

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут  
Кафедра метеорології та кліматології

**Магістерська кваліфікаційна робота**

на тему: Особливості утворення небезпечних погодних умов на ст. Запоріжжя  
при проходженні фронтальних розділів

Виконала студентка 2 курсу групи МНЗ-2М  
Спеціальності 103 - «Науки про Землю»  
Конюхова Людмила Миколаївна

Керівник к. геогр. н., доцент  
Семергей-Чумаченко Аліна Борисівна

Рецензент к. геогр. н., доцент  
Кирнасівська Наталія Василівна

Одеса 2020

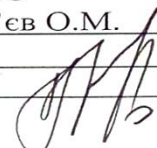
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет гідрометеорологічний інститут  
Кафедра метеорології та кліматології  
Рівень вищої освіти магістр  
Спеціальність 103 «Науки про Землю»  
(шифр і назва)  
Освітня програма Метеорологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Прокоф'єв О.М.

26 жовтня 2020 року



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

Конюховій Людмилі Миколаївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Особливості утворення небезпечних погодних умов на ст. Запоріжжя при проходженні фронтальних розділів

Керівник роботи Семергей-Чумаченко Аліна Борисівна к. геогр. н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти №124-С від 16 жовтня 2020 р.

2. Строк подання студентом роботи 7 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи 1. Метеорологічні дані спостережень за метеорологічними величинами у період проходження атмосферних фронтів на ст. Запоріжжя за 2014-2020 роки. 2. Синоптичні карти .3. Дані про атмосферні опади з архіву АРМСин. 4. Дані WRF з просторовим кроком 1,0°

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Огляд літературних джерел за темою дослідження та аналіз багаторічного режиму небезпечних явищ внаслідок проходження фронтальних розділів в районі Запоріжжя. 2. Характеристика повторюваності проходження фронтальних розділів ст. на Запоріжжі та півдні України у період 2014-2020 рр. 3. Аналіз синоптичних умов значних атмосферних опадів у літній сезон.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Рис. 1.1–1.7 – ілюстрації просторової структури атмосферних фронтів. Рис. 2.1-2.2 - кількість атмосферних фронтів та кількість днів з небезпечними явищами погоди у теплий період 2017 р. над Запоріжжям. Рис. 2.3–2.7 - діаграми розподілу днів з грозами, градом, шквалом, з сильними опадами та небезпечними явищами у теплий період 2014-2020 рр. Рис 3.1-3.11- синоптичні карти та поля атмосферних опадів. Рис. 4.1-4.9 - кількість атмосферних опадів,, синоптичні карти, розрахунки параметрів конвекції,

карти метеоявищ та висоти радіолуни за даними МРЛ Запоріжжя. Рис. Б.-Б.7  
- карти метеоявищ та висоти радіолуни за даними МРЛ Запоріжжя 3-4.08.19.

### 6. Консультанти розділів роботи

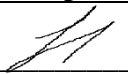
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 26 жовтня 2020 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

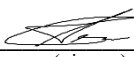
№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	<i>Вивчення літературних джерел за темою магістерської роботи.</i>	<i>з 26 жовтня 2020 р.</i>	92	<i>відмінно</i>
2.	<i>Збір та попередня обробка даних метеорологічних спостережень, синоптичних матеріалів</i>	<i>листопад 2020 р.</i>	92	<i>відмінно</i>
3.	<i>Визначення просторово-часового режиму проходження атмосферних фронтів над Запоріжжям.</i>	<i>листопад 2020 р.</i>	92	<i>відмінно</i>
4.	<i>Систематизація небезпечних та надзвичайних явищ при проходженні фронтів над Запоріжжям.</i>	<i>листопад 2020 р.</i>	92	<i>відмінно</i>
5.	<i>Встановлення синоптичних процесів, які характерні для небезпечного погіршення погодних умов</i>	<i>листопад 2020 р.</i>	92	<i>відмінно</i>
	<i>Рубіжна атестація.</i>	<i>17.11.2020 р.</i>	92	<i>відмінно</i>
6.	<i>Аналіз синоптичних умов, що призвели до небезпечних погодних умов у Запоріжжі.</i>	<i>листопад 2020 р.</i>	92	<i>відмінно</i>
7.	<i>Підведення підсумків та підготовка рукопису до друку.</i>	<i>грудень 2020 р.</i>	92	<i>відмінно</i>
8.	<i>Оформлення магістерської роботи.</i>	<i>грудень 2020 р.</i>	92	<i>відмінно</i>
9.	<i>Підготовка комп'ютерної презентації та доповіді до захисту магістерської роботи.</i>	<i>грудень 2020 р.</i>		
10.	<i>Перевірка на плагіат, підписання авторського договору.</i>	<i>8-10.12. 2020 р.</i>	92	<i>відмінно</i>
11.	<i>Попередній захист магістерської роботи.</i>	<i>грудень 2020 р.</i>	92	<i>відмінно</i>
<b>Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)</b>			<b>92</b>	<b>відмінно</b>

Студент

  
(підпис)

Конюхова Л. М.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

  
(підпис)

Семергей-Чумаченко А.Б.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

**Тема:** «Особливості утворення небезпечних погодних умов на ст. Запоріжжя при проходженні фронтальних розділів»

**Автор:** Конюхова Людмила Миколаївна

**Актуальність** визначається практичною необхідністю визначення проходження фронтальних розділів на виникнення небезпечних явищ погоди, які можуть впливати на діяльність економіки та життєдіяльність міста.

**Мета дослідження** – характеристика впливу проходження фронтальних розділів на погіршення погодних умов у Запоріжжі за період 2014-2020рр.

Відповідно до поставленої мети було розв’язано такі **задачі**:

- встановлені повторюваність проходження фронтальних розділів над Запоріжжям та небезпечних та надзвичайних явищ погоди, що ними зумовлені;
- визначені типи синоптичних процесів за наявністю значних атмосферних опадів;
- отримано комплекс параметрів нестійкості атмосфери при виникненні небезпечних конвективних явищ за даними мезомасштабної моделі WRF.

**Об’єкт дослідження** – атмосферні фронти та пов’язані з ними небезпечні метеорологічні явища на ст. Запоріжжі.

**Предмет дослідження** метеорологічні умови та синоптичні процеси, які спричиняють формування небезпечних та надзвичайних явищ погоди в районі атмосферних фронтів.

**Методи дослідження** –

- просторово-часове узагальнення даних;
- кліматологічний аналіз,
- синоптичний аналіз.

**Наукова новизна отриманих результатів** - в даній роботі для району Запоріжжя та півдня України:

- визначений сучасний режим проходженням фронтальних розділів та утворення стихійних метеорологічних явищ, пов’язаних з ними;
- встановлені домінуючі синоптичні умови формування сильних опадів та інших небезпечних конвективних явищ;
- отримано комплекс параметрів нестійкості атмосфери за виникнення небезпечних конвективних явищ за даними мезомасштабної моделі.

**Практичне значення отриманих результатів** – встановлення сучасних характеристик фронтальних розділів та зв’язку формування екстремальних погодних явищ з проходженням атмосферних фронтів над Запоріжжям можна використовувати для вдосконалення короткострокового прогнозу конвективних явищ.

Магістерська робота в обсязі 72 сторінок складається з 4 розділів, висновків, переліку посилань з 20 джерел, двох додатків, містить 41 рисунок та 9 таблиць.

**Ключові слова:** атмосферні фронти, небезпечні та стихійні явища, типи синоптичних процесів, циклон, антициклон, улоговина, зливові опади, параметри нестійкості.

## SUMMARY

**Thesis Topic:** «Features of the formation of severe weather conditions at the station Zaporizhzhia during the transit of atmospheric fronts»

**Author:** Koniukhova Liudmyla

**Relevance** is determined by the practical need to define the passage of the front sections on the occurrence of dangerous weather events that can affect the economy and life of the city

**The aim** of the study is to characterize the impact of the passage of frontal sections on the deterioration of weather conditions in Zaporizhzhia for the period 2014-2020.

According to aim assigned the following **tasks** are solved:

- analyzed events of the atmospheric fronts passed through Zaporizhzhia region;
- described extreme weather events accompanying fronts passage;
- identified types of synoptic processes in the presence of significant precipitation;
- obtained a set of parameters of atmospheric instability in the event of dangerous convective phenomena was according to the mesoscale model WRF.

**The object of study** - atmospheric fronts and related dangerous phenomena in Zaporizhzhia.

**Subject of research** - meteorological conditions and synoptic processes that cause the formation of extreme weather events in the area of atmospheric fronts.

**Methods of scientific research** is traditional climatology methods, spatial and temporal generalization of meteorological information, synoptic analysis.

**Scientific novelty of results obtained.**

In this study for the Ukraine for the first time

- determined a current climatology of the atmospheric fronts passage;
- established types of synoptic processes for the formation of heavy precipitation and other convective phenomena;
- obtained the set of parameters of atmospheric instability in the event of dangerous convective phenomena according to the mesoscale model.

**Practical importance of results obtained.** Conclusions on the meteorological and synoptic mechanisms of the formation of extreme weather event including strong rainfalls can be used to improve the short-range prediction of the convective phenomena.

The 71-page master's thesis consists of 4 sections, conclusions, bibliography of 20 sources sources, two appendices, contains 41 figures and 9 tables.

**Keywords:** atmospheric fronts, dangerous and natural phenomena, types of synoptic processes, cyclone, anticyclone, basin, rainfall, instability parameters.

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Загальні відомості та класифікація атмосферних фронтів.....	8
1.1 Визначення атмосферного фронту.....	8
1.2 Класифікація атмосферних фронтів .....	10
1.3 Хмарність та погодні умови теплих фронтів.....	13
1.4 Хмарність та погодні умови холодних фронтів .....	15
1.5 Хмарність та погодні умови фронтів оклюзії.....	20
2 Небезпечні та стихійні метеорологічні явища, які пов'язані з атмосферними фронтами у теплий період року 2014-2020 рр.....	24
2.1 Небезпечні явища погоди, що утворюються під впливом фронтальних розділів.....	24
2.2 Небезпечні явища погоди, що спостерігались при проходженні атмосферних фронтів у теплий період 2014-2020 рр.....	26
2.3 Небезпечні та стихійні явища за теплий період у м. Запоріжжя.....	30
2.4 Динаміка небезпечних та стихійних явищ за останні 7 років у Запоріжжі.....	33
3 Синоптичні процеси, які характерні для виникнення небезпечних та стихійних метеорологічних явищ .....	38
3.1 Загальні умови для розвитку конвективних явищ на півдні України.....	38
3.2 Класифікація синоптичних процесів, які зумовлюють сильні літні опади влітку.....	40
3.3 Аналіз синоптичної ситуації 29-30 червня 2018 р. ....	43
3.4 Аналіз синоптичної ситуації 28 липня 2020 року.....	46
4 Діагноз та прогноз конвективних явищ за допомогою мезомасштабної моделі WRF .....	52
4.1 Загальні відомості про використання чисельної мезомасштабної моделі WRF.....	52
4.2 Розрахунок індексів нестійкості атмосфери над півднем України у періоди проходження фронтальних розділів над Запоріжжям .....	53
Висновки.....	61
Перелік посилань .....	62
Додаток А.....	64
Додаток Б.....	65

## ВСТУП

Зіткнення повітряних мас з різними властивостями, насамперед температурними, формує фронтальні розділи, а через проходження територію України атмосферних фронтів виникає комплекс небезпечних (НЯ) та надзвичайних стихійних метеорологічних явищ (СМЯ), перш за все конвективного походження.

Актуальність теми дослідження визначається практичною необхідністю виявлення впливу проходження фронтальних розділів на виникнення небезпечних явищ погоди, які можуть ускладнювати діяльність економіки та життєдіяльність крупного промислового центру півдня України, яким є місто Запоріжжя.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є визначення характеру впливу проходження фронтальних розділів на погіршення погодних умов у Запоріжжі. При аналізі атмосферних фронтів на картах погоди враховано комплекс метеорологічних величин та явищ погоди.

Предмет дослідження – метеорологічні умови та синоптичні процеси, які спричиняють формування НЯ та СМЯ в районі атмосферних фронтів.

Методи дослідження – просторово-часове узагальнення даних, синоптичний аналіз.

Кваліфікаційна магістерська робота складається з вступу, чотирьох розділів, додатку, висновків та переліку посилань.

У вступі формулюються мета та завдання роботи.

Перший розділ містить в собі загальну інформацію про хмарність та погодні умови фронтальних розділів.

Другий розділ присвячений характеристиці небезпечних та надзвичайних погодних умов, що були пов'язаними з проходженням фронтального розділу.

Третій розділ складається з визначення сучасних циркуляційних умов, які визначають проходження фронтального розділу над Запоріжжям та опис синоптичної ситуації за 28 липня 2020 рок.

Четвертий розділ присвячений дослідженню використання індексів конвекції та даних метеорологічного радару для оцінка конвективного стану тропосфери під час проходження атмосферного фронту..

У висновках представлені результати виконаної роботи.

У додатках наведені допоміжні матеріали.

Кваліфікаційна магістерська робота виконана на кафедрі метеорології та кліматології ОДЕКУ під керівництвом к.геогр.н., доц. Семергей-Чумаченко А.Б. у рамках науково-дослідних робіт «Прогнозування небезпечних метеорологічних явищ над південними районами України» (2010-2020 рр.) ДР № 0115U006532 та «Розробка та вдосконалення методів прогнозу небезпечних та стихійних метеорологічних явищ над Україною» (2020-2024 рр.) ДР № 0120U100487.



# 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ АТМОСФЕРНИХ ФРОНТІВ

## 1.1 Визначення атмосферного фронту

Атмосферний фронт - перехідна зона між двома повітряними масами з різними фізичними властивостями, де тривають характерні бурхливі, активні процеси перемішування повітря, формування атмосферних вихорів, розвитку конвективного підйому повітря, опадоутворення тощо.

Визначення положення ліній атмосферних фронтів проводиться за комплексом ознак на приземних картах і картах баричної топографії при їх спільному аналізі.

При зближенні повітряних мас з різними в зоні між ними утворюється тангенціальний розрив, тобто:

- 1) збільшуються горизонтальні градієнти температури повітря, вологості.
- 2) поле тиску має улоговину або "приховану улоговину".
- 3) дотична до лінії розриву швидкість вітру має скачок.

Навпаки, при віддаленні повітряних мас один від одного градієнти метеорологічних величин і швидкості вітру зменшуються.

Перехідні зони в тропосфері, в яких відбувається зближення повітряних мас з різними характеристиками, називаються фронтальними зонами.[4]

Зона атмосферного фронту дуже вузька в порівнянні з повітряними масами, які вона розділяє. Тому її приблизно розглядають, як поверхню розділу двох повітряних мас різної температури. Вона називається фронтальною поверхнею. З тієї ж причини на синоптичних картах атмосферні фронти зображують у вигляді лінії (лінія фронту). На картах погоди: теплий фронт наносять лінією червоного, холодний фронт - синього, а фронт оклюзії коричневого кольору.

У земної поверхні атмосферні фронти характеризуються, збільшеними горизонтальними градієнтами температури повітря - у вузькій зоні фронту температура різко переходить від значень, властивих одній повітряній масі, до значень, властивих іншій, причому зміна іноді перевищує  $10^{\circ}\text{C}$ . Перед лінією фронту вітер посилюється і трохи повертає вліво. За фронтом слабшає і повертає вправо.

Висхідні руху повітря в зонах фронтів призводять до утворення великих хмарних систем, з яких випадають опади на великих площах. Величезні атмосферні хвилі, що виникають в повітряних масах по обидві сторони від фронту, призводять до утворення атмосферних збурень вихрового характеру - циклонів і антициклонів, що визначають режим вітру і інших елементів погоди

На атмосферних фронтах великий розвиток отримали висхідні руху повітря, тому поблизу фронтів є сприятливі умови для утворення хмар і випадіння опадів. Їхній появі сприяє збіжність вітру до лінії фронту в приземному шарі. Крім того, в системі фронтів відбувається підйом теплого повітря (висхідне ковзання) по клину холодного повітря. Висхідні руху повітря виникають і внаслідок різниці швидкостей зафронтального і перед фронтального повітря, тобто коли зафронтальне повітря рухається швидше, ніж передфронтальне. Підйом повітря відбувається на тих ділянках фронту, де спостерігається нестационарність руху. При підйомі повітря відбувається його адіабатичне охолодження, формування хмарності та опадів [3].

У приземному шарі внаслідок збіжності повітряних потоків до осі баричних утворень створюються найбільші контрасти температури повітря - тому атмосферні фронти у землі розташовуються саме уздовж осей баричних балок. Атмосферні фронти не можуть розташовуватися уздовж осей баричних гребенів, де має місце розбіжність повітряних потоків, а можуть лише перетинати вісь гребеня під великим кутом.

На картах баричної топографії основний фронт відображається як зона згущення ізогіпс і ізотерм - висотна фронтальна зона (ВФЗ). Інтенсивність ВФЗ залежить від різниці температур зустрічних повітряних мас, тобто у цих зонах концентруються величезні запаси енергії.

Біля земної поверхні атмосферні фронти характеризуються, збільшеними горизонтальними градієнтами температури повітря - у вузькій зоні фронту температура різко переходить від значень, властивих одній повітряній масі, до значень, властивих іншій, причому зміна іноді перевищує  $10^{\circ}\text{C}$ . Перед лінією фронту вітер посилюється і трохи повертає вліво. За фронтом слабшає і повертає вправо.

Висхідні руху повітря в зонах фронтів призводять до утворення великих хмарних систем, з яких випадають опади на великих площах. Величезні атмосферні хвилі, що виникають в повітряних масах по обидві сторони від фронту, призводять до утворення атмосферних збурень вихрового характеру -

циклонів і антициклонів, що визначають режим вітру і інших елементів погоди.[3]

На атмосферних фронтах великий розвиток отримали висхідні рухи повітря, тому поблизу фронтів є сприятливі умови для утворення хмар і випадіння опадів. Їхній появі сприяє збіжність вітру до лінії фронту в приземному шарі. Крім того, в системі фронтів відбувається підйом теплого повітря (висхідне ковзання) по клину холодного повітря. Висхідні рухи повітря виникають і внаслідок різниці швидкостей зафронтального і передфронтального повітря, тобто коли зафронтальне повітря рухається швидше, ніж передфронтальне. Підйом повітря відбувається на тих ділянках фронту, де спостерігається нестационарність руху. При підйомі повітря відбувається його адіабатичне охолодження, формування хмарності та опадів.

У приземному шарі внаслідок збіжності повітряних потоків до осі баричних утворень створюються найбільші контрасти температури повітря - тому атмосферні фронти у землі розташовуються саме уздовж осей баричних балок. Атмосферні фронти не можуть розташовуватися уздовж осей баричних гребенів, де має місце розбіжність повітряних потоків, а можуть лише перетинати вісь гребеня під великим кутом.

На картах баричної топографії основний фронт відображається як зона згущення ізогіпс і ізотерм - висотна фронтальна зона (ВФЗ) [2]. Інтенсивність ВФЗ залежить від різниці температур зустрічних повітряних мас. У цих зонах концентруються величезні запаси енергії.

## 1.2 Класифікація атмосферних фронтів

За особливостями переміщення, вертикальною будовою та умовами погоди, розрізняють такі фронти:

- Прості фронти (теплі, холодні та малорухомі(стаціонарні)).
- Складні фронти, чи фронти оклюзії (теплі, холодні та нейтральні, які також можуть бути малорухомими) [3]

Відповідно до географічної класифікації повітряних мас прийнято називати фронт:

- арктичний (антарктичний) - прикордонна зона між арктичними повітряними масами і повітряними масами помірних широт. Схематично

арктичний фронт може бути представлений у вигляді поверхні розділу, нахиленого в бік арктичного повітря. Зазвичай в атмосфері різняться кілька арктичних фронтів, найчастіше вони формуються на північ від Європи і на півночі Північної Америки, в широтах близько 60-70°. На арктичному фронті спостерігається утворення циклонів;

- полярний - атмосферний фронт, що розділяє повітря помірних широт (полярне повітря) і тропічне повітря. Полярний фронт зазнає значні сезонні переміщення;
- внутрішньотропічна зона конвергенції - збіжність повітряних потоків в приекваторіальній зоні.

На лініях арктичного і особливо полярного фронтів відбувається формування циклонів. Цей процес отримав назву циклогенезу. Зазвичай в кожній півкулі полярний фронт складається з декількох окремих гілок, кожна з яких пов'язана з економікою, що розвивається на ній серією циклонів.

За горизонтальною та вертикальною довжиною і циркуляційною значущістю розрізняють такі фронти:

- основні ( тропосферні, високі);
- вторинні (приземні, низькі);
- верхні.

До основних відносяться атмосферні фронти, що розділяють повітряні маси, що істотно розрізняються за своїми властивостями, тобто переважно повітряні маси різних географічних типів. Вони є, як правило, тропосферними, мають протяжність кілька тисяч кілометрів, існують протягом декількох діб. Основні фронти представляють особливий інтерес, тому що з ними пов'язані освіти рухливих циклонів і антициклонів, різкі зміни погоди на великих територіях.[4]

Вторинними називаються атмосферні фронти, що розділяють частини однієї і тієї ж повітряної маси, які відрізняються за своїми властивостями (погодні умови). Зазвичай вони є приземними, тобто мають вертикальну протяжність 1,0-1,5км. А горизонтальну - сотні кілометрів. Час існування вторинних найчастіше не перевищує доби.

Зімкнуті фронти представляють собою об'єднану систему двох атмосферних фронтів. Процес змикання атмосферних фронтів називається оклюдуванням, а зімкнутий фронт називають фронтом оклюзії.

Відповідно до термодинамічної класифікації повітряних мас і в залежності від напрямку переміщення все атмосферні фронти можуть бути розділені на теплі, холодні, стаціонарні і нейтральні.

Фронти, істотно не змінюють свого положення, називаються стаціонарними або малорухомими. Стаціонарні фронти утворюються в тому випадку, коли поступальний рух фронту сповільнюється, т. е. коли теплий або холодний фронт застоюється в будь-якому районі. Стаціонарні фронти можуть залишатися нерухомими протягом декількох діб.

Ці фронти розташовуються на периферії циклону або антициклону і на карті погоди вони паралельні ізобарам (рис. 1.1). Тому вище шару тертя повітряні маси рухаються паралельно фронту, висхідні потоки відсутні і хмарність не утворюється.

За горизонтальною та вертикальною довжиною і циркуляційною значущістю розрізняють такі фронти:

- основні ( тропосферні, високі);
- вторинні (приземні, низькі);
- верхні.

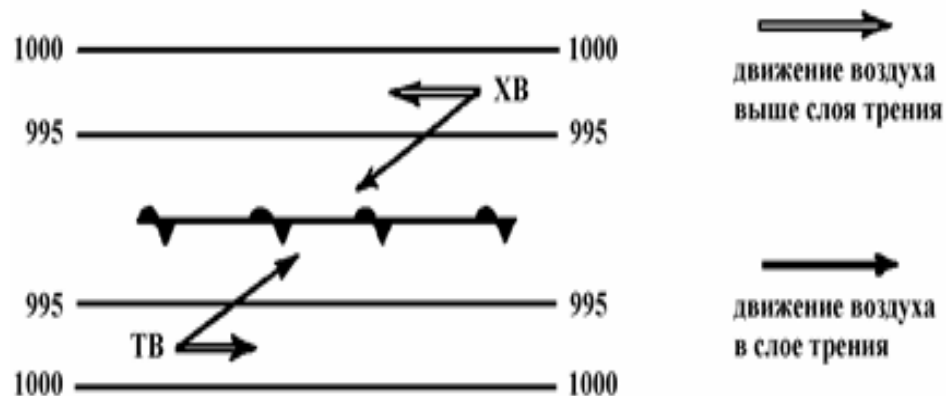


Рис. 1.1. Схема виникнення фронтального розділу

До основних відносяться атмосферні фронти, які розділяють повітряні маси, що істотно розрізняються за своїми властивостями, тобто переважно повітряні маси різних географічних типів. Вони є, як правило, тропосферними і мають протяжність кілька тисяч кілометрів, існують протягом декількох діб. Основні фронти представляють особливий інтерес, тому що з ними пов'язані різкі зміни погоди на великих територіях.[4]

Вторинними називаються атмосферні фронти, що розділяють частини

однієї і тієї ж повітряної маси, які відрізняються за своїми властивостями (погодні умови). Зазвичай вони є приземними, тобто мають вертикальну протяжність 1,0-1,5км, а горизонтальну - сотні кілометрів. Час існування вторинних найчастіше не перевищує доби.

