає вже 1005 гПа (рис. 1.2в). Опади над Італією припинилися, хоча вона знаходилася під впливом іншої фронтальної системи (той, що призведе до регенерації південного циклону), тоді як над Албанією та Сербією спостерігалися. Фронтальний параметр зменшився до 20, але на можливість генерації опадів як зливового характеру так і облогового це не вплинуло.

Через добу 14 жовтня 2020 р. циклон змістився на західні області України, його центр розташовувався над Польщею, тиск в центрі продовжує падати і вже складав 1001 гПа (рис. 1.2г). Над зазначеними територіями відмічалися зливові опади через проходження двох оклюдованих фронтальних систем. Максимальні значення фронтального параметру збереглися на попередньому рівні Ψ=30, але вже утворилися два осередки максимальних значень і обидва були пов'язані з лініями атмосферних фронтів.

В останню добу 15 жовтня 2020 р. південний циклон не змінив свого положення (рис. 1.2д), але значно зменшився в горизонтальних розмірах і тиск в

центрі склав 1010 гПа (+9 гПа). Опади над територіями його розташування припинилися, але в тиловій частині циклону відмічалися тумани та серпанки.

Як видно з рис. 1.2д осередки максимальних значень фронтального параметру відповідали розташуванню фронту оклюзії, що перемістився на територію України та Польщі з півдня. Але, слід звернути увагу на схожий циркуляційний процес в цій же день над Італією. Можна чітко побачити вже сформований південний циклон з оклюдованою однією гілкою фронту та холодною гілкою іншого атмосферного фронту в тилу, що також свідчить про можливість регенерації цього циклону. Опади над Італією спостерігалися з 6 год. і також приймали зливовий характер з окремими грозами, фронтальний параметр, при цьому показав досить низькі значення (близько 15) над цією територією (жовта стрілка). Пояснити це можна тим, що через 6 годин зона з максимальними значеннями фронтального параметру на північному заході перемістилася в південному напрямку та спровокувала подальші опади.

Таким чином, для можливості утворення зливових опадів достатньо того, щоб фронтальний параметр мав значення більш 20. При цьому, якщо його значення будуть досягати 30, то така фронтальна система буде досить довго активною (загостреною) та впродовж тривалого часу давати опади конвективного характеру з грозової активності.

## 1.2 Температурні аномалії на території України у 2020 р.

Сучасні дослідження вказують, що повторюваність аномально високих (максимальних) температур на території України у кінці XX ст. порівняно з початком століття зросла у 2-3 рази. Оцінка температурного режиму XXI ст. в Україні свідчить про значну його аномальність відносно кліматичної норми. У більшості місяців спостерігається додатна аномалія температури [56-58].

З метою встановлення особливостей формування аномального режиму температури повітря у 2020 рр. над Східною Європою проаналізовані температу-

рні поля за даними чотирьох метеостанцій у різних регіонах України: Одеса, Київ (Жуляны), Харків, Львів [18]. Дослідженню підлягали показники максимальних та мінімальних температур повітря та їх відхилень від кліматичної норми 1960-1991 рр. [59, 60], а для визначення циркуляційних умов використано карти аномалій середньомісячних показників геопотенціальної висоти H500 та аномалії середньомісячних значень тиску на рівні моря [24].

Аномалії максимальної і мінімальної температури 2020 р. були локалізовані за даними однієї станції, тобто вплив мали місцеві умови, або аномалія охоплювала різні регіони одночасно, тобто мав місце макромасштабний процес. З цією метою побудовані комплексні графіки розподілу $T_{max}$ і $T_{min}$ для всіх станцій помісячно – рис. 1.3-1.5, 1.8 та 1.9.

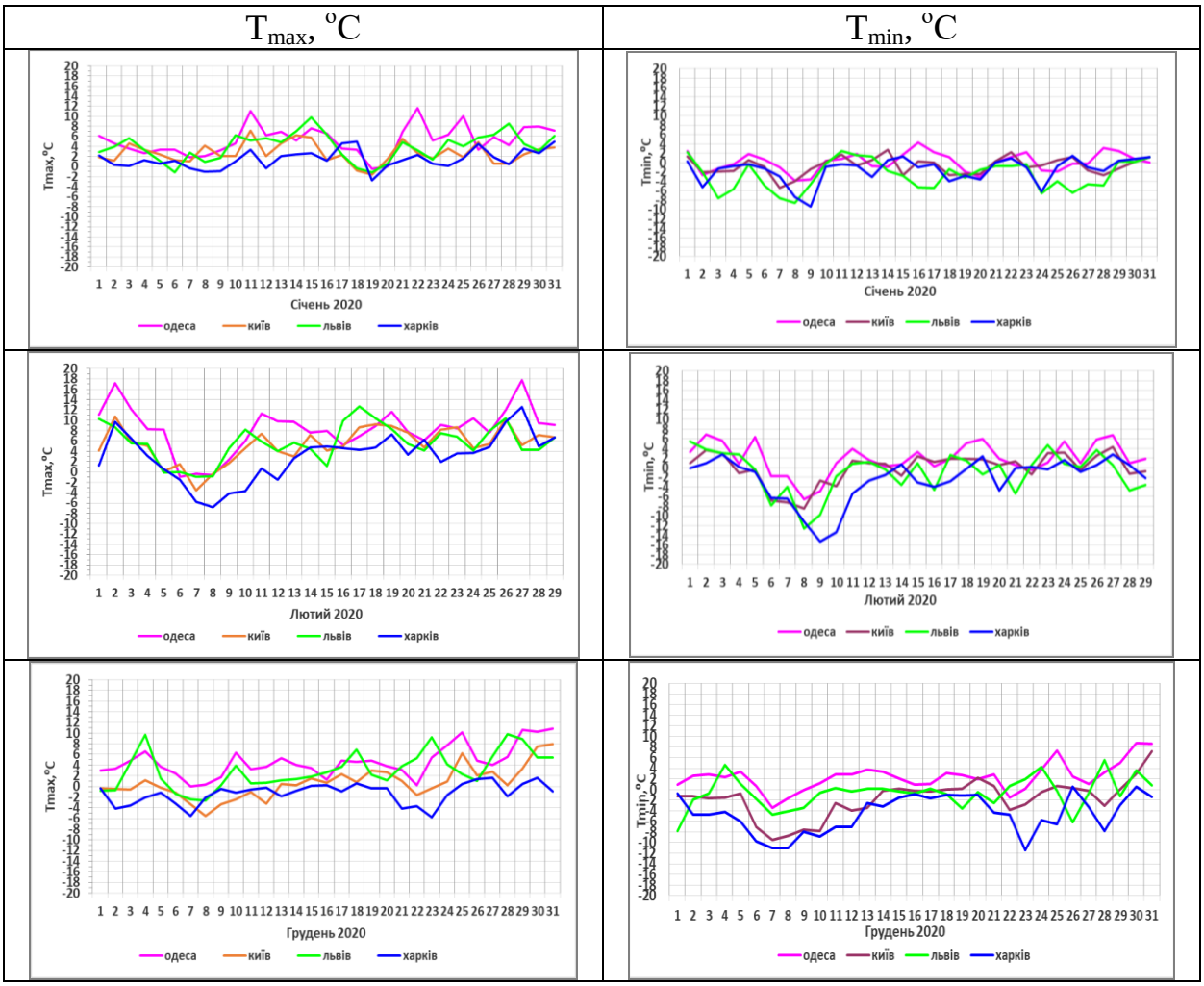



Рисунок 1.3 - Розподіл максимальної ($T_{max}$, °C) та мінімальної ($T_{min}$, °C) температури повітря взимку 2020 р.

У січні 2020 р. (рис. 1.3) криві ходу $T_{max}$ практично збігаються – часто піки чергуються з падінням максимальної температури, Одеса нерідко має вищі показники і більшу амплітуду. Хід $T_{min}$ у січні має більш згладжений вид, амплітуда на станціях змінюється у діапазоні -9...3 ºС. У ході як максимальної, так і мінімальної температури лютого простежується злам кривих для всіх станцій від росту до суттєвого падіння показників протягом першої декади. Надалі конфігурація кривих для всіх станцій подібна, при цьому Харків має найнижчі показники температури. За даними температури у грудні знаки аномалії для усіх станцій здебільшого співпадають. Проте амплітуда коливань $T_{max}$ та $T_{min}$ різна: максимальні відхилення належать Одесі, а найменші – Харкову.

Таким чином, значних різниць у розподілі $T_{max}$ і $T_{min}$ для досліджуваних станцій немає, попередньо можна зробити висновок, що переважаюче підвищення $T_{max}$ і $T_{min}$ в січні-лютому та частково у грудні 2020 р. сформувалося під впливом однакових циркуляційних умов, амплітуда відхилень дещо змінювалася внаслідок місцевих особливостей розміщення станцій.

Проведений вище аналіз виділив січень 2020 р. за підвищеним фоном температури для всіх метеостанцій, отже надалі визначимо синоптичні процеси встановлення додатних аномалій на території України (рис.1.4). Типовим для формування додатних аномалій температури повітря у зимовий період є встановлення стійкого зонального перенесення повітряних мас [61]. При цьому, згідно сезонній зміні градієнта температури океан-материк, водна поверхня є більш теплою, ніж вихолоджений материк і потоки з Атлантики виносять на Європу тепле вологе повітря. Саме такий тип циркуляції атмосфери мав місце у січні 2020 р., особливо чітко простежується зональність течій над європейським сектором – ізобари практично паралельні колам широти і лише на півдні Європи та Середземномор’ям відмічається порушення зональності.

Температурні аномалії були високими для всього європейського сектору та європейської території Росії (ЄТР) – над Скандинавією – до 6-8ºС а над центральною Росією – до 8ºС – рис.1.4 (в). При посиленні зональності центри дії атмосфери (ЦДА) - сибірський максимум послаблений, а ісландський мінімум по-

глиблений. Майже весь європейський сектор (за винятком півдня) охоплений від'ємною аномалією тиску. Висотне баричне поле виділяє значну додатну аномалію Н500 над центральною та східною Європою – рис.1.4 (г).

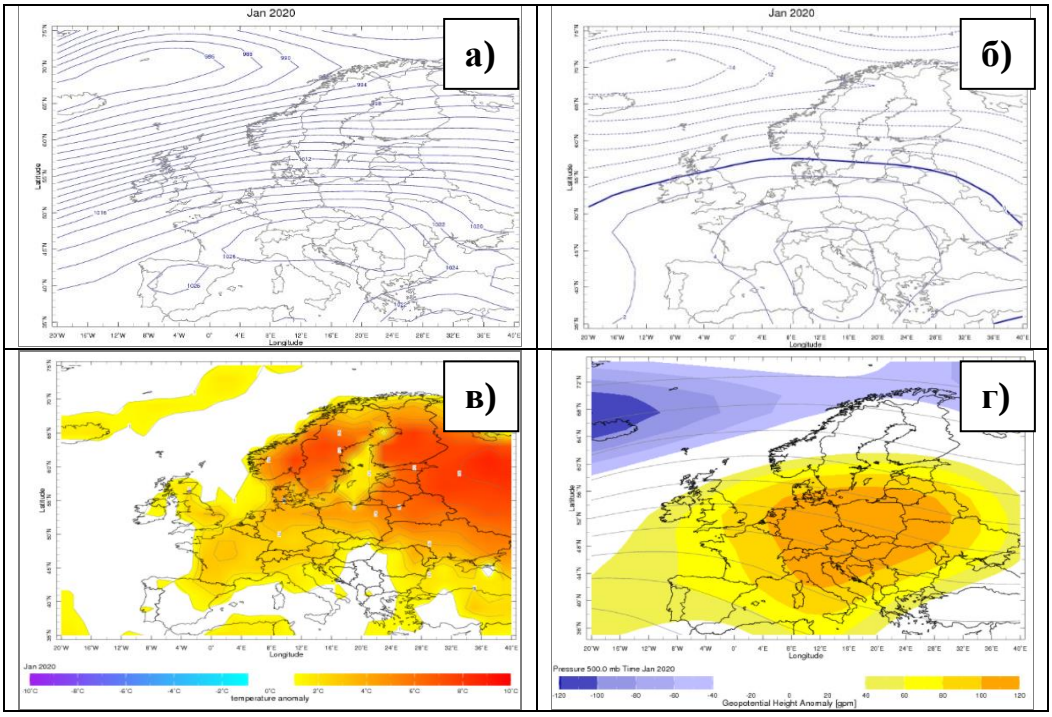



Рисунок 1.4 - Синоптичні карти за січень 2020 р.: (а) – середньомісячний тиск на рівні моря; (б) – середньомісячна аномалія тиску на рівні моря; (в) – середньомісячна аномалія температури повітря; (г) - середньомісячна аномалія поля Н500.

Навесні 2020 р., за даними максимальної температури у березні (рис.1.5) знаки аномалії для усіх станцій здебільшого співпадають, особливо чітко - підвищення температури 16-20 березня та наприкінці місяця, а також суттєве зниження 15, 22-24 та 31 березня. Криві розподілу $T_{min}$ у березні мають менший розкид, найвищі показники має Одеса, а найнижчі мінімуми у Львові. Квітневий розподіл $T_{max}$ у порівнянні дещо невпорядкований – часом виділяються різні знаки аномалій по станціях, як, наприклад, усередині та наприкінці місяця. Розподіл мінімальної температури у квітні практично співпадає для всіх станцій, амплітуда в межах -6...10ºС; найнижчими є мінімуми для Львові та Харкові, а найвищі має Одеса.

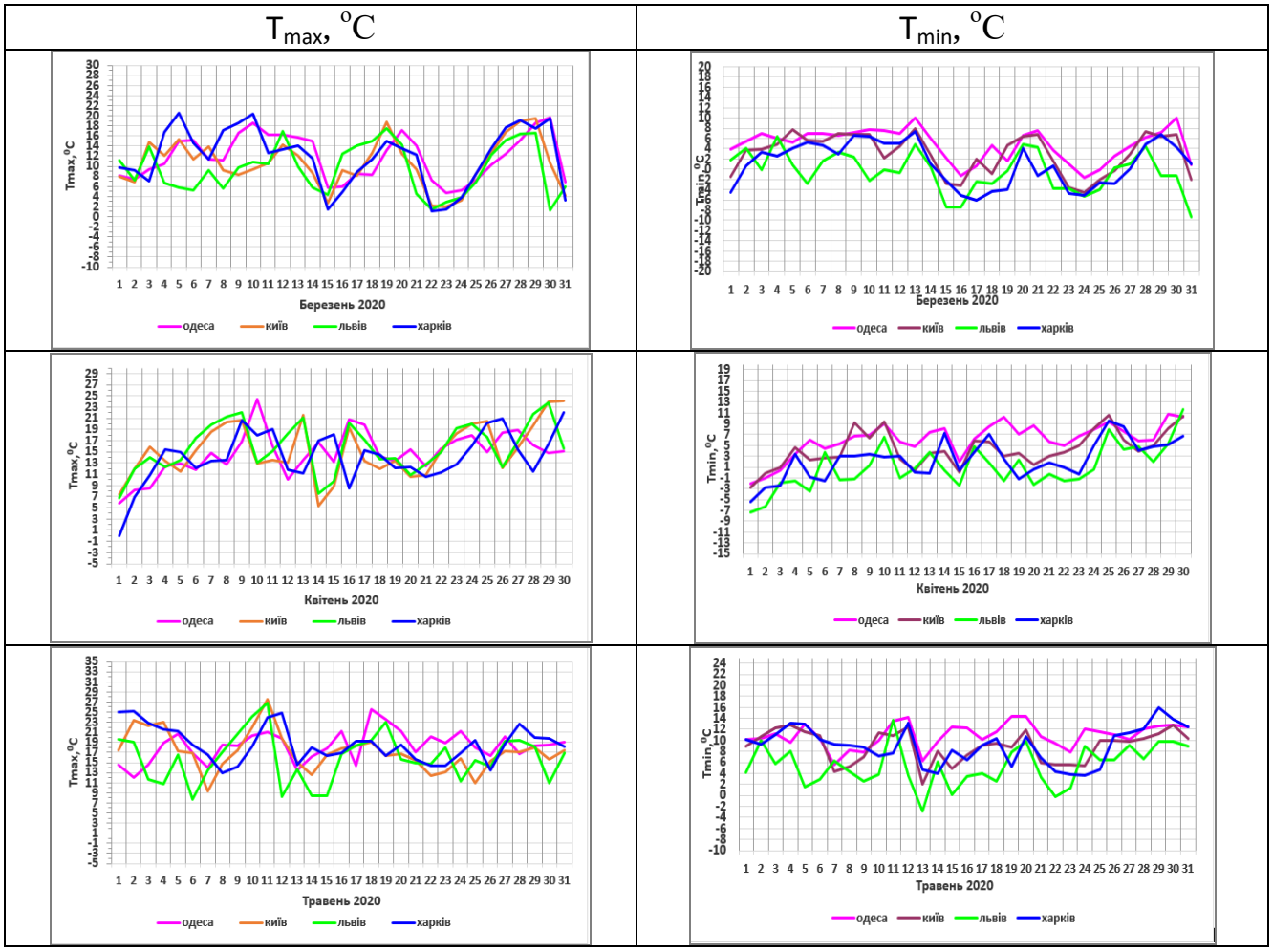



Рисунок 1.5 - Розподіл максимальної ($T_{max}$, °C) та мінімальної ($T_{min}$, °C) температури повітря навесні 2020 р.

В травні 2020 р. найбільші від'ємні відхилення температури характерні для Львова – криві $T_{max}$ та $T_{min}$ розміщені значно нижче від інших станцій. Пікові зростання показників збігаються по всіх станціях. Таким чином, вагомих різниць розподілу $T_{max}$ і $T_{min}$ на досліджуваних станціях немає.

