

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

Кафедра військової підготовки

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему:

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВА СТРУКТУРА ТЕМПЕРАТУРО-
ВОЛОГІСНИХ ПАРАМЕТРІВ КОНВЕКЦІЇ ПРИ ФОРМУВАННІ ГРОЗ НАД
ТЕРИТОРІЄЮ УКРАЇНИ

Спеціальність 103 Науки про Землю
Спеціалізація «Метеорологія»
курсанта групи МВМ-19
Костянтина ПИРОГОВА

Керівник:

підполковник Андрій ГЛУШКОВ

Рецензент: к.геогр.н.

Олена НАЖМУДІНОВА

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 ПИРОГОВУ КОСТЯНТИНУ ОЛЕКСАНДРОВИЧУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Просторово-часова структура температуро-вологісних
параметрів конвекції при формуванні гроз над територією України»

керівник роботи Глушков Андрій Володимирович

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

затверджені наказом ректора ОДЕКУ від 26 жовтня 2020 року № 207«С»

2.Строк подання курсантом роботи 14 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи модельні дані температури і вологості повітря
моделі GFS з просторовим розділенням 0,25 ° на стандартних ізобаричних
поверхнях 850, 700 та 500 гПа.

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

1) Розрахувати прогностичні значення індексів конвекції для станцій, де
спостерігалася гроза.

2) Побудувати графіки ходу прогностичних значень індексів конвекції.

3) Відкорегувати порогові значення індексів конвекції для території України
на основі отриманих даних.

4) Реалізувати за допомогою програмного забезпечення Microsoft Office Excel
алгоритм побудови прогностичної карти потенціалу виникнення грози.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових
креслень) Рис. 3.1 - 3.2 – Комплексний графік ходу прогностичних значень

параметрів конвекції TT , TQ та HI у період з 0 до 15 год за 24.05.2019 та 31.05.2019; Рис. 3.4, 3.6 – Прогностична карта ймовірностей появи грози над територією України 08.08.2019 12 та 15 UTC; Рис. 3.11 – Прогностична карта потенціалу виникнення грози за 22.07.2019 (15 UTC).

6. Консультант розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Грушевський О.М., к.геогр.н., доцент, підполковник		
2	Грушевський О.М., к.геогр.н., доцент, підполковник		
3	Грушевський О.М., к.геогр.н., доцент, підполковник		

7. Дата видачі завдання: 29 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	29.10 – 01.11.20		
2.	Відпрацювання 1 та 2-го розділів роботи	02.11 – 24.11.20		
3.	Рубіжна атестація	25.11.20		
4.	Обробка вхідних даних та розрахункової частини	26.11 – 29.11.20		
5.	Відпрацювання 3-го розділу	30.11 – 10.12.20		
6.	Відпрацювання вступної частини, висновків, списку використаних джерел та додатків	11.12.20		
7.	Перевірка роботи на плагіат, підготовка презентації, доповіді	12.12.20		
8.	Подання роботи на рецензування	13.12.20		
9.	Подання роботи до навчальної частини кафедри	14.12.20		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)	14.12.20		

Курсант

_____ (підпис)

Костянтин ПИРОГОВ

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи
підполковник

_____ (підпис)

Андрій ГЛУШКОВ

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота курсанта Пирогова К. О. на тему «Просторово-часова структура температуро-вологісних параметрів конвекції при формуванні гроз над територією України».

Робота присвячена розрахунку та аналізу прогностичних значень індексів конвекції за допомогою даних GRIB2 моделі GFS для території України.

В ході роботи було відібрано дати, коли над територією України спостерігалися грози та розраховано прогностичні значення індексів конвекції, в результаті чого відкореговано порогові значення індексів для території України в залежності від місяця, а також за допомогою програмного забезпечення Microsoft Office Excel реалізовано алгоритм побудови прогностичної карти потенціалу виникнення грози.

Актуальність обраної теми обумовлена необхідністю використання у оперативній практиці індексів конвекції, вихідними даними для яких є не лише дані радіозондування, а й прогностичні дані об'єктивного аналізу з необхідним просторово-часовим розрішенням та використанням прогностичних даних об'єктивного аналізу шляхом адаптації порогових значень параметрів конвекції для підвищення якості прогнозів.

Об'єкт дослідження: гроза та конвективна хмарність.

Предмет дослідження: температуро-вологісні параметри конвекції.

Метою даної роботи є розрахунок індексів конвекції на підставі даних об'єктивного аналізу для території України з побудовою прогностичної карти небезпечних явищ погоди.

Завданнями, які вирішувалися у ході магістерської роботи, є:

– формування бази даних випадків з грозами в он-лайн режимі за допомогою сітки грозопеленгації у реальному часі з фіксацією радіолокаційних спостережень по станції Бориспіль;

– розрахунок індексів конвекції за модельними даними GRIB2 моделі GFS для точок де спостерігалася еволюція конвективної діяльності за 06.00, 09.00, 12.00, 15.00 UTC;

– побудова прогностичної карти небезпечних явищ погоди за розрахованими індексами конвекції;

– визначення індексів конвекції для місяців з максимальною конвективною діяльністю.

Методи дослідження: при виконанні роботи використовувалися методи статистичного аналізу та фізико-математичного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів пов'язана з розрахунком прогностичних значень індексів конвекції для території України і полягає у наступному:

– вперше для покращення точності прогнозування грози було відкореговано порогові значення індексів *TT*, *TQ Index* та *HI* для території України в залежності від місяця;

– вперше було реалізовано алгоритм побудови прогностичної карти потенціалу виникнення грози над територією України за допомогою програмного забезпечення Microsoft Office Excel.

Практичне значення отриманих результатів. Адаптація порогових значень індексів *TT*, *TQ Index* та *HI* для території України в залежності від місяця дає змогу значно покращити якість прогнозу гроз.

Рекомендації щодо використання результатів роботи з зазначенням галузі застосування. Отриманий в ході роботи алгоритм побудови прогностичної карти потенціалу виникнення грози, реалізований за допомогою програмного забезпечення Microsoft Office Excel, може використовуватися в оперативній практиці метеорологічних підрозділів Збройних Сил України для метеорологічного забезпечення авіації.

Структура і обсяг роботи. Робота викладена на 72 сторінках машинописного тексту, містить 20 рисунків, 7 таблиць, складається зі вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел (41 найменування).

Ключові слова: гроза, конвекція, купчасто-дощова хмарність, індекси конвекції, нестійкість атмосфери, прогностична карта гроз.

ABSTRACT

Master's qualification work of cadet Pyrohov K. O. on the topic "Spatial-temporal structure of temperature-humidity parameters of convection in the formation of a thunderstorm over the territory of Ukraine".

The work is dedicated to the calculation and analysis of predictive values of convection indices using GRIB2 data of the GFS model for the territory of Ukraine.

In the course of the work, specific dates were selected based on the observation of thunderstorms over the territory of Ukraine and predictive values of convection indices were calculated. Threshold values of indices for the territory of Ukraine were corrected depending on specified months. Microsoft Office Excel was used to implement an algorithm for the construction of a forecast map used to illustrate thunderstorm potential.

The relevance of the chosen topic lies in the need to use index convections in operational practice, the source data for which is based not only on radiosonde observation, but also on prognostic data of objective analysis with the necessary spatio-temporal resolution and the use of prognostic data based on objective analysis via the adaptation of threshold values of convection parameters for the improvement of the accuracy of forecasts.

The object of research: thunderstorm and convective cloudiness.

The subject of research: temperature-humidity parameters of convection.

The purpose of this work is to calculate convection indices on the basis of objective analysis data for the territory of Ukraine with the construction of a prognostic map of dangerous weather phenomena.

The tasks solved in the course of the master's work are:

- formation of a database of thunderstorms events in online mode using real-time thunderstorm grids with a recording of radar observations at Boryspil stations;
- calculation of convection indices based on GRIB2 data of GFS model for points where the evolution of convective activity took place at 06.00, 09.00, 12.00, 15.00 UTC;
- construction of a prognostic map of dangerous weather phenomena for the convection indices calculated;

– detection of convection indices for months with maximum convective activity.

Research methods: when performing the work using the methods of statistical analysis and physical and mathematic modeling.

Scientific novelty of the obtained results is associated with the calculation of prognostic values of convection indices for the territories of Ukraine and lies in the following:

– for the first time, the threshold values of the *TT*, *TQ Index*, and the *HI* indices for the territory of Ukraine were adjusted depending on the month to improve the accuracy of storm forecasting;

– for the first time, an algorithm for constructing a forecast map of the potential for the emergence of thunderstorms over the territory of Ukraine was implemented using Microsoft Office Excel software.

The practical significance of the results. Adaptation of the threshold values of the *TT*, *TQ*, and *HI* indices for the territory of Ukraine depending on the month may be used to support the improvement of the accuracy of thunderstorm forecasts.

Recommendations for use of the research results, specifying the fields of application. The algorithm for the construction of the prognostic map of thunderstorm potential created using Microsoft Office Excel software may be used in operational practice by meteorological divisions of the Armed Forces of Ukraine to support meteorological maintenance of air operations.

Structure and scope of work. The work is presented on 72 pages of typewritten text, contains 20 figures, 7 tables, consists of an introduction, 3 sections, conclusions, and a list of references (41 sources).

Keywords: thunderstorm, convection, cumulonimbus clouds, convection indices, atmospheric instability, thunderstorm forecast map.

ЗМІСТ

Вступ.....	9
1 Причини виникнення конвективних явищ.....	11
1.1 Загальні відомості про конвекцію.....	11
1.2 Синоптичні умови утворення конвективної хмарності.....	15
1.3 Умови виникнення грози.....	16
1.4 Історія вивчення грози.....	22
1.5 Прогнозування грози.....	24
2 Параметризація індексів конвекції.....	27
2.1 Загальні поняття та класифікація.....	27
2.2 Параметри, які досліджувалися у роботі.....	31
3 Розрахунок параметрів конвекції з використанням прогностичних даних GRIB від глобальної чисельної моделі GFS.....	33
3.1 Розрахунок параметрів конвекції в окремих пунктах.....	33
3.2 Алгоритм побудови прогностичної карти ймовірностей виникнення грози.....	38
Висновки.....	47
Перелік посилань.....	48
Додатки.....	51

ВСТУП

В даний час проблема прогнозування гроз і пов'язаних з нею небезпечних конвективних явищ є найбільш актуальною і однією з найскладніших в метеорології. Як показує оперативна практика, сьогодні якість і справджуваність прогнозів гроз мають недостатньо високий рівень для вирішення конкретних задач, пов'язаних з забезпеченням безпеки польотів. Причиною тому є складність прогнозування розвитку мезомасштабної конвекції, що залежить від сукупності факторів різного просторового і часового масштабів.

Недостатня вивченість закономірностей часової і просторової мінливості мезомасштабної конвекції і той факт, що конвективним явищам притаманний локальний характер, зумовлений впливом підстильної поверхні, створюють труднощі для її параметризації і, отже, для чисельного моделювання конвективних процесів.

Актуальність обраної теми обумовлена необхідністю використання у оперативній практиці індексів конвекції, вихідними даними для яких є не лише дані радіозондування, а й прогностичні дані об'єктивного аналізу з необхідним просторово-часовим розрішенням та використанням прогностичних даних об'єктивного аналізу шляхом адаптації порогових значень параметрів конвекції для підвищення якості прогнозів.

Об'єкт дослідження: гроза та конвективна хмарність.

Предмет дослідження: температуро-вологісні параметри конвекції.

Метою даної роботи є розрахунок індексів конвекції на підставі даних об'єктивного аналізу для території України з побудовою прогностичної карти небезпечних явищ погоди.

Завданнями, які вирішувалися у ході магістерської роботи, є:

– формування бази даних випадків з грозами в онлайн режимі за допомогою сітки грозопеленгації у реальному часі [1] з фіксацією радіолокаційних спостережень по станції Бориспіль [2];

– розрахунок індексів конвекції за модельними даними GRIB2 моделі GFS для точок де спостерігалася еволюція конвективної діяльності за 06:00, 09:00, 12:00, 15.00 UTC;

– побудова прогностичної карти небезпечних явищ погоди за розрахованими індексами конвекції;

– визначення індексів конвекції для місяців з максимальною конвективною діяльністю.

Методи дослідження: при виконанні роботи використовувалися методи статистичного аналізу.

В якості *вихідних даних* обрано модельні дані GRIB2 моделі GFS (від прогону за 00 UTC) з просторовим розділенням $0,25^\circ$, а саме температура та вологість повітря на стандартних ізобаричних поверхнях 850, 700 та 500 гПа ($^\circ\text{C}$), а також радарні спостереження по станції Бориспіль, які й надали змогу виявити еволюцію гроз у часі з вищезазначеною дискретністю.

Перший розділ включає чотири підрозділи в яких описуються загальні відомості про конвекцію, синоптичні умови утворення конвективної хмарності, умови виникнення грози та прогнозування гроз.

Другий розділ складається з двох підрозділів у яких представлено загальні поняття та класифікацію індексів конвекції та параметри, які безпосередньо досліджувалися у даній роботі.

У третьому розділі, який складається з двох підрозділів, для обраних дат, в які спостерігалася гроза над територією України, було розраховано прогностичні значення індексів TT , TQ та HI для термінів 00, 03, 06, 09, 12 та 15 год, а також розроблено алгоритм побудови прогностичної карти потенціалу виникнення грози.

1 ПРИЧИНИ ВИНИКНЕННЯ КОНВЕКТИВНИХ ЯВИЩ

1.1 Загальні відомості про конвекцію

Більша частина того, що нам відомо про конвекцію та грози, досліджена у 1946 році у рамках проєкту «Гроза» програмою Бюро погоди, яку очолювали вчені Х. Байєрс та Р. Брахмам – молодший. Це був досить амбітний польовий проєкт, як для свого часу. Результати проєкту були опубліковані у 1949 році та ідентифікували усі складові частини грози: низхідні та висхідні потоки, відтік, притоки та межі. Також встановлено, що гроза – це не об'єкт, а складний процес [3].

Конвективні вертикальні рухи повітря (або конвекція) виникають в результаті дії на елементарний об'єм (частинку) повітря сил плавучості, а також механічних сил, обумовлених динамічними факторами. У першому випадку виникає термічна, або вільна, конвекція, а в другому – вимушена [4].

Найбільш сприятливі умови для виникнення конвективних рухів створюються над сушею в теплу половину року в областях зниженого тиску. Під впливом прямої сонячної радіації біля земної поверхні виникає нестійка стратифікація. Окремі перегріті маси повітря за таких умов починають прискорено переміщуватися вгору. Спочатку підйом такої маси ненасиченого повітря відбувається практично по сухій адіабаті AA' (рис. 1.1). На рівні конденсації z_k повітря досягає стану насичення ($f = 100\%$). За наявності активних і досить великих ядер конденсації стан насичення досягається дещо нижче рівня z_k . Вище за рівень конденсації повітря піднімається по вологій адіабаті. Завдяки зниженню температури відбувається конденсація водяної пари і утворення хмарності.

Розглянемо детальніше фізичну сторону умов утворення конвективних хмар. Увесь процес можна умовно розбити на декілька стадій:

- ядроутворення;
- конденсаційне зростання та випаровування крапель і кристалів;
- коагуляційне зростання крапель і кристалів;
- збільшення крапель і утворення опадів [5].

При підйомі сухого (ненасиченого водяною паром) повітря його температура зменшується приблизно на 1°C кожні 100 м підйому, якщо при цьому не відбувається теплообміну з навколишніми шарами (адіабатичне охолодження). Таким чином, об'єм повітря з деяким вмістом водяної пари при своєму адіабатичному охолодженні під час піднімання стане насиченим, досягнувши відповідної висоти. І будь-який інший рух вгору зумовить перенасичення (відносна вологість $f = 100\%$) повітря і відповідно конденсацію або сублімацію (перехід в твердий стан – кристали) [6].