Відповідно до термодинамічної класифікацій повітряних мас і в залежності від напрямку переміщення всі атмосферні фронти можуть бути розділені на теплі, холодні, стаціонарні і нейтральні.

Фронти, які істотно не змінюють свого положення, називаються стаціонарними або малорухомими. Стаціонарні фронти утворюються в тому випадку, коли поступальний рух фронту сповільнюється, тобто коли теплий або холодний фронт застоюється в будь-якому районі. Стаціонарні фронти можуть залишатися нерухомими протягом декількох діб. Ці фронти розташовуються на периферії циклону або антициклону і на карті погоди вони паралельні ізобарам (рис.1.2). Тому вище шару тертя повітряні маси рухаються паралельно фронту, висхідні потоки відсутні і хмарність не утворюється.

## 1.2 Хмарність та погодні умови теплих фронтів

Теплим є фронт, який переміщується в бік холодного повітря, тому що тепле повітря є більш активним. Він натікає на відступаюче холодне, спокійно піднімаючись вгору по фронтальній поверхні. Відбувається адіабатичне охолодження, яке супроводжується конденсацією вологи і утворенням потужної хмарної системи, що призводить до випадіння опадів. Довжина зони дощів досягає 600-700 км. У місці підйому теплого повітря, тобто на лінії фронту, формується зона низького тиску. Холодне повітря повільно відступає. В цілому теплий фронт приносить тепло і вологу.[6]

У міру наближення лінії теплого фронту починає падати тиск, ущільнюються хмари, випадають облогові опади (рис. 1.2). Взимку при проходженні фронту зазвичай з'являються низькі шаруваті хмари. Температура і вологість повітря повільно підвищуються. При проходженні фронту температура і вологість зазвичай швидко зростають, вітер посилюється. Після проходження фронту напрямок вітру змінюється, падіння тиску припиняється і починається його слабке зростання, хмари розсіюються, опади припиняються. Поле баричних тенденцій представлено в такий спосіб: перед теплим фронтом розташовується замкнута область.

НЕНГ

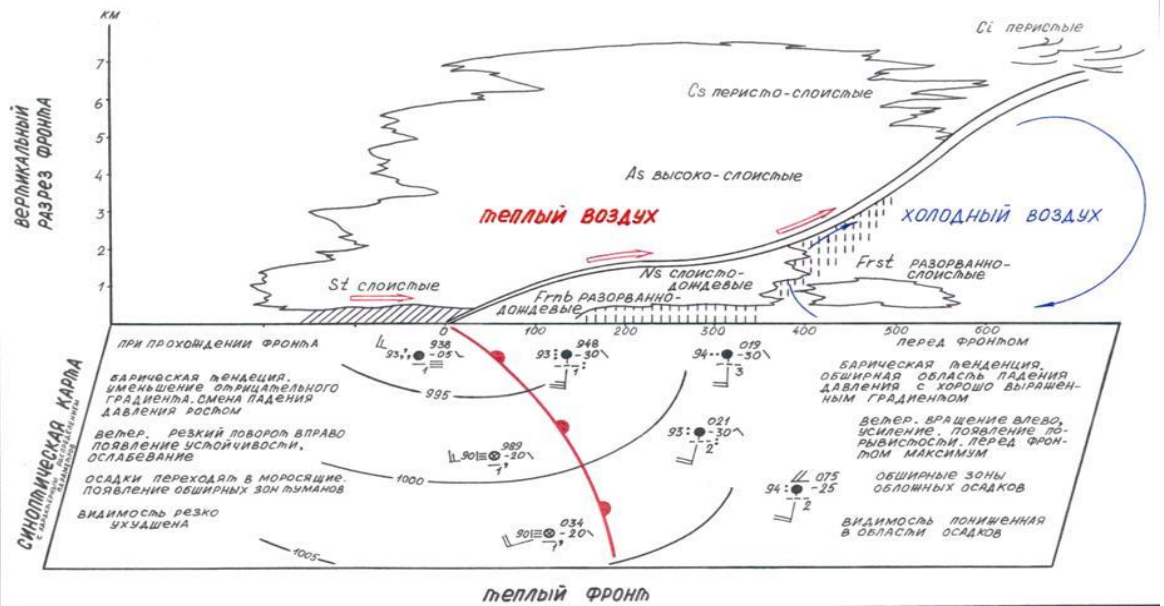


Рис. 1.2. Схема хмарності теплої фронту [6]

У разі теплої фронту тепле повітря, переміщуючись в бік холодного, натікає на клин холодного повітря і робить висхідне ковзання уздовж цього клина і динамічно охолоджується. На деякій висоті, яка визначається початковим станом висхідного повітря, досягає насичення - це рівень конденсації. Вище цього рівня в висхідному повітрі відбувається хмароутворення. Адіабатичне охолодження теплої повітря, що ковзає уздовж клину холодного, посилюється розвитком висхідних рухів від нестационарності при динамічному падінні тиску і від збіжності вітру в нижньому шарі атмосфери. Охолодження теплої повітря при висхідному ковзанні по поверхні фронту призводить до утворення характерної системи шарувато-подібних хмар (хмар висхідного ковзання): перисто-шаруваті - високошаруваті – шарувато-дошові (Cs-As-Ns).[6]

У центрі циклону, де система хмар теплої фронту має найбільший розвиток, ширина хмарної зони Ns і зони обложних опадів в середньому - близько 300 км. В цілому хмари As-Ns мають ширину 500-600 км, ширина зони хмар Ci-Cs - близько 200-300 км. Якщо спроектувати дану систему на приземну карту, то вся вона виявиться перед лінією теплої фронту на відстані 700-900 км. В окремих випадках зона хмарності та опадів може бути значно ширше в залежності від кута нахилу фронтальної поверхні, висоти рівня конденсації, термічних умов нижньої тропосфери.

У теплу пору року висхідні руху поблизу лінії фронту набувають характеру конвективних, і на теплих фронтах нерідко розвиваються купчасто-дощові хмари і спостерігаються зливи і грози (як вдень, так і вночі).

Влітку в денні години в приземному шарі за лінією теплового фронту при значній хмарності температура повітря над сушею може бути нижче, ніж перед фронтом. Це явище називається маскуванням теплового фронту.

Хмарність старих теплих фронтів також може бути розшарована на всьому протязі фронту. Поступово ці шари розсіюються і опади припиняються. Часом теплий фронт не супроводжується опадами (особливо влітку). Так буває при малому вологовмісті теплового повітря, коли рівень конденсації лежить на значній висоті. При сухості повітря і особливо в разі його помітною стійкої стратифікації висхідне ковзання теплового повітря не призводить до розвитку більш-менш потужної хмарності - тобто хмари взагалі відсутні, або спостерігається смуга хмар верхнього і середнього ярусів.[6]

У нічний час радіаційне вихолодження верхньої межі хмарної системи As-Ns і зниження температури в хмарах, а також посилення вертикального перемішування при опусканні охолодженого повітря всередину хмари сприяє утворенню крижаної фази в хмарах, зростання хмарних елементів і утворення опадів. У міру віддалення від центру циклону висхідні руху повітря слабшають, опади припиняються. Фронтальні хмари можуть утворюватися не тільки над похилою поверхнею фронту, а в деяких випадках і по обидва боки від фронту. Але за лінією фронту фронтальна хмарність зазвичай сильно розшарована і зафронтальні опади частіше представлені у вигляді мряки або снігових зерен.

У разі дуже пологого фронту система хмар може бути зміщена вперед від лінії фронту. У теплу пору року висхідні руху поблизу лінії фронту набувають характеру конвективних, і на теплих фронтах нерідко розвиваються купчасто-дощові хмари і спостерігаються зливи і грози як вдень, так і вночі.

#### 1.4 Хмарність та погодні умови холодних фронтів

Холодний фронт виникає, коли холодне повітря витісняє з території тепле повітря. Тепла повітряна маса відтісняється вгору клином холодного повітря. Проходження фронту призводить до зміни теплої повітряної маси на



холодну, а отже, зниженням температури і різкими змінам інших метеорологічних елементів. Передня частина крутіше фронтальної поверхні, ніж у теплому фронті. Перед фронтом часто спостерігаються опади, а нерідко грози і шквали (особливо в тепле півріччя). Температура повітря після проходження фронту падає (адвекція холоду), причому часом швидко і різко - на 5...10 °С і більше за 1-2 години. Точка роси знижується одночасно з температурою повітря. Видимість, як правило, покращується, оскільки за холодним фронтом повітря з північних широт стає чистіше і менш вологе.

Холодні фронти особливо чітко проявляються в теплу пору року. В холодну пору явища виражені набагато менше. Зазвичай в цьому випадку справа обмежується тим, що на лінії фронту розвивається шарувато-купчаста або шарувата хмарність та випадають опади.

У баричних улоговинах в тилу циклону зазвичай формуються вторинні холодні фронти. Вони мають систему хмар, схожу з системою хмар холодного фронту 2-го роду, однак вертикальна протяжність хмар менше протяжності хмар основних холодних фронтів. В окремих випадках може бути кілька балок і вторинних фронтів.

В циклоні холодний фронт переміщується швидше теплому. З плином часу відбувається їх зближення, а потім і злиття. Фронт, який утворюється в результаті злиття холодного і теплому фронтів, називається фронтом оклюзії (зімкнутим фронтом).

На карті погоди холодний фронт відзначається синім кольором або чорними трикутниками, спрямованими в бік переміщення фронту. При переході через лінію холодного фронту вітер, як і в випадку теплому фронті, повертає вправо, але поворот більш значний і різкий - від південного, південно-західного (перед фронтом) до західного, північно-західного (за фронтом). При цьому посилюється швидкість вітру. Атмосферний тиск перед фронтом змінюється в сторону падіння. З проходженням холодного фронту починається швидке зростання тиску. За холодним фронтом зростання тиску може досягати 3-5 гПа / 3 год., А іноді 6-8 гПа / 3 год і навіть більше. Зміна баричної тенденції (від падіння до зростання, від повільного зростання до сильнішого) свідчить про проходження лінії приземного фронту.

Характер погоди на холодному фронті помітно різниться в залежності від швидкості зсуву фронту, властивостей теплому повітря перед фронтом, характеру висхідних рухів теплому повітря над клином холодного.

Залежно від ступеня стійкості теплого повітря розрізняють холодні фронти I і II роду.

На холодних фронтах I роду (які повільно пересуваються) переважає впорядковане підняття теплого повітря над клином холодного повітря. Холодний фронт I роду є пасивною поверхнею висхідного ковзання. До цього типу належать повільно рухаються або сповільнюють свій рух фронти в глибоких баричних улоговинах або поблизу центру циклону.

Хмарність холодного фронту I роду (рис. 1.3), що утворюється внаслідок висхідного ковзання уздовж його поверхні витісняється холодним клином теплого повітря, є як би дзеркальним відображенням хмарності теплого фронту. Вона починається з Ns, а закінчується Cs-Ci. При цьому хмари розташовані головним чином за лінією фронту. Відмінність від хмарності теплого фронту все ж існує: внаслідок тертя поверхнею холодного фронту в нижніх шарах стає крутий, тому перед самою лінією фронту замість спокійного і пологого висхідного ковзання спостерігається конвективний підйом теплого повітря.

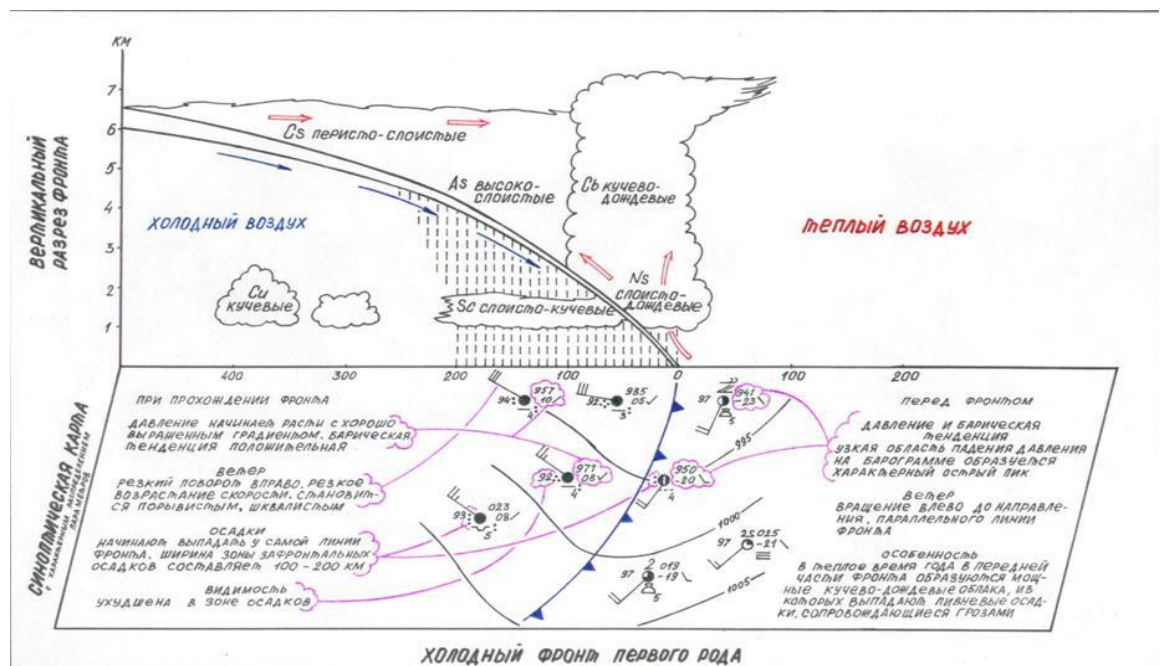


Рис. 1.3. Схема хмарності холодного фронту I роду на вертикальному розрізі і на карті погоди [6]

У теплу половину року на фронті, крім основної хмарної системи, нерідко розвиваються купчасто-дощові хмари, грози, що супроводжуються зливовими

опадами і шквалистими вітрами. Ширина хмарної системи становить близько 300 км, зона зливових опадів - близько 50 км, далі вони переходять в облогові; загальна ширина зони опадів у середньому - 150 км.

Завдяки цьому, в передній частині хмарної системи можуть виникати потужні купчасті (Cu cong.) і купчасто-дощові (Cb) хмари, що розтягнуті на сотні кілометрів уздовж фронту, зі снігопадами взимку, зливами влітку, нерідко з грозами та шквалами. Над розміщеною вище частиною фронтальної поверхні з нормальним нахилом в результаті висхідного ковзання теплого повітря хмарна система являє рівномірний покрив шаруватих хмар As-Ns. Зливові опади перед фронтом після проходження фронту змінюються більш рівномірними обложними опадами. Потім з'являються перисто-шаруваті і перисті хмари.

Вертикальна потужність системи As-Ns і ширина хмарної системи та області опадів при цьому буде значно менше (приблизно в півтора-два рази), ніж у разі теплого фронту. Верхня межа системи As-Ns знаходиться на висоті близько 4,0-4,5 км. Під основною хмарною системою можуть виникати шаруваті розірвані хмари (St fr), іноді утворюються фронтальні тумани. Тривалість проходження холодного фронту I роду через пункт спостереження становить 10 год. і більше.

Холодний фронт II роду виділяють, коли холодне повітря швидко вторгається і активно відтісняє теплу повітряну масу. Висхідний рух теплого повітря перед фронтом в нижній частині, зустрічається з низхідним по фронтальній поверхні. Перед фронтом на висоті виникає інверсія. Також перед фронтом утворюється потужна хмарна система, в основному з купчасто-дощових хмар (Cb), характерні шквалисті вітри, зливи з грозами, нерідко з градом. Але фронт швидко проходить і погода покращується. Вночі та вранці фронт часто значно розмивається і супроводжується утворенням низьких хмар, розірвано-дощових або шаруватих. В день цей фронт народжує потужну купчасто-дощову хмарність. У валу купчасто-дощових хмар холодного фронту II роду іноді зустрічаються розриви або менш розвинена хмарність нижнього і середнього ярусів. На окремих ділянках фронту розвивається грозова діяльність, яка закінчується на одних ділянках, може з'явитися на сусідніх.[6]

До холодних фронтів II роду відноситься холодні фронти, які швидко рухаються. Відбувається витіснення теплого повітря з нижніх шарів вперед

холодним валом. Поверхня холодного фронту в нижніх шарах розташовується дуже круто, утворюючи навіть опуклість у вигляді валу. Швидке переміщення клина холодного повітря викликає вимушену конвекцію витіснення теплого повітря у вузькому просторі у передній частині фронтальної поверхні. Тут створюється потужний конвективний потік з утворенням купчасто-дощової хмарності, що посилюється в результаті термічної конвекції вдень.

У теплу половину року верхня межа (ковадла) купчасто-дощових хмар поширюється до висоти тропопаузи. На холодних фронтах II роду спостерігається інтенсивна грозова діяльність, зливи, іноді з градом, шквалисті вітри. В хмарах сильна бовтанка і обмерзання. Ширина зони небезпечних явищ погоди становить кілька десятків кілометрів (рис. 1.4).

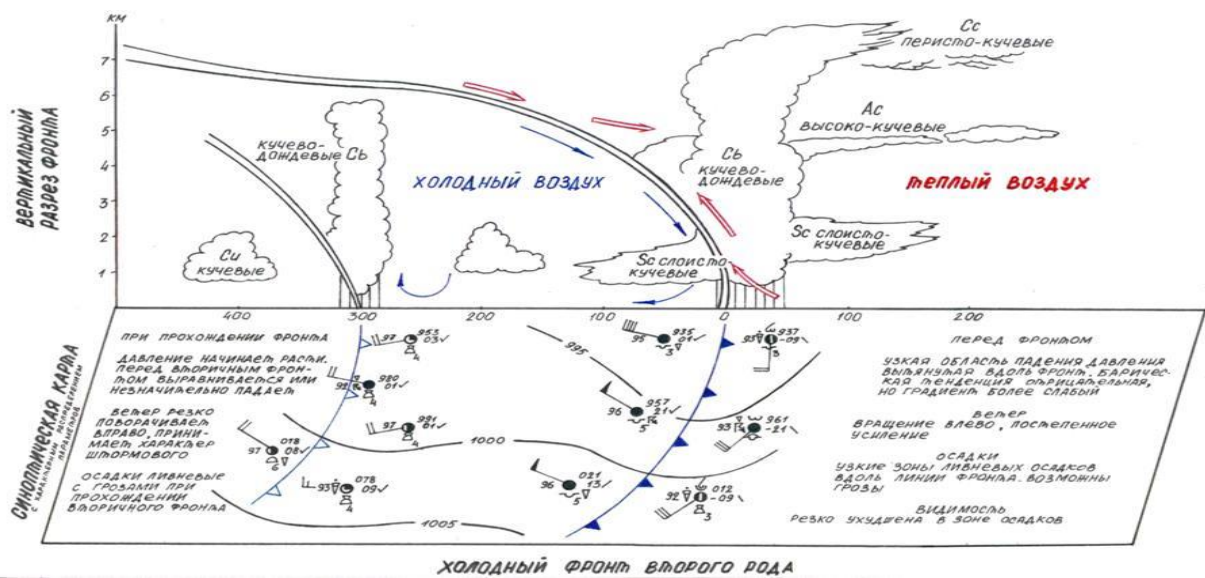


Рис. 1.4. Схема хмарності холодного фронту II роду на вертикальному розрізі і на карті погоди [6]

У холодну половину року вершини купчасто-дощових хмар досягають 3-4 км. З цієї хмарністю пов'язані короткі сильні злививі снігопади (ширина зони снігопаду становить 50 км), хуртовини при видимості менше 1000 м, різке посилення швидкості вітру, бовтанка. Хмари холодного фронту II роду мають яскраво виражений добовий хід. Вночі хмари Сб можуть розмиватися. Вдень посилюються конвективні рухи повітря через прогрівання підстильної поверхні і розвиток турбулентних рухів, тому найбільшого розвитку хмари і опади холодного фронту II роду досягають в післяполудневі години, що характерно і для внутрішньомасових хмар Сu і Сb.

При проходженні холодних фронтів II роду через пункт спостережень спочатку (години за 3-4 до проходження лінії фронту у Землі) з'являються перисті хмари, які швидко змінюються на *As lentic*, які швидко змінюються *Cb* з опадами. Тривалість переміщення системи хмар із зливовими опадами і грозами зазвичай не перевищує 1-2 години. Після проходження холодного фронту зливі опади припиняються.

Особливістю холодних фронтів як I так і II роду є передфронтальні шквали. Оскільки в передній частині холодного клину, завдяки тертю, створюється крутий нахил фронтальної поверхні, частина холодного повітря опиняється над теплим. Далі відбувається "обрушення" вниз холодних повітряних мас це призводить до витіснення вгору теплого повітря і до виникнення уздовж фронту вихору з горизонтальною віссю. Особливо інтенсивними бувають шквали на суші влітку, при великій різниці температур між теплим і холодним повітрям по обидва боки від фронту і при нестійкості теплого повітря. У цих умовах проходження холодного фронту супроводжується руйнівними швидкостями вітру. Швидкість вітру нерідко перевищує 15-20 м/с, тривалість явища зазвичай кілька хвилин.

### 1.5 Хмарність та погодні умови фронтів оклюзії

В циклоні холодний фронт переміщається трохи швидше теплого, з часом відбувається їх зближення, а потім і злиття, яке починається біля центру циклону. Такий фронт, називається фронтом оклюзії або зімкнутим фронтом [7]. Фронти оклюзії пов'язані з гребнями тепла в нижній і середній тропосфері. В системі фронту оклюзії взаємодіють три повітряні маси, з яких тепла вже не стикається з поверхнею Землі. Тепле повітря у вигляді воронки поступово піднімається вгору, а його місце займає холодне повітря, що надходить з боків. Поверхня розділу, що виникає при змиканні холодного і теплого фронтів, називають поверхнею фронту оклюзії. З фронтами оклюзії пов'язані інтенсивні опади, влітку - сильні грози.

Баричне поле фронту оклюзії представлено добре вираженою улоговиною з V-подібними ізобарами. Точка на синоптичній карті, від якої розходяться незамкнуті ділянки теплого і холодного фронтів в оклюдованому циклоні називається точкою оклюзії. Під час оклюдування циклону, точка

оклюзії зміщується до його периферії.

У передній частині фронту оклюзії спостерігаються перисті (Ci), перисто-шаруваті (Cs), високо-шаруваті (As) хмари, а в разі активних фронтів оклюзії - шарувато-дощові (Ns). Якщо в оклюдуванні бере участь холодний фронт I роду, то вище верхнього теплого фронту може залишитися частина хмарної системи холодного фронту. Якщо ж бере участь холодний фронт II роду, то за верхнім теплим фронтом наступає прояснення, але на нижньому холодному фронті може розвинутися вал купчасто-дощових хмар (Cb) вже в передньому холодному повітрі, що витісняється холоднішим тиловим клином. [7]

Зближення системи хмар теплого і холодного фронтів в основному складаються з As-Ns. В результаті виникає потужна хмарна система Cs-As-Ns з найбільшою товщиною у верхнього холодного фронту. У разі молодого фронту оклюзії хмарна система починається з Ci і Cs, які переходять в As, потім в Ns. Іноді за Ns можуть спостерігатися Cb, за якими знову йдуть Ns. Слабке висхідне ковзання тилового повітря уздовж поверхні оклюзії може привести до утворення уздовж неї хмар типу шаруватих і шарувато-купчастих (St-Sc), що не досягають рівня крижаних ядер. З них перед нижнім теплим фронтом буде випадати мряка. У разі старого теплого фронту оклюзії хмарна система складається з купчасто-дощових хмар (Cs) і висококупчастих (Ac) хмар, іноді до них приєднуються високошаруваті (As); опади можуть бути відсутніми.