В результаті, весною 2020 р. відмічався аномальний хід температури – березень за показниками 4-х станцій характеризувався суттєвими додатними аномаліями, а недобір тепла розпочався нетипово – у квітні-травні, тому представляє інтерес визначення типу циркуляції березня та травня - рис.1.6 та рис. 1.7.

У березні високі додатні аномалії температури повітря охоплювали весь європейський сектор - перевищення норми на 3-6°C. Такі умови сформувалися у

системі висотного гребеня за даними поля Н500, що поширювався з Азії, приземне баричне поле також виділяє додатну аномалію тиску над Європою.

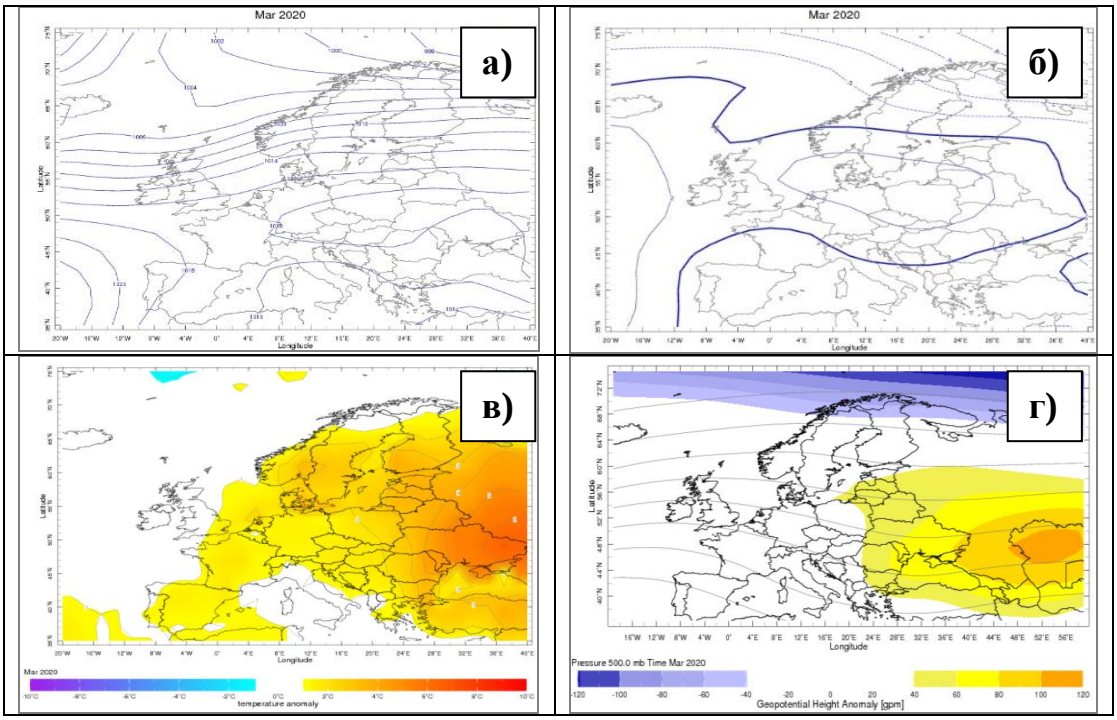



Рисунок 1.6 - Синоптичні карти за березень 2020 р.: (а) – середньомісячний тиск на рівні моря; (б) – середньомісячна аномалія тиску на рівні моря; (в) – середньомісячна аномалія температури повітря; (г) - середньомісячна аномалія поля Н500.

Зниження температури повітря у травні над східною Європою та ЄТР демонструє рис.1.6в, від'ємні аномалії від норми до 1-2°С. Аналіз температурного поля над Україною виділяє періоди з пізніми заморозками. Такі погодні умови сформувалися за від'ємної аномалії Н500, тобто у тропосфері над цією територією знаходилася висотна улоговина, у приземному баричному полі також відмічалося поле низького тиску – рис.1.7а-б.

Порівняльний аналіз температурних полів влітку 2020 р. (рис. 1.8) виявив, що у червні розподіл максимальної температури вказує на збіжність знаків аномалії для усіх станцій особливо у першій половині місяця, наприкінці місяця зростає амплітуда відхилень на різних станціях. Так, знаки аномалій чітко співпадають для Києва та Харкова, а Львів має найбільші від'ємні відхилення. У

ході $T_{min}$ простежується подібність для всіх станцій, що виразно демонструють пучки кривих. У червні $T_{max}$ має більший розкид у першій половині місяця, а надалі криві різних метеостанцій практично ідентичні, знову у Львові від'ємні аномалії найбільші. Криві розподілу $T_{min}$ за липень мають більшу амплітуду. Найвищі показники мінімумів спостерігаються в Одесі, найнижчі - у Львові. У ході максимальної температури за серпень найбільші перевищення норми належать Одесі, а Львів має більш згладжений хід. Мінімальна серпнева температура повітря виділяє чітку подібність кривих для станцій, але Одеса виділяється значно вищими мінімумами. Зауважимо, що осереднені дані температури повітря за літні місяці не виділяють суттєвих аномалій, проте, всі вони є додатними.

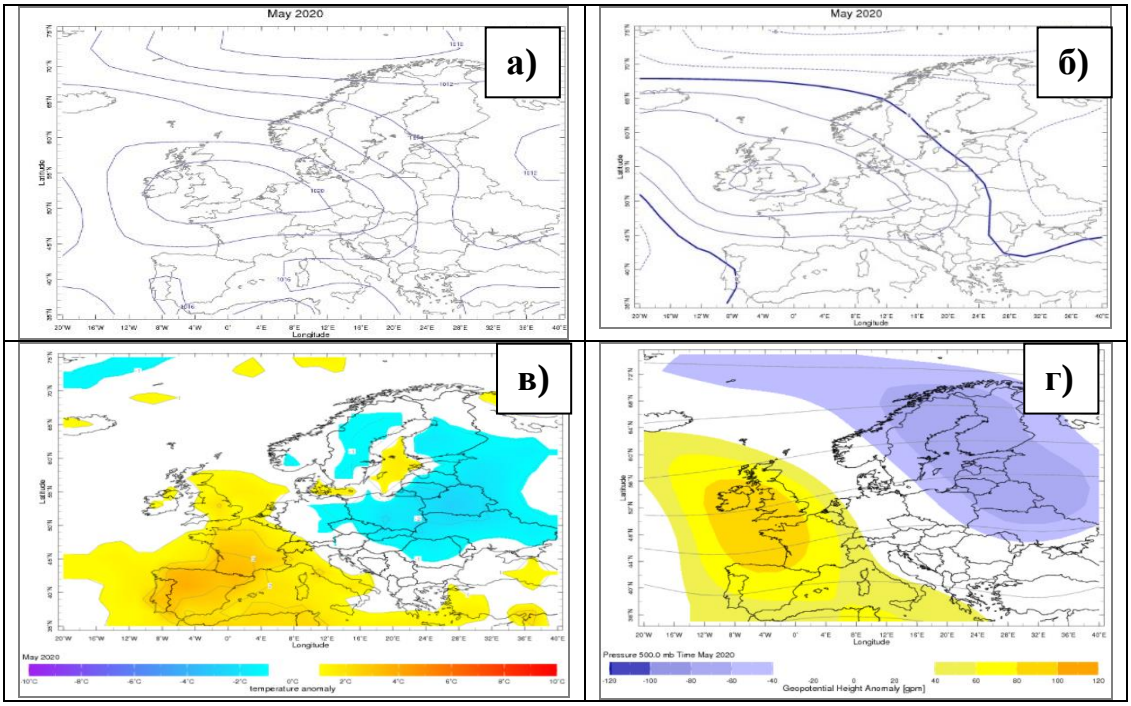



Рисунок 1.7 - Синоптичні карти за травень 2020 р.: (а) – середньомісячний тиск на рівні моря; (б) – середньомісячна аномалія тиску на рівні моря; (в) – середньомісячна аномалія температури повітря; (г) - середньомісячна аномалія поля Н500.

Вищевикладений аналіз показав, що за відібраними метеостанціями хоча в окремі дні відмічалися значні аномалії максимальної та мінімальної температу-

ри, знак їх змінювався, разом з тим, часто температура була близька до норми. В результаті, за літо 2020 р. (рис. 1.8) чітких циркуляційних аномалій не виділено.

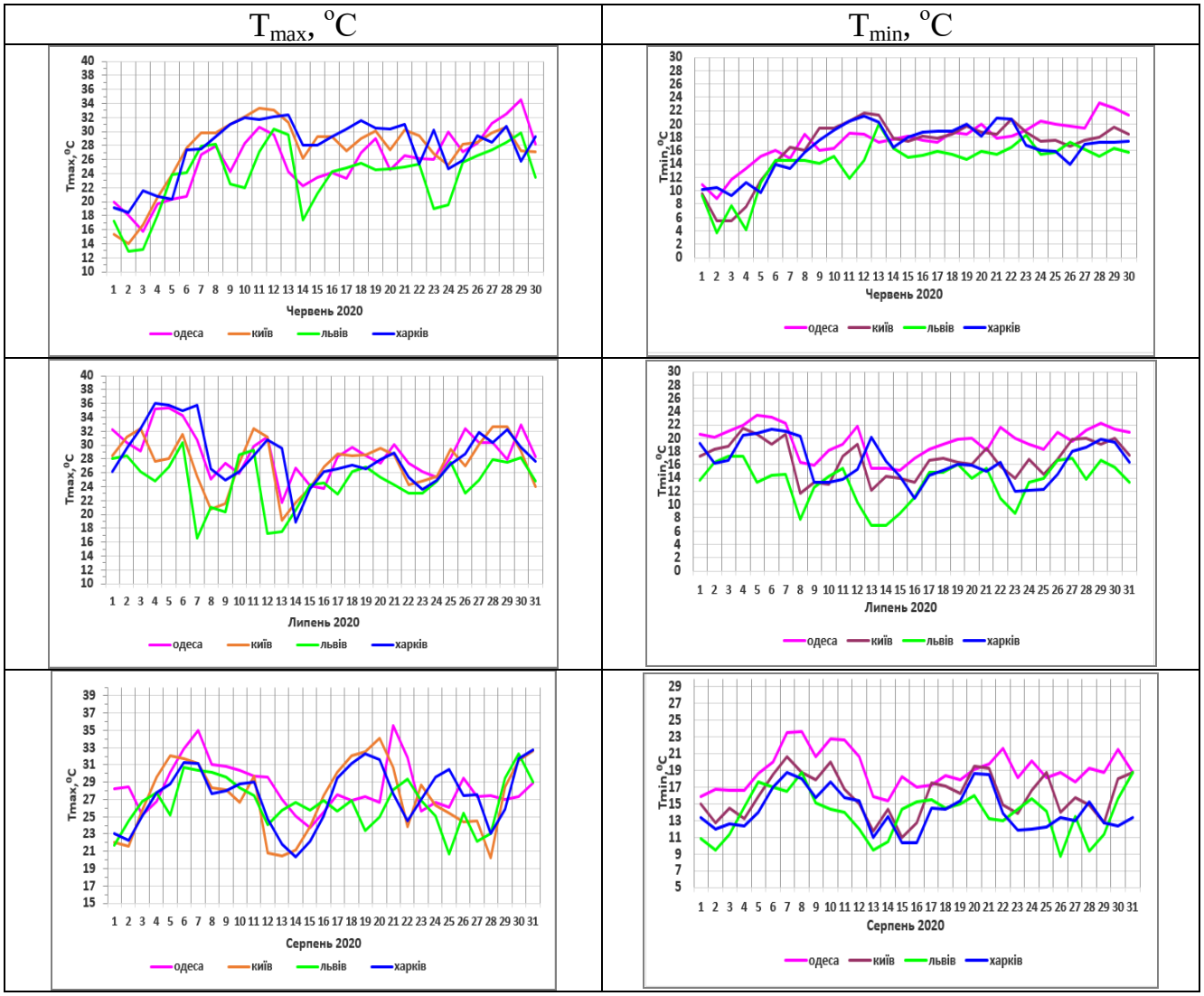



Рисунок 1.8 - Розподіл максимальної ($T_{max}$, °C) та мінімальної ($T_{min}$, °C) температури повітря влітку 2020 р.

Надалі проаналізуємо температурні показники восени 2020 р (рис.1.9). У вересні криві ходу $T_{max}$ здебільшого співпадають для Києва, Одеси та Харкова, а от Львів іноді має зворотний знак аномалії температури та істотно нижчі показники на початку та у кінці місяця. Більш згладжений хід максимумів спостерігається в Одесі. А у ході $T_{min}$ Одеса має вже суттєво вищі відмітки, Львів знову в окремі дні різниться за знаком аномалії температури.

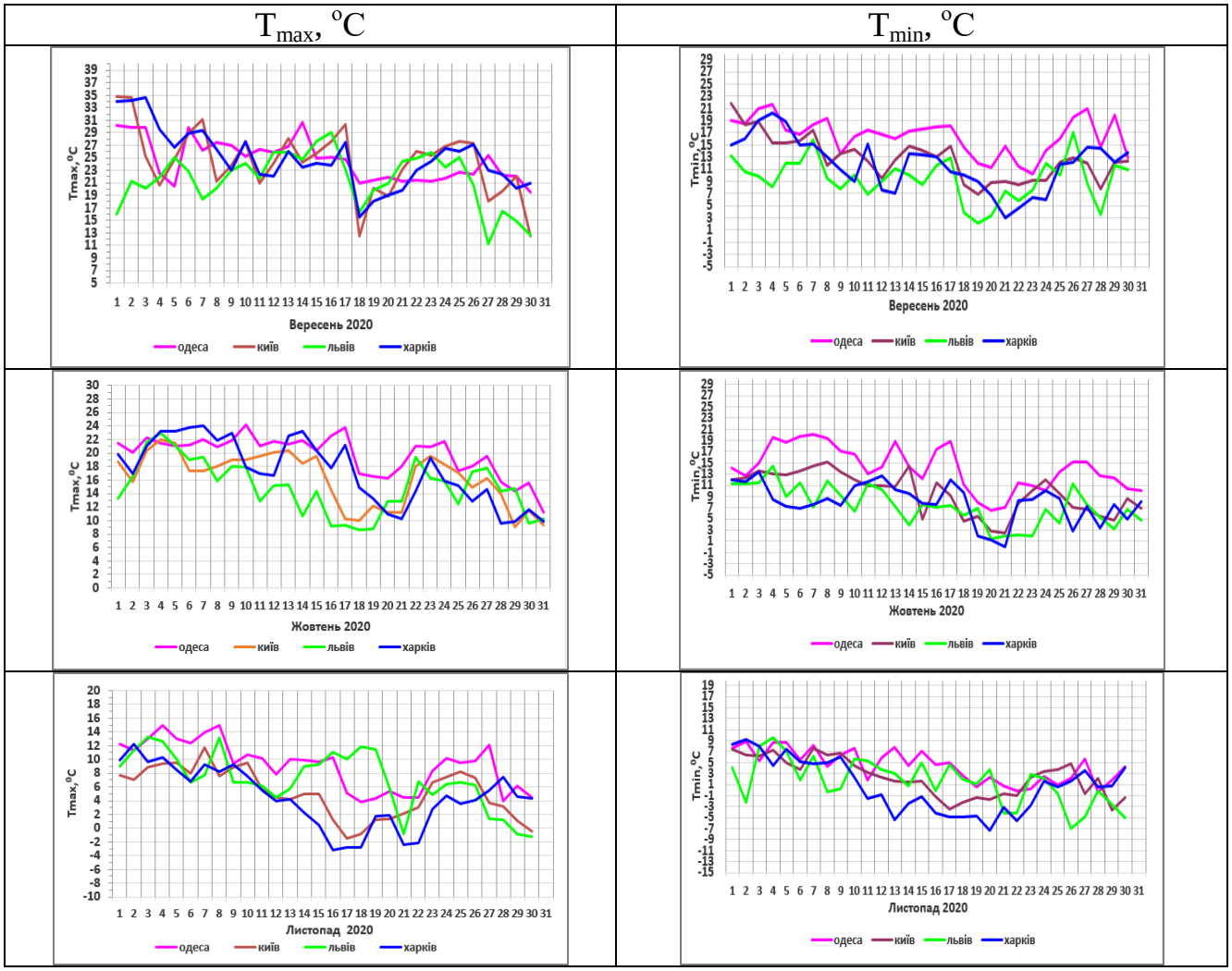



Рисунок 1.9 - Розподіл максимальної ($T_{max}$, °C) та мінімальної ($T_{min}$, °C) температури повітря восени 2020 р.

Криві ходу $T_{min}$ і $T_{max}$ в жовтні мають суттєві відмінності. Показники максимальної і мінімальної температури в Одесі є вищими серед всіх станцій, що характеризується додатними аномаліями, особливо максимумів. Найбільші від'ємні відхилення максимальної температури характерні для Львова – крива розміщена значно нижче до другої декади місяця. У ході мінімальної температури часто найбільші від'ємні аномалії типові у Харкові. В розподілі максимальної температури за листопад знаки аномалії для усіх станцій здебільшого співпадають, особливо у першій декаді. Надалі амплітуда коливань $T_{max}$ є різною: найвищі максимуму типові для Одеси, а найнижчі – для Харкова. Хід $T_{min}$ на станціях практично співпадає за знаком аномалії та амплітудою. Найбільші зниження мінімальної температури - у Харкові протягом другої декади.

Таким чином, найнижчі осінні $T_{max}$ і $T_{min}$ спостерігаються в Харкові та Львові, а Одеса характеризується вищими температурами. Аномально теплим жовтень 2020 р. виявився для центральної, північної, східної Європи, Скандинавії, ЄТР, Туреччини – рис.1.10б. Відхилення середньомісячної температури від норми для України становили до 5ºС. Приземне поле тиску характеризується поширенням улоговини ісландського мінімуму до Європи, виділяється від'ємна аномалія приземного тиску – адвекція тепла у передній частині системи низького тиску.

