

**Міністерство освіти і науки України**  
**Київський національний університет імені Тараса Шевченка**  
**Географічний факультет**  
**Кафедра метеорології та кліматології**

На правах рукопису  
УДК 551.509.326(477)

**Аналіз і прогнозування грозової діяльності в Україні**

Галузь знань 10 – Природничі науки  
Спеціальність Е4 – Науки про Землю  
Освітня програма Метеорологія

Кваліфікаційна робота магістра  
студента 2 курсу  
освітнього рівня магістр  
Растєгаєва Олександра Вадимовича

Науковий керівник:  
кандидат географічних наук, доцент  
кафедри метеорології та кліматології  
Затула Василь Іванович

Допустити до захисту:

Завідувач кафедри метеорології та кліматології, проф.Сергій СНІЖКО

«\_\_»\_\_\_\_\_ 2025 р.

**Київ – 2025**

**Олександр РАСТЕГАЄВ**

Освітня програма «Метеорологія», ОР Магістр

Науковий Керівник: кандидат географічних наук, доцент кафедри метеорології та кліматології Василь ЗАГУЛА

Рецензент: д. геогр. н. проф. кафедри землезнавства та геоморфології географічного факультету Наталія ГЕРАСИМЕНКО

## **АНАЛІЗ І ПРОГНОЗУВАННЯ ГРОЗОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В УКРАЇНІ**

Актуальність теми полягає у прогнозуванні динаміки гроз, розвитку та структури грозових хмар, спостереженні за змінами у діяльності цього явища зі змінами глобального клімату, моделюванні грозових осередків задля вживання заходів безпеки завчасно для сталого розвитку економіки держави, функціонування транспорту, особливо авіації, життєдіяльності людини загалом.

Метою цієї роботи є дослідження грозової діяльності в Україні та аналізування і оцінювання якості її прогнозу.

Відповідно до поставленої мети було виконано:

- аналіз грозової діяльності на досліджуваних метеорологічних станціях за досліджуваний період;
- аналіз динаміки індексів нестійкості атмосфери за досліджувані періоди з досліджуваних метеорологічних станцій
- аналіз сезонної та річної справджуваності прогнозу грозової діяльності за досліджувані періоди з досліджуваних метеорологічних станцій з використаними для цього індексами нестійкості атмосфери

Магістерська кваліфікаційна робота в обсязі 80 сторінок складається з вступу, трьох розділів, висновків, переліку посилань з 47 джерел, містить 42 рисунки та 2 таблиці.

**Ключові слова:** гроза, прогноз, аналіз, індекси нестійкості, справджуваність

**Oleksandr RASTIEHAIEV**

Educational Program “Meteorology” Master's Degree

Supervisor: candidate of geographical sciences associate professor of the department  
of meteorology and climatology Vasyl ZATULA

Reviewer: doctor of geographical sciences, professor of the department of geography  
and geomorphology faculty of geography Natalia GERASIMENKO

## **ANALYSIS AND FORECASTING OF THUNDERSTORM ACTIVITY IN UKRAINE**

The relevance of the topic lies in forecasting the dynamics of thunderstorms, the development and structure of thunderstorm clouds, monitoring changes in the activity of this phenomenon with global climate changes modeling thunderstorm centers to implement safety measures in advance for more stable development of the state economy transportation functioning, especially aviation, as well as the life activity of humans.

The purpose of this work is to research thunderstorm activity in Ukraine and analyze and evaluate the quality of its forecast.

In accordance with the stated purpose, the following tasks were completed:

- analysis of thunderstorm activity at the meteorological stations studied during the research period;
- analysis of the dynamics of atmospheric instability indices for the studied periods from the researched meteorological stations;
- analysis of seasonal and annual verification of thunderstorm activity forecasts for the studied periods from the researched meteorological stations using atmospheric instability indices for this purpose.

The master's qualification thesis consists of 80 pages and includes an introduction, three chapters, conclusions, a list of references with 47 sources, 42 figures, and 2 tables.

**Keywords:** thunderstorm, forecast, analysis, instability indices, verification

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ГРОЗУ .....	7
1.1. Гроза, як атмосферне явище, її класифікація та механізм утворення.....	7
1.2. Компоненти грози.....	10
2. КОРОТКИЙ ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ТА МЕТОДОЛОГІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ГРОЗОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ .....	14
2.1. Короткий історичний та літературний огляд грозової діяльності .....	14
2.2. Методи прогнозування гроз у світі та в Україні.....	16
2.3. Кореляційна матриця як інструмент дослідження.....	25
3. ДИНАМІКА ТА ПРОНОЗУВАННЯ ГРОЗОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В УКРАЇНІ...28	
3.1. Аналіз грозової діяльності в Україні за період 1981 – 2020 рр.....	28
3.2. Огляд зимових гроз в Україні за період 1981 – 2020 рр.....	40
3.3. Динаміка індексів нестійкості атмосфери та прогнозування грозової діяльності за ними в Україні.....	43
ВИСНОВКИ.....	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	

## ВСТУП

*Актуальність проблеми:* Загально відомо, що гроза це багатогранне фізичне небезпечне атмосферне явище, яке утворюється найчастіше в купчасто – дощовій хмарності. Це явище проявляє себе в електричному, акустичному, оптичному і також динамічному вигляді через різні атмосферні явища, що супроводжують грозу, такі як грім, блискавка, повінь, сильний вітер, злива та град і т. д...

В Україні грозова діяльність загалом не дуже інтенсивна, в основному сезон її діяльності припадає на період з травня по жовтень, іноді на квітень та листопад, рідше бувають випадки зимових гроз. Найбільша кількість днів з грозою спостерігається у Карпатах ( $\approx 50$  днів).

Тому важливо прогнозувати динаміку гроз, розвиток та структуру грозових хмар, спостерігати за змінами у діяльності цього явища зі змінами глобального клімату, моделювати грозові осередки і тим самим дізнаватися про їхню діяльність та вживати заходів безпеки завчасно. Усі ці речі важливі для більш спокійного розвитку економіки держави, функціонування транспорту, особливо авіації, життєдіяльності людей...

*Мета кваліфікаційної роботи:* дослідити грозову діяльність в Україні та провести аналіз і оцінку якості її прогнозу.

*Методи дослідження:* графічна візуалізація даних, статистичний аналіз, методи довгострокового прогнозування.

У якості вихідних даних у даній роботі було використано число днів з грозою та тривалість гроз за місяць для десяти метеорологічних станцій України з архіву центральної геофізичної обсерваторії. Також було використано аерологічні дані індексів нестійкості атмосфери з трьох метеорологічних станцій України з електронного архіву університету штату Вайомінг.

*Об'єкт дослідження:* грози в Україні та їх статистичні методи прогнозу

*Предмет дослідження:* динаміка числа днів з грозою та тривалості гроз в Україні. Динаміка та справджуваність прогнозу грозової діяльності за індексами нестійкості атмосфери.

*Завдання даної роботи:*

1. Візуалізувати за допомогою діаграм число днів з грозою та тривалість гроз з десяти досліджуваних метеорологічних станцій за період дослідження 1981 – 2020 рр. та проаналізувати їх динаміку.
2. Обчислити та візуалізувати середнє число днів з грозою та тривалість гроз в Україні
3. Візуалізувати за допомогою таблиці випадки місяців, коли спостерігалися зимові грози та проаналізувати їх.
4. Обчислити середні значення досліджуваних індексів нестійкості атмосфери з трьох метеорологічних станцій, знайти їх місячні екстремуми та візуалізувати і проаналізувати їх динаміку за досліджувані періоди з 1981 -1985 рр. і 2016 - 2020 рр. Побудувати матриці кореляцій та проаналізувати й порівняти їх результати за регіонами та індексами.
5. Провести аналіз сезонної та річної справджуваності прогнозу грозової діяльності за досліджуваними індексами нестійкості, за досліджувані різні періоди й регіони та проаналізувати отримані результати.

## 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ГРОЗУ

### 1.1. Гроза, як атмосферне явище, її класифікація та механізм утворення

Гроза – це складне багатогранне фізичне атмосферне явище, яке виникає найчастіше у розвиненій купчасто-дощовій хмарі, може супроводжуватися різними іншими метеорологічними атмосферними явищами, такими як: сильні опади(дощ, сніг, град), вітри(буревії, смерчі, торнадо), блискавки, грім і т. д...

*Етапи розвитку грозової хмари:*

Стадія купчастої хмари: висхідні потоки теплого повітря охолоджуються, що призводить до конденсації водяної пари та утворення купчастих хмар. Вивільнена при конденсації теплота, посилює піднімання повітряних мас.

Стадія зрілої грозової хмари: вологі повітряні маси продовжують підійматися, а хмара наростає. Краплі води укрупнюються, замерзають і, падаючи, частково тануть, утворюючи дощ. За сильних висхідних потоків, льодяні частинки не встигають розтанути, досягаючи поверхні землі у вигляді граду.

Стадія розпаду хмари: низхідні холодні потоки переривають висхідні, зупиняючи розвиток хмари. В результаті, вона поступово втрачає свою структуру і розсіюється.

За спрощеним механізмом (Рис.1.1), формування грозової хмари відбувається внаслідок піднімання вологих теплих повітряних мас, які містять водяну пару. Коли вони досягають рівня насичення, пара починає конденсуватися у краплі води або сублимуватися в льодяні кристали, утворюючи хмару. Чим сильніше нагрівається земна поверхня, тим активніше відбувається конвекція, що сприяє інтенсивному розвитку хмари. При подальшому підніманні крапель води вони охолоджуються, замерзають, стають важчими та починають опускатися, виштовхуючи тепле повітря з дрібними краплями вгору, до верхніх шарів хмари. Відповідно до теорії електризації хмар [1,4,5,41], ці конвективні та гравітаційні

процеси призводять до виникнення електричної поляризації частини або цілої хмари, що спричиняє електричний розряд (блискавку) або безпосередньо всередині хмари, або між хмарою і земною поверхнею.

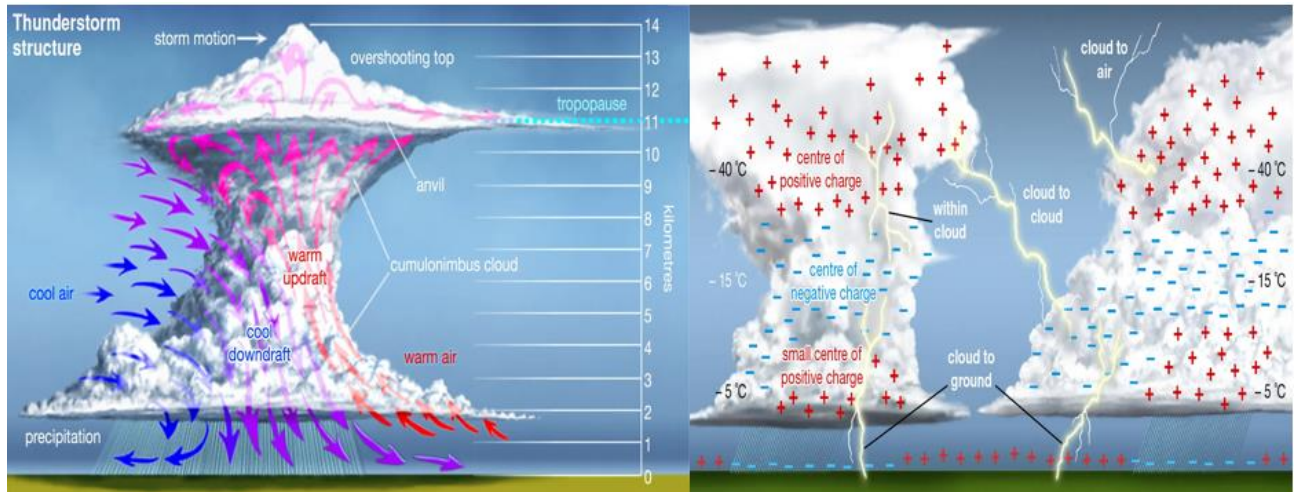


Рис.1.1. Схематичне представлення процесів формування купчасто-дощової хмари та її електризації [41]

У процесах електризації (Рис.1.1), які відбуваються у хмарі, завжди беруть участь іони (катиони, аніони). Ці іони, що утворюються в повітрі, можуть бути легкими або важкими. Ті іони, які виникають у воді (у рідкому чи твердому стані), можуть мати атомну чи молекулярну природу. Електризація у хмарі, за участі аероіонів відбувається внаслідок їх контакту з хмарними частинками. Крім того, заряди на краплях і льодяних частинок хмар або опадів можуть утворюватися внаслідок взаємодії між ними.

Одним із механізмів утворення заряду на хмарних краплях, є їх взаємодія з іонами. Ефективність цього процесу визначається такими факторами, як концентрація та рухливість іонів, властивості поверхневого шару рідини, розмір і швидкість падіння крапель, а також напруженість електричного поля.

Інший механізм заряджання хмарних частинок, пов'язаний із контактом та тертям льодяних кристалів. Під час зіткнення між ними, відбувається обмін електронами та іонами. Отже, вимірювання показують, що грозові хмари в різних

географічних регіонах, зазвичай накопичують надлишковий негативний заряд на висотах, де температура навколишнього повітря становить приблизно від  $-5$  до  $-15^{\circ}\text{C}$ , а позитивний зосереджується як на вищих, так і на нижчих рівнях. В результаті виникає просторове розділення зарядів, що створює сильне електричне поле, та може призвести до інтенсивної електричної активності. Одна з основних теорій подібної структури електризації хмари, полягає в тому, що якщо більші та важчі частинки хмари (наприклад, граупель (снігові гранули) — пористі утворення із замерзлих крапель води) отримують переважно негативний заряд, а дрібніші та легші частинки — позитивний, тоді, поділ зарядів відбувається завдяки тому, що важчі частинки падають швидше.

Ця механіка узгоджується з лабораторними дослідженнями, які демонструють електризацію при зіткненні граупелю з частинками льоду за присутності переохолоджених крапель води. Величина та полярність заряду граупеля, залежать від вмісту рідких крапель води у хмарі, розмірів льодяних частинок, швидкості зіткнення, і т. д. [1,2,3,4,5,25,28,35,36,41].

*Грози поділяються:*

- Внутрішньомасові грози: виникають переважно влітку та в денний або вечірній час, коли інтенсивне прогрівання земної поверхні спричиняє потужні висхідні потоки теплого вологого повітря.
- Фронтальні грози: найчастіше утворюються на холодних фронтах, хоча можуть з'являтися і на теплих фронтах, а також фронтах оклюзії. Їхня основна причина — насування холодних повітряних мас під теплі (у випадку холодного фронту) або висхідні потоки теплого повітря над клином холодного (на теплому фронті). Такі грози вирізняються тривалістю, інтенсивним розвитком і можуть поширюватися фронтом на значні відстані. Як правило, такі грози поділяються за структурою та інтенсивністю: однокоміркова, швидкоплинна, тривалістю не більше год, характеризуються чітко вираженими висхідними та низхідними потоками (можуть бути саме внутрішньомасовими грозами), «лінія шквалу» -

багатокоміркова структура, розташовується уздовж фронту, у вигляді лінії або дуги, супроводжуються дощами й зливами, ймовірно випадання граду; багатокоміркові кластерні грози – структура, яка складається з групи осередків, що переміщуються як єдине ціле, при цьому осередки знаходяться на різних рівнях грозового циклу. На початку розвитку багатокоміркової кластерної грози домінують окремі осередки. Нові осередки мають тенденцію формуватися уздовж краю грози спрямованого проти вітру, зрілі осередки розташовані в центрі, а розсіяні осередки виявляються уздовж підвітряного краю грози. Супроводжуються різними типовими атмосферними явищами, за грозової активності. За сприятливих умов навколишнього вітру, низхідні та висхідні потоки набувають організованості, тоді грозові осередки обертаються об'єднаною структурою і флангові потоки повітря підтримують основний обертовий потік, не протидіючи йому. Така структура гроз називається суперкомірковою або надбагатокомірковою. Зазвичай, це дуже потужні та довготривалі грози, які супроводжуються різними небезпечними атмосферними явищами (зливою, градом, смерчами, повенями, буревіями, торнадо, великою кількістю різноманітних блискавок тощо...) [8,10,20,36].

## 1.2. Компоненти грози

Добре відомо, що гроза супроводжується численною кількістю атмосферних явищ:

1. *Блискавка* – це гігантський електричний розряд в атмосфері між хмарами, повітрям або землею. На початкових етапах формування, повітря діє як ізолятор між позитивними та негативними зарядами в хмарі (найчастіше купчасто-дощовій), а також між хмарою та землею. Коли протилежні заряди накопичуються достатньо сильно, ізолювальна здатність повітря порушується, з'являється поле іонізації та відбувається швидкий розряд електрики, який ми

знаємо як блискавку. Спалах блискавки тимчасово вирівнює заряджені області в атмосфері, доки протилежні заряди не накопичаться знову.

Блискавка проявляється у трьох основних формах: видиме випромінювання (спалах), теплова енергія (нагріває молекули повітря та розширює його, створюючи звукові хвилі (грим)), радіохвильове випромінювання.

Блискавки бувають різних типів: лінійна, плоска, чоткоподібна, гамма, темна та інші...

Лінійна блискавка - це електричний розряд лінійного або ламаного типу від хмари униз, або від наземної споруди до хмари. Також може бути між окремими хмарами та всередині її. За характером розвитку, розрізняють два основні типи блискавок: низхідні, що ініціюються у нижній частині хмари та рухаються до землі, та рідше висхідні, які формуються від високих наземних об'єктів у напрямку хмари. Статистичні дані свідчать, що приблизно 90% всіх зареєстрованих розрядів, характеризуються перенесенням негативного заряду на земну поверхню, що зумовлено особливостями електричної структури конвективних хмар. Низхідна лінійна блискавка у своєму циклі проходить 3 стадії: *лідерна* (формується протягом мілісекунд, коли між хмарою та землею поступово утворюється провідний яскравий канал, струмом у сотні ампер і напругою в десятки мегавольт. Канал лідера, що містить електричний заряд до кількох кулонів, формується під впливом процесів у грозовій хмарі та не залежить від наявності висотних споруд на землі. З наближенням спадного лідера до поверхні, від висотних об'єктів можуть формуватися зустрічні лідери); *головна стадія* (виникає коли канал лідера досягає землі. Цей етап характеризується потужним перехідним процесом, з різким зростанням яскравості світіння каналу і потужним акустичним ефектом. Пікові значення струму, під час головного розряду, можуть досягати 100 кА); *фінальна стадія* (зазвичай, спостерігається серія послідовних імпульсів з меншою енергією. Ці фінальні розряди мають менші амплітуди струму (в середньому близько 12 кА) і коротший час наростання

(приблизно 0,6 мікросекунди). Такі повторні розряди є результатом повторного накопичення заряду в хмарі та проходять, по вже сформованому плазмовому каналу.

Плоска блискавка - тихий розряд у хмарах, коли в них немає достатніх зарядів для утворення лінійної блискавки. Цей вид блискавки не супроводжується гуркотом. Плоска блискавка має вигляд розсіяного спалаху світла на поверхні хмар [5,25,32,37,38,41].

Чоткоподібна блискавка - рідкісна форма електричного розряду при грозі, у вигляді ланцюжка зі світних точок. Час існування блискавки 1 – 2 с. Відомо, що траєкторія чоткоподібної блискавки нерідко має хвилеподібний характер.

Гамма-блискавка – потужні короткотривалі спалахи гамма-випромінювання в атмосфері Землі, на низьких і середніх висотах у грозових хмарах одразу ж після звичайної лінійної блискавки. Гамма-блискавки були зареєстровані тривалістю від 0,2 до 3,5 мілісекунд, генеруються в зонах з потужними електричними полями, які діють як природні прискорювачі частинок під впливом космічних променів.

Темна блискавка - це спалах гамма-променів, що утворюються під час грози, внаслідок зіткнення надзвичайно швидких електронів з молекулами повітря. Дослідники називають такий спалах земним гамма-спалахом. Він є найенергійнішим випромінюванням, яке природним чином утворюється на Землі, але до кінця невідомо як часто вони виникають. Дослідження показують, що ця блискавка передує лінійній яскравій блискавці [42].

2. *Грім* - коли формується плазмовий канал блискавки, його температура сягає щонайменше 30 000 °С, а тиск перевищує 1000 кілопаскалів. Тиск у каналі значно перевищує навколишній, тому канал зворотного розряду розширюється з надзвуковою швидкістю. Утворена ударна хвиля швидко слабшає з відстанню і, уповільнившись до швидкості звуку, сприймається як грім. Після спалаху блискавки можна дізнатись відстань до епіцентру грози, порахувавши час від спалаху до грому, оскільки кожні 3 секунди відповідають 1 кілометру.

Повний акустичний сигнал грому, формується вздовж усього каналу блискавки та враховує його розгалуження, викривлення, особливості поширення звуку в атмосфері та акустичне ехо від місцевих форм рельєфу. В результаті, грім сприймається як серія звуків, які описують як різкі "удари", "тріщання", "перекочування" або "гуркіт" [37,41].

3. *Град* - це форма атмосферних опадів у вигляді твердих льодяних утворень всередині грозових хмар, які формуються через дію інтенсивних висхідних потоків повітря. Коли вони досягають такої значної ваги, що сила тяжіння перебільшує силу конвекції, ці льодяні утворення рухаються до низу хмари, тануть, і якщо не встигли розтанути, випадають із хмари ще у твердому стані. Розміри залежать від вертикального розвитку конвективної хмари [38,40].

4. *Повінь* - це розлив води на певній території через інтенсивні опади, які перевищують здатність ґрунту поглинати вологу. В основному виникають раптово і завдають руйнувань, затоплення будівель та навколишнього середовища. Також повені можуть виникати й через шторм на морі або океані, через дію сукупності атмосферних явищ, такі як сильні вітер, злива, смерчі, водяні смерчі, і т. д. [38].

5. *Сильний вітер, смерч, торнадо* - можуть виникати внаслідок різних процесів. Найчастіше небезпечні вітри біля поверхні землі є результатом низхідних потоків, що утворюються під час грози. Якщо під час грози висхідні та низхідні рухи повітря супроводжуються контрастами температур, то може з'явитися конденсаційна лійка з обертальним рухом у напрямку до земної поверхні (такий вихор називається торнадо). Виділяють 3 типи інтенсивності торнадо: слабе торнадо (у державах колишнього СРСР заведено називати «смерч», як правило це тоненький вихор, часто він навіть не доходить до земної поверхні, якщо формується над водною поверхнею, то може стати водним вихором), торнадо середньої інтенсивності (це вихор, який напевно досягає земної поверхні, із більш широкою горловиною, більш тривалий і руйнівний, ніж слабе торнадо), сильне або дуже сильне торнадо, «Мезоциклон» (це широкий вихор, з дуже сильним обертальним рухом, часто супроводжується зливою,

градом, блискавками, може призвести до повені, як правило формується в суперкомірках, може бути дуже тривалим і руйнівним) [34,38,41].

## 2. КОРОТКИЙ ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ТА МЕТОДОЛОГІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ГРОЗОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

### 2.1. Короткий історичний та літературний огляд грозової діяльності

Грозові явища ще у давнину викликали у людей суміш страху, благоговіння та зацікавленості. Тоді грози асоціювалися з божествами та надприродними силами.

У давній Греції вважали, що гроза - це гнів, а блискавка - це зброя Зевса. У скандинавській міфології блискавки асоціювалися з молотом бога Тора (Мйольніром), у давньому Римі сприймали блискавки як символ влади бога Юпітера. Слов'яни вважали блискавки та грім діяльністю та гнівом Перуна.

У XVIII ст. Бенджамін Франклін здійснив свій відомий експеримент з повітряним змієм під час грози, доводячи електричну природу блискавки. Цей дослід став революційним для розуміння електричних явищ у природі. Згодом цей експеримент поклав початок винайденню громовідводу, а потім і загальної теорії електричних явищ і використанню нової на той час термінології (позитивний і негативний заряд) [43,44].

У XIX ст. вивчення грозового явища та його діяльності набули систематичності з використанням різних фізичних та метеорологічних вимірювальних приладів. Так Ганс Крістіан Ерстед відкрив зв'язок між електрикою та магнетизмом, відкриваючи розуміння електромагнітної природи блискавки. Майкл Фарадей вивчав електричні розряди, що допомогло зрозуміти різні неточності стосовно блискавки та грози в цілому. Також, завдяки дослідженням Джеймса Максвелла, що розробив теорію електричного поля, розширилося теоретичне підґрунтя поняття блискавки.

У ХХ ст. почали робити фотографічні зображення блискавки, створилися метеорологічні обсерваторії з можливостями перманентного спостереження, вивчалася та досліджувалося явище іонізації і т. д. ...

Також докладніше з природою, класифікацією, фізичним механізмом та поширенням гроз в Україні можна ознайомитися у такій праці: «Клімат України» за ред. Ліпінського В.М, Дячука В.А., Бабіченко В.М. [4], та в таких працях як: навчальний посібник «Фізичні основи впливу на атмосферні процеси» Данової Т. Є. [1], підручник «Фізика атмосфери» Школьного Є. П. [2] та енциклопедії, іноземного походження, Britannica «thunderstorm meteorology» E. P. Krider [41], де добре детально описано класифікацію і фізичний зміст утворення гроз та блискавки.