Для фронтів оклюзії характерна велика різноманітність хмарних систем і опадів. У загальних рисах погода при оклюзії по типу теплого фронту схожа з погодою теплих фронтів, а при оклюзії по типу холодного - з погодою холодних фронтів. Фронти оклюзії, як правило, пов'язані з добре вираженими баричними улоговинами (рис. 1.5).

При утворенні фронту оклюзії може бути: нейтральна, тепла і холодна оклюзія. Нейтральний фронт оклюзії має місце, коли маси холодного повітря, що рухаються за холодним фронтом, мають однакову температуру з холодним повітрям, що переміщується попереду теплого фронту. У момент змикання холодних мас фронт відривається від земної поверхні і виникає верхній фронт. Характер хмарності при цьому буде визначатися системами хмарності як теплого, так і холодного фронтів. Випадок нейтральної оклюзії дуже рідкий, так як зазвичай температури відступаючого і наступаючого холодного повітря

неоднакові.

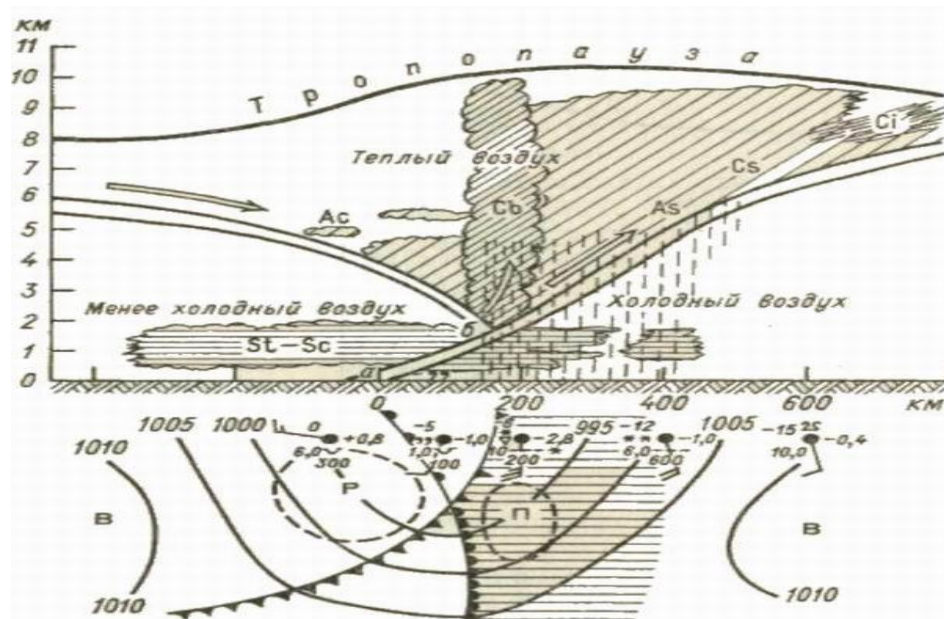


Рис. 1.5. Схема хмарності фронту оклюзії на вертикальному розрізі і на карті погоди [7]

Теплий фронт оклюзії або фронт оклюзії по типу теплового фронту характеризується тим, що повітряна маса за фронтом оклюзії є більш теплою, ніж повітряна маса перед фронтом оклюзії.

При наближенні теплового фронту оклюзії з добре розвиненою хмарністю до пункту спостереження спочатку з'являються перисті хмари, після яких перисто-шаруваті хмари. Потім у міру наближення фронту тиск повітря поступово знижується. Одночасно зі зниженням тиску температура і вологість повітря повільно підвищуються. Хмари стають щільніші, починають випадати облогові опади, які слабшають або зовсім припиняються лише після проходження фронту. Після проходження фронту напрямок вітру змінюється, а швидкість його зменшується, зниження тиску поступово припиняється і починається навіть слабке підвищення. Взимку при проходженні теплового фронту оклюзії зазвичай з'являються низькі шаруваті хмари і туман (рис.1.6а).

Холодний фронт оклюзії або фронт оклюзії по типу холодного фронту характеризується тим, що повітряна маса за фронтом оклюзії є більш холодною, ніж повітряна маса перед фронтом оклюзії (рис.1.6б).

При наближенні до пункту спостереження холодного фронту оклюзії з невеликою нестійкістю теплового повітря спочатку з'являються купчасто-дощові хмари з зливовими опадами, після проходження фронту

спостерігаються шарувато дощові і високошаруваті хмари, зливові опади змінюються облоговими, які припиняються у міру наближення високошаруватих і перистих хмар. [7]

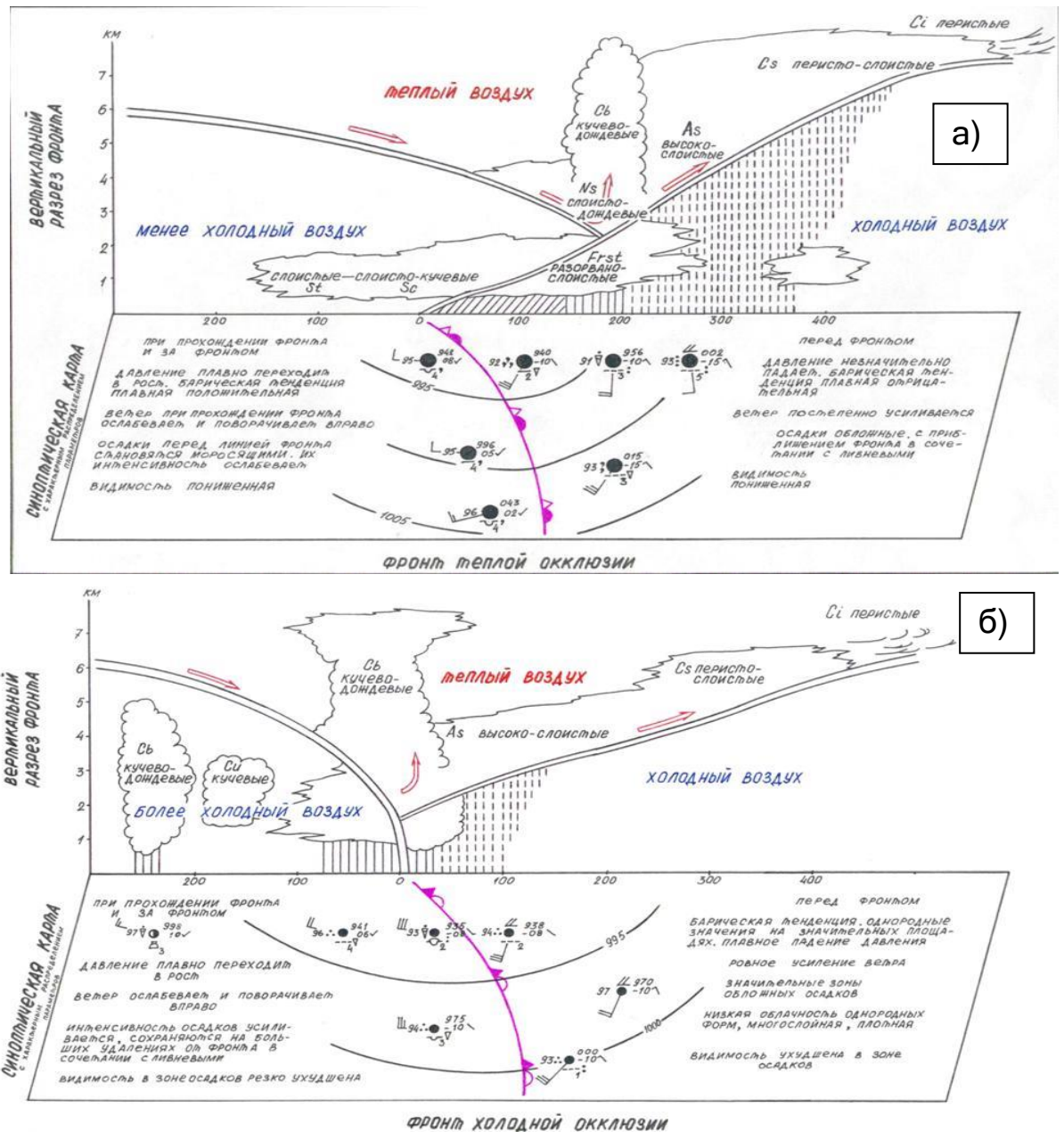


Рис. 1.6. Схема хмарності теплого (а) та холодного (б) фронтів оклюзії на вертикальному розрізі і на карті погоди. [6]

В середньому за рік холодні фронти оклюзії відзначаються частіше, ніж теплі фронти оклюзії. Над материком теплий фронт оклюзії частіше спостерігається взимку, а холодний фронт оклюзії частіше спостерігається влітку.



## 2 НЕБЕЗПЕЧНІ ТА СТИХІЙНІ МЕТЕОРОЛОГІЧНІ ЯВИЩА, ЯКІ ПОВ'ЯЗАНІ З АТМОСФЕРНИМИ ФРОНТАМИ У ТЕПЛІЙ ПЕРІОД РОКУ 2014-2020 РР.

### 2.1 Небезпечні явища погоди, що утворюються під впливом фронтальних розділів

Зміни температурно-вологісного режиму в Україні та розвиток стихійних явищ, що й надалі становитимуть характерну особливість регіонального клімату, пов'язані зі змінами атмосферної циркуляції в усьому євроатлантичному регіоні. Вони зумовлені посиленням впливом Атлантики на територію України. У майбутньому клімат країни характеризуватиметься погодніми і кліматичними аномаліями. За умов збереження у найближчі два десятиріччя XXI ст. стану глобального клімату на існуючому рівні, можливо, що клімат України наслідуватиме властивості регіонального клімату другої половини XX ст., зберігаючи ймовірність стихійних явищ [11].

Небезпечні та стихійні метеорологічні явища (НЯ та СМЯ) – це різні явища природи, які по своїй інтенсивності та тривалості зумовлюють раптове порушення нормальної життєдіяльності населення, руйнування і знищення матеріальних цінностей, наносять значні збитки різним галузям економіки і створюють загрозу для безпеки людей. Метеорологічне явище оцінюється як небезпечне тоді, коли воно досягає певних критичних значень.

Для теплового періоду року характерні такі небезпечні явища як: сильні вітри, шквали, смерчі, зливи, град, гроза, сильні та тривалі дощі, пилові бурі, сильна спека.

Збитки від небезпечних та стихійних метеорологічних явищ погоди визначаються їх інтенсивністю, тривалістю, характером місцевості де вони спостерігаються. Так, стихійними на рівнинній території України є опади 50мм і більше за 12год. і менше, а у селе- і зливонебезпечних районах 30мм і більше за 12год. і менше. При цьому опади 15мм і більше за 12 год. і менше, є небезпечними на всій території країни.

До зливових опадів відносяться опади великої інтенсивності, але малої тривалості, що випадають з купчасто-дощових хмар. Вони характерні для

вологих нестійких повітряних мас, холодних фронтів II роду, холодних фронтів оклюзії і рідше - для теплих фронтів.

Опади, що досягли критеріїв стихійних завдають значних збитків різним галузям економіки: сільському господарству, транспорту, енергетиці, зв'язку, будівництву, комунальному господарству, системі оборони, туризму та ін.. Крім прямих збитків вони можуть визвати або підсилити й інші стихійні явища: розповсюдження хвороб (тиф, малярія, холера та ін.), розлив нафтопродуктів, викиди токсичних газів та ін.

Град являє собою частинки льоду сферичної (найбільш імовірна) або неправильної форми, його діаметр міняється від середніх розмірів крапель дощу до 50мм і більше. Зустрічаються градини розміром 200мм і масою більше 1кг. Випадає він вузькою (близько 10км) і довгою (іноді на сотні кілометрів) смугою, яку ще називають градовою доріжкою. Товщина шару граду коливається від декількох міліметрів до десятка сантиметрів. Тривалість випадіння граду міняється від 10с до 45хв і в середньому становить 5 хв. Град, що завдає найбільших збитків господарству, належить до категорії стихійного, має діаметр 20мм і більше і складається із суміші води та льоду. Град діаметром від 6 до 20мм належить до небезпечних явищ погоди, а більше 20мм – до стихійних. Крупний град спостерігається переважно у теплий період року і утворюється в суперосередкових хмарах при проходженні фронтів (особливо холодних - 75%). Можливий він і при внутрішньомасових процесах [8]. Град – явище локальне і повторюваність його незначна, оскільки просторовий масштаб градових процесів значно менше щільності мережі спостережень.

Шквал – різке посилення вітру зі зміною напрямку протягом короткого проміжку часу. Небезпечними є шквали, швидкість вітру при яких сягає від 15 до 25м/с, а стихійними – 25м/с і більше. Шквал являє собою вихор з горизонтальною віссю обертання, його максимальна повторюваність спостерігається в післяполуденні і вечірні години. Він часто супроводжується сильними опадами та градом. Серед небезпечних явищ, що спостерігаються у теплий період шквали становлять невеликий відсоток, але левова доля збитків, заподіяних різним галузям господарства НЯ та СМЯ припадає саме на них. Шквали мають чітко виражений добовий хід, з максимумом в післяполуденні і вечірні години, що зумовлено інтенсивним розвитком конвекції у цей час. У цей період спостерігається близько 60% СМЯ. У ранкові і нічні години вони

утворюються дуже рідко.

Вітер, швидкість якого 25м/с і більше, в Україні належить до стихійних метеорологічних явищ. Він завдає значних збитків галузям енергетики, зв'язку, сільському та комунальному господарству, транспорту та населенню країни. Піднімаючи в повітря пил, вітер погіршує видимість.[8]

Оскільки штормовий вітер є результатом дії крупномасштабних центрів атмосфери, його виникнення рівноймовірне протягом усієї доби, з деякою перевагою у денні години.

Для аналізу атмосферних фронтів, які проходили у теплий період 2014-2020 років, була зроблена вибірка з АРМ синоптика, з квітня по вересень. Цей період у місті Запоріжжя характеризувався помітним послабленням активності атмосферних процесів, що було пов'язано з послабленням міжширотного обміну внаслідок зміщення на північ ПФЗ і ослаблення циклонічної діяльності над південними морями.

Влітку переважав підвищений тиск, місцеві циклони були майже єдиним проявом циклонічної діяльності. Місцеві циклони - слабозвинені баричні утворення, тому їх вплив на погодні умови виявляється істотним тільки завдяки значній тривалості і повторюваності перебування над районом дослідженням.

## 2.2 Небезпечні явища погоди, що спостерігались при проходженні атмосферних фронтів у теплий період 2014-2020 рр.

З атмосферними фронтами часто пов'язані небезпечні явища погоди. За період з квітня по вересень спостерігався комплекс небезпечних явищ погоди: грози, шквали і сильні зливи, сильний вітер та фронтальні тумани. Гроза є комплексним явищем погоди і розвитку купчасто-дощової хмарності, яка супроводжується багатократними електричними розрядами у вигляді блискавок і звуковим ефектом, званим громом. Фронтальні шквали є найбільш небезпечними і частіше пов'язані з холодними атмосферними фронтами і холодними фронтами оклюзії.

При проведенні аналізу проходження атмосферних фронтів над м. Запоріжжя у теплий період року проаналізовано утворення небезпечних явищ. За теплового півріччя 2014-2020 р.р. зроблена вибірка повторюваності небезпечних метеорологічних явищ по днях, в які вони спостерігались.

Червень та серпень були найактивнішими щодо повторюваності небезпечних явищ погоди. Максимальна кількість днів з небезпечними явищами за період 2014-2020 років спостерігалось у червні місяці – 71 день (табл. 2.1).

Припадання найбільшого числа випадків з грозами на червень, пояснюється особливостями циркуляції атмосфери, тому що переважаюче число гроз пов'язане з циклонами і їх фронтальними системами. У липні спостерігався спад кількості небезпечних явищ погоди - 3 днів. У цей період переважав антициклоніальний тип погоди, циклонічна діяльність була ослаблена. Грози спостерігались переважно з травня по вересень. У більшості випадків грози були без опадів.

Таблиця 2.1 - Кількість днів з небезпечними явищами по місяцях

Місяць	Гроза	Шквал	Злива	Вітер	Туман	Всього
квітень	10	0	7	10	3	30
травень	38	3	8	5	2	56
червень	41	6	18	6	0	71
липень	26	3	7	2	0	38
серпень	28	5	7	4	0	44
вересень	12	0	14	15	4	45
Всього	155	17	61	42	9	284

Протягом серпня та вересня повторювалися деякі синоптичні процеси, аналогічні травню-червню, але в цілому переважав антициклоніальний тип погоди.

У квітні, травні та вересні були випадки утворення передфронтальних та фронтальних туманів. Фронтальний туман виникає безпосередньо при проходженні фронту. Такий туман є частиною фронтальної хмарної системи, що поширюється до поверхні Землі. Передфронтальний туман утворюється унаслідок насичення вологою холодного повітря, що знаходиться під фронтальною поверхнею. Випавши, фронтальні опади насичують повітря і промочують ґрунт. В результаті посиленого випару як з ґрунту, так і з падаючих крапель дощу, шар повітря біля земної поверхні досягає насичення і в ньому утворюється туман. Такий туман спостерігається суцільною смугою перед фронтом разом з дощем.

Швидкість вітру поступово зростає з наближенням теплового фронту і

потім стабілізується в теплому секторі. Після проходження холодного фронту швидкість вітру зменшується. Найбільшої сили він досягає при проходженні фронтів. У обох випадках при пересіченні фронтів, вітер стає поривчастим і шквальним. У квітні, червні, серпні та вересні відмічались випадки, коли вітер при проходженні холодного фронту посилювався і ставав поривчастим (з переважаючими напрямками  $10^{\circ}$  при 10 м/с з поривами до 17 м/с та  $320^{\circ}$  при 11 м/с з поривами до 16 м/с), але за фронтом його напрям зазвичай змінювався, а швидкість вітру зменшувалася.

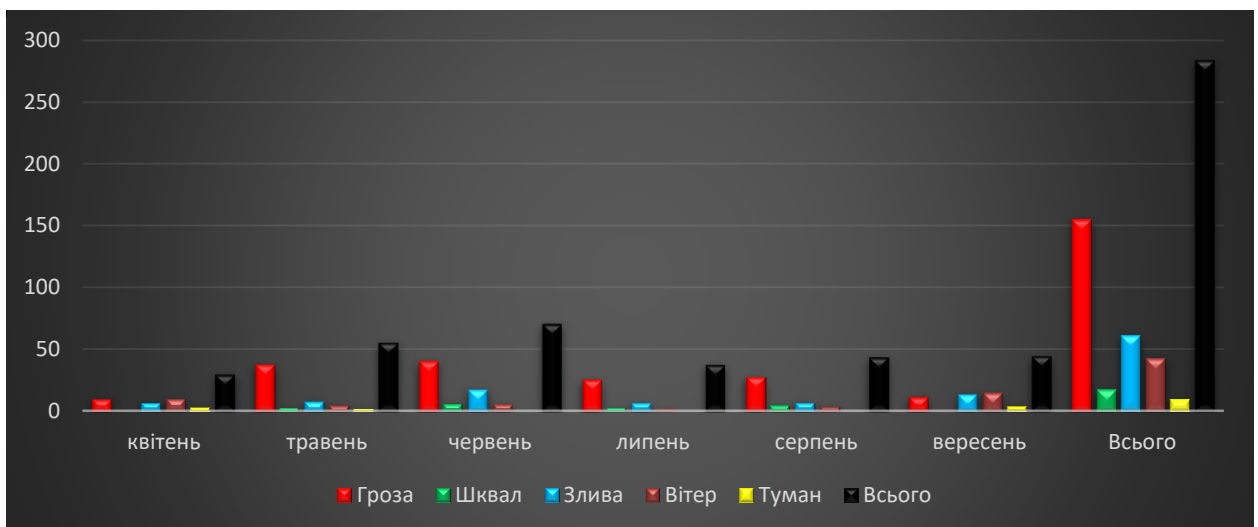


Рис. 2.1. Кількість днів з небезпечними явищами погоди при проходженні атмосферних фронтів за період 2014-2020 рр.

Внаслідок розвитку блокуючого антициклогенезу південні циклони, особливо ті що зароджувались над східною частиною Чорного моря, значно поглиблювались, проте, перемістившись на територію, ставали квазістаціонарними на період блокування. Вони або стаціонували, або аномально переміщувались з півдня на північ. Такий розвиток процесів зумовлював утворення небезпечних метеорологічних явищ. Влітку проходження хвиль на стаціонарному фронті обумовлювало розвиток інтенсивної грозової діяльності, що супроводжувалось шквалами.

Як видно з табл. 2.2, конвективні явища в зоні холодних фронтів мають добре виражений добовий хід. Вдень конвекція посилюється, досягаючи максимуму в післяполуденні години, а вночі затухає. Грози найчастіше формувались в період з 12 до 16 год., середня тривалість гроз становила близько 1 год. 15 хвилин (табл. 2.3). Тривалість гроз в кожному місяці різна:

Таблиця 2.2 - Час початку утворення конвективних явищ на атмосферних фронтах у теплий період року у Запоріжжі

Строк, UTC	Місяці					
	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень
00	1		1		1	2
01	2		2			1
02			3		1	
03		1		3	1	
04	1		1			
05		3	1			2
06					1	
07						
08						3
09						
10			3			
11	1		2			
12		2		1	3	
13		2	5			
14				1		
15		2		3	3	
16			3		1	
17	1					2
18						
19						
20	2					
21						2
22	1		2		3	
23		2	3		3	2
Всього	9	12	26	8	17	14

від декількох хвилин до декількох годин. Максимальна тривалість грози спостерігалась при проходженні холодного фронту 13 червня 2017 р, на якому також відмічався швал 24-32 м/с та сильний зливовий дощ. Тривалість шквалу становила 3хв, зливовий дощ видимістю 500-350м тривав 36хв.

Таблиця 2.3 –Розподіл (к.вип.) тривалості фронтальних гроз в теплий період року 2014-2020 рр. над Запоріжжям

Місяць	Тривалість					
	15-30хв	30-45хв	45-60хв	1-1,15ч	1,15-1,30ч	>1,30ч
квітень	2	2	1	0	0	0
Травень	3	3	2	1	0	0
Червень	2	6	9	1	3	1
Липень	1	2	0	2	1	1
Серпень	0	3	1	3	1	0
Вересень	0	3	1	1	1	0
Всього	8	19	14	8	6	2

### 2.3 Небезпечні та стихійні явища за теплий період 2014-2020 рр. у м. Запоріжжя

Розглянемо та проаналізуємо небезпечні та стихійні явища які виникли у теплий період (квітень-вересень) 2014-2020р.р. над територією Запоріжжя при проходженні атмосферних фронтів. За досліджений період у м.Запоріжжя спостерігались наступні небезпечні та стихійні явища погоди: сильний вітер 15-17м/с, гроза, град, шквал 32 м/с, сильний зливовий дощ 23мм за 12годин. Пилових бур за розглянутий період не спостерігалось.

Частіше, у теплий період року сильний вітер 15-17м/с спостерігався в квітні, червні, серпні та вересні місяцях. У таблиці 2.3.4 представлено середня кількість днів з небезпечним сильним вітром.

Грозова діяльність спостерігалась щорічно з квітня до вересня місяців (табл.2.3.5). Найбільш небезпечні грози на холодних фронтах II роду, у точки оклюзії і вершин хвильових збурень. Влітку, в нічні години грози можуть виникали на теплих фронтах, при винесенні з південного заходу вологих повітряних мас.

Усього в теплий період спостерігалось 155 випадків фронтальних гроз. Максимальна кількість днів з грозами відмічалась у серпні 2014року - 9 днів, та червні 2018року - 9 днів. У середньому максимально 7 днів за увесь розглянутий період приходить на червень місяць та мінімально 2 дні - на квітень місяць.