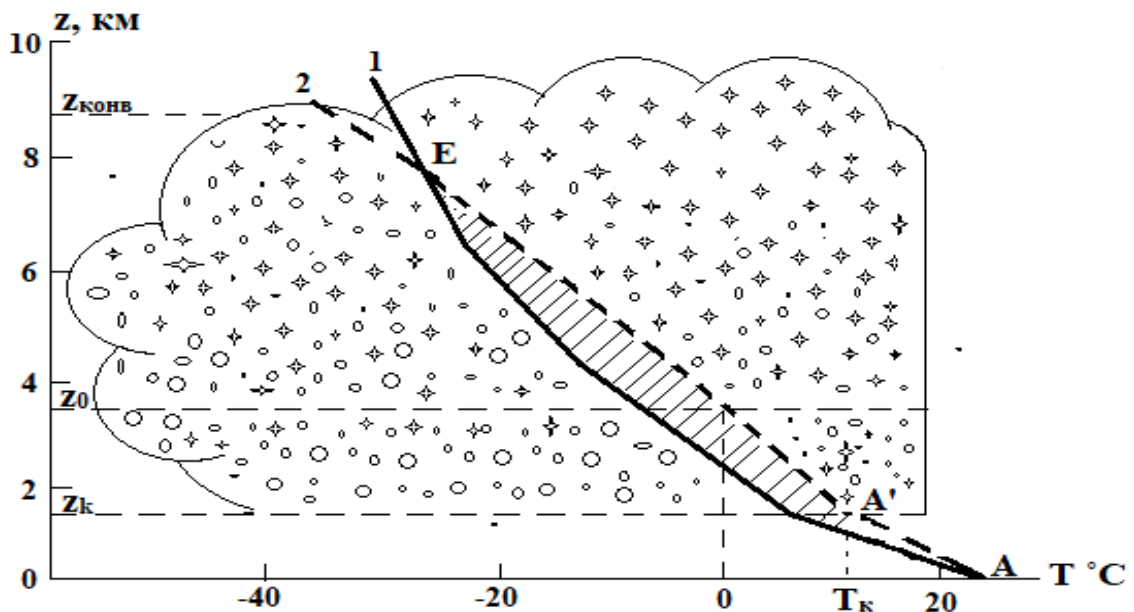


Рис. 1.1 – Схема купчасто – дощової хмари

Почнеться процес утворення ядер або утворення зародкових крапель і кристалів. Якщо ядро утворюється в чистій водяній парі без домішок вже готових ядер або яких-небудь аерозолів, то таке утворення ядер називається гомогенним. Інакше утворення ядер називається гетерогенним. У реальній атмосфері, де завжди наявні відповідні ядра конденсації, відбувається тільки гетерогенне утворення ядер (за винятком замерзання крапель, частина яких замерзає гомогенно при недостатній кількості крижаних ядер) [7].

Зародкові краплі і кристали мають розміри близько $0,01 - 2$ мкм в радіусі. Як тільки вони виникають, відразу ж починається їх подальше зростання за рахунок дифузного припливу водяної пари (або конденсаційне зростання), оскільки зародок знаходиться в середовищі перенасиченому по

відношенню до води і до льоду. На першому етапі зростання протікає дуже швидко, і зародкові краплі і кристали в лічені секунди зростають від ядра конденсації до 2-3 мкм, перетворюючись на хмарні елементи. Проте далі зростання сповільнюється, і до 10 мкм їм вже потрібно збільшуватися декілька хвилин. Якби і подальше збільшення хмарних елементів відбувалося тільки за рахунок конденсації водяної пари, то для досягнення 100 мкм (краплі мряки) знадобилося б декілька або навіть десятки годин. Тому з цієї миті збільшення йде за рахунок інших чинників [8].

Основним процесом збільшення хмар є коагуляція. Коагуляція – процес збільшення хмарних крапель за рахунок їх злиття при зіткненні одне з одним. Коагуляція хмарних елементів – наслідок різних причин, що призводять до зіткнення частинок. Розрізняють броунівську коагуляцію, пов'язану з наявністю хаотичних теплових рухів частинок; турбулентну, пов'язану з наявністю турбулентних рухів окремих частинок повітря, електричну – з наявністю різнойменних електричних зарядів на частку; гравітаційну – внаслідок різниці швидкостей падіння часток різних розмірів і форми. В природі зазвичай одночасно діє кілька механізмів. В збільшенні хмарних частинок і випаданні опадів особливо велику роль грає гравітаційна коагуляція [9].

Хмари можуть виникати і тільки з рідких крапель, і тільки з крижаних кристалів, а також з тих і інших одночасно. Відповідно, в залежності від фазового стану частинок вологи, хмари бувають водяними, кристалічними і змішаними [10].

У хмарах змішаного типу присутність одночасно і рідких крапель, і кристалів льоду при температурах нижче точки замерзання має істотне значення для процесу опадоутворення. Річ у тому, що зародкові краплі розміром від 0,1 до 12 мкм і краплі хмар від 2 до 50 мкм дуже стійкі до замерзання і можуть залишатися рідкими до температур від -30 до -40 °C.

Конвекцію можна поділити на різні типи, виходячи або з фізичних процесів, що її породжують (генетична класифікація), або з просторової форми конвективних потоків (морфологічна класифікація) [11].

У першому випадку розрізняють вільну (термічну) і вимушену (динамічну) конвекцію. Термічна конвекція виникає, якщо в локальному об'ємі повітря є дефіцит густини в порівнянні з навколишньою атмосферою. Над сушею вирішальну роль в створенні таких умов найчастіше грає

теплофізична неоднорідність підстильної поверхні, що призводить до чергування відносно теплих і холодних її ділянок. Саме нагрівання повітря над "теплыми" ділянками найчастіше породжує появу в граничному шарі атмосфери зон з густиною меншою, ніж густина навколишнього повітря [12].

Густина вологого повітря:

$$\rho = \frac{p - 0,377e}{R_c T}, \quad (1.1)$$

де p – тиск;

e – пружність водяної пари;

T – температура в Кельвінах;

R_c – газова стала для сухого повітря.

З формули 1.1 видно, що вологе повітря легше за сухе при однакових значеннях тиску і температури. Тому іноді, особливо над водоймами, дефіцит густини може бути викликаний локальним зростанням вологості. Так, Вульфсон Н.І. при польотах в приводному шарі над Чорним морем зареєстрував пульсації значень e , які досягають 2,5 гПа. А. Банкер над Багамськими островами виявив під купчастими хмарами флуктуації масової частки вологи (питомої вологості) з середніми квадратичними значеннями, рівними 0,14 %. Такі відхилення відповідають різниці віртуальної температури в 0,2 °С [3].

Вимушена конвекція породжується або динамічною взаємодією потоку з підстильною поверхнею, або конвергенцією вітру. Зокрема, підйом повітря супроводжується натіканням його на схили гір, висхідним рухам в гребнях атмосферних хвиль у вертикальних гілках бризової циркуляції і т. д [11].

Конвекція, яка спочатку була вимушеною, з деякого рівня може стати вільною. Наприклад, над навітряною частиною гірських хребтів підйом повітря до рівня конденсації зазвичай обумовлюється динамічними причинами. Вище за цей рівень через виділення прихованої теплоти конденсації виникає сила плавучості (сила Архімеда), під дією якої конвекція стає в основному вільною [5].

1.2 Синоптичні умови утворення конвективної хмарності

Виникнення небезпечних конвективних явищ обумовлене взаємодією великомасштабних (синоптичних) і мезомасштабних процесів. Розвитку інтенсивної конвекції сприяють: великомасштабні впорядковані висхідні рухи; збіжність потоків в нижній тропосфері і розбіжність – у верхній тропосфері; вимушений підйом повітря, обумовлений проходженням фронтальних розділів; висока температура і вологовміст в граничному шарі тропосфери, значний вологовміст в середній тропосфері; вертикальні градієнти температури, що перевищують вологоадіабатичний [13].

Умови розвитку конвекції визначаються, перш за все, синоптичною ситуацією. Конвективні небезпечні явища можливі як при внутрішньомасових процесах, так і при проходженні атмосферних фронтів. Однак більшість випадків пов'язана з фронтами [14].

Найбільш сприятливими умовами для розвитку внутрішньомасової конвекції є малорухомі високі циклони, що заповнюються. З ними пов'язані тривалі періоди зливової і грозової діяльності, що охоплює значні території. Розвитку конвекції сприяє високий вміст вологи повітря в приземному шарі і в усій нижній частині тропосфери. Для депресій, що заповнюються характерна низька швидкість вітру в середній тропосфері (зазвичай не більше 8-13 м/с), і низька швидкість переміщення масивів купчасто-дощової хмарності (далі – Сb). В результаті створюються умови для випадання в окремих пунктах сильних зливових опадів. Імовірність сильних шквалів в депресіях, що заповнюються, мінімальна [15].

Конвективні небезпечні явища в більшості випадків пов'язані з холодними фронтами. Сприятливі для розвитку конвекції малорухомі фронтальні зони з хвильовими збуреннями. Значно рідше потужна конвекція розвивається на теплих фронтах. Основне значення для умов розвитку конвекції має тип фронту та швидкість його переміщення [16].

Холодні фронти I роду характеризуються невисокою швидкістю переміщення, впорядкованими висхідними рухами, при їхньому проходженні злизові опади можуть супроводжуватися облоговими. Дуже часто на холодних фронтах I роду розвиваються хвильові збурення. Скупчення Сb зміщуються уздовж фронту (як і на малорухомих фронтах), що сприяє випаданню в окремих районах дуже сильних дощів [17].

На холодних фронтах II роду, і перед ними, спостерігається більшість випадків конвективних небезпечних явищ, перш за все шквалів і сильного граду. Для них характерна значна швидкість вітру, спрямована по нормалі до лінії фронту, яка збільшується з висотою. Фронт переміщується зі значною швидкістю, опади випадають тільки зливого характеру. З холодними фронтами II роду пов'язано більшість випадків сильних шквалів, їх розвитку сприяє висока швидкість вітру в середній тропосфері.

На малорухомих фронтах з хвильовими збуреннями, що лежать в паралельних потоках, створюються сприятливі умови для випадання сильних зливових дощів, які іноді досягають критерію небезпечних явищ. Скупчення Сб переміщується зазвичай вздовж приземної лінії фронту. Додатковим чинником, що сприяє збільшенню інтенсивності опадів, є контраст температури на фронті більше $8-10^{\circ}$. В окремих випадках, на таких фронтах можливі шквали до $25-28$ м/с [15].

На теплих фронтах конвективні небезпечні явища досить рідкісні. Конвекція на теплих фронтах активізується вночі, в зв'язку з пониженням температури верхньої межі хмар, що супроводжується посиленням опадів.

Сильні зливи частіше спостерігаються на малорухомих фронтах і холодних фронтах першого роду з хвильовими збуреннями [12].

Найбільш сприятливими синоптичними умовами для утворення конвективних явищ є: тилова частина циклону, депресії, що заповнюються, західна периферія антициклонів, антициклони, що руйнуються, зони атмосферних фронтів.

1.3 Умови виникнення грози

Для формування сильної конвекції вологого повітря (перед грозою) необхідними є чотири умови (рис. 1.2):

- 1) висока вологість в граничному шарі;
- 2) нестійкість повітряної маси;
- 3) сильний зсув вітру;
- 4) неоднорідність підстильної поверхні, що призводить до вимушеної конвекції.



Рис. 1.2 – Сприятливі умови для формування конвекції

Тепле повітря має меншу щільність, ніж холодне, тому тепле піднімається вгору, а холодне повітря осідає вниз [18]. Хмари утворюються, оскільки відносно тепліше повітря, несучи вологу, піднімається в межах більш холодного повітря. Вологе повітря піднімається і охолоджується, частина водяної пари в цьому повітрі конденсується [19]. Коли волога конденсується, вона виділяє енергію, відому як прихована теплота конденсації, що дозволяє частинці повітря, що піднімається, охолоджуватися менше, ніж більш холодне навколишнє повітря [20], продовжуючи сходження хмари. Якщо в атмосфері присутня достатня нестабільність, цей процес триватиме достатньо довго, щоб купчасто-дощові хмари викликали блискавку та грим. Такі метеорологічні показники, як конвективна доступна потенційна енергія (*CAPE*) та індекс *LI*, можуть бути використані для визначення потенціалу вертикального розвитку хмар [21].

Усі грози, незалежно від типу, проходять три стадії: стадію розвитку, стадію зрілості та стадію розсіювання [22]. Залежно від умов атмосфери, кожен з цих трьох етапів займає в середньому 30 хвилин.

Розглянемо основні конвективні висоти. Тривалість існування і інтенсивність грози частково залежить від розшарування і стабільності атмосфери перед грозою. Тому спочатку необхідно отримати дані температуро-вітрового зондування атмосфери за допомогою радіозонда, чисельних моделей прогнозу, супутника чи іншого джерела. Ранні години є

найбільш вдалими для зондування атмосфери перед формуванням грози. Дані зондування атмосфери зазвичай включають в себе такі характеристики, як: температура, температура точки роси, швидкість та напрямок вітру на різних висотах або ізобаричних поверхнях [23].

На рис. 1.3 *a* зображена аерологічна діаграма, за допомогою якої, за наявності результатів зондування атмосфери, можна спрогнозувати формування грози та її інтенсивність [18].

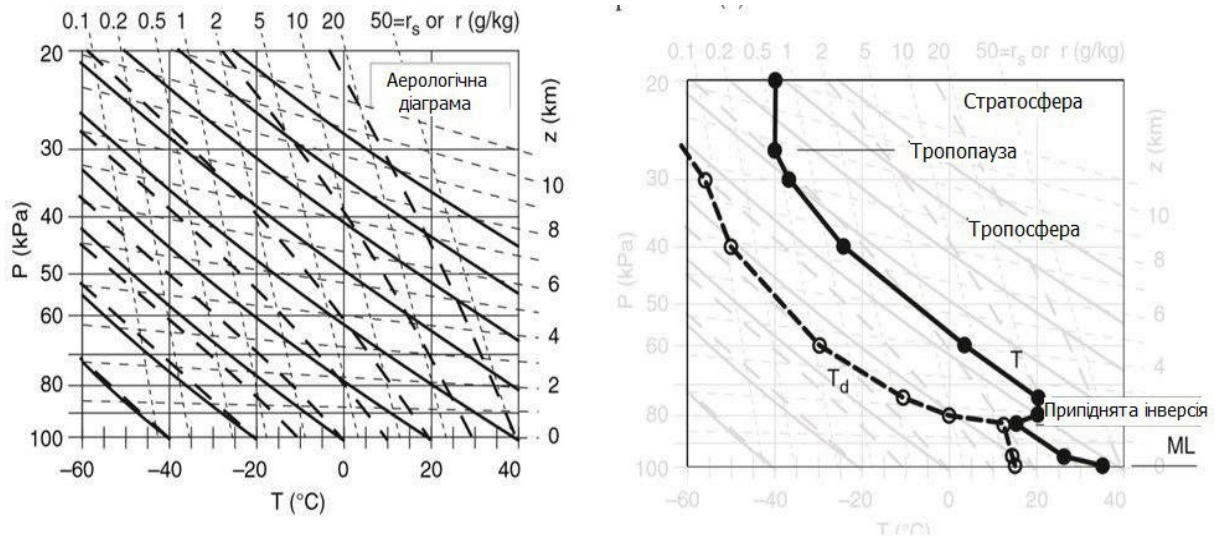


Рис. 1.3 – Аерологічна діаграма (*a*) та результати радіозондування атмосфери в ранні години (*б*)

За даними зондування побудовано криві розподілу температури та температури точки роси з висотою (рис. 1.3 *б*), за допомогою чого виявлено шар змішування, припідняту інверсію, рівень тропопаузи. Даний приклад показує стан атмосфери в ранні години перед формуванням грози. Денне сонячне випромінювання прогріває підстильну поверхню. Від нагрітої підстильної поверхні відбувається прогрівання повітря біля поверхні землі та випаровування вологи. Частинки теплового вологого повітря піднімаються за рахунок термічної нестійкості в граничному шарі атмосфери [24]. Якщо припустити, що кожна частинка повітря, що піднімається, не змішується з оточуючим повітрям, то її температура спочатку сухоадіабатично зменшується, і відношення сумішей є постійним. На рис. 1.4 показано, як цей процес виглядає на діаграмі. Значення температури частинки починається

біля поверхні землі і піднімається спочатку вздовж сухої адіабати, а температура точки роси – вздовж ізограми [18].