Грозова діяльність та блискавка, їх прогноз, спостереження та дослідження проводилися у таких роботах:

1. «Просторово-часові особливості розподілу гроз на території України та їх прогнозування: сучасний стан питання та перспективи розвитку» Гуди К. В. та Остроградської О. С. [8], де розглядаються особливості формування гроз, їх географічна та сезонна динаміка, сучасні методи прогнозу цих явищ. Також автор акцентує увагу на удосконалені та запроваджені та розвитку нових методів моделювання прогнозу гроз.
2. «Грозова діяльність на території України» Заболоцької Т. М., Підгурської В. М., Шпиталю Т. М. [9], «Зміни грозової активності на території України в ХХ та на початку ХХІ сторіччя» Мацук Ю. М. [11], «Аналіз сучасних тенденцій просторово-часової мінливості повторюваності грозових днів в Україні» Холопцев О. В., Мацук Ю. М. [12], «Аналіз впливу грозових перенапруг на повітряні лінії електричних мереж України» Кирисов І. Г. [15], «Thunderstorm structure and circulation» Byers, H. R., Braham, R. R. [20], «Evaluation of thunderstorm indices from ECMWF analyses, lightning data and severe storm reports» Kaltenbock, R., Diendorfer, G., Dotzek, N. [22], «A review of thunderstorm

electrification processes» Saunders, C. P. R. A [28]. У цих дослідженнях аналізується динаміка тривалості гроз і кількості днів з грозами та в деяких роботах, впливу блискавок протягом тривалого періоду в основному по всій території країни.

3. «Анемобаричні умови грозової діяльності в північній частині Сумської області» Корнус А. О. [10], «Аналіз повторюваностей грозової діяльності у селищі Високий Харківської області» Шуліка Б. А [13], «Дослідження грозової діяльності на Волині та в Україні за даними онлайн – ресурсу blitzortung» Федонюка В. В., Федонюка М. А., Павлуся А. М. [16], «Аналіз просторово-часового розподілу опадів на території Житомирської області» Музика Л. В., Недострелова Л. В. [17]., «Research on Thunderstorm Forecasting in Fuxin, China Based on Physical Diagnostic Parameters» Hu, X., Jiang, F., Xu, W. et al. [21]. У цих роботах проводяться більш локальні дослідження динаміки тривалості гроз і кількості днів з грозами та впливу блискавок протягом тривалого періоду певного регіону, або міста чи станції, а також, аналіз та методології прогнозування грозової діяльності. Зокрема у роботі : «Observation and forecasting of thunderstorms in the modern practice of advisory of Kyiv International Airport (Zhuliany)» Симонєць Т. С., Затули В. І. [30], ведеться дослідження грозової діяльності на території аеропорту Жуляни, проводиться аналіз походження гроз, причини їх утворення, використовуючи декілька методів прогнозу і порівнюється їх ефективність...

4. Тощо...

## 2.2. Методи прогнозування гроз у світі і в Україні

Добре відомо, що гроза це небезпечне явище, що призводить до значних руйнувань та пошкоджень, ускладнює рух транспорту, а також може призводити до постраждалих та жертв. Тому необхідно передбачувати ці явища та їх інтенсивність завчасно. Існує три основних методів прогнозування гроз та

конвекції: графічно – аналітичний, чисельно – аналітичний і візуально – аналітичний

Графічно аналітичний метод прогнозування грозової діяльності полягає у формуванні аерологічних діаграм (Рис.2.1), з побудовою на них кривої стратифікації атмосфери та кривої стану, за даними аерологічного зондування. За площею між цими кривими визначають степінь нестійкості атмосфери, а отже можливості конвекції. Для спостереження можуть бути використані зонди, літаки, метеорологічні дрони в перспективі і т. д... Такий метод підходить найбільше для прогнозування внутрішньомасових гроз на короткий строк, причому чим коротший термін прогнозу, тим якіснішим він є [1,3,8,30].

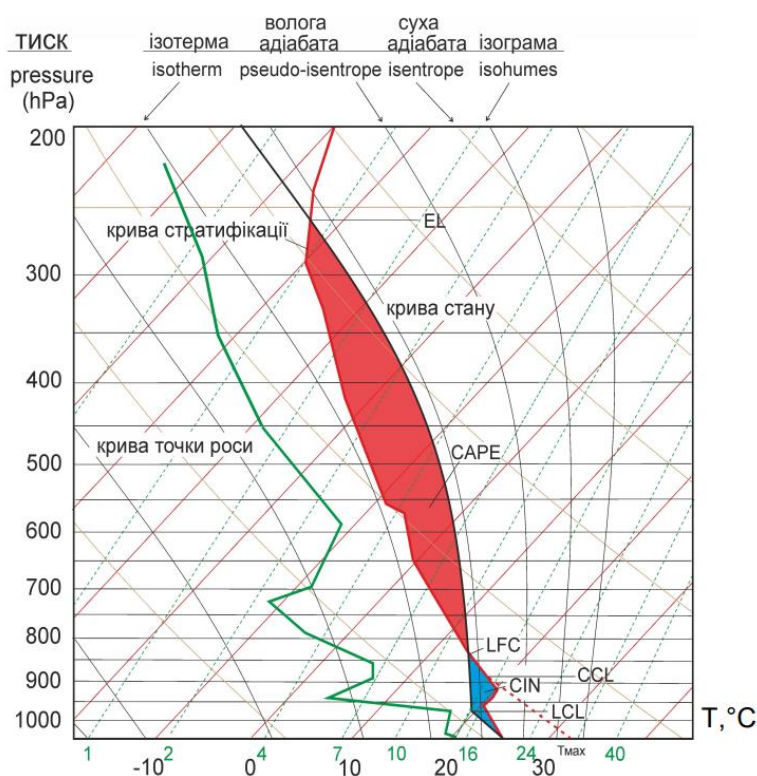


Рис.2.1. Приклад аерологічної діаграми [3]

Чисельно – аналітичний: полягає у використанні різних аерологічних даних для розрахунку різних сценаріїв розвитку конвективної діяльності в атмосфері, для цього використовується низка індексів нестійкості. Залежно від характеристик, за якими проводиться обчислення вони поділяються на 4 основних типи: температурно – вологісні, за параметрами вітру на різних

висотах, за методом частки повітря і комплексні. Оцінка нестійкості або стійкості атмосфери, ступеня ймовірності виникнення конвекції і конвективних явищ за результатами обчислень індексів, проводиться за допомогою унікальних критеріїв кожного з них [3,8,33,39,47].

Температурно – вологісні індекси нестійкості атмосфери обчислюються за даними температури повітря на різних висотах і різних параметрів вологості. До основних індексів належать:

1. *CT* (Cross Totals) – різниця температури точки роси на рівні 850 гПа і температури повітря на рівні 500 гПа. Усуває недолік індексу *VT*, який не враховує вологість. Для обчислень використовується така формула:

$$CT = Td_{850} - T_{500}$$

де  $Td_{850}$  – температура точки роси на ізобаричному рівні 850 гПа;  $T_{500}$  – температура повітря на ізобаричному рівні 500 гПа.

Чим більше значення *CT*, тим більша ймовірність виникнення конвекції. Приблизна градація ймовірності грозової діяльності 18 – 25. Сильні зливи та торнадо вважаються ймовірними при значеннях *CT* понад 29. [3,21,29,31,39,47]

2. *VT* (Vertical Totals) – різниця температури повітря на рівні 850 гПа і температури повітря на рівні 500 гПа. Для обчислень використовується така формула:

$$VT = T_{850} - T_{500}$$

де  $T_{850}$  – температура повітря на ізобаричному рівні 850 гПа;  $T_{500}$  – температура повітря на ізобаричній рівні 500 гПа.

Чим більше значення *VT*, тим більша ймовірність виникнення конвекції. Зазвичай вважається, що порогове значення 28 найкраще виділяє погодні умови, сприятливі для гроз (26 відповідає приблизно вертикальному градієнту температури 0.65°C/100м) [3,21,29,31,39,47].

3. ТТ (Total Totals) – сума  $CT$  і  $VT$ . Зростає при збільшенні вологості в нижніх шарах атмосфери та посиленні вертикальних градієнтів температури. Для обчислень використовується така формула:

$$TT = VT + CT$$

Чим більше значення ТТ, тим більша ймовірність виникнення конвекції. Приблизна градація ймовірності грозової діяльності лежить у межах 45 - 60 [3,21,29,31,39,47].

4. К index (індекс Джорджа) - подібно до індексу  $VT$ , він базується на вертикальному градієнті температури між рівнями 850 гПа та 500 гПа. Для обчислень використовується така формула:

$$K = T_{850} - T_{500} + Td_{850} - T_{700} + Td_{700}$$

Зазвичай застосовуються такі порогові значення:

0 – 25 – 0 - 40% ймовірності виникнення грози;

25 – 30 – 40 – 60% ймовірності виникнення грози;

31 – 35 – 60 – 80% ймовірності виникнення грози;

> 35 – 80 -100% ймовірності виникнення грози [19,21,29,31,39,45,47].

В Україні використовується схожий індекс нестійкості атмосфери: К Вайтинга. Для обчислень використовується така формула:

$$K = 2T_{850} - T_{500} + D_{850} - D_{700}$$

де  $D_{850}$ ,  $D_{700}$  – дефіцит дефіцит точки роси на рівнях 850 та 700 гПа. Порогові значення схожі з індексом Джорджа [3,33].

5. Modified Jefferson Index (JEFF index) - індекс нестійкості атмосфери за псевдо-потенціальною температурою. Для обчислень використовується така формула:

$$JEFF = \theta w_{850} - Td_{850} - 0,5(T_{700} - Td_{700}) - 8$$

де  $\theta w_{850}$  – псевдо-потенціальна температура змоченого термометра на рівні 850 гПа.

Цей індекс особливо ефективний для прогнозування локальних грозових явищ у стабільних повітряних масах, тобто більше підходить для прогнозу внутрішньомасових гроз. Зазвичай порогове значення становить 29 [39].

В Україні також використовуються наступні температурно – вологісні індекси нестійкості атмосфери:

1. Індекс Фатєєва – вологісний індекс. Для обчислень використовується така формула:

$$\Phi I = T_{850} - T_{500} - (D_{850} + D_{700} + D_{600} + D_{500})$$

Якщо  $\Phi I > 0$ , то ймовірна грозова діяльність [33].

2. Індекс Фауста – температурно-вологісний критерій нестійкості за різницею віртуальної температури на рівні 850 гПа та температури повітря на рівні 500 гПа. Для обчислень використовується така формула:

$$dT = Tv - T_{500}$$

де  $Tv$  – віртуальна температура, яка знаходиться графічно, як графік залежності температури повітря на рівні 850 гПа та середнього дефіциту температури точки роси на рівнях 850, 700, 500 гПа; Якщо  $Tv > 0$ , то ймовірна грозова діяльність. Для більш точного аналізу до значення  $dT$  іноді вводять і додають поправку на кривизну ізобар  $\Delta T_R$ . [33]

За методом частинки повітря прогнозування гроз відбувається за наступними індексами:

1. LI (Lifted Index) - розраховується за різницею температури навколишнього середовища та температури частинки повітря, виражається формулою. Для обчислень використовується така формула:

$$LI = T_{500} - T'_{500}$$

де  $T'_{500}$  – температура частинки повітря, що адіабатично підіймається на рівні 500 гПа. Якщо LI додатній то атмосфера стійка, якщо від’ємний – атмосфера нестійка. Грози ймовірні за порогових значень - 2 та менше [3,21,29,31,39,47].

2. SwI (Showalter Index) – аналогічний до індексу LI, але розраховується для повітряної частки, піднятої з рівня 850 гПа (а не з поверхні). Від’ємні значення вказують на можливу конвективну діяльність та утворення гроз, порогове значення 3. [19,22,29,39,45,47]

3. CAPE (Convective Available Potential Energy) - потенційна енергія конвективної нестійкості, яка пов’язана з швидкістю висхідних потоків повітря. Для обчислень використовується така формула:

$$CAPV(CAPE) = \int_{Z_0}^{Z_1} g \left( \frac{Tv' - Tv_{\pi}}{Tv_{\pi}} \right) dz$$

де  $Z_0, Z_1$  – рівень вільної конвекції та рівень нульової плавучості;  $Tv'$ ,  $Tv_{\pi}$  – віртуальна температура частинки повітря та навколишнього середовища відповідно (якщо для CAPE без віртуальної частки, то береться температура частки повітря і температура навколишнього повітря);  $g$  – прискорення вільного падіння на Землі. Порогові значення 1000 – 2500 Дж/кг, невелика нестійкість може спостерігатись і при значеннях більше 400. Чим більший показник CAPE тим більший розвиток конвекції [3,19,21,22,27,29,31,39,47].

4. Індекс Сіміля - передбачає, обчислення індексу  $\Delta T_c$  за даними зондування, з періодом 3 год та параметр  $\Delta R$ . Для обчислень використовуються формули:

$$\Delta T_c = \frac{T'_{500} - T_{500}}{T'_{500} - T^*_{500}}$$

Та:

$$\Delta R = \frac{R_{\text{сер}} - 60}{5}$$

де  $T'_{500}$  – це температура, яку набуло би повітря, якщо його підняти вологоадіабатично від рівня конденсації (за умови, що рівень конденсації на рівні 850 гПа) до рівня 500 гПа;  $T^*_{500}$  – це температура, яку набуло би повітря, якщо його підняти сухоадіабатично від рівня 850 гПа до рівня 500 гПа. Гроза діяльність ймовірна за умови  $\Delta T_c > 0$  та  $\Delta R > 0$  [33].

Використовуються такі типи індексів нестійкості атмосфери за параметрами вітру:

1. LOSHR (Low-Level Shear Index) – індекс зсуву вітру нижнього рівня тропосфери (1 км). Для обчислень використовується наступна формула:

$$LOSHR = V_{1km} - V_0$$

де  $V_{1km}$  – швидкість вітру на висоті 1 км;  $V_0$  – швидкість вітру на поверхні землі. Якщо  $LOSHR \geq 10$  м/с, то ймовірні смерчі, торнадо та грози [3,22,27,39].

2. DLS (Deep Layer Shear) - індекс глибокого зсуву вітру середнього рівня тропосфери (6 км). Для обчислень використовується така формула:

$$DLS = V_{6km} - V_0$$

де  $V_{6km}$  – швидкість вітру на висоті 6 км;  $V_0$  – швидкість вітру на поверхні землі. Порогові значення утворення гроз 15 -20, якщо значення перевищує 50, то ймовірне утворення мезоциклону та торнадо [3,22,27,39].

До комплексних індексів нестійкості атмосфери належать комбіновані індекси, наприклад індекс за параметрами вітру і температуро – вологісний, або за методом частки за параметрами вітру:

1. Severe Weather Threat Index SWEAT (Severe Weather Threat Index) – комплексний індекс конвективної нестійкості, що включає в себе індекс нестійкості повітряної маси, швидкість та зсув вітру. Для обчислень використовується така формула:

$$SWEAT = 12 Td_{850} + 20(TT - 49) + 3,888 V_{850} + 1,944 V_{500} + (125[\sin(dd_{500} - dd_{850}) + 0,2])$$

де  $12 Td_{850}$  – вологісний критерій,  $Td_{850}$  – температура точки роси на рівні 850 гПа;  $20(TT - 49)$  – критерій нестійкості,  $TT$  – Total Totals індекс, якщо  $TT \leq 49$  то  $20(TT - 49) = 0$ ;  $3,888 V_{850} + 1,944 V_{500}$  – критерій зсуву вітру,  $V_{850}$  – швидкість вітру на висоті 850 гПа,  $V_{500}$  – швидкість вітру на висоті 500 гПа;  $(125[\sin(dd_{500} - dd_{850}) + 0,2])$  – критерій на поворот,  $dd_{500}$  – напрям вітру на рівні 500 гПа,  $dd_{850}$  – напрям вітру на рівні 850 гПа, якщо швидкість вітру  $\leq 7 \frac{M}{c}$  то вираз  $(125[\sin(dd_{500} - dd_{850}) + 0,2]) = 0$ , якщо  $dd_{500} - dd_{850} < 0$  то цей вираз теж дорівнює 0. Порогове значення, при якому ймовірне утворення конвективних явищ лежить у межах 250 – 350 [3,39,47].

2.  $Ti$  (Thomson Index) – комплексний індекс, що пов’язує  $K$  – індекс та  $Li$ . Для обчислень використовується така формула:

$$Ti = K - T_{500} - T'_{500}$$

Порогове значення, при якому ймовірне утворення конвективних явищ лежить у межах 25 – 34 [39].

Візуально – аналітичний прогноз грозової діяльності полягає у аналізі картографічних матеріалів та ресурсів із супутниковою інформацією та даними датчиків грозопеленгації.

Існує чимало погодних онлайн сервісів за якими можна дізнатися поточну погоду, значення основних метеорологічних елементів майже у будь якій точці у світі за даними супутникового спостереження. Наприклад розглянемо онлайн сервіс супутникового зображення EUMETSAT (Рис.2.2). Червоним виділені конвективні комірки, видно багатокоміркову лінійну та кластерну структуру яка поширюється Європою. Супутниковий знімок може оновлюватися приблизно кожні 15 хв. Отже за певний час уже спостерігається певна динаміка поширення повітряних мас, структури комірок (вони розсіюються чи навпаки збільшують

вертикальний розвиток, для цього використовують різні шари, які за необхідності можна накладати і тоді дізнатися про структуру хмари, про температуру повітря на верхній її межі, про швидкість вітру, вологість і таке інше...). Далі можна зібрати усі ці дані за певний час, та за різними чисельними моделями спрогнозувати подальші події повітряної маси. Або, якщо вимагається прогноз на дуже короткий строк, тоді просто візуально побачити, що повітряна маса насувається, це означає що у найближчий час можлива гроза або дощ, або навпаки обходить чи розсіюється у динаміці супутникових знімків, тоді грози можна не очікувати і т. д. [3,8,45].

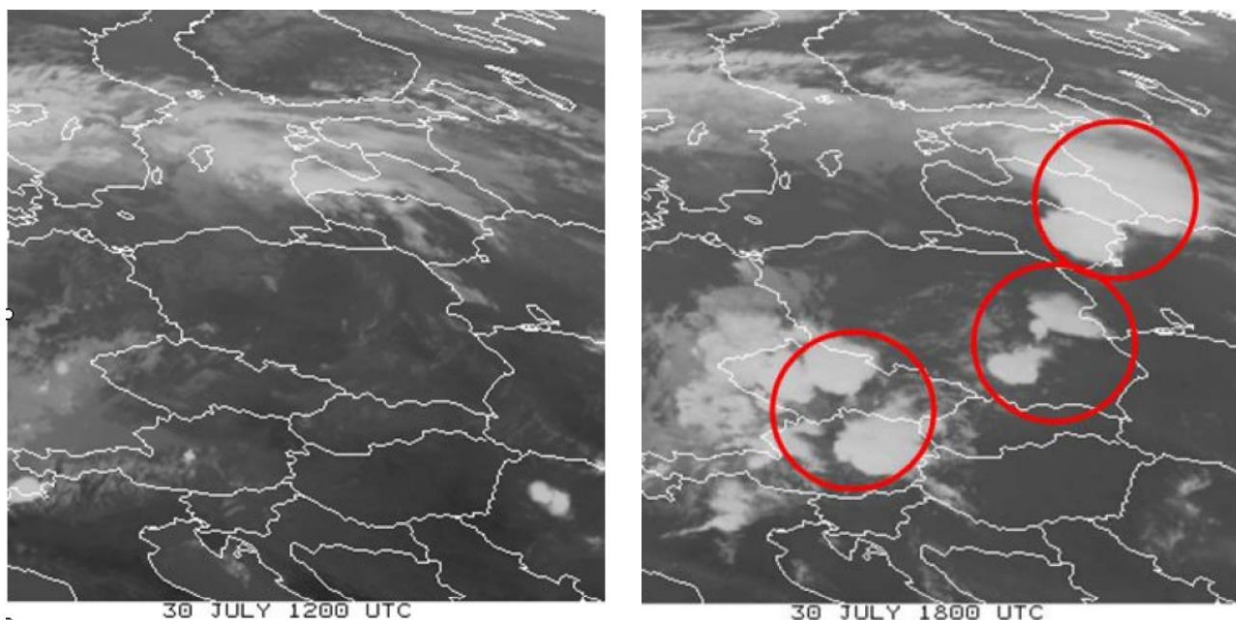


Рис.2.2. Приклад супутникового зображення конвективної активності [45]

Також важливим застосунком для потенційного виявлення грозової діяльності є електронна база даних з датчиків грозопеленгації. Ці датчики фіксують кожний спалах блискавки у межах своєї дії. Це дозволяє виявляти грозові осередки, навіть якщо вони дуже малі, щоб їх зафіксувати із супутникового зображення. Одним з подібних онлайн сервісів є blizortung (Рис. 2.3). У цьому сервісі також окрім виявлення блискавок, фіксується кількість спалахів блискавок за певний час, що дозволяє дізнатися динаміку та поширення інтенсивності гроз за цей час [16,26,46].

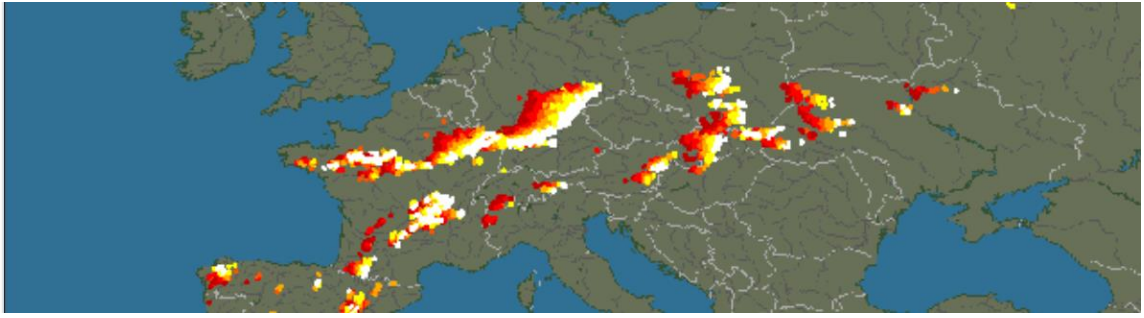


Рис.2.3. Зображення Європи з онлайн сервісу blitzortung за 03.05.2025, о 18:45 [46]

### 2.3. Кореляційна матриця та статистичні параметри оцінки якості прогнозу як інструмент дослідження

Між повною залежністю та абсолютною незалежністю величин існує широкий спектр проміжних зв'язків, які називають кореляційними.

Основне завдання теорії кореляції – визначити тип зв'язку між величинами: сильний, слабкий або відсутній. Для розмірності використовується коефіцієнт кореляції ( $r$ ).

Градації зв'язку між залежною складовою (залежна змінна) і чинниками (незалежні змінні) які впливають на цю складову за коефіцієнтом кореляції:

$0 - (\mp 0,30)$  – слабка кореляція;

$\mp 0,30 - (\mp 0,60)$  – помірна кореляція

$\mp 0,60 - (\mp 0,90)$  – сильна кореляція

$\mp 90 - (\mp 1)$  – дуже сильна кореляція (функціональний зв'язок)

При додатній кореляції збільшення або зменшення значення одного чинника чи залежної складової призведе до збільшення або зменшення іншого

(пряма кореляція). При від'ємних значеннях збільшення або зменшення одного чинника чи залежної складової призведе до зменшення або збільшення іншого відповідно (обернена кореляція).

Матриця кореляції – це таблиця, наприклад (Рис.2.4), яка показує зв'язки між двома або більше чинниками (незалежними змінними) та залежної складової (залежна змінна). Кожне значення ( $r$ ) матриці відображає силу зв'язку та напрямок лінійного зв'язку між відповідними параметрами

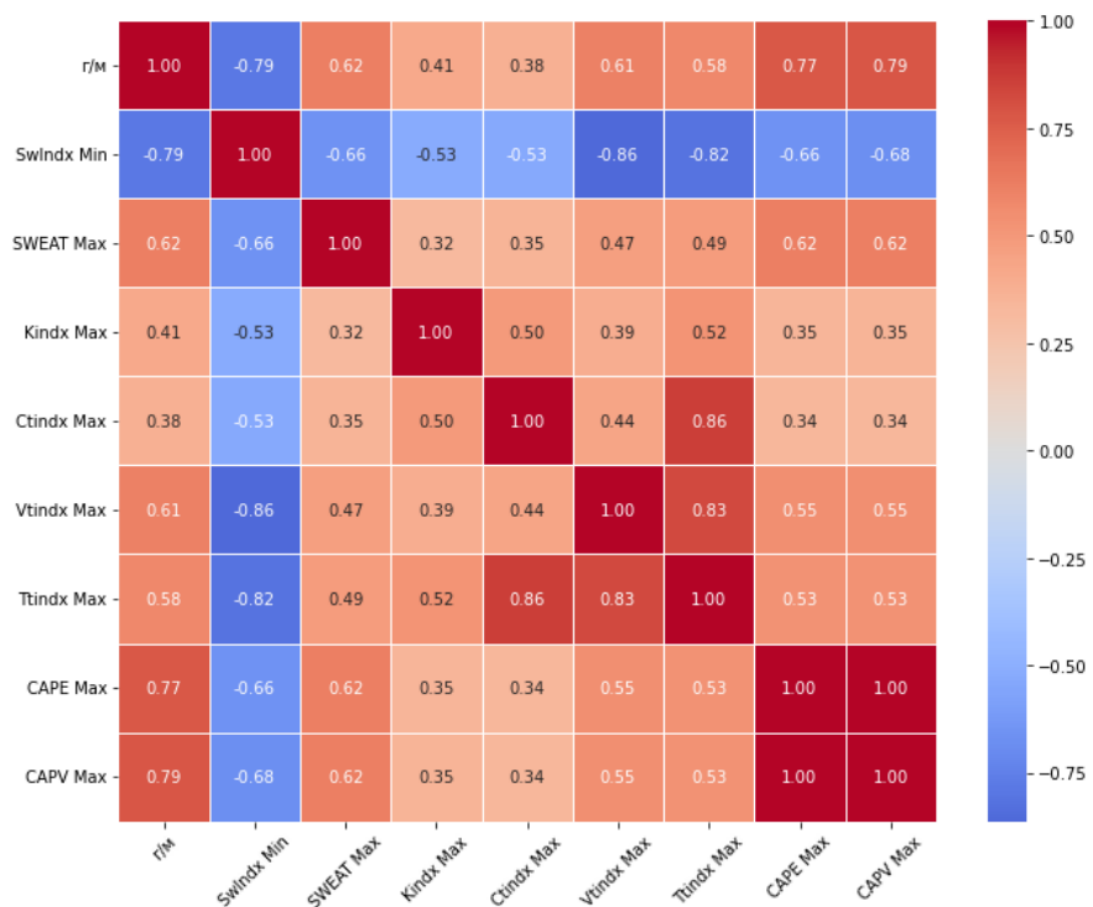


Рис.2.4. Матриця кореляції індексів нестійкості атмосфери та числа днів з грозою для м. Львів за період 2016 -2020 рр.