Таблиця 2.4 - Число днів з сильним вітром (15 м/с і більш)  
у теплий період року

Рік	Місяць						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	усього
2014	1	2	-	-	1	3	7
2015	1	-	1	-	-	1	3
2016	2	1	1	1	-	5	10
2017	1	1	-	-	-	-	2
2018	2	-	1	-	1	2	6
2019	1	-	3	-	-	2	6
2020	2	1	-	1	2	2	8
середнє	1	1	2	1	1	3	42

Таблиця 2.5 - Число днів з грозами в теплий період по роках.

Рік	Місяць						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	усього
2014	1	8	2	6	9	4	30
2015	1	8	5	5	3	5	27
2016	2	7	8	3	2	-	22
2017	1	5	7	6	6	-	25
2018	4	5	9	5	6	-	29
2019	-	2	5	-	2	1	10
2020	1	3	5	1	-	2	12
середнє	2	5	6	4	5	3	155

Радіолокаційні спостереження за активно розвинутою конвективною хмарністю з завчасністю дозволяє визначати ділянки з утворенням градової хмарності.

Частіше за все град відмічається під час грози. Град один з найнебезпечніших видів опадів. Випадіння граду спостерігалось при проходженні холодних фронтів з хвилями, які характеризуються великими контрастами температури, вторинних холодних фронтів і добре виражених холодних фронтів оклюзії.

За досліджуваний період він частіше відмічався у липні 2017р., та серпні 2015р. (табл. 2.6). Всі випадки відмічались у полуденні та післяполуденні години, коли спостерігається максимальний розвиток термічної конвекції. Випадіння граду відбувається з потужної купчасто-дощової хмарності та



носить локальний характер. Найбільш крупний град випадає у зонах холодних фронтів, його тривалість частіше за все буває від 5 до 15хв.

Впродовж досліджуваного періоду відмічалось лише 5 днів з градом, 3 дні було зафіксовано у липні 2017 року і 2 дні у серпні 2015 року.

Таблиця 2.6 - Кількість днів з градом в теплий період по рокам

Рік	Місяць						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	усього
2014	-	-	-	-	-	-	-
2015	-	-	-	-	2	-	2
2016	-	-	-	-	-	-	-
2017	-	-	-	3	-	-	3
2018	-	-	-	-	-	-	-
2019	-	-	-	-	-	-	-
2020	-	-	-	-	-	-	-
середнє	-	-	-	3	2	-	5

Шквал – один із типових проявів інтенсивної конвекції і в залежності від самої конвекції може охоплювати від декількох сотень квадратних метрів, до зон - мезомасштабу (шквали пов'язані з відповідними конвективними системами). Шквал, як і град є короткочасним та локальним явищем погоди. Він також пов'язаний з активною грозовою діяльністю та зливами. За семилітній період дослідження спостерігалось 17 днів зі шквалом. Найчастіше шквали спостерігалися у червні 2017 р. (табл. 2.7), в липні 2015 та серпні 2017 р., в вересні шквалу не відмічалось.

Таблиця 2.7 - Число днів зі шквалом в теплий період по рокам

Рік	Місяць						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	усього
2014	-	-	-	-	1	-	1
2015	-	1	-	2	-	-	3
2016	-	-	1	-	1	-	2
2017	-	-	3	-	2	-	5
2018	-	1	1	-	-	-	2
2019	-	-	1	-	-	-	1
2020	-	1	-	1	1	-	3
середнє	-	1	2	1	1	-	17

За теплий період (квітень-вересень) 2014-2020 р.р. відмічалось 61 день з сильними опадами. У середньому самими дощовими є червень та вересень по 3 дні, мінімальний місяць з опадами липень. За досліджений період сильні зливи спостерігались під час проходження фронтальних розділів у червні 2014 року та вересні 2016 року по 5 днів. (таблиця 2.8).

Таблиця 2.8 - Кількість днів з сильними опадами в теплий період по рокам

Рік	Місяць						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	усього
2014	-	-	5	1	-	-	6
2015	1	2	3	-	1	-	7
2016	2	-	3	-	-	5	10
2017	-	1	-	1	1	2	5
2018	3	1	2	4	-	3	13
2019	-	3	3	-	3	1	10
2020	1	1	2	1	2	3	10
середнє	2	2	3	2	2	3	61

Типовою ситуацією для випадіння сильного зливого дощу у теплий період року у нашому районі є зони різкого загострення холодного фронту з хвилями, який повільно переміщується з південного заходу України на північний схід.

#### 2.4 Динаміка небезпечних та стихійних явищ за останні 7 років у Запоріжжі

Впродовж теплого періоду року в м. Запоріжжі активізуються впливи західних повітряних мас — як вологих (переважно в першу частину літа), так і сухих (з другої половини літа; посилення впливу Азорського максимуму). В червні і вересні випадають максимальні місячні суми опадів; їх кількість у липні - серпні зменшується (протягом липня - серпня спостерігається, як правило, суха безхмарна погода з високою температурою), також протягом літа можливі тривалі бездощові періоди, які можуть зумовлювати формування ґрунтових і атмосферних посух.

Небезпечними та стихійними явищами теплого періоду року переважно є зливи, грози і град, які супроводжуються сильними поривчастими вітрами –

шквалами. Вони формуються під час проходження холодних атмосферних фронтів або коли приземні шари повітря значно прогріваються і починають стрімко підніматися.

У табл. 2.9 представлена кількість днів з небезпечними явищами у теплий період 2014-2020 рр. Для аналізу небезпечних явищ, використовуючи таблицю 2.9, побудуємо діаграми (рис. 2.2-2.7) яка дозволяє представити динаміку виникнення небезпечних явищ погоди у розглянутий період.

Таблиця 2.9 - Небезпечні явищами у теплий період 2014-2020 рр.

Явище	Рік								всього	середнє
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020			
Сильний вітер	7	3	10	2	6	6	8	42	6	
Гроза	30	27	22	25	29	10	12	155	22	
Град	-	2	-	3	-	-	-	5	1	
Шквал	1	3	2	5	2	1	3	17	2	
Сильні опади	6	7	10	5	13	10	10	61	9	
Пилова буря	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Всього	44	42	44	40	50	27	33	280	40	
Середнє число днів	9	8	9	8	10	7	8	59	13	

Розглянемо динаміку небезпечних явищ. Так найчастіше сильний вітер спостерігався у 2016р. - 10 днів, найменша кількість випадків 2017р. – 2 дні, 2015р – 3 дні, в інші роки майже рівномірно 6-8 днів (рис. 2.3).

Гроза спостерігалась впродовж всього періоду у межах від 10 до 30 днів (рис. 2.3). Максимальне число днів с грозою відмічалось у 2014 та 2018 роках, мінімальна кількість днів - у 2019-2020 роках, в інші роки майже рівномірно 22-25 днів. Град відмічався лише у 2015 р. 2 дні та 2017 р. 3 дні. У інші роки випадіння граду не спостерігалось (рис. 2.4).

Шквал спостерігався з найбільшим числом випадків у 2017 році - 5днів, у 2015 і 2020 роках по 3 випадки, у 2016 та 2018 по 2 випадки і найменша кількість у 2014 та 2019 роках по 1 випадку (рис. 2.5).



Рис. 2.2. Діаграма розподілу днів з сильним вітром, у теплий період 2014-2020 рр.



Рис. 2.3. Діаграма кількості днів з грозами у теплий період 2014-2020р.р.



Рис. 2.4. Діаграма кількості днів з градом у теплий період 2014-2020р.р.



Рис. 2.5. Діаграма кількості днів зі шквалом у теплий період 2014-2020р.р.

Сильні зливові дощі мали максимум у 2018 році - 13 днів, у 2016, 2019, 2020 роках по 10 днів у інші роки спостерігався майже рівномірний розподіл від 5 до 7 днів (рис. 2.7).



Рис. 2.6. Діаграма кількості днів з сильними опадами у теплий період 2014-2020рр.



Рис. 2.7. Діаграма кількості днів з небезпечними явищами у теплий період 2014-2020 рр.

Аналізуючи діаграму (рис. 2.7) ми бачимо, що у 2018 р. спостерігалась найбільша кількість днів з небезпечними явищами 53 дні, а у 2019 році найменше число днів - 27, у інші роки майже рівномірний розподіл 33-43 дні. Впродовж всього дослідного періоду пилових бурь не спостерігалось.

### 3. СИНОПТИЧНІ ПРОЦЕСИ, ЯКІ ХАРАКТЕРНІ ДЛЯ ВИНИКНЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ТА СТИХІЙНИ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ЯВИЩ

#### 3.1 Загальні умови для розвитку конвективних явищ на півдні України

Для сильного вітру в теплий період року на півдні України характерні такі синоптичні ситуації [9, 11]:

1. Над південною частиною Європи розташована смуга високого тиску, яка витягнута у широтному напрямку, а над північною частиною Європи обширна депресія. Швидке переміщення поглиблюючих улоговини та циклонів з заходу на схід, при наявності смуги високого тиску над Україною утворює значні баричні градієнти.

2. Посилення вітру східної чверті трапляється на західній та південно-західній периферії стаціонарного антициклону або відрогу, орієнтованого зі сходу.

Ймовірність нічних та ранкових гроз залежить від проходження фронтальних розділів. В деяких випадках грозова діяльність у нічні часи буває дуже інтенсивною. Найбільш небезпечні грози на холодних фронтах II роду, у точки оклюзії і вершин хвильових збурень. Влітку, в нічні години грози можуть виникати на теплих фронтах, при винесенні з південного заходу вологих повітряних мас.

Синоптичні умови сприятливі для розвитку градових хмар і випадіння граду на півдні України:

1. Холодні фронти які швидко переміщуються, особливо поблизу вершини хвильового збурення (центральної частини циклону), поблизу точки оклюзії, при зміщенні його зі швидкістю 30-40км/год і більше. При зменшенні швидкості зсуву холодного фронту і в міру віддалення від центру циклону ймовірність граду зменшується.

2. Малорухливий фронт з хвильовими збуреннями, уздовж фронту зі швидкістю 15-20км /год і більше.

3. Фронт оклюзії, особливо його ділянка поблизу точки оклюзії і центру циклону, при зміщенні його зі швидкістю 30-40 км/год і більше. При зменшенні швидкості пересування холодного фронту, хвилі, фронти оклюзії до 10 км/год і менше град мало ймовірний.

4. Неглибока барична улоговина в теплому секторі циклону або на периферії антициклону в малоградієнтному баричному полі на приземній карті погоди. Ця улоговина може простежуватися і на картах АТ 850 і АТ 700. В улоговині, яка окреслена іноді всього однієї проміжної ізобарою (ізогіпсою), при високих денних приземних температурах ( $> 25-27^{\circ}\text{C}$ ), точці роси  $> 8-10^{\circ}\text{C}$  у другій половині дня можуть розвинутися потужні конвективні хмари з грозами, зливами, шквалами і градом (виникають «лінії шквалів»). У цих випадках на денних і вечірніх картах погоди в теплому секторі циклону через зазначену улоговину і зону конвективних хмар з грозами, зливами та шквалами проводять фронт оклюзії.

Синоптична ситуація при виникненні шквалів характеризується наявністю слабких баричних і термічних градієнтів як у поверхні землі, так і на висотах. Температура повітря у поверхні землі має добре виражений добовий хід з максимумом в 14-15 год за місцевим часом, причому значення максимальної температури повітря як правило, вище  $25^{\circ}\text{C}$ .

Фронтальні шквали це найінтенсивніші шквали. Всі випадки фронтальних шквалів спостерігаються на антициклонічній (теплій) стороні струменевої течії, в його дельті. Там, де існує розбіжність ізогіпс і зменшення швидкості повітряного потоку у верхній тропосфері. Виникають в другій половині дня або ввечері в зоні малорухливого холодного фронту з хвилями. Так само виникають при швидкому зі швидкістю  $50 \text{ км/год}$  і більше, переміщенні холодного фронту і особливо на ділянці, яка розташована поблизу центру циклону. Шквали також виникають поблизу вершин хвильових збурень переважно в теплому повітрі (в теплому секторі хвилі). Найчастіше такі шквали виникають в денний час. Вони зустрічаються в 55% випадків від загального числа фронтальних шквалів.

Синоптичні умови для утворення сильних зливових дощів:

1. Малорухливий холодний фронт з хвильовими збуреннями і мезоциклон, який швидко переміщується з півдня, південного заходу або південного сходу уздовж фронту.

2. Фронт оклюзії, особливо його ділянка поблизу точки оклюзії.

3. Швидке переміщення холодного фронту з заходу на схід.

4. Малорухливий циклон

5. Депресія, що заповнюється.

Фронтальні злизові опади пов'язані з купчасто-дощовими хмарами у



вигляді гряд, зосереджених вздовж лінії фронту, та є більш інтенсивними і тривалими, ніж внутрішньомасові. Зливові опади у зоні холодних фронтів І роду і теплих фронтів найчастіше випадають разом з облоговими. У цих випадках хмари С<sub>b</sub> приховані від наземного спостерігача шарувато-дощовою і високо-шаруватою (Ns-As) хмарністю.

Стихійні опади починаються переважно у другій половині дня: початок більшості злив катастрофічного характеру припадає на момент максимального розвитку конвекції з 12 до 18 год., сильні дощі починаються у післяполуденні і вечірні години. Тривалі опади починаються переважно вночі.

### 3.2 Класифікація синоптичних процесів, які зумовлюють сильні опади влітку

Проведений у роботі аналіз базується на класифікації синоптичних процесів за класами ймовірності проф. В.Ф. Мартазіною УкрГМІ [8, 15], яка виявила її на основі вибірки щоденних полів на середньому рівні атмосфери 500 гПа для окремих місяців літнього сезону впродовж 2001-2010 рр.

Перед представленням результатів класифікації синоптичних процесів визначимо терміни. У коментарі синоптичної ситуації використані традиційні терміни, які використовуються для характеристик висотного баричного поля. Висотний циклон відсічення – циклон ізольований на півдні від головного центра або улоговини, V-подібна улоговина – загострена, зазвичай із значними градієнтами у тилівій частині, або у зоні взаємодії з гребенем (антициклоном). Омега-подібна форма поля – з наявністю висотного квазістаціонарного гребеня з двома улоговинами на захід та схід від нього (типово для випадків блокування). Термін **зона сходимості** застосований до фронтів, але в умовах орографічного впливу – до узбережжя морів або гірських районів.

Проведено співставлення головних синоптичних типів з ситуаціями, відповідними за сильні опади впродовж 2011-2020 рр., по принципу аналогічності розташування основних баричних центрів у Атлантико-Європейському секторі на рівні 500 гПа. Отримано 3 класи ймовірності висотних синоптичних процесів, за яких формуються опади > 15мм/добу по території.

Поля І класу ймовірності пов'язані з висотним циклоном (61 %

забезпеченості для літнього сезону), II класу – висотна улоговина (26% забезпеченості), III – зона взаємодії (18% забезпеченості) між висотними об'єктами циркуляції, з улоговиною переважно над заходом і центром країни, і гребенем над сходом Європи.

У більшості баричних полів виявлена значна меридіональність над Атлантико-Європейським сектором, з наявністю висотного циклону (рис. 3.1-3.2), причому на рис. 3.1 циклонічне відсічення пов'язано з улоговиною над Північною Атлантикою, то на рис. 3.2 – з циклоном над Арктикою (північним Уралом). У першому типі висотний циклон над центром Європи сполучений із поширенням східноєвропейського гребеня на північ Європи, а у другому - просуненням гребеня Азорського максимуму на Скандинавію, з улоговиною над Україною, та центром висотного циклону над її півднем. При цьому сильні опади формуються на сході, півдні, центрі України.

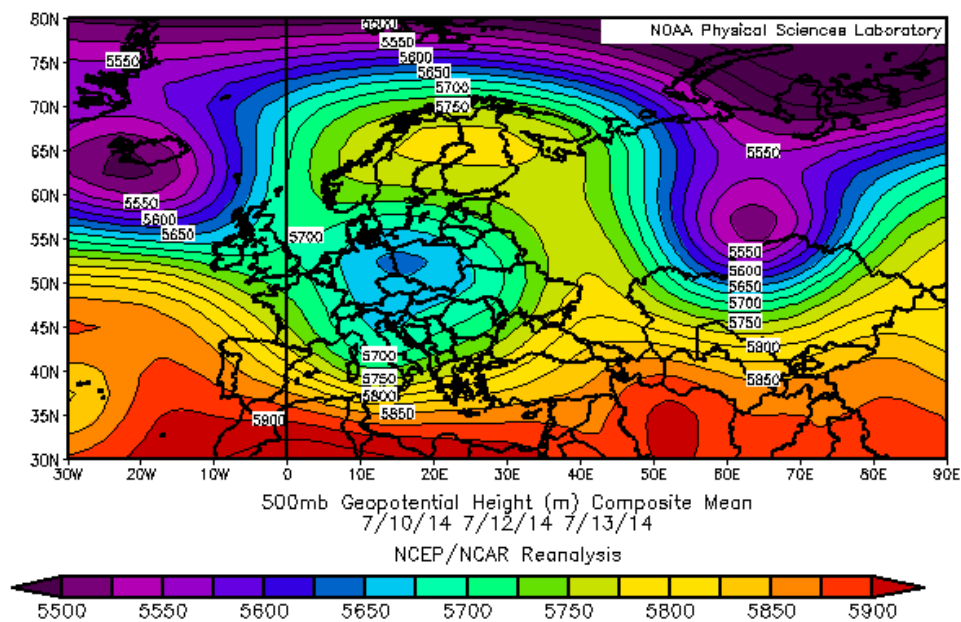


Рис. 3.1. Типове поле I класу при сильних опадах, АТ-500 гПа [8, 15]

Поле III типу ймовірності АТ-500 гПа за яких формуються сильні опади для літнього сезону, представлено на рис. 3.3– це висотна улоговина, вісь якої орієнтована через Україну, а біля поверхні землі – це типове проходження холодних фронтів з хвилями.

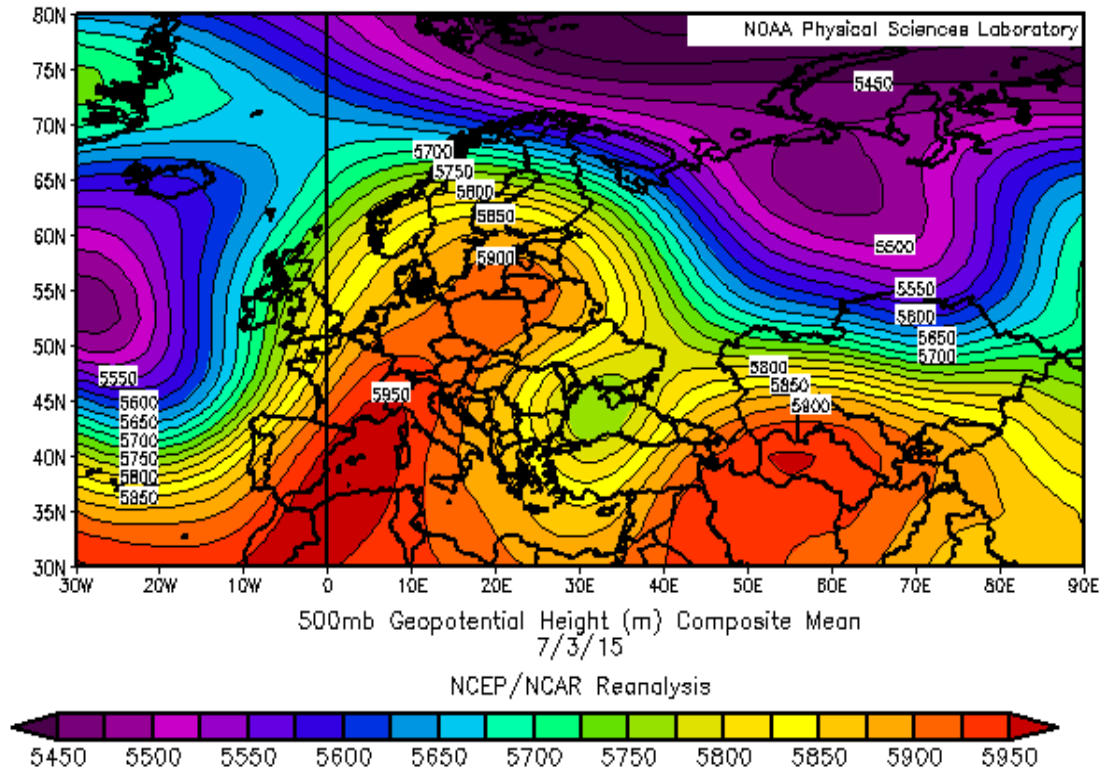


Рис. 3.2. Типове поле II класу при сильних опадах АТ-500 гПа [8, 15]

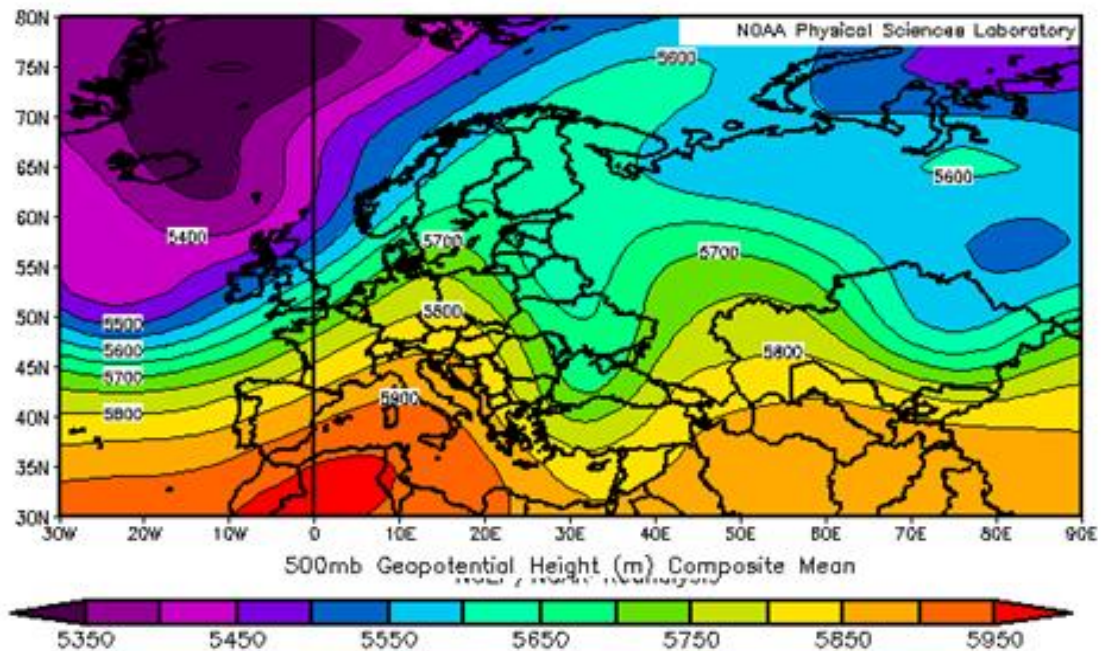


Рис. 3.3. Типове поле III класу АТ-500 гПа, серпень [8, 15]

Крім того, знайдено типове поле класу найменшої ймовірності 500 гПа з сильними опадами для північної, центральної та південної частини країни,

рис. 3.4. Воно являє собою потужний циклон на півночі РФ, а Україна знаходиться під впливом тилової частини цього циклону, який сприяє адвекції холоду, а також адвекції завихореності на висотах над значною частиною України, що сприяє формуванню конвекції та сильних опадів.