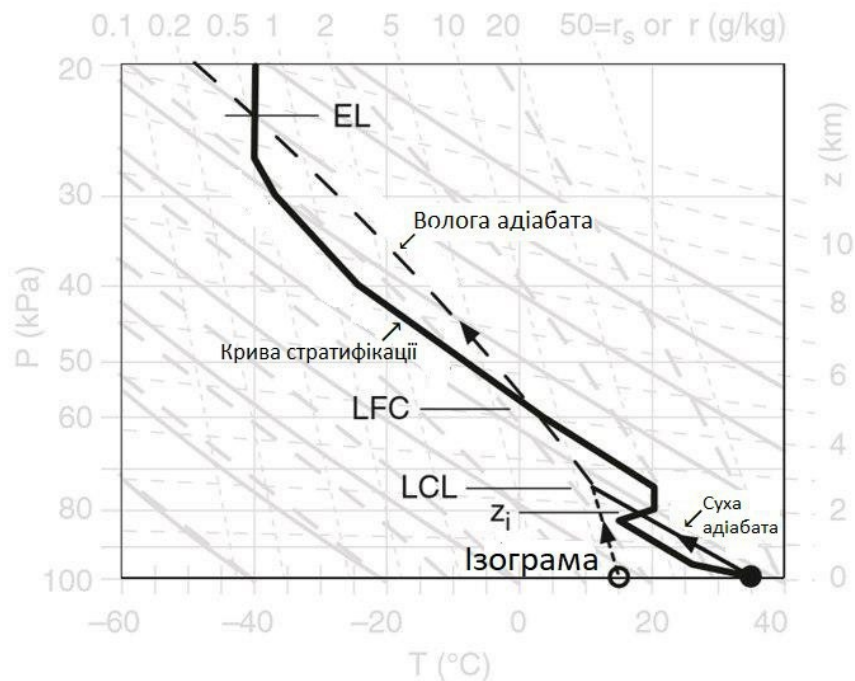


Рис. 1.4 – Дані радіозондування в денний час

Як правило, частинка повітря, що піднімається, досягає рівня, де повітряна маса є стійкою (в верхній частині шару змішування), і припиняє підйом без формування умов для утворення грози. Якщо б частинка повітря повинна була піднятися на невелику відстань вище нижньої межі шару інверсії, вона набула б нижчої температури, ніж оточуюче повітря, і її від’ємна плавучість змусила би її зануритися назад до шару змішування. В більшість таких днів грози не утворюються через затримуючий шар інверсії.

Припустимо, що зовнішній процес (що називається тригер) підштовхує повітря граничного шару через шар інверсії, незважаючи на від’ємну плавучість. Частинка повітря, що піднімається, продовжує охолоджуватися, поки не досягне стану насичення. На діаграмі ця точка насичення являє собою рівень конденсації, де суха адіабата вперше перетинає ізограму для частинки повітря, що піднімається.

По мірі того, як тригерний механізм продовжує штовхати частинку повітря, яка чинить опір, вище рівня конденсації, водяна пара, що міститься в

частинці, конденсується у вигляді хмари, перетворюючи приховану теплоту в чутливу [25]. Таким чином, хмарна частинка повітря, що піднімається, не так швидко охолоджується з висотою і рухається вздовж вологої адіабати на діаграмі (рис. 1.4). Але все ж таки ця частинка все ще холодніша, ніж оточуюче середовище на цій висоті, тому подальшого під'йому частинки відбуватися не буде [18].

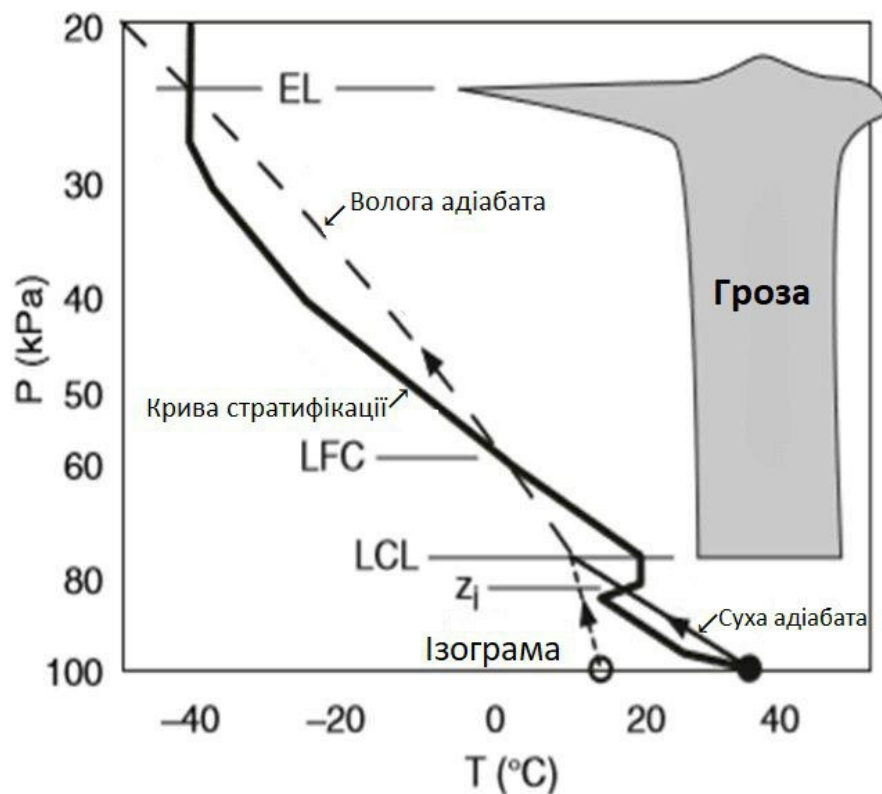


Рис. 1.5 – Стратифікація атмосфери під час грози

Для такого стану атмосфери, що сприяє формуванню грози, повітряна частинка може стати теплішою, ніж оточуюче повітря, за рахунок виштовхування її шляхом вимушеної конвекції. Така висота має назву рівень вільної конвекції (*LFC*). На аерологічній діаграмі ця висота знаходиться на рівні, де волога адіабата для частинки, що піднімається, перетне криву стратифікації (рис. 1.5).

Вище рівня вільної конвекції частинка повітря набуває додатної плавучості, що спричиняє її подальше піднімання та може призвести до сильних висхідних рухів [4].

Оскільки хмарна частинка повітря піднімається вздовж вологої адіабати, то з часом вона досягає висоти, на якій вона стає холоднішою за оточуюче повітря. Ця висота, де висхідна плавучість досягає нуля, називається рівноважним рівнем (*EL*) або межею конвекції (*LOC*). Рівень *EL* часто знаходиться біля (або вище) тропопаузи (рис. 1.2), тому що сильна статична стабільність стратосфери перешкоджає подальшому підйому повітряної частинки.

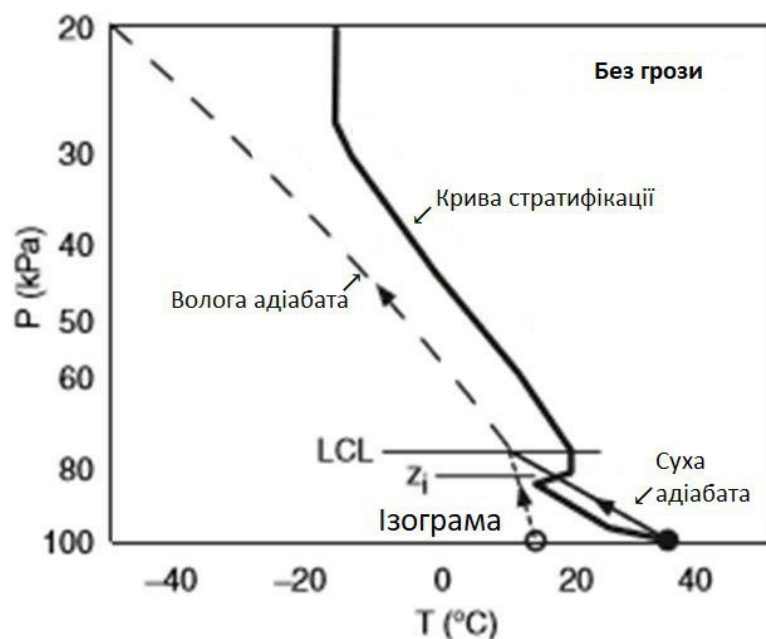


Рис. 1.6 – Стратифікація атмосфери при відсутності грози

Таким чином, нижня межа грозової хмари знаходиться на рівні конденсації (*LCL*), а верхня частина ковадла хмари – на рівні *EL*. У дуже сильних грозах повітряні частинки піднімаються настільки швидко, що інерція повітря призводить до перевищення купола над рівнем *EL* [18].

Найбільш потужні грозові хмари мають вершини, які можуть проникати на 5 км і вище тропопаузи через поєднання рівноважного рівня над тропопаузою та інерціального перевищення над тропопаузою. Для багатьох гроз оточуюче повітря між *EL* та *LFC* є умовно нестійким. А саме, оточуюче повітря нестійке, якщо є хмарність, а в іншому випадку – стійке. На аерологічній діаграмі це виявляється як різниця між сухо- та вологоадіабатичними градієнтами. Тим не менш, оточуюче повітря між *LFC*

та EL досягає стану насичення і утворює грозу. Отже, цей процес являється нелокальною умовною нестійкістю.

Часто LCL знаходиться нижче за нижню межу інверсійного шару z_i . Це сприяє формуванню купчастої хмарності (Cu hum) у верхній частині граничного шару атмосфери. Але механізм вимушеної конвекції все ще потрібен, щоб змусити піднятися хмарне повітря шару змішування до рівня вільної конвекції, щоб зніщувати грозу.

В багатьох ситуаціях рівня вільної конвекції та рівноважного рівня не існує для частинки повітря, що піднімається. А саме, коли частинка насиченого повітря ніколи не стає теплішою, ніж оточуюче середовище (рис. 1.6). Такий розподіл не сприяє утворенню грози [18].

1.4 Історія вивчення гроз

Хоча спроби прогнозувати сильні конвективні шторми були зроблені на індивідуальній основі ще в глибоку античність, перші організовані зусилля в Сполучених Штатах з метою передбачення та кращого розуміння сильних гроз були зроблені в кінці 19 століття Джоном П. Фінлі та Густавом Д. Гінріхсом. Дослідження Фінлі [26] та Гінріхса [27] зосереджувались на торнадо та широко розповсюджених конвективних штормах. Хоча в той час вони не були високо оцінені, їх зусилля дали основу для більш складних досліджень прогнозу, які послідували протягом другої половини ХХ століття. На противагу цьому, перша половина 20-го століття давала лише епізодичні роботи з глибокої конвекції в США та Європі. Ці зусилля давали елементарне розуміння природи гроз, але в кращому випадку вони лише опосередковано сприяли прогнозуванню. «Сучасна ера» прогнозування суворої погоди розпочалася лише в 1940-х роках, головним чином у відповідь на організовані зусилля, спрямовані на допомогу військовим у боротьбі з небезпечними чинниками, які представляли сильні конвективні шторми для авіації у Другій світовій війні. У той час метеорологи Бюро погоди США Альберт К. Шоуолтер та Джозеф Р. Фулкс досліджували термодинамічне середовище поверхні та верхніх шарів торнадо в США. Це дослідження, разом з Джозефом Р. Ллойдом, послужило основою для першого в світі

офіційного і успішного прогнозу смерчу, який був зроблений офіцерами ВПС США Ернестом Дж. Фобушем та Робертом К. Міллером для Бази ВПС «Тінкер», Оклахома, 25 березня 1948 р [28].

ВПС створили Центр попередження про сувору погоду в «Тінкері» в 1951 році. Після цього Бюро погоди створило свій Центр суворих погодних умов (попередник сьогоднішнього Центру прогнозування штормів) у Вашингтоні, в наступному році. У той час, коли розроблялися ці методи прогнозування, мало було відомо про фізичний зв'язок між сильними грозами і навколишнім середовищем. Хоча численні статистичні, кліматологічні та обсерваційні дослідження з'явилися протягом решти 1950-х і в 1960-х років, прогнозування протягом цього періоду залишалося в основному емпіричним, заснованим на висновках між спостережуваними метеорологічними елементами (тиск, вітер, вологість та ін) та появою грози. Цей підхід передбачав підготовку карт, які одночасно відображали різні метеорологічні параметри на різних висотах, щоб отримати тривимірний вигляд атмосфери, як описано в Технічному звіті ВПС Міллера 200 [29]. Такий метод використовувався із значним успіхом протягом багатьох років і залишається важливою складовою прогнозування суворої погоди, особливо у великих часових інтервалах.

Увага до мезометеорології зросла у 1970-х роках, коли наука отримала користь від багаточисельних спостережень (переважно радіолокаційних) та досліджень, які забезпечили більш широке розуміння процесів, які викликають сильні локальні грози. Хоча ці зусилля сприяли помірному переходу до більш досконалих методик прогнозування, через декілька років почався період, який засвідчив бурхливий розвиток прикладних і теоретичних досліджень щодо сильних локальних гроз до того, як відбулися більш суттєві зміни в підході прогнозу. До 1990 р знання про фізичні процеси, що відповідають за розвиток і підтримання шторму, та роль, яку відіграє взаємодія штормів із навколишнім середовищем, зросли до такої міри, що прогнозування отримало більш міцну наукову основу. Відповідні вдосконалення також відбулися у аналізуванні та точності цифрових моделей, яка формує основу всіх, крім понадкороткострокових, прогнозів, а також у здатності відображати вихідні дані моделі за допомогою все більш досконалих робочих станцій. Як результат, на початку нового тисячоліття прогнози суворої погоди почали демонструвати більші просторові та часові

можливості. Вдосконалення точності прогнозів та навичок продовжуються і в наш час [30].

1.5 Прогнозування грози

Гроза – одне з найнебезпечніших явищ погоди, що являє собою електричні розряди – блискавки, що виникають біля та усередині хмар та супроводжується громом (коливання повітря від розрядів блискавки) [31].

Як правило, великомасштабні метеорологічні характеристики, такі як фронтальна конвекція, достатньо добре прогнозуються за допомогою моделей, які враховують конвекцію, тому великі просторові масштаби мають тенденцію демонструвати позитивні результати. Навпаки, дрібномасштабні характеристики погоди, такі як окремі конвективні чарунки, зазвичай не прогнозуються за допомогою тих самих моделей [32].

Прогнозування погоди в будь-якому масштабі складається з двох основних етапів: діагностики фактичних атмосферних умов та прогнозу їх майбутнього стану. Точна діагностика фактичної погоди є важливою для встановлення надійної основи для розробки прогнозів.

