

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра військової підготовки

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему:

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОГНОЗУ КОНВЕКТИВНИХ ЯВИЩ
ШЛЯХОМ КОМПЛЕКСАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ КОНВЕКЦІЇ

Спеціальність 103 Науки про Землю
Спеціалізація «Метеорологія»
курсанта групи МВМ-19
Дениса ТІХАНОВА

Керівник:
працівник ЗСУ Олександр ЄШАНУ
Рецензент: к.геогр.н.
Олена НАЖМУДІНОВА

Одеса – 2020

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра військової підготовки

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 103 Науки про Землю

(шифр і назва)

Спеціалізація Метеорологія

Освітня програма «Організація метеорологічного та геофізичного
забезпечення Збройних Сил України»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник кафедри військової підготовки

полковник

Олег ГРУШЕВСЬКИЙ

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

курсанту ТІХАНОВУ ДЕНИСУ СЕРГІЙОВИЧУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Підвищення ефективності прогнозу конвективних явищ шляхом комплексції параметрів конвекції».

керівник роботи Єшану Олександр Євгенович

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

затверджені наказом ректора ОДЕКУ від 16 жовтня 2020 року № 194-С

2. Строк подання курсантом роботи: 12 грудня 2020 року.

3. Вихідні дані до роботи: дані температурно-вітрового зондування атмосфери, архів фактичної погоди.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1)формування бази даних температурно-вітрового радіозондування атмосфери за теплий період;

2)адаптація порогових значень індексів зсуву вітру з урахуванням місцевих особливостей на основі отриманих даних;

3)формування комплексної таблиці спряженості на основі відібраних параметрів конвекції;

4)складання рекомендацій щодо спільного використання параметрів конвекції.

5. Перелік графічного матеріалу: графіки, таблиці.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Грушевський О. М., к.геогр.н., доц.	27.10.20	27.10.20
2	Грушевський О. М., к.геогр.н., доц.	24.11.20	24.11.20
3	Грушевський О. М., к.геогр.н., доц.	09.12.20	09.12.20

7. Дата видачі завдання: 27 жовтня 2020 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	Пошук літературних джерел за темою магістерської роботи	27.10 - 28.10.20	95	5
2.	Відпрацювання 1 та 2-го розділів роботи	29.10 - 22.11.20	87	4
3.	Рубіжна атестація	23.11.20	85	4
4.	Обробка вхідних даних та розрахункової частини	24.11-01.12.20	85	4
5.	Відпрацювання 3-го розділу	02-08.12.20	95	5
6.	Відпрацювання вступної частини, висновків, списку використаних джерел та додатків	09-10.12.20	87	4
7.	Перевірка роботи на плагіат, підготовка презентації, доповіді	10.12.20	90	5
8.	Подання роботи на рецензування	11.12.20	90	5
9.	Подання роботи до навчальної частини	12.12.20	95	5
10.	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)	12.12.20	90	5

Курсант

(підпис)

Денис ТІХАНОВ

(ім'я та прізвище)

Керівник роботи прац. ЗСУ

(підпис)

Олександр ЄШАНУ

(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота курсанта Тіханова Д.С. на тему «Підвищення ефективності прогнозу конвективних явищ шляхом комплексзації параметрів конвекції».

Робота присвячена комплексзації індексів зсуву вітру для території України, що дозволить більш точно прогнозувати утворення конвективних процесів та давати оцінку їх тривалості та інтенсивності.

В ході роботи були знайдені критеріальні значення розглянутих індексів які мають найбільшу справджуваність в межах даного кліматичного району та складена комплексна таблиця.

Актуальність обраної тематики обумовлена необхідністю використання в оперативній практиці індексів зсуву вітру, вихідними даними для яких виступають дані температурно-вітрового зондування атмосфери, для підвищення ефективності прогнозування потужності конвективних явищ.

Об'єкт дослідження – атмосферна конвекція.

Предмет дослідження – предиктори прогнозу грозової діяльності.

Метою магістерської роботи є складання рекомендацій по спільному використанню параметрів зсуву при прогнозування конвективних явищ на території України з акцентом на тривалість грози та її наслідків.

Завдання, що вирішувались у рамках дослідження для досягнення мети:

- формування бази даних температурно-вітрового радіозондування атмосфери за теплий період 2018 року в м. Київ (00, 12 UTC);
- формування бази даних температурно-вітрового радіозондування атмосфери за теплий період 2018 та 2019 року по території Німеччини;
- формування комплексної таблиці спряженості на основі відібраних параметрів конвекції;

- перевірка даних індексів конвекції на наявність, відсутність та загальну справджуваність прогнозу;

- складання рекомендацій щодо спільного використання параметрів конвекції.

Методи дослідження: при виконанні роботи використовуються методи статистичного аналізу, експерименту і статистичних оцінок.

Наукова новизна отриманих результатів пов'язана з використанням індексів зсуву вітру для прогнозу конвективних явищ в оперативній практиці метеорологічних підрозділів та складання рекомендації щодо спільного використання представлених індексів і полягає в наступному:

- вперше були розглянуті та уточнені критеріальні значення індексів зсуву вітру, шляхом параметризації представлених індексів, для даного кліматичного району.

- вперше для покращення ефективності прогнозу конвективних явищ, було розроблено комплексну таблицю індексів зсуву вітру.

Практичне значення отриманих результатів. Знайдені критеріальні значення індексів зсуву для даного кліматичного району та використання їх в комплексі, дає змогу покращити якість прогнозу конвективних явищ з акцентом на тривалість грози та її наслідки.

Рекомендації щодо використання результатів роботи з зазначенням галузі застосування. Отриманні результати можуть використовуватись в оперативній практиці метеорологічних підрозділів Збройних Сил України для метеорологічного забезпечення авіації.

Структура і обсяг роботи. Робота викладена на 66 сторінках машинописного тексту, містить 14 рисунків, 14 таблиці, складається з вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел (40 позицій).

Ключові слова: конвекція, індекси, комплекс, нестійкість атмосфери, зсув вітру, параметризація.

ABSTRACT

Master's qualification work of cadet Tikhanov D.S. on the topic "Improving the efficiency of the forecast of convective phenomena by complexing the parameters of convection".

The work is devoted to the adaptation of wind shear indices for the territory of Ukraine, which will allow to more accurately predict the formation of convective processes and to assess their duration and intensity.

In the course of the work the criterion values of the considered indices which have the greatest authenticity within the given climatic region were found and the complex table is made.

The relevance of the chosen topic is due to the need to use in operational practice wind shear indices, the initial data for which are the data of temperature and wind sounding of the atmosphere, to increase the efficiency of predicting the power of convective phenomena.

The object of study - atmospheric convection.

The subject of research - predictors of storm forecast.

The purpose of the master's work is to make recommendations for the joint use of wind shear parameters in forecasting convective phenomena in Ukraine with an emphasis on the duration of the storm and its consequences.

Tasks solved within the research to achieve the goal:

- formation of a database of temperature and wind radio sounding of the atmosphere for the warm period of 2018 in Kyiv (00,12 UTC);
- formation of a database of temperature and wind radio sounding of the atmosphere for the warm period of 2018 and 2019 on the territory of Germany;
- formation of a complex conjugation table based on selected convection parameters;
- checking the data of convection indices for the presence, absence and general validity of the forecast;

- making recommendations on the joint use of convection parameters.

Research methods: methods of statistical analysis, construction of dependences and statistical estimations are used at performance of work.

The scientific novelty of the obtained results is related to the use of wind shear indices for forecasting convective phenomena in the operational practice of meteorological units and making recommendations for the joint use of the presented indices and is as follows:

- for the first time the criterion values of wind shear indices were considered and specified by parameterizing the presented indices for this climatic region.
- for the first time, a comprehensive table of wind shear indices was developed to improve the efficiency of convection forecasting.

The practical significance of the results. The found criteria of wind shear indices for a given climatic region and their use in the complex allows to improve the quality of the forecast of convective phenomena with an emphasis on the duration of the storm and its consequences.

Recommendations for the use of work results indicating the scope. The obtained results can be used in the operational practice of meteorological units of the Armed Forces of Ukraine for meteorological support of aviation.

Structure and scope of work. The work is presented on 66 pages of typewritten text, contains 14 figures, 14 tables, consists of an introduction, 3 sections, conclusions, list of sources used (40 items).

Keywords: convection, indices, complex, atmospheric instability, wind shear, parameterization.

ЗМІСТ

Вступ	9
1 Умови утворення гроз.	12
1.1 Фізичні умови утворення гроз.	12
1.2 Стадії розвитку гроз.	13
1.3 Синоптичні умови утворення гроз.	16
1.4 Параметри конвекції.	22
1.5 Наслідки гроз.	27
2 Загальні відомості про комплектацію та параметризацію методів прогнозу	31
2.1 Методика розрахунку оптимальних значень прогностичних показань.	31
2.2 Постановка задач комплексації	32
2.3 Варіанти використання комплексації.	32
2.4 Паралельна комплексація	35
2.5 Оцінка успішності прогнозу	36
3 Паралельний комплекс прогнозів побудований за трьома параметрами конвекції.	39
3.1 Розрахунок оптимальних порогових значень прогностичних показань	39
3.2 Побудова паралельного комплексу прогнозів для м. Київ ...	42
3.3 Оцінка ефективності комплексу	43
3.4 Параметризація та побудова паралельного комплексу прогнозів для території Німеччини.	45
Висновки.	50
Перелік посилань	51
Додатки.	55

ВСТУП

Прогноз конвективних явищ, які відносяться до небезпечних явищ погоди і чинять істотний вплив на діяльність авіації, завжди привертав увагу дослідників. Значна частка льотних подій або передумов до них, пов'язаних з погодними умовами, зумовлена саме конвективною діяльністю.

Зсув вітру є однією з основних причин авіаційних катастроф на малих висотах. Статистика свідчить, що близько 36% усіх катастроф на авіаційному транспорті відбувається на етапах заходу на посадку і посадки.

Зсув вітру головним чином впливає на рух та тривалість конвективних штурмів, тому врахування їх у прогнозуванні конвективних процесів є однією з першочергових задач.

Адаптація індексів зсуву вітру для території України дозволить більш точно прогнозувати утворення конвективних процесів та давати оцінку їх тривалості та інтенсивності.

Поширення інтерактивних технологій обміну метеорологічною інформацією надає можливість доступу як до даних температурно-вітрового зондування будь-якої точки земної кулі, так і до супутніх розрахунків. Проте, обробка даних радіозондування проходить автоматично для усього масиву даних. Відсутність досвіду використання при складанні прогнозу погоди тих параметрів конвекції, які представлені у предикторах до аерологічних діаграм, зумовлюють актуальність питання з визначення їх ефективності для території України у межах встановлених критеріальних значень, або уточнення цих критеріальних значень.

Актуальність:

- необхідність використання в оперативній практиці індексів зсуву вітру, вихідними даними для яких виступають дані температурно-вітрового зондування, для підвищення ефективності прогнозування потужності конвективних явищ.

- можливість використання відомих індексів конвекції в комплексі для аналізу розвитку синоптичних процесів.

Об'єкт дослідження – атмосферна конвекція.

Предмет дослідження – предиктори прогнозу грозової діяльності.

Метою магістерської роботи є складання рекомендацій по спільному використанню параметрів зсуву вітру при прогнозування конвективних явищ на території України з акцентом на тривалість грози та її наслідків.

Завданнями, які вирішувалися у ході магістерської роботи, є:

- формування бази даних температурно-вітрового радіозондування атмосфери за теплий період 2018 року в м. Київ (00, 12 UTC);
- формування бази даних температурно-вітрового радіозондування атмосфери за теплий період 2018 та 2019 роки по території Німеччини;
- формування комплексної таблиці спряженості на основі відібраних параметрів конвекції;
- перевірка даних індексів конвекції на наявність, відсутність та загальну справджуваність прогнозу;
- складання рекомендацій щодо спільного використання параметрів конвекції.

У якості вхідних даних використовувались:

- дані температурно-вітрового зондування програми RAOB (Rawinsonde Observation program – багатофункціонального та інтерактивного програмного забезпечення для обробки й візуалізації даних радіозондування атмосфери) [1];
- дані про фактичну погоду з метеорологічної інформаційної служби яка використовує дані в мережі від National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) – Національного управління океанічних і атмосферних досліджень [2];
- приземні карти та карти небезпечних явищ погоди АРМ синоптика.

Магістерська робота викладена на 70 сторінок машинописного тексту та складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел (40 позицій).

Перший розділ включає п'ять підрозділів, в яких описуються загальні відомості про конвекцію, синоптичні умови утворення конвективної хмарності, умови виникнення грози та прогнозування гроз.

Другий розділ складається з п'яти підрозділів, у яких представлено загальні поняття та теоретичні відомості про можливість використання комплектації у прогностичній практиці та оцінки справджуваності прогнозів..

У третьому розділі роботи проведена практична частина дослідження щодо адаптації критеріальних значень та перевірки на справджуваність комплексу індексів зсуву.

1 УМОВИ УТВОРЕННЯ ГРОЗ

1.1 Фізичні умови утворення грози

Грозою називається явище хмароутворення, що супроводжується електричними розрядами у вигляді блискавки і звуковим ефектом у вигляді грому [3].

Головною і необхідною умовою виникнення грозових явищ є наявність вертикальних рухів в атмосфері, які зумовлюють розвиток конвективних хмар значної товщини та кристалів льоду у верхній частині хмар. Грози можуть вибудовуватися в серії або перетворюватися на дощову смугу, відому як лінія шквалу. Сильні грози супроводжуються найнебезпечнішими погодними явищами, включаючи великий град, сильний вітер та навіть торнадо. Деякі з найбільш стійких сильних гроз, відомі як суперчарунки, обертаються, як і циклони. Хоча більшість гроз рухаються в напрямку середнього потоку вітру через шар тропосфери, який вони займають, вертикальний зсув вітру іноді викликає відхилення їх курсу під прямим кутом до напрямку зсуву. Грози виникають внаслідок швидкого підйому вгору теплого, вологого повітря, іноді вздовж фронту. Коли тепле, вологе повітря рухається вгору, воно охолоджується, конденсується і утворює купчасто-дощову хмару, яка може досягати висоти понад 20 кілометрів.

Грози можуть утворюватися і розвиватися в будь-якому географічному розташуванні, але найчастіше в помірних широтах, де тепле, вологе повітря з тропічних широт стикається з більш холодним повітрям з полярних широт [4]. Грози та явища, що відбуваються разом з ними, представляють велику небезпеку. Збитки, спричинені грозами, в основному завдають сильні вітри, великий град та рясні повені, спричинені сильними опадами. Існує чотири типи гроз: моночарункові, мультичарункові скупчення, мультичарункові лінії та суперчарунки. Суперчарункові грози є найсильнішими та найнебезпечнішими. Мезомасштабні конвективні системи, утворені сприятливим вертикальним зсувом вітру в тропічних і субтропічних широтах, можуть сприяти розвитку ураганів.

Радарні дослідження показують, що осередок одиничної грози зазвичай досягає висоти близько 8-10 км та існує 30 хвилин [5,6]. Ізольована гроза зазвичай складається з декількох осередків, що знаходяться в різних стадіях розвитку. Великі грозові хмари можуть досягати в діаметрі десятків кілометрів, вертикальна протяжність зазвичай досягає висоти понад 18 км, період існування складає декілька годин.

У 20 столітті грози класифікували відповідно до умов формування: внутрімасові, фронтальні або орографічні. В даний час прийнято класифікувати грози відповідно до характеристиками самих гроз. Ці характеристики в основному залежать від метеорологічного оточення, в якому розвивається гроза [7].

Внутрішньомасові грози спостерігаються в холодних повітряних масах, які переміщуються на теплу підстильну поверхню (місцеві, або теплові грози). Розвиток грози пов'язаний з потужним розвитком конвективних хмар, а отже, з сильною нестійкістю атмосфери і сильними вертикальними зсувами вітру.