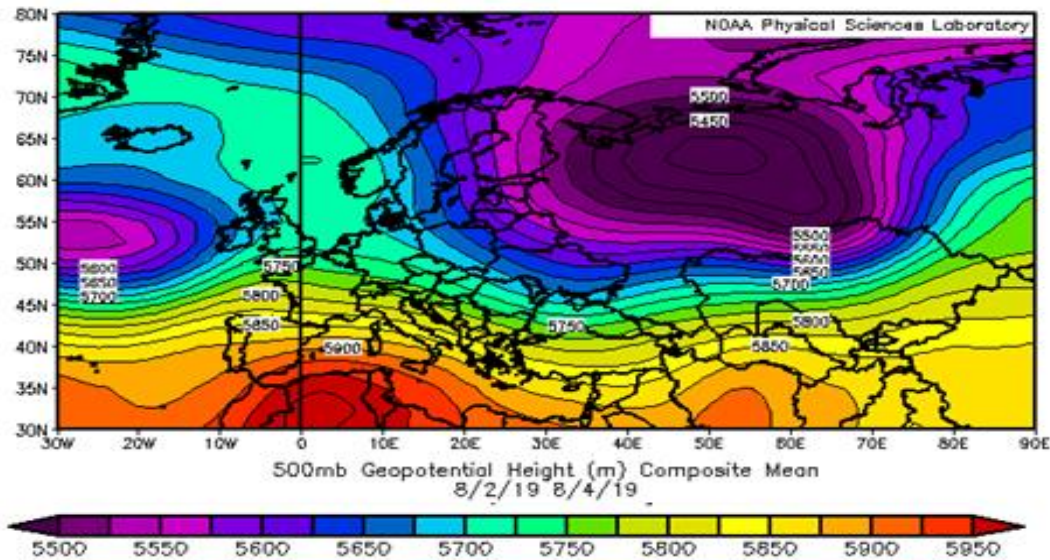


Рис. 3.4. Типове поле IV класу АТ-500 гПа, 2011-2019 рр. [8, 15]

Полю I класу ймовірності АТ-500 гПа відповідають ситуації окремої області зниженого тиску біля поверхні землі синоптичного масштабу, або - атмосферні фронти з хвилями (можливо, з мезомасштабним центром низького тиску), малоградієнтне поле. Локалізація опадів залежить від положення центральної частини висотного циклону, а також розташування синоптичних об'єктів біля поверхні. До мезомасштабних ситуацій віднесені, крім хвиль на фронті, малоградієнтні поля із замаскованою улоговиною, або ситуації між двома областями підвищеного тиску (сідловина – деформаційне поле). Іншою ознакою мезомасштабу є плямистість полів опадів, на відміну від зон опадів у циклонах та на фронтах.

### 3.3 Аналіз синоптичної ситуації 29-30 червня 2018 р.

Розглянемо типову синоптичну ситуації, при якій у теплий період року над територією м.Запоріжжя при проходженні холодного фронту з хвилями або фронту оклюзії утворюються небезпечні конвективні явища: сильні зливові дощі, грози, шквали. Так, 29 червня 2018 р. погоду м.Запоріжжя та Запорізької області визначав циклон, який розташовувався над південними районами

України. На карті приземного аналізу за 00UTC центр циклону був над Кримом з мінімальним значенням тиску в центрі (1002,3гПа), з цим циклоном пов'язана фронтальна система, яка на 00UTC 29.06.2018р. розташовувалась наступним чином - холодний фронт по лінії Анкара – Севаспололь, далі Севастополь-Дніпро-Лісічанськ –Волгоград - теплий фронт.

На карті АТ-850 гПа тепла повітряна маса була у передній частині циклону, а у тилівій частині простежувався заток холоду. Теплий фронт на карті визначався у полі температури повітря (контраст температур у полі фронту становив 4-5°С на 500км). Упродовж фронтальної зони спостерігалась сходимість повітряних течій.

На карті АТ-500 гПа область падіння абсолютного геопотенціалу розташовано у передній частині циклону з мінімумом 8.дам/24год в районі Москви, максимум 3дам/24год над Італією. Це вказувало на подальше поглиблення висотної улоговини.Циклон був висотним, він простежувався до рівня АТ-300гПа (рис. 3.8).

На мікрокільцевій карті за 29.06.18 р. 00UTC теплий фронт був розташований по лінії Кривий Ріг - Лісічанськ. На холодному атмосферному фронті виникла тепла хвиля, сам фронт був по лінії Кривий Ріг–Велика Олександрівка, далі тепла частина через Миколаїв на Одесу, Одеса - острів Зміїний –узбережжя Румунії - холодний фронт. Холодний фронт був малорухливим тому на ньому подальше виникали теплі хвилі. Грози та зливові дощі спостерігались на холодному фронті на теплій ділянці. Це є типовим для району дослідження.

Подальше переміщення фронтальних розділів протягом доби 29 червня відбувалось наступним чином: у 06UTC теплий фронт перемістився далі на північ і знаходився по лінії Полтава – Харків, а холодний фронт з хвилями був розташований на схід від Кривого Рогу, одна тепла хвиля була над Миколаєвом, а друга в районі Кишинєва. Кількість гроз на фронті значно зменшилось, спостерігались деякі грози на теплих хвилях холодного фронту. По лінії Херсон–Джанкой простежувався фронт оклюзії, на ньому відмічались подекуди грози та зливові дощі.

На 12 UTC грозова діяльність знову значно виросла. Холодний фронт повільно пересувався на схід. Вершина теплої хвилі з Миколаїва перемістилась на Кривий Ріг, друга хвиля розташовувалась над північними районами Одеської області. Третя хвиля виникла в улоговині над Румунією.

На всіх хвилях спостерігались грози. Фронт оклюзії перемістився північно-східніше і розташувався по лінії Нікополь – Мелітополь, цей фронт оклюзії був слабо вираженим.

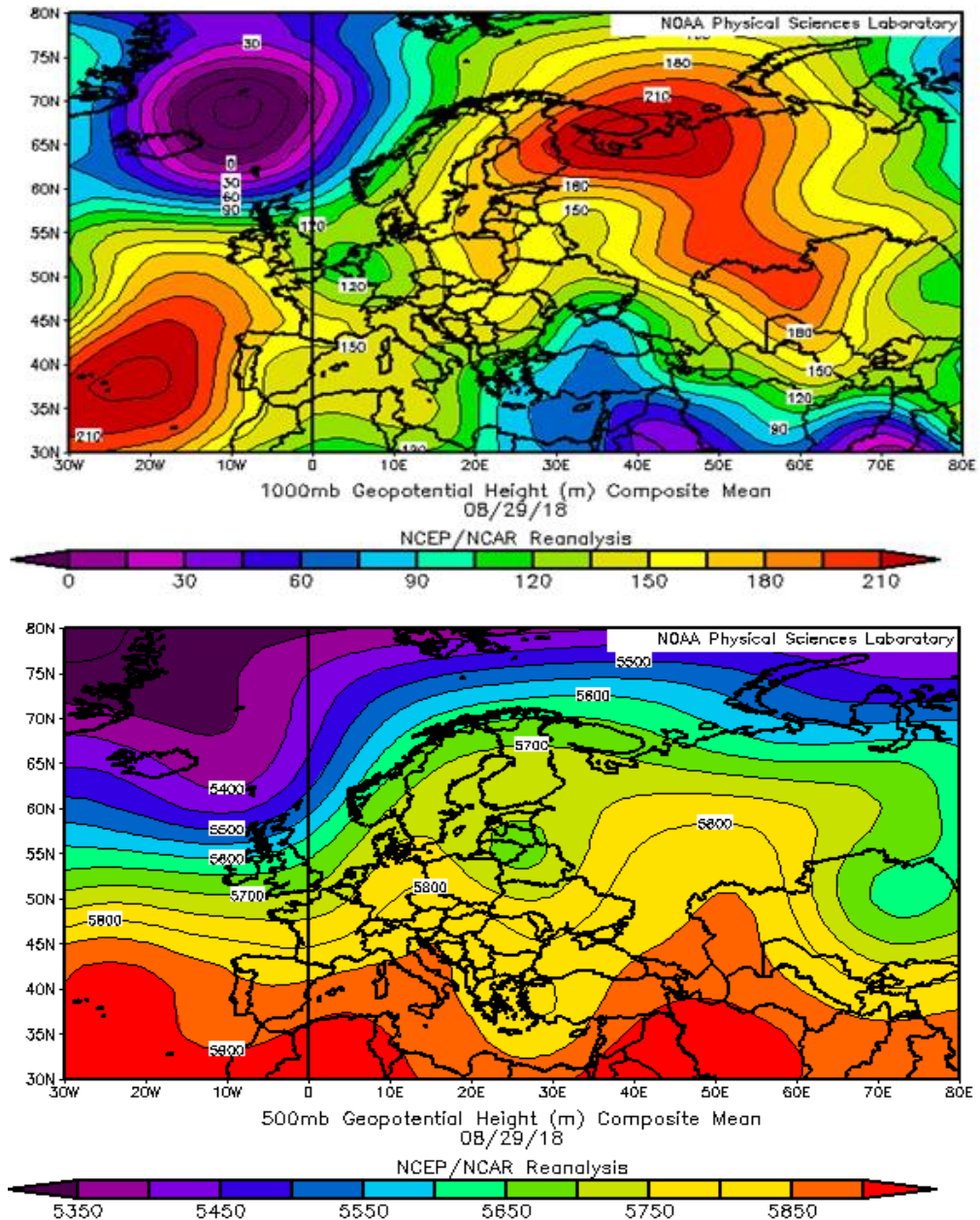


Рис. 3.5. Карты АТ-1000 і 500 гПа 29липня 2018 р.

На 18 UTC теплий фронт значно перемістився на північ та знаходився на лінії Белгород – Пирятин, далі Пирятин – Черкаси - холодний фронт з хвилями. Вершина першої хвилі змістилась з Кривого Рогу до Кропивницького, на хвилі виникли грози та у передній частині відмічалось максимальне падіння тиску 2,6 гПа/3 год. Друга тепла хвиля була західніше Одеси, тут також сформувалися грози і спостерігались зливові опади. Фронт

оклюзії піднявся північніше та розташувався по лінії Кривий Ріг – Запоріжжя – Бердянськ. На лінії фронту виникли грози. За фронтом відмічався максимальний рост тиску 3,9 гПа/3 год. На 00UTC 30 червня 2018 р. м.Запоріжжя та Запорізька область були під впливом фронту оклюзії. Вночі тут відмічались грози, ближче до ранку грозова діяльність поступово стихла. За 06 год. у м.Запоріжжя випало 12,2 мм опадів. Фронт оклюзії поступово перемістився північніше на територію Дніпра та Донецька.

### 3.4 Аналіз синоптичної ситуації 28 липня 2020 року

За даними карти приземного аналізу за 00 UTC 28 липня 2020 року синоптична ситуація була наступною: погодні умови Північної Європи визначав циклон з центром над Північним морем (мінімальний тиск 987,7 гПа), біля поверхні землі був окреслений трьома замкненими ізобарами. Максимальне падіння тиску 4,2 гПа за 3 години спостерігалось над Північним морем. Його улоговина простягалася (рис. 3.6) у південно-західному напрямку через центр Європи на північну частину Африки. Даний циклон замкненим центром прослідковувався на висотах до рівня ізобаричної поверхні 300 гПа. Просторова вісь нахилена у північному напрямку, що зумовлює його подальший розвиток. Виступ антициклону охоплював західну частину Європи (максимальний тиск 1021,5 гПа). Максимальне зростання тиску 0,2 гПа за 3 години.

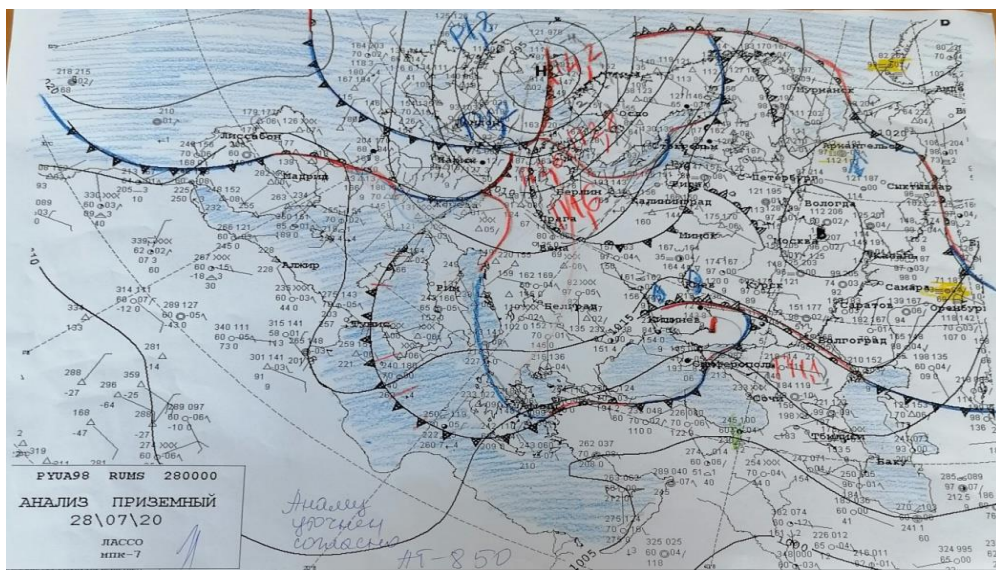


Рис. 3.6. Аналіз приземний за 28.07.2020 за 00 UTC

Схід Європейської території Росії (ЄТР) знаходився під впливом відрогу антициклону з центром над Нижнім Новгородом (максимальний тиск 1020,7 гПа), біля поверхні землі окреслений однією замкненою ізобарою (ядром). Максимальне зростання 0.2 гПа за 3 години. Південний схід України і частина півдня Європи перебували під впливом Малоазіатської депресії. Таким чином, ВФЗ проходила через Великобританію, північ Польщі до Білого моря. Активна ВФЗ сформована вказаними баричними утвореннями, проходила між 35° та 55° пн.ш. її динамічна значущість не змінювалася.

Біля поверхні землі з північною гілкою ВФЗ були пов'язані два атмосферні фронти: арктичний та полярний. Арктичний фронт проходив через Велику Британію, північ Європи до Білого моря. Система фронту помірних широт проходила від Піренейського півострова, через центральну Європу, південний схід України до Каспію.

Висотне баричне поле на рівні 500 гПа представлене глибоким циклоном над північною частиною Європи. Ще один циклон простежується над Західно-Сибірською рівниною. Високі теплі антициклони стаціонували над крайнім заходом Європи і прилеглою частиною Атлантики. Територія України, Білорусі, Польщі, Румунії і частина ЄТР знаходилися під впливом малоградієнтного баричного поля зниженого тиску. Згідно АТ-500 ізогіпса 572 дам, яка характерна для другої половини літа, проходила через Скандинавію, широтно вздовж 50° пн.ш. на схід і огинала північну частину ЄТР (рис. 3.7). На карті АТ-700 над Чорним морем окреслювалася замкнена ізогіпса області зниженого тиску, що свідчить про частний низький циклон, який оклюдовувався, максимальне значення в центрі 308 гп.дам (рис. 3.8).

Аналіз карти АТ-850 свідчить про двосторонню адвекцію тепла. Гребінь тепла охоплював Центральну Європу та Балкани, максимальна температура в ньому на території Австрії на АТ-850 дорівнювала 20<sup>0</sup>С. Другий виніс тепла спостерігався із малоазіатського регіону, через Північний Кавказ. Максимальна температура в ньому 19<sup>0</sup>С. Цей гребень тепла відповідав фронту оклюзії (рис. 3.9).

На карті ізобаричної поверхні АТ-850 також окреслюється одна замкнена ізогіпса зниженого тиску (в центрі 1014,7 дам) в районі Кримського півострову.



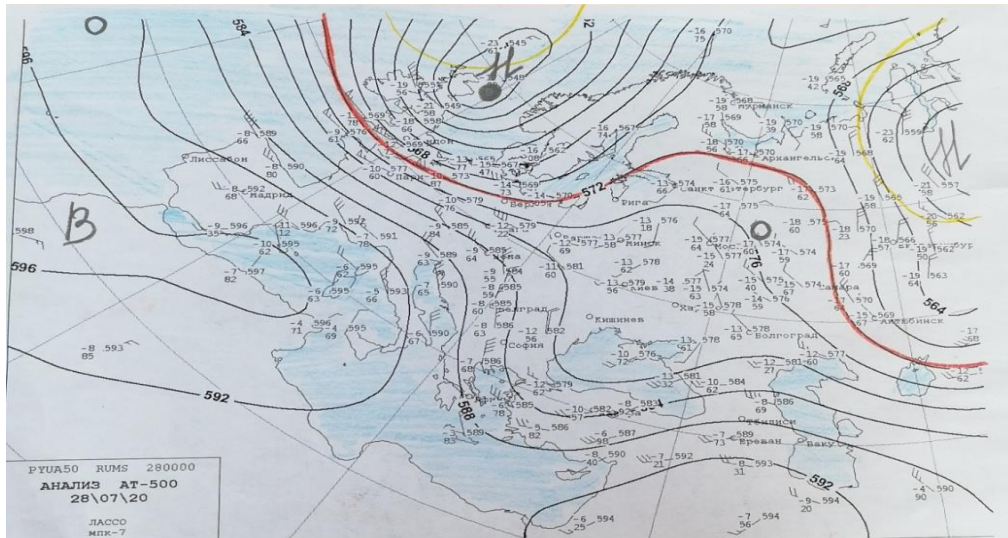


Рис. 3.7. Карта АТ-500 за 28.07.2020 за 00 UTC

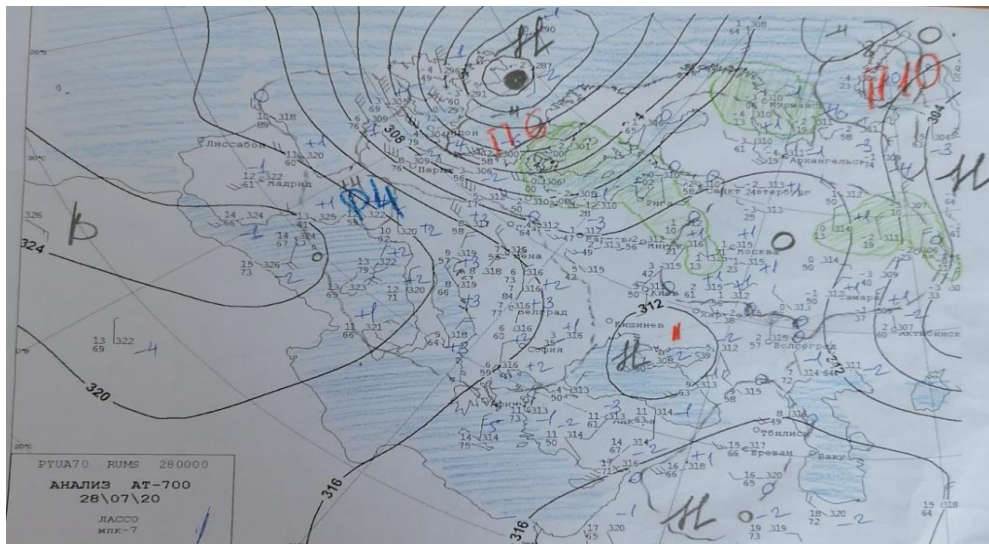


Рис. 3.8. Карта АТ-700 за 28.07.2020 за 00 UTC

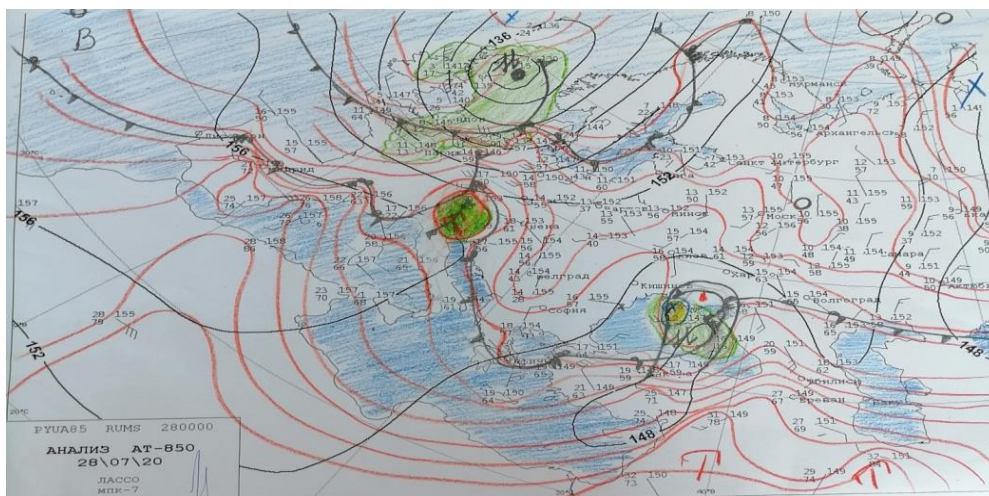


Рис. 3.9. Карта АТ-850 за 28.07.2020 за 00 UTC

За даними аналізу мікрокільцевої карти МК 00 (03) UTC максимальне падіння атмосферного тиску на території Запорізької області складало 2,6 гПа/3 год., температура над територією Дніпропетровської та півночі Запорізької області підвищилася до 20-23<sup>0</sup>С. В цей час замкнена ізобара зниженого тиску 1007,5 гПа (невеликий за розмірами частний циклон, з вершиною хвилі над станцією Генічеськ, максимальне падіння 0,7 гПа/3 год.). Точка оклюзії знаходилася поблизу ст. Кирилівка (максимальне падіння тиску 2,6 гПа за 3 години). Починаючи з 00 до 09 UTC 28 липня 2020 року погоду аеродрому Запоріжжя формував фронт оклюзії. Фронт розташовувався по лінії: Гуляй-Поле –Запоріжжя – Миколаїв, він був малорухожим і повільно оклюдував. Погодні умови аеродрому визначались властивостями фронтального розділу, а саме купчасто-дощовою хмарністю, зливовими опадами, грозою, шквалом (рис. 3.10).

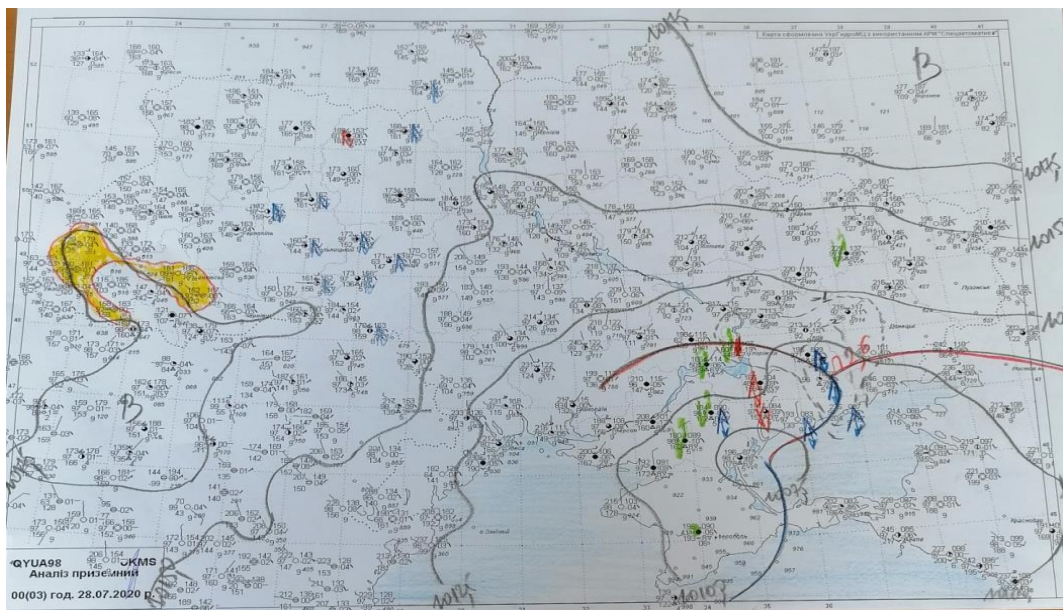


Рис. 3.10. Мікро-кільцева карта 00(03) за 28.07.2020

За даними фактичної погоди, зливові опади почалися в 03.00 UTC, гроза почалася о 03.30 UTC, швидкість вітру мінливих напрямків становила 10 м/с, пориви 15 м/с.

Поля фактичних атмосферних опадів, які створені за допомогою ресурсу [20], відповідно до описаних вище синоптичних типів-полів геопотенціалу, наведено на рис. 3.11. При центральному положенні висотного циклону опади випадають на більшості території країни, з максимумом у північних та центральних областях.