Для побудови матриці кореляції на рис. 2.4 та у роботі, використовувалась мова програмування Python, у середовищі Spyder (Рис. 2.5):

```

import pandas as pd

import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns

data = pd.read_csv("C:/Users/sashk/OneDrive/Робочий стон/МАГА/Скритум/script_spyder/Розрахунки_CSV/Розрахунки_Льво02.csv",
                  sep=',', decimal=',', quotechar='"', encoding='utf-8')

print(data)
data = data.dropna()

numeric_data = data.select_dtypes(include=['float64', 'int64'])

corr_matrix = data.corr() # Автоматично для числових стовців
print(corr_matrix)

import matplotlib.pyplot as plt

plt.figure(figsize=(10, 8))
plt.matshow(corr_matrix, cmap='coolwarm', fignum=1)
plt.xticks(range(len(corr_matrix.columns)), corr_matrix.columns, rotation=90)
plt.yticks(range(len(corr_matrix.columns)), corr_matrix.columns)
plt.colorbar()
plt.title('Кореляційна матриця')
plt.show()

import seaborn as sns

plt.figure(figsize=(10, 8))
sns.heatmap(
    corr_matrix,
    annot=True, # Показувати значення в комірках
    cmap='coolwarm', # кольорова схема
    center=0, # центр шкали (0 для кореляції)
    fmt=".2f", # Формат чисел (2 знака після коми)
    linewidths=0.5 # Границя між комірками
)
plt.xticks(rotation=45) # Нахил підписів осі X
plt.tight_layout() # Автопідгонка
plt.show()

print("Матриця кореляції Львів(2016 - 2020)")
print(corr_matrix.to_string(float_format="%.5f"))

```

Рис.2.5. Приклад коду, який використовувався для побудови матриці кореляції у 3 розділі

### 3. ДИНАМІКА ТА ПРОНОЗУВАННЯ ГРОЗОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В УКРАЇНІ

#### 3.1. Аналіз грозової діяльності в Україні за період 1981 – 2020 рр.

У якості даних було використано щомісячники архіву Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського, а саме числа днів з грозою та числа годин тривалості гроз за місяць [6]. Дані узято за період 1981 – 2020 рр. з наступних 10 метеорологічних станцій: «Луцьк», «Львів», «Чернівці», «Шепетівка», «Бориспіль(Київ)», «Одеса», «Кривий Ріг», «Запоріжжя», «Полтава», «Харків». Дослідження проводилося аналітичним методом, візуалізовано діаграмами та таблицями, які були побудовані за допомогою програм пакету операційної системи Windows та пакетів прикладних програм Microsoft Office: Microsoft Excel; Microsoft Word.

Для кращого представлення даних для діаграм було розраховано річні величини числа днів з грозою та тривалості гроз. Отже кожна точка(маркер) на діаграмі по основній вертикальній осі числа днів з грозою дорівнює  $\sum_1^{12} i_m$  а тривалості гроз на додатковій вертикальній осі  $\sum_1^{12} j_m$ , де  $i_m$  – місячне число днів з грозою а  $j_m$  – місячне число годин тривалості гроз.

#### Луцьк:

На рис. 3.1 зображено:

- Число днів з грозою: загальна тенденція дещо зростаюча, з 1981 по 2005 рр. спостерігалася різка динаміка, але без стрімкого росту із значеннями які коливалися в діапазоні 22 - 40 днів. Починаючи з 2005 року почалося зростання приблизно експоненційного характеру із коливанням значень у діапазоні 21 – 41 днів . Особливо експоненційний характер динаміки значень спостерігався з 2012 із значенням 25 днів до 2020 із значенням 41 день . Мінімальне значення було у 2005 році (21 день), максимальне у 2009 -2010 рр. (41 день).

- Тривалість гроз: загальна тенденція зростаюча, динаміка мала різкий характер, але рівномірно підвищувалася починаючи з 1982 року до 2020 із значеннями 26 - 67 год. Мінімальне значення спостерігалось у 1982 році (26 год),максимальне значення у 2007 році (89 год) .Також з локального максимуму можна виділити 2015 рік, із значенням 88 год.

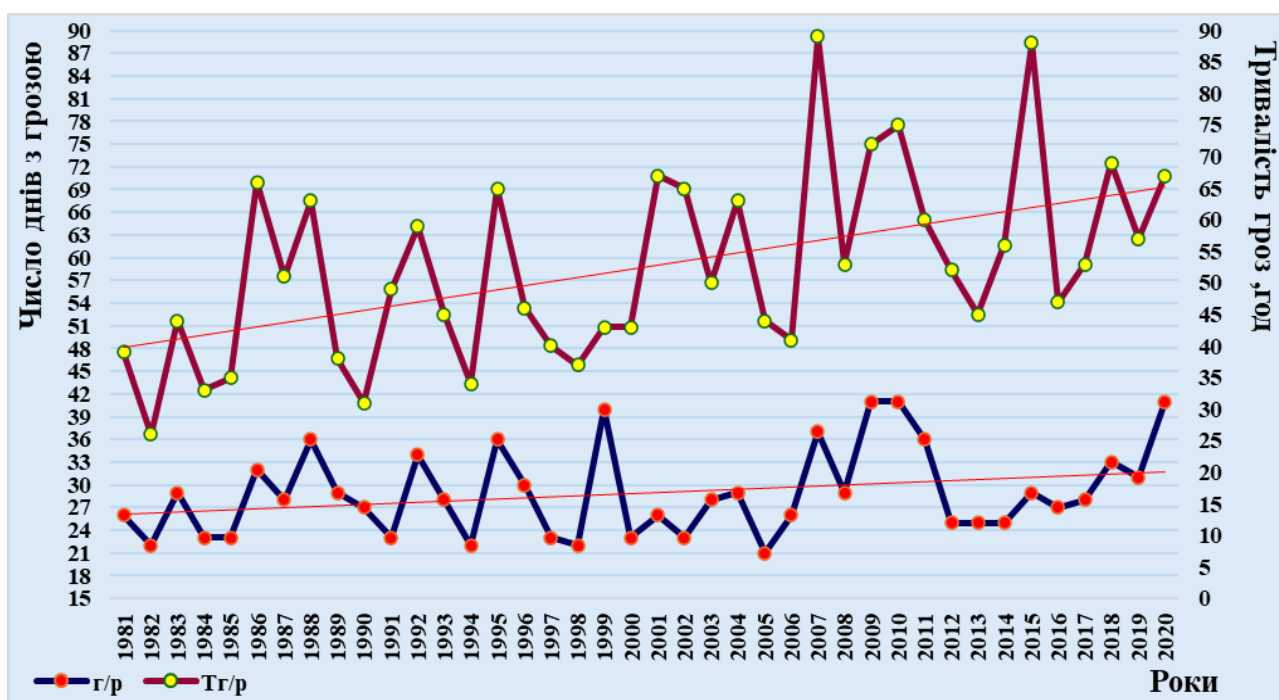


Рис.3.1. Динаміка числа днів та тривалості гроз на метеорологічній станції Луцьк за період 1981 -2020 рр.

### Львів:

На рис. 3.2 зображено:

- Число днів з грозою: загальна тенденція зростаюча, але не рівномірно, з 1981 – 1995 рр. спостерігалось зниження значень числа днів з грозою приблизно з 39 до 18 днів, надалі мало місце зростання значень з 18 до 49 днів. Максимальне значення припало на 2018 рік (49 днів), мінімальне значення припало на 1995 рік (18 днів).
- Тривалість гроз: загальна тенденція зростаюча і динаміка значень майже відзеркалює динаміку числа днів з грозою, так само спостерігалось

зниження тривалості гроз у період 1981 – 1995 рр. із значеннями 61 – 30 год. Мінімальне значення припало на 1995 рік (30 год),максимальне значення на 2009 рік (107 год) .

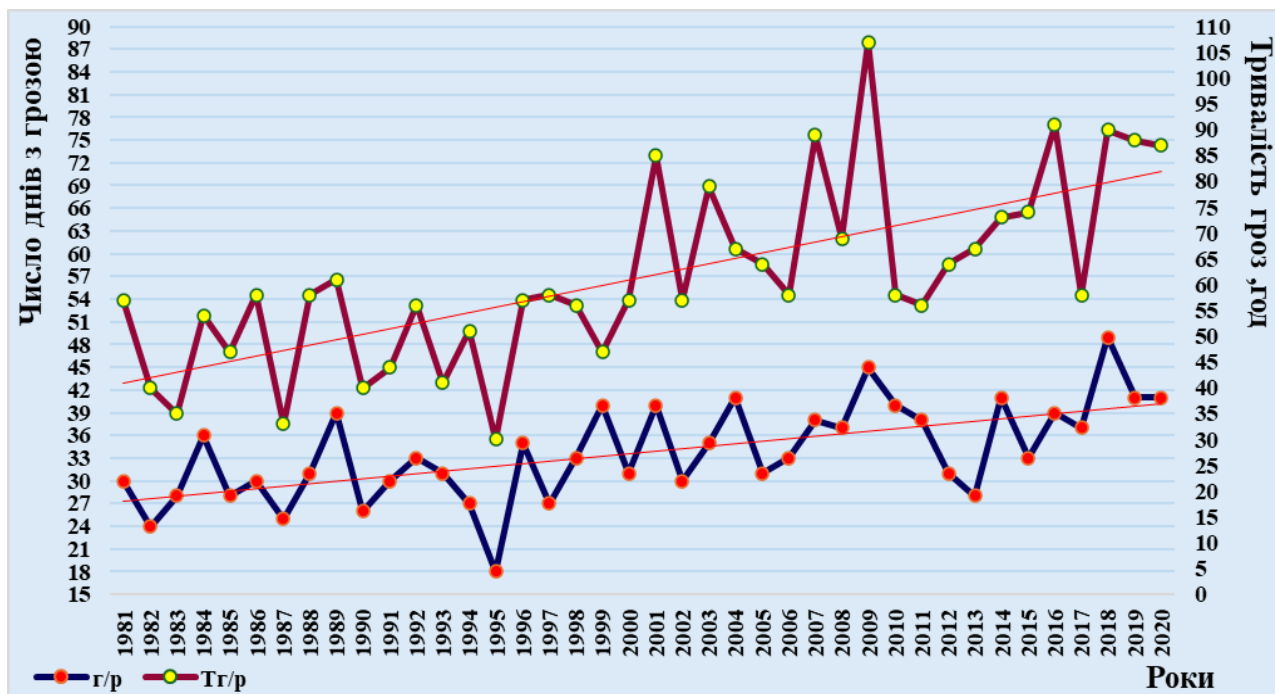


Рис.3.2. Динаміка числа днів та тривалості гроз на метеорологічній станції Львів за період 1981 -2020 рр.

### Шепетівка:

На рис. 3.3 зображено:

- Число днів з грозою: загальна тенденція дещо зростаюча, нерівномірна, зниження значень числа днів з грозою відбувалося у період 1983 – 1991 рр. із значеннями 35 – 13 днів. Далі почалося зростання числа днів до 2010 року із значенням 52 дні. Мінімальне значення спостерігалось у 1991 році (13 днів),максимальне у 2010 році (52 дні) .
- Тривалість гроз: Загальне тенденція стрімко зростаюча, але у період 1989 – 2001 рр. спостерігалися великі від’ємні коливання у значеннях 19;34 – 75;94 год, і також коливання у період 2009 – 2020 рр. у значеннях

57; 58 – 128;129 год. Мінімальне значення спостерігалось у 1991 році (19 год),максимальне у 2010 році (129 год) .

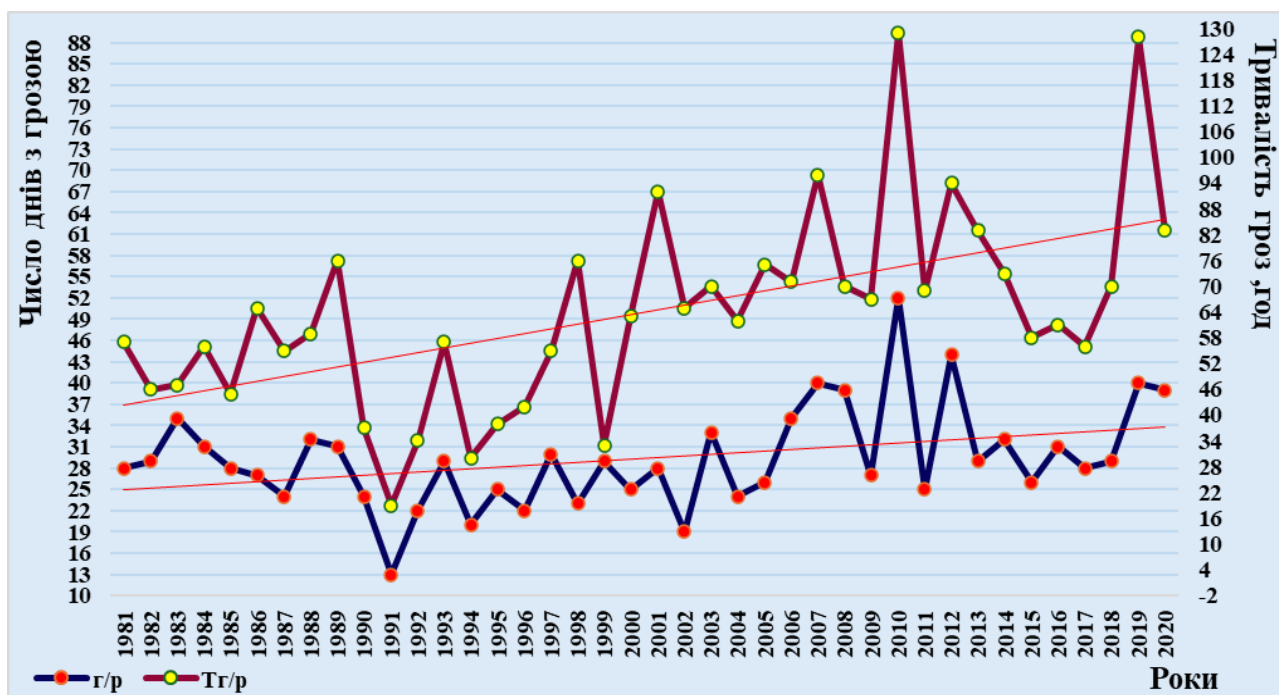


Рис.3.3. Динаміка числа днів та тривалості гроз на метеорологічній станції Шепетівка за період 1981 -2020 рр.

### Чернівці:

На рис. 3.4 зображено:

- Число днів з грозою: загальна тенденція зростаюча з приблизно рівномірним коливанням у межах таких значень: мінімальне у 1982 і 1991 рр. (18 днів), максимальне у 2002 році (53 дні) .
- Тривалість гроз: загальна тенденція зростаюча, особливо стрімко це спостерігалось у період 1991 – 2002 рр. із значеннями між 28 – 129 год. Мінімальне значення спостерігалось у 1991 році (28 год),максимальне значення у 2007 році (136 год) .

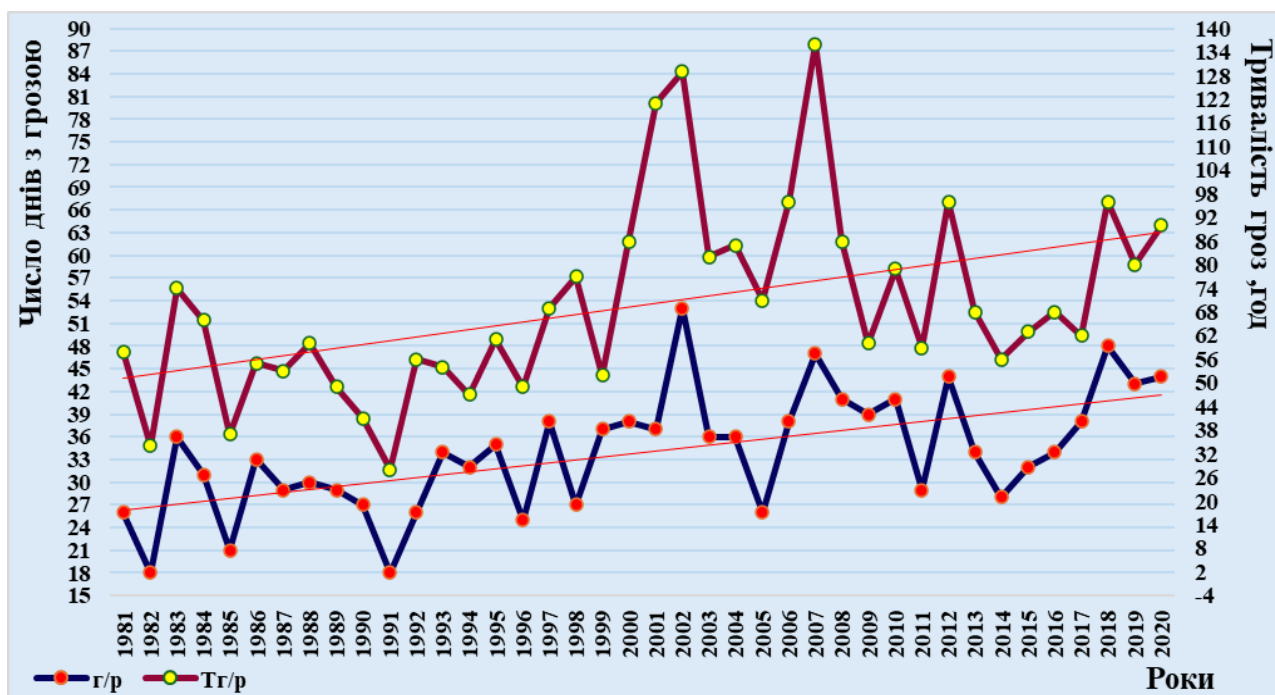


Рис.3.4. Динаміка числа днів та тривалості гроз на метеорологічній станції Чернівці за період 1981 -2020 рр.

#### Бориспіль(Київ):

На рис. 3.5 зображено:

- Число днів з грозою: загальна тенденція слабо спадаюча, у період 1982 – 1991 спостерігалася рівномірна динаміка мінливості значень, але починаючи з 1992 року спостерігалася нерівномірна мінливість значень до 2010 року, де почалося 6 – річне експоненційне спадання значень у межах 37 – 11 днів. Максимальне значення спостерігалось у 2007 році (39 днів), мінімальне у 2015 році (11 днів).
- Тривалість гроз: загальна тенденція спадаюча, також у період 1981 – 2013 рр. має місце збільшення локального розмаху(у 1981 – 1989 рр. локальний розмах складав від значення 48 до 69 год; від 53 до 75 год  $\approx$  (21 – 22 год), а у 1999 – 2010 рр. локальний розмах вже становив від 40 до 83 год; від 41 до 88 год  $\approx$  (43 – 47 год). Після 2013 року мало місце різке падіння тривалості гроз до значення 15 год у 2015 році.

Максимальне значення припало на 2010 рік (88 год) а мінімальне у 2015 році (15 год).

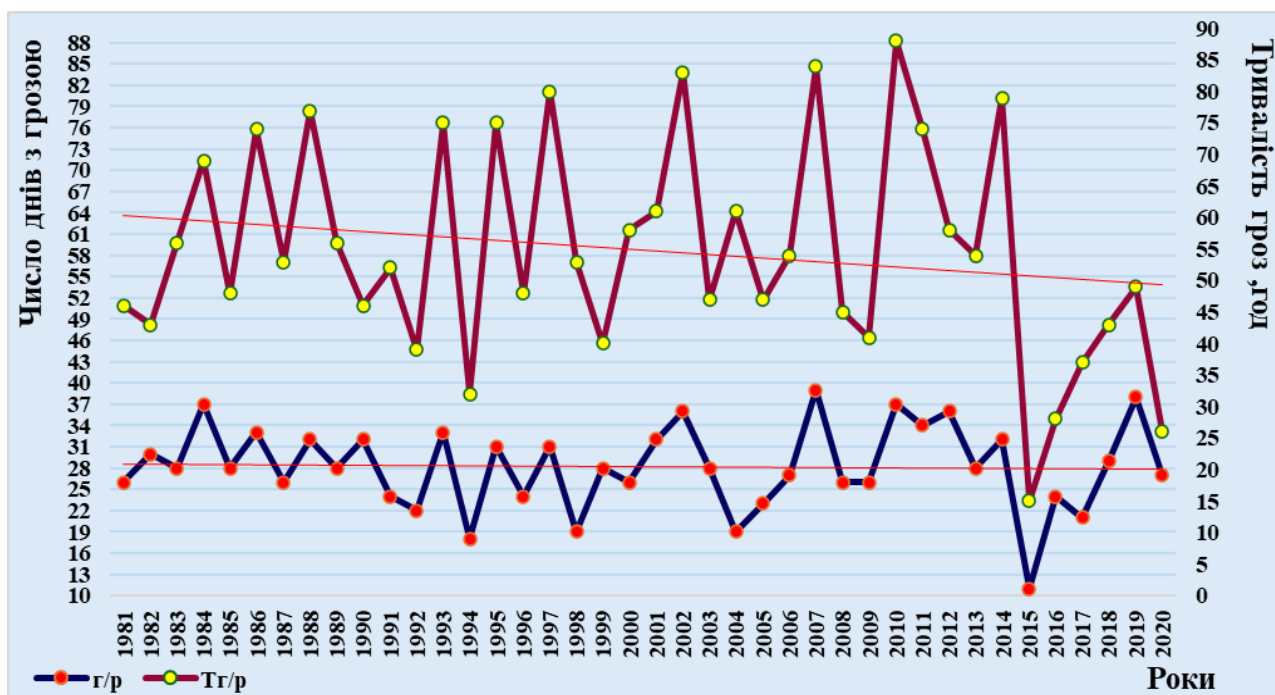


Рис.3.5. Динаміка числа днів та тривалості гроз на метеорологічній станції Бориспіль(Київ) за період 1981 -2020 рр.

### Одеса:

На рис. 3.6 зображено:

- Число днів з грозою: загальна тенденція досить рівномірно зростаюча із мінімальним значенням у 1987 році (18 днів) і максимальним у 2010 році (39 днів).
- Тривалість гроз: загальна тенденція зростаюча і різкими локальними розмахами, в цілому характер динаміки рівномірний, але у період 1984 – 1993 рр. спостерігався найбільший локальний розмах, що слугує розмахом і для усього розподілу з мінімальним значенням у 1984 році (28 год) і максимальним у 1989 році (99 год).

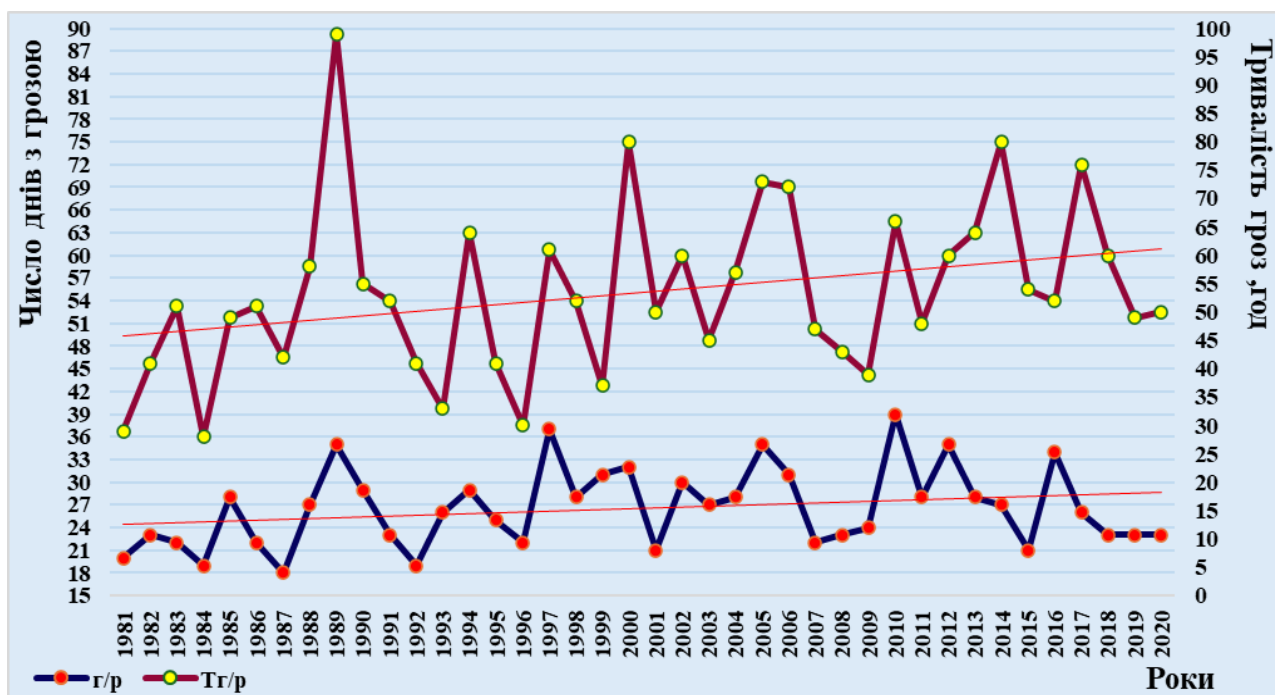


Рис.3.6. Динаміка числа днів та тривалості гроз на метеорологічній станції Одеса за період 1981 -2020 рр.