Фронтальні грози пов'язані переважно з холодними фронтами, де тепле повітря витісняється вгору перед холодним. При грозах холодного фронту купчасто-дощові хмари йдуть ланцюгом вздовж фронту [8].

Основною необхідною умовою для утворення грозових хмар є стан нестійкості атмосфери, в наслідок чого утворюються висхідні потоки. Залежно від величини і потужності таких потоків формуються грозові хмари різних типів.

Дослідження показують, що з всіх факторів розвитку гроз саме профіль вітру (зсув вітру по вертикалі) і нестійкість атмосфери є найбільш критичними факторами, що визначають інтенсивність грози [9].

1.2 Стадії розвитку грози

Тепле повітря має меншу щільність, ніж холодне, тому тепле повітря підіймається вгору, а холодне опускається вниз [10]. Хмари утворюються,

оскільки відносно тепле повітря, з високим вмістом вологи, підіймається в шарі більш холодного повітря. Вологе повітря підіймається, і коли це відбувається, воно охолоджується, і частина водяної пари в цьому повітрі конденсується [11]. Коли волога конденсується, вона виділяє енергію, відому як прихована теплота конденсації, що дозволяє повітрю яке підіймається охолоджуватися менше, ніж навколишнє середовище, що сприяє розвитку конвективної хмарності [12]. Якщо атмосфера стратифікована нестійко, цей процес триватиме достатньо довго, щоб купчасто-дощові хмари утворили небезпечні явища погоди. Такі метеорологічні показники, як конвективна доступна потенційна енергія (CAPE), може бути використана для визначення потенційного вертикального розвитку конвективних хмар [13]. Як правило, для розвитку грози потрібні три умови:

- наявність достатньої кількості вологи;
- наявність нестійкої повітряної маси;
- присутність потужної підйомної сили (а також наявність достатньої кількості внутрішньої енергії).

Усі грози, незалежно від типу, проходять три стадії: стадію розвитку, стадію зрілості та стадію руйнування [14]. Грозова хмара має діаметр в середньому 24 км. Залежно від умов атмосфери, кожен з цих трьох етапів займає в середньому 30 хвилин [15].

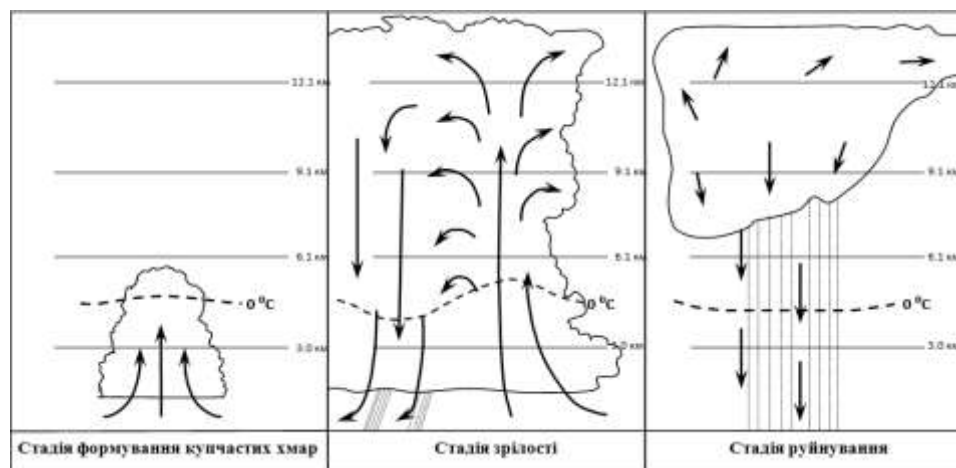


Рис. 1.1. Стадії розвитку грозової хмари

Перша стадія грози - це стадія формування купчастої хмари або стадія утворення. На цьому етапі волога яка знаходиться в атмосфері підіймається

вгору. Спусковим механізмом для цього підйому виступає сонячна радіація, внаслідок впливу якої нагрівання землі виробляє теплову енергію, або збіжність вітрів. Волога, що переноситься вгору, охолоджується до стану рідких крапель внаслідок зниження температури, даний процес призводить до розвитку купчастої хмари. Коли водяна пара конденсується в рідину, виділяється приховане тепло, яке нагріває повітря, змушуючи його стати менш щільним, ніж навколишнє, більш сухе повітря. Повітря має тенденцію підніматися у висхідному потоці в процесі конвекції (звідси термін конвективні опади). Цей процес створює зону низького тиску всередині хмари [16].

В стадії зрілості нагріте повітря продовжує підійматися, поки не досягне області теплішого повітря і не зможе піднятися вище. Часто розвиток купчастої хмари досягає рівня тропопаузи. Внаслідок цього купчаста хмара приймає характерну форму ковадла. Краплі води зливаються в більші і важчі краплі і замерзають, перетворюючись на частинки льоду. Якщо висхідний потік досить сильний, краплі тримаються вгорі достатньо довго, щоб стати настільки великими, щоб випасти у вигляді граду. Наявність як висхідного, так і низхідного потоку вказує на стадію зрілості шторму і створює купчасто-дощові хмари. На цьому етапі може виникати внутрішня турбулентність, яка проявляється як сильний вітер, сильна блискавка і навіть торнадо.

Як правило, якщо зсуву вітру недостатньо, шторм швидко переходить в стадію дисипації, однак, якщо швидкість або напрямок вітру буде відповідним, низхідний потік буде відокремлений від висхідного потоку, внаслідок чого гроза може стати суперчарунковою, в якій стадія зрілості може підтримуватися протягом декількох годин [17].

На стадії руйнування в купчастій хмарі переважає низхідний потік. Зазвичай, цей етап настає досить швидко, приблизно через 20–30 хвилин від початку формування грози. Холодне повітря, яке опускається низхідним потоком, перешкоджає розвитку грози, висхідний потік зникає, і гроза руйнується. Грози в атмосфері без наявності зсувів вітру слабшають, коли вертикальні рухи направлені у всіх напрямках, це перешкоджає притоку теплого, вологого повітря і пригнічує подальший розвиток грози [18]. Низхідний потік, що направлений в бік підстильної поверхні, створює значні градієнти швидкості вітру. Це може спричинити потенційно небезпечні

умови для польоту літальних апаратів, оскільки це призводить до зменшення підйомної сили літака [19].

1.2 Синоптичні умови виникнення гроз

Гроза є наслідком нестійкості атмосфери, що проявляється у виникненні значних вертикальних рухів дуже вологого повітря при великих градієнтах температури та утворенні потужних купчастих і купчасто-дощових хмар. Головним процесом, що зумовлює утворення гроз всередині однорідних повітряних мас, є термічна конвекція у чистому вигляді або в поєднанні з динамічною, чи під впливом орографії місцевості [20].

У помірних широтах грозова діяльність в основному спостерігається у теплий період року і виникає в купчасто-дощових хмарах завдяки розвитку атмосферної конвекції. Зимові грози (їх повторюваність становить соті долі відсотків) також пов'язані із зонами «затопленої» конвекції на загальному фоні шаруватоподібних хмар [21].

Залежно від характеру синоптичної ситуації, при якій відбувається розвиток грозової діяльності, розрізняють два типи гроз: внутрішньомасові та фронтальні. Фронтальні грози спостерігаються частіше, ніж внутрішньомасові, і, як правило, мають велику інтенсивність. Близько 70% гроз мають фронтальне походження, більша частина таких гроз пов'язана з холодним фронтом.

Вірогідність гроз залежить головним чином від стратифікації і вологовмісту теплої повітряної маси. Зменшення баричних градієнтів в передфронтальній масі, падіння тиску перед фронтом сприяють розвитку гроз. Не дивлячись на відмінність в характері синоптичного положення при розвитку фронтальних і внутрішньомасових гроз можна виділити основні чинники, які дозволяють оцінити умови розвитку грозової діяльності над районом, що цікавить нас. Якнайповніше рішення цієї задачі можна провести за даними вертикального зондування атмосфери на аерологічних діаграмах і картах баричної топографії [22].

Основними чинниками, що визначають умови формування грозових хмар, а отже, і грозової діяльності, є:

- ступінь конвективної нестійкості атмосфери, яка визначається стратифікацією повітряної маси та інтенсивністю прогрівання нижніх шарів повітря в денні години;
- кількість вологи, яка поступає з нижніх рівнів у верхні шари атмосфери, що беруть участь у формуванні грозової хмари;
- розподіл вологості по висоті і ступінь насичення водяною парою верхніх шарів повітря.

Найбільш сприятливими синоптичними умовами для утворення внутрішньомасових конвективних явищ є такі:

Тилова частина циклону. В тилівій частині циклонів, що виходять на материк у теплу пору року, як правило, спостерігається морське арктичне повітря (МАП) або морське помірне повітря (МПП). Дані повітряні маси спочатку, при виході на побережжя, є стійкими. В цьому випадку на знімках ШСЗ в тилівій частині циклонічного вихору спостерігається шарувато-купчаста хмарність. По мірі просування над теплою підстильною поверхнею холодне повітря швидко прогривається і стає нестійким. В МАП унаслідок низьких температур і невеликого вологовмісту конвективна хмарність не одержує істотного вертикального розвитку (рис. 1.2).

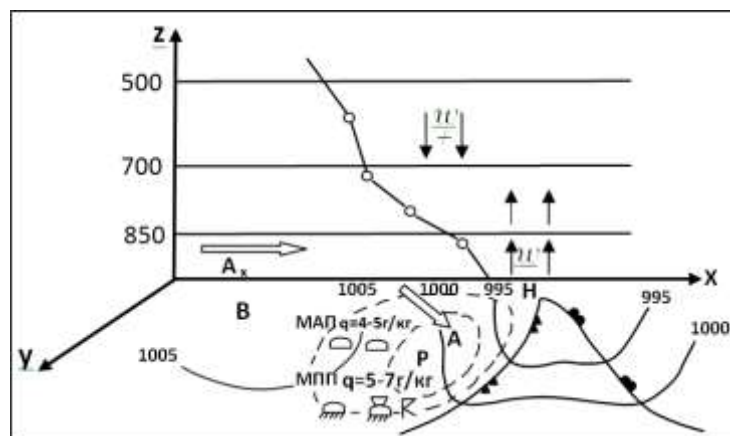


Рис. 1.2 – Тилова частина циклону

При достатньому його зволоженні, що в більшості випадків спостерігається у весняний період при переміщенні над вологою підстильною поверхнею, з *Sb* можуть випадати зливові опади

У МПП температура повітря вища і вологовміст більше, тому для даної повітряної маси характерне утворення потужно купчастих і купчато-

дощових хмар, а при просуванні в південні широти його нестійкість зростає і в даному повітрі можуть спостерігатися грози.

Необхідно відзначити, що розвитку купчастої і купчасто-дощової хмарності в даній синоптичній ситуації часто перешкоджають низхідні впорядковані рухи в середніх шарах тропосфери, які приводять до формування інверсійних шарів або шарів із сповільненим падінням температури. Дані шари є верхньою межею конвективної хмарності і перешкоджають розвитку хмарності по вертикалі, що в більшості випадків виключає можливість випадання сильних злив і гроз.

Депресії, що заповнюються. Це малорухливі циклони, що вже значно заповнилися в нижніх шарах, але добре виражені в середній і верхній тропосфері. Циклон заповнюється настільки, що з'являються розриви в хмарності, у ранкові часи спостерігається малохмарна погода. Це приводить до швидкого прогрівання повітря. Оскільки верхні шари повітря підготовлені для розвитку конвекції, то відбувається інтенсивний розвиток *Cb*. В той же час в результаті дощів, які пройшли в попередні дні, поверхня ґрунту в області депресії сильно зволожена і стає джерелом безперервного зволоження атмосфери. Високі значення масової частки водяної пари спостерігаються як біля поверхні землі ($7 - 12 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1}$), так і на висотах (на поверхні 700 гПа вона досягає $3 - 6 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1}$, відносна вологість 60 – 80 %).

Впорядковані вертикальні рухи близькі до нуля, або спостерігаються слабкі низхідні рухи (рис. 1.3).

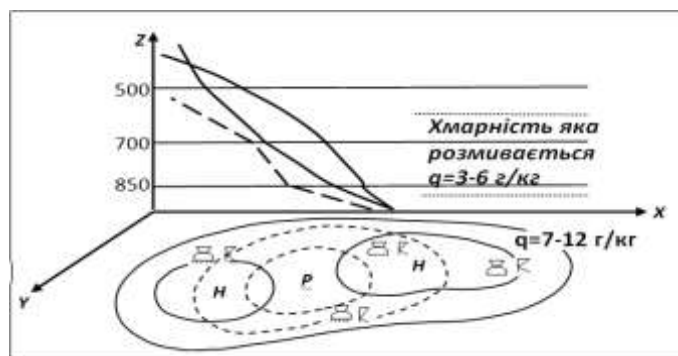


Рис. 1.3 – Депресія, що заповнюється

У результаті дії перерахованих чинників настає тривалий (до 5 – 7 діб) період зливових дощів і гроз, що охоплюють великі території. В більшості

випадків грози виникають в післяполудневий час, але нерідко бувають і пізніше.

Тилова (західна) периферія антициклонів. Характер погоди при даному синоптичному положенні може бути різним. В одних випадках спостерігається суха спекотна погода, в інших – погода із зливами і грозами над значними територіями. Неоднаковий характер погоди пояснюється різними повітряними масами, що спостерігаються влітку в даній синоптичній ситуації. Якщо по західній периферії антициклону відбувається винесення з південних районів морського тропічного повітря (МТП), то, як правило, влітку над материком це тепла нестійка повітряна маса.

Найважливішими чинниками, які сприяють формуванню нестійкої стратифікації і виникненню купчасто-дощової хмарності, злив і гроз, є зростання вологості повітря як біля землі ($T_d > 10^\circ\text{C}$), так і на висотах (відносна вологість 70 – 80% або $D \leq 3 - 5^\circ$) і зменшення адвекції теплого повітря з висотою (рис. 1.4).

Масовий розвиток злив і гроз на західній периферії антициклону спостерігається тільки за умови співпадання термічного гребеня з язиком вологого повітря. Найбільш ймовірне виникнення злив і гроз в період 14 – 18 годин місцевого часу при максимальній температурі біля землі вищій 25°C , але за цих умов нерідко спостерігаються і нічні грози.

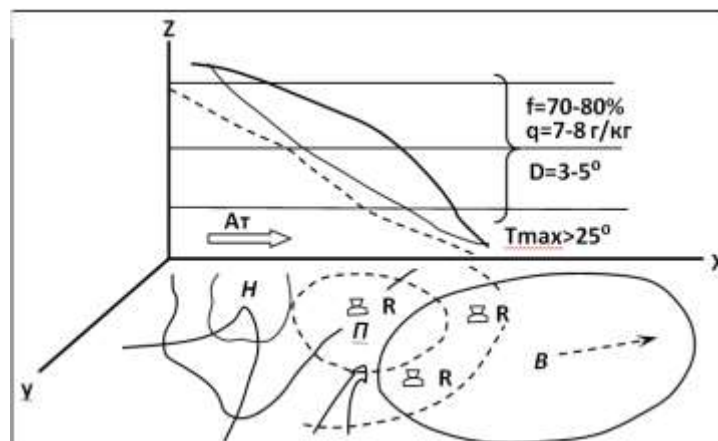


Рис. 1.4 – Західна периферія антициклону

Зникнення нестійкого стану при даному синоптичному положенні обумовлюється адвекцією сухого повітря, що має масову частку водяної пари

біля поверхні землі нижче $7 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1}$, тобто $T_d < 10^\circ\text{C}$. Вплив низхідних рухів в зменшенні нестійкого стану невеликий. Аналіз спостережень показує, що зливи можливі і при низхідних рухах $60 - 70 \text{ гПа}/12 \text{ год}$.