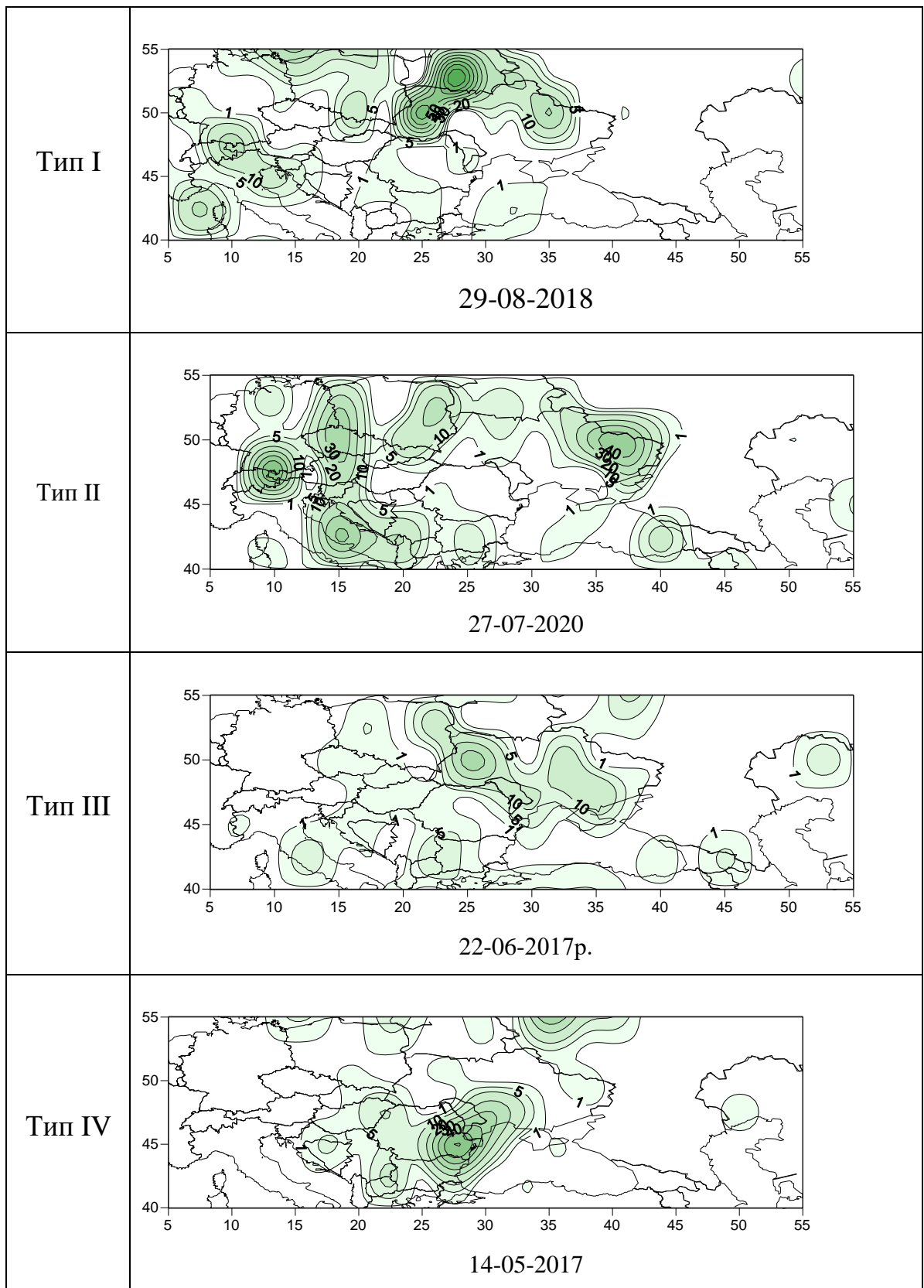


Рис. 3.11. Фактичні поля атмосферних опадів (мм/24 год.), відповідно до типів баричних полів

Максимуми кількості опадів у більшості років (2011-2020 рр.) відзначені

за такого синоптичного процесу: якщо верхня (північна) частина висотного циклону розташована над півднем України, значні опади випадають на півдні та сході України, утому числі у Запоріжжі.

Сильні опади у східних областях випадають при розташуванні висотного циклону на південь від України, при малоградієнтному полі біля землі. Полю другого класу ймовірності відповідають баричні утворення з адвекцією холоду – тил циклону з холодним фронтом I або II роду, можливо з хвилями. У такій ситуації сильні опади випадали на більшості західних, північних та центральних областей, Типовому полю АТ-500 гПа третього типу ймовірності відповідають потужний циклон над північчю Європи, Україна розташовується у тилівій його частині з атмосферними фронтами, або деформаційне висотне поле із взаємодією висотних центрів низького та підвищеного тиску, з локалізацією над східною Європою.

Таким чином, у розділі уточнені типи баричних полів на АТ-500 гПа та відповідні їм приземні положення, при сильних опадах. Найбільш часто сильні опади випадають при наявності висотного циклону у середній тропосфері, якому відповідають ситуації окремої області зниженого тиску біля поверхні землі синоптичного масштабу, або - атмосферні фронти з хвилями (можливо, з мезомасштабним центром низького тиску). Локалізація опадів залежить від положення центральної частини висотного циклону, а також розташування синоптичних об'єктів біля поверхні. Якщо верхня (північна) частина висотного циклону розташована над півднем України, значні опади випадають на півдні та сході України. До мезомасштабних ситуацій віднесені, крім хвиль на фронті, малоградієнтні поля із замаскованою улоговиною, або ситуації між двома областями підвищеного тиску (сідловина – деформаційне поле). Іншою ознакою мезомасштабу є плямистість полів опадів, на відміну від зон опадів у циклонах та на фронтах.

## 4 ДІАГНОЗ ТА ПРОГНОЗ КОНВЕКТИВНИХ ЯВИЩ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕЗОМАСШТАБНОЇ МОДЕЛІ WRF

### 4.1 Загальні відомості про використання чисельної мезомасштабної моделі WRF

Чисельне моделювання атмосферних процесів досягло у останні десятиліття значного прогресу. Зокрема, зі створенням наукових об'єднань у США була започаткована і доступна науковій спільноті модель WRF (Weather Research and Forecasting). Крім версії для досліджень з традиційними налаштуваннями, з початку 1990-х рр. у WRF була введена негідростатична динаміка, що дає можливість працювати на просторовому масштабі до 1 км, що достатньо для відтворення конвективних комірок, без обмежень гідростатичного припущення. Але використання моделей високої здатності з вкладеними сітками в реальному часі вимагає значного часу і обчислювальних ресурсів. Наприклад, збільшення роздільної здатності сітки вдвічі, як горизонтально, так і вертикально, вимагало б збільшення обчислювальних ресурсів в 16 разів.

Модель Weather Research and Forecasting (WRF) використовується у багатьох регіонах планети, включаючи Північну і Південну Америку, Європу, Китай, Південну Корею, Індію, Російську Федерацію, Середній Схід, північну і центральну Африку, Антарктику [14, 16]. Є досвід адаптації мезомасштабної моделі для України щодо вдосконалення методів короткострокового прогнозу погоди для України в Українському гідрометеорологічному інституті (УкрГМІ) [11, 20].

Можливості удосконалення прогнозування небезпечних явищ погоди на мезомасштабі полегшуються підвищенням роздільної здатності, обчислювальних можливостей, збільшенням деталізації з використанням додаткових даних - спостережень на окремих станціях, супутникових даних, даних радарів тощо. Окрім того, на точність мезомасштабних моделей впливає точність глобальної моделі, яка забезпечує початкові і граничні умови. Як міра покращення якості прогнозів зазначається необхідність асиміляція локальних даних. Асимільовані моделі дозволяють відтворити підсіткові процеси, наприклад окремі конвективні комірки.

Очікується, що мезомасштабні моделі повинні враховувати розвинені конвективні системи теплого сезону і зимові шторми. Для адекватного моделювання цих систем потрібна деталізація фізичних процесів, тобто визначений набір схем параметризації, перш за все процесів граничного шару. Так, якщо масштаби зимових опадів враховуються вирішенням задачі на грубій сітці (оскільки підпорядковується перш за все динамічним процесам синоптичного масштабу), то літня конвекція має бути параметризована додатково через більший вплив на неї місцевої орографії. Також, бувають випадки, коли модель відображає потенційну конвективну нестійкість, але не здатна передбачити опади у даному випадку (у даний час і у даному місці). Це відзначається протягом літнього сезону, і вже залежить від початкової інформації чи початкових умов, того, як проходить асиміляція об'єктивних даних, а також здатності моделювання процесів підсіткового масштабу.

З іншого боку, прогноз літньої конвекції і супутніх явищ (грози, зливи, сильний вітер) залишається серед головних проблем у мезомасштабному моделюванні, оскільки навіть облаштовані асиміляцією моделі не завжди коректно відтворюють початок, інтенсивність та територіальний розподіл опадів. Як правило, сильні опади найкраще відтворюються в WRF в перший день прогнозу.

#### 4.2 Розрахунок індексів нестійкості атмосфери над півднем України у періоди проходження фронтальних розділів над Запоріжжям

Сьогодні у оперативній практиці використовують комплекс індексів нестійкості [19]. У даній роботі використані розрахунки моделі WRF, яка реалізована в УкрГМІ починаючи з 2008 р., та результати розрахунків моделі можуть бути використані для оперативного забезпечення прогнозу погоди, а також для наукових та освітніх потреб [20].

Розглянемо три періоди, коли на території Запорізької області спостерігалися сильні опади при пересуванні фронтальних систем над півднем України.

Спочатку був обраний період 12-13 травня 2019 р., коли впродовж доби у двох пунктах Запорізької області випало 23 і 38 мм атмосферних опадів (рис. 4.1).

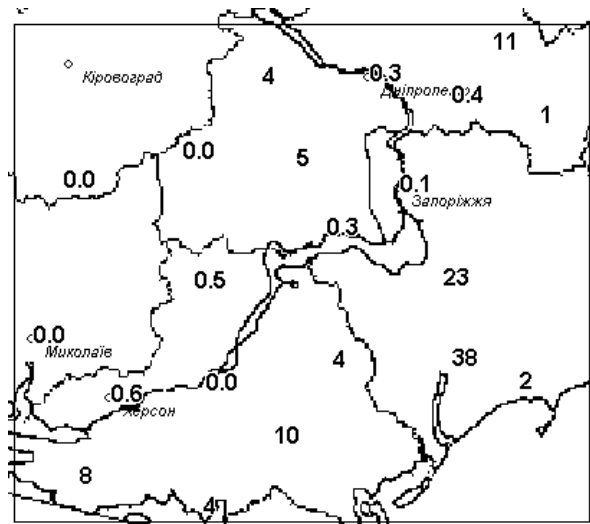


Рис. 4.1. Кількість атмосферних опадів (мм) з 12 травня 2019 р. 06 UTC по 13 травня 2019 р., 06 UTC

Напередодні, 11 травня 2019 р. циркуляційні умови підня України характеризувалися меридиональністю потоків (рис. 4.2) на рівні 500 гПа, та потужним гребенем над Уралом та обширною улоговиною, яка від Скандинавського піострова до Туреччини, отже вся територія України знаходилася під її впливом. Приземний аналіз виявив над північчю України центр циклону, з холодним фронтом, що проходить через південь країни, отже Запоріжжя і область знаходяться безпосередньо у зоні дії холодної ділянки полярного фронту, що рухається на південний схід.

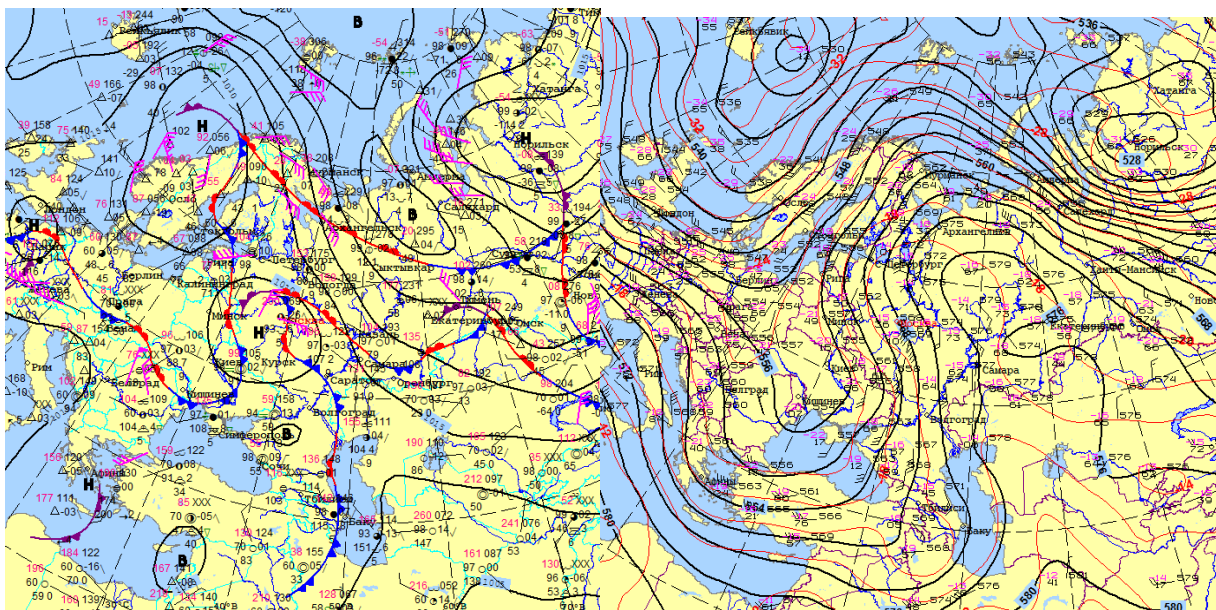


Рис. 4.2. Приземний аналіз та АТ-500 гПа, 11 травня 2019 р.

Проілюструємо просторовий розподіл індексів нестійкості, розрахованих за даними чисельної мезомасштабної моделі WRF у дні зі значним опадами. Так, на рис. 4.3 наведено просторовий розподіл доступної потенційної енергії нестійкості (CAPE) з осередком максимуму більше 1000 Дж/кг на півдні України, що дає підстави діагностувати можливість сильної конвекції та супутніх НЯ та СМЯ.

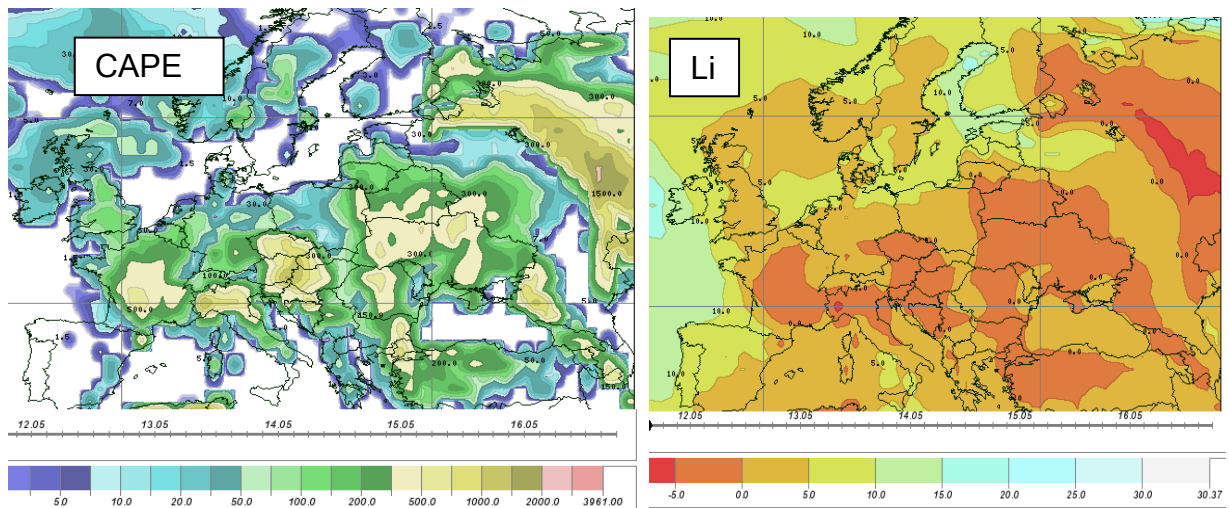


Рис.4.3. Прогноз на базі моделі WRF просторового розподілу доступної потенційної енергії нестійкості (CAPE, Дж/кг) та індексу плавучості (Liftedindex, Li) на 12 травня 2019 р., 12 UTC

Також на рис. 4.3 наведений просторовий прогностичний розподіл індексу плавучості (Li) на 12 травня 2019 р., коли цей індекс строює осередок відємних значень над півднем Одеської області, який розповсюджується на північний схід та досягає центральних районів Запорізької області.

Отже прогностичні значення CAPE та Li свідчать про значні занаса енергії нестійкості в області холодної ділянки полярного фронту над південним заходом та півднем України.

Наступний період був обраний 08-10 липня 2019 р., коли за добу 8-9 липня 2020 р. значні опади (більше 15 мм/12 год.) спостерігалися на 12 станціях у Запорізькій, Дніпропетровській та Херсонській областях (рис. 4.4.), з максимумом у Новій Каховці (72 мм/12 год.– СМЯ II) і на північному заході Дніпропетровській області, 57 мм/12 год.

Результати розрахунків конвективних індексів за даними чисельної мезомасштабної моделі WRF для району міста Запоріжжя за часовий інтервал



від 7 до 11 липня 2019 р., що виявили, індекс CAPE приймає максимальні значення (850 Дж/кг) у строки, коли саме тривали сильні опади (рис. 4.5).

Прогноз індексу плавучості (Li), розрахований за даними моделі WRF, показує умови сильної грози зі зливою та градом, з мінімумом о 12-18 UTC 8 липня 2019 р. (рис. 4.5.)

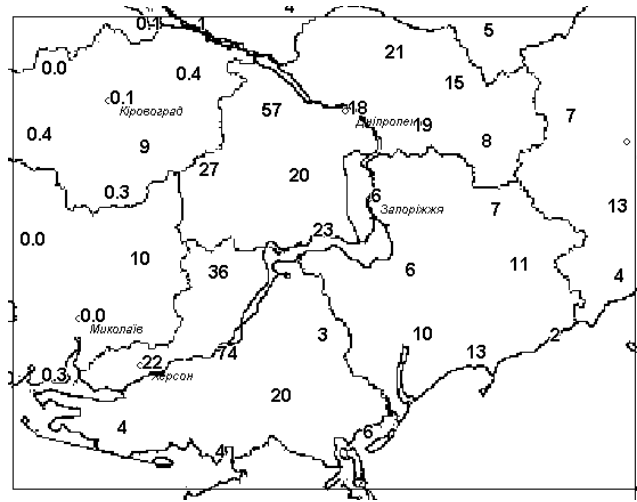


Рис. 4.4. Кількість атмосферних опадів (мм) з 8 липня 2019 р. 06 UTC по 9 липня 2019 р., 06 UTC

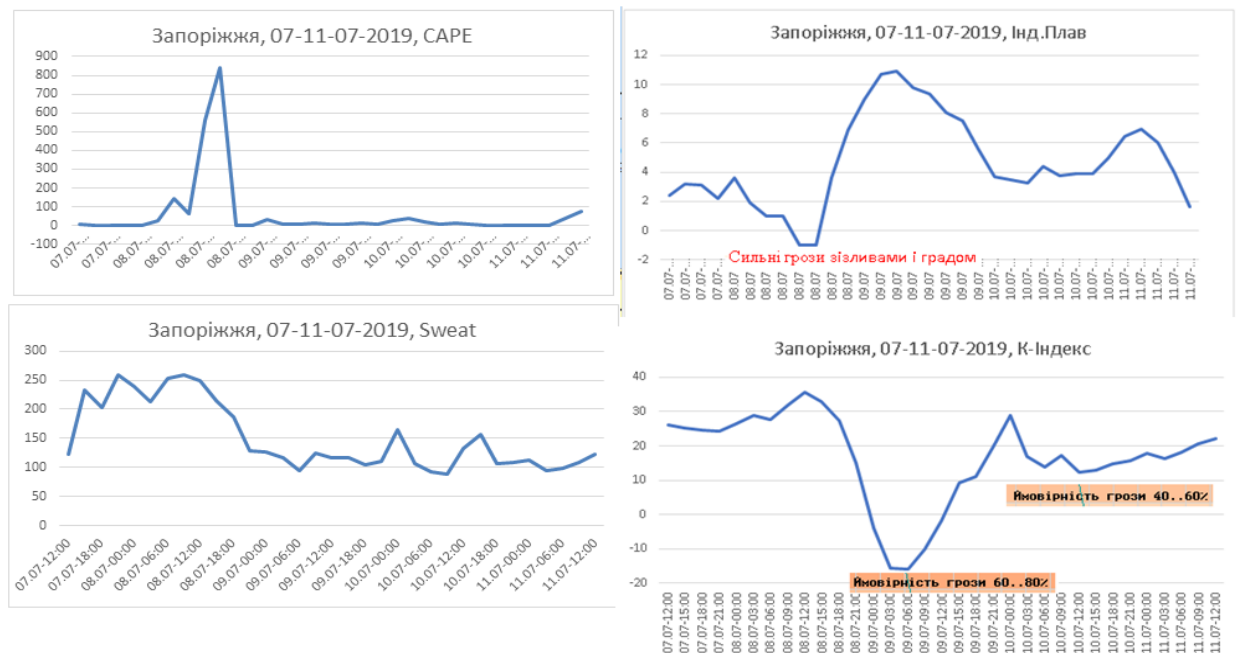


Рис. 4.5. Прогноз на базі моделі WRF для Запоріжжя просторового розподілу доступної потенційної енергії нестійкості (CAPE, Дж/кг), індексу плавучості (Li), комплексного індексу Sweat та К-індексу на 7-11 липня 2019 р.

Значення прогностичного індексу К-індекс також вказують на потенціал конвекції, тобто показує його на початку доби 09 травня 2019 р., коли саме і відбувалися небезпечні конвективні події.

Отже, запропонований набір індексів може сприяти покращенню роботи синоптика, його розвантаження від зайвої праці.

Третій період для дослідження був обраний з 3 по 10 серпня 2019 р., коли за добу 3-4 серпня 2019 р. у Запоріжжі випало 42 мм, а на навкололишніх 14 станціях випало більше 20 мм, а у Херсонській області – 2 пункти з кількістю 66 і 105 мм, причому останні відповідають критерію СМЯ Наступної доби вже у Запоріжжі відзначено СМЯ, з кількістю атмосферних опадів 79 мм (рис. 4.6), і ще на 8 станціях відзначено більше 20 мм.

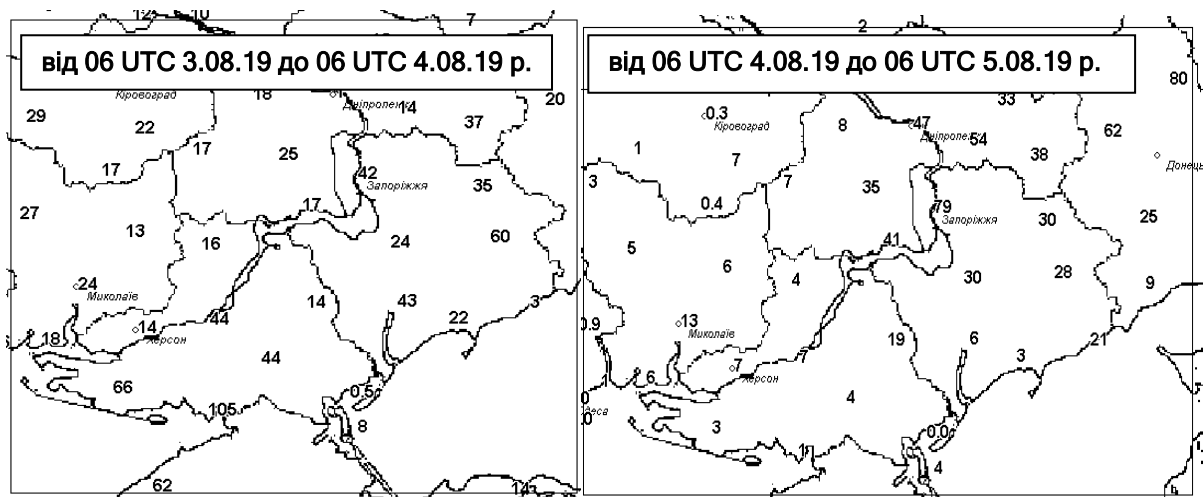


Рис. 4.6. Кількість атмосферних опадів з 3 та 5 августа 2019 р.