#### Кривий Ріг:

На рис. 3.7 зображено:

- Число днів з грозою: загальна тенденція дещо зростаюча, але наприкінці у період 2011 – 2020 рр. спадаюча. Характер розподілу з хаотичними локальними розмахами та без чіткої періодичності. Мінімальне значення спостерігалось у 2017 році (16 днів),максимальне у 2010 році (52 дні).
- Тривалість гроз: загальна тенденція дещо зростаюча та спадаюча наприкінці як і у випадку числа днів з грозою за той же період дослідження. Характер розподілу ще більш хаотичний, без чіткої періодичності. Мінімальне значення спостерігалось у 2017 році (35 год),максимальне у 2010 році (150 год).

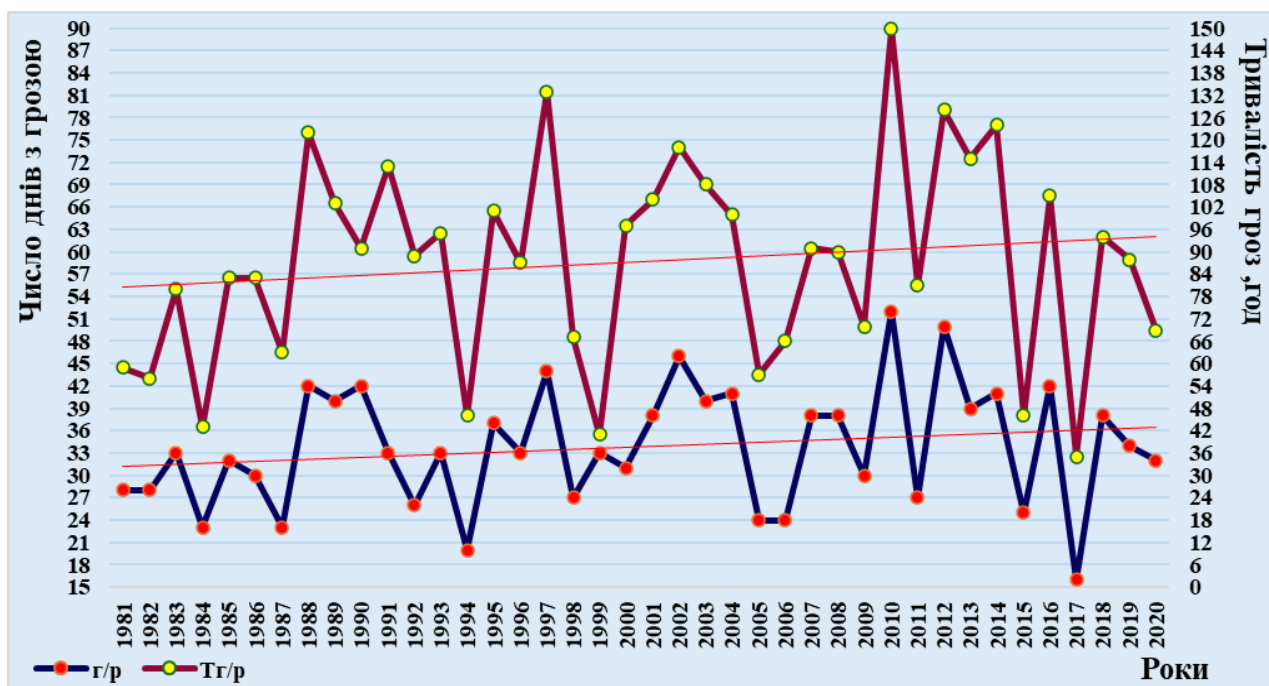


Рис.3.7. Динаміка числа днів та тривалості гроз на метеорологічній станції Кривий Ріг за період 1981 -2020 рр.

### Запоріжжя:

На рис. 3.8 зображено:

- Число днів з грозою: загальна тенденція дещо зростаюча, з нерівномірним характером розподілу, але без дуже різких локальних розмахів. Максимальне значення спостерігалось у 2002 році (40 днів), мінімальне значення у 1994 році (14 днів).
- Тривалість гроз: загальна тенденція зростаюча з різкими локальними розмахами та нерівномірним характером розподілу. У періоди 2004 – 2006 та 2015 -2017 спостерігалися різкі спадання тривалості гроз (з 80 год до 31 год у першому випадку і з 59 год до 21 год у другому). Максимальне значення спостерігалось у 2004 році (80 год), мінімальне у 1994 році (17 год).

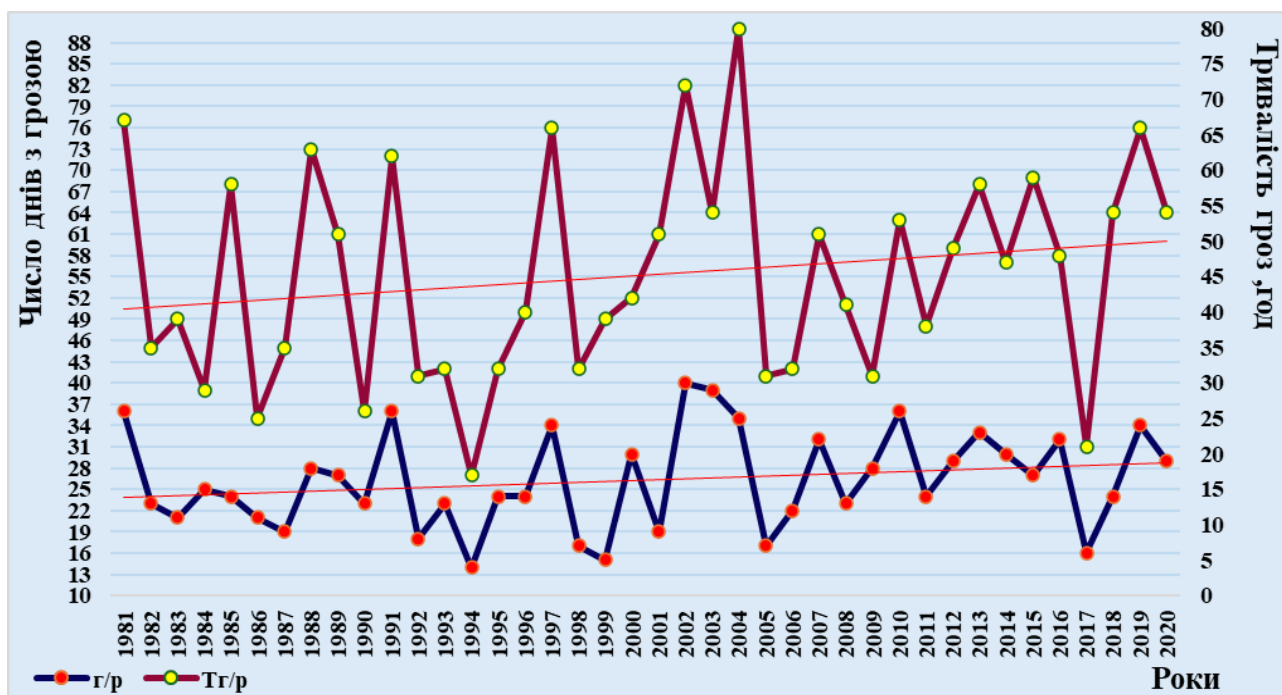


Рис.3.8. Динаміка числа днів та тривалості гроз на метеорологічній станції Запоріжжя за період 1981 -2020 рр.

#### Полтава:

На рис. 3.9 зображено:

- Число днів з грозою: загальна тенденція дещо зростаюча з не різким, але нерівномірним характером розподілу. Максимальне значення спостерігалось у 2012 році (39 днів), мінімальне у 1987 році (15 днів).
- Тривалість гроз: загальна тенденція стрімко зростаюча, зі збільшенням локальних розмахів з часом. Так у період 1981– 1982 рр. між значеннями 47 год і 24 год локальний розмах становив 23 год; у період 2015 -2016 рр. між значеннями 29 год і 91 год локальний розмах вже дорівнював 62 год, тобто більше ніж удвічі. Максимальне значення спостерігалось у 2016 році (91 год), мінімальне значення у 1982 і 1986 рр. (24 год).

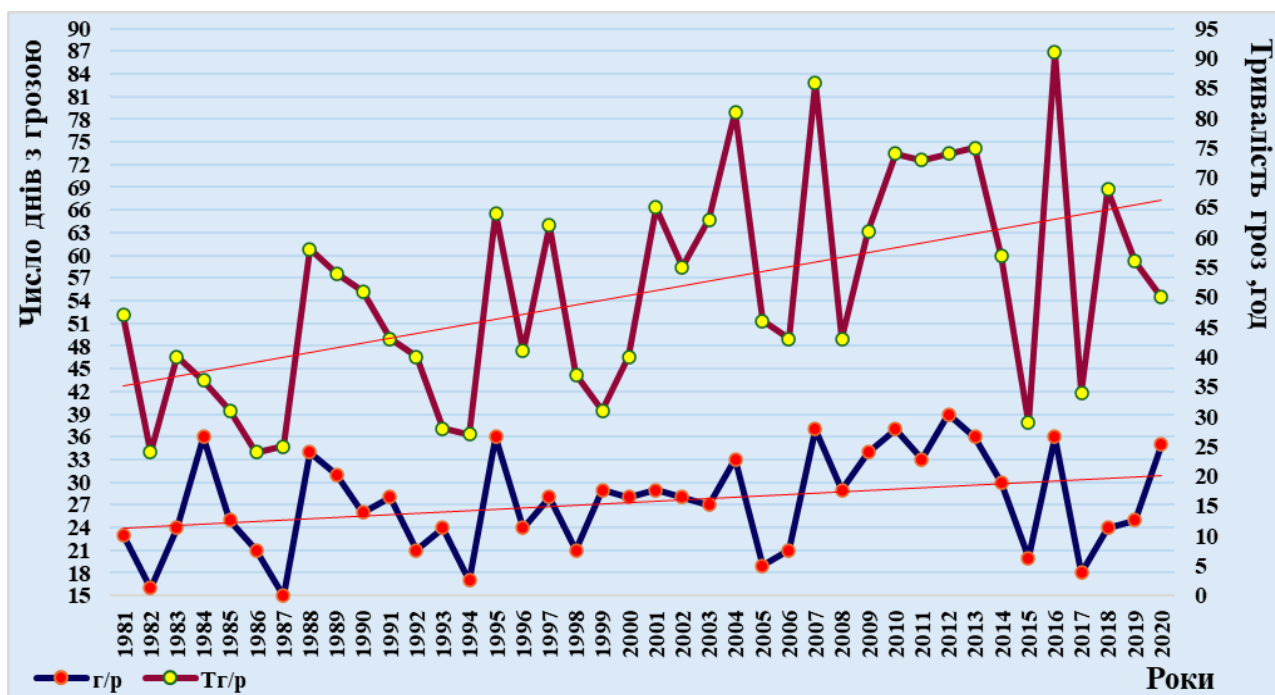


Рис.3.9. Динаміка числа днів та тривалості гроз на метеорологічній станції Полтава за період 1981 -2020 рр.

### Харків:

На рис. 3.10 зображено:

- Число днів з грозою: загальна тенденція дещо зростаюча, з майже рівномірним характером розподілу, без дуже різких локальних розмахів. Наприкінці у період 2016 мало місце різке спадання числа днів з грозою від значення 47 днів у 2016 році до 20 днів у 2018 році. Максимальне значення спостерігалось у 2016 році (47 днів), мінімальне у 1994 році (19 днів).
- Тривалість гроз: загальна тенденція стрімко зростаюча, зі збільшенням локальних розмахів з часом, так у період 1981–1987 рр. між значеннями 63 год і 43 год локальний розмах дорівнював 20 год; у період 2013 -2017 рр. між значеннями 127 год і 32 год локальний розмах вже сягав 65 год, тобто утричі більше. Максимальне значення спостерігалось у 2003 році (136 год), мінімальне у 2017 році (32 год).

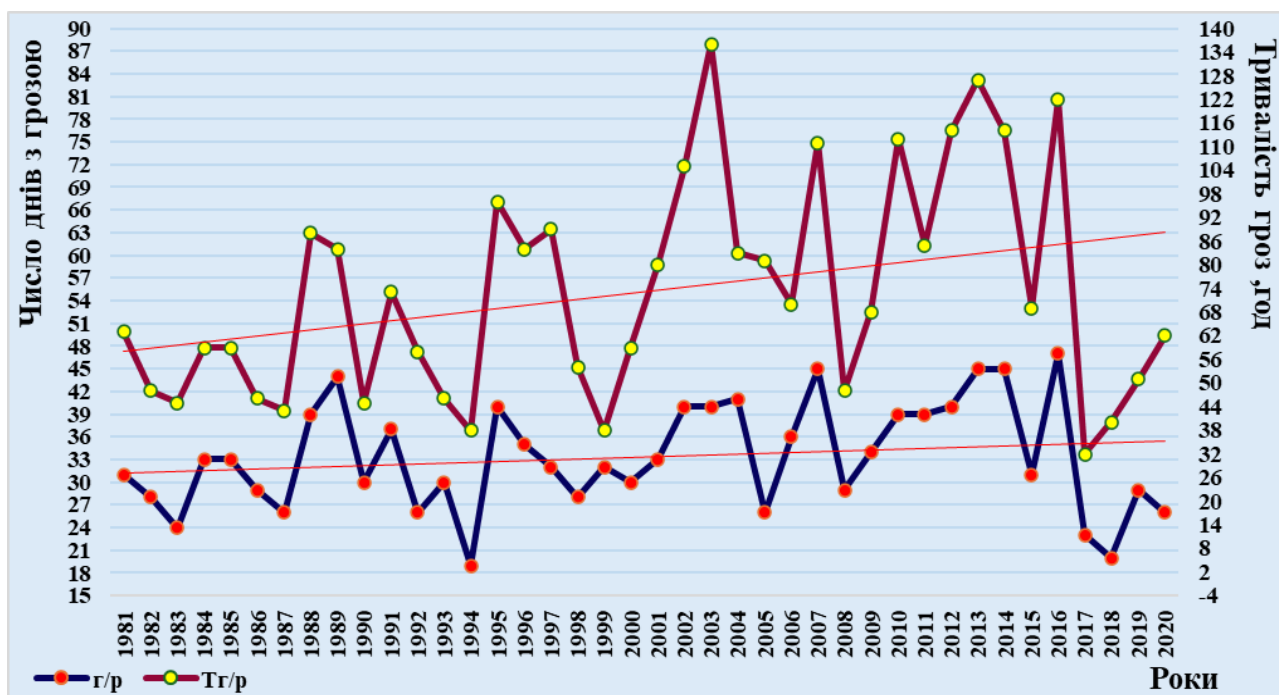


Рис.3.10. Динаміка числа днів та тривалості гроз на метеорологічній станції Харків за період 1981 -2020 рр.

Для розрахунку загальних середніх значень числа днів з грозою та тривалості гроз в Україні, були використані 10 вищевказаних регіонів(метеорологічних станцій). Для спрощеного вигляду формули нехай  $\sum_1^{12} i_m = a$  і  $\sum_1^{12} j_m = b$ ;

Тоді маємо такі загальні формули точок (Рис.3.11) середніх значень в Україні ( $A_N; B_N$ ):

$$A_N = \frac{a_{r1} + a_{r2} + \dots + a_{rn}}{n}; B_N = \frac{b_{r1} + b_{r2} + \dots + b_{rn}}{n}$$

Де:  $N$  – обсяг вибірки (роки, у даному випадку 40);  $n$  – кількість регіонів(у даному випадку їх 10);  $r1, r2 \dots rn$  – регіони дослідження(метеорологічні станції, міста, села, держави і т. д...)

На рис. 3.11 представлено 2 графіки: помаранчевим кольором представлено динаміку  $A_N$  а зеленим кольором динаміку  $B_N$ .

*Середнє число днів з грозою в Україні за результатами обчислень:* загальна тенденція зростаюча, коефіцієнт детермінації 0,22, що вказує на незначні можливості моделі до прогнозування за лінійним принципом ( $\approx 20\%$ ). Загалом, чітке зростання числа днів з грозою прослідковується у період 1994 – 2010 рр., далі відбулося стрімке падіння числа днів до 2017 року і потім знову прослідковується тенденція до збільшення числа днів. Максимальне значення спостерігається у 2010 році із значенням 41,4 днів, основні локальні максимуми прослідковуються у 1989, 2002, 2007, 2012 рр. із значеннями 33,3; 34,5; 37,5; 37,3 днів відповідно. Мінімальне значення спостерігається у 1994 році із значенням 21,8 днів, основні локальні мінімуми прослідковуються у 1987, 1998, 2005, 2017 із значеннями 23,3; 24,5; 24,8; 25,1 днів відповідно.

*Середня тривалість гроз в Україні за результатами обчислень:* загальна тенденція зростаюча, коефіцієнт детермінації 0,29, що вказує на незначні можливості моделі до прогнозування за лінійним принципом ( $\approx 30\%$ ). Загалом, чітке зростання тривалості гроз прослідковується у період 1994 – 2010 рр., далі відбулося поступове спадання числа днів до 2017 року і потім знову прослідковується тенденція до збільшення тривалості грози. Максимальне значення спостерігається у 2010 році із значенням 88,4 год, основні локальні максимуми прослідковуються у 1988, 1997, 2002, 2007 рр. із значеннями 70,6; 71,3; 80,9; 88 год відповідно. Мінімальне значення спостерігається у 1994 році із значенням 38,6 днів, основні локальні мінімуми прослідковуються у 1982, 1999, 2017 із значеннями 39,3; 40,1; 46,4 год відповідно.

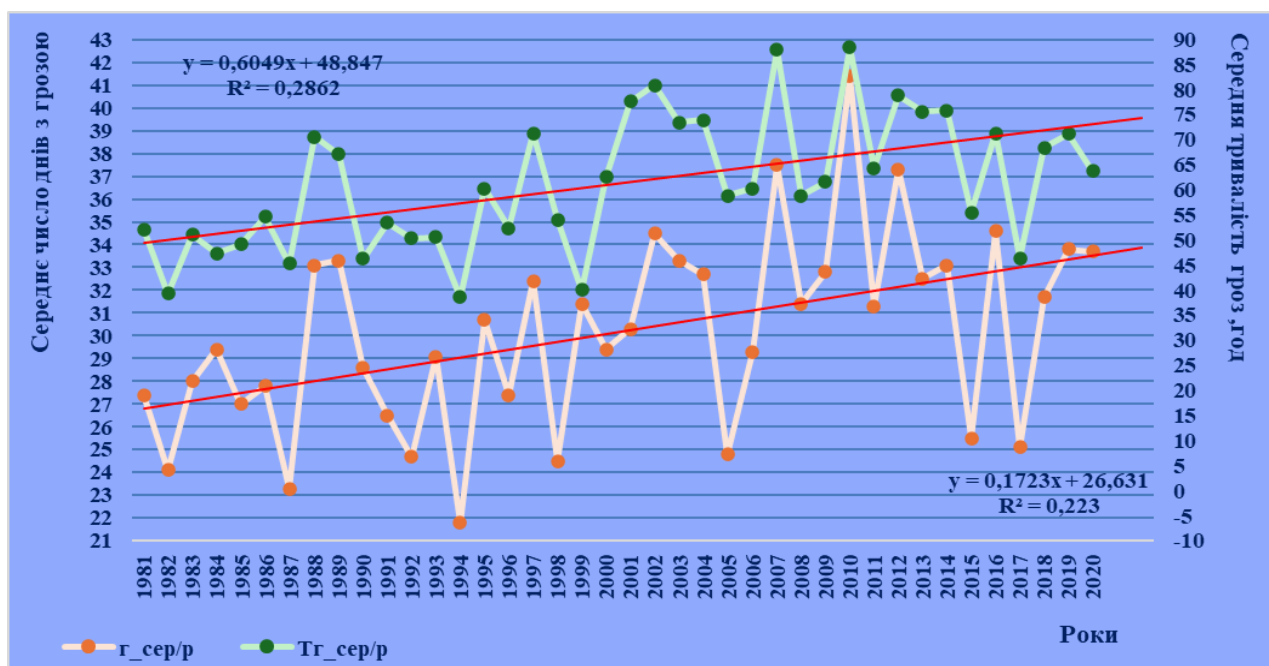


Рис.3.11. Динаміка середнього числа днів та тривалості гроз в Україні за період 1981 -2020 рр.

### 3.2. Огляд зимових гроз в Україні за період 1981 – 2020 рр.

За холодний період року узято період з листопада по квітень

З табл. 3.1 видно, що найбільше випадків днів з грозою та тривалості гроз спостерігалось у квітні, всього на досліджуваних метеорологічних станціях 261 випадок місяців з грозами, в середньому 26,1 випадків, найменше у грудні всього 3 місяці, в середньому 0,3 випадків з грозами. Приблизно 2 дні з грозою в середньому і 2.3 години середня тривалість.

Огляд місяців з грозами за регіонами:

*Луцьк*: найбільше випадків припало на квітень (29), частково лютий (1) і листопад (3). Всього 33 випадки місяців з грозами. Середнє число днів = 1,8;

тривалість = 2 год. *Львів*: найбільше випадків припало на квітень (28), частково на березень (10), листопад (4), лютий (3), січень (3) та грудень (2). Всього 50 випадків місяців з грозами. Середнє число днів = 2,6; тривалість = 1,3 год. *Шепетівка*: найбільше випадків припало на квітень (26), частково на березень (5), листопад (1) і на лютий (1). Всього 33 випадки. Середнє число днів = 2,4; тривалість = 4,2 год. *Чернівці*: найбільше випадків припало на квітень (33), частково на березень (9), листопад (3), січень (3), лютий (1). Всього 49 випадків. Середнє число днів = 2; тривалість = 2,5 год. *Бориспіль(Київ)*: найбільше випадків припало на квітень (27), частково на листопад (2), лютий (2), березень (1) і січень (1). Всього 33 випадки. Середнє число днів = 1,7; тривалість = 2,4 год. *Одеса*: найбільше випадків припало на квітень (23), частково на березень (6), листопад (6), лютий (3), грудень (1). Всього 39 випадків. Середнє число днів = 1,6; тривалість = 1,6 год. *Кривий Ріг*: найбільше випадків припало на квітень (28), частково на березень (5), листопад (2), лютий (2). Всього 37 випадків. Середнє число днів = 2,1; тривалість = 3,8 год. *Запоріжжя*: найбільше випадків припало на квітень (22), частково на березень (5), листопад (3), січень (1), лютий (1). Всього 32 випадки. Середнє число днів = 1,6; тривалість = 1,4 год. *Полтава*: найбільше випадків припало на квітень (19), частково на березень (6), листопад (2). Всього 27 випадків. Середнє число днів = 1,7; тривалість = 1,5 год. *Харків*: найбільше випадків припало на квітень (26), частково на березень (7), листопад (4), лютий (1). Всього 38 випадків. Середнє число днів = 1,9; тривалість = 2,2 год.



### 3.3. Динаміка індексів нестійкості атмосфери та прогнозування грозової діяльності за ними в Україні

У якості даних було використано електронний архів Університету штату Вайомінг [47] . Дані індексів нестійкості (Showalter, SWEAT, K, Cross totals, Vertical totals, Totals totals, CAPE, CAPE using virtual temperature) узято за два періоди: 1981 – 1985 рр. за кожні пів доби (00Z;12Z) і 2016 – 2020 рр. за 12Z, з наступних 3 метеорологічних станцій: «Львів», «Одеса», «Харків». Дослідження проводилося аналітичним методом, візуалізовано діаграмами та таблицями, які були побудовані за допомогою програм пакету операційної системи Windows та пакетів прикладних програм Microsoft Office: Microsoft Excel;Microsoft Word.

Для більшої репрезентативності даних було використано графіки на рис.3.12 – 3.35, на яких представлено динаміку трьох параметрів індексу. Фактичне максимальне місячне значення індексу за період дослідження(Max), фактичне мінімальне місячне значення за період дослідження (Min), середньомісячне значення індексу (ср.) . У якості середньомісячного значення індексу для першого періоду бралось середнє значення впливовішого значення за кожен день, оскільки використовується два значення за добу. Наприклад для індексу Showalter з двох значень за добу вибиралося мінімальне і так за кожен день протягом місяця і розраховувалося середньомісячне мінімальне значення або середньомісячне впливовіше значення, так як для цього індексу мінімальні значення вказують на ймовірність утворення конвективних явищ. Для другого періоду розраховувалося фактичне середньомісячне значення, так як використовувалося одне значення за добу.

Динаміка індексів нестійкості за досліджувані періоди на метеорологічних станціях «Харків», «Одеса», «Львів»:

- *Харків:*

- 1) Індекс Showalter (Рис.3.12):

Для періоду 1981 – 1985 рр. : видно, що максимальних значень значно більше, ніж мінімальних і вони більш впливові, що може говорити про тенденцію до зменшення ймовірності виникнення конвективних хмар та явищ. Також спостерігалися основні максимальні значення індексу у липні 1981 року (38,1), серпні 1983 року (38,6) та основне мінімальне значення у лютому 1983 року (-51,4). Середні значення коливалися у діапазоні приблизно 2 – 12.

Для періоду 2016 – 2020 рр. : максимальних значень також значно більше, ніж мінімальних і вони більш впливові. Основний максимум спостерігається у березні 2018 року (26,9), основний мінімум у лютому 2020 року (-16,6). Середнє значення також коливається в межах 2 – 12.