Антициклони, які руйнуються. У більшості випадків розподіл злив і гроз носить осередковий характер. Лише іноді створюються умови, сприятливі для масового розвитку конвективних опадів і гроз. Особливістю затухаючих літніх антициклонів є дуже високі температури біля земної поверхні, що сягають у денний час 30°C . Тому головним чинником, що призводить до розвитку конвективних явищ, є значне збільшення вологості біля поверхні землі за рахунок випаровування з підстильної поверхні (найчастіше з боліт, озер, лісових масивів). Для утворення Сб необхідна наявність високих значень точки роси біля поверхні землі - не нижче $14 - 16^\circ\text{C}$ (рис. 1.5).

Стратифікація T і T_d на висотах в затухаючих антициклонах характеризується великими дефіцитами точки роси на висотах, а впорядковані вертикальні рухи, як низхідні, так і висхідні, малі (від $+50$ до $-30 \text{ гПа}/12 \text{ год}$) і не мають істотного впливу на їх зміни. Проте при висхідних вертикальних рухах більш вірогідні зливи з грозами (близько 30% випадків), а при низхідних - сухі грози.

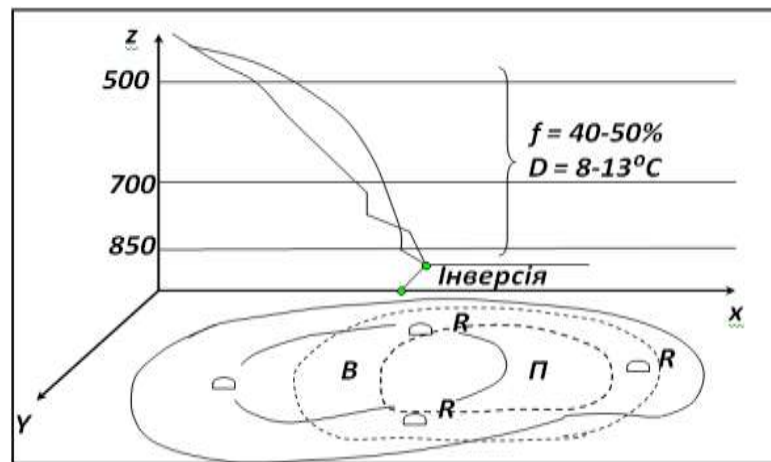


Рис. 1.5 – Антициклон, що руйнується

Фронтальні купчасто-дощові хмари звичайно являють собою не ізольовані хмари, а гряди, зосереджені уздовж лінії фронту, і, як правило, є більш потужними, ніж внутрішньомасові. Фронтальні зливи і грози переважно пов'язані з холодними фронтами і фронтами оклюзії за типом

холодного. На теплих фронтах і фронтах оклюзії по типу теплового, зливи і грози спостерігаються значно рідше, що зумовлено різними умовами формування конвекції в зоні теплих і холодних фронтів.

Виникненню гроз сприяє збільшення нестійкості в атмосфері: збіжність повітряних течій в нижніх шарах циклонічних областей, підйом повітряної маси у цілому вздовж поверхні розподілу, вихолодження верхніх шарів чи перегрів і збагачення водяним паром нижніх шарів і т.д.

На холодному фронті, який швидко рухається, різко виражена збіжність приземних течій (улоговина). На теплому атмосферному фронті грози утворюються завдяки тому, що під час підймання над фронтальною поверхнею зростає нестійкість стратифікації теплового повітря, яка обумовлює розвиток конвекції. Найчастіше це буває тоді, коли теплі фронти пов'язані з циклонами та улоговинами, що заглиблюються. Часто грози спостерігаються на фронтах оклюзії, особливо за типом холодного фронту. Більш холодне повітря витісняє менш холодне, проникає під поверхню теплового фронту, піднімаючи наверх тепле повітря, і цим спричинює розвиток цілого валу купчасто-дощових хмар за лінією фронту. Хмари розвиваються вертикально на значну висоту, коли фронт оклюзії утворюється у центрі циклону. Найчастіше фронтальні грози виникають безпосередньо поблизу поверхні фронту у вигляді смуги, ширина якої становить десятки кілометрів, і нерідко супроводжуються шквалами, зливами та градом. Тиск повітря перед грозою падає слабо при місцевих грозах або конвективних; після проходження грози вітер приймає попередній напрям [23].

Навіть невеликі підвищення рельєфу посилюють конвекцію і можуть призводити до виникнення внутрішньомасових гроз та злив. Посиленню конвекції сприяє конвергенція ліній току у повітряній течії нижніх шарів. У цьому випадку звичайна конвекція настільки збільшується, що переходить у грозову.

Отже, для виникнення грози необхідна наявність потужного волого нестійкого шару вище рівня конденсації, який може зруйнувати стійкість стратифікації нижнього шару (разом з інверсіями) і довести висхідні потоки до рівня конденсації і до вологонестійкого шару. У таких хмарах відбуваються складні взаємопов'язані процеси між ростом хмарних осередків їх переміщенням та накопиченням, з одного боку, і збільшенням електричних зарядів і пружності, з іншого [24].

1.3 Параметри конвекції

Характеристикою просторової мінливості вітру є зсув вітру, що представляє собою змінення напрямку та/або швидкості вітру у просторі, з урахуванням висхідних і низхідних потоків. Сильний зсув вітру входить до числа небезпечних явищ погоди [25].

У залежності від просторової орієнтації точок, він поділяється на вертикальний та горизонтальний. Вертикальним зсувом вітру називається зміна горизонтальної складової швидкості та/або напрямку вітру при зміні висоти польоту. Горизонтальним – зміна горизонтальної складової швидкості та/або напрямку вітру при зміні відстані вздовж напрямку полоту в горизонтальній площині [26].

Вертикальний зсув вітру. Вплив цього параметра неоднозначний. На розвиток конвекції позитивно впливає слабкий або помірний зсув вітру в нижніх шарах тропосфери (до 1,5 - 3,0 км). У цьому шарі зсув вітру підсилює турбулентність, що призводить до формування окремих турбулентних вихорів, які стають зародками конвективних хмар. Значні зсуви вітру в шарі 3-10 км перешкоджають утворенню грозових Сb, тому що підсилюють турбулентність, відбувається зміщення і зниження верхньої межі хмари [20].

Зсув вітру у шарі повітря – це різниця векторів вітру між верхньою та нижньою межами шару (рис.1.6), розділеною на товщину шару Δz . Одиниці вимірювання (c^{-1}).

Зсув може бути виражений через складові:

$$\frac{\Delta U}{\Delta z} = \frac{U_2 - U_1}{z_2 - z_1}, \quad (1.1)$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta z} = \frac{V_2 - V_1}{z_2 - z_1}. \quad (1.2)$$

Напрямок зсуву розраховується за наступною формулою:

$$a_{зсуву} = 90^\circ - \frac{360^\circ}{c} \arctan\left(\frac{\Delta V}{\Delta U}\right) + a_0. \quad (1.3)$$

Графічне представлення вектору зсуву вітру :

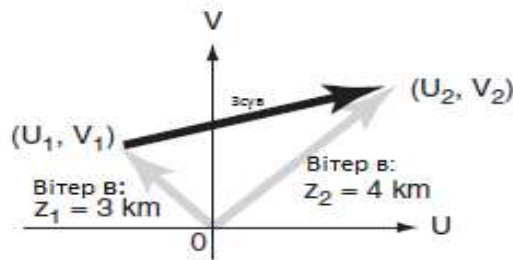


Рис. 1.6 – Визначення вектору зсуву вітру [27].

Різниця вітру (чорна стрілка) між двома висотами - це вектор різниці між вітром (довга сіра стрілка) на верхній межі шару мінус вітер на нижній межі (коротка сіра стрілка). Будемо використовувати вектор різниці вітру як показник для векторного зсуву вітру.

Де індекс 2 є верхньою межею шару, а індекс 1 відповідно нижньою межею. Співвідношення (1.1) були використані для визначення напрямку α вектору зсуву, але з ΔU замість U та ΔV замість V . $\alpha_0 = 180^\circ$, якщо $\Delta U > 0$, в іншому випадку значення α_0 дорівнює нулю. C – кутове обертання по колу (360° або 2π радіан, в залежності від значення «*arctan*»).

Для прогнозування грози в метеорології розглядають зсув вітру на багатьох рівнях, на різних висотах в атмосфері. Для того щоб спростити розрахунки, використовують шари рівної товщини, такі як $\Delta z = 1$ км. А саме, знаходимо зсув в нижньому шарі від $z = 0$ до $z = 1$ км, потім зсув в наступному шарі від $z = 1$ до $z = 2$ км і т. д.

Грози можуть стати інтенсивними та довготривалими при сприятливому зсуві вітру в нижній атмосфері. За таких умов, вологе повітря в граничному шарі («паливо для грозової діяльності») може надходити до грозової хмарності (рис.1.7). Інший спосіб зображення цього процесу полягає в тому, що зсув вітру викликає переміщення грози від місця де граничний шар з недостатньою кількістю «палива» для грозової діяльності до місця де повітря в граничному шарі є достатньо теплим та зволженим.

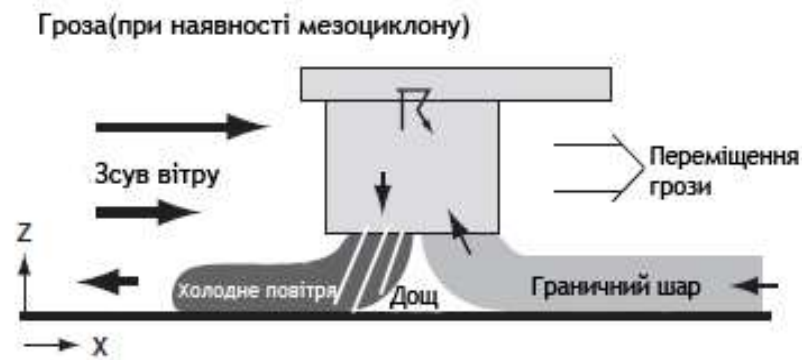


Рис. 1.7 – Схема конвективної хмари при наявності зсуву вітру [27].

Шторм поглинає в себе холодне повітря граничного шару, під час його руху, та залишає за собою слід більш холодного повітря, яке є більш стійким. В середовищі з вітром, але без зсуву вітру, грози проіснували б близько 15 хвилин до 1 години, тому що гроза та граничний шар повітря будуть переміщуватися разом. Після того як гроза припиняє свою активність, вона витрачає «паливо» в граничному шарі який її супроводжує. Зсув може також корегувати напрям, в якому рухається гроза [27].

Зсув вітру істотно впливає на зліт і посадку повітряних суден, через можливу втрату керованості, є одним із основних факторів ризику в авіації.

ІКАО рекомендує оцінку інтенсивності зсуву вітру в залежності від векторної різниці вітру на 30 м висоти:

- слабкий - 0-2 м / с на 30 м;
- помірний - 2-4 м / с на 30 м;
- сильний - 4-6 м / с на 30 м;
- дуже сильний - понад 6 м / с на 30 м. [28].

Безрозмірне число Річардсона

Тип грози залежить від кількості нестійкості та зсуву вітру в умовах приштормового середовища. Безрозмірне число Річардсона (BRN) - це співвідношення нелокальної нестійкості (тобто $CAPE$) в середній та верхній частинах тропосфери до зсуву (ΔM) в нижній частині тропосфери (1.7):

$$BRN = \frac{CAPE}{0,5 * (\Delta M)^2} . \quad (1.4)$$

Таблиця 1.1 – Визначення типу грози за значенням безрозмірного числа Річардсона

$BRN(m^2 s^{-2})$	Тип грози
<10	Несприятливі умови для виникнення грози
10-45	Суперчарунки
45-50	Суперчарунки та/або мультичарунки
>50	Мультичарунки

Таблиця 1.1 дає уявлення про використання безрозмірного числа Річардсона. BRN - це безрозмірна величина, тому що одиниці $CAPE (J \cdot kg^{-1})$ те саме, що і $m^2 \cdot s^{-1}$.

В знаменнику величина зсуву (ΔM) виражається:

$$\Delta M = (\Delta U^2 + \Delta V^2)^{1/2}, \quad (1.5)$$

де

$$\Delta U = \bar{U} - U_{SL}, \quad (1.6)$$

$$\Delta V = \bar{V} - V_{SL}. \quad (1.7)$$

Рівняння (1.7) є компонентами зсуву між середнім вітром (U, V) в шарі від 0 до 6 км, та вітром на поверхнях цього шару (U_{SL}, V_{SL}) визначається як середнє значення в шарі 0.5 км.

Знаменник BRN , відомий як безрозмірний зсув Річардсона ($BRN Shear$), визначається:

$$BRN Shear = 0,5 * (\Delta M)^2. \quad (1.8)$$

Якщо утворюються грозові суперчарунки, то безрозмірний зсув Річардсона відповідає таким градаціям:

Таблиця 1.2 – Визначення появи грози за значенням безрозмірного зсуву Річардсона [29]

<i>BRN Shear</i> ($\text{м}^2\text{с}^{-2}$)	Грози
25-50	Можливо, але маловірогідно
50-100	Більш вірогідно

Безрозмірний зсув Річардсона може вказати які суперчарунки можуть викликати шторми.

Storm Relative Helicity (*SRH*), одиниці виміру: $\text{м}^2 / \text{с}^2$.

Storm Relative Helicity: Відносна спіральність шторму є оцінка здатності (потенціалу) циклонічного обертання висхідних потоків для розвитку грози. Для прогнозування суперчарунок немає чіткого граничного значення *SRH*, тому що їх формування, більше пов'язано з шаром вертикального зсуву вітру. Розраховується в нижньому 0-1 км ($>100 \text{ м}^2/\text{с}^2$) та 0-3 км ($>250 \text{ м}^2/\text{с}^2$) шарі.

Зазначені значення свідчать про підвищену ймовірність виникнення суперчарунок, однак чіткої межі між прогнозом відсутності і наявності суперчарунок немає.

Наприклад, шторм рухається вправо від середнього вітру при наявності вертикального зсуву буде відчувати високу відносну спіральність і *SR* (відносну швидкість) потоку всередині шторму, ніж звичайний осередок, що рухається по середньому вітру [30].

SRH = 150 – розвиток суперчарунок;

SRH = 150-299 – можливий розвиток слабкого торнадо (F0 і F1);

SRH = 300-449 – можливий розвиток сильного торнадо (F2 і F3);

SRH > 450 – можливий розвиток дуже сильного торнадо (F4 і F5).

Примітка: ці значення спіральності припускають, що при розвитку грози шторм буде рухатися вправо щодо середнього вітру. Значення є справедливими для шару 0-3 км (Рис.1.8).

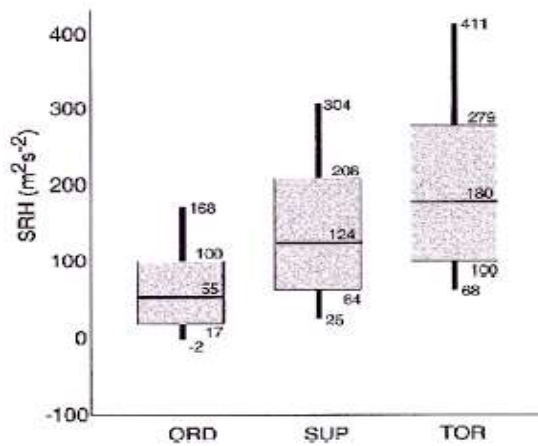


Рис. 1.8 – Кореляція на рівнях 0 - 3 км SRH та типами гроз.

ORD - звичайні грози, *SUP* - суперчарункові грози які не утворюють торнадо, *TOR* - суперчарунки при яких можливе утворення торнадо. Сірі поля обмежують область між 25 та 75 відсотками. Чорні лінії показують область від 10 до 90 відсотків [31].