Діагностична частина прогнозування суворої погоди вимагає ретельного аналізу для оцінки інтенсивності та розподілу чинників, необхідних для глибокої конвекції [33]. Оскільки особливості, що відповідають за розвиток і поширення гроз, відбуваються на мезомасштабному рівні і тому, що мезомасштабні процеси, в свою чергу, регулюються синоптичною шкалою, аналіз обов'язково починається з огляду об'єктів синоптичного масштабу перед тим, як увага переходить до мезомасштабу. До чинників, необхідних для утворення грози відносяться: високий вміст вологи в повітрі, наявність нестабільності в атмосфері та підйомна сила (тепло) [34].

Основні метеорологічні поля, що підлягають вивченню на етапі аналізу прогнозування, включають дані біля поверхні землі та на висотах. Приземні спостереження особливо важливі, оскільки вони забезпечують найвищу регулярність спостережень як у просторі, так і в часі. Для створення надійного аналізу необхідне ретельне вивчення приземних даних певної території в поєднанні з радіолокаційними та супутниковими знімками. Такі

аналізи, в свою чергу, є основним засобом, за допомогою якого можна визначити мезомасштабні джерела підйому повітря на низьких рівнях (тригери). Приземні дані регулярно аналізуються за допомогою автоматизованих процедур для обробки даних в числових моделях прогнозування, але точність в прогнозуванні найкраще забезпечуються аналізом даних, проведеним метеорологом самостійно [35].

Радіозондування атмосфери є також дуже важливим, незважаючи на те, що такі дані, як правило, доступні лише два рази на день і лише на широко розташованих місцях. Поряд з приземним аналізом, вертикальні профілі атмосфери, отримані шляхом радіозондування, є дуже важливими для розпізнавання типу шторму (тобто мультичарунки або суперчарунки) та режиму. Спостереження за вітром у певному місці зазвичай відображаються у вигляді годографа, що показує вертикальний розподіл горизонтального вітру. В останні роки температуро-вітрові профілі, що надаються комерційними літаками під час підйомів та спусків, збільшили об'єм даних, доступних синоптикам. Такі дані виявилися корисними для оцінки потужності інверсійних шарів, які можуть стримувати розвиток глибокої конвекції [36].

Хоча супутникові знімки, дані радіолокаційних спостережень та карти грозопеленгації використовуються в основному для понадкороткострокового прогнозування, ці дані також забезпечують важливу аналітичну інформацію. Радіолокаційні дані особливо корисні для передбачення майбутнього виявлення та розвитку шторму. Анімовані супутникові знімки надають підтверджуючу інформацію щодо розміщення шторму, структури та форми хмар, а також забезпечують інформацію щодо напрямку і швидкості їх переміщення.

Після завершення ретельного аналізу фактичного стану атмосфери завдання прогнозу переходить до оцінки просторових і часових тенденцій різних чинників (торнадо, сильний вітер, град та повені), пов'язаних з грозами, так що ймовірність їх виникнення може бути визначена. Серед необхідних умов утворення шторму, підйомна сила на сьогоднішній день є найскладнішим з усіх трьох чинників для кількісного визначення для аналізу та прогнозування [37]. З іншого боку, залишається порівняно важко оперативно оцінити силу та тривимірність багатьох мезомасштабних тригерних механізмів. Крім того, розуміння багатьох штормових процесів,

пов'язаних із конвективним розвитком, та їх подальша взаємодія з навколишнім середовищем після утворення штормів залишається неповним.

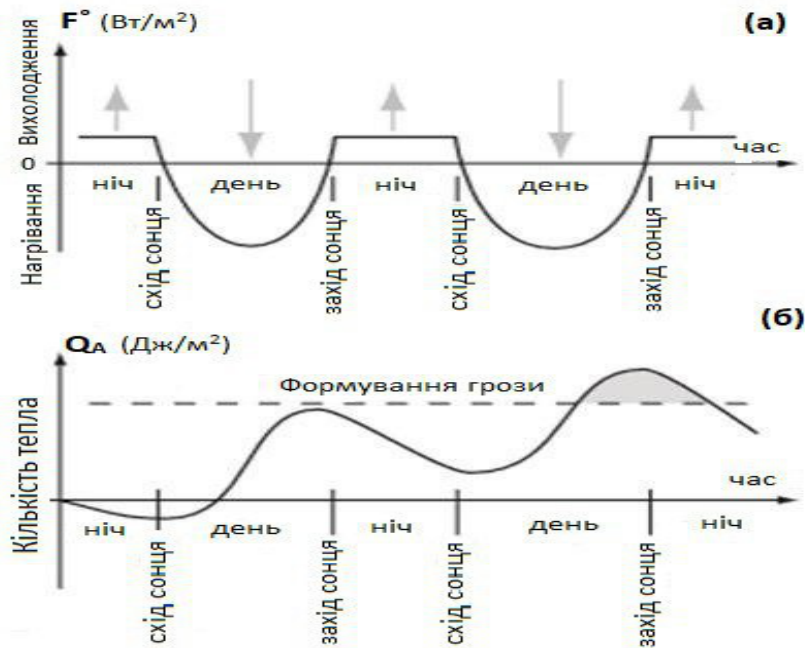


Рис. 1.7 – Графік добової активності грози

Більшість гроз над землею мають яскраво виражений добовий хід, тому що атмосферна нестабільність сильно модулюється за рахунок нагрівання землі сонцем. Зазвичай грози виникають в середині і наприкінці дня, частіше за все спостерігаються під час заходу сонця і часто розсіюються вночі. Як зображено на рис. 1.7, найбільше накопичення тепла (і вологи) в граничному шарі відбувається не опівдні, а за півгодини до заходу сонця. Але є виключення для добового ходу грози [18].

2 ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ ІНДЕКСІВ КОНВЕКЦІЇ

2.1 Загальні поняття і класифікація

Як відомо, купчасто-дощові хмари, що супроводжуються такими метеорологічними явищами, як грози, зливові опади, турбулентність, зсув вітру та інші, створюють найбільш небезпечні умови для польотів, що обумовлює актуальність дослідження умов їх формування, розробки точних методів прогнозування.

З метою виявлення об'єктивності застосування того чи іншого прогностичного методу, в магістерській роботі розглянуті базові принципи розробки розрахункових методів, прогностичних параметрів та індексів, що використовуються для прогнозування гроз. Для спрощення аналізу, основні прогностичні параметри розглянуті в схемі класифікації, з урахуванням їх порогових значень, що визначають діагностування інтенсивності конвективних процесів в атмосфері [38].

Як в оперативному прогнозуванні, так і при дослідженні гроз, метеорологи посиляються на прогностичні параметри, наприклад, такі як потенційна енергія нестійко стратифікованої атмосфери (*CAPE*) або композитний параметр формування суперчарункових гроз (*Supercell composite parameter*) і т.д. В останні роки вченими вивчаються питання, пов'язані з визначенням ступеня виправданості тих чи інших прогностичних параметрів в прогнозуванні грозової діяльності в атмосфері. Досить значні дослідження в цій області належать вченим з Оклахомського Університету та Інституту Мезомасштабних Метеорологічних Досліджень Чарльзу Досвелу і Девіду Шульцу, які в своїх роботах характеризують прогностичні параметри, за допомогою діагностичних, що складають основу розрахунку прогностичних параметрів. Згідно Досвелу і Шульцу впровадження прогностичних параметрів прогнозування гроз десятиріччями не є доказовим фактором надійності прогностичних параметрів, так як для більшості використовуваних діагностичних параметрів не проведена верифікація їх критеріальних значень. Також низька справджуваність прогностичних

параметрів обумовлюється рядом причин неправильного розрахунку параметричних значень діагностичних параметрів, використанням їх не за призначенням та ін [39].

Очевидно, що значущість прогностичного параметра залежить від того, наскільки більше діагностичних параметрів, що характеризують стан умов нестійкої стратифікації атмосфери, він комплексно охоплює.

Таким чином, виникає необхідність систематизації існуючих прогностичних параметрів, з метою всебічного аналізу факторів, що впливають на ефективність їх застосування в прогнозуванні гроз. Однією з таких схем може послужити класифікація, що враховує методи розрахунків діагностичних параметрів, виконана для виявлення характеристик прогностичних параметрів і лімітів їх придатності в прогнозуванні гроз.

Діагностичними параметрами можуть послужити вимірювані метеорологічні елементи (температура, вологість, атмосферний тиск і т.д.), або метеорологічні величини, обчислювані з основних метеорологічних елементів.

Однією з важливих умов для досягнення високої справджуваності прогнозу є відносно стійка (тривала) кореляція між розрахунковим параметром і прогнозованими умовами. Очевидно що, діагностичні змінні з часом змінюються, і визначення тенденції зміни однієї діагностичної змінної може послужити в свою чергу належним прогностичним параметром. Відповідно до вищесказаного, з часом тенденція точності прогнозу прогностичного параметру знижується.

Для вивчення питань, що обмежують використання діагностичних параметрів пропонується схема їх класифікації:

– параметри, що вимірюються – визначаються безпосередньо за допомогою метеорологічних вимірювань, наприклад: температура повітря (T), відносна вологість повітря (RH), атмосферний тиск (P) і ін.

– параметри, що розраховуються – визначаються за допомогою двох або більше вимірних величин. Використання цих величин дозволяє визначити фізичні властивості атмосферної ситуації, що характеризується. Наприклад, при дослідженні конвекції використовуються такі постійні параметри, як потенційна температура (θ), питома вологість (r), які розраховуються за допомогою температури, точки роси і тиску.

– похідні або інтеграли (просторові або тимчасові) вимірних або розрахункових параметрів – тимчасово-просторові похідні або інтеграли вимірних або розрахункових параметрів формують такий клас діагностичних параметрів. Фактично ці величини дозволяють в розрахунках виконати математичний опис атмосферної ситуації. Головним недоліком таких розрахунків є обмеженість роздільної здатності в часі і просторі використовуваних вихідних даних.

– комбіновані параметри – з'єднання двох і більше діагностичних параметрів, що ефективно використовується для визначення специфічної атмосферної ситуації. Зони конвергенції потоків вологості (ЗКВ), детально досліджувані Банакосом і Шульцом є яскравим прикладом використання комбінації діагностичних параметрів.

– індекси – чітко поділяються на два підкласу: індекси, зумовлені фізичними процесами, і індекси, які визначаються довільною комбінацією діагностичних параметрів [38].

В останні роки в практиці прогнозування гроз досить поширеними стали прогностичні карти, побудовані на основі двох діагностичних параметрів – *CAPE* і *LI*.

Таким чином, інтерпретація синоптичної ситуації за допомогою одного діагностичного параметра, нехай навіть універсального, що об'єднує комплекс аерологічних величин і характеризує нестійкість атмосфери, не забезпечує його об'єктивність. Ефективне використання прогностичних параметрів в прогнозах, як додаткової інформації, спрощує процес прогнозування, але використання тільки одних параметрів, нехтуючи синоптичною інформацією, є свідомо ризикованим кроком, що знижує достовірність прогнозу [38].

При застосуванні діагностичних параметрів часто виникають дві проблеми. Перша обумовлюється тим, що, як правило, оцінка діагностичного параметра здійснюється на основі малої кількості досліджуваних випадків. Друга проблема пов'язана з тим, що часто при спробі обґрунтувати придатність деяких прогностичних параметрів (при розгляді тільки тих їх значень, які збігаються з вже прогнозованими випадками) виникає логічна помилка. Використання діагностичних параметрів стає менш ефективним,

якщо вони не відображають чіткий поділ між прогнозуванням і не прогнозуванням випадків гроз [39].

Крім того, однією з важливих характеристик діагностичних параметрів є завчасність їх застосування, що забезпечує допустиму точність ймовірності прогнозованого випадку.

У практиці метеорологічного забезпечення авіації застосовується значне число універсальних і регіональних методів прогнозу гроз. В табл. 2.1 наведена справджуваність прогностичних параметрів гроз [38].

Таблиця 2.1 – Справджуваність прогностичних параметрів гроз

Параметр прогнозу	Середня справджуваність (%)
<i>CAPE</i>	60
<i>LI</i> – Lifted index	35
<i>SI</i> – Showalter index	58
<i>TT</i> – Total-totals	60

Згідно з табл. 2.1 найвища справджуваність була визначена для *CAPE* та *TT*.

2.2 Параметри, які досліджувалися у роботі

В магістерській роботі досліджувалися такі параметри конвекції, як Total Totals (*TT*) Index, *TQ Index* та Humidity Index (*HI*).

Індекс Total Totals являє собою арифметичну суму двох інших показників: Vertical Totals Index (визначається як сума температур повітря на рівні 850 гПа та 500 гПа) та Cross Totals Index (визначається як різниця температур точки роси на рівні 850 гПа та 500 гПа). Індекс *TT* зазвичай використовується як індикатор нестійкої погоди. Чим вище число, тим більш нестабільна атмосфера. Розраховується індекс *TT* за формулою 2.1.

$$TT = T_{850} + Td_{850} - 2 \cdot T_{500} \quad (2.1)$$

В табл. 2.2 наведені порогові значення індексу *TT* [40].

Таблиця 2.2 –Порогові значення Total Totals Index

Total Totals Index	Ймовірність грози
<45	Низька
45-55	Помірна
>55	Висока

З самого початку форма індекса TQ була обрана як аналог TT , залежна лише від температури навколишнього середовища та точки роси. Додавання значень частинки, що піднімається, використовуючи форму, аналогічну до Lifted Index, розглядалася як непотрібне ускладнення, зважаючи на доволі грубу природу індексів як показників конвекції. Крім того, окрім надання рекомендацій щодо конвективної погоди, індекс TQ має на меті заповнити більш загальну роль, як показчик стабільності нижньої тропосфери. Використання приземних частинок, що піднімаються, призведе до сильної залежності від добового ходу, що зробить індекс менш корисним у цьому відношенні. Тому індекс обмежувався даними з стандартних рівнів 850 та 700 гПа.

Індекс TQ використовується для оцінки ймовірності виникнення конвекції в нижній тропосфері з можливими грозами та розраховується за формулою 2.2.

$$TQ = (T_{850} + Td_{850}) - 1.7 \cdot T_{700} \quad (2.2)$$

Таблиця 2.3 – Порогові значення TQ Index

TQ Index	Ймовірність виникнення конвекції в нижній тропосфері
>12	Нижня тропосфера є нестійкою і виникнення грози з дощем можливе поза межами шаруватої хмарності
>17	Нижня тропосфера є нестійкою і виникнення грози з дощем можливе при наявності шаруватої хмарності

Якщо значення TQ Index більше за 17, то це означає, що нижня тропосфера є нестабільною і можливі грози при наявності шаруватої хмарності (табл. 2.3) [40].

Індекс *HI* – це стандартний алгоритм вибору вологи, який виявився дуже надійним для визначення нестабільності та можливості виникнення конвекції. Малі значення індексу відображають підвищений вміст вологи та значну можливість виникнення нестабільності в атмосфері. Humidity Index розраховується за формулою 2.3.

$$HI = ((T - Td)_{850} + (T - Td)_{700} + (T - Td)_{500}) \quad (2.3)$$

Таблиця 2.4 – Порогові значення Humidity Index

Humidity Index	Ймовірність виникнення нестабільності в атмосфері
>50	Низька
30-50	Помірна
<30	Висока

В табл. 2.4 наведені порогові значення індексу *HI*. Як і будь-який індекс, *HI* слід корегувати за географічними регіонами та сезонними змінами.

3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ КОНВЕКЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГНОСТИЧНИХ ДАНИХ GRIB ВІД ГЛОБАЛЬНОЇ ЧИСЕЛЬНОЇ МОДЕЛІ GFS

3.1 Розрахунок параметрів конвекції в окремих пунктах

В магістерській роботі у режимі онлайн відслідковувалася конвективна діяльність на території України за теплий період 2018, 2019 та 2020 років з фіксацією радіолокаційних даних по станції Бориспіль. Відібрано дні, коли спостерігалася гроза над територією України, для кожної з яких було розраховано прогностичні значення індексів TT , TQ та HI для термінів 00, 03, 06, 09, 12 та 15 год.