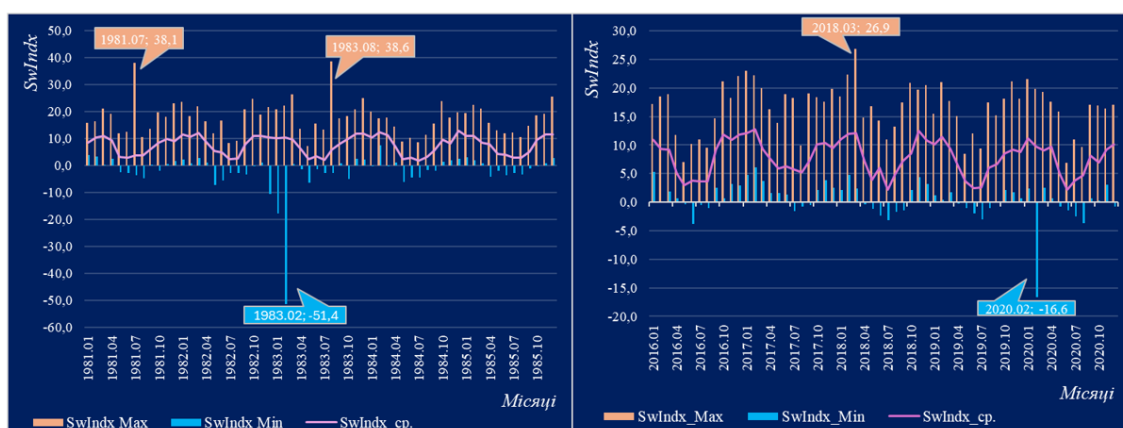


Рис.3.12. Динаміка індекса нестійкості Showalter за досліджувані періоди для метеорологічної станції Харків

## 2) Індекс SWEAT (Рис.3.13):

Для періоду 1981 – 1985 рр. : видно, що максимальних значень значно більше, ніж мінімальних і вони більш впливові, що може говорити про тенденцію до збільшення ймовірності виникнення конвективних хмар та явищ за даним індексом. Основні максимальні значення спостерігалися у січні 1981 року (334), травні 1983 року (554,8), квітні 1985 року (488). Динаміка середніх значень періодична і коливається у межах приблизно 60-150.

Для періоду 2016 – 2020 рр. : видно, що максимальних значень значно більше, ніж мінімальних і вони більш впливові, що може говорити про тенденцію до збільшення ймовірності виникнення конвективних хмар та явищ за даним індексом. Основні максимальні значення спостерігалися у грудні 2016 року (470,1), січні 2018 року (380,6), червні 2019 року (543,6), червні 2020 року (736,6). Середні значення коливалися в межах 50 -150.

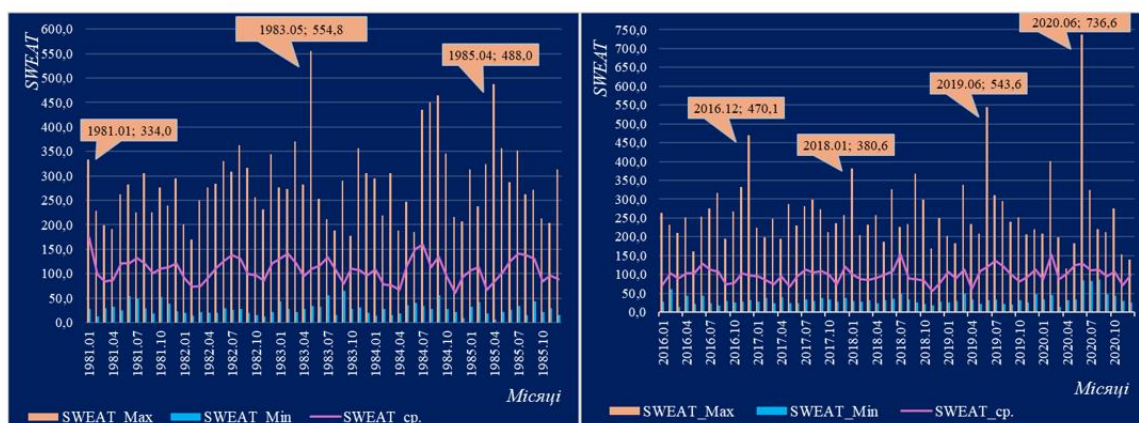


Рис.3.13. Динаміка індекса нестійкості SWEAT index за досліджувані періоди для метеорологічної станції Харків

### 3) Індекс К (Рис.3.14):

Для періоду 1981 – 1985 рр. : простежується коливання максимальних та мінімальних значень майже в одній фазі, із основними максимумами у травні 1983 року (45,6), вересні 1984 року (46,1), листопаді 1985 року (70,2). Основні мінімуми у липні 1981 року (-45,8), листопаді 1983 року (-48,1), листопаді 1984 року (-38,7). Середні значення періодично коливаються у межах (-5 – 25).

Для періоду 2016 – 2020 рр. : простежується більше максимальних значень, ніж мінімальних, з основними максимумами у серпні 2017 року (41,7), червні 2020 року (48). Основні мінімуми у січні 2016 року (-29,4), січні 2019 року (-30,4), лютому 2020 (-30,5). Середні значення періодично коливаються у межах 0 – 29.

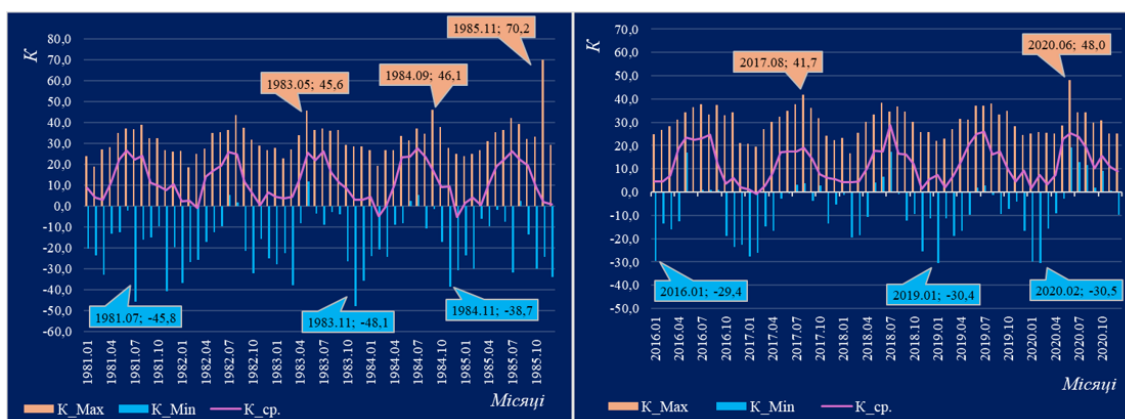


Рис.3.14. Динаміка індекса нестійкості К за досліджувані періоди для метеорологічної станції Харків

#### 4) Індекс Cross totals (Рис.3.15):

Для періоду 1981 – 1985 рр. : простежується більше максимальних значень, ніж мінімальних, з основними максимумами у травні 1983 року (32,1), квітні 1985 року (34,7). Мінімуми у липні 1981 року (-21,3), жовтні 1982 року (-16,3), листопаді 1983 року (-16,5). Середні значення коливаються у межах 12 -21.

Для періоду 2016 – 2020 рр. : простежується більше максимальних значень, ніж мінімальних, з основним максимумом у червні 2020 року (37,5) а мінімумами у січні 2017 року (-7,6) та січні 2020 року (-9,6). Середні значення приблизно так само як і у попередньому періоді.

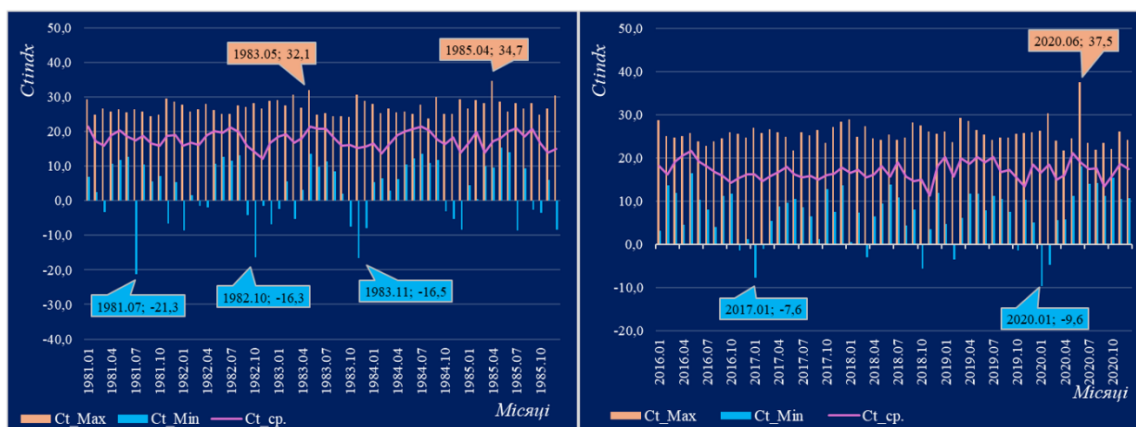


Рис.3.15. Динаміка індекса нестійкості Cross totals за досліджувані періоди для метеорологічної станції Харків

### 5) Індекс Vertical totals (Рис.3.16):

Для періоду 1981 – 1985 рр. : простежується майже стабільна періодичність максимальних та мінімальних значень із основними максимумами у березні 1982 року (44,7), травні 1983 року (36,3). Основне мінімальне значення простежувалося у лютому 1982 року (-7,8). Середні значення періодично коливалися у межах 20 -28.

Для періоду 2016 – 2020 рр. : простежується більше максимальних значень, ніж мінімальних, з основними максимумами у лютому 2020 року (49,8). Середні значення коливаються у межах 21 – 26.

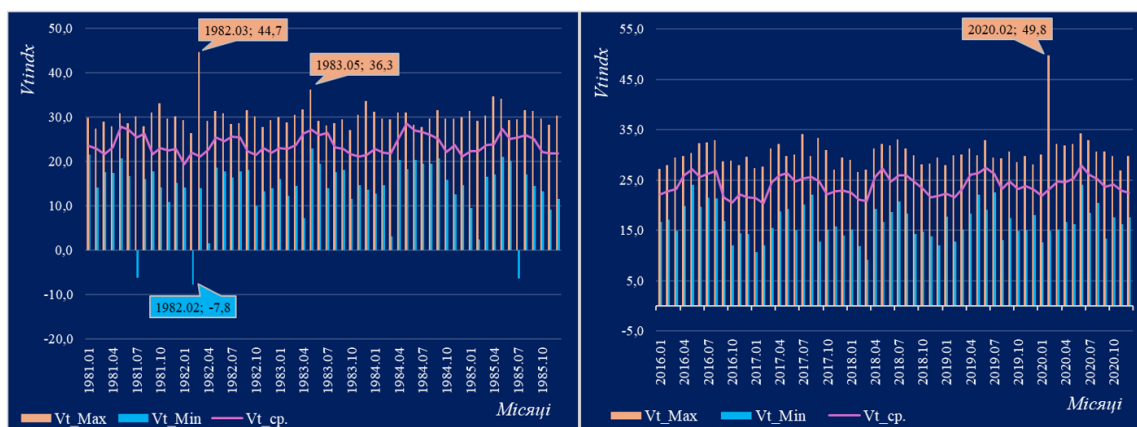


Рис.3.16. Динаміка індекса нестійкості Vertical totals за досліджувані періоди для метеорологічної станції Харків

### 6) Індекс Totals totals (Рис.3.17):

Для періоду 1981 – 1985 рр. : простежується переважаючі максимальні значення над мінімальними, із основним максимумом у лютому 1983 року (165,7), і основними мінімумами у липні 1981 року (-38,9), серпні 1983 року (-15). Середні значення періодично коливалися у межах 35 – 47.

Для періоду 2016 – 2020 рр. : майже стабільна періодичність максимальних та мінімальних значень, без різких викидів із основним максимумом у лютому 2020 року (95,9). Середні значення періодично коливалися у межах 34 -47.

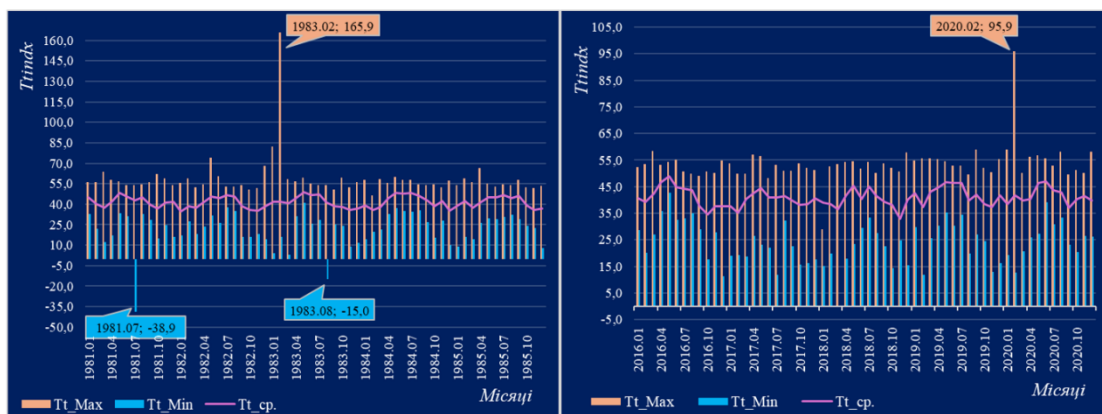


Рис.3.17. Динаміка індекса нестійкості Totals totals за досліджувані періоди для метеорологічної станції Харків

### 7) Індекс CAPE (Рис.3.18):

Для періоду 1981 – 1985 рр. : максимальні значення настільки переважають, що мінімальні значення навіть не простежуються на загальному розподілі. Отже основні максимальні значення спостерігалися у вересні 1982 року (3616), липні 1984 року (4896,6), травні 1985 року (3018). Середні значення коливались у межах 0 – 300.

Для періоду 2016 – 2020 рр. : характер переважання максимальних значень аналогічне до попереднього періоду з основними максимумами у липні 2016 року (1167), липні 2018 року (1177), червні 2020 року (1493,5). Середні значення коливаються у межах 0 – 300.

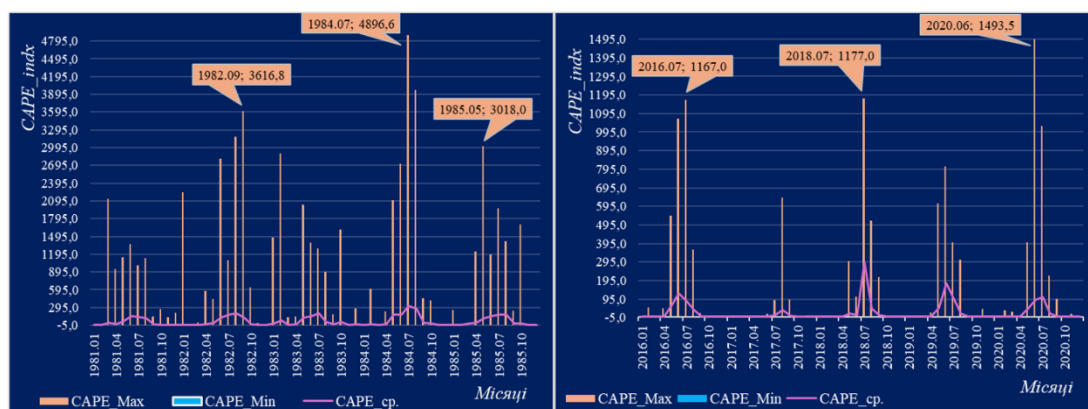


Рис.3.18. Динаміка індекса нестійкості Convective Available Potential Energy за досліджувані періоди для метеорологічної станції Харків

8) Індекс CAPV (Рис.3.19): динаміка віддзеркалює динаміку CAPE, але значення дещо більші :

Для періоду 1981 – 1985 рр. : Основні максимуми спостерігаються у вересні 1982 року (3727), липні 1984 року (5001,2), травні 1985 року (3138,1). Середні значення коливаються у межах 0 – 300.

Для періоду 2016 – 2020 рр. : Основні максимуми спостерігаються у липні 2016 року (1337,4), липні 2018 (1270,3), червні 2020 (1623,7). Середні значення коливаються у межах 0 - 320.

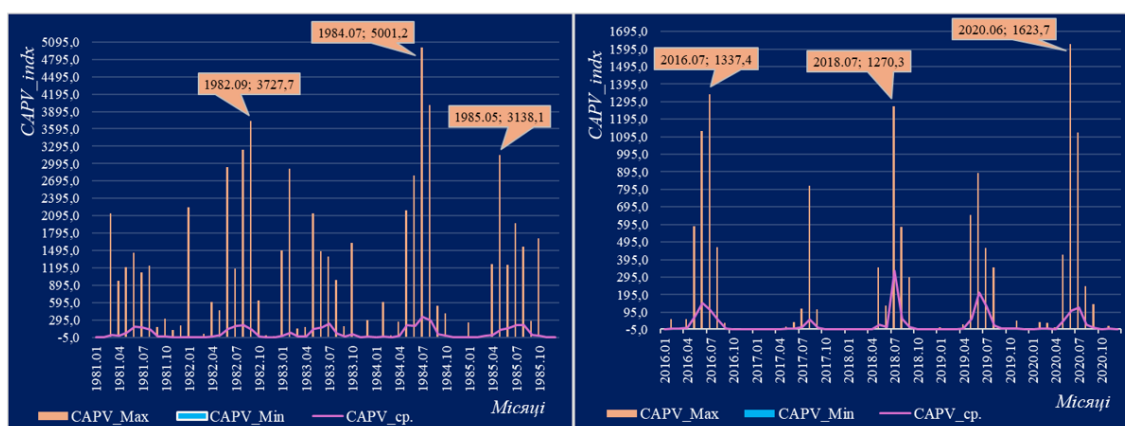


Рис.3.19. Динаміка індекса нестійкості CAPE using virtual temperature за досліджувани періоди для метеорологічної станції Харків

- *Одеса*

1) Індекс Showalter (Рис.3.20):

Для періоду 1981 – 1985 рр. : видно, що максимальних значень більше але вони не впливовіше за мінімальні, з основними максимумами у травні 1982 року (31,3), листопаді 1983 року (36,2), вересні 1985 року (39). Основні мінімуми у січні 1982 року (-26,5), жовтні 1982 року (-29,9), липні 1983 року (-26,7), березні 1984 року (-48,6), квітні 1985 року (-23,8). Середні значення періодично коливаються у межах 2-12.

Для періоду 2016 – 2020 рр. : максимальних значень значно більше, ніж мінімальних. Основні максимуми у січні 2016 року (22), лютому 2017 року (21,7), лютому 2018 року (22,5), грудні 2018 року (21,1), грудні 2019 року (20,6). Основні

мінімуми у серпні 2016 року (-4,3), червні 2017 року (-5,2), липні 2017 року (-4,9), червні 2020 року (-3,9). Середні значення коливаються у межах 1-13.

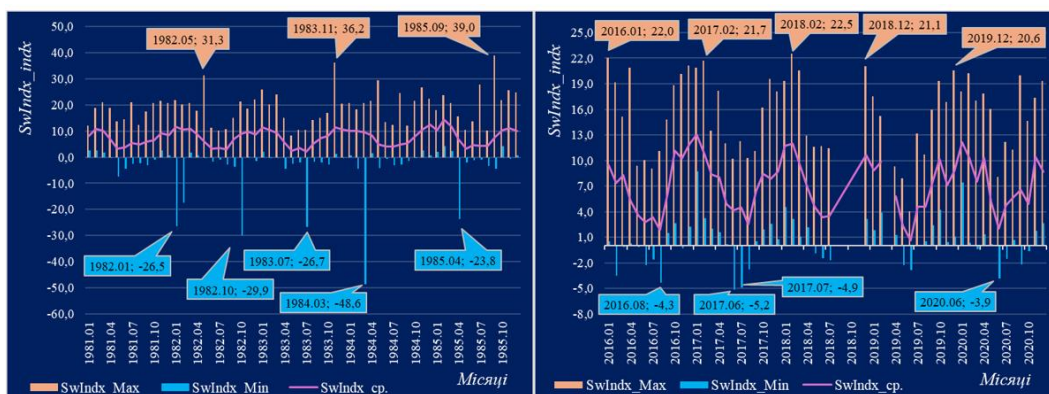


Рис.3.20. Динаміка індекса нестійкості Showalter за досліджувані періоди для метеорологічної станції Одеса

## 2) Індекс SWEAT (Рис.3.21):

Для періоду 1981 – 1985 рр. : максимальні значення набагато впливовіші за мінімальні із основними значеннями у січні 1982 року (1302,8), лютому 1982 року (701,7), жовтні 1982 року (1444), березні 1984 року (2078,4). Середні значення коливаються у межах 60 -150.

Для періоду 2016 – 2020 рр. : максимальні значення набагато впливовіші за мінімальні, із основними значеннями у лютому 2016 року (380,7), червні 2017 року (475,8), березні 2018 року (354,5), лютому 2020 року (333,4). Середні значення коливаються у межах 50 -150.

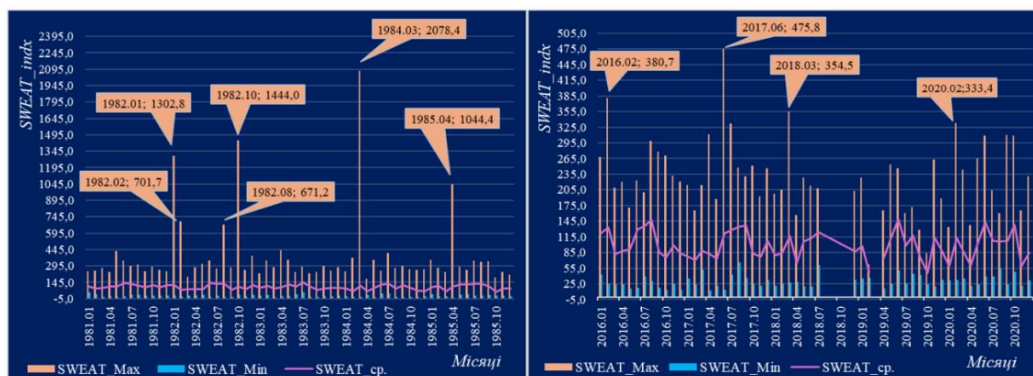


Рис.3.21. Динаміка індекса нестійкості SWEAT index за досліджувані періоди для метеорологічної станції Одеса

## 3) Індекс К (Рис.3.22):

Для періоду 1981 – 1985 рр. : простежується коливання максимальних та мінімальних значень майже в одній фазі із основними максимумами у січні 1982 року (55,2), березні 1984 року (98,3), квітні 1985 року (62,4). Основні мінімуми у січні 1982 року (-41,7), листопаді 1984 року (-36,5), вересні 1985 року (-48,5). Середнє значення періодично коливається у межах (-1 – 26).

Для періоду 2016 – 2020 рр. : простежується більше максимальних значень ніж мінімальних, з основними максимумами у серпні 2016 року (39,5), серпні 2017 року (42,3), червні 2020 року (38). Основні мінімуми у квітні 2016 року (-30,7), грудні 2016 року (-30,3), лютому 2020 року (-28,7). Середні значення періодично коливаються у межах 0 – 30.

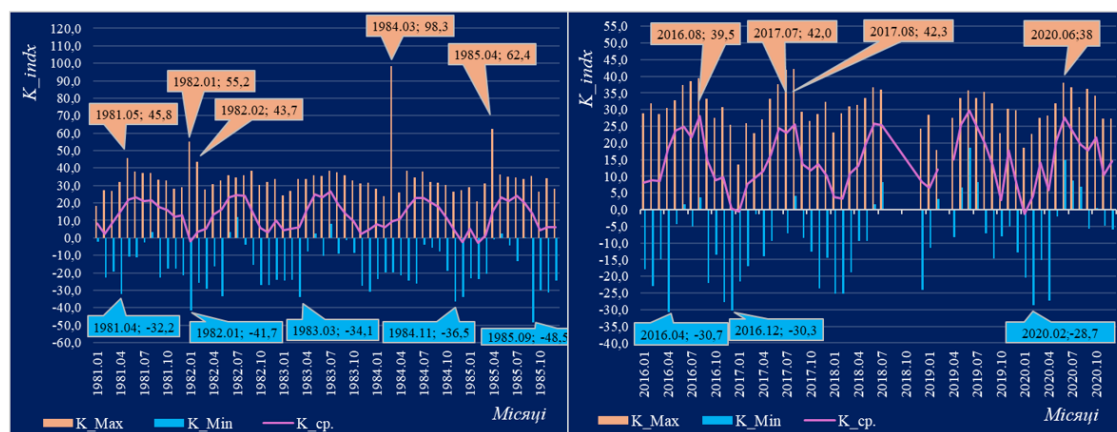


Рис.3.22. Динаміка індекса нестійкості К за досліджувані періоди для метеорологічної станції Одеса

## 4) Індекс Cross totals (Рис.3.23):

Для періоду 1981 – 1985 рр. : простежується більше максимальних значень ніж мінімальних, з основними максимумами у січні 1982 року (52,7), жовтні 1982 року (54,9), березні 1984 року (62,5), квітні 1985 року (43,4). Мінімуми у травні 1982 року (-11,2), листопаді 1983 року (-23,1), вересні 1985 року (-17,6). Середні значення коливаються у межах 14 -23.

Для періоду 2016 – 2020 рр. : простежується більше максимальних значень ніж мінімальних, з основними максимумами у грудні 2016 року (28,3) та квітні

2017 року (28,3) і мінімумами у лютому 2016 року (-7,1), січні 2018 року (-8,7), грудні 2019 року (-7,5). Середні значення коливаються у межах 10-21.