Vorticity Generation Parameter (VGP)

Параметр генерації вихору (*VGP*) пов'язаний з просторовими параметрами конвекції, які були досліджені Расмуссеном та Вільгельмсоном (1983) та з фізичною концепцією нахилу вихору. *VGP* призначений для оцінки швидкості нахилу та розтягування горизонтального вихору. Значення, що перевищують 0,2, свідчать про збільшення можливості виникнення торнадо [32].

1.4 Наслідки гроз

Об'єктом дослідження даної роботи є параметри конвекції які пов'язані зі зсувами вітру. Сильні вітри та шквали які виникають в результаті конвективних рухів та грозової діяльності здатні викликати руйнування, обсяг яких залежить від швидкості вітру [33]. Вже вітри швидкістю 12 м/с можуть призвести до пошкодження ліній електропередачі через падіння на них зламаних гілок дерев. Вітри ураганної сили, тобто швидкістю понад 35 м/с, наносять значні пошкодження легким та інколи навіть капітальним

будівлям, розбивають вікна та здирають фарбу з машин. Вітри швидкістю понад 70 м/с здатні руйнувати вже практично будь-які будівлі, а будівель, здатних витримати вітер швидкістю понад 90 м/с, майже не існує [34].

Фактори небезпеки сильних вітрів, шквалів та смерчів: травмування, а інколи і загибель людей; руйнування інженерних споруд та систем життєзабезпечення, доріг та мостів, промислових і житлових будівель, особливо їх верхніх поверхів і дахів; перекидання телеграфних стовпів, виривання дерев та утворення завалів; знищення садів та посівів на полях.

Серед НС природного характеру у 2019 році сталося зростання кількості НС унаслідок метеорологічних НС (з 4 НС у 2018 році до 16 НС у 2019 році), насамперед це пов'язано із ускладненнями погодних умов (сильними зливами та формуванням швидкоплинних паводків на заході країни у травні-червні 2019 року). Решта статистичних показників НС природного характеру знаходилися у межах середніх багаторічних значень.

Протягом останнього десятиліття в Україні зафіксовано близько 240 випадків виникнення катастрофічних природних явищ метеорологічного походження пов'язаних з грозовою діяльністю та сильним вітром. У 2008 р. було зареєстровано 115 метеорологічних небезпечних явищ внаслідок яких загинуло 8 і постраждало 33 людини.

В Чернівецькій області у період з 27 квітня по 7 червня 2019 року внаслідок дощової погода (середньомісячна кількість опадів в травні становила 129-181 мм, що становить 170-307 % кліматичної норми) у басейні р. Черемош формувалася серія швидкоплинних дощових паводків різної інтенсивності, що призвело до пошкодження 21 гідротехнічних споруд, пошкодження 1,7 км дамб, 4 км берегоукріплення, руйнування та пошкодження понад 49 км автомобільних доріг, 8 автомобільних та пішохідних мостів, підтоплення житлових будівель, присадибних ділянок, об'єктів соціальної сфери. Обсяг завданих матеріальних збитків становить понад 137 млн. гривень.

В Івано-Франківській області починаючи з 15 травня 2019 у зв'язку з випаданням значних опадів у вигляді дощу та місцями граду на території Івано-Франківської області відбулися різкі підйоми рівнів води в басейнах річок Дністер та Прут. Внаслідок негоди зруйновано житлових будинків - 1; пошкоджено багатоповерхових житлових будинків - 19 (м. Калуш), підтоплено та пошкоджено приватних житлових будинків - 1320; закладів

освіти, культури, охорони здоров'я - 53; зруйновано та пошкоджено 278 господарських будівель, затоплено понад 6,3 тис. присадибних ділянок, пошкоджено с/г угідь - 1950 га; розмито берегів - 27,34 км; зруйновано та пошкоджено: 350,44 км автомобільних доріг, 48 автомобільних мости, 13,7 км берегоукріплень, 8,13 км дамб, 60 пішохідних мостових переходів. пошкоджено водопровід та підтоплено КНС у м. Калуші. Під час паводка загинула одна особа. За попередньою оцінкою сума коштів, необхідних для ліквідації наслідків надзвичайної ситуації, становить понад 420 млн. грн., а обсяг завданих матеріальних збитків за попередньою оцінкою становить понад 100 млн. гривень;

В Закарпатська область внаслідок значних опадів (сильних дощів та граду) 20 - 25 травня 2019 року відбулися різкі підйоми рівнів основних річок та сталося затоплення: 3042,5 га. сільськогосподарських угідь; 687 домогосподарств; 112 житлових будинків; пошкодження: 13,8 км берегоукріплень; 39 мостових переходів (з них 19 пішохідних); 79,1 км дорожнього покриття; 462 м підпірних стін тощо. За попередньою оцінкою сума коштів, необхідних для ліквідації наслідків надзвичайної ситуації, становить понад 600 млн. грн., а сума прямих матеріальних збитків становить понад 150 млн. гривень;

В Одеській області упродовж 16-21 січня 2018 року внаслідок ускладнення погодних умов сталося знеструмлення 558 населених пунктів, пошкоджено 1750 опор ЛЕП, дахи адміністративних будівель, закладів освіти та охорони здоров'я. Частково заборонявся та обмежувався рух великовантажного транспорту на окремих ділянках доріг у межах області. Загальний розмір збитків за попередніми даними складає понад 47 млн гривень;

В Закарпатській області внаслідок ускладнення погодних умов (гроза, град, сильні шквали), що спостерігалось на території області 12-13 червня 2018 року, у Іршавському, Тячівському, Мукачівському та Хустському районах пошкоджено дахи 696 об'єктів житлового фонду, 15 закладів освіти, 4 закладів охорони здоров'я, 10 закладів культури, 3 інших закладів бюджетної сфери, знеструмлені 32 населених пункти, внаслідок підняття рівнів води пошкоджено автомобільні мости та дорожнє покриття на 37 ділянках доріг загального користування місцевого значення та комунальної власності, знищено та пошкоджено (суцільний вітровал, вітролом) 405,1 га

лісу, пошкоджено посіви сільськогосподарських культур на площі 159 га,. Загальна сума збитків завданих надзвичайною ситуацією склала понад 63,7 млн. гривень;

У Чернівецькій області упродовж 28-30 червня 2018 року внаслідок погіршення погодних умов (сильні зливові дощі, грози, сильні шквали) на території Кіцманського, Заставнівського, Сторожинецького, Глибоцького, Сокирянського районів області та м. Чернівці пошкоджено понад 540 км покриття доріг комунальної, державної власності, понад 50 мостових переходів та бетонно-трубчастих конструкцій, 8 дамб штучних ставків, понад 230 га. сільськогосподарських посівів, підтоплено 5 об'єктів соціальної сфери, 50 житлових та господарських будівель, 390 підвалів, 310 криниць, 283 присадибних ділянки, пошкоджено покриття 16 будівель, знеструмлено 45 населених пунктів. Загальна сума збитків, завданих надзвичайною ситуацією, склала понад 200 млн. гривень [35].

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО КОМПЛЕКСАЦІЮ ТА ПАРАМЕТРИЗАЦІЮ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУ

2.1 Методика розрахунку оптимальних значень прогностичних показань

В способах прогнозу явищ погоди, в основі яких лежить лінійний метод дискримінантного аналізу, прогностичний алгоритм реалізується за допомогою наступної формули.

$$L = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n. \quad (2.1)$$

При розробці даними способами прогнозу погоди використовується наступне правило: при $L \geq 0$ в прогнозі вказується явище погоди.

Внаслідок впливу місцевих умов порогове значення неоднакове для різних географічних районів. Так, наприклад, порогове значення коефіцієнта Вайтінга для території США складає 20, а для європейської частини Росії – 25. Звідси випливає, що порогове значення необхідно уточнювати для кожного окремого регіону на основі місцевих архівних даних.

В основі даної методики лежить параметричний метод дискримінантного аналізу. Алгоритм даної методики полягає в наступному:

- для кожного з випадків архівної вибірки розраховуємо значення індексів;
- визначаємо інтервал зміни індексів як різницю між найбільшим та найменшим значеннями. Весь інтервал розбиваємо на рівні градації, число яких визначається об'ємом вибірки;
- з отриманих даних складається таблиця. В залежності від кількості градацій складається відповідна кількість таблиць спряженості та визначається критерії успішності для окремих значень градації [36].

2.2 Постановка задач комплексації

У зв'язку з широкими впровадженнями в прогностичну діяльність електронно-обчислювальної техніки в даний час ведеться інтенсивна робота зі створення нових фізико-статистичних способів прогнозу небезпечних явищ погоди. У зв'язку з цим у прогностичних практиці існує кілька десятків способу прогнозу небезпечних явищ погоди, як гроза та ін.

При аналізі випробування цих способів або їх оперативного застосування може виявитися таке:

- група способів має приблизно однакову оцінку успішності чи ефективності, і жоден із способів не може бути визнаний в якості кращого;
- формулювання прогнозів, розроблених різними способам, не завжди збігаються, наприклад: за параметром *VGP* – її відсутність; за параметром *SRH* – наявність, а за параметром *BRN Shear* – також відсутність і т.д.

За вказаних вище обставин обґрунтовані рекомендації з вироблення остаточних формулювань прогнозу відсутні, тому синоптик, як правило, йде по лінії найменшого опору, використовуючи один, кращий з його точки зору спосіб.

У цьому випадку додаткова кількість інформації про предиктант, що міститься в інших способах, не включається в роботу з розробки більш достовірного прогнозу, тобто є втраченим для прогнозиста.

Один з можливих шляхів використання такої інформації пов'язаний з комплексацією прогнозів.

Під комплексацію прогнозів будемо розуміти складання статистично обґрунтованих рекомендацій зі спільного використання різних способів прогнозу однієї і тієї ж характеристики стану атмосфери.

2.3 Варіанти використання комплектації

Розглянемо варіанти використання комплексації. Нехай відомо N різних способів прогнозу деякої характеристики стану атмосфери. Є послідовність паралельних прогнозів, складених цими способами, довжиною N і такої ж

довжини відповіді дані про предиктант y . Потрібно розбити оптимальний в певному сенсі алгоритм спільного використання деяких з названих способів в оперативній практиці.

Можливі три варіанти такого використання:

- створюється об'єднаний перелік предикторів розглянутої групи способів і встановлюється статистичний зв'язок між ними і предиктантом y ;
- створюється об'єднаний перелік «другорядних предикторів» і встановлюється статистичний зв'язок між ними і предиктантом табл 3.1;
- встановлюється статистичний зв'язок між фактичним значенням предикторів і безпосередньо значеннями предиктанта, передвіщеними розглянутими способами, тобто роль «предикторів» відводиться передвіщеним різним способами значень $\tilde{Y}$.

Перший і другий підходи - об'єднання «первинних» або «вторинних» предикторів - по суті, є звичайною методикою зі створення способу прогнозу явища погоди, тільки віртуальний перелік предикторів в цьому випадку не відбирається з фізичних міркувань, а якби призначається з розглянутих способів.

Такий же недолік характерний і для третього підходу комплексції. У цьому випадку завдання комплексції залишається практично невирішеним. Дійсно, нехай прогнози, що розробляються комплексуються m кількістю способів, причому кожним прогнозом передбачається здійснення однієї з k фаз (градацій) $\tilde{Y}$ і прогностичні висновки даються в категоричній формі.

Таблиця 2.1 — Спряженості паралельного комплексу

Здійснилося	Прогноз(співвідношення передбачених формулювань)								Σ
	000	001	010	011	100	101	110	111	
R	2	1	0	2	3	3	5	11	27
$\hat{R}$	39	4	2	1	10	6	7	4	73
Σ	41	5	2	3	13	9	12	15	100
P_R	0,05	0,20	0,00	0,67	0,23	0,33	0,42	0,73	

Ймовірність появи грози при кожному поєднанні визначенні для 000 - $P_R = 2/41 = 0,05$; для 001 - $P_R = 1/5 = 0,20$ і т.д.

З аналізу даної таблиці випливає, що при поєднанні формулювань використаних прогнозів: 011 і 111 ймовірність грози більше порогового

значення ($P_R = 0,5$). Отже, за даних поєднань (011; 111) використовуваних способів завжди будемо прогнозувати формулювання «грози», при всіх інших поєднаннях «без грози».

Розряди двійкових чисел у заголовку таблиці відповідають номерам прогностичних способів, причому за кожним з комплексуючих способів закріплено конкретне місце.

Кількість випадків в таблиці спряженості, тобто кількість різних сполучень градацій L , одно κ^m . Якщо, наприклад, комплексуються прогнози, що розробляються всього трьома способами, а діапазон вимірювань κ розбитий на 10 градацій, $L = \kappa^m = 10 = 1000$.

Таким чином, якщо навіть врахувати, що деякі сполучення градацій Y практично не спостерігаються, обсяг вибірки N , необхідно для отримання задовільних оцінок ймовірностей, повинен становити принаймні десятки тисяч випадків. Звичайно, вибірка такого обсягу практично отримана бути не може.

Становище різко змінюється при комплексції альтернативних прогнозів ($\kappa=2$). При тій же кількості розглянутих способів ($m=3$) кількість стовпців в таблиці спряженості зменшується до $L = \kappa^m = 2^3 = 8$. Задовільні оцінки ймовірностей можна сподіватися отримати за вибіркою всього з декількох сотень випадків.

Враховуючи сказане, конкретизуємо завдання комплексції, стимулювавши її наступним чином.

В результаті паралельних випробувань m способів альтернативного прогнозу стану атмосфери (наприклад, «відсутність» - «наявність»)

Потрібно для кожного поєднання способів прогнозу оцінити ймовірність здійснення прогнозованого явища P .

У розглянутій постановці завдання комплексції може розглядатися, як один з варіантів завдання розробки фізико-статистичних способів прогнозу (якщо під предикторами розуміти значення K , передбачені комплексуючими способами). Тому для її рішення природно скористатися загальними рекомендаціями з розробки статистичних способів прогнозу.

На першому етапі розробки повинен бути визначений попередній перелік комплексуючих способів. При визначенні переліку (пам'ятаючи про «табу» статистичного прогнозу) слід виключати з подальшого розгляду способи, що опинилися за результатами випробувань малоефективними, а

також способи, в яких використовуються ті ж переліки предикторів і вирішальні правила, що і способи, відібрані раніше.

Як показує практика розрахунків, при такому підході в попередній перелік має бути включено не більше 4-6 способів.

На другому етапі на архівному матеріалі розробляється серія паралельних прогнозів вибраними способами. При складанні архівної вибірки бажано, по-перше, відбирати випадки, коли початковий стан атмосфери не унеможлиблював виникнення прогнозованого явища і, по-друге, прагнути до кліматичних повторюваностей випадків виникнення і не виникнення явища.

При 4-6 включених до попереднього переліку способів обсяг архівної вибірки повинен містити більше 250 випадків. Архівна вибірка у співвідношенні 2:1 розбивається на навчальну і контрольну (за матеріалами навчальної вибірки визначаються статистичні зв'язки, а по контрольній проводиться оцінка ефективності побудованого комплексу).

На третьому етапі проводиться остаточний відбір комплексуючих способів. Так як кількість способів, включених до попереднього переліку, як зазначалося вище, не перевищує 4-6, для відбору найчастіше використовується процедура просіювання (або вичерпування інформації).

Після проходження оптимального комплексу складаються прогностичні рекомендації, в яких зазначаються:

- склад комплексу;
- вірогідність здійснення явища для різних формулювань прогнозів комплексуючими способами;
- очікувана ефективність комплексації.

У загальному випадку можливі два варіанти комплексації: паралельна і послідовна.

2.4 Паралельна комплексація

Алгоритм, в результаті якого на підставі одночасно (паралельного) прогнозу явища погоди кількома заздалегідь визначеними способами

робиться висновок про наявність чи відсутність явища, носить назву паралельної комплектації.

Даний алгоритм полягає в наступному:

Визначаються найбільш ефективні способи прогнозу для даного району базування. Обсяги архівних вибірок в основному дозволяють включати в комплекс не більше чотирьох способів. При цьому необхідно об'єднати в комплекс способи, що базуються на різноманітних фізичних моделях одного і того ж явища.