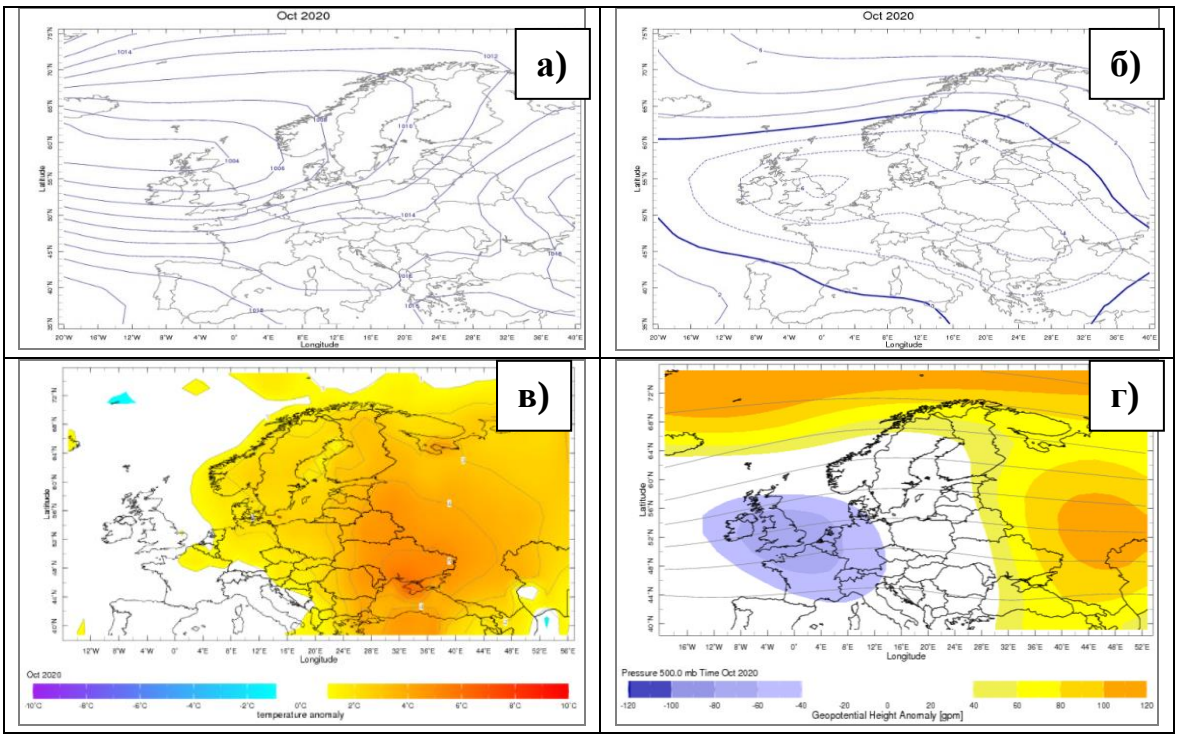



Рисунок 1.10 - Синоптичні карти за жовтень 2020 р.: (а) – середньомісячний тиск на рівні моря; (б) – середньомісячна аномалія тиску на рівні моря; (в) – середньомісячна аномалія температури повітря; (г) - середньомісячна аномалія поля Н500.

У тропосфері захід та північний захід України характеризується стандартними значеннями Н500, а решта території перебуває під впливом додатної аномалії Н500, при поширенні гребеня зі сходу. Антициклон розміщується над півднем східноєвропейської рівнини - рис.1.10г.

# 2 НЕБЕЗПЕЧНІ КОНВЕКТИВНІ ЯВИЩА НА ПІВДНІ УКРАЇНИ

## 2.1 Просторово-часовий розподіл смерчів та шквалів у Північно-Західному Причорномор'ї у 2006-2020 рр.

Особливості географічного положення півдня України, синоптичних процесів і різноманітність кліматичних умов сприяють частому виникненню небезпечних конвективних явищ (НКЯ) і створюють надзвичайну складність розподілу їх у просторі та часі. До НКЯ відносяться такі метеорологічні явища, як шквал, град, грози, зливи та смерч. За останні роки у зв'язку зі значними змінами клімату частота виникнення цих явищ збільшилася [7, 13-15, 62-64]. В окремих випадках вони мають катастрофічний характер та завдають значних збитків економіці, інфраструктурі та населенню. Небезпечні конвективні явища , зазвичай, спостерігаються у комплексі, що значно підсилює їх негативний вплив: зливові дощі супроводжуються шквалом, грозою та градом.

Частота утворення НКЯ є однією із індикаторів клімату та найчастіше розподіляється нерівномірно по регіону, особливо у випадку наявності значних неоднорідностей підстильної поверхні (гірські масиви, морське узбережжя, великі водойми тощо) [7, 14, 59, 65]. Стихійні метеорологічні явища, які пов'язані з конвективної діяльністю характеризуються значною мінливістю та дискретністю у просторі та часі, що ускладнює їх вивчення [9, 66-68] та прогнозування.

Таким чином, характеристика сучасного просторово-часового розподілу смерчів та шквалів над Північно-Західним Причорномор'ям за 2006–2020 рр., циркуляційних та термодинамічних умов їх виникнення на прикладі Одеської, Миколаївської та Херсонської областей э актуальною та може сприяти підвищенню метеорологічного обслуговування регіону.

На початку 2019 року була введена у дію Українським гідрометеорологічним центром (УкрГМЦ) нова «Настанова з метеорологічного прогнозування» [69], де впроваджувалися нові поняття і критерії метеорологічних явищ та вве-

дені рівні їх небезпечності. Отже, стихійні метеорологічні явища II рівня небезпечності (СМЯ 2) – це явища погоди, які за кількісними показниками, тривалістю та територією розповсюдження несуть загрозу для населення та порушують функціонування господарського комплексу країни. Стихійні метеорологічні явища III рівня небезпечності (СМЯ 3) – це явища погоди, які за кількісними показниками, тривалістю та територією розповсюдження створюють загрозу життю людей на значних територіях, призводять до масштабних пошкоджень об'єктів господарського комплексу країни та завдають шкоди довкіллю.

Смерч (торнадо, тромб) – це сильний маломасштабний вихор під хмарами з приблизно вертикальною, але часто зігнутою віссю. Найбільш характерні видимі прояви смерчу: материнська (купчасто-дощова) хмара, звідки смерч починається; вихор (стрімкий круговий рух повітря) та підстильна поверхня землі або води, якої в більшості випадків торкається смерч. [65, 66]. Смерч будь-якої тривалості відноситься до стихійних метеорологічних явищ III рівня небезпечності (СМЯ 3) через можливі руйнівні наслідки [69].

Шквал - це різке короткочасне посилення вітру, що супроводжується змінами його напрямку і являє собою вихор з горизонтальною віссю. Швидкість вітру при шквалі значно більша, ніж градієнтна і може досягати 20-40 м/с [65, 66]. За визначенням ВМО (1962) - це збільшення швидкості вітру більше ніж на 8 м/с протягом декількох (від 3 до 20) секунд зі збереженням мінімальної швидкості вітру 11 м/с протягом однієї хвилини. Шквали досягають градації небезпечних явищ погоди (НЯ), коли швидкість вітру досягає 25 м/с і більше, нерідко завдають величезної шкоди, а іноді призводять до загибелі людей.

Згідно [69] до критеріїв швидкості вітру при шквалі виділяють:

- НМЯ (небезпечні метеорологічні явища) I рівня небезпеки – шквал 15-24 м/с;
- СМЯ (стихійні метеорологічні явища) II рівня небезпеки – сильний шквал 25-34 м/с;
- СМЯ III рівня небезпеки – надзвичайний шквал ≥ 35 м/с.

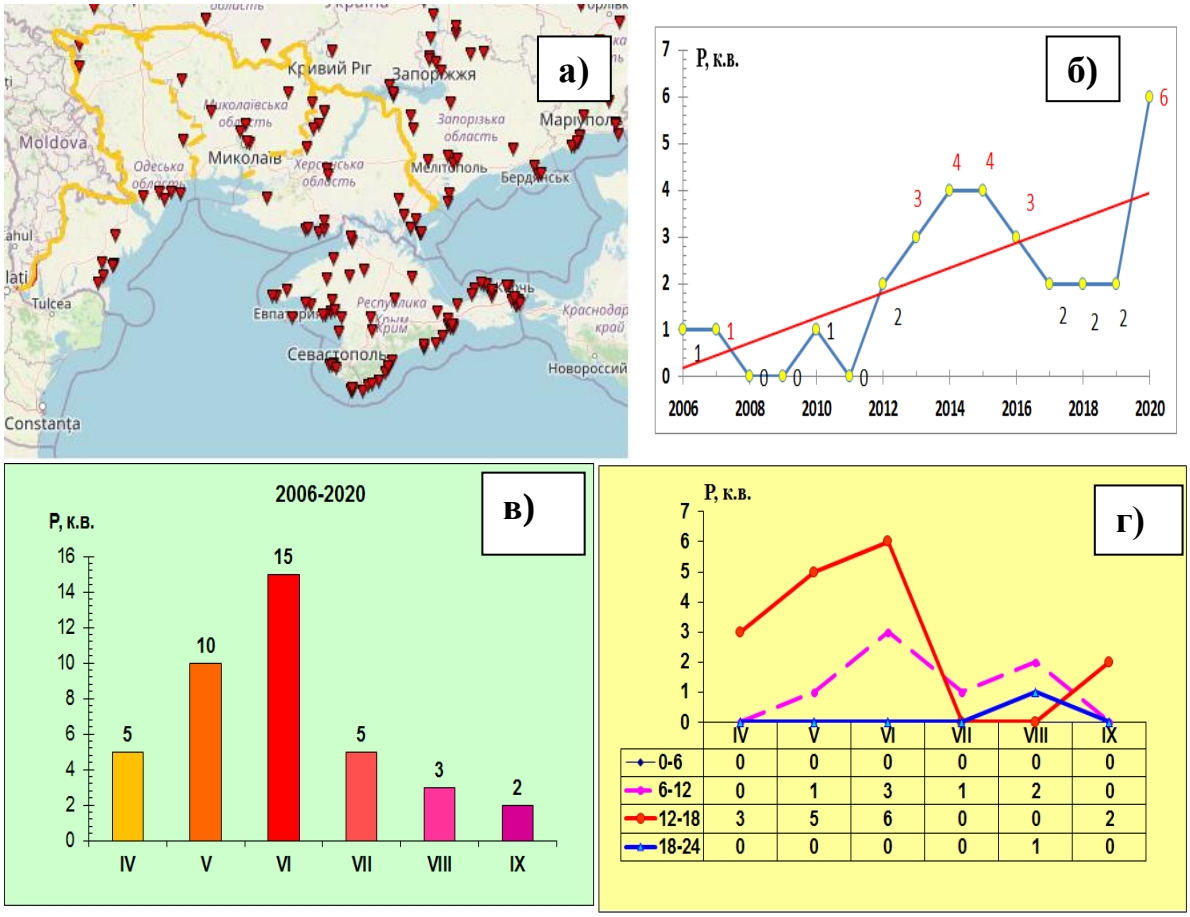
В якості джерел вихідної інформації для дослідження використовувалися дані метеорологічних спостережень над станціями України (штормові оповіщення у коді WAREP з пакету АРМСин) та інтерактивна база даних сайту Європейської лабораторії сильних штормів (European Severe Storms Laboratory ESSL) [21], всі випадки на вказаному ресурсі мали статус QC1, тобто були підтверджені фото- та відеоматеріалами, але не були зафіксовані на метеорологічних станціях (QC2).

В результаті роботи з вихідним матеріалом виявлено 40 випадків виникнення смерчів (рис. 1а) над Північно-Західним Причорномор'ям з 2006 по 2020 рр., які спостерігалися над Одеською, Миколаївською і Херсонською областями: 14, 7 та 19 випадків за період дослідження. Причому, з року у рік кількість вихорів поступово зростала, як і над всією Україною [64].

Як видно з рис. 1б у 2006-2020 рр. кількість смерчів над Україною становила від 1 до 6 випадків на рік, тобто у середньому 2,1 випадки. Найчастіше смерчі (6 випадків) спостерігалися у 2020 р., а найменш за період, лише по 1 вихорю, виявилося у 2006, 2007 та 2012 рр., а у 2008, 2009 та 2011 рр. взагалі не було зафіксовано жодного смерчу. Характер міжрічної мінливості повторюваності смерчів дозволив зробити висновок про зростання кількості смерчів з 2006 по 2020 рр., але складно розрізнити внесок природних та соціальних чинників. Тобто, свою частку в збільшення кількості зареєстрованих смерчів вносить бурхливий розвиток за останні роки соціальних мереж і наявності у населення можливості якісного фотографування подій та миттєвого розповсюдження знімків.

Більшість смерчів (рис. 2.1в) над регіоном (63 %) виникала у червні, також вони активно утворювалися у травні – 42%. З графіка добового ходу видно, що найчастіше смерчі виникали у денні години, а найрідше вони спостерігалися у нічний час.

В залежності від області помітно змінювався сезонний хід смерчеутворення (рис. 2.2), а саме у Миколаївській області найбільше вихорів утворилося у червні (43 %) та жодного вихорю не відмічалося у липні. У Херсонській області також смерчі переважно відмічалися у червні, що склало 44%, значна кількість




| | IV | V | VI | VII | VIII | IX |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0-6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6-12 | 0 | 1 | 3 | 1 | 2 | 0 |
| 12-18 | 3 | 5 | 6 | 0 | 0 | 2 |
| 18-24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

Рисунок 2.1 - Карта розповсюдження смерчів у Північно-Західному Причорномор'ї (а) та сезонна (б) і добова (в) активність їх утворювання у 2006-2020 рр.

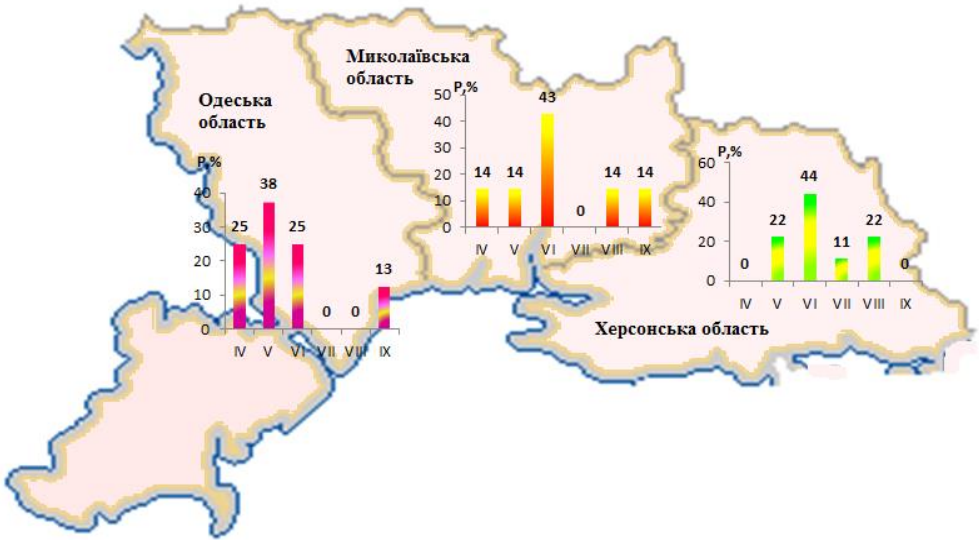



Рисунок 2.2 - Річний хід активності смерчеутворення над Одеською, Миколаївською та Херсонською областями у 2006-2020 рр.

вихорів спостеріалася у травні та серпні (по 22%), вдвічі менше у липні (11%), а у квітні та вересні не було жодного вихорю. Над Одеською областю найчастіше смерчі виникали у травні (38%), у квітні та червні їх повторюваність становила по 25%. У найспекотніші місяці літа (липень та серпень) вихорі не відмічалися взагалі). Виявилося, що за 14 років смерчі у липні спостерігалися лише двічі над Херсонщиною - 3 липня 2013 р. та 26 липня 2017 р. у серпні кількість вихорів зросла до трьох.

Отже, над південним заходом України смерчі частіше виникали з 2006 по 2020 рр. над Одещиною у післяполудневі години. Над всім регіоном більшість вихорів спостерігалося у травні та червні, квітень та вересень характеризувалися помірною активністю їх формування.

У [15, 59, 65], наведено узагальнення стихійних метеорологічних явищ, зокрема шквалу, на території України за період 1986–2005 рр., тому для визначення динаміки шквалоутворення в Одеській, Миколаївській та Херсонській областях та вивчення змін, які виникли за останні п’ятнадцять років, був обраний наступний період з 2006 по 2020 роки.

Слід відмітити, що за цей період відбулося збільшення кількості шквалів на території  Північно-Західного Причорномор'я порівняно з попередніми роками. Якщо за п'ятнадцять років з 1991 по 2005 рр. за даними [65] спостерігалось в середньому 28 випадків шквалу, то за 2006–2020 рр. за даними штормових попереджень ГМЦ ЧАМ – 261 (рис. 2.3).

Згідно [59, 60] на південному заході Україні шквали фіксуються майже щорічно у тій чи іншій області, однак у Херсонській області у 2006-2008, 2015 і 2019 рр. шквалові ситуації не виникали. Також не спостерігалися шквали в Миколаївській області у 2017 та 2019 роках. Найчастіше шквал відзначався в Одеській області – 190 випадків (72,8 %), в Миколаївській області його кількість склала – 39 (15,2 %), а в Херсонській – 32 (12%) випадки, відповідно.