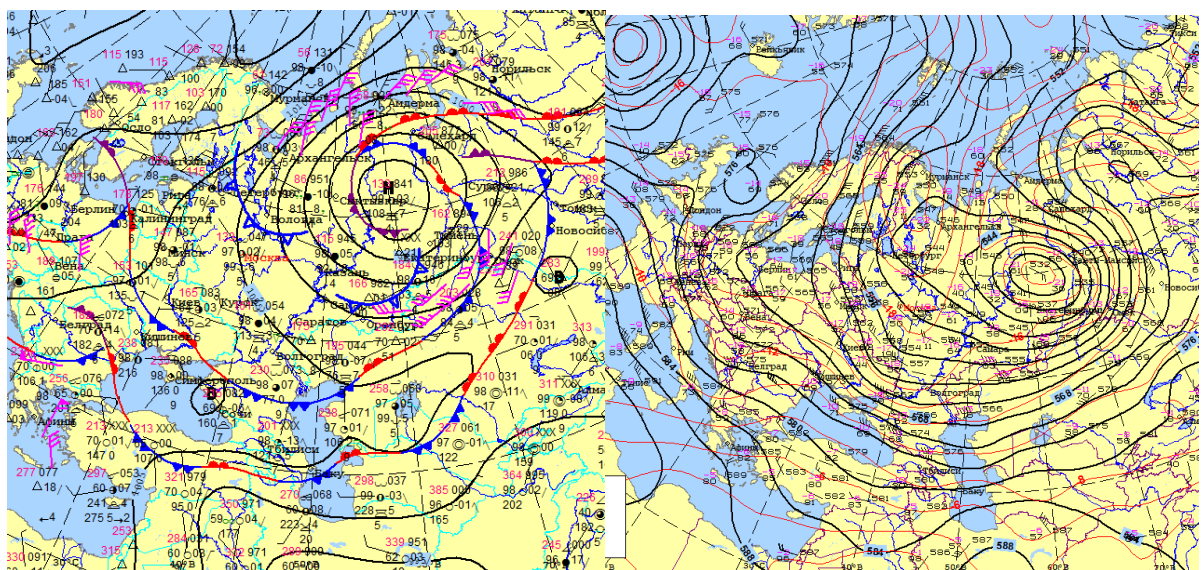


Рис. 4.7. Приземний аналіз та АТ-500 за 3 серпня 2019 р.

Погодні умови на території ЄТР 3 серпня 2019 р. визначалися впливом потужного циклону над європейської частиною Росії, а територія України розташовувалася у його тилівій частині з наявністю хвилі на арктичному фронті над півднем України.

Прогноз індексу CAPE для Запоріжжя від 3 серпня 2019 р., виявив його максимальне значення (460 МДж/кг), що відповідає умовам помірної конвекції і окремим злива, саме у терміні посилення опадів при проходженні фронтального розділу (рис. 4.8).

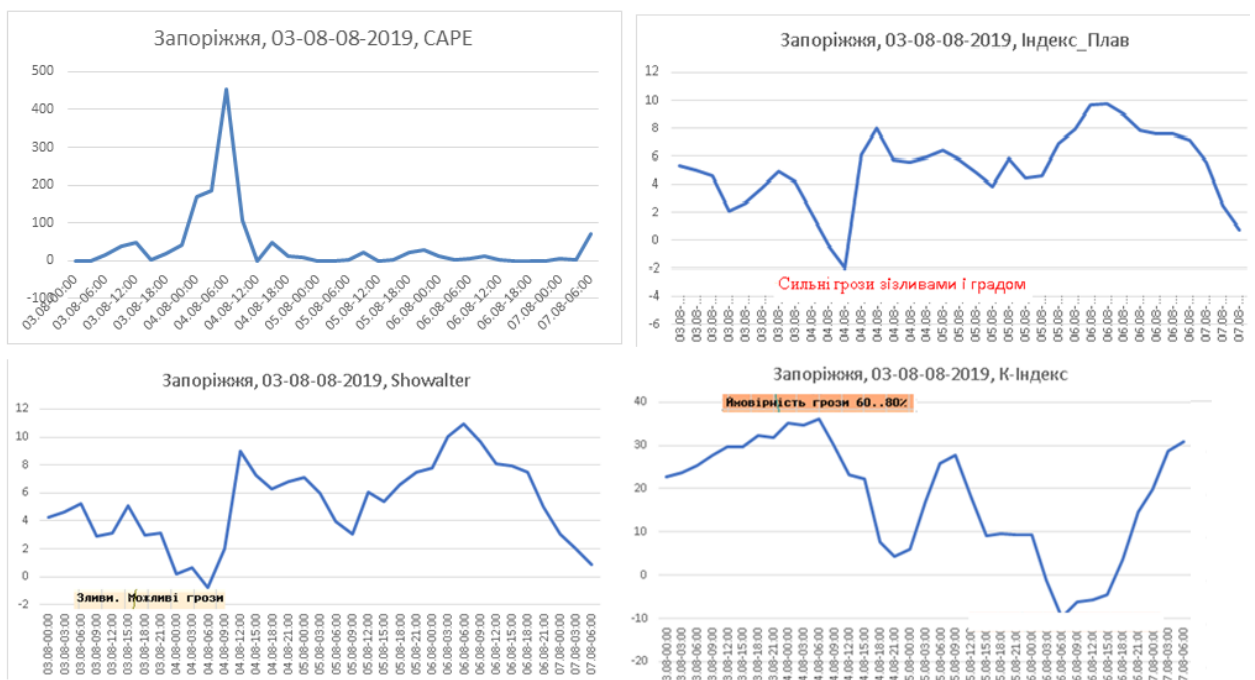


Рис. 4.8. Прогноз на базі моделі WRF для Запоріжжя просторового розподілу доступної потенційної енергії нестійкості (CAPE, Дж/кг), індексу плавучості (Li), індексу Showalter (SI) та К-індексу на 3-7 серпня 2019 р.

Величина індексу плавучості, що розрахована за даними моделі WRF, показує умови для розвитку сильної грози зі зливою та градом, з мінімумом о 12-18 UTC 3 серпня 2019 р., близько до фактичної ситуації з небезпечними конвективними явищами.

Наступний параметр, а саме індекс конвекції Showalter (SI), який може оцінювати стійкість частки повітря на рівні 850 гПа, аналогічно до індексу плавучості Li, показує умови для розвитку грози зі зливою, зі зменшенням впродовж 3 серпня, і мінімумами впродовж доби 4 серпня у строк зі значними опадами та грозою. Значення К-індексу також вказують на значний потенціал

для розвитку конвекції ( $K > 40^{\circ}\text{C}$ ) наприкінці доби 3 серпня 2019 р. та на початку доби 5 серпня 2019 р., коли спостерігалися небезпечні конвективні явища та сильні опади на арктичному фронті.

Якщо додатково проаналізувати дані радіолокатора Запорізького аеропорту за 3-4 серпня 2019 р., то карти метеоявищ та висоти радіолуни, за кінець доби 3 серпня та початок 4 серпня 2019 р. показують наявність сильної зливи та грози, а висота максимальної луни сягає вище 10000 м. (рис. 4.9 та рис. Б.1-Б.7). Слід вказати, що це нічні строки, але конвекція показує незвичайний розвиток.

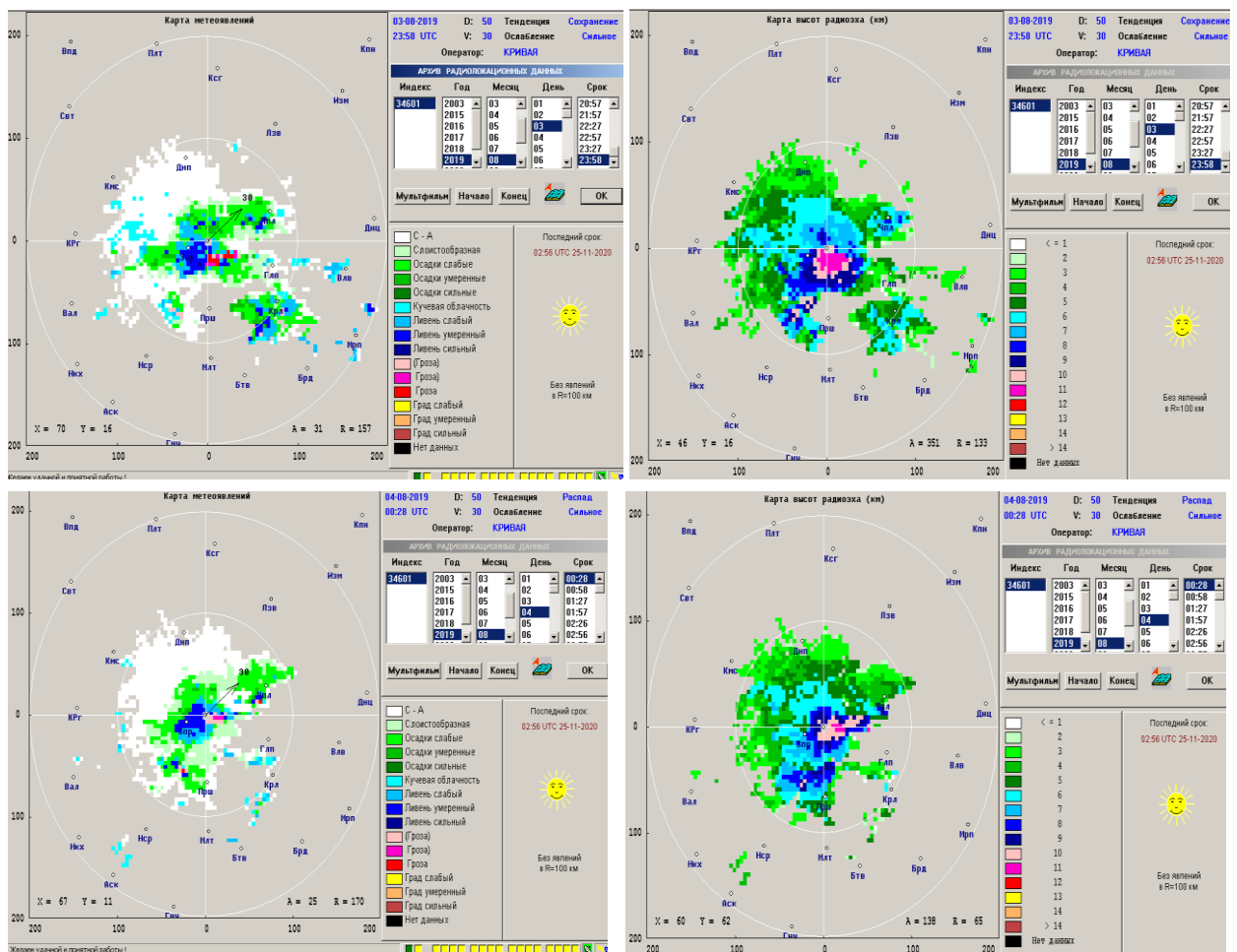


Рис.4.9. Карти метеоявищ та висоти радіолуни, 3-4 серпня 2019 р., 23.58 та 00.28 UTC, Запоріжжя.

Вдень 3-4 серпня 2019 р. карти метеоявищ та висоти радіолуни показують дещо нижчі висоти максимальної луни - 8000–9000 м, що вказує на наявність сильної зливи та грози (рис. 4.10).

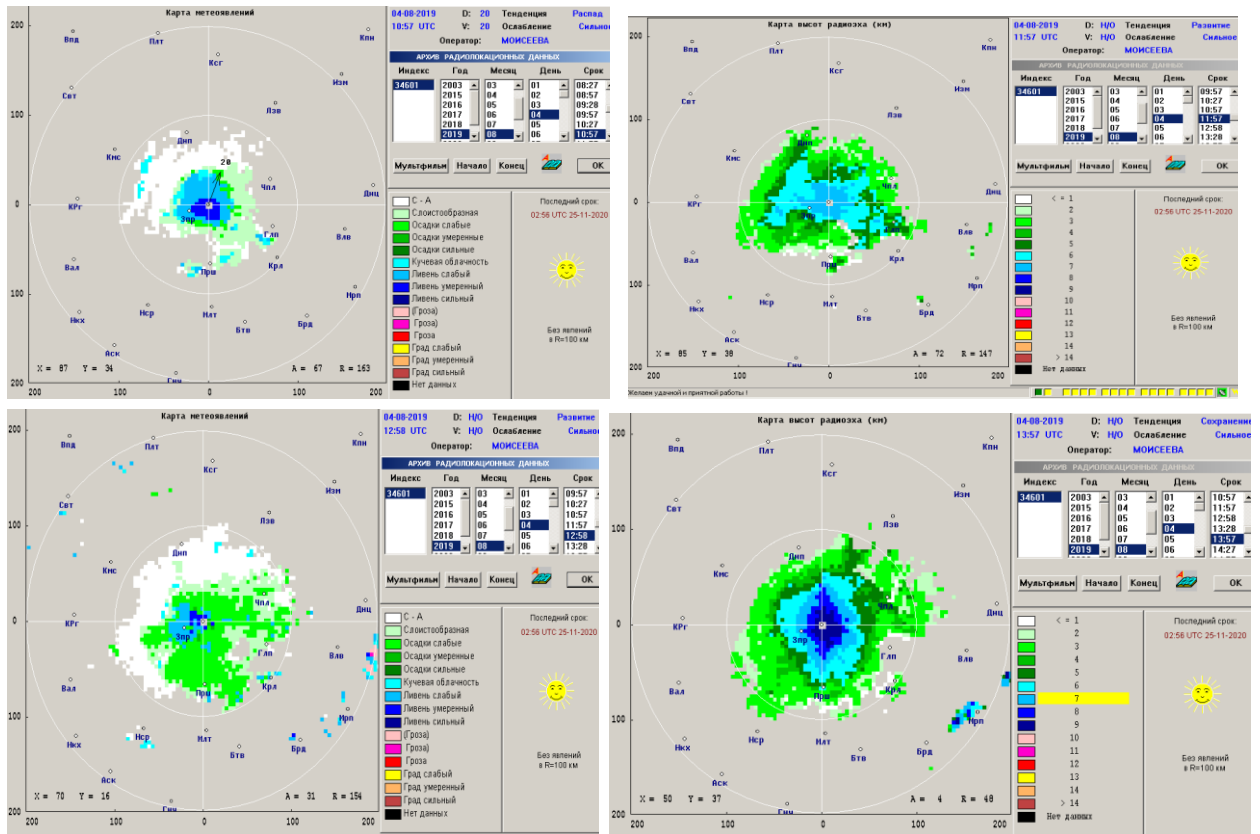


Рис. 4.10. Карти метеоявищ та висоти радіолуни, 3-4 серпня 2019 р., 10-57, 11-57 і 13-57 UTC, Запоріжжя.

Таким чином, отримано порогові значення індексів нестійкості, при яких розвивається потужна конвекція у Запорізькому регіоні в цілому:

$$CAPE > 800 \text{ МДж/кг},$$

$$LI < -4^{\circ}\text{C}$$

$$K > 37^{\circ}\text{C}$$

$$SI < 0$$

При цьому комплексі індексів нестійкості можна очікувати виникнення небезпечних явищ, включаючи сильні опади, що значенням висоти конвекції вище 10000 м.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи отримані наступні висновки:

1. За теплий період 2014-2020 років через місто Запоріжжя пройшло 134 фронти. У першу половину квітня ще спостерігалось активних атмосферних процесів, але далі поступово антициклонічний режим погоди сприяв інтенсивній трансформації повітряних мас. Більшість фронтів, які спостерігались у період дослідження, були розмиті або слабо виражені через ослаблення міжширотного обміну.

2. Половина теплих фронтів та близько половини холодних фронтів не супроводжувалось опадами. В тепле півріччя спостерігались випадки утравлення гроз на: холодних (вони утворювались у другу половину дня та послаблювались у другій половині ночі або вранці) та на теплих фронтах.

3. Фронтальні зливи і грози переважно були пов'язані з холодними фронтами і фронтами оклюзії за типом холодного. Найбільш часто фронтальні грози виникали на холодному фронті 2-го роду. У нічний час грози виникали на теплих фронтах, а також на теплих фронтах оклюзії.

4. Фронтальні шквали є найбільш небезпечними і частіше пов'язані з холодними атмосферними фронтами.

5. Уточнені типи баричних полів на АТ-500 гПа та відповідні їм приземні положення, при сильних опадах.

6. Отримані типові значення індексів нестійкості, а також висоти максимальної радіо-луни, при яких розвивається значна конвекція і комплекс НЯ і СМЯ у Запорізькому регіоні при проходженні атмосферних фронтів влітку.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Воробьев В.И. Основные понятия синоптической метеорологии - Л.: РГГМ, 2003.
2. Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні (НЯ) істихійні гідрометеорологічні явища (СМЯ) погоди, Київ, 2000.
3. Опасные явления погоды на Украине/Под ред. Логвинова К.Т./ Л.: Гидрометеоздат, 1972.
4. Хохлов В.М. Синоптична метеорологія (конспект лекцій). Аналіз та прогноз розвитку повітряних мас, атмосферних фронтів та баричних утворень - Одеса: ОДЕКУ, 2004.
5. Быков А.Л. А.Л. Ветров, Н.А. Калинин. Прогноз опасных конвективных явлений в Пермском крае с использованием глобальных прогностических моделей. Тр. Пермского гос. Национального исследоват. унив-та, 2012. С. 102-124. Мартазинова В.Ф., Сологуб Т.Н. Атмосферная циркуляция, формирующая засушливые условия на территории Украины в конце XX ст. // Тр. УкрНИГМИ, 2000. - Вып. 248. – с. 36-47.
6. Клімат України. За ред. В. М. Липінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. - К.: УкрНДГМІ, 2003. 343 с.
10. Тимофеев В.Є., Щеглов О.О. Деталізація багаторічної зміни атмосферних опадів у літній період // Вісник КНУ ім. Тараса Шевченка, Сер. Географія. 2012. Вип. 60. С. 33-37.
11. Тимофеев В.Є. Досвід застосування регіональних чисельних моделей прогнозу погоди для України в УкрНДГМІ // Укр. Гідрометеорологічний журнал. 2012. № 11. С. 109–118.
12. Шакина Н.П., Скриптунова Е.Н., Иванова А.Р., Калугина Г.Ю. Субъективный и объективный анализы атмосферных фронтов. II. Объективное выделение зон фронтов // Метеорология и гидрология. 1998. № 8. С. 5-15.
13. Davies-Jones, R. P., D. W. Burgess and M. Foster. Test of helicity as a tornado forecast parameter. Preprints, 16th Conf. on Severe Local Storms, Kananaskis Park, AB, Canada // Amer. Meteor. Soc., 1990. 588–592.
14. T. Rigoand, M.C. Llasat. A methodology for the classification of convective structures using meteorological radar: Application to heavy rainfall events on the Mediterranean coast of the Iberian Peninsula // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2004, 4, 59-68, URL: <https://doi.org/10.5194/nhess-4-59-2004>.

15. Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D. O., Barker D.M., Wang W., Powers J.G. A description of the Advanced Research WRF Version 2. – Ncar Technical Note: Ncar / TN-468+STR. 2007. 100 p.
16. <https://wind-sail.ru/weather/pogoda-v-jahtinge-holodnyj-front/> (дата звернення 10.11.2020 р.).
17. <https://flot.com/publications/books/shelf/vasiliev/15.htm?print=Y> (дата звернення 15.11.2020 р.).
18. [https://pidruchniki.com/17910211/ekologiya/stihiyni\\_meteorologichni\\_yavischa\\_ukrayini](https://pidruchniki.com/17910211/ekologiya/stihiyni_meteorologichni_yavischa_ukrayini) (дата звернення 20.11.2020 р.).
19. <https://confluence.ecmwf.int/display/FUG/Instability%2BIndices> (дата звернення 5.11.2020 р.).
20. <http://accuweather.org.ua/nwp/tabpage.php> (дата звернення 5.11.2020 р.).



## Додаток А

## Довідка

кафедри метеорології та кліматології  
на магістерську роботу студентки II курсу  
заочного факультету гр. МНЗ-2  
гідрометеорологічного інституту ОДЕКУ

Конюхової Людмили Миколаївни

Тема магістерської кваліфікаційної роботи:  
«Особливості утворення небезпечних погодних умов на  
ст. Запоріжжя при проходження фронтальних розділів»

Тема магістерської кваліфікаційної роботи обрана згідно з запитом Запорізького обласного центру з гідрометеорології через потребу залучення для обслуговування цивільної авіації нової інформації щодо ускладнення погодних умов при проходженні фронтальних розділів над Запоріжжям.

Дослідження виконано у рамках науково-дослідної роботи «Розробка та вдосконалення методів прогнозу небезпечних та стихійних метеорологічних явищ над Україною» (2020-2024 рр.) ДР № 0120U100487 та за запитом Запорізького ЦГМ.

Зав. кафедрою  
метеорології та кліматології

к.геогр.н., доц. Прокоф'єв О.М.