У відповідності до обраних способів складається архівна вибірка, яка розбивається на навчальну і контрольну. По матеріалам навчальної вибірки розробляється серія паралельних прогнозів.

Синоптик, отримавши відповідну комбінацію формулювань прогнозів, визначає за таблицею спряженості значення (P).

За даними контрольної вибірки визначається оцінка успішності паралельного комплексу.

В якості критеріїв успішності застосовуємо загальновизнані критерії: U – загальна справджуваність, Q – критерій точності Обухова, H – критерій надійності Багрова. При розробці спеціалізованих прогнозів для оцінки ефективності використовується функція f – нормовані затрати споживача.

В якості критерію на прийняття рішення щодо комплексу для спеціалізованих прогнозів застосовується порогова ймовірність P_k , а в якості оцінки ефективності способів і комплексу способів використовується величина нормованих витрат f .

У разі прогнозів загального призначення ($P_k = 0,5$) застосовується критерій загальної справджуваності H , який в даному випадку дорівнює величині нормативних витрат.

2.5 Оцінка успішності прогнозів

Під оцінкою справджуваності зазвичай розуміють весь процес порівняння прогнозованої і фактичної погоди. Отримані таким чином дані використовуються для обчислення одного чи більше індексів або критеріїв

успішності. Потім, в залежності від цілі вказаної перевірки, ці критерії порівнюються з деяким стандартом.

Відомості про очікуваний стан атмосфери, що містяться в прогнозах погоди, використовуються споживачами метеорологічної інформації під час планування їх діяльності на відповідний період. План дії споживача, складений з урахуванням прогнозу, називають оптимальною стратегією використання прогностичної інформації. Ефективність діяльності споживача може оцінюватися матеріальними витратами [37].

Помилки прогнозів залежно від причин, що їх викликали, бувають наступними:

а) помилки, що виникають за рахунок недостатньої точності і повноти вихідних даних, які використовувались при розробці або при випуску прогнозу;

б) помилки, що виникають в результаті неправильного застосування прогностичного методу;

в) помилки, викликані недосконалістю самого прогностичного методу.

У реальних умовах помилки прогнозів обумовлені сумісною дією всіх трьох чинників.

Середнє значення вказаних внесків порівняно просто знаходиться в припущенні про статистичну незалежність помилок різних груп:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3, \quad (2.1)$$

де Δ_{Σ} - сумарна помилка прогнозу;

$\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3$ - помилки прогнозу а,б,в груп.

Відносний внесок кожного з доданків у сумарну помилку прогнозів:

$$\frac{\Delta_1^2}{\Delta_{\Sigma}^2}; \quad \frac{\Delta_2^2}{\Delta_{\Sigma}^2}; \quad \frac{\Delta_3^2}{\Delta_{\Sigma}^2} \quad (2.2)$$

Жоден із сучасних прогностичних методів не гарантує постійного збігу передбаченого значення (фази) даної метеорологічної величини зі спостереженням. З цієї точки зору всі прогнози є ймовірнісними. Споживачу повідомляються ті значення метеорологічної величини, здійснення яких у

даному випадку найбільш ймовірно. Проте споживачу прогнозів зовсім не байдуже, з якою саме ймовірністю очікується те чи інше погодні явище. Споживачу повинні бути відомі значення ймовірностей здійснення різних явищ при даному формулюванні прогнозу. Визначення цих ймовірностей також складає одну з важливих задач аналізу справджуваності прогнозів.

Оцінка надійності методів, які прогнозують факт наявності (відсутності) метеорологічних явищ, у тому числі стихійних.

Критерій точності прогнозів М.О. Обухова розраховується за формулою:

$$Q = \frac{U - U_0}{1 - U'_0}, \quad (2.3)$$

$$\text{де} \quad U'_0 = \frac{n_{10}n_{10} + n_{20}n_{20}}{N^2}. \quad (2.4)$$

Показник Q виражає частку точних, успішних прогнозів при відомій повторюваності фаз погоди. Він змінюється в межах від 1 до -1 (ідеальні прогнози і всі прогнози помилкові).

Критерій надійності прогнозів по Н.А. Багрову. Критерій має вигляд:

$$H = \frac{U - U_0}{1 - U_0}, \quad (2.5)$$

де

$$U_0 = \frac{n_{01}n_{10} + n_{02}n_{20}}{N^2}. \quad (2.6)$$

Критерій характеризує відносне збільшення загальної справджуваності оцінюваних прогнозів (в порівнянні з випадковими) до максимально можливого. Тут різниця нормована щодо відхилення ідеального прогнозу від випадкового при інтервалі (0;1). Очевидно, що критерій позбавлений недоліків, властивих критеріям «загальна справджуваність». Значення змінюються в межах від 0 до 1 [38].

З ПАРАЛЕЛЬНИЙ КОМПЛЕКС ПРОГНОЗІВ ПОБУДОВАНИЙ ЗА ТРЬОМА ПАРАМЕТРАМИ КОНВЕКЦІЇ

3.1 Розрахунок оптимальних порогових значень прогностичних показань

В даній роботі для побудови паралельного комплексу були використані три параметри конвективної діяльності:

- *VGP (Vorticity Generation Parameter)*;
- *BRN Shear (Bulk Richardson Shear)*;
- *SRH (Storm Relative Helicity)*.

Для проведення розрахунків використовувались дані про фактичну погоду, з метеорологічної інформаційної служби, яка використовує дані в мережі від National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) в період з 1.04.2018 р. по 29.09.2018, параметри конвекції розраховані за даними температурно-вітрового зондування за допомогою програми RAOB для м. Київ.

Загалом було розглянуто 183 дні з них 46 днів з грозою.

Для того щоб побудувати паралельний комплекс прогнозів, на першому етапі необхідно визначити найбільш оптимальні порогові значення представлених параметрів, при яких буде враховано вплив місцевих умов за допомогою параметричного методу дискримінантного аналізу.

На основі архівної вибірки визначаються порогові значення кожного з індексів окремо, яким відповідає найбільше число випадків за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel 2007.

Для кожного з отриманих порогових значень були розраховані критерії успішності, результати розрахунків занесені до табл. 3.1, за зразком сформовані наступні таблиці для кожного з індексів.

Таблиця 3.1 – Значення критерію Обухова при різних значеннях *VGP* – (а), *BRN Shear* – (б), *SRH* – (в).

Порогове значення <i>VGP</i>	Критерій Обухова
0,03	0,38
0,05	0,43
0,11	0,13
0,17	0,11
0,25	0,02

(а)

Порогове значення <i>BRN Shear</i>	Критерій Обухова
20	0,05
29	0,1
35	0,07
46	0,04
50	0,04

(б)

Порогове значення <i>SRH</i>	Критерій Обухова
25	0,03
50	0,07
75	0,01
100	0,03
125	0,01

(в)

На основі представлених таблиці були побудовані графіки залежності значень кожного з індексів та критерію Обухова (рис.3.1).

Було визначено максимальне значення даної функції та визначено найбільш оптимальне порогове значення.

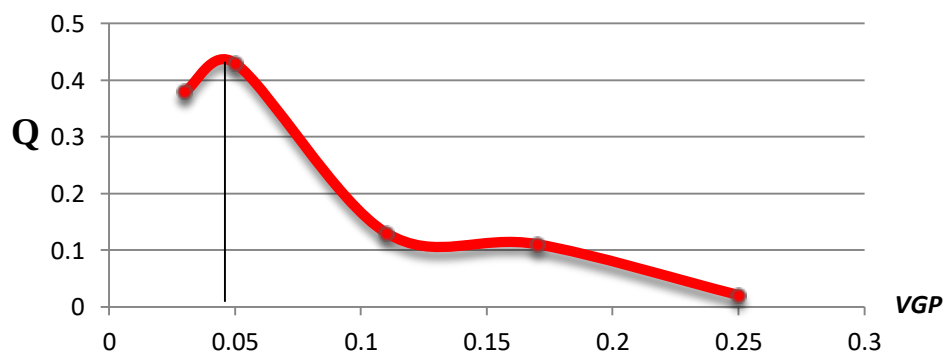


Рис. 3.1 – Графік визначення оптимального порогового значення індексу *VGP*

З рисунку 3.1 видно, що максимальне значення критерію Обухова (Q), а саме 0,43, відповідає критеріальному значенню індексу VGP , яке має найбільшу справджуваність

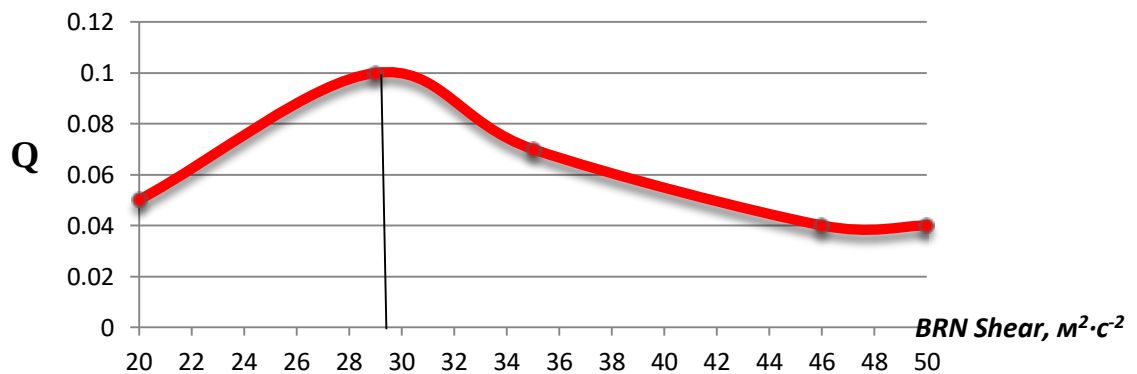


Рис. 3.2 – Визначення оптимального порогового значення індексу $BRN\ Shear$

З рисунку 3.2 видно, що максимальне значення критерію Обухова (Q), а саме 0,1, відповідає критеріальному значенню індексу $BRN\ Shear$, яке має найбільшу справджуваність.

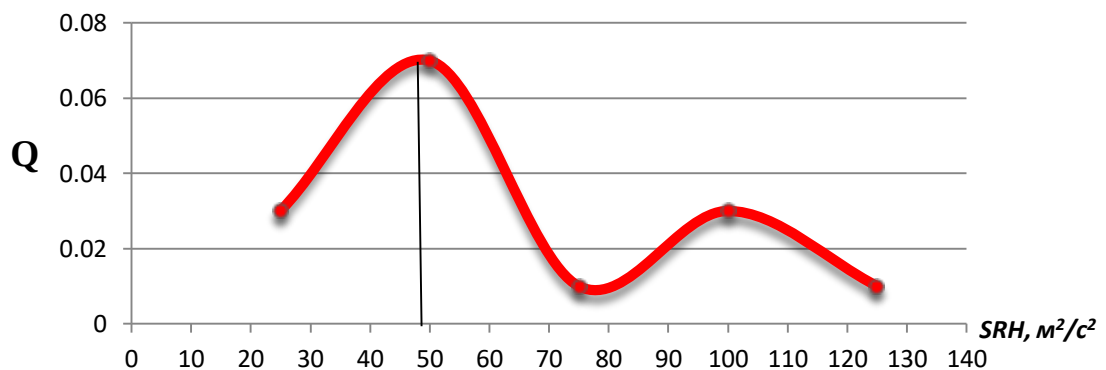


Рис. 3.3 – Визначення оптимального порогового значення індексу SRH

З рисунку 3.2 видно, що максимальне значення критерію Обухова (Q), а саме 0,1, відповідає критеріальному значенню індексу SRH , яке має найбільшу справджуваність.

В результаті аналізу графіків для визначення порогового значення було обрано критерії, які мають найбільшу успішність. В результаті отримано

наступні порогові значення: для $VGP = 0,045$, для $BRN\ Shear = 29$, для $SRH = 49$.

Значення загальної справджуваності отриманих критеріальних значень та вихідних занесені до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Загальна справджуваність індексів при заданих критеріальних значеннях та після параметризації

Параметр	Загальна справджуваність до та після зниження порогових значень	
<i>BRN Shear</i>	32%	56%
<i>VGP</i>	55%	60%
<i>SRH</i>	34%	55%

Після підбору індексів, реалізованому у програмі Microsoft Excel 2007, отримали загальну справджуваність для *BRN Shear* 56%, для *VGP* - 60%, *SRH* - 55%.

3.2 Побудова паралельного комплексу прогнозів

За даними обробки статистичної інформації було побудовано таблицю спряженості паралельного комплексу (табл. 3.3.)

Таблиця 3.3 – Таблиця спряженості паралельного комплексу

Здійснилося	Прогноз (співвідношення передбачених формулювань)								Σ
	000	001	010	100	011	101	110	111	
R	3	5	2	5	0	8	7	16	46
$\hat{R}$	25	9	6	32	2	6	47	10	137
Σ	28	14	8	37	2	14	54	26	183
P_R	0,11	0,36	0,25	0,14	0,00	0,57	0,13	0,62	

В результаті проведення комплексзації отримані дані зведені в таблицю спряженості паралельного комплексу (табл. 3.4.)

У даній таблиці прийняті наступні позначення: 0 – прогнозується відсутність грози, 1 – наявність грози. Це дозволяє досягти послідовного поєднання формулювань прогнозів за різними способами. Наприклад, 001 означає, що перший і другий способи по порядку прогнозують відсутність грози, а третій – наявність.

3.3 Оцінка ефективності комплексу

На другому етапі роботи було проведено порівняльну оцінку ефективності отриманого комплексу та окремих способів прогнозу, які увійшли до нього.

За даними таблиці 3.3 була розрахована справджуваність прогнозу за наступними критеріями успішності: H – критерій надійності Багрова; Q – критерій точності Обухова; U – загальну справджуваність прогнозів, які увійшли у нього.

Для цього були сформовані таблиці спряженості за зразком (табл. 3.4) в яких значення в чарунках n_{ij} , були отримані шляхом додавання значень з відповідних чарунок заповненої таблиці 3.3 (з урахуванням $P = 0,5$) [38].

Таблиця 3.4 – Таблиця спряженості

Здійснилося	Прогноз		Σ
	R	$\hat{R}$	
R	n_{11}	n_{12}	n_{10}
$\hat{R}$	n_{21}	n_{22}	n_{20}
Σ	n_{01}	n_{02}	N

Результати отриманих значень критеріїв успішності U , H , Q порівнювались для усього розглянутого комплексу, та за кожним окремим способом, що увійшли до цього комплексу.

За результатами оброблених даних були отримані наступні таблиці спряженості:

Таблиця 3.5 – Таблиця спряженості розробленого комплексу

Здійснилося	Прогноз		Σ
	R	$\hat{R}$	
R	24	22	46
$\hat{R}$	16	121	137
Σ	40	143	183

Таблиця 3.6 – Таблиця спряженості за *VGP* – (a), *BRN Shear* – (б), *SRH* – (в)

Здійснилося	Прогноз		Σ
	R	$\hat{R}$	
R	36	10	46
$\hat{R}$	95	42	137
Σ	131	52	183

(a)

Здійснилося	Прогноз		Σ
	R	$\hat{R}$	
R	29	17	46
$\hat{R}$	27	110	137
Σ	56	127	183

(б)

Здійснилося	Прогноз		Σ
	R	$\hat{R}$	
R	25	21	46
$\hat{R}$	65	72	137
Σ	90	93	183

(в)

На основі даних отриманих таблиць спряженості були розраховані критерії успішності для загального комплексу та кожного з методів прогнозу окремо.

Результати розрахунків наведені у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Справджуваність загального комплексу способів і кожного способу окремо

	U	Q	H
Розроблений комплекс	0,66	0,37	0,33
1-й індекс	0,60	0,24	0,19
2-й індекс	0,56	0,09	0,05
3-й індекс	0,55	0,07	0,05

Виходячи з результатів комплектації, які представлені в табл. 3.7 можна зробити висновок, що використання представлених параметрів в комплексі є більш ефективним, ніж кожного з параметрів окремо.