Рис.3.23. Динаміка індекса нестійкості Cross totals за досліджувані періоди для метеорологічної станції Одеса

#### 5) Індекс Vertical totals (Рис.3.24):

Для періоду 1981 – 1985 рр. : простежується більший вплив максимальних значень ніж мінімальних із основними максимумами у лютому 1982 року (64,3), жовтні 1982 року (63,9), березні 1984 року (67,5). Основні мінімальні значення простежувалися у листопаді 1983 року (-2,1), вересні 1985 року (-3,6). Середні значення періодично коливалися у межах 19 - 26.

Для періоду 2016 – 2020 рр. : простежується більш впливові максимальні значення ніж мінімальні, з основними максимумами у червні 2016 року (32,9), серпні 2017 року (33,7), лютому 2020 (33,6). Середні значення коливаються у межах 21– 28.

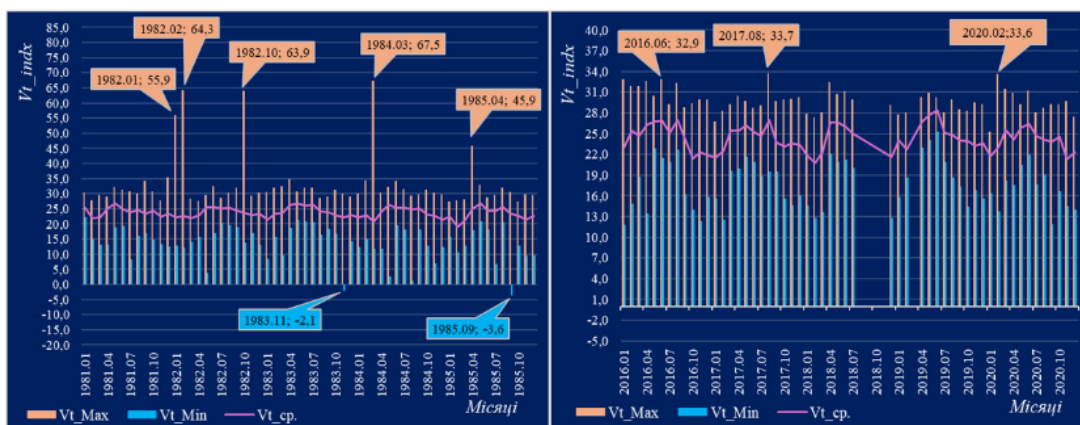


Рис.3.24. Динаміка індекса нестійкості Vertical totals за досліджувані періоди для метеорологічної станції Одеса

б) Індекс Totals totals (Рис.3.25):

Для періоду 1981 – 1985 рр. : простежується переважаючі максимальні значення над мінімальними із основними максимумами у січні 1983 року (108,6), жовтні 1982 року (118,8), березні 1984 року (130). Основні мінімуми спостерігалися у травні 1982 року (-7,4), листопаді 1983 року (-25,3), вересні 1985 року (-21,2). Середні значення періодично коливалися у межах 32 – 49.

Для періоду 2016 – 2020 рр. : простежується переважаючі максимальні значення ніж мінімальні із основними максимумами у лютому 2016 року (59,9), грудні 2016 року (58,3), лютому 2020 року (61,2). Середні значення періодично коливалися у межах 34 -49.

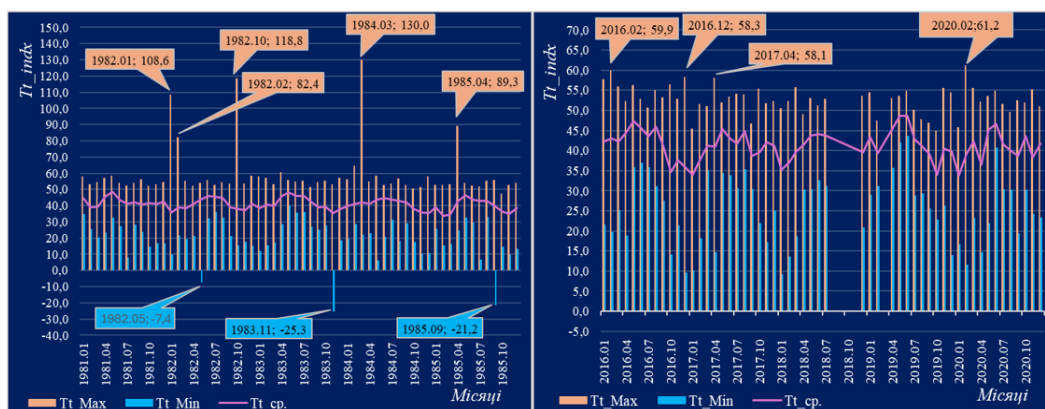


Рис.3.25. Динаміка індекса нестійкості Totals totals за досліджувані періоди для метеорологічної станції Одеса

## 7) Індекс CAPE (Рис.3.26):

Для періоду 1981 – 1985 рр. : максимальні значення настільки переважають, що мінімальні значення навіть не простежуються на загальному розподілі. Отже основні максимальні значення спостерігалися у червні 1982 року (3985), липні 1983 року (4907,5), липні 1984 року (4199,7). Середні значення коливались у межах 0 – 500.

Для періоду 2016 – 2020 рр. : характер переважання максимальних значень аналогічне до попереднього періоду, з основними максимумами у червні 2016 року (2033,7), серпні 2017 року (2486,6), червні 2019 року (1750,8). Середні значення коливаються у межах 0 – 550.

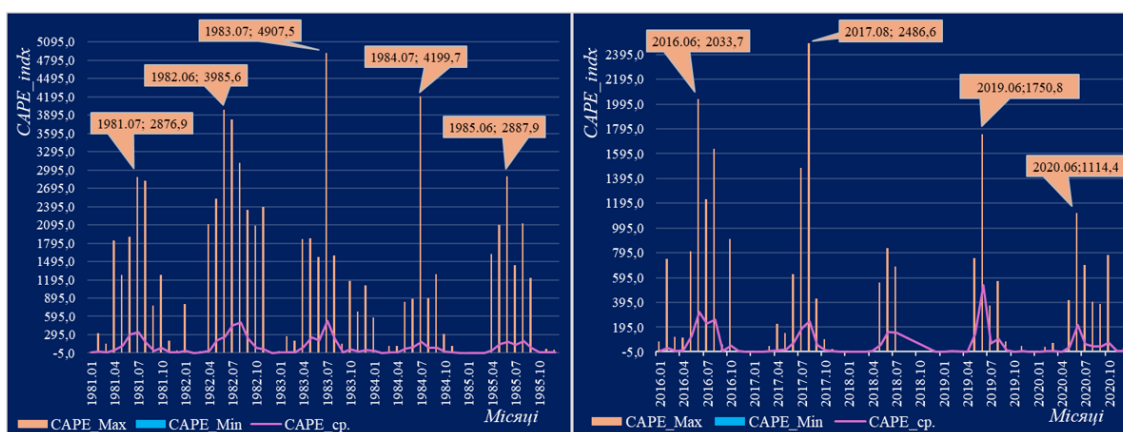


Рис.3.26. Динаміка індекса нестійкості Convective Available Potential Energy за досліджувані періоди для метеорологічної станції Одеса

## 8) Індекс CAPV (Рис.3.27): динаміка віддзеркалює динаміку CAPE, але значення дещо більші :

Для періоду 1981 – 1985 рр. : Основні максимуми спостерігаються у липні 1981 року (4560,2), липні 1983 року (5164), липні 1985 року (4264,7). Середні значення коливаються у межах 0 – 600.

Для періоду 2016 – 2020 рр. : Основні максимуми спостерігаються у червні 2016 року (2143,8), серпні 2017 (2629,7), червні 2019 (1886,3). Середні значення коливаються у межах 0 - 600.

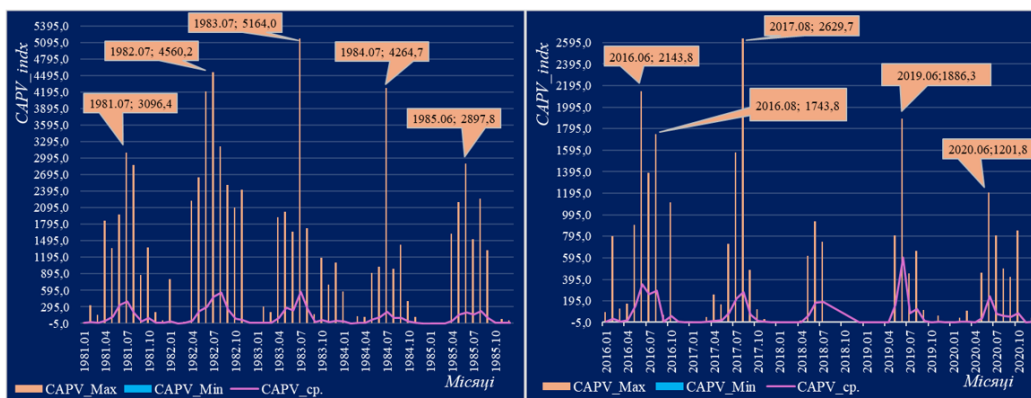


Рис.3.27. Динаміка індекса нестійкості CAPE using virtual temperature за досліджувані періоди для метеорологічної станції Одеса

- *Львів*

- 1) Індекс Showalter (Рис.3.28):

Для періоду 1981 – 1985 рр. : видно, що максимальні значення значно впливовіші за мінімальні, з основними максимумами у липні 1981 року (41,4), лютому 1982 року (35,5), липні 1985 року (40,3). Основні мінімуми у серпні 1982 року (-6), травні 1983 року (-10,1), вересні 1984 року (-8,6),квітні 1985 року (-6). Середні значення періодично коливаються у межах 3-14.

Для періоду 2016 – 2020 рр. : максимальні значення значно впливовіші за мінімальні. Основні максимуми у січні 2016 року (25), лютому 2017 року (22,8), березні 2018 року (25,7). Основні мінімуми у серпні 2017 року (-4,4), червні 2019 року (-5,9), червні 2020 року (-14,7).Середні значення коливаються у межах 1-13.

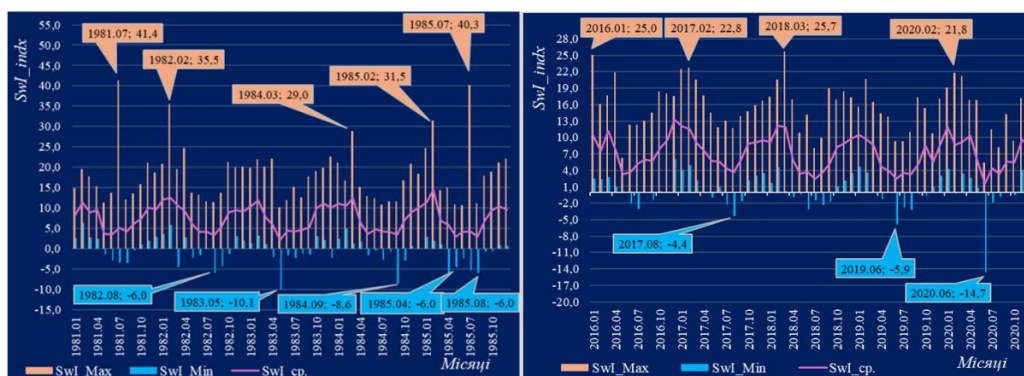


Рис.3.28. Динаміка індекса нестійкості Showalter за досліджувані періоди для метеорологічної станції Львів

## 2) Індекс SWEAT (Рис.3.29):

Для періоду 1981 – 1985 рр. : максимальні значення набагато впливовіші за мінімальні із основними значеннями у травні 1983 року (554,8), вересні 1984 року (464), квітні 1985 року (488). Середні значення коливаються у межах 50 -150.

Для періоду 2016 – 2020 рр. : максимальні значення набагато впливовіші за мінімальні із основними значеннями у грудні 2016 року (470,1), червні 2019 року (543,6), червні 2020 року (736,6). Середні значення коливаються у межах 50 - 200.

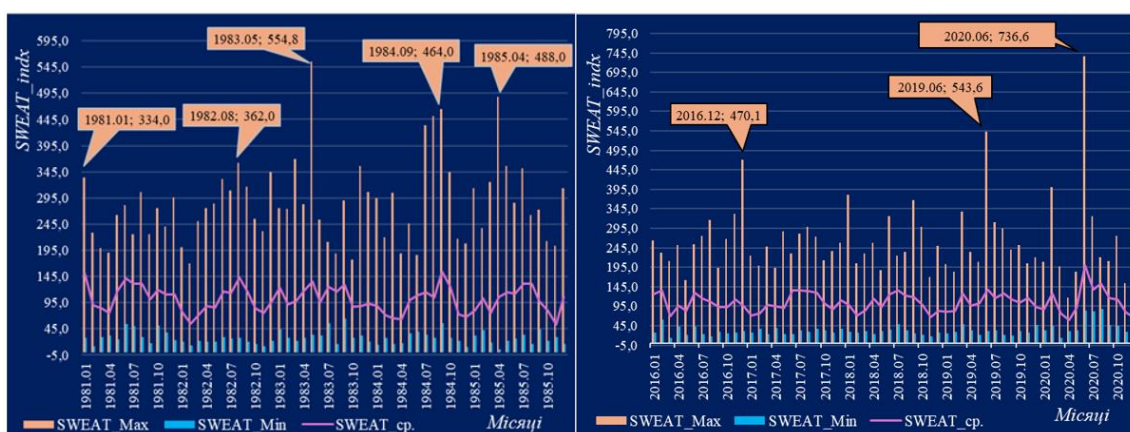


Рис.3.29. Динаміка індекса нестійкості SWEAT index за досліджувані періоди для метеорологічної станції Львів

## 3) Індекс К (Рис.3.30):

Для періоду 1981 – 1985 рр. : простежується коливання максимальних та мінімальних значень майже в одній фазі, із основними максимумами у серпні 1982 року (43,5), травні 1983 року (45,6), вересні 1984 року (46,1), листопаді 1985 року (70,2). Основні мінімуми у липні 1981 року (-45,8), листопаді 1981 року (-40,7), листопаді 1983 року (-48,1). Середні значення періодично коливається у межах (-1 – 25).

Для періоду 2016 – 2020 рр. : простежується більше максимальних значень, ніж мінімальних, з основними максимумами у серпні 2017 року (41,7), червні 2018 року (38,3), червні 2020 року (48). Основні мінімуми у січні 2016 року (-29,4), січні 2019 року (-30,4), лютому 2020 (-30,5). Середні значення періодично коливаються у межах -2 – 30.

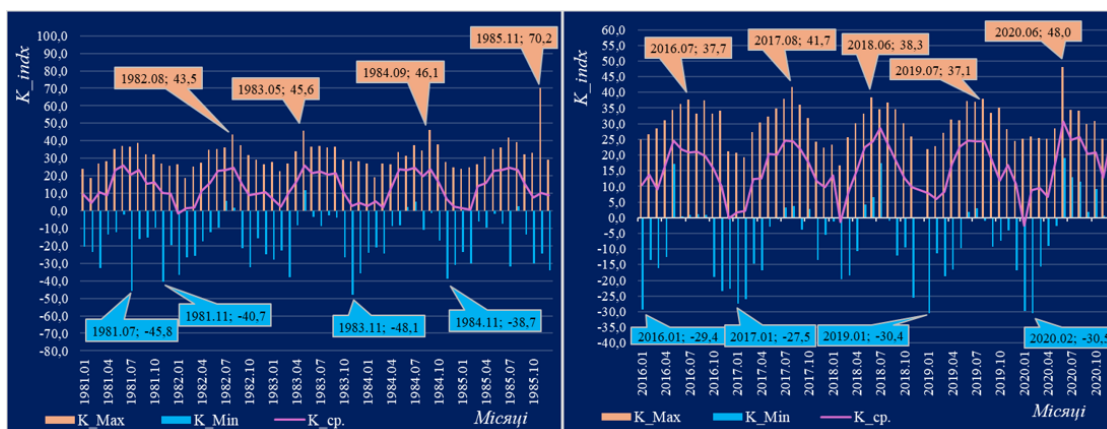


Рис.3.30. Динаміка індекса нестійкості К за досліджувані періоди для метеорологічної станції Львів

#### 4) Індекс Cross totals (Рис.3.31):

Для періоду 1981 – 1985 рр. : простежується більше максимальних значень, ніж мінімальних, з основними максимумами у березні 1983 року (30,6), травні 1983 року (32,1), листопаді 1983 року (30,6), квітні 1985 року (34,7). Мінімуми у липні 1981 року (-21,3), жовтні 1982 року (-16,3), листопаді 1983 року (-16,5). Середні значення коливаються у межах 15 -23.

Для періоду 2016 – 2020 рр. : простежується більше максимальних значень ніж мінімальних, з основними максимумами у січні 2018 року (28,9), березні 2019 року (29,3), червні 2020 року (37,5) і мінімумами у січні 2017 року (-7,6), січні 2020 року (-9,6). Середні значення коливаються у межах 13-22.

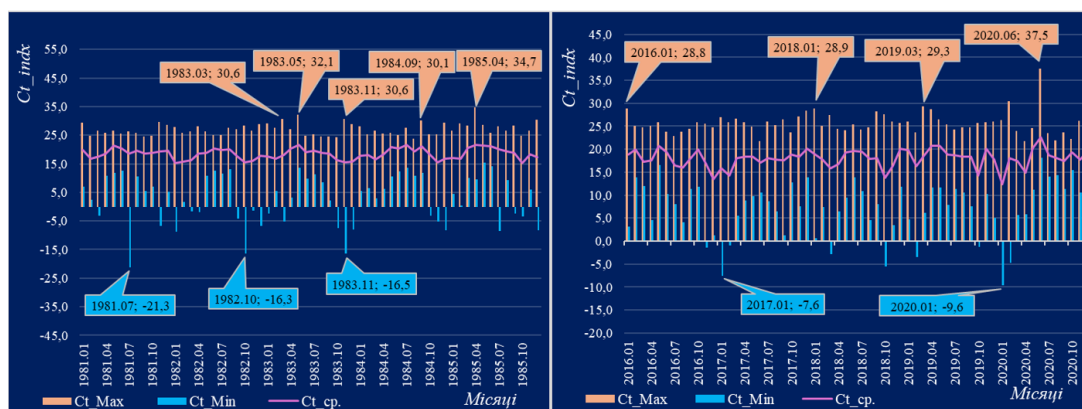


Рис.3.31. Динаміка індекса нестійкості Cross totals за досліджувані періоди для метеорологічної станції Львів

### 5) Індекс Vertical totals (Рис.3.32):

Для періоду 1981 – 1985 рр. : простежується більший вплив максимальних значень, ніж мінімальних, із основними максимумами у березні 1982 року (44,7), травні 1983 року (36,3), квітні 1985 року (34,7). Основні мінімальні значення простежувалися у липні 1981 року (-6,3), лютому 1982 року (-7,8), липні 1985 року (-6,4). Середні значення періодично коливалися у межах 19 - 26.

Для періоду 2016 – 2020 рр. : простежується більш впливові максимальні значення, ніж мінімальні, з основними максимумами у серпні 2017 року (34,5), липні 2019 року (34,3), червні 2020 (40,7). Середні значення коливаються у межах 20– 27.

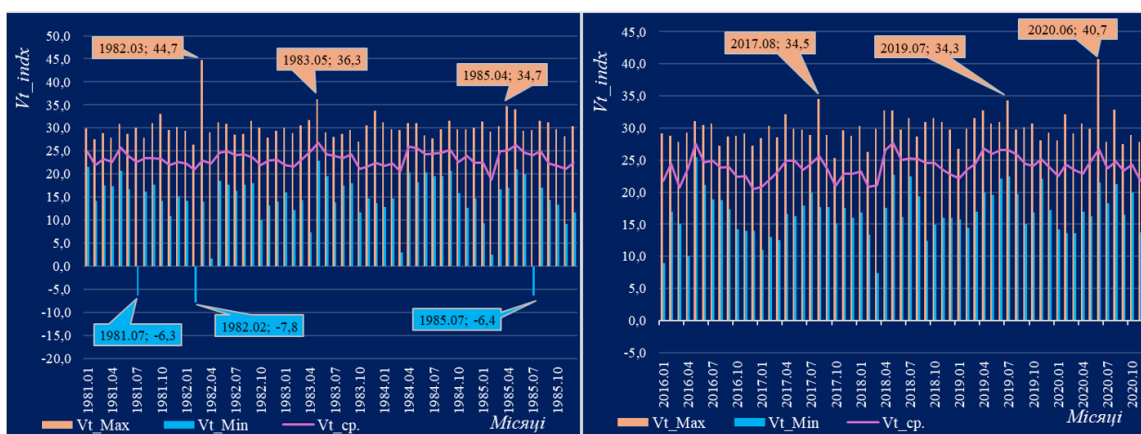


Рис.3.32. Динаміка індекса нестійкості Vertical totals за досліджувані періоди для метеорологічної станції Львів

### 6) Індекс Totals totals (Рис.3.33):

Для періоду 1981 – 1985 рр. : простежується переважаючі максимальні значення над мінімальними, із основними максимумами у травні 1983 року (68,4), грудні 1983 року (62,6), квітні 1985 року (69,4). Основні мінімуми спостерігалися у липні 1981 року (-27,6), липні 1985 року (-14,9). Середні значення періодично коливалися у межах 35 – 49.

Для періоду 2016 – 2020 рр. : простежується переважаючі максимальні значення над мінімальними, із основними максимумами у січні 2016 року (58),

січні 2018 року (58,7), березні 2019 року (60,5), лютому 2020 року (62,6), червні 2020 року (78,2). Середні значення періодично коливалися у межах 34 - 50.

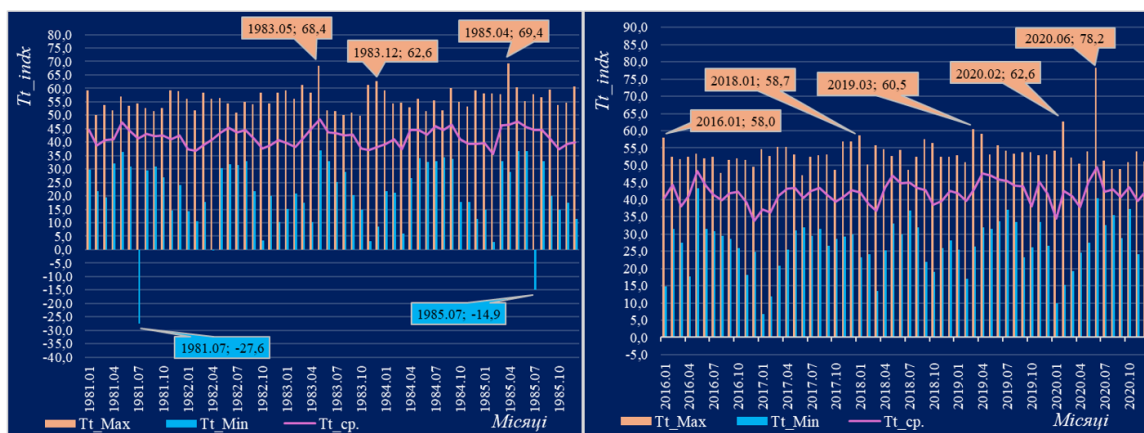


Рис.3.33. Динаміка індекса нестійкості Totals totals за досліджувані періоди для метеорологічної станції Львів

#### 7) Індекс CAPE (Рис.3.34):

Для періоду 1981 – 1985 рр. : максимальні значення настільки переважають, що мінімальні значення навіть не простежуються на загальному розподілі. Отже основні максимальні значення спостерігалися липні 1981 року (2270,8), квітні 1983 року (2153,2), липні 1984 року (2671), серпні 1985 року (4011,5). Середні значення коливались у межах 0 – 320.

Для періоду 2016 – 2020 рр. : характер переважання максимальних значень аналогічне до попереднього періоду з основними максимумами у липні 2016 року (992,4), серпні 2018 року (2449,6), червні 2019 року (2196,5), червень 2020 року (2818,5). Середні значення коливаються у межах 0 – 400.

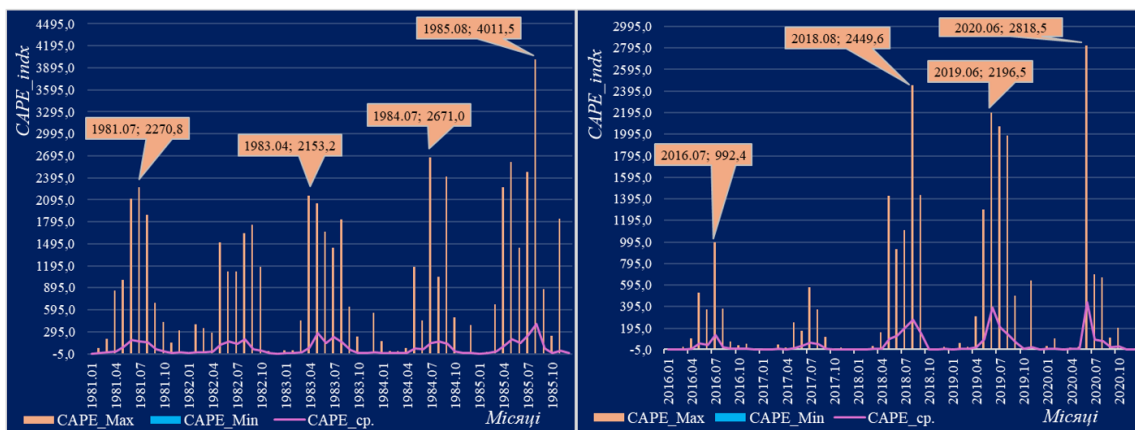


Рис.3.34. Динаміка індекса нестійкості Convective Available Potential Energy за досліджувані періоди для метеорологічної станції Львів

8) Індекс CAPV (Рис.3.35): динаміка віддзеркалює динаміку CAPE, але значення дещо більші :

Для періоду 1981 – 1985 рр. : Основні максимуми спостерігаються у липні 1981 року (2458,4), квітні 1983 року (2205,3), липні 1984 року (2774,4), серпні 1985 року (4276,2). Середні значення коливаються у межах 0 – 450.