За картою розподілу повторюваності шквалів по території Північно-Західного Причорномор'я можна виділити шквалонебезпечні райони (пункти) для кожної області (рис.2.4). В Одеській це – Білгород-Дністровський район,

Черноморськ, Сербка та Любашівка. На Миколаївщині - Баштанський, Миколаївський райони та Первомайськ на півночі області. У Херсонської області це – Нижні Сірогози у Генічеському районі та Херсон.

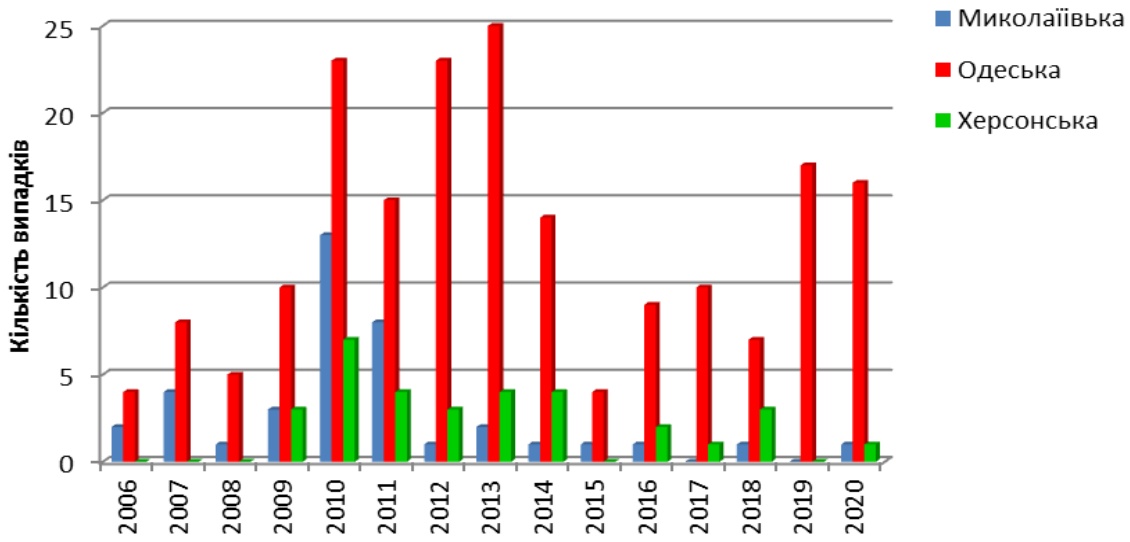



Рисунок 2.3 - Кількість випадків шквалу на території Миколаївської, Одеської та Херсонської областей. 2006-2020 рр.

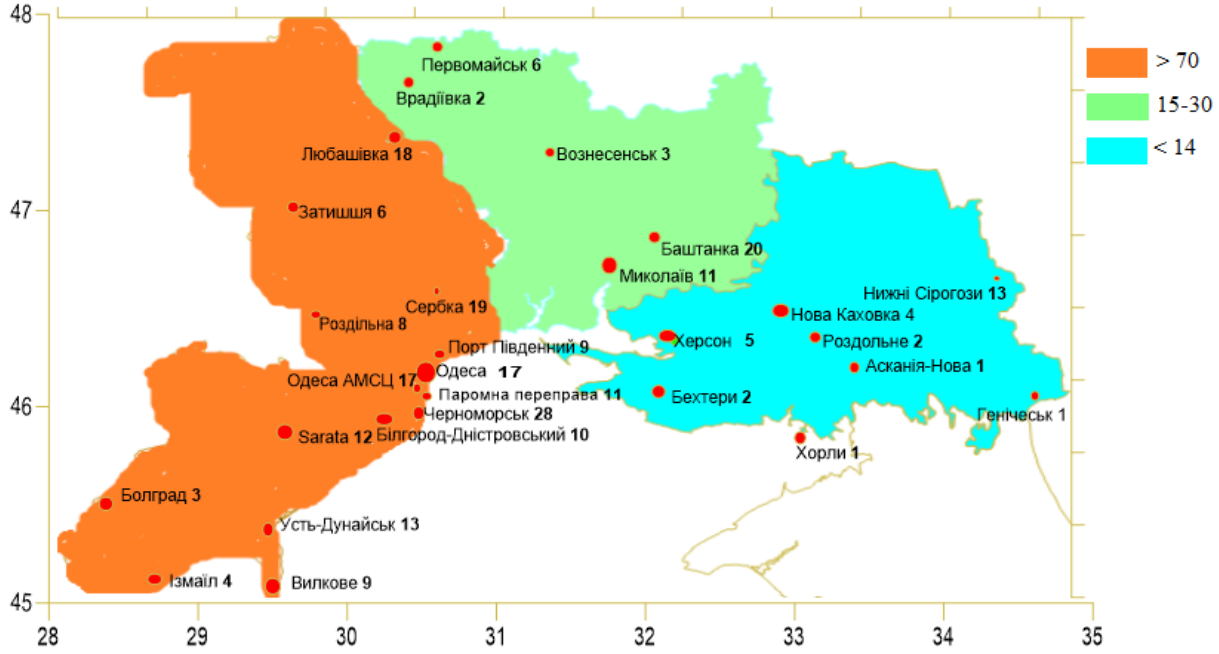



Рисунок 2.4 - Карта розподілу повторюваності (%) та кількість випадків шквалу за 2006-2020 рр. на території Північно-Західного Причорномор'я.

Найбільша кількість шквалів в усіх трьох областях спостерігалася у 2010 році (43), але максимальну кількість шквалових ситуацій за рік відзначено в 2013 р. в Одеській області - 25 випадків. Мінімум повторюваності шквалів припадає на Херсонщину (рис. 2.5), де максимальні річні показники в досліджуваний період не перевищували 7 випадків (2010 р.). У Миколаївській області частота шквалів змінювалася від 1 до 13 випадків у 2010 р.

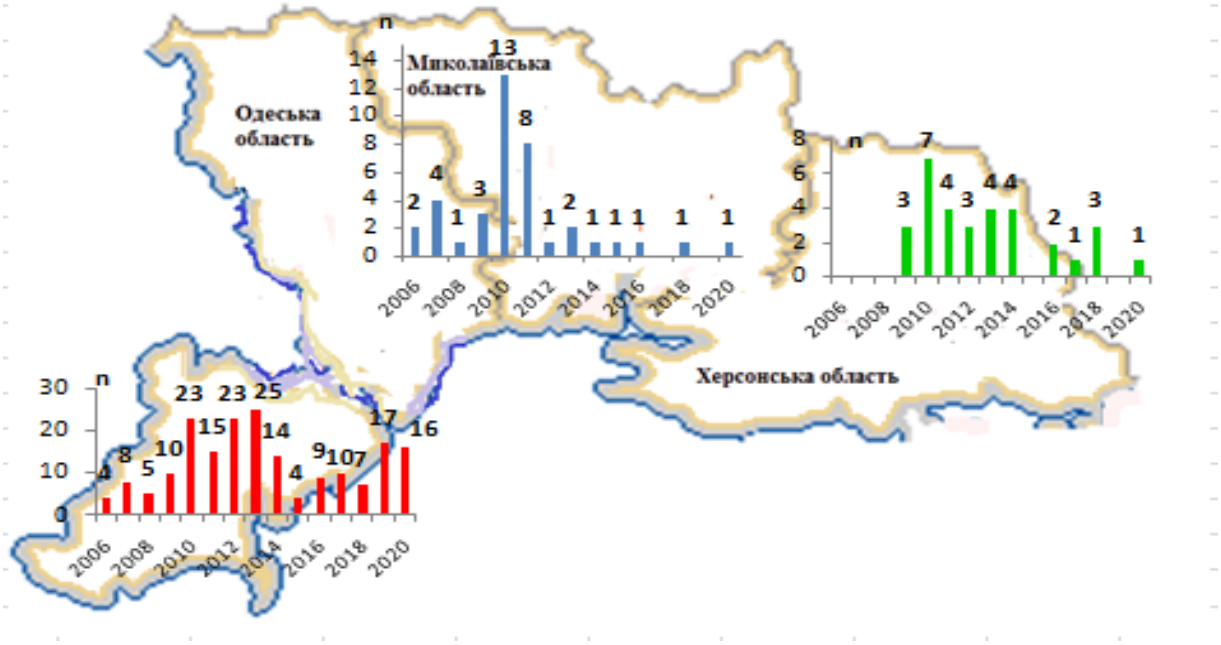



Рисунок 2.5 - Кількість випадків шквалів на території Миколаївської, Одеської та Херсонської областей у 2006-2020 рр.

Залежно від синоптичної ситуації, як макро- так і мезомасштаба шквали можуть виникати впродовж року, але найбільш сприятливими умовами для їх формування характеризується тепле півріччя з квітня по жовтень з максимумом влітку. На території Північно-Західного Причорномор'я найчастіше вони відмічалися у липні з повторюваністю 38,3 %, дещо менше у червні -32 %, але на Херсонщині шквали частіше відзначалися у червні (13 випадків). Мінімальна повторюваність шквалоутворення за розглянутий період у теплу пору року спостерігалася у серпні – 15,5 %. Весною найбільша кількість була у травні – 11,5%, з яких 77% була в Одеській області (рис. 2.6). У вересні шквали фіксува-

лися в Миколаївської та Одеської областях, а у жовтні відзначався лише один шквал на Одещині.

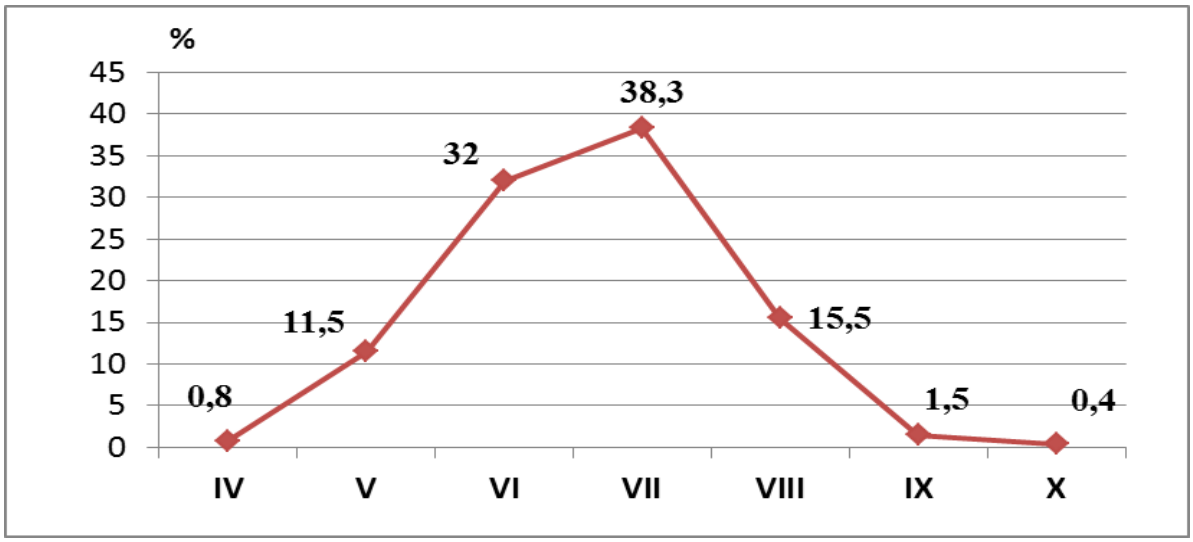



Рисунок. 2.6 - Повторюваність шквалу (%) за теплий період 2006-2020 рр.

Шквал - це короткочасне явище, яке зазвичай триває від 6 до 12 хвилин, що для території Північно-Західного Причорномор'я становить від 25,7 до 28,1 % (рис. 2.5). Шквал близько 15 хв. відзначався у 18,7 % випадків (рис. 2.7).

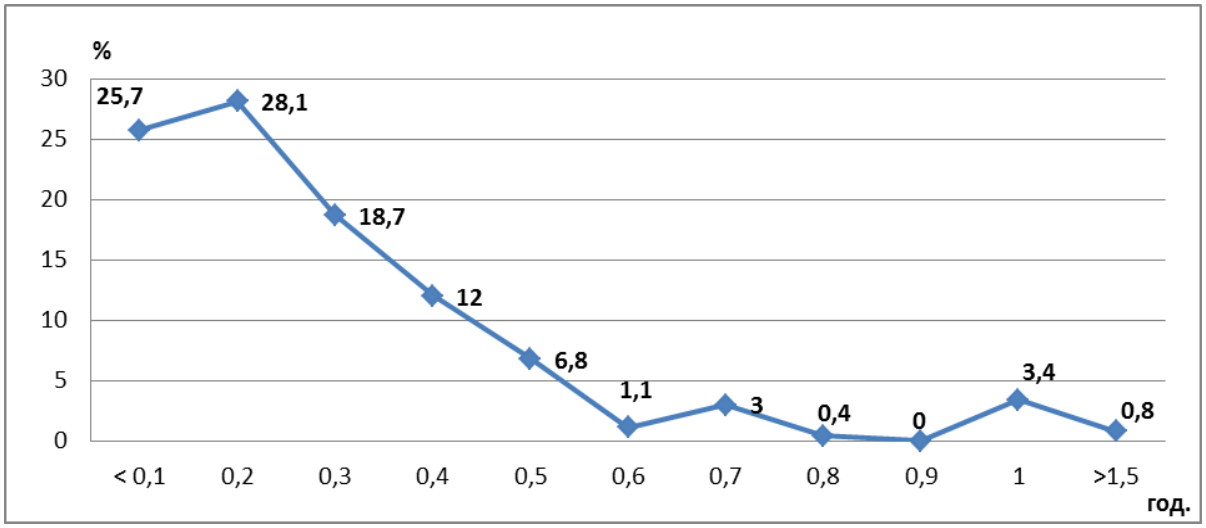



Рисунок. 2.7 - Повторюваність шквалу різної тривалості

Максимальна тривалість шквалу може коливатися в межах 2-3 годин. Шквал такої тривалості зафіксований 28 липня 2010 р. на території Миколаївської області (2,15 год.) у Баштанці. Швидкість вітру становила 20 м/с. У Херсон-

ської області на станції Нижні Сірогози 23 червня 2010 р. він тривав 2,20 год. з інтенсивністю 15-20 м/с. В Одеської області (рис. 2.8) максимальна тривалість шквалу склала 1,25 годину (Паромна Переправа), 16 травня 2010 р., а швидкість вітру досягала 20 м/с. На Миколаївщині частіше спостерігалися шквали тривалістю близько 15 хвилин (23%), в Одеській області - 6 хвилин (29%), а на Херсонщині - 12 хвилин (35%).

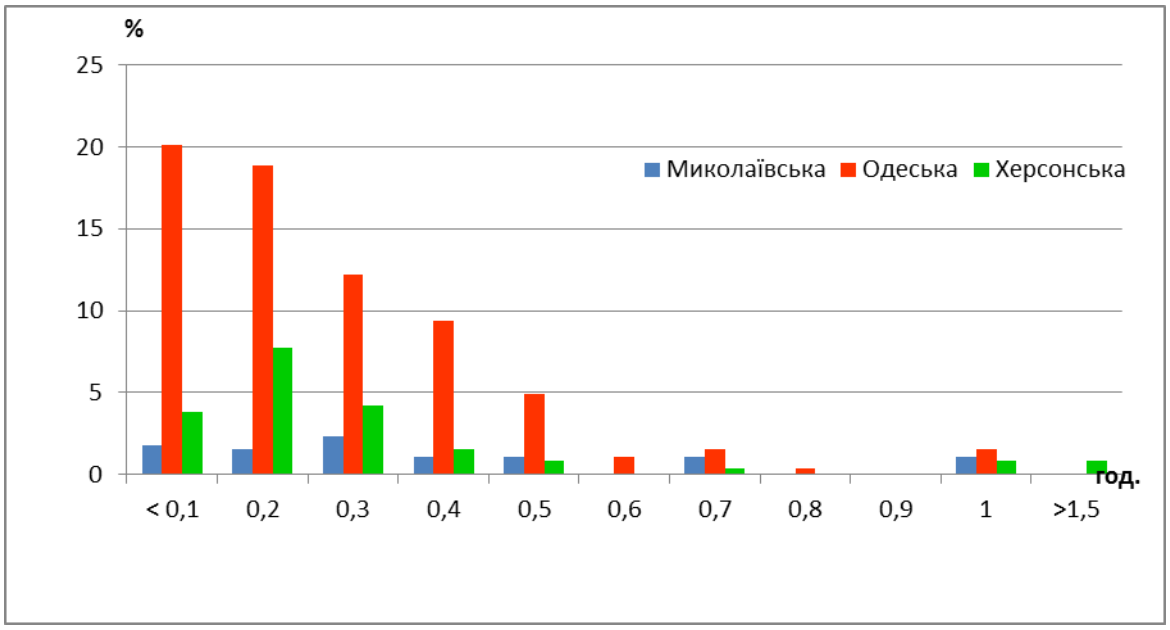



Рисунок 2.8 - Повторюваність шквалу різної тривалості на території Миколаївської, Одеської та Херсонської областей у 2006-2020 рр.

При дослідженні процесів шквалоутворення велике значення мають дані про максимальну швидкість вітру під час шквалу, які визначають ступінь його небезпечності. Цей параметр головним чином залежить від інтенсивності циркуляційних процесів, які формують шквалову ситуацію в регіоні.

Шквали зі швидкістю до 15 м/с на території південного-заходу України спостерігалися в 15% всіх випадків. Найбільша повторюваність шквалів припадала на градацію 15-24 м/с, тобто це шквали першого рівня небезпеки (НМЯ I) - 81% (рис. 2.9). Небезпечні метеорологічні явища II і III рівня спостерігалися досить рідко, всього в 4% випадків. З них лише два епізоди відзначені з максимальною швидкістю понад 35 м/с, це Генічеськ (Херсонської обл.) 29.06.2013 р. о

12:28 - шквал з грозою, швидкість вітру 40 м/с, та метеостанція Одеса АМСЦ 3 квітня 2015 року – 37 м/с. Зазвичай, такі руйнівні швидкості вітру спостерігаються на холодних фронтах. Середня швидкість вітру екстремальних шквалів на території Одещини становила від 18 до 22 м/с. Для Миколаївської та Херсонської областей цей показник варіював від 16 до 18 м/с (рис. 2.10).