3.4 Параметризація та побудова паралельного комплексу прогнозів для території Німеччини

Результати, які отримані шляхом параметризації та побудови паралельного комплексу, для ст. Київ мають незадовільну справджуваність.

Використання порогових значень, які мають найбільшу справджуваність не є доцільним тому, що втрачається фізичний сенс даних індексів, внаслідок чого їх не можна використовувати для прогнозу конвективних явищ. Для вирішення даної проблеми необхідно скласти вибірку, основою якої є значення, отримані з великої кількості станцій, які відносяться до одного кліматичного району, та порівняти зі значеннями отриманими на ст. Київ.

Для проведення розрахунків використовували дані про фактичну погоду з метеорологічної інформаційної служби, яка використовує дані в мережі від National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) – Національного управління океанічних і атмосферних досліджень в періоди з 1.04.2018 р. по 29.09.2018 та з 1.04.2019 по 29.09.2019, параметри конвекції розраховані по даним температурно-вітрового зондування за допомогою програми RAOB по одинадцяти станціях на території Німеччини: ст. Шлезвіг (10035), ст. Нордернай (10113), ст. Грайфсвальд (10184), ст. Берген-Хоне (10238), ст.

Берлін (10393), ст. Ессен (10410), ст. Майнінген (10548), ст. Ідар-Оберштайн (10618), ст. Кюмммерсбрук (10771), ст. Штутгарт (10739), ст. Мюнхен (10868).

Були вибрані дні коли спостерігались наступні явища: Microburst, Gust, LLWS [39, 40]. Загалом було розглянуто 394 днів з яких 88 днів спостерігалась гроза та вищезазначені явища за даними RAOB.

У додатку Б в таблиці, знаком (+) – позначені формулювання прогнозів (гроза) і випадки, коли гроза спостерігалась, знаком (–) – формулювання прогнозів без грози, та випадки, коли гроза не спостерігалась.

Для того щоб порівняти значення індексів для території України та для території Німеччини, необхідно провести параметризацію та знайти найбільш оптимальні порогові значення для станцій на території Німеччини.

На основі архівної вибірки обираються порогові значення кожного з індексів окремо, яким відповідає найбільше число випадків.

Для кожного з отриманих порогових значень були розраховані критерії успішності, результати розрахунків занесені до табл. 3.8, за зразком сформовані наступні таблиці для кожного з індексів.

Таблиця 3.8 – Значення критерію Обухова при різних значеннях VGP-
(a), BRN Shear – (б), SRH – (в)

Порогове значення VGP	Критерій Обухова
0,03	0,21
0,07	0,234
0,1	0,237
0,15	0,13
0,2	0,08

(a)

Порогове значення BRN Shear	Критерій Обухова
10	0,17
30	0,21
50	0,26
70	0,19
90	0,22

(б)

Порогове значення SRH	Критерій Обухова
70	0,23
90	0,23
100	0,254
130	0,22
150	0,23

(в)

На основі представлених таблиць були побудовані графіки залежності значень кожного з індексів та критерію Обухова (рис. 3.4 – 3.6.).

Було визначено максимальне значення даної функції та отримано найбільш оптимальне порогове значення.

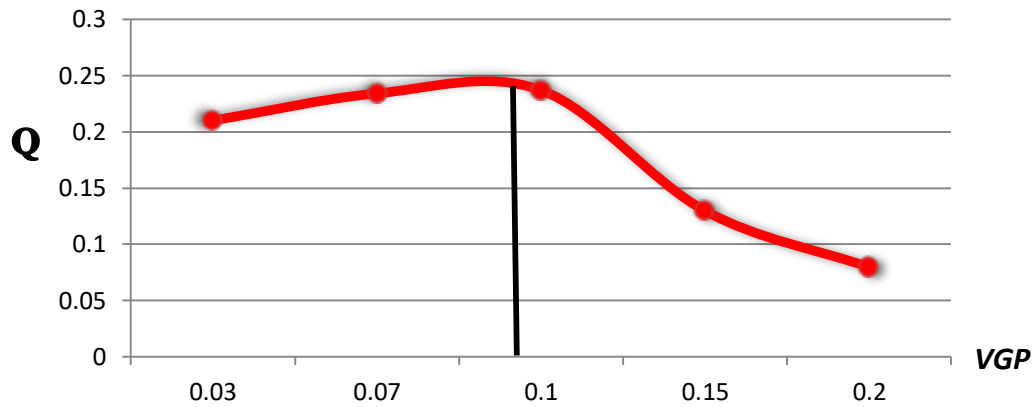


Рис. 3.4 – Графік визначення оптимального порогового значення індексу *VGP*

З рисунку 3.4 видно, що максимальне значення критерію Обухова (Q), а саме 0,237, відповідає критеріальному значенню індексу *VGP*, яке має найбільшу справджуваність.

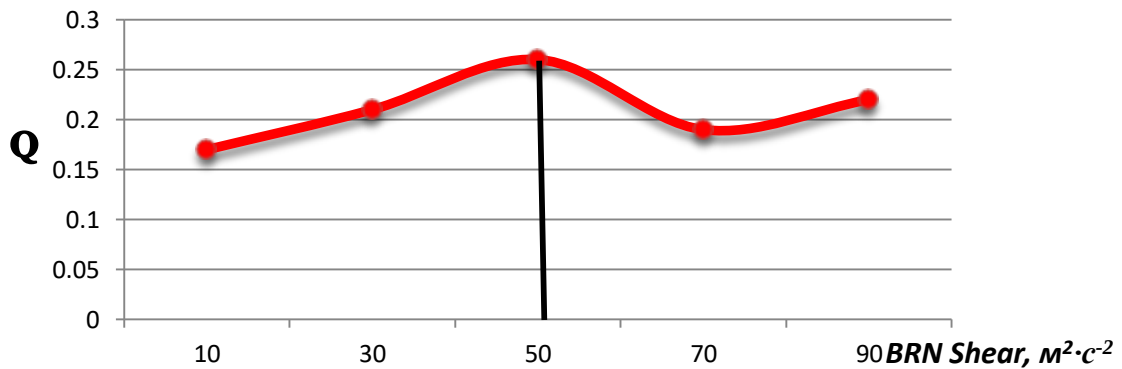


Рис. 3.5 – Графік визначення оптимального порогового значення індексу *BRN Shear*

З рисунку 3.5 видно, що максимальне значення критерію Обухова (Q), а саме 0,26, відповідає критеріальному значенню індексу *BRN Shear*, яке має найбільшу справджуваність.

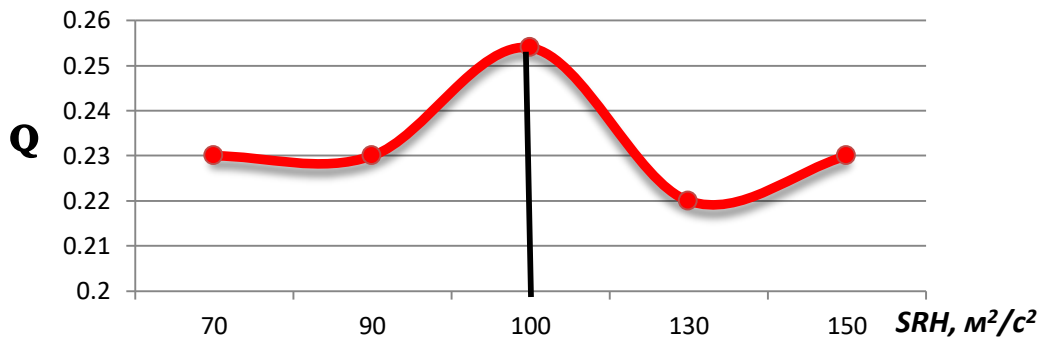


Рис. 3.6 – Графік визначення оптимального порогового значення індексу *SRH*

З рисунку 3.6 видно, що максимальне значення критерію Обухова (Q), а саме 0,25, відповідає критеріальному значенню індексу *SRH*, яке має найбільшу справджуваність.

В результаті аналізу графіків для визначення порогового значення було обрано критерії, які мають найбільшу успішність. В результаті отримано наступні порогові значення: для $VGP = 0,1$, для $BRN\ Shear = 50$, для $SRH = 100$.

За знайденими пороговими значеннями побудовано таблиці спряженості та визначено загальну справджуваність кожного з індексів.

Таблиця 3.9 - Таблиця спряженості за VGP - (а), $BRN\ Shear$ - (б), SRH - (в)

Здійснилося	Прогноз		Σ
	R	$\hat{R}$	
R	41	47	88
$\hat{R}$	70	236	306
Σ	111	283	394

(а)

Здійснилося	Прогноз		Σ
	R	$\hat{R}$	
R	51	37	88
$\hat{R}$	97	209	306
Σ	148	246	394

(б)

Здійснилося	Прогноз		Σ
	R	$\hat{R}$	
R	54	34	88
$\hat{R}$	110	196	306
Σ	164	230	394

(в)

На основі архівної вибірки та даних, отриманих шляхом знаходження найбільш оптимальних порогових значень, було розроблено комплекс для

території Німеччини шляхом використання методу паралельної комплексації, в результаті якого отримуємо наступну таблицю спряженості:

Таблиця 3.10 – Таблиця спряженості розробленого комплексу

Здійснилося	Прогноз		Σ
	R	$\hat{R}$	
R	45	43	88
$\hat{R}$	71	235	306
Σ	116	278	394

За статистичною інформацією була побудована таблиця, що відображає дані про наявність явища, його відсутність та загальну справджуваність, для підрахунку якої використовувалися наступні формули:

а) $I = \left(\frac{n_{11}}{n_{10}} \right) \cdot 100\%$ – формула наявності;

б) $I = \left(\frac{n_{22}}{n_{20}} \right) \cdot 100\%$ – формула відсутності;

в) $I = \left(\frac{n_{11} + n_{22}}{N} \right) \cdot 100\%$ – загальна справджуваність.

Нижче наведена таблиця, що містить відомості стосовно наявності явища, його відсутності та загальної справджуваності індексів для території Німеччини:

Таблиця 3.11 – Таблиця про наявність явища, його відсутність та загальної справджуваності індексів для території Німеччини

Розроблений комплекс	Наявність	Відсутність	Загальна справджуваність
	52,1	76,8	72,1
<i>VGP</i>	46,6	77,1	70,3
<i>SRH</i>	51,4	64,1	61,5
<i>BRN Shear</i>	48,0	68,3	63,0

Дана таблиця свідчить про те, що найкраще спрацьовує перший індекс (*VGP*), він має найбільшу справджуваність на відсутність явища 77%, загальна справджуваність становить 70%. Розроблений комплекс має найбільшу загальну справджуваність, вона складає 72%.

ВИСНОВКИ

1. В ході роботи були проаналізовані статистичні дані, підготовці яких передувала обробка за допомогою RAOB, та відібрані індекси зсуву, які найкращим чином сигналізують про ступінь турболізованості атмосфери у дні з грозою.

2. Перевірка індексів конвекції з закладеною у RAOB параметризацією для станції Київ показала слабкі результати, оскільки загальна справджуваність для *BRN Shear* склала 32%, для *VGP* - 55%, *SRH* - 34%. Після підбору індексів, реалізованому у Microsoft Excel 2007, була отримана величина загальної справджуваності для *BRN Shear* близько 56%, для *VGP* - 60%, *SRH* - 55%, але потрібно враховувати, що при зменшенні порогових значень індексів може втрачатися чутливість до суперчарунок.

3. Отримані результати комплексзації за представленими критеріями успішності дають змогу вважати, що всі три параметри у комплексі більш ефективно сигналізують про можливість виникнення конвективних явищ, та, як наслідок, потужних гроз, аніж кожний параметр окремо хоча справджуваність 1-го індексу, а саме Vorticity Generation Parameter, найбільша.

4. Для території Німеччини отримали, що адаптовані критеріальні значення шляхом підбору індексів, мають наступну загальну справджуваність: *BRN Shear* - 63%, *VGP* - 70%, *SRH* - 61%. У порівнянні з територією України всі три індекси мають більшу загальну справджуваність, при цьому отримані критеріальні значення є дещо вищими та є більш чутливими до суперчарунок.

5. Загальна справджуваність розробленого комплексу для території Німеччини складає 72%. Зважаючи на те, що відсоток наявності (52,1%) та відсутності (76,8%) грози перевищує 50%, комплекс може бути рекомендований для застосування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. RAOB. The Complete RAwinsonde OBservation Program. A product of Environmental Research Services, LLC. User Guide Technical Manual. Version 6.6/ed. By J.Shewchuk. – Matamoras (PA): Environmental Research Services, 2016. – 196 p.
2. Дані про фактичну погоду з метеорологічної інформаційної служби яка використовує дані в мережі від National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) – Національного управління океанічних і атмосферних досліджень. [Електронний ресурс]. Спосіб доступу: <https://www.ogimet.com/gsynres.phtml.en>.
3. "Weather Glossary – T". National Weather Service. 21 April 2005. [Електронний ресурс]. Спосіб доступу: <https://kestrelmeters.com/pages/weather-glossary#t>
4. National Severe Storms Laboratory. "SEVERE WEATHER Thunderstorm Basics", 2001 – 101 p.
5. Алексеева А.А., Глушкова Н.И. Особенности развития конвективных стихийных гидрометеорологических явлений и их прогноз - Труды ГМЦ России. 2000. Вып. 330. 90-97 с.
6. Брылев Г.Б., Шведов В.В. Радиолокационные критерии грозоопасности в оперативной практике. В кн.: Радиолокационная метеорология. Л.: Гидрометеиздат, 1982. - 144-154 с.
7. Хромов С. П., Петросянц М. А. Метеорология и климатология. – М., Наука, 2006 – 331 с.
8. Use of Multiple Verification Methods to Evaluate Forecasts of Convection from Hot - and Cold-Start Convection - Allowing Models [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/WAF-D-12-00022.1>
9. Bennets, McCallum and Grant. Cumulonimbus clouds: an introductory review, Meteorological Magazine, Meteorological Office, London, 1986. – 115 p.
10. Albert Irvin Frye. Civil engineers' pocket book: a reference-book for engineers, contractors. D. Van Nostrand Company, 1913. – 462 p.
11. FMI. "Fog And Stratus – Meteorological Physical Background". Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, 2007. – 121-132 pp.

12. Chris C. Mooney. Storm world: hurricanes, politics, and the battle over global warming. Houghton Mifflin Harcourt, 2007. – 20 p.
13. David O. Blanchard. "Assessing the Vertical Distribution of Convective Available Potential Energy", 1998. – 121 p.
14. Michael H. Mogil. *Extreme Weather*. New York: Black Dog & Leventhal Publisher, 2007. – 210 - 211 pp.
15. National Severe Storms Laboratory. "A Severe Weather Primer: Questions and Answers about Thunderstorms". National Oceanic and Atmospheric Administration, 2006. – 56 p.
16. Gianfranco Vidali "Rough Values of Various Processes". University of Syracuse, 2009. – 78 p.
17. Jon W. Zeitler & Matthew J. Bunkers "Operational Forecasting of Supercell Motion: Review and Case Studies Using Datasets", 2005. – 147 p.
18. The Weather World 2010 Project. "Vertical Wind Shear". University of Illinois, 2009. – 13 p.
19. T. T. Fujita. *"The Downburst, microburst and macroburst SMRP"*. – *Research Paper*, 1985. – 210 p.
20. Сидоров В.В. Метеорология и климатология: учебное пособие – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2006. – 146 с.
21. Шметер С.М. Характеристики затопленной конвекции во фронтальных облаках и условия её образования // Метеорология и гидрология, 1990. – 36–44 с.
22. Чечкин С.А. Основы геофизики. – Л. : Гидрометеиздат, 1990. – 357 с.
23. Назаренко А.В. Опасные природные явления. Часть III. Издательскополиграфический центр Воронежского государственного университета, 2008. – 12-16 с.
24. Заводченков А.Ф. Воронежская область. "Природа и чрезвычайные ситуации" Воронеж : Изд-во Воронежского государственного университета, 2005. – 98 с.
25. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. – Изд. РГГМУ, 2005.- 328 с.
26. Журавлев А И. Влияние сдвига ветра на взлет и посадку самолетов / А.И. Журавлев, О. К. Трунов // Методические рекомендации для летного и диспетчерского состава гражданской авиации. М.: МГА, 1979. – 15 с.
27. Stull. R. "Practical Meteorology: An Algebra-based Survey of Atmospheric Science". – Univ. of British Columbia, 2017. –525-526 pp.