## ДОДАТОК Б

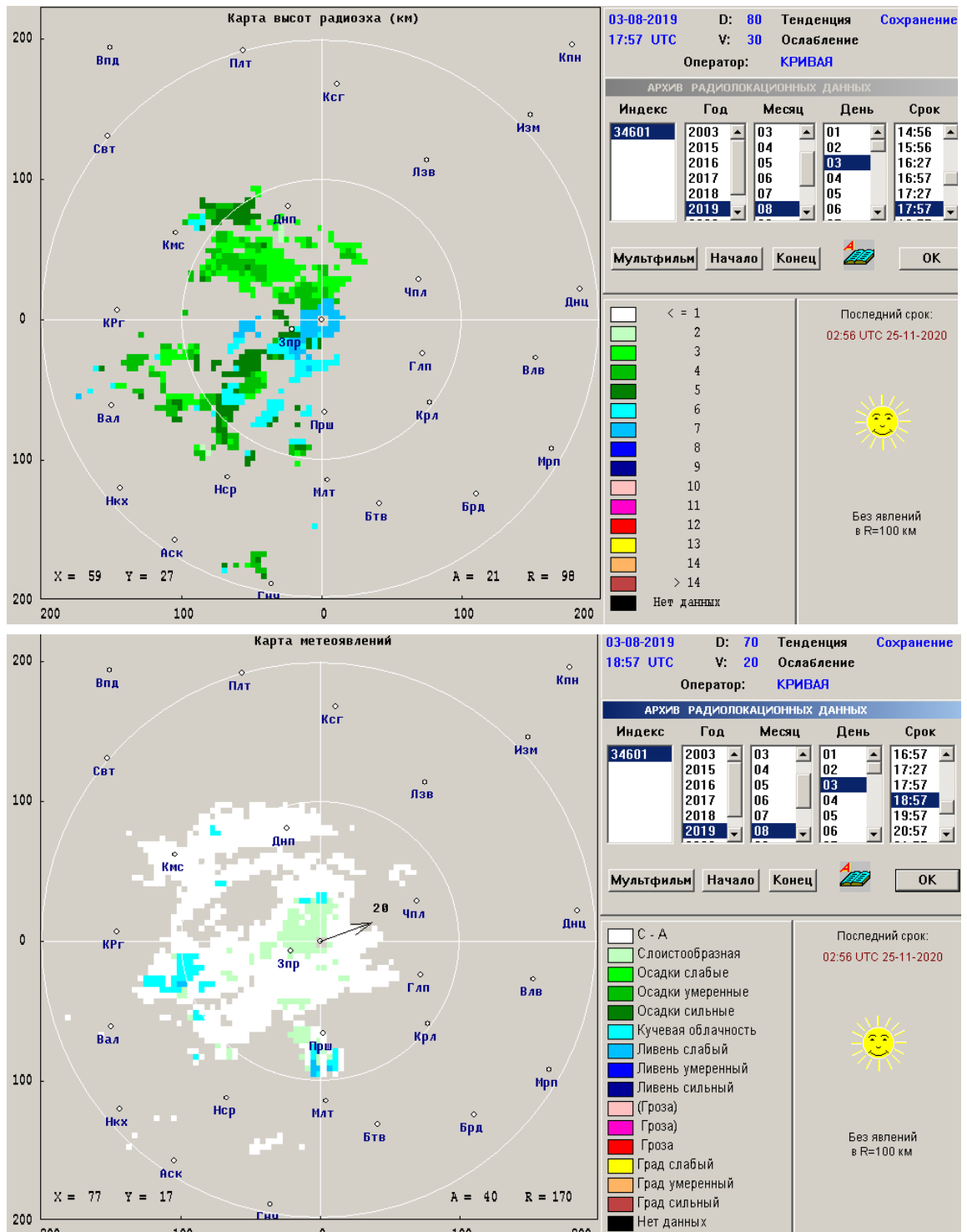


Рис. Б.1. Карти висот радіолуни та метеорологічних явищ,  
 АМСЦ Запоріжжя, 3.08.2019 р., 18 та 19 UTC

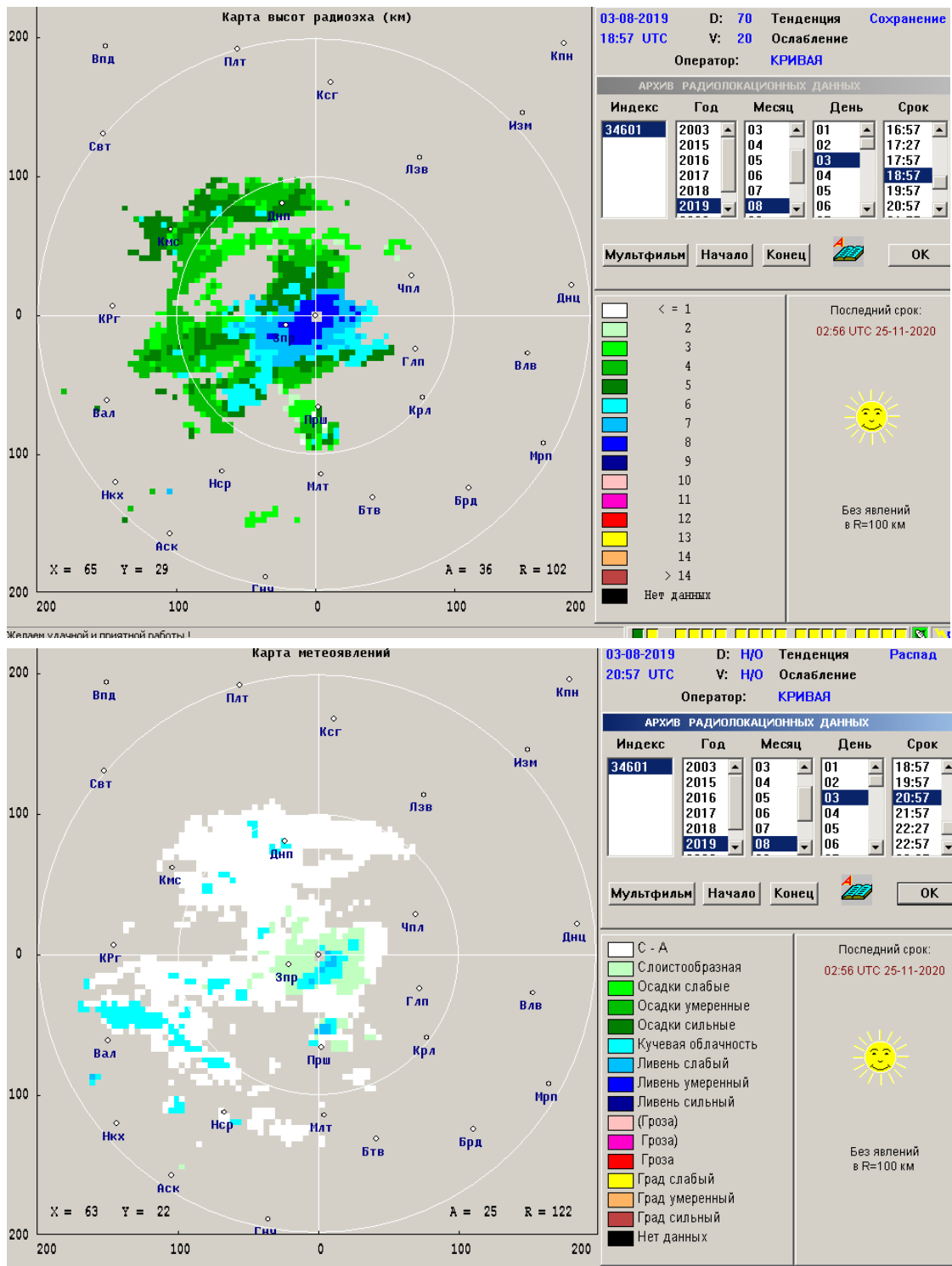


Рис. Б.2. Карти висот радіолуни та метеорологічних явищ,  
АМСЦ Запоріжжя, 3.08.2019 р., 20 та 21 UTC

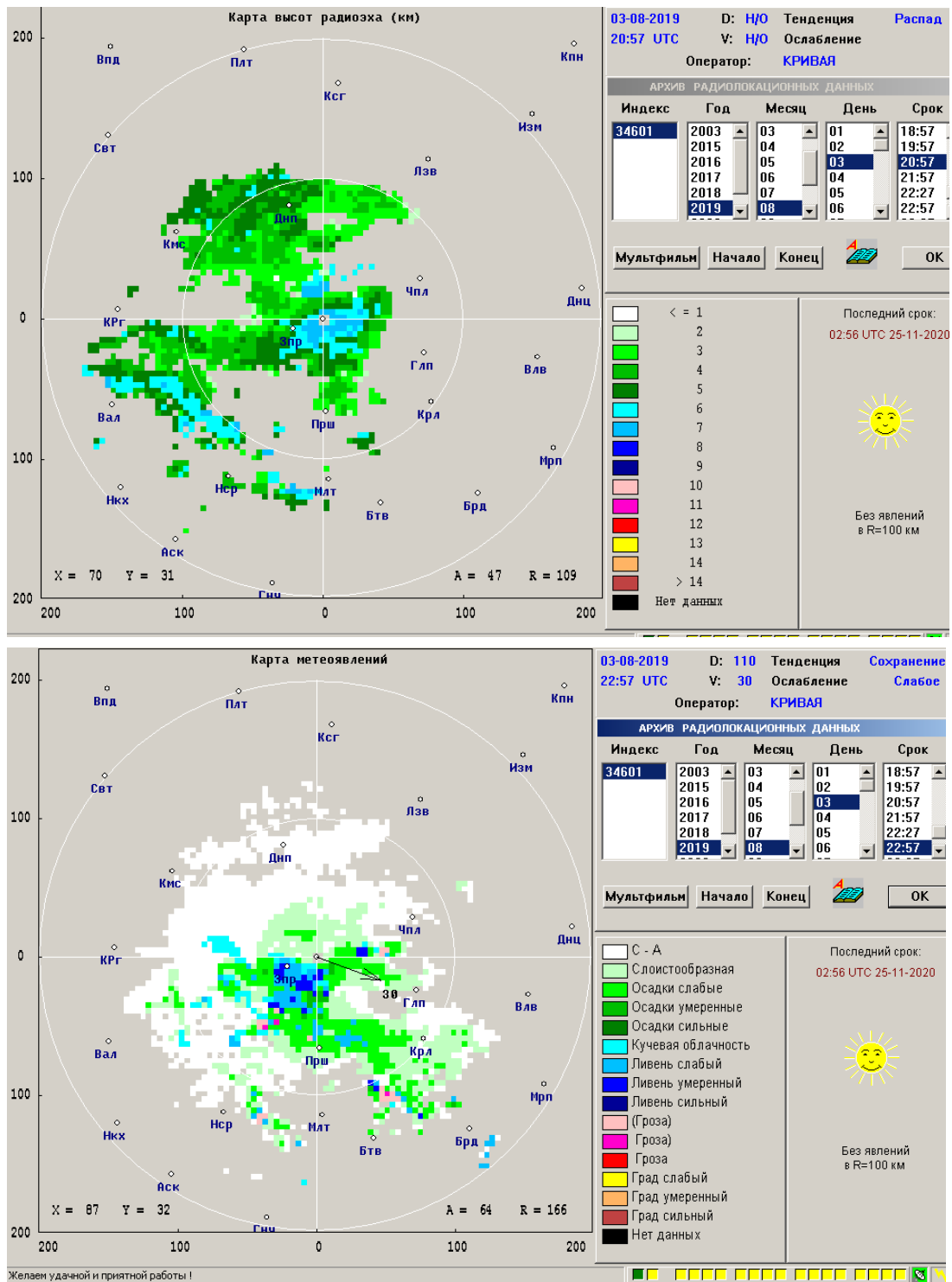


Рис. Б.3. Карти висот радіолуни та метеорологічних явищ,  
АМСЦ Запоріжжя, 3.08.2019 р., 22 та 23 UTC

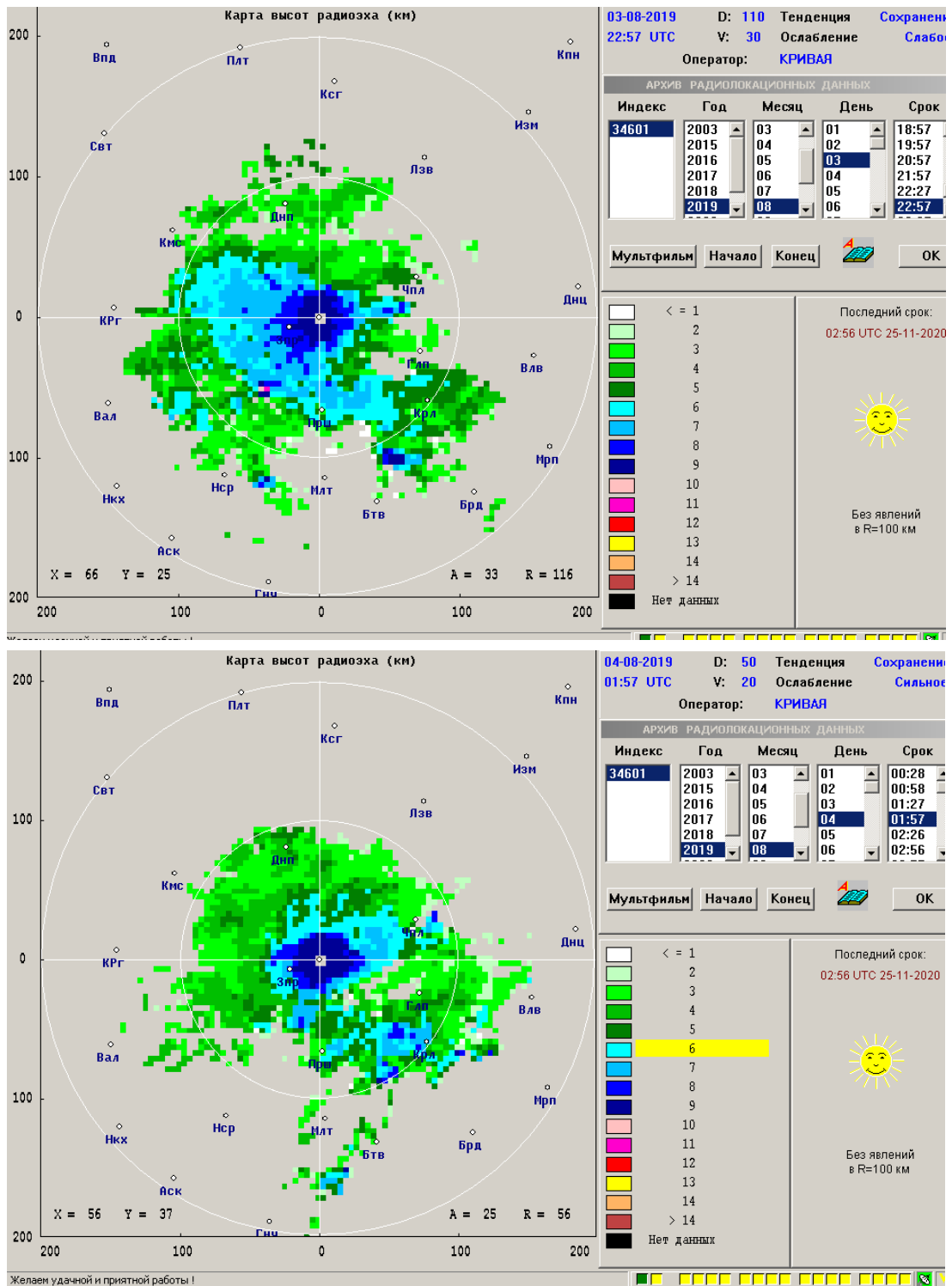


Рис. Б.4. Карти висот радіолуни та метеорологічних явищ,  
 АМСЦ Запоріжжя, 3.08.2019 р. 23 UTC і 4.08.2019 р., 00 UTC

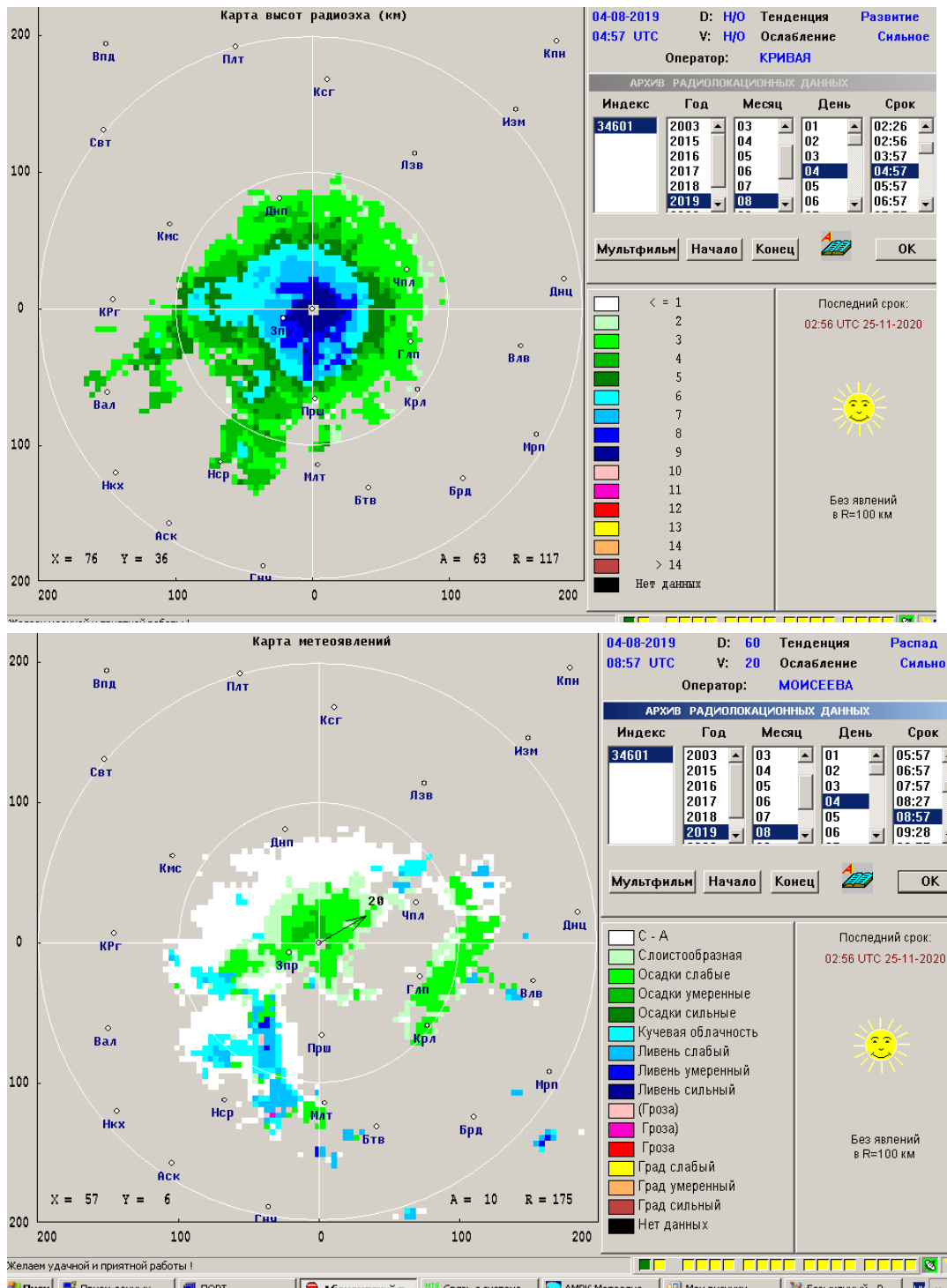


Рис. Б.5. Карти висот радіолуни та метеорологічних явищ,  
АМСЦ Запоріжжя, 4.08.2019 р., 05 та 09 UTC

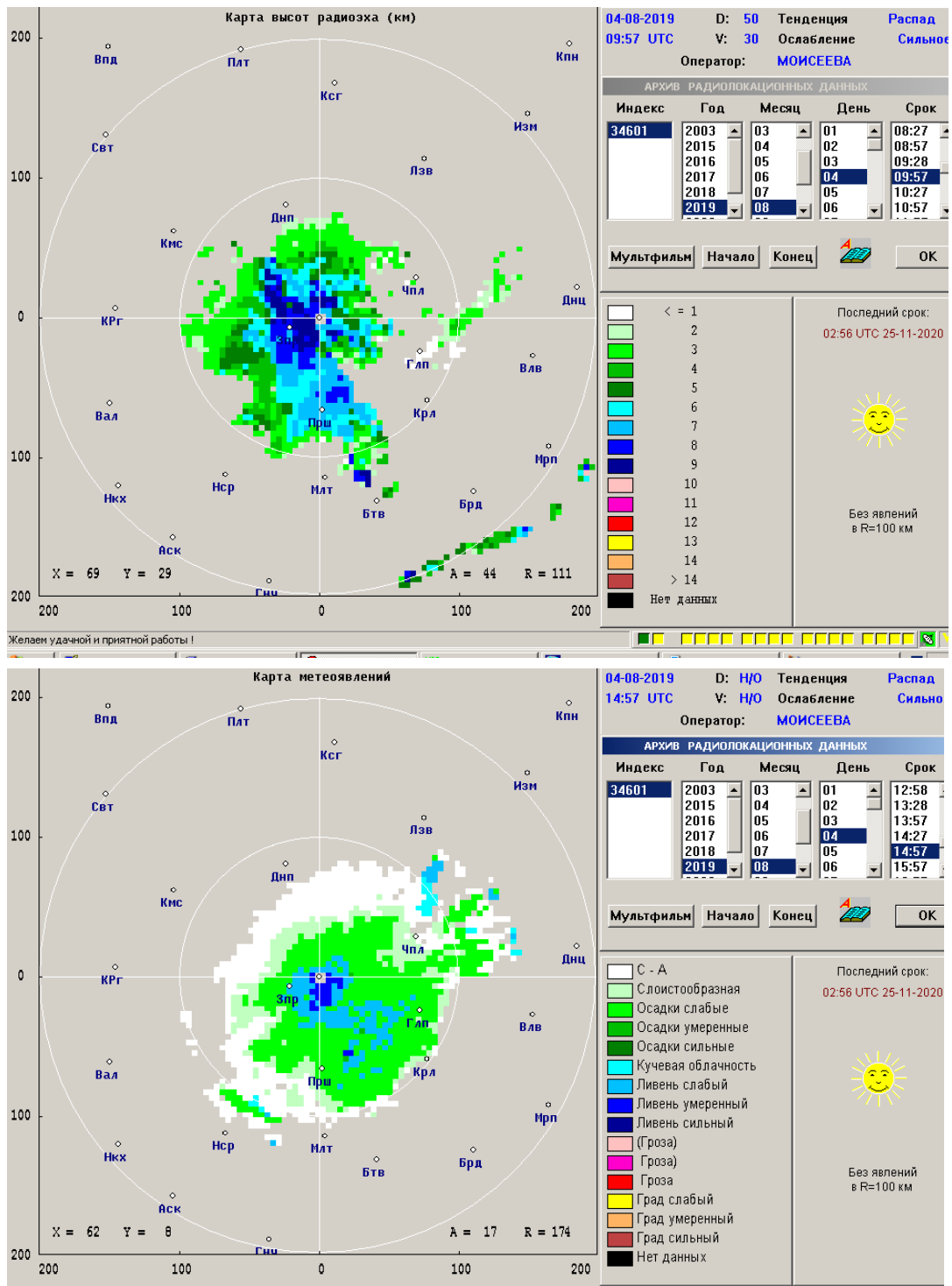


Рис. Б.6. Карти висот радіолуни та метеорологічних явищ,  
АМСЦ Запоріжжя, 4.08.2019 р., 10 та 15 UTC

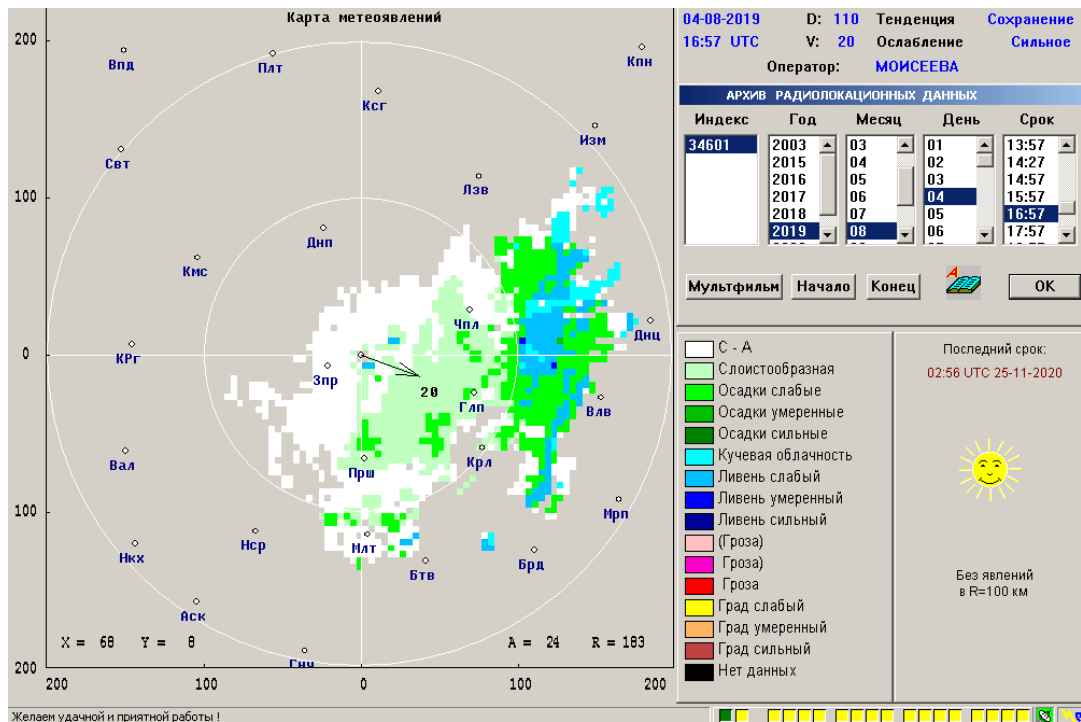


Рис. Б.7. Карти висот радіолуні та метеорологічних явищ,  
 АМСЦ Запоріжжя, 3.08.2019 р., 17 UTC