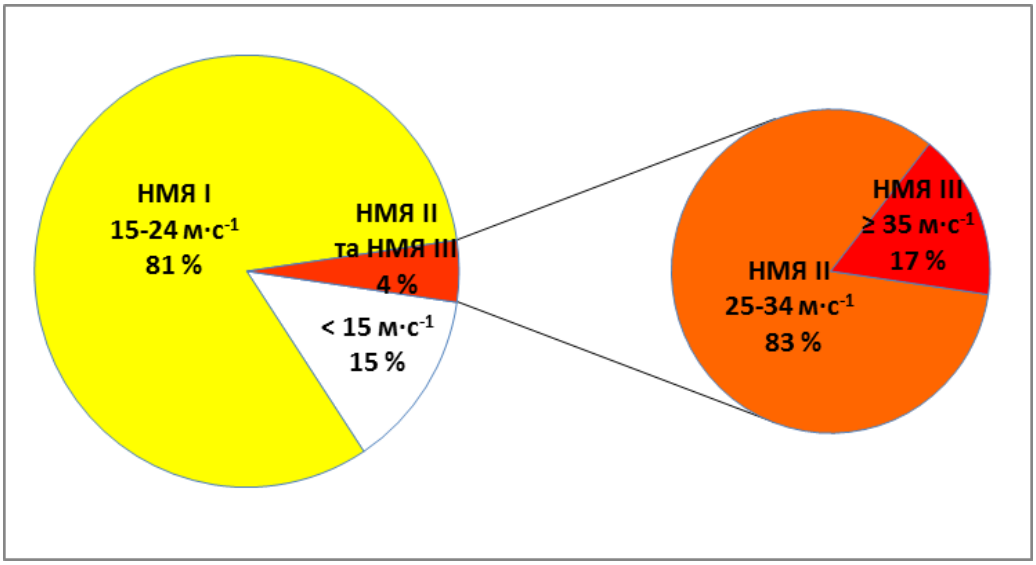



Рисунок 2.9 - Повторюваність шквалів на південному заході України різної інтенсивності у 2006-2020 рр. за

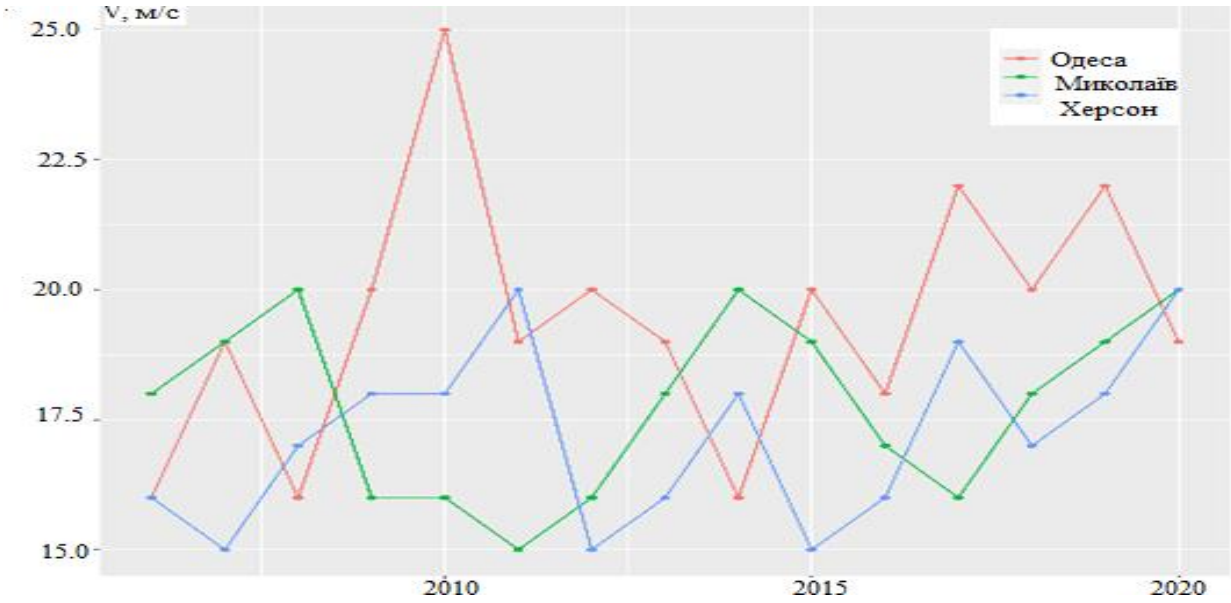



Рисунок 2.10 - Середня інтенсивність шквалу на території Миколаївської, Одеської та Херсонської областей по рокам. 2006-2020 рр.

Отже, у 2006-2020 рр. спостерігається чітка тенденція до зростання кількості випадків зі шквалами різної інтенсивності на всій території Північно-Західного Причорномор'я. Насамперед, це пов'язано зі зміною атмосферної циркуляції, посиленням інтенсивності меридіональних процесів, виходом активних циклонів на південний захід України, що призводить до збільшення баричних та термічних градієнтів і, як наслідок, до зростання швидкості вітру і виникненню шквалів.

## 2.2 Виникнення сильних опадів на станції Херсон за даними метеорологічних спостережень та реаналізу ERA5 у 2005-2021 рр.

За останні десятиріччя глобальні кліматичні зміни проявилися не лише підвищенням середньої температури повітря, але й збільшенням частоти та інтенсивності екстремальних метеорологічних явищ, зокрема надзвичайних опадів [6, 7, 13 15 та ін.]. Сильні та надзвичайні опади впливають фактично на всі сфери життєдіяльності людини та економіки країни через руйнування транспортних комунікацій, пошкодження ліній електромереж, підтоплення промислових споруд та житлових будинків з жертвами серед населення, нерідко паралізуючи життя великого міста або регіону.

Проведено часткове порівняння випадків сильних та надзвичайних опадів, отриманих за даними метеорологічних спостережень станції Херсон за період 2005-2021 рр. [18] з даними реаналізу ERA5 [25]. для точки з координатами міста Херсон (46°38′ пн.ш. і 32°36′ сх.д.) із визначений сучасний режим виникнення сильних опадів та характер атмосферної циркуляції, що сприяв їх посиленню.

В якості вихідних даних для дослідження взяті дані про опади реаналізу ERA5, що були розроблені Європейським центром середньострокових прогнозів (ECMWF) та надані Службою з питань змін клімату Copernicus (Copernicus Climate Change Service) [25]. Вказана модель зарекомендувала себе як надійне

джерело вихідних даних у багаточисленних світових та вітчизняних дослідженнях [5, 13, 15].

У дослідженні використовувався такий параметр, як загальна кількість опадів (мм) – накопичена вода у рідкому та замерзлому стані (дощ, сніг) за певний період часу. Цей параметр містить у собі великомасштабні та конвективні складові опадів. Згідно моделі, великомасштабні опади генеруються за хмарною схемою в інтегрованій системі прогнозування (IFS) ECMWF. Параметри накопичуються  за певний період часу, який залежить від обраного дослідником часового інтервалу у вихідному запиті на завантаження. Для даного реаналізу період накопичення дорівнює 1 годині і більше. Системними одиницями вимірювання є метри, тобто кількість води, рівномірно розподіленої по квадрату сітки.

Отже, були отримані погодинні дані у вузлах регулярної сітки з просторовою роздільною здатністю 0,25°×0,25° для періоду з 2005 по 2021 рр. для точки з координатами м. Херсон. При цьому слід розуміти, що порівняння параметрів моделі із даними спостереження є доволі обмеженими, оскільки фактичні дані є локальними для певної точки простору, а параметри моделі представляють собою осереднені значення за полем сітки.

Дані стандартних восьмистрокових (кожні три години) метеорологічних спостережень на станції Херсон містять інформацію про кількість опадів за 12 год.

Згідно [69] дощ, за який випадає 50 мм і більше за 12 год. і менше, вважається сильним і відноситься до стихійного метеорологічного явища (СМЯ) II рівня небезпечності, яке за кількісними показниками, тривалістю та територією розповсюдження несе загрозу для населення, порушує функціонування господарського комплексу країни. В Україні снігопад стає стихійним явищем погоди (СМЯ II рівня небезпечності), коли за 12 год. і менше випадає більше 20 мм опадів.

Кількість опадів, що сягає 50 мм і більше за 12 год і менше щорічно спостерігається в усіх регіонах України. При чому, найчастіше (за 95-100%-вої ймовірності) сильні дощі спостерігаються в Українських Карпатах [59, 65].

Один раз за 5-10 років вони ймовірні у інших регіонах [59].

Для характеристики режиму утворення сильних опадів на ст. Херсон обраний період з 2005 р. по 2021 р. включно, а у якості вихідної інформації залучені дані метеорологічних спостережень [18]. Виявлено, що за період дослідження спостерігалося лише 18 випадків з інтенсивністю опадів > 30мм/12 год., та тричі інтенсивність перевищувала 50 мм/12 год. (табл. 2.1), тобто опади досягали «помаранчевого» рівня метеорологічної небезпеки згідно [69], спричиняючи СМЯ II. Надзвичайного дощу (> 80мм/12 год.) або надзвичайної зливи (> 50мм/1 год.), тобто СМЯ III, жодного разу не було у Херсоні.

При вивченні того чи іншого метеорологічного явища традиційно проводять аналіз його повторюваності залежно від пори року й доби, певних метеорологічних умов і синоптичних ситуацій. З початку 2005 до грудня 2021 року сильні опади утворювалися лише у тепле півріччя, тобто з квітня по жовтень (рис. 2.11), а значення максимальної інтенсивності опадів холодного півріччя становило від 16 до 25 мм/12 год. У тепле півріччя найсильніші дощі утворювалися у червні та жовтні (62 та 67 мм/12 год.), але у середньому максимальна інтенсивність опадів складала 39,6 мм/12 год. та мінімумом у вересні (31 мм/12 год.).

Порівнюючи кількість днів, коли за 12 год. випадало більш ніж 30 мм опадів, у 1961-1990 рр. (табл. 2) і 2005-2021 (табл. 2.1) виявлено, що в обидва періоди сильні опади не спостерігалися взагалі з листопада по лютий. Але у 1961-1990 рр. одного разу вони утворилися у березні з повною відсутністю у квітні, а у 2005-2021 рр. – навпаки. Найчастіші у 1961-1990 рр. подібні дощі випадали по три рази на 10 років (0,3 у табл. 2.1) у липні та серпні, але за 16-ти річний період дослідження у липні було зареєстровано 6 випадків (рис. 2.12), а у серпні лише два. Отже, кількість сильних дощів суттєво зросла у липні та зменшилася у серпні. Інший максимум сучасного періоду припадав на червень (4 випадки), тоді як у 1961-1990 рр. у цьому місяці був лише один випадок на 10 років (0,1). У вересні та жовтні 1961-1990 рр. сильні опади виникали двічі на 10 років, а у 2005-2021 рр. – по одному разу.

Таблиця 2.1 - Число днів з кількістю опадів більше 30 мм/12 год. на ст. Херсон з 2005 по 2021 рр.

| № | Дата, час | I, мм/12 год. | T, °C | dd, румб | V, м/с | Явище |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 14.08.2005 21:00 | 40 | 20,5 | Пн-Пн-Зх | 1 | Гроза |
| 2 | 21.06.2006 21:00 | 35 | 19,3 | Пн-Сх | 3 | Гроза |
| 3 | 26.07.2007 09:00 | 52 | 20,4 | Пн-Зх | 5 | Гроза |
| 4 | 26.06.2009 21:00 | 62 | 22,1 | Пн | 5 | Гроза |
| 5 | 26.06.2009 15:00 | 43 | 21,1 | Сх | 4 | Гроза |
| 6 | 09.10.2010 21:00 | 67 | 10,6 | Сх | 3 | Гроза |
| 7 | 30.09.2010 21:00 | 31 | 11,3 | Пн-Зх | 3 | Злива |
| 8 | 10.06.2011 21:00 | 30 | 19,5 | Штиль | 0 | Гроза |
| 9 | 13.08.2012 09:00 | 42 | 16,2 | Зх | 2 | Гроза |
| 10 | 04.07.2015 21:00 | 33 | 19,4 | Зх | 2 | Гроза |
| 11 | 28.05.2015 09:00 | 36 | 13,4 | Пн-Зх | 5 | Злива |
| 12 | 29.05.2015 03:00 | 33 | 13,5 | Пн-Зх | 4 | Злива |
| 13 | 20.04.2016 21:00 | 41 | 6,8 | Пн-Пн-Зх | 8 | Гроза |
| 14 | 25.07.2018 21:00 | 30 | 20,9 | Пн-Сх | 1 | Злива |
| 15 | 25.07.2018 15:00 | 30 | 21,1 | Пн | 4 | Гроза |
| 16 | 26.05.2019 21:00 | 30 | 17,4 | Пд-Зх | 2 | Злива |
| 17 | 06.07.2020 21:00 | 33 | 23,5 | Пн | 2 | Гроза |
| 18 | 17.05.2021 09:00 | 45 | 16,5 | Зх | 1 | Гроза |
| 19 | 05.07.2021 09:00 | 32 | 20,2 | Зх | 4 | Гроза |

Таблиця 2.2 - Кількість днів з кількістю опадів більше 30 мм/12 год. на ст. Херсон у 1961-1990 рр. [59]

| Місяць | I | II | III | IV | V | VI |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Кількість днів | | | 0,03 | | 0,1 | 0,1 |
| Місяць | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| Кількість днів | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | | |

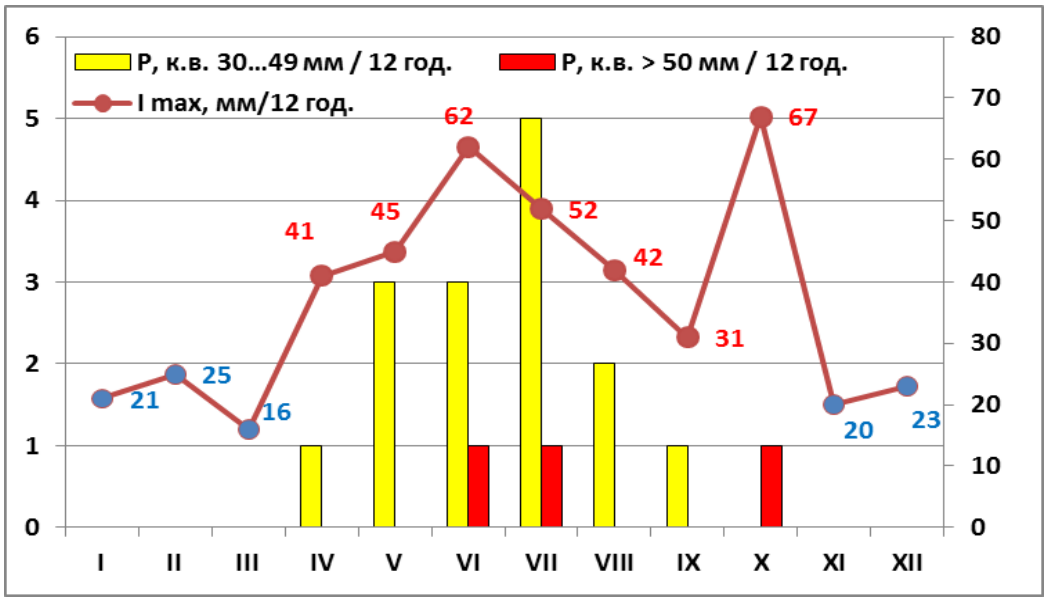



Рисунок 2.11 - Річний хід кількості випадків сильних опадів (з інтенсивністю > 30мм/12 год. та > 50мм/12 год.) та значення максимальної інтенсивності опадів протягом року на ст. Херсон у 2005-2021 рр.

Як видно з рис. 2.12, сильні опади у Херсоні виникали не щорічно, а саме у 2008, 2013, 2014 та 2017 рр. жодного разу інтенсивність опадів не перевищували 30 мм/12 год. Найчастіше вони спостерігалися по одному разу (9 років з 16), по 2 рази сильні опади утворювалися двічі – у 2009, 2010 та 2018 рр., а у 2015 р. було три випадки сильних опадів – 28-29 травня та 4 липня 2015 р.

Більшість сильних опадів (13 випадків або 72 %) супроводжуються грозами, відносно менше гроз спостерігалося сумісно з травневими та вересневими сильними опадами. Сильні опади утворювалися при відносно низькому атмосферному тиску від 998,6 до 1010,6 гПа, а у середньому - 1006,6 гПа (табл. 2.3).

Як видно з рис. 2.13, швидкість вітру біля землі у середньому становила 3,1 м/с коливаючись від штилю (10 червня 2011 р.) до 8 м/с (20 квітня 2016 р.), а переважно вітер посилювався до 2 м/с (4 випадки). Здебільшого, сильні опади у Херсоні спостерігалися при північно-західному вітрі (33 %), та по 17 % виникало при північному та західному напряму. Жодного разу опади не посилювалися при південному та південно-східному вітрі.