28. "Руководство по сдвигу ветра на малых высотах", Международная организация гражданской авиации, 2005. – глава 2-7.
29. Stensrud, D.J., J.V. Cortinas Jr., and H.E. Brooks. "Discriminating between tornadic and nontornadic thunderstorms using mesoscale model output". – *Weather Forecasting*, 1997. – 613-632 pp.
30. Діагностическіє параметри умов форміування грозу. [Електронний ресурс]. Спосіб доступу: https://www.researchgate.net/publication/312488175_Diagnostic_parameters_of_conditions_of_thunderstorms_formation
31. Rasmussen, E.N., and D.O. Blanchard: "A baseline climatology of sounding-derived supercell and tornado forecast parameters". – *Wea. Forecasting*, 1998. – 1148-1164 pp
32. Davies-Jones, R., Burgess, and M. Foster, Test of helicity as a tornado forecast parameter, Preprints, 16th Conf. On Severe Local Storms, Kananaskis Park, Alberta, American Meteorological Society, 1990. – 88 - 92 pp.
33. National Weather Service Weather Forecast Office. "Thunderstorm". Severe Weather Preparedness Information. Albuquerque, – NM: NOAA, 24 August 2011.
34. *Walter J. Saucier*. Principles of Meteorological Analysis. — Courier Dover Publications, 2003.
35. Інформаційно-аналітична довідка про виникнення надзвичайних ситуацій в Україні у 2018-2019 роках [Електронний ресурс]. Спосіб доступу: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Dovidka-za-kvartal/87968.html>
36. Скирда И.А., Садковский В.И., Мозиков В.А. Авиационные прогнозы погоды: Учебник для курсантов метеорологического факультета и метеоспециалистов строевых частей ВВС / Под ред. И.А. Скирды. М.: Военное издательство, 1995. – 424 с.
37. Івус Г. П. Короткострокові прогнози погоди з урахуванням мезометеорології: Конспект лекцій. – Одеса:, 2007. – 162 с.
38. Хандожко Л.А. Экономическая метеорология/Л.А. Хандожко. – СПб: Гидрометеоииздат, 2005. – 490 с.
39. Ronald L. Holle, and Charles A. Doswell III. Microbursts: A Handbook for Visual Identification, 2008.

40. Federal Aviation Administration . Siting Guidelines for Low Level Windshear Alert System (LLWAS) Remote Facilities. Federal Aviation Administration; Washington, DC, USA, 1989.

ДОДАТКИ

Додаток А

ДОВІДКА

кафедри військової підготовки
до магістерської роботи
курсанта МВМ-19 Дениса Тіханова
на тему:

«Підвищення ефективності прогнозу конвективних явищ шляхом
комплектації параметрів конвекції»

1. Доповідь на студентській науковій конференції молодих вчених 17 квітня 2019 р. за темою: «Підвищення ефективності прогнозу конвективних явищ шляхом комплектації параметрів конвекції» та публікація тез доповіді за результатами конференції на сайті ОДЕКУ. [Електронний ресурс]. Спосіб доступу: <http://odeku.edu.ua/wp-content/uploads/Tezi-studentska-konferentsiya-2019.pdf>. – 347-349 с.

2. Участь у Всеукраїнській конференції молодих вчених «Молодь і Україна. Практика інноваційного пошуку» 18 грудня 2019 р. за темою: «Часова структура температуро-вологісних параметрів конвекції та врахування індексів зсуву при формуванні гроз над територією України» та публікація матеріалів доповіді за результатами конференції у Збірнику матеріалів Всеукраїнської конференції молодих вчених «Молодь і Україна. Практика інноваційного пошуку» (18 грудня 2019 р., Дніпро, Україна).

3. Доповідь на науковій конференції молодих вчених 29 травня 2020 р. за темою: «Підвищення ефективності прогнозу конвективних явищ шляхом комплектації параметрів конвекції».

Керівник магістерської роботи
прац. ЗСУ

Олександр ЄШАНУ

Додаток Б

Вхідні дані

Таблиця Б1 – Значення представлених індексів за даними температурно – вітрового радіозондування атмосфери за теплий період 2018 та 2019 року по території Німеччини

Дата/час	Станція	Явище	BRN Shear	SRH	VGP	Гроза
01.04.2018 12:00	10035	LLWS	4,1	37	0,023	-
02.04.2018 12:00	10035	LLWS	76,4	70	0,01	-
13.04.2018 6:00	10035	LLWS	113	198	0,06	-
13.04.2018	10035	LLWS	94,4	72	0	-
17.04.2018 12:00	10035	Microburst	35,5	55	0,006	-
24.04.18 12:00	10035	Gust 33	96,9	126	0,027	-
26.04.2018	10035	LLWS	7	54	0,106	-
01.05.2018	10035	Gust 34	24,2	114	0,046	+
16.05.2018	10035	LLWS	27,2	141	0,052	-
23.06.2018 6:00	10035	Gust 30	29,2	36	0,041	-
01.07.2018 12:00	10035	Microburst	9,8	19	0,069	-
25.07.2018 12:00	10035	Microburst	9,8	91	0,161	+
10.08.2018 12:00	10035	Gust 39	185,6	227	0,116	+
23.08.2018 12:00	10035	Microburst	10,4	60	0,014	-
11.09.2018 12:00	10035	Gust 41	71,8	332	0,1	-
20.09.2018	10035	Gust 38	81,1	240	0,034	-
22.09.2018 12:00	10035	Gust 37	19,1	101	0,128	-
24.09.2018	10035	Gust 47	10,9	88	0,06	-
26.09.2018 12:00	10035	Microburst	83,3	309	0,07	-
02.04.2018	10184	LLWS	23	148	0,02	-
08.04.2018 0:00	10184	LLWS	11,5	116	0	-
10.04.2018 12:00	10184	LLWS	19,7	142	0,022	-
18.04.2018 0:00	10184	Microburst	55,7	135	0	-
23.04.2018 12:00	10184	LLWS	50	34	0,053	+
25.04.2018 0:00	10184	Gust 38	127,8	133	0,1	-
27.04.2018 0:00	10184	Gust 37	25,2	102	0	-
30.04.2018 0:00	10184	LLWS	86,9	199	0,056	+
01.05.2018 12:00	10184	LLWS	87,1	161	0,028	-
03.05.2018 12:00	10184	LLWS	78,2	43	0,019	-
09.05.2018 0:00	10184	LLWS	2,6	-40	0	-
29.05.2018 12:00	10184	LLWS	22,9	25	0	-
04.06.2018 12:00	10184	LLWS	3,7	25	0,008	-
12.06.2018 12:00	10184	LLWS	0	37	0,022	-

Продовження таблиці Б1

Дата/час	Станція	Явище	BRN Shear	SRH	VGP	Гроза
23.06.2018 0:00	10184	Gust	42	192	0,033	-
07.07.2018 0:00	10184	Microburst	25,5	74	0	-
13.07.2018 12:00	10184	Microburst	12	98	0,26	-
23.07.2018 0:00	10184	Microburst	2,2	-1	0,096	-
28.07.2018 0:00	10184	Microburst	20,5	94	0,22	+
30.07.2018	10184	Microburst	19,4	59	0	-
04.08.2018 0:00	10184	Microburst	41,7	40	0,265	-
13.08.2018 0:00	10184	Microburst	60,1	185	0	-
12.09.2018 12:00	10184	Gust 43	80,5	225	0,01	-
17.09.2018 0:00	10184	Microburst	28,5	155	0	-
21.09.2018 0:00	10184	Gust 36	86,9	161	0,218	-
22.09.2018 0:00	10184	Gust 39	22,2	101	0,032	-
27.09.2018 0:00	10184	Gust 36	45,7	316	0,01	-
28.09.2018 0:00	10184	Gust 40	96,6	240	0	-
02.04.2018 5:00	10238	LLWS	81,7	148	0,02	-
05.04.2018 23:00	10238	LLWS	45	207	0,01	+
06.04.2018 23:00	10238	LLWS	49,5	163	0	-
07.04.2018 5:00	10238	LLWS	36,5	133	0	-
08.04.2018 5:00	10238	LLWS	9,5	447	0,03	-
09.04.2018 23:00	10238	Microburst	36,8	163	0,021	-
11.04.2018 11:00	10238	LLWS	40,1	204	0	-
11.04.2018 17:00	10238	LLWS	31,8	89	0	-
11.04.2018 23:00	10238	LLWS	11,8	196	0,32	+
22.04.2018 23:00	10238	LLWS	63,4	184	0,01	-
23.04.2018 5:00	10238	LLWS	72,5	147	0,031	-
23.04.2018 11:00	10238	LLWS	31,7	103	0,017	-
24.04.2018 5:00	10238	Microburst	121,9	242	0,02	-
24.04.2018 11:00	10238	LLWS	134,7	206	0,011	-
24.04.2018 17:00	10238	LLWS	134,3	134	0,017	-
25.04.2018 23:00	10238	LLWS	70,2	105	0,01	-
26.04.2018 5:00	10238	LLWS	33,7	148	0,01	-
26.04.2018 11:00	10238	LLWS	30,2	127	0,1	-
26.04.2018 17:00	10238	LLWS	60,4	58	0,102	-
27.04.2018 5:00	10238	LLWS	82,9	154	0,01	-
27.04.2018	10238	LLWS	74,5	143	0,051	-
28.04.2018 11:00	10238	LLWS	97,7	144	0,052	-
30.04.2018 23:00	10238	Gust 33	127,8	225	0,1	-
01.05.2018 11:00	10238	Gust 33	38,2	171	0,022	-
01.05.2018 17:00	10238	LLWS	22,5	99	0,018	-
02.05.2018 5:00	10238	LLWS	116	202	0,01	-
02.05.2018 11:00	10238	LLWS	103,1	149	0,01	-
02.05.2018	10238	LLWS	45,8	101	0,12	-

Продовження таблиці Б1

Дата/час	Станція	Явище	BRN Shear	SRH	VGP	Гроза
08.05.2018 23:00	10238	LLWS	15,5	75	0,01	-
09.05.2018 5:00	10238	LLWS	17,6	92	0	-
12.05.2018 23:00	10238	LLWS	29,3	223	0,01	-
13.05.2018 17:00	10238	LLWS	1,3	36	0,033	-
14.05.2018 11:00	10238	LLWS	8,7	88	0,04	-
14.05.2018 17:00	10238	LLWS	4,3	21	0,008	-
17.07.2018 23:00	10238	Microburst	1,5	19	0,034	-
22.07.2018 5:00	10238	Microburst	2,4	25	0,075	-
24.07.2018 23:00	10238	Microburst	1,1	9	0,063	-
25.07.2018 5:00	10238	Microburst	1,6	17	0,077	-
27.07.2018 11:00	10238	Microburst	3	66	0,17	-
28.07.2018 5:00	10238	Hail	27,7	23	0,188	+
07.08.2018 11:00	10238	LLWS	57,5	104	0,2	+
25.08.2018 5:00	10238	LLWS	4,9	99	0	-
26.08.2018 5:00	10238	LLWS	61,1	262	0,12	-
27.08.2018 11:00	10238	LLWS	75,1	132	0,107	-
11.09.2018 17:00	10238	Gust 35	76,2	214	0,01	-
18.09.2018 11:00	10238	LLWS	2,7	97	0	-
20.09.2018 17:00	10238	LLWS	35,7	159	0,1	-
21.09.2018 5:00	10238	LLWS	11,1	198	0,1	-
22.09.2018 11:00	10238	LLWS	30,8	168	0,062	-
23.09.2018 17:00	10238	Gust 35	16,9	128	0	-
24.09.2018 5:00	10238	Gust 42	40,1	143	0,1	+
26.09.2018 17:00	10238	Microburst	49,9	266	0,012	-
05.07.2018 18:00	10393	Microburst	12,2	46	0,101	-
24.07.2018	10393	Microburst	9,8	52	0,062	-
27.07.2018 12:00	10393	Microburst	7,7	13	0,143	+
28.07.2018 12:00	10393	Microburst	6,9	43	0,174	+
01.08.2018 12:00	10393	Microburst	1,6	27	0,149	-
02.08.2018 18:00	10393	Microburst	21	54	0,266	+
11.09.2018 12:00	10393	Microburst	110,2	233	0	-
21.09.2018 18:00	10393	Gust 37	225,2	131	0,21	+
24.09.2018 6:00	10393	Gust 38	30,9	160	0,012	+
26.09.2018 6:00	10393	Microburst	110,4	237	0	-
25.07.2018 12:00	10410	Microburst	14,1	90	0,166	-
26.07.2018 12:00	10410	Microburst	4,6	24	0,075	-
29.07.2018 12:00	10410	Microburst	55,4	165	0,1	-
10.08.2018	10410	Gust 35	46,2	-12	0,029	-
18.08.2018 0:00	10410	Microburst	1,4	18	0,007	-
27.08.2018 0:00	10410	Gust 35	122,9	473	0,012	-
11.09.2018 0:00	10410	Microburst	59,6	145	0,1	-

Продовження таблиці Б1

Дата/час	Станція	Явище	BRN Shear	SRH	VGP	Гроза
31.07.2018 12:00	10548	Microburst	4,7	29	0,056	-
08.08.2018 12:00	10548	Microburst	1,3	22	0,063	-
09.08.2018 12:00	10548	Microburst	21,4	67	0,131	-
17.08.2018 12:00	10548	Microburst	7,8	14	0,06	-
23.08.2018 12:00	10548	Microburst	2,3	13	0,081	-
08.09.2018 12:00	10548	Microburst	78,5	98	0	-
04.07.2018 11:00	10618	Microburst	3	6	0,135	+
14.07.2018 17:00	10618	Microburst	14,8	11	0,111	+
16.07.2018 11:00	10618	Microburst	4,7	6	0,086	-
28.07.2018 11:00	10618	Microburst	10,3	35	0,121	-
31.07.2018 11:00	10618	Microburst	32,6	129	0,119	-
04.08.2018 11:00	10618	Microburst	13,6	12	0,183	-
07.08.2018 11:00	10618	Microburst	19,1	130	0,179	+
09.08.2018 11:00	10618	Microburst	45,6	117	0,221	+
23.08.2018 11:00	10618	Microburst	13,8	20	0,104	+
25.08.2018 5:00	10618	Gust 43	49,4	158	0	-
28.08.2018 11:00	10618	Microburst	20,1	50	0	-
08.09.2018 17:00	10618	Microburst	37,6	89	0	-
18.09.2018 17:00	10618	Microburst	1	-7	0,106	-
20.09.2018 5:00	10618	Microburst	24	116	0,1	-
21.09.2018 11:00	10618	Gust 39	119,3	189	0,029	-
23.09.2018 11:00	10618	Gust 47	105,8	315	0,081	-
20.07.2018 0:00	10739	Microburst	12,7	19	0,092	-
22.07.2018 12:00	10739	Hail	2,5	13	0,078	-
27.07.2018 12:00	10739	Microburst	6,6	23	0,086	-
28.07.2018 0:00	10739	Microburst	34,5	98	0,197	-
07.08.2018 0:00	10739	Microburst	5,4	15	0,278	-
08.08.2018 0:00	10739	Microburst	8,4	4	0,133	-
23.08.2018 12:00	10739	Microburst	16,1	12	0,095	-
06.09.2018 12:00	10739	Microburst	6,1	10	0,075	-
24.09.2018 12:00	10739	Gust 44	174,9	123	0,055	-
05.07.2018 11:00	10771	Microburst	1,4	2	0,036	+
18.07.2018 11:00	10771	Microburst	2,7	12	0,046	-
24.07.2018 11:00	10771	Microburst	21,6	53	0,064	-
25.07.2018 17:00	10771	Microburst	26,8	60	0,113	-
26.07.2018 17:00	10771	Microburst	10,9	66	0,031	-
27.07.2018 11:00	10771	Microburst	6,5	9	0,078	+
29.07.2018 11:00	10771	Microburst	7,3	23	0,074	-
31.07.2018 17:00	10771	Microburst	41,9	122	0,096	-
02.08.2018 11:00	10771	Microburst	2,9	40	0,148	-
04.08.2018 11:00	10771	Microburst	5,9	43	0,087	-