Для періоду 2016 – 2020 рр. : Основні максимуми спостерігаються у липні 2016 року (1134), серпні 2018 (2608,2), червні 2019 року (2339,3), червні 2020 року (2921,4). Середні значення коливаються у межах 0 - 450.

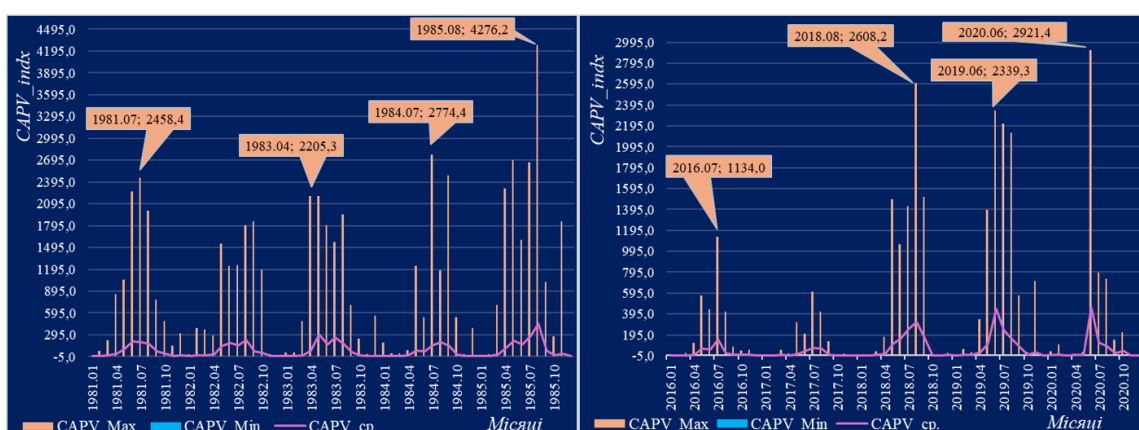


Рис.3.35. Динаміка індекса нестійкості CAPE using virtual temperature за досліджувані періоди для метеорологічної станції Львів

На рис. 3.36 представлено результати кореляції між впливовішими індексами нестійкості атмосфери, та числом днів з грозою за досліджувані періоди та регіони. Були побудовані матриці кореляцій за допомогою мовного пакету Python, у середовищі Spyder, за методологією яку представлено у 2 розділі.

Матриця кореляції_Харків(1981 - 1985)									
г/м	SwIndx Min	SWEAT Max	Kindx Max	Ctindx Max	Vtindx Max	Ttindx Max	CAPE Max	CAPV Max	
г/м	1.00000	-0.82130	0.43960	0.81478	0.48111	0.77983	0.69411	0.75097	0.76557
SwIndx Min	-0.82130	1.00000	-0.54936	-0.96777	-0.66653	-0.90383	-0.87040	-0.83154	-0.81486
SWEAT Max	0.43960	-0.54936	1.00000	0.56977	0.70474	0.51701	0.67636	0.53904	0.50872
Kindx Max	0.81478	-0.96777	0.56977	1.00000	0.69822	0.84050	0.85338	0.80594	0.78654
Ctindx Max	0.48111	-0.66653	0.70474	0.69822	1.00000	0.62752	0.90589	0.52329	0.48512
Vtindx Max	0.77983	-0.90383	0.51701	0.84050	0.62752	1.00000	0.88929	0.72479	0.72880
Ttindx Max	0.69411	-0.87040	0.67636	0.85338	0.90589	0.88929	1.00000	0.69122	0.67392
CAPE Max	0.75097	-0.83154	0.53904	0.80594	0.52329	0.72479	0.69122	1.00000	0.96345
CAPV Max	0.76557	-0.81486	0.50872	0.78654	0.48512	0.72880	0.67392	0.96345	1.00000
Матриця кореляції_Харків(2016 - 2020)									
г/м	SwIndx Min	SWEAT Max	Kindx Max	Ctindx Max	Vtindx Max	Ttindx Max	CAPE Max	CAPV Max	
г/м	1.00000	-0.75127	0.45335	0.77479	0.48290	0.65587	0.67019	0.59588	0.60470
SwIndx Min	-0.75127	1.00000	-0.53797	-0.96069	-0.48605	-0.92666	-0.83359	-0.66477	-0.68027
SWEAT Max	0.45335	-0.53797	1.00000	0.54617	0.44686	0.39865	0.50748	0.58409	0.58747
Kindx Max	0.77479	-0.96069	0.54617	1.00000	0.48983	0.83307	0.78066	0.68424	0.69864
Ctindx Max	0.48290	-0.48605	0.44686	0.48983	1.00000	0.42002	0.84834	0.37748	0.37955
Vtindx Max	0.65587	-0.92666	0.39865	0.83307	0.42002	1.00000	0.83546	0.51855	0.53259
Ttindx Max	0.67019	-0.83359	0.50748	0.78066	0.84834	0.83546	1.00000	0.53059	0.53999
CAPE Max	0.59588	-0.66477	0.58409	0.68424	0.37748	0.51855	0.53059	1.00000	0.99905
CAPV Max	0.60470	-0.68027	0.58747	0.69864	0.37955	0.53259	0.53999	0.99905	1.00000
Матриця кореляції_Одеса(1981 - 1985)									
г/м	SwIndx Min	SWEAT Max	Kindx Max	Ctindx Max	Vtindx Max	Ttindx Max	CAPE Max	CAPV Max	
г/м	1.00000	-0.74092	0.55451	0.75198	0.50714	0.57337	0.60484	0.65532	0.66088
SwIndx Min	-0.74092	1.00000	-0.64366	-0.97553	-0.69684	-0.85116	-0.85585	-0.76247	-0.76801
SWEAT Max	0.55451	-0.64366	1.00000	0.62829	0.60256	0.46430	0.63928	0.58728	0.58928
Kindx Max	0.75198	-0.97553	0.62829	1.00000	0.70478	0.79073	0.82765	0.75140	0.75824
Ctindx Max	0.50714	-0.69684	0.60256	0.70478	1.00000	0.61801	0.93828	0.46310	0.46228
Vtindx Max	0.57337	-0.85116	0.46430	0.79073	0.61801	1.00000	0.83147	0.57255	0.57395
Ttindx Max	0.60484	-0.85585	0.63928	0.82765	0.93828	0.83147	1.00000	0.57580	0.57628
CAPE Max	0.65532	-0.76247	0.58728	0.75140	0.46310	0.57255	0.57580	1.00000	0.99970
CAPV Max	0.66088	-0.76801	0.58928	0.75824	0.46228	0.57395	0.57628	0.99970	1.00000
Матриця кореляції_Одеса(2016 - 2020)									
г/м	SwIndx Min	SWEAT Max	Kindx Max	Ctindx Max	Vtindx Max	Ttindx Max	CAPE Max	CAPV Max	
г/м	1.00000	-0.78947	0.59665	0.43909	0.60995	0.58613	0.78037	0.79093	
SwIndx Min	-0.78947	1.00000	-0.67989	-0.95473	-0.66634	-0.87290	-0.86379	-0.74078	-0.75041
SWEAT Max	0.59665	-0.67989	1.00000	0.65510	0.54515	0.44997	0.57366	0.67109	0.67828
Kindx Max	0.43909	-0.95473	0.65510	1.00000	0.66990	0.74608	0.80452	0.71325	0.72481
Ctindx Max	0.60995	-0.66634	0.54515	0.66990	1.00000	0.54585	0.90780	0.43658	0.43827
Vtindx Max	0.58613	-0.87290	0.44997	0.74608	0.54585	1.00000	0.84576	0.60188	0.60430
Ttindx Max	0.78037	-0.86379	0.57366	0.80452	0.90780	0.84576	1.00000	0.57942	0.58180
CAPE Max	0.79093	-0.74078	0.67109	0.71325	0.43658	0.60188	0.57942	1.00000	0.99953
CAPV Max	0.79093	-0.75041	0.67828	0.72481	0.43827	0.60430	0.58180	0.99953	1.00000
Матриця кореляції_Львів(1981 - 1985)									
г/м	SwIndx Min	SWEAT Max	Kindx Max	Ctindx Max	Vtindx Max	Ttindx Max	CAPE Max	CAPV Max	
г/м	1.00000	-0.74875	0.51517	0.74857	0.52772	0.54439	0.50985	0.62456	0.63604
SwIndx Min	-0.74875	1.00000	-0.70956	-0.96533	-0.75966	-0.81483	-0.81816	-0.79636	-0.80217
SWEAT Max	0.51517	-0.70956	1.00000	0.73801	0.71531	0.51995	0.66786	0.60727	0.60823
Kindx Max	0.74857	-0.96533	0.73801	1.00000	0.77359	0.70578	0.77260	0.67823	0.77535
Ctindx Max	0.52772	-0.75966	0.71531	0.77359	1.00000	0.72395	0.91063	0.51619	0.51597
Vtindx Max	0.54439	-0.81483	0.51995	0.70578	0.72395	1.00000	0.88615	0.53705	0.53478
Ttindx Max	0.50985	-0.81816	0.66786	0.77260	0.91063	0.88615	1.00000	0.59008	0.58742
CAPE Max	0.62456	-0.79636	0.60727	0.67823	0.51619	0.53705	0.59008	1.00000	0.99929
CAPV Max	0.63604	-0.80217	0.60823	0.77535	0.51597	0.53478	0.58742	0.99929	1.00000
Матриця кореляції_Львів(2016 - 2020)									
г/м	SwIndx Min	SWEAT Max	Kindx Max	Ctindx Max	Vtindx Max	Ttindx Max	CAPE Max	CAPV Max	
г/м	1.00000	-0.78544	0.62168	0.41430	0.37756	0.61015	0.58017	0.77300	0.78594
SwIndx Min	-0.78544	1.00000	-0.66275	-0.52773	-0.53452	-0.86245	-0.81541	-0.66372	-0.67956
SWEAT Max	0.62168	-0.66275	1.00000	0.31642	0.35286	0.47127	0.48700	0.61672	0.61706
Kindx Max	0.41430	-0.52773	0.31642	1.00000	0.49727	0.39066	0.52018	0.34659	0.35406
Ctindx Max	0.37756	-0.53452	0.35286	0.49727	1.00000	0.43739	0.86313	0.34302	0.34089
Vtindx Max	0.61015	-0.86245	0.47127	0.39066	0.43739	1.00000	0.82977	0.54691	0.55272
Ttindx Max	0.58017	-0.81541	0.48700	0.52018	0.86313	0.82977	1.00000	0.52952	0.53175
CAPE Max	0.77300	-0.66372	0.61672	0.34659	0.34302	0.54691	0.52952	1.00000	0.99816
CAPV Max	0.78594	-0.67956	0.61706	0.35406	0.34089	0.55272	0.53175	0.99816	1.00000

Рис.3.36. Матриці кореляції індексів нестійкості атмосфери та числа днів з грозою для метеорологічних станцій Харків, Одеса, Львів за досліджувані періоди

Видно, що незалежно від регіону, або періоду часу зв'язок між індексами нестійкості атмосфери та числом днів з грозою, є доволі непоганим, коефіцієнт кореляції коливається у межах  $\mp 0,38 - \mp 0,82$ . Зміна регіонів майже не вплинула на показники коефіцієнта кореляції, але видно, що у Львові значення індексу  $K$  відчутно відрізняються від значень в Одесі або Харкові. Так  $K_{indx\ Max}$  в Харкові та Одесі становить  $\mp 0,75 - \mp 0,82$  а для Львову ці значення становлять  $\mp 0,41 - \mp 0,75$ .

Кореляційний зв'язок між індексами в цілому вказує на схожість індексів за своєю дією. Значення коливаються у широкому діапазоні, але більшість значень припадає на діапазон  $> \mp 0,50$ , що є помірною, високою та дуже високою кореляцією. Деякі значення мають майже функціональний зв'язок ( $> \pm 0,90$ ). Такі індекси як  $CAPE$ ,  $CAPV$  мають функціональний зв'язок, але це зрозуміло бо індекси базуються на одному принципі, тільки  $CAPV$  враховує віртуальну частку температури повітря. Індекси  $Ct$  і  $Vt$  мають високу кореляцію з індексом  $Tt$ , це зрозуміло, оскільки значення цього індексу є сумою попередніх.

У індекса нестійкості атмосфери  $Swindx$  спостерігається обернений зв'язок кореляції між усіма індексами та також з числом днів з грозою. Це має місце, бо менші значення цього індексу відповідають ймовірності конвективної діяльності. Тому, більші значення різних індексів та числа днів з грозою, відповідають меншим значенням  $Swindx$ .

З 2 розділу даної роботи видно, що фактичні значення індексів оцінюються критеріями, які вказують на ймовірність утворення у атмосфері конвективних явищ. Для даного досліджування беруться фактичні максимальні значення або мінімальні за кожний місяць, залежно від їх позитивного впливу на ймовірність виникнення конвективних явищ та грози. Вони не відрізняються від фактичного напів - добового значення або добового, тому їх оцінка ймовірності виникнення конвективних явищ, відповідає й фактичним критеріям. А середні значення, значно відрізняються від фактичних значень, тому їх оцінка відповідає значенню,

що вказує на тенденцію до виконання умов фактичного критерію. Наприклад, для індексу SWEAT значення фактичного критерію, за якого є ймовірність конвекції дорівнює 250, то якщо середнє значення відповідає 50%+ і більше, тоді оцінюємо як тенденцію до виконання умов фактичного критерію, тобто можливості виникнення конвективних явищ.

Тому, для кожного індексу були підібрані такі критерії для оцінки справджуваності грозової діяльності за досліджувані періоди та регіони:

*I. Showalter index:* справджуваність, якщо виконуються наступні умови:

- 1)  $1 \leq \text{грози} > 0$  а  $\text{Мін.} < 1$  (ймовірна гроза);
- 2)  $< 3$  сер. (узято значення у якості критерія для середнього значення із розрахунку, що 5 це 50% між 1 і 10, отже 3 -80%, ймовірна гроза) за  $\text{грози} > 0$ ;
- 3) 0 гроз за сер.  $> 3$  та  $\text{Мін.} \geq 1$  (грози неймовірні).

*II. SWEAT index:* справджуваність, якщо виконуються наступні умови:

- 1)  $1 \leq \text{грози} > 0$  а  $\text{Макс.} \geq 250$  (ймовірна гроза) та сер.  $< 125$ ;
- 2)  $> 125$  сер. (50% від 250(ймовірна гроза)), за  $\text{грози} > 0$ ;
- 3) 0 гроз за сер.  $< 125$  та  $\text{Макс.} \leq 250$  (грози неймовірні).

*III. K index:* справджуваність, якщо виконуються наступні умови:

- 1)  $1 \leq \text{грози} > 0$  а  $\text{Макс.} \geq 20$ ; сер.  $\leq 15$ ;
- 2)  $> 15$  сер. (50% від 30(ймовірна гроза)), за  $\text{грози} > 0$ ;
- 3) 0 гроз за сер.  $< 15$  та  $\text{Макс.} \leq 20$  (грози неймовірні).

*IV. Cross totals index:* справджуваність, якщо виконуються наступні умови:

- 1)  $1 \leq \text{грози} > 0$  а  $\text{Макс.} \geq 21$ ; сер.  $\leq 18$ ;
- 2)  $> 18$  сер. (ймовірна гроза), за  $\text{грози} > 0$ ;
- 3) 0 гроз за сер.  $< 18$  та  $\text{Макс.} \leq 21$  (грози неймовірні).

*V. Vertical totals index:* справджуваність, якщо виконуються наступні умови:

- 1)  $1 \leq \text{грози} > 0$  а Макс.  $\geq 28$ ; сер.  $\leq 24$ ;
- 2)  $> 24$  сер.( 85% від 28 ймовірна гроза), за гроз  $> 0$ ;
- 3) 0 гроз за сер.  $< 24$  та Макс.  $\leq 28$ (грози неймовірні).

*VI. Totals totals index:* справджуваність, якщо виконуються наступні умови:

- 1)  $1 \leq \text{грози} > 0$  а Макс.  $\geq 45$ ; сер.  $\leq 44$ ;
- 2)  $> 44$  сер.(ймовірна гроза), при гроз  $> 0$ ;
- 3) 0 гроз за сер.  $< 44$  та Макс.  $\leq 45$ (грози неймовірні).

*VII. Convective Available Potential Energy:* справджуваність, якщо виконуються наступні умови:

- 1)  $1 \leq \text{грози} > 0$  а Макс.  $\geq 700$  Дж/кг; сер.  $\leq 200$  Дж/кг;
- 2)  $> 200$  Дж/кг сер.( 50% від 400 Дж/кг (ймовірна гроза)), за гроз  $> 0$ ;
- 3) 0 гроз за сер.  $< 200$  Дж/кг та Макс.  $\leq 700$  Дж/кг (грози неймовірні).

*VIII. CAPE using virtual temperature:* справджуваність, якщо виконуються наступні умови:

- 1)  $1 \leq \text{грози} > 0$  а Макс.  $\geq 700$  Дж/кг; сер.  $\leq 200$  Дж/кг;
- 2)  $> 200$  Дж/кг сер.( 50% від 400 Дж/кг (ймовірна гроза)), за гроз  $> 0$ ;
- 3) 0 гроз за сер.  $< 200$  Дж/кг та Макс.  $\leq 700$  Дж/кг (грози неймовірні).

Результати:

У таблиці 3.2 представлено результати аналізу сезонної справджуваності прогнозу конвективної діяльності та по рр. , за критеріями вище, для 3 регіонів і 2-х періодів дослідження і представлено середні значення числа днів з грозою по місяцях і рр. за досліджувані періоди. Також, середня тривалість гроз по місяцях і рр. за досліджувані періоди.

Загалом краще справдилися значення справджуваності прогнозу конвективної діяльності за теплий період року, ніж за холодний.

Отже з результатів цієї таблиці видно, що краще справдилися індекси нестійкості, періоду 1981 – 1985 рр. ніж періоду 2016 -2020 рр. Це пояснюється скоріше за все більш деталізованою базою даних для першого періоду, для якого бралися 2 значення за добу.

Результати справджуваностей:

Харків:

*I. Showalter index (1981 – 1985 pp.):* 7 справджуваностей, 5 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом за період для регіону значення несправдилося.

*Showalter index (2016 – 2020 pp.):* 3 справджуваності, 9 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилося.

*II. SWEAT index (1981 – 1985 pp.):* 6 справджуваностей, 6 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом справдилося.

*SWEAT index (2016 – 2020 pp.):* 5 справджуваностей, 7 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилося.

*III. K index (1981 – 1985 pp.):* 6 справджуваностей, 6 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом справдилося.

*K index (2016 – 2020 pp.):* 8 справджуваностей, 4 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилося.

*IV. Cross totals index (1981 – 1985 pp.):* 7 справджуваностей, 5 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом справдилося.

*Cross totals index (2016 – 2020 pp.):* 6 справджуваностей, 6 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилося.

*V. Vertical totals index (1981 – 1985 pp.):* 6 справджуваностей, 6 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом справдилося.

*Vertical totals index (2016 – 2020 pp.):* 8 справджуваностей, 4 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом справдилося.

*VI. Totals totals index (1981 – 1985 pp.):* 11 справджуваностей, 1 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом справдилося.

*Totals totals index (2016 – 2020 pp.):* 9 справджуваностей, 3 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилося.

*VII. Convective Available Potential Energy (1981 – 1985 pp.):* 7 справджуваностей, 5 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилося.

*Convective Available Potential Energy (2016 – 2020 pp.):* 3 справджуваностей, 9 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилося.

*VIII. CAPE using virtual temperature (1981 – 1985 pp.):* 8 справджуваностей, 4 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилося.

*CAPE using virtual temperature (2016 – 2020 pp.):* 3 справджуваностей, 9 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилося.

Одеса:

*I. Showalter index (1981 – 1985 pp.):* 6 справджуваностей, 6 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом за період для регіону значення несправдилося.

*Showalter index (2016 – 2020 pp.):* 6 справджуваностей, 6 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом за період для регіону значення несправдилося.

*II. SWEAT index (1981 – 1985 pp.):* 7 справджуваностей, 5 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилося.

*SWEAT index (2016 – 2020 pp.):* 6 справджуваностей, 6 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом за період для регіону значення несправдилося.

III. *K index (1981 – 1985 pp.):* 7 справджуваностей, 5 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом справдилося.

*K index (2016 – 2020 pp.):* 7 справджуваностей, 5 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилося.

IV. *Cross totals index (1981 – 1985 pp.):* 7 справджуваностей, 5 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом справдилося.

*Cross totals index (2016 – 2020 pp.):* 5 справджуваностей, 7 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилося.

V. *Vertical totals index (1981 – 1985 pp.):* 7 справджуваностей, 5 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом справдилося.

*Vertical totals index (2016 – 2020 pp.):* 7 справджуваностей, 5 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом справдилося.

VI. *Totals totals index (1981 – 1985 pp.):* 12 справджуваностей, 0 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилося.

*Totals totals index (2016 – 2020 pp.):* 9 справджуваностей, 3 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилося.

VII. *Convective Available Potential Energy (1981 – 1985 pp.):* 9 справджуваностей, 3 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилося.

*Convective Available Potential Energy (2016 – 2020 pp.):* 3 справджуваностей, 9 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилося.

VIII. *CAPE using virtual temperature (1981 – 1985 pp.):* 9 справджуваностей, 3 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилося.

*CAPE using virtual temperature (2016 – 2020 pp.):* 3 справджуваностей, 9 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилося.

Львів:

I. *Showalter index (1981 – 1985 pp.)*: 7 справджуваностей, 5 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом за період для регіону значення несправдилосья.

*Showalter index (2016 – 2020 pp.)*: 3 справджуваності, 9 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилосья.

II. *SWEAT index (1981 – 1985 pp.)*: 10 справджуваностей, 2 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилосья.

*SWEAT index (2016 – 2020 pp.)*: 4 справджуваностей, 8 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилосья.

III. *K index (1981 – 1985 pp.)*: 10 справджуваностей, 2 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом справдилосья.

*K index (2016 – 2020 pp.)*: 6 справджуваностей, 6 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом справдилосья.

IV. *Cross totals index (1981 – 1985 pp.)*: 10 справджуваностей, 2 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом справдилосья.

*Cross totals index (2016 – 2020 pp.)*: 4 справджуваностей, 8 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом справдилосья.

V. *Vertical totals index (1981 – 1985 pp.)*: 10 справджуваностей, 2 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом справдилосья.

*Vertical totals index (2016 – 2020 pp.)*: 6 справджуваностей, 6 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилосья.

VI. *Totals totals index (1981 – 1985 pp.)*: 12 справджуваностей, 0 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом справдилосья.

*Totals totals index (2016 – 2020 pp.)*: 8 справджуваностей, 4 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилосья.

VII. *Convective Available Potential Energy (1981 – 1985 pp.)*: 9 справджуваностей, 3 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилосья.

*Convective Available Potential Energy (2016 – 2020 pp.):* 6 справджуваностей, 6 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилось.

*VIII. CAPE using virtual temperature (1981 – 1985 pp.):* 10 справджуваностей, 2 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилось.

*CAPE using virtual temperature (2016 – 2020 pp.):* 5 справджуваностей, 7 несправджуваностей за сезонною оцінкою, загалом несправдилось.