Таблиця 3 – Повторюваність (Р, к.в.), інтенсивність (І, мм/12 год.), середні значення атмосферного тиску та швидкості вітру підчас сильних опадів на ст. Херсон

| Місяць | Р., к.в. | І ср, мм/12 год. | І макс, мм/12 год. | Р, гПа | V, м/с |
|---|---|---|---|---|---|
| квітень | 1 | 41 | 41 | 1010,6 | 8 |
| травень | 4 | 36 | 45 | 998,6 | 3 |
| червень | 4 | 42 | 62 | 1001,2 | 3 |
| липень | 6 | 35 | 52 | 1009,3 | 3 |
| серпень | 2 | 41 | 42 | 1007,9 | 3 |
| вересень | 1 | 31 | 31 | 1008,4 | 3 |
| жовтень | 1 | 67 | 67 | 1010,5 | 3 |

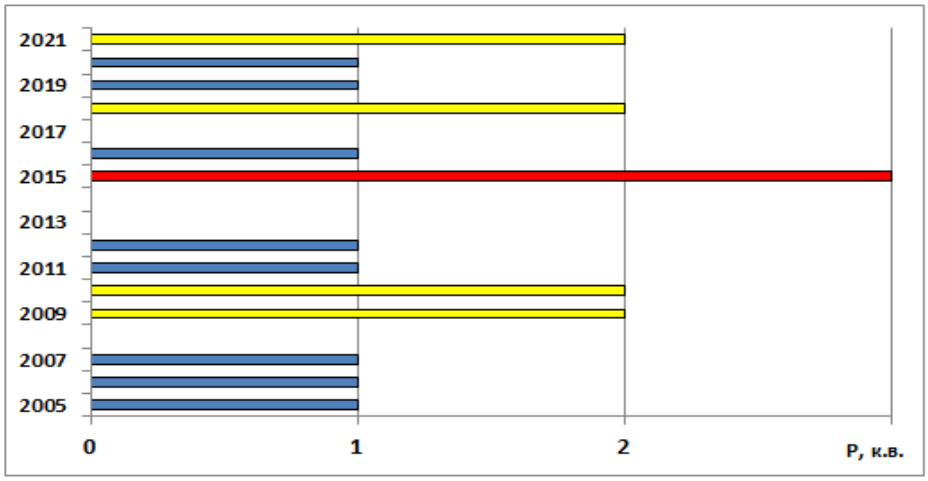



Рисунок 2.12 – Розподіл кількості випадків сильних опадів по місяцям та рокам на ст. Херсон з лютого 2005 р. по травень 2021 р.

При помітному зниженні [11] середньорічної кількості опадів у сучасному періоду на станції Херсон виявлено зростання кількості випадків опадів з інтенсивністю більш ніж 30 мм/12 год.

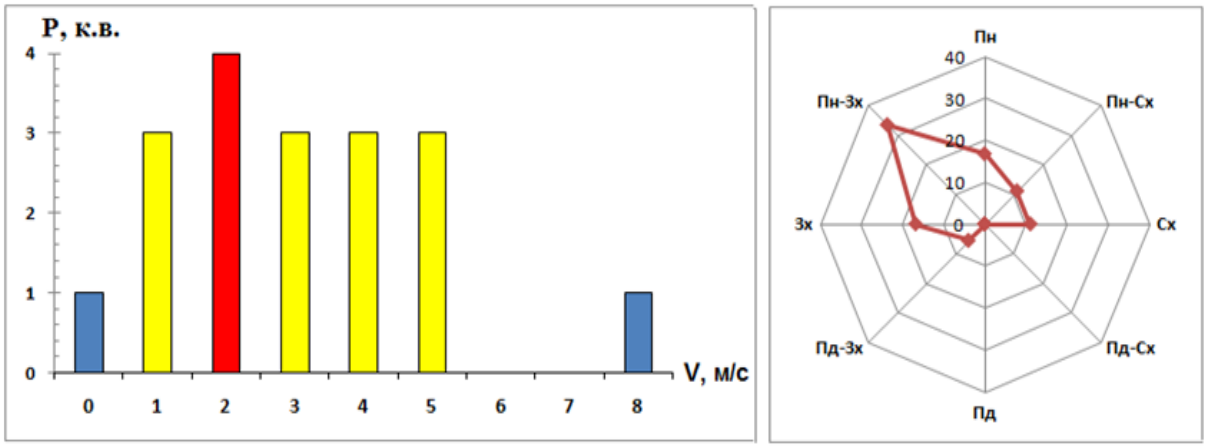



Рисунок 2.13 – Гістограма швидкості вітру та розподіл вітру за напрямками підчас сильних опадів у Херсоні, 2005-2021 рр.

Для порівняння випадків сильних та надзвичайних опадів, отриманих за даними спостережень з результатом реаналізу ERA5 за період 2005-2021 рр. використовувалася змінна *'total_precipitation'* для кожної години доби, яка є змінною інтегрованої системи прогнозування (Integrated Forecasting System) ECMWF. Цим параметром є накопичена рідка та замерзла вода, що складається з дощу та снігу, що випадає на поверхню Землі та є сумою великомасштабних і конвективних опадів. Параметр не включає туман, росу або опади, які випаровуються в атмосфері до того, як вони приземляться на поверхню Землі, а також являє собою загальну кількість води, накопиченої за певний період часу, яка залежить від отриманих даних [25, 27].

У третині епізодів (6 випадків) моделювання не виявило утворення сильних опадів у точці з координатами м. Херсон або їх осередок був зміщений, можливо внаслідок локальності спостережень для певної точки в просторі та часі, які не представляють середні значення в сітці моделі. Але більша частина реальних випадків посилення опадів у Херсоні узгоджується з результатами моделювання (рис. 2.14), особливо 25 липня 2018, 18 серпня 2012 та 30 вересня 2010 рр.

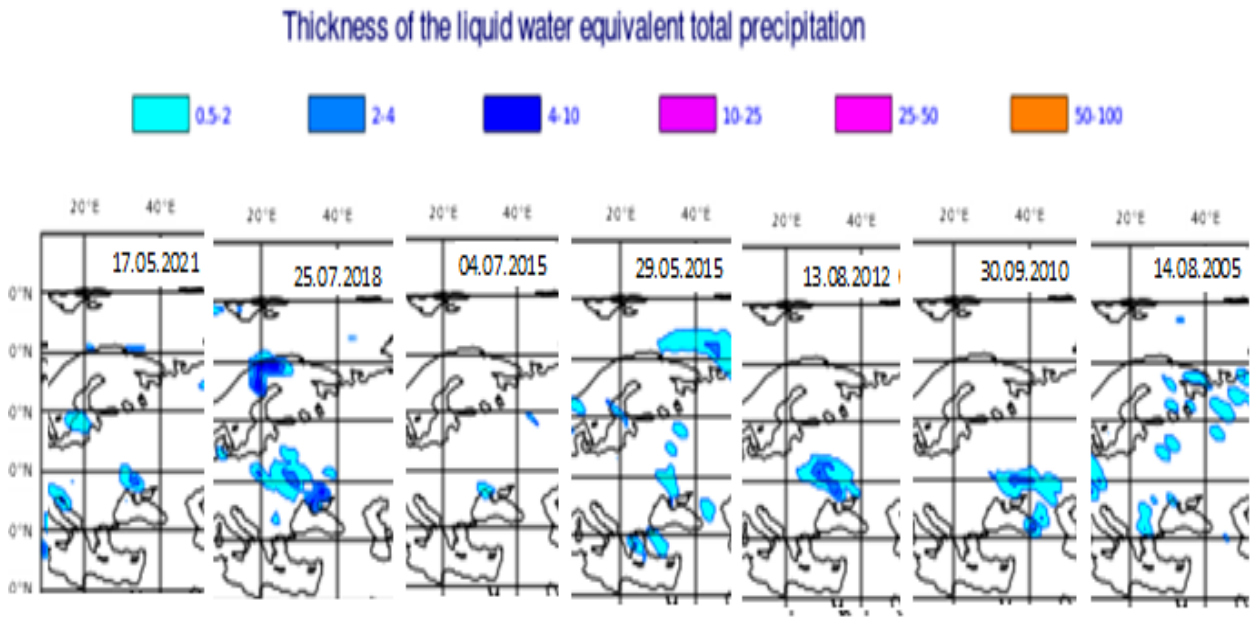



Рисунок 2.14– Приклади просторового розподілу змінної 'total_precipitation' реаналізу ERA5 за наявності сильних опадів у Херсоні, 2005-2021 рр.

Нажаль, не можна стверджувати, що дані реаналізу є достатньо точними та якісними для всіх інших випадків сильних та надзвичайних опадів, оскільки повноцінна верифікація даних реаналізу, як і всіх прогнозів безперервних величин, передбачає використання графіків розсіяння та різноманітних сумарних оцінок, мова про які йтиме в майбутніх дослідженнях.

Розглянемо синоптичні ситуації, напрям циркуляції повітряних мас на рівні 500 гПа та значення двох індексів конвекції (CAPE та Lifted index), що сприяли випадінню сильних опадів на станції Херсон. За 16 років у Херсоні спостерігалося лише 19 епізодів з сильними дощами, коли за 12 годин випадало більше 30 мм, з яких три можна віднести до СМЯ II. В ході роботи були зібрані та упорядковані синоптичні карти та супутникові знімки з ресурсів [19, 20].

Виявилося, що більш половини (10 випадків або 55 %) епізодів сильних опадів пов’язана з південними циклонами (табл. 2.4 та табл. 2.5), решті утворювалися (7 випадків або 37 %) на південної периферії антициклону, та лише одного разу 26 липня 2007 р. у Херсоні випало 52 мм дощу під впливом улоговини циклону з центром на півночі ЄТР (рис. 2.15).

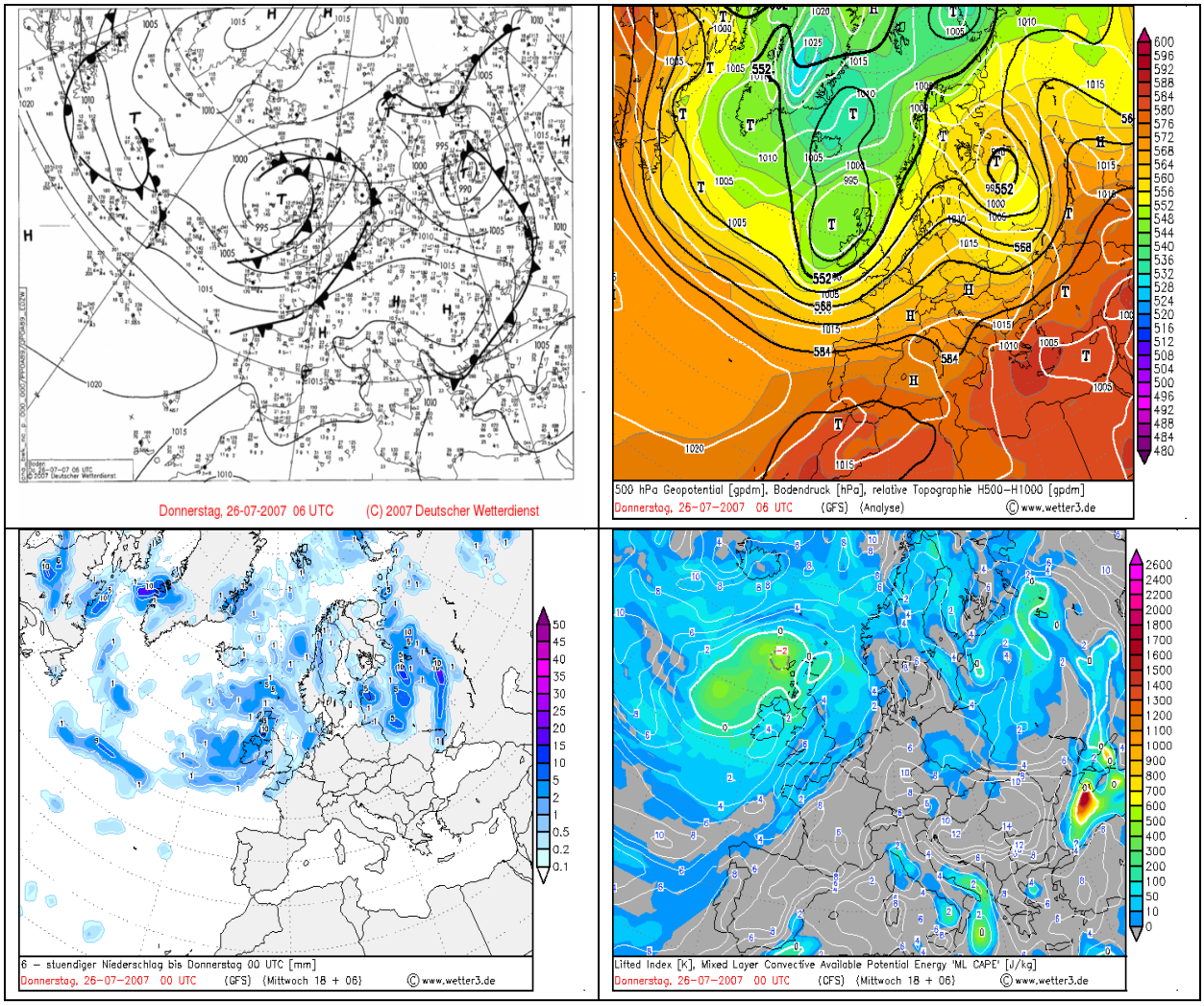



Рисунок 2.15 - Приземний аналіз, АТ-500, ВТ-500/1000, карта опадів і індексів конвекції CAPE та Li за 26.07.2007 р.

Опади, інтенсивність яких відповідала помаранчевому критерію СМЯ II, утворювалися при проходженні південного циклону (9 жовтня 2010 р., рис. 2.16), на холодній ділянці полярного фронту на вісі меридіональне орієнтованої улоговини циклону з центром над Балтійським морем (26 липня 2007 р., рис. 2.15) та при загостренні полярного фронту на південній периферії обширного антициклону над ЄТР та Україною (26 червня 2009 р., рис. 2.17).

Таблиця 2.4 - Повторюваність (% / к.в.) синоптичної ситуації в період формування сильних опадів на ст. Херсон

| Дата | Синоптична ситуація | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Південний циклон та його улоговини | Західний циклон та його улоговини | Північно-західні циклони та їх улоговини | Поле зниженого тиску | Поле підвищеного тиску | Південна периферія антициклону |
| 30-49 мм/12 год | | | | | | |
| 14.08.2005 | | | | | | + |
| 21.06.2006 | | | | | | + |
| 27.06.2009 | | | | | | + |
| 30.09.2010 | + | | | | | |
| 10.06.2011 | + | | | | | |
| 13.08.2012 | + | | | | | |
| 04.07.2015 | | | | | | + |
| 28.05.2015 | + | | | | | |
| 29.05.2015 | + | | | | | |
| 20.04.2016 | + | | | | | |
| 25.07.2018 | | | | | | + |
| 26.07.2018 | | | | | | + |
| 25.05.2019 | + | | | | | |
| 06.07.2020 | | | | | + | |
| 17.05.2021 | + | | | | | |
| Всього | 9 | - | - | - | - | 6 |
| ≥50 мм/12 год. | | | | | | |
| 26.07.2007 | | | + | | | |
| 26.06.2009 | | | | | | + |
| 09.10.2010 | + | | | | | |
| Всього | 1 | | 1 | | | 1 |

Як видно з табл. 2.5, опади у Херсоні переважно (78 %) посилювалися при південному та південно-західному напрямках ВФЗ, двічі потоки повітря на рівні

500 гПа приймали південно-східний напрям, та по одному разу – північний та західний. Також виявилося, що після 2010 року сильні опади у пункті дослідження утворювалися виключно при південному або південно-західному напрямі потоків ВФЗ.