В якості вихідних даних обрано модельні дані GRIB-2 моделі GFS (від прогону за 00 UTC) з просторовим розділенням $0,25^\circ$ та завчасністю прогнозу на 00, 03, 06, 09, 12 та 15 год, а саме температура та вологість повітря на стандартних ізобаричних поверхнях 850, 700 та 500 гПа ($^\circ\text{C}$). Значення температури точки роси, необхідні для розрахунку обраних індексів, було визначено за допомогою психрометричних таблиць.

Таким чином, для 25 днів з грозою було розраховано значення індексів TT , TQ та HI в різних пунктах. Вихідні дані та результати розрахунків представлено в додатку А. Розглянемо детально декілька випадків.

Отримані значення індексів можна співставити з фактичним станом грози в кожному пункті та проаналізувати зміну параметрів конвекції залежно від фактичного стану атмосфери.

В табл. 3.1 представлено отримані значення індексів для станцій Лубни, Прилуки, Бердичів, Житомир та Васильків за 24.05.2019

Так, фактично гроза на станції Лубни спостерігалася о 12:52 та 15:05. Значення індексу TT протягом всього періоду потрапляють до градації «сильна», але в період з 12:00 до 15:00 мають найбільші значення, що говорить про більш високу ймовірність виникнення грози. Значення TQ Index досягає порогового значення 17 та вище о 12:00 та 15:00, а індекс HI є досить низьким в цей період, а низькі значення індексу відображають підвищений вміст вологи та значну можливість виникнення нестабільності в атмосфері.

Так, фактично гроза на станції Лубни спостерігалася о 12:52 та 15:05. Значення індексу *ТТ* протягом всього періоду потрапляють до градації «сильна», але в період з 12:00 до 15:00 мають найбільші значення, що говорить про більш високу ймовірність виникнення грози. Значення *ТQ* Index досягає порогового значення 17 та вище о 12:00 та 15:00, а індекс *НІ* є досить низьким в цей період, а низькі значення індексу відображають підвищений вміст вологи та значну можливість виникнення нестабільності в атмосфері.

Таблиця 3.1 – Отримані значення індексів для станцій Лубни, Прилуки, Бердичів, Житомир та Васильків за 24.05.2019

Лубни				Прилуки			
Термін	<i>ТТ</i>	<i>ТQ</i>	<i>НІ</i>	Термін	<i>ТТ</i>	<i>ТQ</i>	<i>НІ</i>
0	50,6	15,6	18,2	0	51,3	16,2	18,1
3	50,6	15,9	19,5	3	51,1	15,3	21,1
6	50,3	15,3	19,1	6	51,9	15,6	19,6
9	50,4	15,3	19,6	9	50,0	14,1	23,7
12	54,8	20,1	14,8	12	55,2	19,4	14,2
15	55,2	19,3	15,1	15	58,4	19,5	16,2
Бердичів				Житомир			
Термін	<i>ТТ</i>	<i>ТQ</i>	<i>НІ</i>	Термін	<i>ТТ</i>	<i>ТQ</i>	<i>НІ</i>
0	50,8	14,1	18,4	0	51,0	16,2	10,7
3	50,0	14,3	16,1	3	51,8	16,3	11,7
6	50,2	14,3	19,1	6	52,4	16,5	10,6
9	50,7	16,2	18,3	9	50,5	16,1	13,7
12	57,7	17,2	10,4	12	58,3	19,8	9,0
15	50,1	15,2	15,9	15	51,2	16,7	13,3
Васильків							
Термін	<i>ТТ</i>		<i>ТQ</i>		<i>НІ</i>		
0	51,3		16,1		16,1		
3	51,9		16,1		14,2		
6	52,8		16,3		19,1		
9	50,9		15,5		23,9		
12	55,4		20,3		12,8		
15	54,0		19,8		9,7		

На станції Прилуки гроза спостерігалася о 12:34. Значення індексу *ТТ* протягом всього періоду також потрапляють до градації «сильна», але в період з 12:00 до 15:00 мають найбільші значення, що говорить про більш високу ймовірність виникнення грози в цей час. В цей же період значення *ТQ* Index перевищує порогове значення 17, а *НІ* набуває найнижчих значень.

На станції Бердичів гроза спостерігалася о 12:33. Значення індексу TT протягом всього періоду потрапляють до градації «сильна», але о 12:00 мають найбільше значення. Значення TQ Index досягає порогового значення 17 в цей час, а індекс HI набуває найнижчих значень о 12:00, коли гроза фактично спостерігалася на станції.

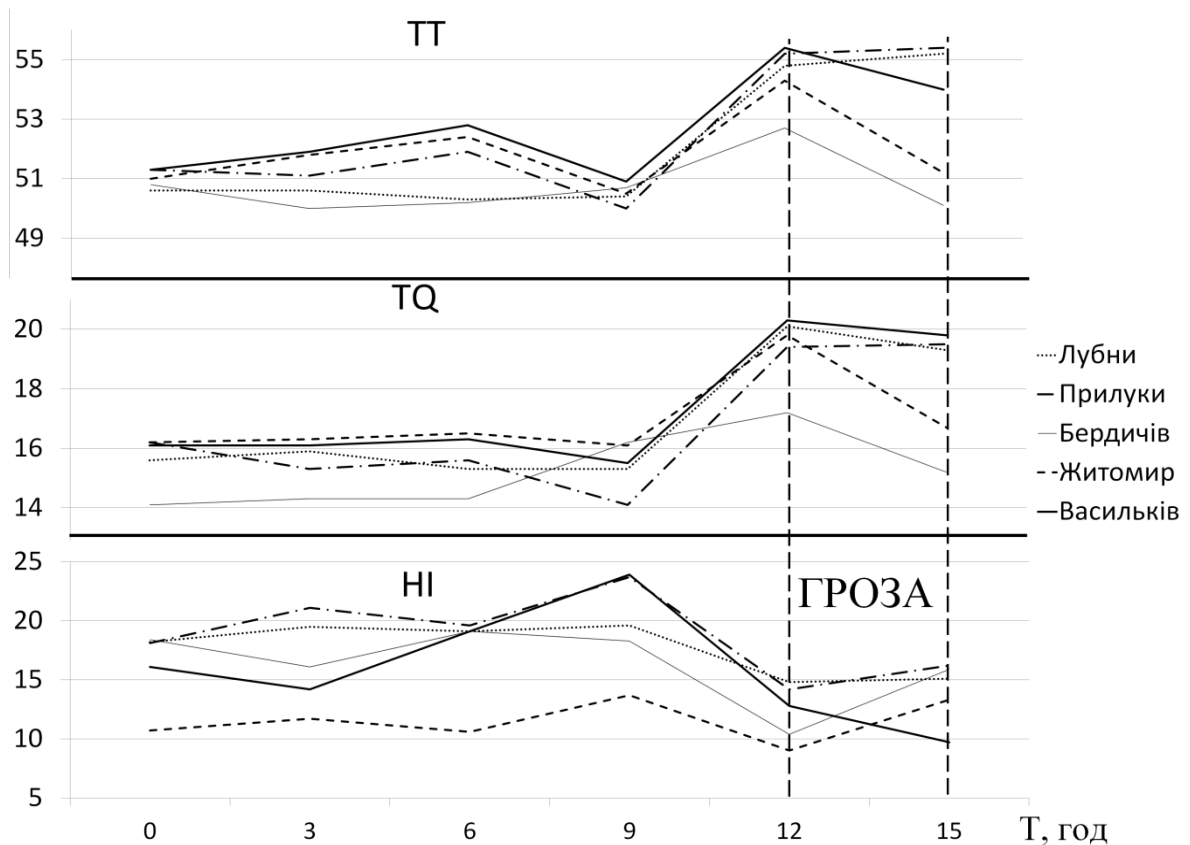


Рис. 3.1 – Комплексний графік ходу прогностичних значень параметрів конвекції TT , TQ та HI у період з 0 до 15 год для станцій Лубни, Прилуки, Бердичів, Житомир та Васильків за 24.05.2019

На станції Житомир гроза спостерігалася о 12:36. Значення індексу TT протягом всього періоду та потрапляють до градації «сильна», але о 12:00 має найбільше значення. Значення TQ Index досягає порогового значення 17 в цей час, а HI набуває найнижчих значень о 12:00, коли гроза фактично спостерігалася на станції.

На станції Васильків гроза спостерігалася о 12:15 та 14:55. Значення індексу TT протягом всього періоду потрапляють до градації «сильна», але о

12:00 та 15:00 мають найбільші значення. Значення TQ Index в цей період значно перевищує порогове значення, а HI є досить низьким.

За даними отриманих прогностичних значень індексів конвекції TT , TQ Index та HI (табл. 3.1) побудовано комплексний графік ходу даних індексів в період з 0 до 15 год (рис. 3.1), з якого ми бачимо, що пікові значення індексів TQ та TT припадають на фактичний стан грози, які і відповідають класифікації RAOB (табл. 2.2 – 2.3). Значення HI як раз зменшуються під час грози, що теж відповідає даній класифікації та сигналізує про максимум конвективних процесів.

Таблиця 3.2 – Отримані значення індексів для станцій Прилуки, Новоархангельськ, Канів, Конотоп та Яготин за 31.05.2019

Прилуки				Новоархангельськ			
Термін	TT	TQ	HI	Термін	TT	TQ	HI
0	48,6	15,5	22,9	0	50,8	15,1	29,0
3	49,0	15,2	25,5	3	50,0	16,1	33,5
6	49,1	16,7	20,5	6	49,7	16,3	35,1
9	49,8	15,9	25,9	9	51,3	16,5	37,9
12	53,6	16,5	14,9	12	51,4	16,6	28,8
15	56,0	17,1	16,0	15	54,8	18,6	21,3
Канів				Конотоп			
Термін	TT	TQ	HI	Термін	TT	TQ	HI
0	50,4	15,4	25,8	0	48,7	16,7	27,5
3	50,8	15,4	23,9	3	50,0	16,5	22,3
6	50,6	15,2	25,7	6	51,1	15,4	25,4
9	50,6	15,4	21,2	9	51,2	15,4	26,5
12	51,4	16,1	25,8	12	53,4	17,4	12,7
15	57,6	17,5	18,3	15	54,2	17,8	16,4
Яготин							
Термін	TT	TQ	HI				
0	49,8	15,2	31,5				
3	48,7	15,8	28,4				
6	50,4	15,8	21,5				
9	50,8	16,4	20,1				
12	51,4	16,9	13,7				
15	57,6	18,1	10,8				

В табл. 3.2 наведено отримані значення індексів для станцій Прилуки, Новоархангельськ, Канів, Конотоп та Яготин за 31.05.2019.

Аналогічно було розраховано значення індексів конвекції (табл. 3.2) та побудовано відповідні графіки (рис. 3.2) для станцій Прилуки, Новоархангельськ, Канів, Конотоп та Яготин за 31.05.2019.

Фактично гроза на даних станціях спостерігалася в період з 12 до 15 год, що добре узгоджується з графіком (рис. 3.2), на якому ми бачимо, що індекси TT та TQ на момент грози мають максимальні значення, а HI в цей час набувають найнижчих значень.

Таким чином, аналогічна залежність простежується у решті випадків. Але значення індексу TT в травні знаходяться в межах 57-60 на момент грози, в той час як значення даного індексу у серпні коливаються від 47 до 50 під час грози.

Отже, звідси можна зробити висновок про те, що порогові значення для території України слід відкорегувати в залежності від місяця (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Порогові значення Total Totals Index для території України

Травень	Червень	Липень	Серпень	Ймовірність грози
<54	<52	<48	<46	Низька
54-60	52-58	48-54	46-50	Помірна
>60	>58	>54	>50	Висока

В таблиці 3.3 представлено відкореговані порогові значення індексів конвекції для території України в залежності від місяця.

3.2 Алгоритм побудови прогностичної карти ймовірностей виникнення грози

Розглянемо випадок 08.08.2019, коли територія України знаходилася під впливом холодного фронту. За даними радіолокаційних спостережень за 12 та 15 год спостерігається чітко виражена лінія холодного фронту з конвективними явищами, яка за 3 год змістилася у східному напрямі та дещо змінила свою структуру (рис. 3.3, 3.5).

Так, за даними GRIB2 моделі GFS з просторовим розділенням $0,25^\circ$ розраховано прогностичні значення індексів конвекції у кожному з вузлів регулярної сітки для обраної території за 12 та 15 год. Кожному з отриманих значень індексів у всіх вузлах присвоєно деяке число від 0 до 2. Таким чином, число 0 відповідає значенням індексів, при яких потенціал грози є слабким, 1 – при помірній ймовірності виникнення грози та 2 – якщо потенціал грози є сильним. Сума цих чисел для трьох обраних індексів в одній точці регулярної сітки дає певне комплексне значення від 0 до 6. Відповідно, чим вищим є дане число, тим ймовірність появи грози є більшою. Таким чином отримано регулярну сітку, в кожному з вузлів якої знаходиться відповідне комплексне число, яке відображає потенціал грози.

Для покращення візуального сприйняття кожному з чисел присвоєно певний колір. Отже, чим темнішим виділена чарунка, тим ймовірність появи грози є більшою, тобто білий колір відповідає слабкій ймовірності, а темно червоний – дуже високій. Якщо ймовірність є мінімальною, то чарунка виділяється зеленим.

Таким чином, порівнюючи отримані прогностичні карти ймовірностей появи грози над територією України з фактичними картами радіолокаційних спостережень, можемо бачити, що простежується певна схожість. Це говорить про те, що за допомогою даних GRIB2 моделі GFS з просторовим розділенням $0,25^\circ$ таким чином можна будувати прогностичні поля грозової активності, що надає візуальне відображення очікуваного стану атмосфери над певною територією. Але виникає проблема складності розрахунків обраних параметрів конвекції в кожному вузлі регулярної сітки у зв'язку з достатньо тривалим визначенням вихідних даних, що унеможливило використання даного алгоритму в оперативній практиці. Цю проблему можливо вирішити шляхом конвертування даних GRIB2 моделі GFS в текстовий формат з використанням програмного забезпечення Gr2View.

Дана програма створена в Українському гідрометеорологічному центрі Михайловським В.В. Вона дає можливість візуалізувати у вигляді тексту окремі параметри з даних GRIB2 моделі GFS, в тому числі температуру та вологість повітря на стандартних ізобаричних поверхнях 850, 700 та 500 гПа, які необхідні для розрахунків параметрів конвекції. Розглянемо основні елементи керування.

Після запуску програми Gr2View з'являється основне вікно, у верхній частині якого потрібно вибрати відповідний файл формату grb2. Серед телеграм, що з'явилися, обрати необхідні для розрахунку індексів конвекції, а саме телеграми, що містять в назві такі позначення: “TMP: 850 mb”, “RH: 850 mb”, “TMP: 700 mb”, “RH: 500 mb”, “TMP: 500 mb” та “RH: 500 mb” (рис. 3.7). Обравши одну з необхідних телеграм та натиснувши на вкладку «Дані» в нижній частині вікна, отримаємо перелік значень даного параметру з відповідними географічними координатами (рис. 3.8).