Продовження таблиці Б1

Дата/час	Станція	Явище	BRN Shear	SRH	VGP	Гроза
07.08.2018 17:00	10771	Microburst	2,2	10	0,049	-
08.08.2018 11:00	10771	Microburst	1,9	18	0,127	-
09.08.2018 17:00	10771	Microburst	6,8	6	0,038	-
10.08.2018 11:00	10771	Microburst	76,7	23	0,021	-
21.09.2018 23:00	10771	Gust 31	196	35	0,057	-
23.09.2018 11:00	10771	Gust 44	140,4	289	0,1	+
23.09.2018 17:00	10771	Gust 64	249,7	522	0,108	+
23.09.2018 23:00	10771	Gust 39	250,2	161	0,025	+
04.07.2018 12:00	10868	Hail	12	32	0,077	-
17.07.2018 12:00	10868	Microburst	6	68	0,044	-
18.07.2018 12:00	10868	Microburst	7,8	53	0,045	-
25.07.2018 12:00	10868	Microburst	9	45	0,076	-
27.07.2018 12:00	10868	Microburst	6,3	5	0,132	-
05.08.2018 12:00	10868	Microburst	3,7	15	0,193	-
07.08.2018 12:00	10868	Microburst	5,8	13	0,065	-
19.08.2018 12:00	10868	Microburst	3,6	22	0,084	-
23.08.2018 12:00	10868	Microburst	6,4	20	0,176	-
25.08.2018 0:00	10868	Microburst	90,6	19	0	-
22.09.2018 0:00	10868	Microburst	106,6	33	0,045	+
23.09.2018 12:00	10868	Gust 35	50,9	219	0,1	+
24.09.2018 0:00	10868	Gust 35	218,9	116	0,056	+
01.04.2019 12:00	10035	Microburst	12,3	52	0	-
15.04.2019 12:00	10035	Microburst	34,9	60	0	-
06.05.2019 12:00	10035	LLWs	50,3	89	0,121	-
09.05.2019 6:00	10035	Gust	44,5	115	0,026	-
09.04.2019 6:00	10238	LLWs	22	22	0,1	-
09.04.2019 6:00	10238	LLWs	28	65	0	-
09.04.2019 17:00	10238	LLWs	28	65	0	-
10.04.2019	10238	LLWs	69	18	0,02	-
10.04.2019	10238	LLWs	53,3	58	0,05	-
17.04.2019 0:00	10238	LLWs	22,9	81	0,03	-
21.04.2019	10238	LLWs	3	19	0	-
23.04.2019	10238	LLWS	73,3	249	0	-
25.04.2019	10238	LLWs	41,7	5	0,06	-
26.04.2019	10238	LLWs	86,3	9	0,027	-
27.04.2019	10238	LLWs	15,4	21	0,01	-
02.05.2019	10238	LLWs	42,4	79	0,02	-
03.05.2019	10238	LLWs	53,4	89	0,02	+
04.05.2019	10238	Gust	112,2	4	0,02	-
05.05.2019	10238	LLWS	15,1	88	0	+
07.05.2019	10238	LLWs	43,7	75	0	+

Продовження таблиці Б1

Дата/час	Станція	Явище	BRN Shear	SRH	VGP	Гроза
10.05.2019	10238	LLWs	58,5	89	0	-
16.05.2019	10238	LLWs	49	242	0,008	-
21.05.2019	10238	LLWs	20,9	71	0,01	+
23.05.2019	10238	LLWs	36	121	0,1	-
24.05.2019	10238	LLWs	14	55	0,033	-
24.05.2019	10238	LLWs	24,7	48	0,061	-
26.05.2019	10238	LLWs	51,5	216	0,02	-
26.05.2019	10238	LLWs	34,3	185	0	-
26.05.2019	10238	LLWs	42,8	169	0,032	-
27.05.2019	10238	Gust	109,7	112	0,019	+
30.05.2019	10238	LLWs	57,3	209	0,01	-
02.06.2019	10238	LLWs	99,6	216	0	-
02.06.2019	10238	LLWs	20,1	118	0,019	-
03.06.2019	10238	LLWs	43,9	96	0	-
03.06.2019	10238	LLWs	80,9	104	0,243	-
04.06.2019	10238	Microburst	79,9	369	0,081	+
05.06.2019	10238	Microburst	43,7	191	0,192	+
08.06.2019	10238	Gust	71,1	63	0,039	-
08.06.2019	10238	Gust	34,7	152	0,027	+
08.06.2019	10238	LLWs	78,3	190	0,01	-
09.06.2019	10238	LLWs	114,1	286	0,01	-
10.06.2019	10238	LLWs	57,8	136	0,08	-
12.06.2019	10238	LLWS	94,4	53	0	+
13.06.2019	10238	LLWs	87,4	69	0,112	-
14.06.2019	10238	LLWs	111	236	0,02	+
15.06.2019	10238	LLWs	41,9	68	0,01	-
17.06.2019	10238	LLWs	52	131	0	-
18.06.2019	10238	LLWs	24,2	91	0	-
18.06.2019	10238	LLWs	33,2	172	0,047	-
20.06.2019	10238	LLWs	20	30	0,102	-
20.06.2019	10238	LLWs	34,3	45	0,154	-
21.06.2019	10238	LLWs	16,7	52	0,018	-
22.06.2019	10238	LLWs	59,4	242	0	-
24.06.2019	10238	LLWs	33,1	50	0	-
27.06.2019	10238	Microburst	34	78	0	-
27.06.2019	10238	Microburst	92	83	0,014	-
27.06.2019	10238	Microburst	65,5	85	0,019	-
30.06.2019	10238	Microburst	185,9	104	0,364	+
01.07.2019	10238	LLWs	117,9	35	0,059	-
06.07.2019	10238	Microburst	123,2	190	0	-
06.07.2019	10238	LLWs	137	146	0,043	-

Продовження таблиці Б1

Дата/час	Станція	Явище	BRN Shear	SRH	VGP	Гроза
07.07.2019	10238	LLWs	31,2	26	0,029	-
07.07.2019	10238	LLWs	94,3	121	0,044	-
15.07.2019	10238	LLWs	20,3	106	0,011	+
15.07.2019	10238	LLWs	39,1	145	0,015	-
16.07.2019	10238	LLWs	43,6	174	0,1	+
19.07.2019	10238	LLWs	80,8	129	0,1	-
20.07.2019	10238	LLWs	41,5	121	0	-
24.07.2019	10238	LLWs	28,5	39	0	-
28.07.2019	10238	Microburst	38,9	124	0,168	-
28.07.2019	10238	Microburst	12,9	57	0,1	+
30.07.2019	10238	LLWs	38,9	89	0,1	-
31.07.2019	10238	LLWs	12,1	67	0,12	+
05.08.2019	10238	LLWs	50,9	136	0,01	+
06.08.2019	10238	LLWs	75,9	153	0,1	+
08.08.2019	10238	LLWs	58,2	69	0,164	-
08.08.2019	10238	LLWs	44,9	138	0,123	-
09.08.2019	10238	LLWs	67,9	212	0,016	+
10.08.2019	10238	LLWs	95,2	86	0,076	-
10.08.2019	10238	LLWs	76,6	113	0	-
12.08.2019	10238	LLWs	64,1	72	0	-
12.08.2019	10238	LLWs	21,1	56	0,036	-
14.08.2019	10238	LLWs	12,1	74	0,045	-
14.08.2019	10238	LLWs	12,1	74	0,045	-
14.08.2019	10238	LLWs	32,1	115	0,03	+
15.08.2019	10238	LLWs	53,9	238	0,05	+
19.08.2019	10238	LLWs	21,6	15	0,023	-
19.08.2019	10238	LLWs	16,3	91	0,064	-
02.09.2019	10238	LLWs	23,7	35	0	-
04.09.2019	10238	LLWs	104	38	0,046	-
23.09.2019	10238	Gust	73	249	0,05	+
26.09.2019	10238	LLWs	86,3	10	0,027	-
02.04.2019	10393	LLWs	41	143	0	+
10.04.2019	10393	LLWs	57	17	0,02	-
23.04.2019	10393	Gust	27,5	273	0	-
23.04.2019	10393	Gust	24,6	176	0,031	-
03.05.2019	10393	Gust	88,7	76	0,022	+
05.05.2019	10393	LLWs	11	3	0,016	-
06.05.2019	10393	LLWs	12,2	25	0,025	+
12.05.2019	10393	Microburst	11	26	0,01	-
14.05.2019	10393	Gust	50,8	55	0,02	+
23.05.2019	10393	Microburst	4,2	12	0,04	-

Продовження таблиці Б1

Дата/час	Станція	Явище	BRN Shear	SRH	VGP	Гроза
02.06.2019	10393	Microburst	19,6	60	0,03	-
02.06.2019	10393	Microburst	9,4	55	0,084	-
03.06.2019	10393	LLWs	4,2	3	0,01	-
05.06.2019	10393	Microburst	3	33	0,078	-
11.06.2019	10393	Microburst	94	224	0,369	+
19.06.2019	10393	Microburst	8,6	44	0,14	-
23.06.2019	10393	LLWs	27,4	154	0	-
05.07.2019	10393	Gust	97,5	192	0,05	-
10.07.2019	10393	LLWs	29,7	52	0,047	+
11.07.2019	10393	LLWs	32,1	63	0	-
11.08.2019	10393	LLWs	69,9	96	0,01	-
13.08.2019	10393	LLWs	96,3	71	0,083	+
18.08.2019	10393	Gust	249,1	528	0,104	+
25.08.2019	10393	Microburst	10,8	25	0,078	-
27.08.2019	10393	Microburst	13,5	60	0,119	+
28.08.2019	10393	LLWs	8,1	62	0,023	-
28.08.2019	10393	Microburst	9,4	61	0,062	-
29.08.2019	10393	LLWs	19,4	80	0,024	+
29.08.2019	10393	Microburst	24	16	0,191	-
29.08.2019	10393	Microburst	16,1	34	0,104	-
30.08.2019	10393	Microburst	15,1	68	0,117	+
10.09.2019	10393	LLWs	8,8	33	0,025	-
16.09.2019	10393	LLWs	155,7	152	0,024	-
17.09.2019	10393	Gust	310,8	194	0,07	-
29.09.2019	10393	Gust	106,2	174	0,08	+
29.09.2019	10393	Gust	146,7	309	0,048	+
30.09.2019	10393	Gust	58,7	219	0,08	+
30.09.2019	10393	Gust	50,2	202	0,034	+
29.05.2019	10410	LLWs	63,3	212	0,09	+
03.06.2019	10410	Microburst	90,4	122	0,154	+
04.06.2019	10410	Microburst	123,1	202	0,013	-
07.06.2019	10410	Gust	108	146	0,03	-
19.06.2019	10410	Microburst	37,8	73	0,256	-
24.06.2019	10410	LLWs	10,5	58	0,088	-
05.07.2019	10410	LLWs	110	153	0,022	-
14.07.2019	10410	LLWs	7	40	0,029	-
20.07.2019	10410	Microburst	50,5	121	0,17	+
21.07.2019	10410	LLWs	50,8	46	0,071	-
26.07.2019	10410	Microburst	13,3	14	0,207	-
27.07.2019	10410	Microburst	3,6	4	0,274	-
23.08.2019	10410	LLWs	24,5	88	0	-

Продовження таблиці Б1

Дата/час	Станція	Явище	BRN Shear	SRH	VGP	Гроза
05.09.2019	10410	LLWs	5,3	11	0,108	-
06.09.2019	10410	Microburst	43,7	82	0	-
17.09.2019	10410	LLWs	170	170	0,057	+
27.09.2019	10410	LLWs	54,2	210	0,082	+
30.09.2019	10410	Gust	212	197	0,148	+
05.06.2019	10548	Microburst	2	9	0,143	-
19.06.2019	10548	Microburst	15	86	0,183	-
02.04.2019	10548	Gust	48,7	84	0,048	-
03.04.2019	10548	Gust	71	6	0	-
27.07.2019	10548	Microburst	5,4	21	0,047	-
06.08.2019	10548	Gust	17,4	31	0,12	+
26.08.2019	10548	Microburst	7,2	46	0,1	-
28.08.2019	10548	Microburst	14,4	13	0,259	-
29.08.2019	10548	Microburst	30,8	71	0,17	-
30.08.2019	10548	Microburst	1,6	20	0,2	-
03.04.2019	10618	Gust	110	85	0,1	+
03.04.2019	10618	Gust	71	6	0	-
04.04.2019	10618	Gust	60	51	0,037	+
24.04.2019	10618	Gust	124	211	0,024	+
08.06.2019	10618	Gust	37	97	0,04	-
18.06.2019	10618	Gust	12	56	0,09	-
19.06.2019	10618	Microburst	15	56	0,138	-
24.06.2019	10618	Microburst	33,4	88	0,063	-
30.06.2019	10618	Microburst	101,1	187	0,354	+
01.07.2019	10618	Microburst	203,7	247	0,189	+
05.07.2019	10618	Microburst	50,9	141	0	-
05.07.2019	10618	Microburst	58,6	87	0	-
07.07.2019	10618	Microburst	91	95	0	-
18.08.2019	10618	Gust	138,4	269	0,1	+
18.08.2019	10618	Gust	103,5	147	0,187	+
27.08.2019	10618	Microburst	7,2	14	0,132	-
29.08.2019	10618	Microburst	14,8	60	0,118	-
30.04.2019	10739	Microburst	44	130	0,03	-
04.06.2019	10739	Microburst	40	140	0,083	-
07.06.2019	10739	Microburst	124	43	0	+
26.07.2019	10739	Microburst	10	81	0,07	-
06.08.2019	10739	Microburst	154,4	182	0,267	+
10.08.2019	10739	Microburst	64,4	38	0,042	-
23.08.2019	10739	Microburst	1	45	0,02	-
28.08.2019	10739	Microburst	16	26	0,171	-
29.09.2019	10739	Gust	89	390	0,066	+
30.09.2019	10739	Microburst	44	130	0,03	-

Продовження таблиці Б1

Дата/час	Станція	Явище	BRN Shear	SRH	VGP	Гроза
04.05.2019	10771	Gust	33	45	0,031	-
08.06.2019	10771	Gust	100	30	0,02	-
14.06.2019	10771	Microburst	49,2	303	0,096	+
18.06.2019	10771	Microburst	7,5	48	0,092	-
01.07.2019	10771	Gust	92,6	203	0,123	+
06.07.2019	10771	Gust	53	66	0	-
26.07.2019	10771	Microburst	3,7	12	0,02	-
18.08.2019	10771	Gust	115	162	0,097	+
19.07.2019	10868	Microburst	17	56	0,066	-
26.07.2019	10868	Microburst	2,8	17	0,104	-
26.07.2019	10868	Microburst	8,5	15	0,102	-
07.08.2019	10868	Gust	90,3	57	0,132	+
22.08.2019	10868	Microburst	3,4	13	0,02	-
23.05.2019	10868	Microburst	5,2	40	0	-
19.07.2019	10868	Microburst	17	56	0,066	-