Таблиця 3.2. Сезонний та річний розподіл і аналіз індексів нестійкості атмосфери та справджуваностей прогнозу грозової діяльності за ними за досліджувані періоди

Досл. Періоди(рр.) та назва регіону	Значення досліджуваних параметрів та їх аналіз																								Середня кількість вдз г/м	Гризалість г/м	
	Showalter index			SWEAT index			K index			Cross totals index			Vertical totals index			Totals totals index			Convective Available Potential Energy			CAPE using virtual temperature					
	Мін.	Ср.	Ср - ієть	Масс.	Ср.	Ср - ієть	Масс.	Ср.	Ср - ієть	Масс.	Ср.	Ср - ієть	Масс.	Ср.	Ср - ієть	Масс.	Ср.	Ср - ієть	Масс.	Ср.	Ср - ієть	Масс.	Ср.	Ср - ієть			
Харків(1981-1985)	I	-17,8	8,8	Hi	691,9	142,8	Hi	41,5	9,4	Hi	29,8	20,3	Hi	62,5	23,8	Hi	82,0	43,7	Так	2244,1	12,9	Hi	2246,2	13,2	Hi	0,0	0,0
	II	-51,4	9,8	Hi	2418,0	128,2	Hi	74,4	5,5	Hi	82,3	19,3	Hi	83,6	23,7	Hi	165,9	42,6	Так	2899,5	36,9	Hi	2904,6	37,0	Hi	0,0	0,0
	III	-0,3	9,3	Hi	382,0	97,9	Hi	29,9	5,5	Hi	31,7	18,0	Hi	32,7	23,4	Hi	63,7	41,0	Так	2127,7	29,5	Hi	2140,5	31,0	Hi	0,0	0,0
	IV	-4,2	6,6	Так	272,2	104,7	Так	34,1	15,5	Так	31,0	20,3	Так	33,3	25,4	Так	66,3	45,2	Так	1244,5	39,4	Так	1259,2	43,3	Так	1,0	1,2
	V	-7,3	2,5	Так	552,0	135,6	Так	41,3	24,2	Так	35,2	21,3	Так	38,9	28,0	Так	74,1	48,9	Так	3018,0	189,2	Hi	3138,1	213,0	Так	6,4	9,2
	VI	-5,6	2,3	Так	528,7	157,2	Так	42,5	26,7	Так	27,9	21,4	Так	36,7	26,9	Так	60,4	48,1	Так	2806,4	253,9	Так	2930,3	289,7	Так	8,8	17,2
	VII	-4,5	1,5	Так	334,8	160,4	Так	41,4	28,4	Так	27,9	21,7	Так	32,5	26,8	Так	58,0	48,3	Так	4896,6	310,0	Так	5001,2	292,8	Так	5,4	13,0
	VIII	-4,6	2,5	Так	348,8	142,3	Так	39,0	25,3	Так	26,6	20,6	Так	32,9	26,3	Так	54,6	46,6	Так	3969,7	273,6	Так	4010,8	302,7	Так	5,4	10,6
	IX	-3,4	5,5	Так	328,3	128,7	Так	38,6	17,9	Так	27,4	19,0	Так	32,3	24,5	Так	58,0	43,3	Так	3616,8	83,2	Так	3727,7	93,9	Так	1,0	0,8
	X	-5,1	8,1	Hi	450,4	113,9	Hi	39,7	13,2	Hi	29,6	18,0	Hi	32,3	23,5	Hi	61,9	40,8	Hi	1699,3	45,2	Hi	1701,4	47,2	Hi	1,8	2,8
	XI	-0,7	9,4	Так	349,9	105,4	Hi	31,3	7,7	Hi	29,5	17,8	Hi	29,6	23,4	Hi	59,1	40,7	Так	127,1	1,4	Так	127,1	1,6	Так	0,0	0,0
	XII	-10,4	9,5	Hi	635,6	125,8	Hi	46,2	8,3	Hi	33,1	18,9	Hi	34,9	23,2	Hi	68,0	41,5	Так	274,3	5,6	Так	286,5	5,8	Так	0,0	0,0
	Рік	-9,5	6,3	Hi	607,7	128,6	Hi	41,7	15,6	Так	34,3	19,7	Так	40,3	24,9	Так	72,7	44,2	Так	2410,3	106,7	Hi	2456,1	114,3	Hi	2,5	4,6
Харків(2016-2020)	I	1,2	11,1	Так	328,5	92,4	Hi	28,5	3,8	Hi	29,1	17,6	Hi	30,0	22,1	Hi	59,1	39,7	Так	6,5	0,1	Так	7,4	0,1	Так	0,0	0,0
	II	-16,6	11,0	Hi	1037,3	103,9	Hi	30,8	3,5	Hi	46,1	16,5	Hi	83,6	21,8	Hi	95,9	38,4	Так	52,0	0,7	Так	55,1	0,7	Так	0,0	0,0
	III	-1,8	9,8	Hi	266,8	89,9	Так	28,2	5,0	Так	29,1	17,1	Так	32,1	23,3	Так	58,5	40,4	Так	28,2	0,4	Hi	33,5	0,5	Hi	0,4	0,4
	IV	-0,4	7,2	Так	552,7	90,9	Так	31,7	11,5	Так	28,1	17,7	Так	32,2	25,6	Так	57,0	43,3	Так	46,9	1,1	Hi	57,8	1,5	Hi	1,0	1,2
	V	-1,2	4,3	Hi	271,2	100,9	Hi	35,5	20,4	Так	27,6	19,9	Так	29,7	26,5	Так	56,8	46,4	Так	611,8	34,1	Hi	651,3	40,2	Hi	8,2	16,2
	VI	-3,8	4,2	Hi	401,8	117,0	Hi	35,2	21,5	Так	25,7	17,8	Hi	34,3	26,1	Так	55,8	43,9	Hi	1493,5	81,8	Hi	1623,7	94,3	Hi	5,4	12,6
	VII	-3,2	3,6	Hi	317,1	125,2	Так	33,7	23,8	Так	24,7	18,1	Так	34,1	26,0	Так	54,4	44,1	Так	1177,0	118,8	Hi	1337,4	139,5	Hi	7,0	17,6
	VIII	-3,7	4,9	Hi	318,4	107,3	Hi	38,3	19,1	Так	27,5	16,6	Hi	32,9	25,4	Так	58,2	41,9	Hi	640,8	30,9	Hi	815,7	40,1	Hi	4,0	9,6
	IX	-1,5	7,7	Так	321,8	93,3	Так	33,6	14,1	Так	28,2	15,3	Так	33,3	23,9	Так	58,9	39,1	Так	214,4	3,5	Hi	293,1	4,9	Hi	0,8	0,6
	X	0,2	9,2	Hi	264,3	90,0	Hi	31,3	9,8	Hi	26,2	15,4	Hi	30,9	22,6	Hi	53,8	40,3	Hi	3,7	0,1	Hi	4,7	0,4	Hi	1,4	3,0
	XI	1,8	10,4	Hi	282,1	79,5	Так	30,0	5,7	Так	25,1	15,1	Так	29,7	22,6	Так	52,1	37,6	Так	43,2	0,5	Hi	48,8	0,6	Hi	0,4	0,2
	XII	-0,8	10,2	Hi	335,7	101,2	Hi	30,8	6,2	Hi	28,6	17,6	Hi	29,7	22,4	Hi	58,2	40,0	Так	4,1	0,0	Так	5,1	0,0	Так	0,0	0,0
	Рік	-2,2	7,8	Hi	391,5	99,3	Hi	32,3	12,0	Hi	28,8	17,1	Hi	36,0	22,0	Так	59,9	41,3	Так	360,2	22,7	Hi	411,1	26,9	Hi	2,4	5,1
Одеса(1981-1985)	I	-26,5	9,0	Hi	1302,8	119,5	Hi	55,2	8,9	Hi	52,7	18,7	Hi	55,9	24,0	Hi	108,6	42,5	Так	795,1	18,0	Hi	800,9	18,4	Hi	0,0	0,0
	II	-17,6	10,3	Hi	701,7	107,7	Hi	43,7	6,3	Hi	30,3	18,3	Hi	64,3	23,3	Hi	82,4	41,3	Так	319,7	7,9	Так	319,7	8,7	Так	0,0	0,0
	III	-48,6	8,8	Hi	2078,4	113,4	Hi	98,3	9,7	Hi	62,5	18,6	Hi	67,5	22,8	Hi	130,0	41,8	Так	198,6	7,0	Так	199,0	7,4	Так	0,0	0,0
	IV	-23,8	5,7	Так	1044,4	118,0	Так	62,4	17,9	Так	43,4	20,5	Так	45,9	25,9	Так	89,3	46,0	Так	2108,1	86,2	Так	2233,6	91,0	Так	1,0	1,0
	V	-7,5	2,8	Так	432,4	129,8	Так	45,8	23,9	Так	27,8	21,2	Так	32,9	27,3	Так	58,6	48,2	Так	2520,4	246,6	Так	2651,3	271,2	Так	3,4	6,6
	VI	-4,5	2,6	Так	348,1	149,3	Так	38,1	26,2	Так	25,9	20,9	Так	34,3	26,3	Так	56,0	46,9	Так	3985,6	361,5	Так	4201,9	401,5	Так	7,8	15,2
	VII	-26,7	2,5	Так	415,0	155,4	Так	38,5	27,1	Так	26,1	20,3	Так	32,1	26,2	Так	55,2	46,4	Так	4907,5	523,9	Так	5164,0	579,4	Так	5,4	9,2
	VIII	-3,4	3,1	Hi	671,2	134,9	Так	37,6	24,5	Так	27,3	19,5	Так	32,1	25,8	Так	56,6	45,0	Так	3110,0	397,8	Так	3212,4	441,9	Так	2,8	4,6
	IX	-4,6	5,2	Так	339,6	117,0	Так	38,5	19,7	Так	25,9	18,1	Так	34,1	25,1	Так	56,2	42,9	Так	2337,4	128,7	Так	2506,3	147,3	Так	1,0	2,2
	X	-29,9	6,7	Так	1444,0	121,1	Так	32,9	13,9	Так	54,9	17,7	Так	63,9	24,8	Так	118,8	42,1	Так	2082,1	78,8	Так	2097,0	88,2	Так	1,0	0,8
	XI	-0,7	9,2	Hi	257,5	103,1	Hi	34,2	8,7	Hi	25,9	16,5	Hi	30,3	23,3	Hi	53,8	39,5	Так	2393,5	28,9	Hi	2418,9	29,9	Hi	0,0	0,0
	XII	-1,4	8,6	Hi	387,2	120,5	Hi	33,7	10,6	Hi	28,2	18,6	Hi	35,5	24,0	Hi	58,4	42,1	Так	1099,3	9,8	Hi	1101,6	10,0	Hi	0,0	0,0
	Рік	-16,3	6,2	Hi	785,2	124,1	Hi	46,6	16,5	Так	35,9	19,1	Так	44,1	24,9	Так	77,0	43,7	Hi	2154,7	157,9	Hi	2146,4	174,6	Hi	1,9	3,3
Одеса(2016-2020)	I	0,5	11,1	Так	268,1	86,8	Hi	29,0	3,3	Hi	27,3	15,5	Hi	32,9	22,4	Hi	57,8	37,7	Так	80,7	0,6	Так	91,8	0,6	Так	0,0	0,0
	II	-3,5	10,0	Hi	380,7	89,6	Hi	31,9	7,2	Hi	28,2	16,4	Hi	33,6	22,9	Hi	61,2	39,3	Так	748,6	6,1	Hi	798,9	6,5	Hi	0,0	0,0
	III	-0,4	8,4	Так	354,5	93,2	Так	30,9	10,8	Так	27,9	17,0	Так	31,9	24,5	Так	56,0	41,4	Так	114,4	3,1	Hi	126,4	3,8	Hi	0,2	0,2
	IV	0,2	7,3	Так	311,1	74,0	Так	31,4	12,8	Так	31,4	16,1	Так	32,7	25,9	Так	58,1	41,9	Так	225,2	4,0	Hi	253,3	5,0	Hi	1,0	0,8
	V	-2,2	4,1	Hi	265,7	98,4	Hi	33,5	21,2	Так	26,7	19,5	Так	30,9	26,6	Так	56,4	46,1	Так	809,6	71,9	Hi	899,0	83,9	Hi	4,0	6,8
	VI	-5,2	2,6	Так	475,8	130,9	Так	38,0	26,5	Так	25,0	19,0	Так	32,9	26,6	Так	54,8	45,6	Так	2033,7	259,1	Так	2143,8	290,7	Так	7,6	15,6
	VII	-4,9	4,1	Hi	331,7	118,9	Hi	42,0	23,7	Так	25,1	17,8	Hi	29,9	24,9	Так	54,2	46,4	Так	1477,8	139,0	Hi	1577,2	164,5	Hi	5,0	14,0
	VIII	-4,3	3,7	Hi	299,2	126,4	Так	42,3	23,2	Так	24,5	17,2	Hi	33,7	25,7	Так	55,0	43,0	Hi	2486,6	160,6	Hi	2629,7	184,9	Hi	4,0	12,4
	IX	-2,2	6,6	Hi	311,0	101,6	Hi	36,2	14,8	Hi	24,4	15,5	Hi	29,7	24,0	Hi	53,3	39,5	Hi	424,1	25,9	Hi	481,0	32,4	Hi	2,0	4,6
	X	-0,7	8,7	Hi	308,7	86,1	Hi	34,2	11,3	Hi	27,1	14,7	Hi	29,9	23,3	Hi	56,5	37,9	Hi	904,5	30,6	Hi	1111,5	36,3	Hi	1,6	2,6
	XI	-0,3	8,9	Так	263,4	86,8	Так	30,8	12,9	Так	27,1	17,0	Так	30,1	22,6	Так	55,6	39,6	Так	45,6	1,5	Hi	59,8	2,0	Hi	0,4	0,4
	XII	0,8	9,8	Так	245,8	90,1	Так	32,4	8,2	Hi	28,3	17,1	Hi	30,3	22,5	Hi	58,3	39,6	Так	25,6	0,2	Так	41,0	0,4	Так	0,0	0,0
	Рік	-1,9	7,1	Hi	318,0	98,6	Hi	34,4	14,7	Hi	26,1	16,9	Hi	31,5	24,3	Так	56,4	41,5	Hi	781,2	58,6	Hi	851,1	67,6	Hi	2,2	4,8
Львів(1981-1985)																											

## ВИСНОВКИ

Отже гроза - це небезпечне атмосферне явище яке утворюється в основному у купчасто-дощовій хмарності, супроводжується низкою небезпечних явищ, такими як блискавка, повінь, сильні вітер, злива, град тощо.

Існує чимало методів прогнозування грозової діяльності але основними є графічно – аналітичний, чисельно – аналітичний і візуально – аналітичний. Кожний з цих методів має свої плюси та мінуси, але зі своїм завданням вони справляються. Графічно – аналітичний та візуально – аналітичний більше підходять для короткострокового прогнозу, краще їх також зв'язати з індексами із чисельно – аналітичного методу. Також існує чимало різних онлайн сервісів, баз даних супутникового спостереження, картографічних матеріалів та систем грозопеленгації, за даними яких можна виконати прогноз грозової діяльності на короткий строк.

У роботі виконано візуалізацію за допомогою діаграм числа днів з грозою та тривалості гроз з десяти досліджуваних метеорологічних станцій за період дослідження 1981 – 2020 рр., та обчислено і візуалізовано середнє число днів з грозою та тривалість гроз в Україні. Отже в цілому, грозова діяльність на усіх станціях має тенденцію до збільшення грозових днів, при чому на деяких станціях, таких як метеорологічна станція «Бориспіль», спостерігається збільшення грозових днів але зменшення тривалості гроз...

Загалом, протягом періоду 1981 - 2020 рр. спостерігалися 371 місяців з грозами у холодний період року (з листопада по квітень). Отже за увесь досліджуваний період, зимові грози спостерігалися тільки на 15,5% від можливих місяців за зимовий період в цілому за даними досліджуваних з десяти метеорологічних станцій (2400). Найбільше випадків таких грозових місяців припало на Львів (50) і на Чернівці (49), найменше спостерігалось в Полтаві (27). У сезонному розподілі найбільше гроз припало на квітень, в середньому по

регіонах 26,1 випадок. Найменше припало на січень (3 випадки), що цікаво, спостерігалися лише у Львові (2 випадки) та Чернівцях (1 випадок), тобто на Заході України. Число днів з грозою в цілому не перевищувало 2 дні на місяць, за винятком квітня, коли число днів з грозою за місяць могло перевищувати 5 днів. Тривалість гроз в цілому не перевищувала 6 год на місяць, але у квітні кількість годин зростала до 17 год.

Динаміка індексів нестійкості атмосфери дещо розрізняється, наприклад індекс К та Showalter мають більш чітку періодичність максимальних і мінімальних значень, ніж усі інші індекси, а індекси CAPE і CAPV в основному мають тільки значні максимальні значення, мінімальні близько нуля. Середні значення чітко показують періодичність індексів нестійкості, улітку їх значення наближаються до критерію за якого можливе виникнення конвекції а узимку навпаки, при чому незалежно від періоду та регіону. Це вказує на зв'язок індексів нестійкості з грозами. Тож було побудовано матрицю кореляції для кількісної оцінки цього твердження, за результатами виявилось, що усі індекси в цілому мають коефіцієнти кореляції вище  $\mp 0,50$ , тобто помірний або високий зв'язок, також у індекса Showalter спостерігається обернена кореляція. Між собою індекси схожі, про що вказує значні значення  $r$ , які коливаються в межах  $\mp 0,50 - \mp 1$ , тобто деякі індекси, такі як CAPE, CAPV мають функціональний зв'язок між собою, тобто віртуальна частинка яка додається до CAPE, майже не змінює дію індекса.

Індекси нестійкості Showalter, SWEAT, K, Cross totals, Vertical totals, Totals totals, CAPE, CAPV за період 1981 -1985 рр. мають більші значення та більше підходять для аналізу справджуваності, ніж індекси нестійкості за період 2016 - 2020 рр. , ймовірно через більш деталізовану базу даних для першого періоду, для якого використовувались індекси, узяті опівночі і опівдні, у той же час як для другого періоду використовувалися дані, узяті в основному опівдні. Це

підтверджує твердження, що краще для прогнозу грозової діяльності використовувати дані, узяті опівночі.

Найбільш якісним, в сумі по трьох регіонах, вийшов прогноз за індексом ТТ (35 справджуваностей за першим періодом і 26 за другим), найгірше справдився прогноз за індексом Showalter (20 справджуваностей за першим періодом і 12 справджуваностей за другим).

Отже з дослідження видно, що для прогнозу грозової діяльності в Україні краще використати індекс ТТ, але для цього треба спочатку дізнатися значення індексів СТ і VT.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Данова Т.Є. Фізичні основи впливу на атмосферні процеси: навчальний посібник. Одеса: ОДЕКУ, 2009. 124с.
2. Школьний Є.П. Фізика атмосфери: Підручник. Одеса: ОДЕКУ 2005. С.470-487.
3. Грушевський О.М., Міщенко Н.М. Діагноз і прогноз конвективних явищ: навчальний посібник. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2020. 120 с.
4. Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ: Вид-во Раєвського, 2003. С. 216-219.
5. Сніжко С.І., Паламарчук Л.В., Затула В.І. Метеорологія: Підручник. Київ : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2010. С. 458-520.
6. Метеорологічний щомісячник, ЦГО, 1981 – 2020
7. Балабух В. О. Зміна інтенсивності конвекції в Україні: причини та наслідки. Журнал: URL: <https://meteo.gov.ua/files/content/docs/Vinnitsa/UkrGMI.pdf> (дата звернення: 10.09. 2008).
8. Гуда К. В., Остроградська О. С. Просторово-часові особливості розподілу гроз на території України та їх прогнозування: сучасний стан питання та перспективи розвитку. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2017. Т. 3(46). С. 105–112.
9. Заболоцька Т. М., Підгурська В. М., Шпиталь Т. М. Гротова діяльність на території України. Наук. праці УкрНДГМІ. 2007. Вип. 256. С. 92–98.
10. Корнус А. О. (ред.) Анемобаричні умови грозової діяльності в північній частині Сумської області. Фізична географія, геоекологія та раціональне природокористування. 2024. № 5(2). С. 3–8.

11. Мацук Ю. М. Зміни грозової активності на території України в ХХ та на початку ХХІ сторіччя. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Геологія. Географія. Екологія. 2013. Т. 39, № 1084. С. 147–151.
12. Холопцев О. В., Мацук Ю. М. Аналіз сучасних тенденцій просторово-часової мінливості повторюваності грозових днів в Україні. Людина і довкілля. Проблеми неоекології. 2012. № 1–2. С. 14–19.
13. Шуліка Б. А. Аналіз повторюваностей грозової діяльності у селищі Високий Харківської області. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії. С. 142–147.
14. Чумаченко В. В., Недострелова Л. В. Аналіз кліматичних характеристик грозової діяльності над Одесою. Одеський державний екологічний університет. С. 312–313.
15. Кирисов І. Г. Аналіз впливу грозових перенапруг на повітряні лінії електричних мереж України. Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. 2019. № 2(150). С. 3–9.
16. Федонюк В. В., Федонюк М. А., Павлусь А. М. Дослідження грозової діяльності на Волині та в Україні за даними онлайн-ресурсу blitzortung. Український гідрометеорологічний журнал. 2021. Вип. 28. С. 16–28.
17. Музика Л. В., Недострелова Л. В. Аналіз просторово-часового розподілу опадів на території Житомирської області. Polish Science Journal. 2023. С. 47–53.
18. Мітюнін Д. О., Недострелова Л. В. Аналіз грозової діяльності на півдні України. Polish Science Journal. С. 22–26.

19. Andersson, T., Andersson, M., Jacobsson, C., Nilsson, S. Thermodynamic indices for forecasting thunderstorm CIN southern Sweden. *Meteorol. Mag.* 1989. Vol. 116. P. 141–146.
20. Byers, H. R., Braham, R. R. Thunderstorm structure and circulation. *Journal of Atmospheric Sciences.* 1948. Vol. 5(3). P. 71–86.
21. Hu, X., Jiang, F., Xu, W. et al. Research on Thunderstorm Forecasting in Fuxin, China Based on Physical Diagnostic Parameters. *Journal of Geoscience and Environment Protection.* 2019. Vol. 7. P. 106–114.
22. Kaltenbock, R., Diendorfer, G., Dotzek, N. Evaluation of thunderstorm indices from ECMWF analyses, lightning data and severe storm reports. *Proc. 4th European Conf. on Severe Storms.* 2008. 40 p.
23. Ng, C.-P., Zhang, Q., Li, W., Zhou, Z. Contribution of Thunderstorms to Changes in Hourly Extreme Precipitation over China from 1980 to 2011. *Journal of Climate.* 2022. Vol. 35. P. 4485–4498
24. Ng, C.-P., Zhang, Q., Li, W., Zhou, Z. Contribution of Thunderstorms to Changes in Hourly Extreme Precipitation over China from 1980 to 2011. *Journal of Climate.* 2022. Vol. 35. P. 4485–4498.
25. Patúć, J. Troposphere electrification and meteorological phenomena. *Препринт.* 2021. 16 p.
26. Peterson, M., Rudlosky, S., Zhang, D. Thunderstorm cloud-type classification from space-based lightning images. *Mon. Weather Rev.* 2020. Vol. 148(5). P. 1891–1898.
27. Romualdo, R., Miquel, G., Doswell, C. European climatology of severe convective storm environmental parameters: A test for significant tornado events. *Atmospheric Research.* 2007. Vol. 83. P. 389–404.

28. Saunders, C. P. R. A review of thunderstorm electrification processes. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 1993. Vol. 32(4). P. 642–655.
29. Showalter, A. K. A stability index for forecasting thunderstorms. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 1947. Vol. 34. P. 250–252.
30. Zatula, V. I., Zatula, N. I., Symonets, T. S. Observation and forecasting of thunderstorms in the modern practice of advisory of Kyiv International Airport (Zhuliany). *Conference Proceedings, Geoinformatics*. 2021. Vol. 2021. P. 1–6.
31. Zhang, X., Sun, B. L., Sun, K., Liu, J., Yang, X. T., Bai, J. N., Shi, H. J., Xie, Y. Research on Thunderstorm Forecasting in Fuxin, China Based on Physical Diagnostic Parameters. *Journal of Geoscience and Environment Protection*. 2019. Vol. 7. P. 106–114.
32. АГЗУ. Блискавкозахист: розділ 26.2 [Електронний ресурс]. – URL: <http://edumns.org.ua/avtomat/lessons/26/2.html>
33. Індекси нестійкості атмосфери [Електронний ресурс]. – URL: <https://flymeteo.org/stat/indexneust.php>
34. Hong Kong Observatory. Thunderstorm warning [Електронний ресурс]. –URL: [https://www.hko.gov.hk/en/education/educational-resources-webpage/Weather\\_Category.html](https://www.hko.gov.hk/en/education/educational-resources-webpage/Weather_Category.html)
35. Ward, Dale. Introduction to Thunderstorms [Електронний ресурс]. – URL: [http://www.atmo.arizona.edu/students/courselinks/fall16/atmo336s2/lectures/sec2/thunderstorms\\_intro.html](http://www.atmo.arizona.edu/students/courselinks/fall16/atmo336s2/lectures/sec2/thunderstorms_intro.html)
36. Ward, Dale. Thunderstorm Lifecycle and Severe Thunderstorms [Електронний ресурс]. – URL:

<http://www.atmo.arizona.edu/students/courselinks/fall16/atmo336s2/lectures/sec2/sevthun.html>

37. Ward, Dale. Lightning and Thunder [Електронний ресурс]. – URL: <http://www.atmo.arizona.edu/students/courselinks/fall16/atmo336s2/lectures/sec2/lightning.html>

38. NOAA's National Severe Storms Laboratory. Thunderstorm Forecasting [Електронний ресурс]. – URL:

<https://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/thunderstorms/forecasting/>

39. Griser, Ju. Convection Parameters [Електронний ресурс]. – 2012. – URL: <http://www.juergen-grieser.de/ConvectionParameters/ConvectionParameters.pdf>

40. World Meteorological Organization. Hail [Електронний ресурс]. – URL: <https://cloudatlas.wmo.int/en/hail.html>

41. Енциклопедія. Thunderstorm meteorology WRITTEN BY Philip Krider E. Professor of Atmospheric Physics, University of Arizona. [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.britannica.com/science/thunderstorm>

42. Scientists: Dark lightning linked to visible lightning [Електронний ресурс]. – URL: <https://phys.org/news/2013-04-scientists-dark-lightning-linked-visible.html>

43. НТУУ КПІ імені Ігоря Сікорського [Електронний ресурс]. – URL: <https://kpi.ua/franklin>

44. ЦДПУ імені Володимира Винниченка [Електронний ресурс]. – URL: <https://phm.cuspu.edu.ua/nauka/naukovo-populiarni-publikatsii/2115-bendzhamin-franklin-vchenyi-prosvitytel-derzhavnyi-diiach.html>

45. EUMETSAT. Прогнозування гроз [Електронний ресурс]. – URL: [https://user.eumetsat.int/s3/eup-strap-media/pfd\\_gii\\_pg\\_b166ec4d92.pdf](https://user.eumetsat.int/s3/eup-strap-media/pfd_gii_pg_b166ec4d92.pdf)

46. Blitzortung. Live Lightning Maps [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.blitzortung.org/ru/live\\_lightning\\_maps.php?map=10](https://www.blitzortung.org/ru/live_lightning_maps.php?map=10)

47. University of Wyoming. Atmospheric Soundings Database [Электронный ресурс]. – URL: <https://weather.uwyo.edu/cgi-bin/sounding>