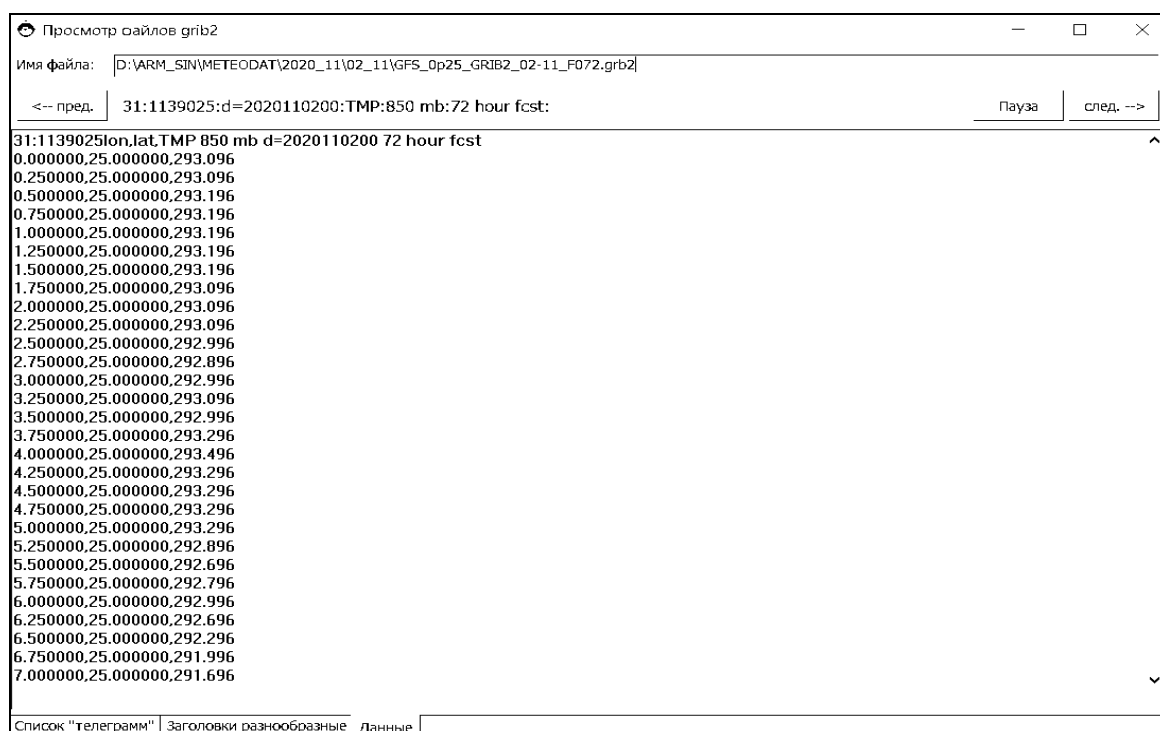


Рис. 3.1 – Вкладка «Дані» програми Gr2View

Для зручного використання в оперативній практиці даних, отриманих описаним вище шляхом, було створено алгоритм обробки цієї інформації за допомогою програмного забезпечення Microsoft Office Excel (далі – допоміжний файл), що дає змогу візуалізувати майбутній стан атмосфери на термін до 72 год над територією України, Білорусі та Східної Європи. Розроблений допоміжний файл складається з двох основних листів: «Вихідні дані» та «Карта гроз».

Розглянемо порядок роботи даного алгоритму на прикладі випадку 22.07.2019 р, коли над територією України спостерігалася лінія холодного фронту з небезпечними конвективними явищами погоди (рис. 3.2).

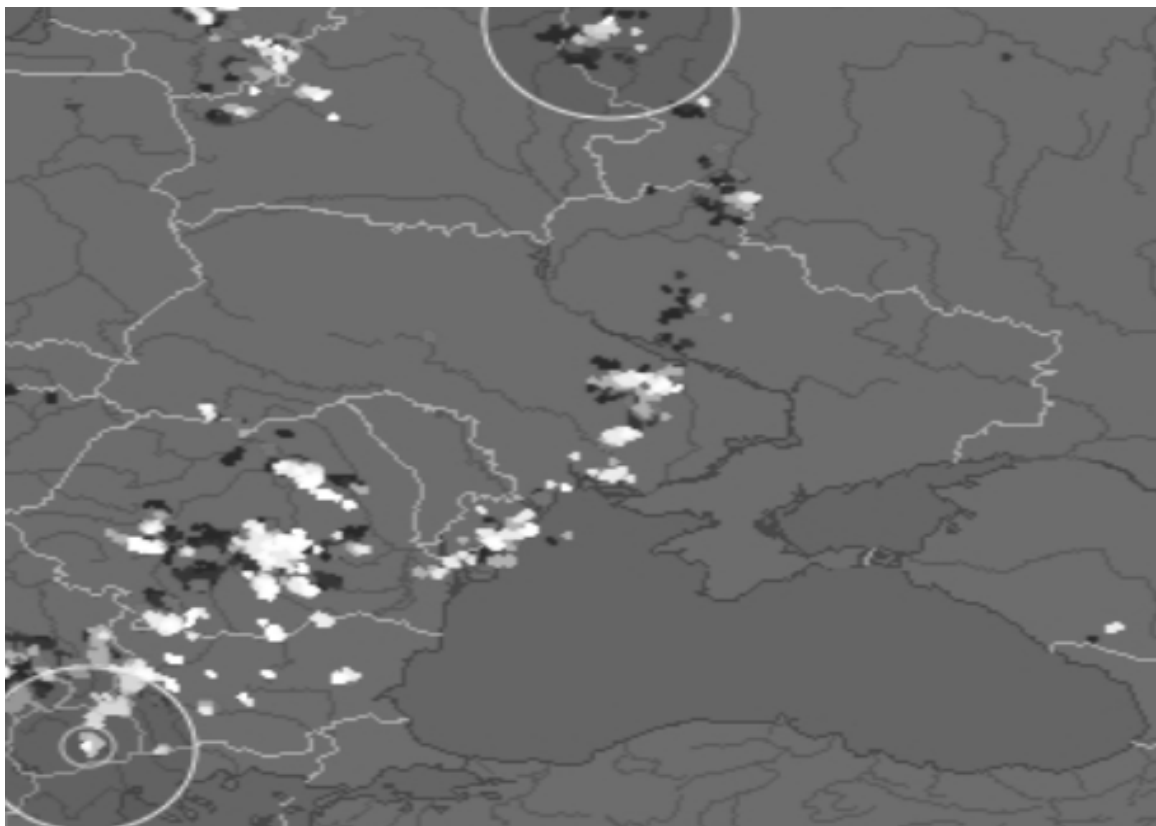


Рис. 3.2 – Карта грозопеленгації за 22.07.2019 (15:00 UTC)

На листі «Вихідні дані» необхідно обрати початкову дату прогнозу та прогнастичний строк з вападаючого списку (рис. 3.10), після чого в кожен зелений чарунку скопіювати перелік відповідних даних з телеграм програми Gr2View. Допоміжний файл автоматично розраховує обрані індекси конвекції в кожному вузлі регулярної сітки та присвоює відповідне комплексне число від 0 до 6, алгоритм отримання якого описано раніше, а також враховує критеріальні значення індексу TT в залежності від місяця. Тому вибір початкової дати є обов'язковим.

Визначення температури точки роси, необхідної для розрахунку обраних індексів конвекції, за допомогою психрометричних таблиць також унеможливорює використання даного методу в оперативній практиці. Тому для вирішення цієї задачі була використана формула для розрахунку температури точки роси (3.1), яка має незначну похибку до $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ [41].

$$T_d = \frac{b \left(\frac{aT}{b+T} + \ln RH \right)}{a - \left(\frac{aT}{b+T} + \ln RH \right)}, \quad (3.1)$$

де T_d – температура точки роси, °C;

T – температура повітря, °C;

RH – вологість повітря, %;

\ln – натуральний логарифм;

a – безрозмірний поправочний коефіцієнт, складає 17,27;

b – безрозмірний поправочний коефіцієнт, складає 237,7.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	TMP 850	RH 850	TMP 700	RH 700	TMP 500	RH 500	Дата початку прогнозу			Прогностичний
2	0.000000,25.000000,305.008	0.000000,25.000000,14.6	0.000000,25.000000,288.6	0.000000,25.000000,31.7	0.000000,25.000000,267.007	0.000000,25.000000,24.3	Число	Місяць	Рік	строк
3	0.250000,25.000000,305.008	0.250000,25.000000,15.8	0.250000,25.000000,288.5	0.250000,25.000000,34.4	0.250000,25.000000,267.007	0.250000,25.000000,24.2	22	7	2019	15
4	0.500000,25.000000,305.108	0.500000,25.000000,17.5	0.500000,25.000000,288.6	0.500000,25.000000,38.4	0.500000,25.000000,267.007	0.500000,25.000000,25.3				
5	0.750000,25.000000,305.308	0.750000,25.000000,18.1	0.750000,25.000000,288.8	0.750000,25.000000,39.6	0.750000,25.000000,266.907	0.750000,25.000000,25.2				
6	1.000000,25.000000,305.308	1.000000,25.000000,17.9	1.000000,25.000000,288.9	1.000000,25.000000,39.4	1.000000,25.000000,266.907	1.000000,25.000000,24				
7	1.250000,25.000000,305.308	1.250000,25.000000,17.8	1.250000,25.000000,288.8	1.250000,25.000000,39.3	1.250000,25.000000,266.707	1.250000,25.000000,30.9				
8	1.500000,25.000000,305.708	1.500000,25.000000,16.6	1.500000,25.000000,289.1	1.500000,25.000000,37	1.500000,25.000000,266.107	1.500000,25.000000,48.2				
9	1.750000,25.000000,305.408	1.750000,25.000000,16	1.750000,25.000000,288.9	1.750000,25.000000,35.4	1.750000,25.000000,266.607	1.750000,25.000000,28.9				
10	2.000000,25.000000,305.208	2.000000,25.000000,16.1	2.000000,25.000000,288.7	2.000000,25.000000,35.4	2.000000,25.000000,266.707	2.000000,25.000000,26.1				
11	2.250000,25.000000,305.508	2.250000,25.000000,15.7	2.250000,25.000000,288.9	2.250000,25.000000,34.8	2.250000,25.000000,266.007	2.250000,25.000000,42.5				
12	2.500000,25.000000,305.708	2.500000,25.000000,14.8	2.500000,25.000000,289.1	2.500000,25.000000,32.9	2.500000,25.000000,265.607	2.500000,25.000000,57				
13	2.750000,25.000000,305.808	2.750000,25.000000,14.3	2.750000,25.000000,289.2	2.750000,25.000000,32.4	2.750000,25.000000,265.607	2.750000,25.000000,78.4				
14	3.000000,25.000000,305.708	3.000000,25.000000,14.1	3.000000,25.000000,289.1	3.000000,25.000000,31.8	3.000000,25.000000,265.607	3.000000,25.000000,70.6				
15	3.250000,25.000000,305.708	3.250000,25.000000,13.7	3.250000,25.000000,289.1	3.250000,25.000000,31	3.250000,25.000000,265.107	3.250000,25.000000,74.1				
16	3.500000,25.000000,305.508	3.500000,25.000000,13.9	3.500000,25.000000,288.9	3.500000,25.000000,31	3.500000,25.000000,265.407	3.500000,25.000000,58				
17	3.750000,25.000000,305.308	3.750000,25.000000,14.4	3.750000,25.000000,288.8	3.750000,25.000000,32	3.750000,25.000000,265.607	3.750000,25.000000,49.5				
18	4.000000,25.000000,305.108	4.000000,25.000000,16.2	4.000000,25.000000,288.6	4.000000,25.000000,36.1	4.000000,25.000000,265.007	4.000000,25.000000,80				
19	4.250000,25.000000,305.008	4.250000,25.000000,16	4.250000,25.000000,288.4	4.250000,25.000000,36.3	4.250000,25.000000,265.207	4.250000,25.000000,92.5				
20	4.500000,25.000000,305.308	4.500000,25.000000,14.9	4.500000,25.000000,288.6	4.500000,25.000000,33.9	4.500000,25.000000,264.707	4.500000,25.000000,91				
21	4.750000,25.000000,305.108	4.750000,25.000000,14.7	4.750000,25.000000,288.6	4.750000,25.000000,33	4.750000,25.000000,264.607	4.750000,25.000000,73.2				
22	5.000000,25.000000,305.008	5.000000,25.000000,14.1	5.000000,25.000000,288.5	5.000000,25.000000,31.3	5.000000,25.000000,265.507	5.000000,25.000000,41.5				
23	5.250000,25.000000,305.308	5.250000,25.000000,13.2	5.250000,25.000000,288.7	5.250000,25.000000,29.7	5.250000,25.000000,265.207	5.250000,25.000000,56.4				
24	5.500000,25.000000,305.208	5.500000,25.000000,12.8	5.500000,25.000000,288.6	5.500000,25.000000,29	5.500000,25.000000,264.807	5.500000,25.000000,68.4				
25	5.750000,25.000000,305.108	5.750000,25.000000,12.5	5.750000,25.000000,288.5	5.750000,25.000000,28	5.750000,25.000000,265.207	5.750000,25.000000,47.4				
26	6.000000,25.000000,304.808	6.000000,25.000000,12	6.000000,25.000000,288.3	6.000000,25.000000,27.2	6.000000,25.000000,265.207	6.000000,25.000000,44.4				
27	6.250000,25.000000,304.608	6.250000,25.000000,12.3	6.250000,25.000000,288	6.250000,25.000000,27.6	6.250000,25.000000,265.207	6.250000,25.000000,36.8				
28	6.500000,25.000000,304.508	6.500000,25.000000,12.3	6.500000,25.000000,287.9	6.500000,25.000000,27.8	6.500000,25.000000,265.307	6.500000,25.000000,38				
29	6.750000,25.000000,304.308	6.750000,25.000000,12	6.750000,25.000000,287.7	6.750000,25.000000,27.1	6.750000,25.000000,265.407	6.750000,25.000000,37.5				
30	7.000000,25.000000,304.408	7.000000,25.000000,11.4	7.000000,25.000000,287.9	7.000000,25.000000,25.9	7.000000,25.000000,265.107	7.000000,25.000000,41.4				
31	7.250000,25.000000,304.608	7.250000,25.000000,11.2	7.250000,25.000000,288.1	7.250000,25.000000,25.3	7.250000,25.000000,264.007	7.250000,25.000000,61.8				
32	7.500000,25.000000,304.808	7.500000,25.000000,11.2	7.500000,25.000000,288.2	7.500000,25.000000,25.4	7.500000,25.000000,263.407	7.500000,25.000000,75.5				
33	7.750000,25.000000,305.008	7.750000,25.000000,10.9	7.750000,25.000000,288.3	7.750000,25.000000,24.7	7.750000,25.000000,263.107	7.750000,25.000000,83.6				
34	8.000000,25.000000,304.608	8.000000,25.000000,11.5	8.000000,25.000000,288.2	8.000000,25.000000,24.8	8.000000,25.000000,264.507	8.000000,25.000000,55.7				
35	8.250000,25.000000,304.508	8.250000,25.000000,11.7	8.250000,25.000000,287.8	8.250000,25.000000,26.6	8.250000,25.000000,264.607	8.250000,25.000000,59				

Рис. 3.3 – Лист «Вихідні дані» допоміжного файлу

На листі «Карта гроз» з'явиться прогностична карта потенціалу виникнення грози для обраного прогностичного періоду (рис. 3.4).

В правій частині листа для зручності користування зображена кольорова шкала потенціалу виникнення грози, а також вказано дату та час, коли

очікується відповідне поле ймовірностей виникнення грози над даною територією.

Шкала потенціалу виникнення грози вказує на те, якому кольору на отриманому полі відповідає значення ймовірності в відповідному вузлі регулярної сітки. У верхній та лівій частині листа вказано довготи та широти. Також, для полегшення візуального сприйняття, на отримане поле накладено географічну карту території, для якої проводяться розрахунки індексів конвекції.

Отже, порівнюючи отриману прогностичну карту потенціалу виникнення грози з супутниковим знімком (рис. 3.12) та картою грозопеленгації (рис. 3.9) можна бачити, що очікуваний стан атмосфери достатньо точно співпадає з фактичним. Області, де спостерігалася найбільш інтенсивна грозова діяльність відповідають червоним тонам на прогностичній карті, а території, де конвективна хмарність та грози відсутні, відмічені зеленим кольором.