Таблиця 2.5 – Повторюваність (к.в.) напрямку висотного потоку на рівні 500 гПа, при якому спостерігалися сильні опади (≥30 мм/12 год) у Херсоні з 2005 по 2021 рр.

| Дата | Напрямок потоку, румб | CAPE, Дж/кг | Li, °C |
|---|---|---|---|
| 30-49 мм/12 год | | | |
| 14.08.2005 | Пд-Зх | 1100 | -2 |
| 21.06.2006 | Пн-Зх | 1300 | -4 |
| 27.06.2009 | Пд-Сх | 1600 | -4 |
| 30.09.2010 | Пд-Зх | 500 | 0 |
| 10.06.2011 | Пд-Зх | 600 | -2 |
| 13.08.2012 | Пд-Зх | 600 | -2 |
| 04.07.2015 | Пд | 600 | -2 |
| 28.05.2015 | Пд | 100 | 2 |
| 29.05.2015 | Пд | 100 | 2 |
| 20.04.2016 | Пд-Зх | 50 | 0 |
| 25.07.2018 | Пд | 1200 | -4 |
| 26.07.2018 | Пд | 1400 | -6 |
| 25.05.2019 | Пд | 600 | -1 |
| 06.07.2020 | Пд-Зх | 1100 | -4 |
| 17.05.2021 | Пд | 800 | -2 |
| ≥50 мм/12 год. | | | |
| 26.07.2007 | Зх | 50 | 0 |
| 26.06.2009 | Пд-Сх | 1800 | -6 |
| 09.10.2010 | Пд-Зх | 100 | 0 |

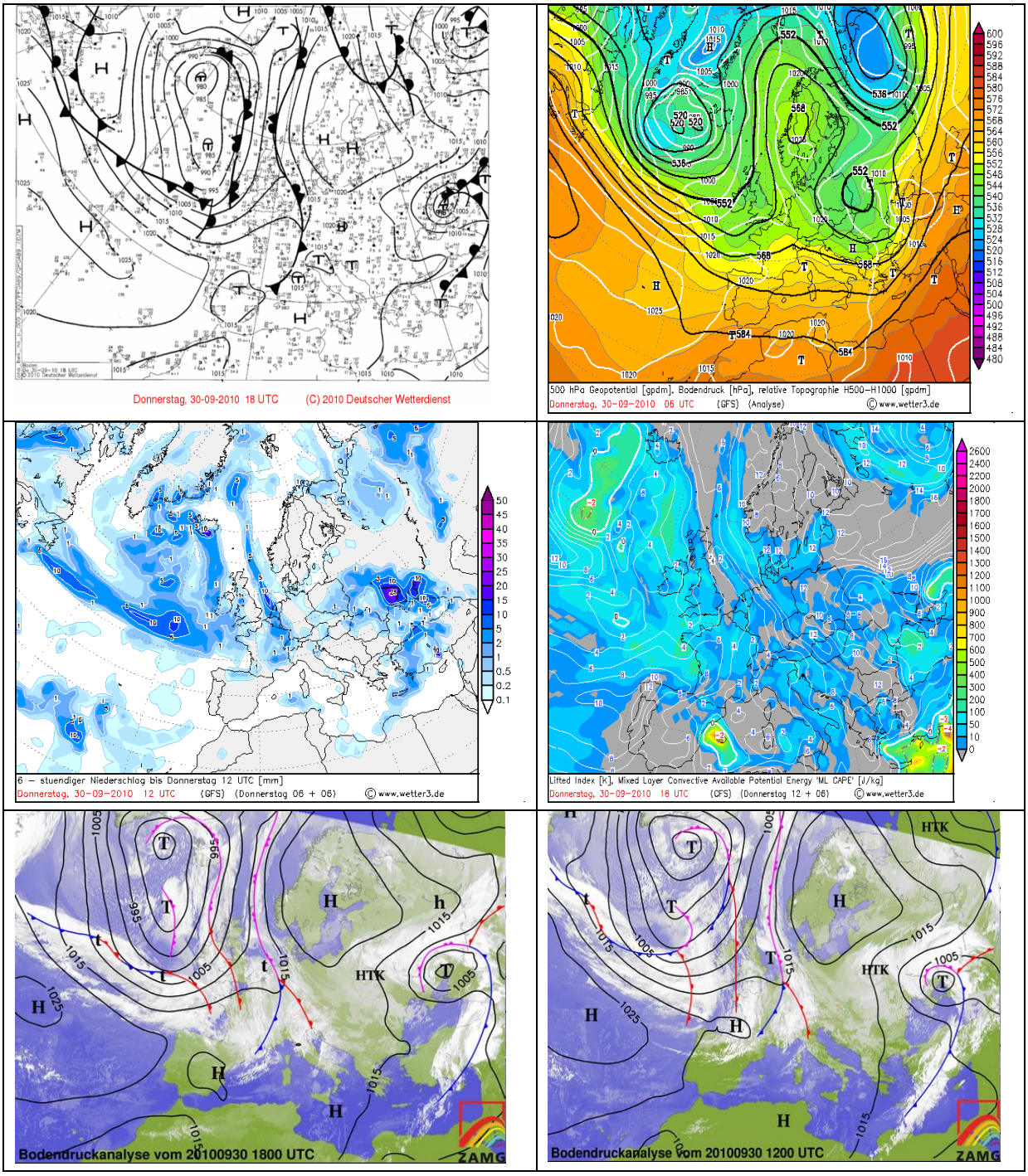



Рисунок 2.16 - Приземний аналіз, АТ-500, ВТ-500/1000, карта опадів і індексів конвекції CAPE та Li, супутникові знімки за 9.10.2010 р.

При значному посиленні опадів у тепле півріччя (з квітня по жовтень) вагомим чинником процесу є термічна конвекція, тому для аналізу термодинамічного стану атмосфери над Херсоном під час виникнення сильних

опадів були проаналізовані два основних індекси конвекції за даними глобальної моделі GFS [22].

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

$$CAPE = g \int_{LFCT}^{EL} \frac{T - T'}{T'} dz, \tag{2.1}$$

де T – температура частки повітря, T′ – температура навколишнього повітря, g – прискорення вільного падіння, LFCT – рівень конденсації, EL – рівень конвекції (вирівнювання температур на верхньої межі конвективної хмари).

Загальний запас енергії нестійкості в атмосфері CAPE знаходиться як алгебраїчна сума енергій нестійкості окремих шарів від рівня конденсації до рівня конвекції. Більш високі значення енергії нестійкості вказують на більш інтенсивну конвекцію в хмарі, тобто на більш небезпечні явища погоди. Енергія нестійкості або індекс CAPE є незмінним предиктором в прогнозі небезпечних явищ, пов’язаних з конвекцією. Високий рівень потенційної енергії атмосфери є неодмінною умовою того, що частка, яка піднімається досягне значно більших висот, ніж рівень вільної конвекції, а отже, збільшується небезпека розвитку таких явищ погоди як гроза і град. Аналіз значень цього індексу в конвективній атмосфері дозволить кількісно оцінити ступінь розвитку конвекції і ймовірність утворення сильної зливи, грози або граду.

Індекс плавучості або підйому Li (Lifted index) є одним з основних критеріїв статичної стійкості атмосфери і визначається як різниця температур навколишнього повітря і деякого одиничного обсягу, який піднявся адіабатично від поверхні землі (або з заданого рівня) до рівня 500 гПа. Li розраховується з урахуванням залучення навколишнього повітря. Індекс Li характеризує термічну стратифікацію атмосфери по відношенню до вертикальних переміщень повітря. Якщо Li > 0, то атмосфера (у відповідному шарі) стійка. Якщо значення Li < 0, то атмосфера нестійка.

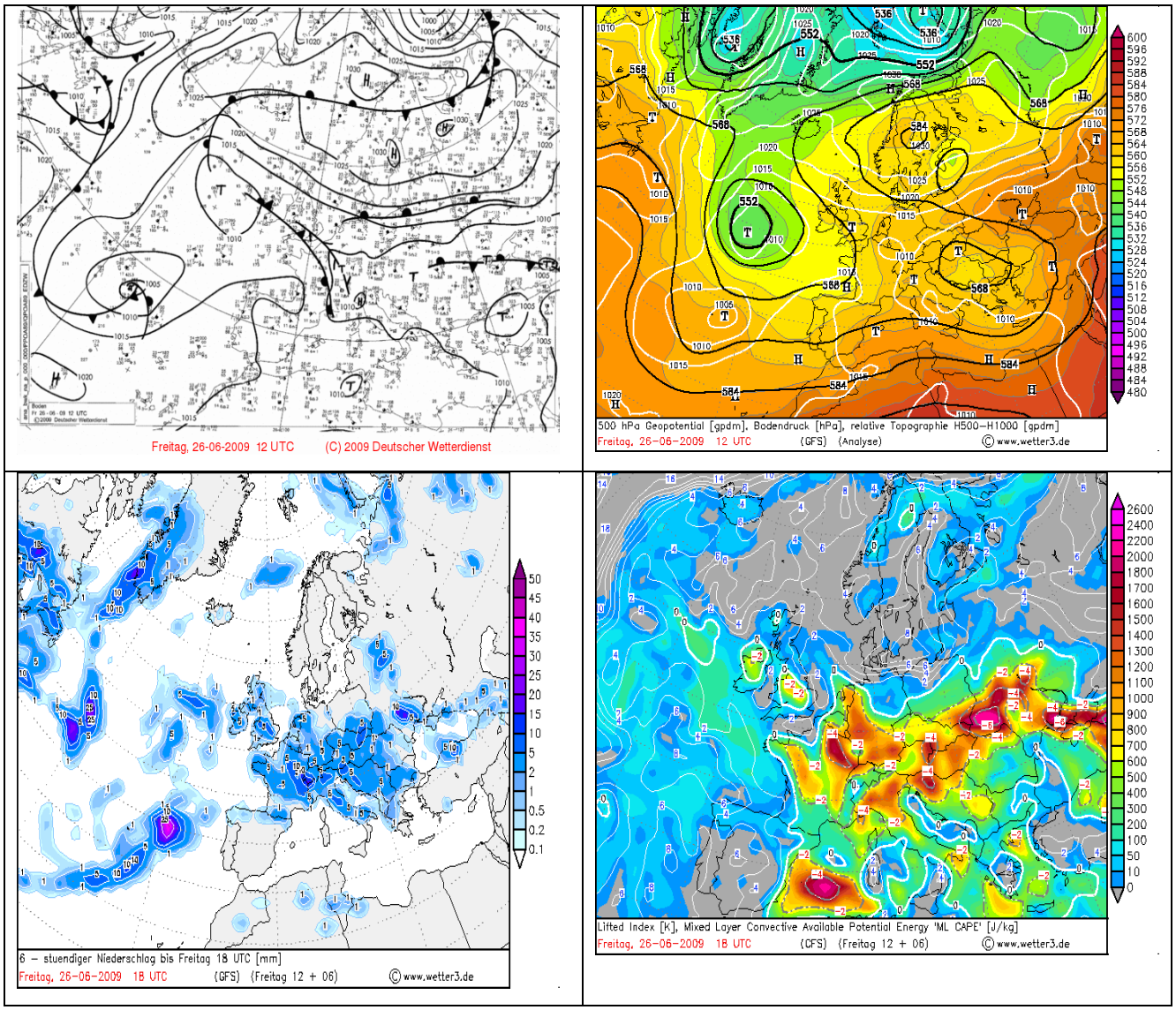



Рисунок 2.17 - Приземний аналіз, АТ-500, ВТ-500/1000, карта опадів і індексів конвекції CAPE та Li за 26.06.2009 р.

Виявилося, що енергія нестійкості (ML CAPE) при посиленні опадів над станцією  Херсон з 2005 по 2021 рр. становила у середньому 790 Дж/кг, що вказувало на помірну нестійкість та можливість розвитку купчасто-дощової хмарності зі зливами та грозами. Одного разу цей індекс досягав 1800 Дж/кг, коли випало 62 мм/12 год., але двічі ML CAPE приймав значення від 50-100 Дж/кг за наявності опадів СМЯ II.

Додатні значення індексу підйому (Lifted index), які передбачають наявність інверсії температури, коли атмосфера дуже стійка та є розвинені низхідні

рухи повітря, над Херсоном виявилися лише двічі (28-29 травня 2009 р.), коли опади посилювалися при виході південного циклону. Середнє значення індексу Li було -2,25°С, а найнижче (-6°С) виявилося при загостренні атмосферних фронтів на південної периферії антициклону (26 червня 2009 р.) коли випало 62 мм за 12 год.

В якості прикладу розглянемо синоптичну ситуацію, що призвела до випадіння сильних опадів над Херсоном 20 квітня 2016 р. (рис. 2.18), коли за 12 год. випало 41 мм опадів у вигляді дощу.

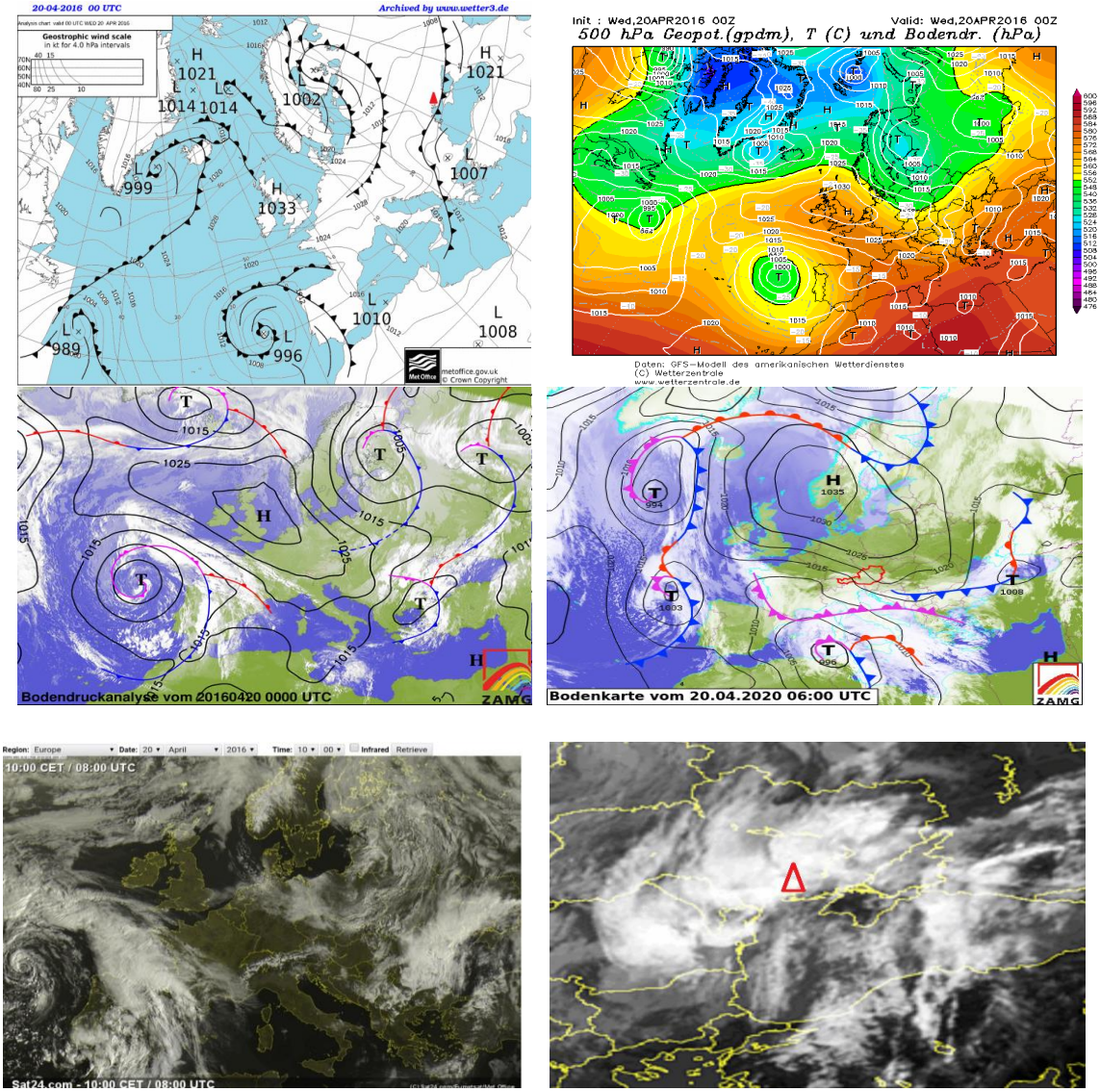



Рисунок 2.18 - Приземний аналіз та АТ-500 за 00 UTC, супутникові знімки за 00, 06 та 10 UTC за 20 квітня 2016 р., 00 UTC

Інтенсивні опади спостерігалися зранку 20 квітня 2016 р., коли погоду міста Херсон зумовлювала улоговина хвилевого циклону. В період з 21 години 19 квітня до 6 години 20 квітня у м. Херсон випало 41 мм опадів і було досягнуто критерію НМЯ І. Спостерігались грози, погіршення видимості в дощі до 2000-3000 м, посилення північно-східного вітру 10-12 м/с. Температура вночі та вдень становила 9-12 °С.

20 квітня 2016 р. над ЄТР розташовувалася висотна улоговина, яка повністю охопила всю територію України, що сприяло випадінню сильних опадів (рис. 2.18). Структура приземного поля атмосферного тиску являла собою приклад баричної сідловини, де області зниженого тиску, які були обмежені ізобарою 1010 гПа, знаходилися над південним заходом Чорного моря та регіоном Середньої Волги. Друга барична пара – гребені високого тиску (від 1010 гПа) розташовувалися над Карпатським регіоном та Молдовою на заході і Краснодарським Краєм та Туреччиною на південному сході. Над півднем України проходив полярний фронт, який мав ділянки оклюзії в обох циклонах.

Над Херсонщиною проходила холодна ділянка полярного фронту. Впродовж наступних 6 годин відбулася перебудова баричного рельєфу – циклон над заходом Чорного моря заглибився (-2 гПа), зменшився за площею та пересунувся на 700 км на схід через посилення гребеню над заходом України (+5 гПа). За вказаний проміжок часу над областю пройшов холодний фронт, за яким продовжився розвиток купчасто-дощових хмар, що призвело до посилення зливових опадів, коли за 12 годин випало 41 мм опадів.

# ВИСНОВКИ

В процесі виконання науково-дослідної роботи одержані такі результати за окремими розділами.

Розділ 1

1. Використання фронтального параметру в синоптичній практиці, як допоміжного засобу при складанні прогнозів опадів поблизу фронтальної системи є доцільним через достатньо добре узгодження осередків його максимумів з фактичними даними про опади і загострені ділянки атмосферних фронтів. Так, при значеннях фронтального параметру більше 25, фронтальна система може бути загостреною впродовж всього існування циклону і навіть на його останній стадії розвитку, при зростанні цього параметру до 30 та більше слід очікувати початок грозової діяльності.

2. Виявлено, що у 2020 р. максимальні додатні аномалії спостерігалися у січні, березні та жовтні, та суттєве зниженням температури повітря відносно кліматичної норми відбулося у травні.

3. Встановлено, що січневі максимуми температури 2020 р. сформовані через стійке зональне перенесення повітряних мас з Атлантики при від'ємній аномалії приземного тиску та гребеневій структурі на рівні 500 гПа. Додатні аномалії температури березня виникли у системі високого тиску біля поверхні землі та на висотах. У жовтні перевищення температурного фону сформувалося за рахунок від'ємної аномалії приземного тиску при поширенні на європейський сектор ісландського мінімуму. Стійкий недобір тепла у травні 2020 р. виник через від'ємну аномалію поля Н500 та приземного тиску.

Розділ 2

1. Визначено, що у Північно-Західному Причорномор'ї з 2006 по 2020 рр. смерчі виникали відносно частіше над територією Одеської області. В цілому у регіоні більшість смерчів (38 та 25%) утворювалася у червні та травні у денні часи. У Миколаївській та Херсонській областях вихори переважно формувалися у червні, а на Одещині вони найчастіше виникали у травні.