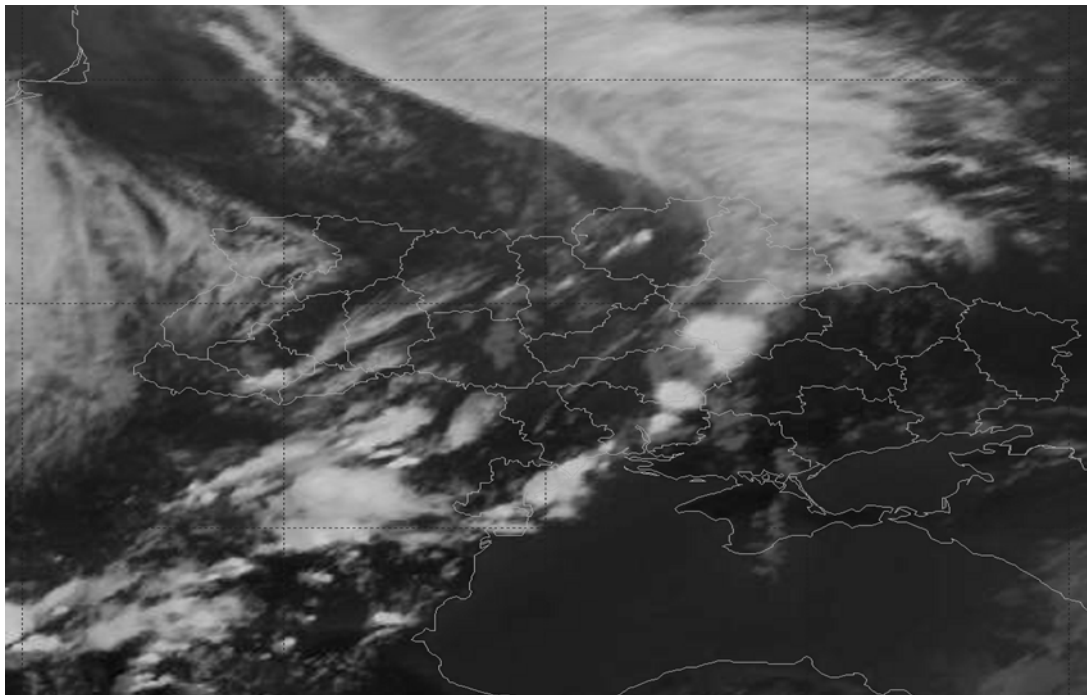


Рис. 3.4 – Супутниковий знімок за 22.07.2019 (15:00 UTC)

Таким чином, описаний алгоритм отримання прогностичної карти виникнення грози за рахунок високої точності прогнозування та достатньо швидкого і зручного використання можливо успішно застосовувати в

оперативній практиці метеорологічних підрозділів Збройних Сил України для метеорологічного забезпечення авіації.

ВИСНОВКИ

В результаті проведеної роботи, можна зробити такі висновки:

1. Пікові значення індексів TT та TQ припадають на фактичний час грози. Значення HI як раз зменшуються під час грози, що відповідає загальноприйнятій класифікації відібраних індексів, що дає змогу їх використання на практиці для даного регіону.

2. Проаналізувавши отримані значення індексів, для території України можливо відкорегувати їхні порогові значення в залежності від місяця. Таким чином, значення індекса $TT > 60$ вказує на високу ймовірність виникнення грози у травні, $TT > 58$ у червні, $TT > 54$ у липні, $TT > 50$ у серпні, на помірну ймовірність вказують значення TT від 54 до 60 у травні, від 52 до 58 у червні, від 48 до 54 у липні, від 46 до 50 у серпні, а на низькі ймовірності відповідають значення $TT < 54$ у травні, $TT < 52$ у червні, $TT < 48$ у липні, $TT < 46$ у серпні. Для TQ Index порогове значення можливо підняти від 17 до 19. Мінімальні значення HI припадали на пік конвективної діяльності, що дає змогу знизити порогові значення майже на два десятки: $HI > 30$ – слабка, помірна – 10-30, $HI < 10$ – сильна.

3. Так, як за даними GRIB2 моделі GFS з просторовим розділенням $0,25^\circ$ розрахунок прогностичних значень індексів конвекції можливий в точках, що знаходяться на відстані близько 28 км одна від одної, це дає змогу прогнозувати можливість виникнення небезпечних конвективних явищ погоди в необхідних регіонах, де немає можливості спостереження за еволюцією небезпечних явищ погоди шляхом радіолокаційної розвідки погоди.

4. Отриманий в ході роботи алгоритм побудови прогностичної карти потенціалу виникнення грози, реалізований за допомогою програмного забезпечення Microsoft Office Excel, може використовуватися в оперативній практиці метеорологічних підрозділів Збройних Сил України для метеорологічного забезпечення авіації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сітка грозопеленгації у реальному часі. [Електронний ресурс]. Спосіб доступу: http://ru.blitzortung.org/live_lightning_maps.php.
2. Радіолокаційна карта метеоявищ. [Електронний ресурс]. Спосіб доступу: <http://www.meteoinfo.by/radar/?q=UKBB>.
3. Storm Chasing Handbook (Second Edition) – December 15, 2008 by [Tim Vasquez](#). – 322 p.
4. Назаренко А. В. Опасные природные явления. – Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2008. – 62с.
5. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии, физика атмосферы. Л.: Гидрометиздат, 1984. – 752 с.
6. [National Severe Storms Laboratory](#). "SEVERE WEATHER 101/Thunderstorm Basics". SEVERE WEATHER 101. [National Oceanic and Atmospheric Administration](#), 2020. – 12 p.
7. Albert Irvin Frye. [Civil engineers' pocket book: a reference-book for engineers, contractors](#). D. Van Nostrand Company, 1913. – 462 p.
8. Семенченко Б.А. Физическая метеорология. М.: Изд-во МГУ, 2002. – 416с.
9. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. М.: АН СССР, 1955. – 353 с.
10. Андреев А. О., Дукальская М. В., Головина Е. Г. Облака: происхождение, классификация, распознавание. – СПб: РГГМУ, 2007. – 228 с.
11. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы / Л.Т. Матвеев. – СПб.: Гидрометеиздат, 2000. – 778 с.
12. Архипов В.А. Физико-химические основы процессов теплообмена: Учебное пособие. Томский политехнический университет, 2015. – 199 с.
13. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Л. : Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.
14. Кац А.Л. Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы. М.: Гидрометеиздат, 1960. – 269 с.

15. Зверев.А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 712 с.
16. Paul M. Markowski, Yvette P. Richardson [Mesoscale Meteorology in Midlatitudes](#). John Wiley and Sons, 2011. – 120 p.
17. Carlson, Toby N. (1991). [Mid-latitude Weather Systems](#). HarperCollins Academic, 1991. – 435 p.
18. Stull. R.: "Practical Meteorology: An Algebra-based Survey of Atmospheric Science" -version 1.02b. Univ. of British Columbia, 2017. – 940 p.
19. Yikne Deng. Ancient Chinese Inventions. Chinese International Press, 2005. – 113 p.
20. Chris C. Mooney. [Storm world: hurricanes, politics, and the battle over global warming](#). Houghton Mifflin Harcourt, 2007. – 20 p.
21. David O. Blanchard. ["Assessing the Vertical Distribution of Convective Available Potential Energy"](#). [Weather and Forecasting](#). [American Meteorological Society](#), September 1998. – 877 p.
22. Michael H. Mogil. [Extreme Weather](#). New York: Black Dog & Leventhal Publisher, 2007. – 211 p.
23. Clive D. Rodgers. Inverse Methods for Atmospheric Sounding: Theory and Practice. World Scientific, 2000. – 256 p.
24. Лайхтман Д.Л. Физика пограничного слоя атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 341 с.
25. Journal of geophysical research, Vol. 113, Issue D23, 2008. – 10 p.
26. Finley, J. P. Tornado predictions. American Meteorological Journal, 1884. – 85 p.
27. Hinrichs, G. D. Tornadoes and derechos. American Meteorological Journal, 1888. – 349 p.
28. Maddox, R. A., & Crisp, C. A. The Tinker AFB tornadoes of March 1948. Weather and Forecasting, 1999. – 499 p.
29. Miller, R. C. Notes on analysis and severe storms forecasting procedures of the Air Force Global Weather Central. Technical Report 200 (Rev.), Air Weather Service, 1972. – 181 p.
30. Corfidi, S. F., Johns, R. H., & Darrow, M. A. The Great Basin Derecho of 31 May 1994. Weather and Forecasting, 2016. – 935 p.
31. Тарасов Л.В. Ветры и грозы в атмосфере Земли. – Долгопрудный: Интеллект, 2011. – 280 с.

32. Forecasting Severe Convective Storms [Електронний ресурс]. Спосіб доступу: <http://climatescience.oxfordre.com/view/10.1093/acrefore/9780190228620.001.0001/acrefore-9780190228620-e-59>.

33. Doswell, C. A., III, Brooks, H. E., Maddox, R. A. Flash flood forecasting: An ingredients-based methodology. *Weather and Forecasting*, 1996. – 581 p.

34. McNulty, R. P. On upper tropospheric kinematics and severe weather occurrence. *Monthly Weather Review*, 1978. – 672 p.

35. Uccellini, L. W., Corfidi, S. F., Junker, N. W., Kocin, P. J., Olson, D. A. Report on the Surface Analysis Workshop held at the National Meteorological Center, March 25-28, 1991. *Bulletin of the American Meteorological Society*. – 472 p.

36. Petersen, R. A. On the impacts and benefits of AMDAR observations in operational forecasting. Part 1: A Review of the impact of automated aircraft wind and temperature reports. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2016. – 602 p.

37. Johnson, R. H., & Mapes, B. E. Mesoscale processes and severe convective weather. *Severe Convective Storm: Meteorological Monographs*, No. 50, 2001. – 122 p.

38. Н. Ш. Гусейнов, В. М. Шпиг, Б. М. Меліков Фізична географія та геоморфологія, 2013. – 126 с.

39. Прохареня М. И. Прогноз конвективных явлений на основе выходных данных численных моделей в гидрометеоцентре Республики Беларусь // Український гідрометеорологічний журнал №19, 2017. – 57 с.

40. RAOB. The Complete RAwinsonde OBservation Program. A product of Environmental Research Services, LLC. User Guide Technical Manual. Version 6.6/ed. By J.Shewchuk. – Matamoros (PA): Environmental Research Services, 2016. – 196 p.

41. Бурцев С. И., Цветков Ю. Н. Влажный воздух. Состав и свойства. – СПб.: СПбГАХИТ, 1998. – 146 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

ДОВІДКА

кафедри військової підготовки
до магістерської роботи
курсанта МВМ-19 Костянтина ПИРОГОВА
на тему:

«Просторово-часова структура температуро-вологісних параметрів
конвекції при формуванні гроз над територією України»

1. Доповідь на студентській науковій конференції молодих вчених 17 квітня 2019 р. за темою: «Часова структура температуро-вологісних параметрів конвекції при формуванні гроз над територією України» 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>. – 341-342 с.

2. Доповідь на 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: «Просторово-часова структура температуро-вологісних параметрів конвекції при формуванні гроз над територією України».

Керівник магістерської роботи

Підполковник

Андрій ГЛУШКОВ

Додаток Б

Вихідні дані та результати розрахунків індексів

13.07.2018												
Чернігів	<i>T850</i>	<i>f850</i>	<i>Td850</i>	<i>T700</i>	<i>f700</i>	<i>Td700</i>	<i>T500</i>	<i>f500</i>	<i>Td500</i>	<i>TT</i>	<i>TQ</i>	<i>HI</i>
06	13,3	79	9,7	3,5	69	-1,6	-13	65	-17,8	48,2	17,1	13,9
09	13,7	71	8,5	3,8	78	0,3	-13	69	-17,6	48,4	15,8	13,1
12	13,6	86	11,3	4,2	75	0,2	-13	67	-17,7	50,7	17,8	11,2
15	13,8	84	11,1	5,1	53	-3,7	12,6	40	-0,6	-0,3	16,3	24,7
Ічня	<i>T850</i>	<i>f850</i>	<i>Td850</i>	<i>T700</i>	<i>f700</i>	<i>Td700</i>	<i>T500</i>	<i>f500</i>	<i>Td500</i>	<i>TT</i>	<i>TQ</i>	<i>HI</i>
06	13,5	75	9,2	3,8	71	-1,0	-12	67	-16,9	46,7	16,2	14,0
09	14,1	69	8,5	4,1	71	-0,7	-13	74	-16,2	47,6	15,6	14,0
12	13,6	95	12,8	4,5	73	0,1	-12	65	-17,6	51,2	18,8	10,4
15	14,4	85	11,9	5,1	67	-0,5	-12	64	-17,8	51,1	17,6	13,5
Бориспіль	<i>T850</i>	<i>f850</i>	<i>Td850</i>	<i>T700</i>	<i>f700</i>	<i>Td700</i>	<i>T500</i>	<i>f500</i>	<i>Td500</i>	<i>TT</i>	<i>TQ</i>	<i>HI</i>
06	13,7	72	8,7	4	76	0,2	-13	59	-18,8	47,4	15,6	15,1
09	13,9	72	8,9	3,9	78	0,4	-13	60	-19,4	49,4	16,2	14,5
12	13,7	90	12,1	4,2	65	-1,8	-12	33	-25,3	50,6	18,6	20,5
15	13,9	82	10,9	4,6	42	-7,2	-13	15	-33,7	49,8	17,0	36,1
Прилуки	<i>T850</i>	<i>f850</i>	<i>Td850</i>	<i>T700</i>	68	<i>Td700</i>	<i>T500</i>	<i>f500</i>	<i>Td500</i>	<i>TT</i>	<i>TQ</i>	<i>HI</i>
06	13,6	74	9,1	4	68	-1,4	-12	61	-17,9	46,5	15,9	15,9
09	14,1	70	8,7	4,3	74	0,1	-12	71	-16,5	47,4	15,5	13,8
12	13,7	95	12,9	4,5	66	-1,3	-13	66	-17,5	51,6	19,0	11,6
15	14,5	82	11,5	5,1	67	-0,5	-12	65	-17,4	50,4	17,3	13,9
Носівка	<i>T850</i>	<i>f850</i>	<i>Td850</i>	<i>T700</i>	<i>f700</i>	<i>Td700</i>	<i>T500</i>	<i>f500</i>	<i>Td500</i>	<i>TT</i>	<i>TQ</i>	<i>HI</i>
06	13,6	74	9,1	3,9	68	-1,5	-12	56	-19,3	47,5	16,0	16,9
09	13,9	69	8,3	4,2	74	0,0	-13	75	-16,3	47,8	15,1	13,3
12	13,6	70	8,2	4,4	72	-0,2	-12	49	-20,9	46,6	14,4	18,5
15	14	83	11,2	5,1	55	-3,2	-12	54	-19,8	50,0	16,5	18,5
Ніжин	<i>T850</i>	<i>f850</i>	<i>Td850</i>	<i>T700</i>	<i>f700</i>	<i>Td700</i>	<i>T500</i>	<i>f500</i>	<i>Td500</i>	<i>TT</i>	<i>TQ</i>	<i>HI</i>
06	13,4	77	9,4	3,7	68	-1,7	-12	67	-17,1	47,4	16,6	14,2
09	13,9	71	8,7	4	74	-0,2	-13	73	-16,5	48,0	15,8	13,2
12	13,8	81	10,6	4,5	73	0,1	-13	58	-19,1	49,6	16,7	14,1
15	14	85	11,5	5,1	61	-1,8	-13	59	-18,9	50,7	16,8	15,7
Яготин	<i>T850</i>	<i>f850</i>	<i>Td850</i>	<i>T700</i>	<i>f700</i>	<i>Td700</i>	<i>T500</i>	<i>f500</i>	<i>Td500</i>	<i>TT</i>	<i>TQ</i>	<i>HI</i>
06	13,7	73	8,9	4	67	-1,6	-12	52	-19,6	46,2	15,8	18,2
09	13,7	77	9,7	4,5	70	-0,5	-12	65	-17,5	48,0	15,8	14,2
12	13,8	93	12,7	4,8	70	-0,2	-12	52	-20,2	51,3	18,3	13,9
15	14,4	80	11,0	5,1	58	-2,5	-12	23	-28,9	49,4	16,7	27,9

04.05.2019												
Лубни	<i>T850</i>	<i>f850</i>	<i>Td850</i>	<i>T700</i>	<i>f700</i>	<i>Td700</i>	<i>T500</i>	<i>f500</i>	<i>Td500</i>	<i>TT</i>	<i>TQ</i>	<i>HI</i>
00	7,3	68	1,8	-4,8	84	-7,1	-22,0	100	-22,0	53,1	17,3	7,8
03	8,0	62	1,2	-4,7	87	-6,5	-22,0	99	-22,1	53,2	17,2	8,8
06	8,4	59	0,9	-4,5	82	-7,1	-22,2	99	-22,3	53,7	16,9	10,2
09	7,6	69	2,3	-4,6	77	-8,0	-22,5	99	-22,6	54,9	17,7	8,8
12	6,8	85	4,5	-4,8	87	-6,6	-22,0	99	-22,1	55,3	19,4	4,3
15	7,0	79	3,6	-4,7	87	-6,5	-21,8	100	-21,8	54,2	18,6	5,2
Черкаси	<i>T850</i>	<i>f850</i>	<i>Td850</i>	<i>T700</i>	<i>f700</i>	<i>Td700</i>	<i>T500</i>	<i>f500</i>	<i>Td500</i>	<i>TT</i>	<i>TQ</i>	<i>HI</i>
00	7,2	72	2,5	-4,7	85	-6,8	-21,9	99	-22,0	53,5	17,7	6,9
03	8,4	59	0,9	-4,2	75	-8,0	-22,1	98	-22,3	53,5	16,4	11,5
06	8,2	62	1,4	-4,1	69	-8,9	-22,4	95	-23,0	54,4	16,5	12,2
09	7,5	67	1,8	-4,7	75	-8,4	-22,2	99	-22,3	53,7	17,3	9,6
12	6,6	91	5,2	-4,5	80	-7,4	-22,5	99	-22,6	56,8	19,5	4,4
15	7,3	74	3,0	-4,0	72	-8,3	-22,0	93	-22,8	54,3	17,1	9,4
Сміла	<i>T850</i>	<i>f850</i>	<i>Td850</i>	<i>T700</i>	<i>f700</i>	<i>Td700</i>	<i>T500</i>	<i>f500</i>	<i>Td500</i>	<i>TT</i>	<i>TQ</i>	<i>HI</i>
00	7,7	67	2,0	-4,5	79	-7,6	-21,9	99	-22,0	53,5	17,3	8,9
03	8,5	61	1,4	-4,0	70	-8,6	-22,1	98	-22,3	54,1	16,7	11,9
06	8,2	62	1,4	-4,2	69	-9,0	-22,4	94	-23,1	54,4	16,7	12,3
09	7,5	66	1,6	-4,7	79	-7,8	-22,5	99	-22,6	54,1	17,1	9,1
12	6,7	85	4,4	-4,2	75	-8,0	-22,1	100	-22,1	55,3	18,2	6,1
15	7,6	69	2,3	-3,9	68	-8,9	-22,1	95	-22,7	54,1	16,5	10,9
Кременчук	<i>T850</i>	<i>f850</i>	<i>Td850</i>	<i>T700</i>	<i>f700</i>	<i>Td700</i>	<i>T500</i>	<i>f500</i>	<i>Td500</i>	<i>TT</i>	<i>TQ</i>	<i>HI</i>
00	8,2	59	0,7	-4,7	69	-9,5	-22,0	23	-37,4	52,9	16,9	27,7
03	7,8	62	1,0	-4,7	65	-10,2	-22,0	53	-28,9	52,8	16,8	19,3
06	7,7	63	1,1	-4,1	58	-11,1	-22,2	66	-26,8	53,2	15,8	18,2
09	7,2	77	3,4	-4,3	73	-8,4	-22,0	80	-24,5	54,6	18,0	10,3
12	6,7	84	4,2	-4,6	87	-6,4	-21,8	99	-21,9	54,5	18,7	4,4
15	7,3	78	3,7	-4,0	84	-6,3	-22,0	99	-22,1	55,0	17,8	6,0
Кропивницький	<i>T850</i>	<i>f850</i>	<i>Td850</i>	<i>T700</i>	<i>f700</i>	<i>Td700</i>	<i>T500</i>	<i>f500</i>	<i>Td500</i>	<i>TT</i>	<i>TQ</i>	<i>HI</i>
00	8,2	60	0,9	-4,4	60	-11,0	-21,8	41	-31,4	52,7	16,6	23,5
03	8,1	66	2,1	-3,9	60	-10,5	-22,0	65	-26,8	54,2	16,9	17,3
06	8,1	65	1,9	-4,0	63	-10,0	-22,3	81	-24,6	54,6	16,8	14,5
09	7,3	75	3,2	-3,8	68	-8,8	-22,1	100	-22,1	54,7	16,9	9,1
12	7,4	71	2,5	-4,3	90	-5,7	-22,0	99	-22,1	53,9	17,2	6,4
15	7,8	73	3,3	-3,8	72	-8,1	-24,6	84	-26,5	60,3	17,5	10,7

23.05.2019												
Жашків	<i>T850</i>	<i>f850</i>	<i>Td850</i>	<i>T700</i>	<i>f700</i>	<i>Td700</i>	<i>T500</i>	<i>f500</i>	<i>Td500</i>	<i>TT</i>	<i>TQ</i>	<i>HI</i>
00	8,6	78,0	5,0	-2,1	87,0	-4,0	-18,0	100	-18,0	49,6	17,2	5,5
03	8,9	74,0	4,5	-1,8	90,0	-3,2	-17,8	95	-18,4	49,0	16,5	6,4
06	8,9	79,0	5,5	-1,3	88,0	-3,0	-17,3	80	-19,9	49,0	16,6	7,8
09	9,1	81,0	6,0	-1,0	93,0	-2,0	-17,4	88	-18,9	49,9	16,8	5,6
12	9,7	83,0	7,0	0,0	82,0	-2,7	-17,1	95	-17,7	50,9	16,7	6,0
15	10,5	72,0	5,7	0,1	85,0	-2,1	-17,0	99	-17,1	50,2	16,0	7,2
Погребище	<i>T850</i>	<i>f850</i>	<i>Td850</i>	<i>T700</i>	<i>f700</i>	<i>Td700</i>	<i>T500</i>	<i>f500</i>	<i>Td500</i>	<i>TT</i>	<i>TQ</i>	<i>HI</i>
00	9,1	70,0	3,9	-1,6	64,0	-7,5	-17,8	100	-17,8	48,6	15,7	11,1
03	8,9	71,0	3,9	-1,4	63,0	-7,5	-17,8	100	-17,8	48,4	15,2	11,1
06	9,1	70,0	3,9	-1,2	70,0	-6,0	-17,5	95	-18,1	48,0	15,1	10,5
09	9,2	76,0	5,2	-1,2	85,0	-3,4	-17,4	94	-18,1	49,2	16,4	6,9
12	9,5	87,0	7,4	-0,4	84,0	-2,8	-17,3	98	-17,5	51,5	17,6	4,7
15	10,5	68,0	4,9	0,0	86,0	-2,1	-17,2	99	-17,3	49,8	15,4	7,8
Васильків	<i>T850</i>	<i>f850</i>	<i>Td850</i>	<i>T700</i>	<i>f700</i>	<i>Td700</i>	<i>T500</i>	<i>f500</i>	<i>Td500</i>	<i>TT</i>	<i>TQ</i>	<i>HI</i>
00	9,0	83,0	6,3	-1,3	90,0	-2,7	-17,1	83	-19,3	49,5	17,5	6,3
03	8,9	80,0	5,6	-1,1	87,0	-3,0	-17,5	81	-20,0	49,5	16,4	7,6
06	8,8	78,0	5,2	-0,7	77,0	-4,2	-17,3	74	-20,8	48,6	15,2	10,6
09	8,6	89,0	6,9	-0,3	68,0	-5,5	-17,5	79	-20,2	50,5	16,0	9,6
12	9,6	93,0	8,5	0,1	57,0	-7,4	-16,9	62	-22,4	51,9	18,0	14,1
15	10,6	77,0	6,7	0,1	52,0	-8,6	-16,6	52	-24,1	50,5	17,2	20,0
Десна	<i>T850</i>	<i>f850</i>	<i>Td850</i>	<i>T700</i>	<i>f700</i>	<i>Td700</i>	<i>T500</i>	<i>f500</i>	<i>Td500</i>	<i>TT</i>	<i>TQ</i>	<i>HI</i>
00	9,1	80,0	5,8	-1,0	75,0	-4,9	-17,3	88	-18,8	49,5	16,6	8,6
03	9,3	74,0	4,9	-1,0	77,0	-4,5	-17,5	92	-18,5	49,2	15,9	8,9
06	9,6	66,0	3,6	-1,0	73,0	-5,2	-17,4	83	-19,6	48,0	14,9	12,4
09	10,3	58,0	2,4	-0,6	62,0	-7,0	-17,4	76	-20,6	47,5	13,7	17,4
12	10,2	86,0	8,0	-0,4	56,0	-8,1	-16,5	51	-24,2	51,2	18,8	17,6
15	10,5	83,0	7,7	-0,1	54,0	-8,3	-16,2	46	-25,1	50,6	18,4	19,8
Умань	<i>T850</i>	<i>f850</i>	<i>Td850</i>	<i>T700</i>	<i>f700</i>	<i>Td700</i>	<i>T500</i>	<i>f500</i>	<i>Td500</i>	<i>TT</i>	<i>TQ</i>	<i>HI</i>
00	8,5	82,0	5,6	-2,1	80,0	-5,1	-18,2	100	-18,2	50,5	17,7	5,9
03	8,7	75,0	4,5	-1,7	82,0	-4,4	-18,0	96	-18,5	49,2	16,1	7,3
06	8,8	71,0	3,8	-1,4	87,0	-3,3	-17,5	81	-20,0	47,6	15,0	9,3
09	9,0	80,0	5,7	-1,3	91,0	-2,6	-17,3	82	-19,6	49,3	17,0	6,9
12	9,6	87,0	7,5	-0,4	84,0	-2,8	-17,1	88	-18,6	51,3	17,8	5,9
15	10,4	74,0	6,0	0,2	81,0	-2,7	-17,1	92	-18,1	50,6	16,0	8,3

24.05.2019												
Лубни	<i>T850</i>	<i>f850</i>	<i>Td850</i>	<i>T700</i>	<i>f700</i>	<i>Td700</i>	<i>T500</i>	<i>f500</i>	<i>Td500</i>	<i>TT</i>	<i>TQ</i>	<i>HI</i>
00	10,6	68	5,0	0,0	58	-7,3	-17,5	63	-22,8	50,6	15,6	18,2
03	10,3	70	5,1	-0,3	59	-7,3	-17,6	63	-22,9	50,6	15,9	17,5
06	10,6	63	3,9	-0,5	63	-6,7	-17,9	76	-21,1	50,3	15,3	16,1
09	10,7	66	4,6	0,0	58	-7,3	-17,0	58	-23,3	49,3	15,3	19,6
12	11,0	86	8,8	-0,2	63	-6,4	-17,5	57	-23,9	54,8	20,1	14,8
15	11,3	82	8,3	0,2	60	-6,6	-17,8	63	-23,1	55,2	19,3	15,1
Прилуки	<i>T850</i>	<i>f850</i>	<i>Td850</i>	<i>T700</i>	<i>f700</i>	<i>Td700</i>	<i>T500</i>	<i>f500</i>	<i>Td500</i>	<i>TT</i>	<i>TQ</i>	<i>HI</i>
00	11,0	68	5,3	0,1	64	-5,9	-17,5	57	-23,9	51,3	16,2	18,1
03	10,9	67	5,0	-0,2	63	-6,4	-17,6	45	-26,6	51,1	16,3	21,1
06	10,7	68	5,0	-0,5	66	-6,0	-18,1	52	-25,5	51,9	16,6	18,6
09	11,6	57	3,4	0,5	53	-7,9	-17,0	54	-24,1	49,0	14,1	23,7
12	11,1	86	8,9	0,3	54	-7,9	-17,6	72	-21,4	55,2	19,4	14,2
15	11,5	84	8,9	0,5	55	-7,5	-17,5	56	-24,1	55,4	19,5	17,2
Бердичів	<i>T850</i>	<i>f850</i>	<i>Td850</i>	<i>T700</i>	<i>f700</i>	<i>Td700</i>	<i>T500</i>	<i>f500</i>	<i>Td500</i>	<i>TT</i>	<i>TQ</i>	<i>HI</i>
00	10,5	70	5,3	-0,8	80	-3,8	-17,5	83	-19,7	50,8	17,1	10,4
03	10,5	70	5,3	-0,9	76	-4,6	-18,1	83	-20,3	52,0	17,3	11,1
06	10,5	70	5,3	-0,9	69	-5,9	-18,2	71	-22,1	52,2	17,3	14,1
09	10,6	67	4,7	-0,5	62	-6,9	-17,7	59	-23,7	50,7	16,2	18,3
12	11,1	64	4,6	-0,9	73	-5,1	-18,0	87	-19,6	51,7	17,2	12,4
15	11,6	55	2,9	-0,4	69	-5,4	-17,8	83	-20,0	50,1	15,2	15,9
Житомир	<i>T850</i>	<i>f850</i>	<i>Td850</i>	<i>T700</i>	<i>f700</i>	<i>Td700</i>	<i>T500</i>	<i>f500</i>	<i>Td500</i>	<i>TT</i>	<i>TQ</i>	<i>HI</i>
00	10,6	70	5,4	-0,7	79	-3,9	-17,5	82	-19,8	51,0	17,2	10,7
03	10,5	70	5,3	-0,9	81	-3,7	-18,0	87	-19,6	51,8	17,3	9,7
06	10,4	72	5,6	-0,9	78	-4,2	-18,2	81	-20,6	52,4	17,5	10,6
09	10,6	66	4,5	-0,6	72	-5,0	-17,7	76	-20,9	50,5	16,1	13,7
12	10,7	82	7,8	-0,8	74	-4,8	-17,9	84	-19,9	54,3	19,8	9,0
15	11,4	63	4,6	-0,4	71	-5,0	-17,6	85	-19,5	51,2	16,7	13,3
Васильків	<i>T850</i>	<i>f850</i>	<i>Td850</i>	<i>T700</i>	<i>f700</i>	<i>Td700</i>	<i>T500</i>	<i>f500</i>	<i>Td500</i>	<i>TT</i>	<i>TQ</i>	<i>HI</i>
00	11,1	69	5,6	-0,8	75	-4,7	-17,3	66	-22,1	51,3	18,1	14,1
03	11,0	69	5,5	-0,9	76	-4,6	-17,7	84	-19,7	51,9	18,1	11,2
06	10,6	74	6,2	-0,9	78	-4,2	-18,0	89	-19,4	52,8	18,3	9,1
09	10,9	65	4,6	0,0	66	-5,6	-17,7	84	-19,7	50,9	15,5	13,9
12	11,1	85	8,7	-0,3	64	-6,3	-17,8	68	-22,2	55,4	20,3	12,8
15	11,4	82	8,4	0,0	57	-7,5	-17,1	44	-26,4	54,0	19,8	19,7