2. Виявлено, що за період 2006-2020 рр. кількість випадків зі шквалами різної інтенсивності дещо збільшилась порівняно з попередніми роками на всією територією Північно-Західного Причорномор'я. Найбільш шквалонебезпечною була Одеська область (72,8 %) через кліматичні та географічні властивості регіону. Найчастіше (81 %) виникали шквали першого рівня небезпеки (НМЯ I) зі швидкістю вітру 15-24 м/с.

3. Встановлено, що у 2005-2021 рр. на метеорологічної стації Херсон спостерігалося лише 19 дощів з інтенсивністю > 30мм/12 год., серед яких тричі опади посилювалися до критерію СМЯ II (> 50мм/12 год.), та вони виникали виключно у тепле півріччя з максимумом повторюваності у липні. Більшість реальних випадків посилення опадів у Херсоні вдало узгоджується з результатами реаналізу ERA5, але у майже третині епізодів моделювання не виявило утворення сильних опадів у точці з координатами м. Херсон або їх осередок був зміщений.

4. З’ясовано, що сильні дощі у Херсоні утворювалися при зниженому атмосферному тиску (не вище 1010 гПа), при слабкому північно-західному вітрі та у супроводі гроз. Енергія нестійкості при посиленні опадів становила у середньому 790 Дж/кг, а середнє значення індексу Li було -2,25°С. Майже половина (55 %) сильних дощів у Херсоні в 2005-2021 рр. пов’язана з проходженням південних циклонів, решті спостерігалася на південної периферії антициклону при південно-західному напрямку ВФЗ.

# ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ


1. Ozymko, R., Semerhei-Chumachenko, A. Manivchuk, V. Spatiotemporal distribution of heavy and extreme snowfalls in the Transcarpathian region // Időjárás - Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service (OMSZ), 2021, 125 ( 3), p. 477-490. DOI:10.28974/idojaras.2021.3.7.

2. Семергей-Чумаченко А. Б., Агайар Е. В., Жук Д. О. Просторово-часовий розподіл смерчів та шквалів у північно-західному Причорномор'ї з 2006 по 2020 рр. // World Science No 10 (71), 2021, https://rsglobal.pl/index.php/ws/issue/view/262

3. Слободяник К. Л., Семергей-Чумаченко А. Б., Веретнова В. О. Виникнення сильних опадів на станції Херсон заданими реаналізу ERA5 та метеорологічних спостережень // World Science No 10 (71), 2021, https://rsglobal.pl/index.php/ws/issue/view/262

4. Нажмудінова О. М. Зміни температури повітря на Чернігівщині // Фізична географія та геоморфологія. 2021. Київ. Вип. 108.

5. Семергей-Чумаченко А. Б. , Слободяник К. Л. Просторово-часовий розподіл сильних опадів над Україною протягом 1979-2019 рр. за даними реаналізу ERA5 // Український гідрометеорологічний журнал, 2020, № 26, С. 50-59. https://doi.org/10.31481/uhmj.26.2020

6. Семергей-Чумаченко А. Б., Озимко Р. Р. Динаміка виникнення стихійних опадів на території Закарпатської області з 1990 по 2019 рр. // International Academy Journal «Web of Scholar». 5(47), 2020, P. 23-26. https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/31052020/7090.

7. Семергей–Чумаченко А. Б., Озимко Р. Р. Розподіл стихійних дощів в Закарпатській області за останнє двадцятиріччя (1999-2018 рр.) // Український географічний журнал, 2019, № 4. С.11-17. https://doi.org/10.15407/ugz2019.04.011

8. Івус Г. П., Озимко Р. Р., Агайар Е. В., Міщенко Н. М., Семергей–Чумаченко А. Б. Циркуляційні умови формування сильних опадів на Закарпатті

взимку // Український гідрометеорологічний журнал, 2018. № 22. С. 28-35.

9. Agayar E. V., Semerhei-Chumachenko A. B., Zubkovych S. O. Applying prediction models for short-term hail forecasting in southern Ukraine // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2020, № 53, С. 72-82. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-05

10. Нажмудінова О. М. Температурні аномалії холодного періоду на території України у 2010-2019 рр. Фізична географія та геоморфологія. 2020. Київ. Вып. 3–4 (101–102). С. 19-25. https://doi.org/10.17721/phgg.2020.3-4.02

11. Міщенко Н. М., Панова Я. Л., Грушевський О. М. Нижньорівнева адвекція вологи як тригерний механізм атмосферної конвекції та предиктор її прогнозу // Український гідрометеорологічний журнал, 2020, № 25, С. 28-37. https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.03

12. Ivus G P, Ahayar E V, Hurska L M, Semerhey-Chumachenko A B, Zubkovych S O. Komparativne karakteristike mikrocirkulacijskih procesa sjeverozapadne oblasti Crnomorske regije koje doprinose pojačanju prizemnog vjetra (The comparative characteristic of macrocirculation processes of the Northwest Black Sea region, which contribute to surface wind strengthening) // Hrvatski meteorološki časopis (Croatian Meteorological Journal), 52, 2018, P. 3-11.

13. State of Climate in 2021: Extreme events and major impacts. Press Release Number: 31102021, 2021. Retrieved from https://public.wmo.int/en/media/press-release/state-of-climate-2021-extreme-events-and-major-impacts

14. Tippett M. K., Allen J. T., Gensini V. A., Brooks H. E. Climate and Hazardous Convective Weather // Curr. Clim. Change Rep., 2015, P. 60–73. https://doi.org/10.1007/s40641-015-0006-6.

15. Balabukh V., Lavrynenko O., Bilaniuk V., Mykhnovych, A., Pylypovych O. Extreme Weather Events in Ukraine: Occurrence and Changes // Open access peer-reviewed chapter, 2018. Retrieved from https://www.intechopen.com/chapters/61828/.

16. Балабух В. А., Лавриненко О. М., Ягодинець С. М., Малицька Л. В., Базалєєва Ю. О. Зміна інтенсивності, повторюваності та локалізації небезпечних явищ погоди в Україні та їх регіональні особливості // Системи контролю навколишнього середовища: Збір. наук. праць МГІ НАН України, 2013. № 19. С. 189-198.

17. Івус Г. П., Мартазінова В. Ф. Короткий огляд метеорологічних досліджень в кінці XX-початку XXI століття в Україні // Український гідрометеорологічний журнал, 2017. № 19. С. 19-25.

18. Погода в Україні та світі. Retrieved from: www.rp5.ua//Погода_в_світі (дата звернення: 10.12.2021).

19. The World in Weather Charts. Retrieved from: Archive UKMET analysis charts. http://www1.wetter3.de/archiv _ukmet_dt.html (дата звернення: 30.11.2021).

20. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. Retrieved from: *https://www.zamg.ac.at/cms/de/wetter/wetterkarte* (дата звернення: 21.11.2021).

21. European Severe Weather Database. Retrieved from https://www.eswd.eu/ (дата звернення: 21.10.2021).

22. NOAA: National centers for environmental information. URL: https://www.ncei.noaa.gov/products/weather-climate-models/global-forecast (дата звернення: 11.11.2021).

23. NCEP/NCAR Reanalysis: https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html (дата звернення: 17.11.2021).

24. Climate: Analysis, Monitoring and Forecasts: Monthly Surface Air Temperature Anomaly. http://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/Global/Atm_Temp/Anomaly.html (дата звернення: 1.12.2021).

25. Copernicus Climate Data Store. ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present. Retrieved from: https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form (дата звернення: 11.12.2021).

26. Слободяник, К. Л., Семергей-Чумаченко, А. Б. Утворення надзвичайних опадів в Україні за даними реаналізу ERA5 та метеорологічних спостережень //

Матеріали XX наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ, 26-30 квітня 2021. Одеса: ОДЕКУ, 2021. С. 192-193.

27. Слободяник К. Л., Семергей-Чумаченко А. Б. Приклад виявлення надзвичайних опадів в Україні за даними реаналізу ERA5 та метеорологічних спостережень // Матеріали V-го Всеукраїнського пленера з питань природничих наук. 1-2.07.2021. Одеса: ОДЕКУ, С. 73-75.

28. Жук Д. О., Агайар Е. В. Просторово-часовий розподіл шквалів на території Північно-Західного Причорномор'я у період з 2006-2020 рр. // XIX міжнародна наукова міждисциплінарна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Шевченківська весна 2021: Географія», 2021, С. 19-22.

*29.* Жук Д. О., Агайар Е. В. Використання продуктів EUMETSAT для аналізу випадків сильної конвекції // Матеріали XX наукової конференції молодих вчених 26-30 квітня 2021 р. Одеса: ОДЕКУ, 2021. С. 182-183.

30. Agayar E. V., Zhuk D. O. Repeatability Of Squalls In The North-Western Black Sea Region // Матеріали V-го Всеукраїнського пленера з питань природничих наук. 1-2.07.2021. Одеса: ОДЕКУ, С. 8-10.

31. Agayar E. V., Zhuk D.O. Climate Change And The Frequency Of Squalls On The Territory Of The North-Western Black Sea Region. In: International Research-to-Practice Conference on 'Climate Services: Science and Education', Odesa: Odessa State Environmental University, 2021, P. 92-93.

32. Гелетій І. Ю., Семергей-Чумаченко, А. Б. Сучасний режим та умови туманоутворення в Ужгороді // Матеріали XX наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ, 26-30 квітня 2021. Одеса: ОДЕКУ, 2021. С. 180-181.

33. Омеляненко Ю. С., Нажмудінова О. М. Аномалії температури повітря на території Чернігівської області // Матеріали наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ. Одеса: ОДЕКУ, 2021. С.184-185.

34. Панченко Є. А., Агайар Е. В. Аналіз змін максимальної швидкості повітря над Одеської областю згідно сценаріям RCP 4.5 і RCP 2.6 // Матеріали XX наукової конференції молодих вчених 26-30 квітня 2021 р., Одеса: ОДЕКУ, 2021, С. 186-187.

35. Омеляненко Ю. С., Нажмудінова О. М. Сучасні зміни поля температури та опадів на Чернігівщині // Матеріали за результатами II туру Всеукраїнського конкурсу наукових студентських робіт 23-24 березня 2021 р., 2021.

36. Веретнова В. О., Семергей-Чумаченко А. Б. Сучасний режим опадоутворення на ст. А Херсон // Матеріали студентської наукової конференції ОДЕКУ 19-23 квітня 2021 р. / Одеса: ОДЕКУ, 2021. С. 394-398.

37. Іванова Я. С., Нажмудінова О. М. Зміни поля опадів у Херсонській області // Матеріали студентської наукової конференції ОДЕКУ 19-23 квітня 2021 р. / Одеса: ОДЕКУ, 2021. С. 402-405.

38. Іванчікова І. О., Семергей-Чумаченко А. Б. Сильні та надзвичайні опади на станції Красноград, Харківська область // Матеріали студентської наукової конференції ОДЕКУ 19-23 квітня 2021 р. / Одеса: ОДЕКУ, 2021. С. 406-410.

39. Ланова Ю. С., Міщенко Н. М. Блокуючі процеси над територією України за останнє п’ятиріччя та погодні умови пов’язані з ними // Матеріали студентської наукової конференції ОДЕКУ 19-23 квітня 2021 р. / Одеса: ОДЕКУ, 2021. С. 411-412.

40. Сівак А. В., Нажмудінова О. М. Аномалії температурного режиму на Україні // Матеріали студентської наукової конференції ОДЕКУ 19-23 квітня 2021 р. / Одеса: ОДЕКУ, 2021. С. 424-427.

41. Сівак В. О., Агайар Е. В. Температурний режим Вінницької області // Матеріали студентської наукової конференції ОДЕКУ 19-23 квітня 2021 р. / Одеса: ОДЕКУ, 2021. С. 428-433.

42. Грушевський О. М., Мансарлійський В. Ф., Міщенко Н. М., Яцишен А. О. Про спосіб адаптації прогнозу туману до місцевих умов // Другий Всеукраїнський гідрометеорологічний з’їзд: тези доповідей. Одеса: Одеський державний екологічний університет. С. 157-158.

43. Міщенко Н. М., Мансарлійський В. Ф., Грушевський О. М. Визначення інформативності індексу CAPE з урахуванням часової еволюції енергії нестійкості атмосфери при формуванні конвективних штормів // Другий Всеукраїнсь-

кий гідрометеорологічний з'їзд: тези доповідей. Одеса: Одеський державний екологічний університет. С. 170-171.

44. Семергей-Чумаченко А. Б. Авіаційний наукастинг // Другий Всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд: тези доповідей. Одеса: Одеський державний екологічний університет. 2021, с. 184-185.

45. Агайар Е. В., Міщенко Н. М., Нажмудінова О. М., Семергей-Чумаченко А. Б. Проблематика підготовки фахівців з метеорологічних прогнозів // Другий Всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд: тези доповідей. Одеса: Одеський державний екологічний університет. 2021, с. 217-218.

46. Agayar E. V., Mishchenko N. M., Semenova I. G., Semerhei-Chumachenko A. B. Training Course For Experts In Climatology And Meteorology "Introduction to Climate Change". International Research-to-Practice Conference on 'Climate Services: Science and Education': Conference Proceedings. Odesa: Odessa State Environmental University, 2021. P. 65-66.

47. Міщенко Н. М., Романенко С. Е., Ніколаєв С. В. Повторюваність південних циклонів над територією України 2014–2018 рр. та погодних явищ пов'язаних з ними // The IV International Science Conference «Prospects and achievements in applied and basic sciences», February 9–12, 2021, Budapest, Hungary, P. 172-177. DOI - 10.46299/ISG.2021.I.IV

48. Ніколаєв С.В., Романенко С..Е., Міщенко Н.М. Верифікація методик визначення температури туманоутворення по території України // The IV International Science Conference «Prospects and achievements in applied and basic sciences», February 9–12, 2021, Budapest, Hungary, P. 178-179. DOI - 10.46299/ISG.2021.I.IV.

49. Романенко С.Е., Ніколаєв С.В., Міщенко Н.М. Верифікація методу прогнозу висоти нижньої межі хмарності для станції Харків // The IV International Science Conference «Prospects and achievements in applied and basic sciences», February 9–12, 2021, Budapest, Hungary, P. 186-189. DOI - 10.46299/ISG.2021.I.IV.

50. Грушевський О. М., Мансарлійський В. Ф., Міщенко Н. М., Шанюк О. В. Часова еволюція енергії нестійкості як предиктор для мінімізації нас-

лідків грозової діяльності // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми надзвичайних ситуацій – 2021» («Problems of Emergency Situations - 2021»), Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2021. С. 31-32.

51. Шакина Н. П. Динамика атмосферных фронтов и циклонов. Л.: Гидрометеоиздат, 1985, 264 с.

52. Шакина Н. П., Скриптунова Е. Н., Иванова А. Р. Прогностическая значимость динамических факторов генерации осадков // Метеорология и гидрология, 2008, Вып. 5, С. 31-44.

53. Шакина Н. П., Скриптунова Е. Н., Иванова А. Р. Прогностическая значимость динамических факторов генерации осадков // Метеорология и гидрология, 2008, Вып. 4, С. 5–18.

54. Балабух В. О. Траєкторії циклонів, що зумовлюють небезпечну і стихійну кількість опадів в Україні у теплий період року. // Наук. Праці УкрНДГМІ, вип. 253. Ніка-Центр, 2004, С. 103-119.

55. Семенова І. Г., Нажмудінова О. М. Регіональна синоптика: підручник. Одеса: ОДЕКУ, 2019. 212 с.

56. Клок С. В., Краснова Я. В. Просторово-часові зміни мінімальної температури повітря на території України на сучасному етапі // Наукові праці УкрНДГМІ. 2016. Вип.268. С.51-57.

57. Логинов В. Ф. Тренды, «скачки» и паузы в изменении глобального и регионального климата и их возможные причины // Український географічний журнал. 2015, №1. С.12-19.

58. Нажмудінова О. М. Температурні аномалії холодного періоду на території України у 2010-2019 рр. // Фізична географія та геоморфологія. 2020. Київ. Вып. 3–4 (101–102). С.13-19.

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

60. Кліматичний кадастр України (стандартні кліматичні норми за період 1961–1990 рр.) / Державна гідрометеорологічна служба та ін. УНДГМІ–ЦГО, Київ, 2006. [Електронний ресурс]

61. Балабух В. О., Базалєєва Ю. О., Ягодинець С. М. Вплив блокувальних процесів на повторюваність та інтенсивність аномальних умов погоди в Україні, пов'язаних з температурою повітря // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2016, Т. 3, С.85-94.

62. Brooks H. E. Severe thunderstorms and climate changes // Atmospheric research, 2013, Vol. 123, P. 128-138. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.04.002

63. Осадчий, В.І., Бабіченко, В.М. Динаміка стихійних метеорологічних явищ в Україні // Український географічний журнал, 2012, Вип. 4, С. 8-14.

64. Semergei-Chumachenko A. B, Krolenko Y.I. Tornadoes over Ukraine in 2001-2016 // SWorld Journal, 2017, 12, P. 30-35. https://www.sworld.com.ua/e-journal/swj12.pdf

65. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005 рр.) / За ред. В. М. Ліпінського, В. І. Осадчого, В. М. Бабіченко. К.: Ніка-Центр, 2006. 312 с.

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

67. Агайар, Е.В. Спеціалізовані прогнози небезпечних явищ погоди: навчальний посібник. Одеса: ОДЕКУ, 2021. 143 с.

68. Markowski P. M, Richardson Y. P. Tornadogenesis: Our current understanding, forecasting considerations, and questions to guide future research // Atmospheric Research, 2009, Vol. 93, P. 3-10.

69. Гумоненко Л. В., Жук Н. Г., Савченко Л. І., Ткач В. О. Настанова з метеорологічного прогнозування. Київ: УкрГМЦ, 2019, 35 с. https://meteo.gov.ua/files/content/docs/meteo_kerdoc/настанова%20з%20метеорологічного%20прогнозування.pdf.