МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра метеорології та кліматології

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: Термодинамічний аналіз атмосферних фронтів південних циклонів

Виконала студентка 2 курсу групи МЗМ-19_
спеціальності «103 - Науки про Землю»
Вершиніна Ія Валеріївна

Керівник к. геогр. н., доцент
Міщенко Наталя Михайлівна

Рецензент к.геогр.н., доцент
Грушевський Олег Миколайович

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

Вершиніній Ії Валеріївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Термодинамічний аналіз атмосферних фронтів південних циклонів
керівник роботи *Міщенко Наталя Михайлівна к. геогр. н., доцент*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом закладу вищої освіти 124-С від 16.10.2020 р
2. Строк подання студентом роботи *07 грудня 2020 року*
3. Вихідні дані до роботи *синоптичний матеріал АРМСин, данні температурно-вітрового зондування атмосфери RAOB*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки(перелік питань, які потрібно розробити)*1) Вибір, аналіз та систематизація наукової літератури за напрямком дослідження. 2) Формування вибірки вихідної інформації з випадків південних циклонів а пов'язаних з ними атмосферних фронтів, що впливатимуть на територію України. 3) Виявлення погодних умов, що спостерігалися при кожному південному циклону. 4) Розрахунок фронтального параметру Ψ та побудова його полів для кожного випадку південного циклону.5) Виявлення закономірностей просторово-часової структури фронтального параметру зі зливовими опадами та грозовою активністю , виявлення порогових значень*
5.Перелік графічного матеріалу *(з точним зазначенням обов'язкових креслень.) Рис. 3.1 –3.2 – Повторюваність південних циклонів різної траєкторії над територією України за 2017-2019 рр. Рис.4.1 – 4.27 – Аеросиноптичний матеріал та поля фронтального параметру Ψ для кожного випадку південного циклону*.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 26.10.2020 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	*Огляд наукової літератури, сучасних публікацій за темою дослідження.*	26-31.10 2020 р.	95	відмінно
2.	*Вибір вихідних даних, робота з архівними матеріалами. Робота в АрмСин та RAOB, пошук необхідної інформації.*	01-05.11 2020 р.	95	відмінно
3.	*Складання додатку вихідних даних, зведених таблиць. Виконання розрахунків, побудова полів фронтального параметру. Проведення аналізу.*	06-13.11. 2020 р.	95	відмінно
4.	*Аналіз оперативної синоптичної інформації щодо циркуляційних умов, стадій розвитку та фронтологічний аналіз відібраних періодів*	14-17.11 2020 р.	95	відмінно
5.	*Рубіжна атестація*	17.11.2020		
6.	*Складання висновків. Кінцеве редагування тексту.*	24.11-05.12 2020 р.	95	відмінно
7.	*Перевірка на плагіат, підписання авторського договору*	07-10.12.2020		
8.	*Підготовка доповіді та презентації. Попередній захист магістерської роботи.*	грудень 2020		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		**95**	**відмінно**

Магістр _____ _____ *Вершиніна І.В.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ _____ *Міщенко Н.М.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Термодинамічний аналіз атмосферних фронтів південних циклонів»

Автор: Вершиніна Ія Валеріївна.

Актуальність зумовлюється знаходженням найбільш інформативного кількісного методу визначення положення атмосферного фронту, який буде використовуватися як допоміжний до основного фронтологічного аналізу.

Мета роботи: визначення просторово-часової структури фронтального параметру в південних циклонах, що досягають території України для визначення найбільш загострених ділянок та можливості прогнозу опадів та грозової активності пов'язаних з ними.

Відповідно до поставленої мети розв'язано наступні **задачі**:

- розгляд основних та сучасних підходів до методик розрахунку різних фронтальних параметрів у сучасних прогностичних центрах;
- формування бази даних радіозондування атмосфери;
- визначення просторово-часової еволюції зон з максимальними значеннями фронтального параметру Ψ шляхом побудови полів параметру за послідовні строки;
- визначення факторів, які впливають на локалізацію зон з загостреними ділянками атмосферного фронту.

Об'єкт дослідження: атмосферні фронти в південних циклонах

Предмет дослідження: зміна локалізації та інтенсивності зон фронтального параметру Ψ при еволюції південного циклону.

Методи дослідження: При виконанні роботи використовуються методи синоптичного аналізу та графічного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів. Вперше запропонований метод графічного моделювання зон найбільш загострених ділянок атмосферних фронтів при проходженні південних циклонів, що дозволяє визначити не лише якісні показники атмосферного фронту, а й кількісно оцінити інтенсивність окремих ділянок та просторово-часову еволюцію з можливістю подальшого прогнозування конвективної діяльності пов'язаної з ними.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості застосування одержаних висновків в оперативній роботі синоптика-прогнозиста при проведенні зон атмосферних фронтів та можливості уточнення прогнозу зливових опадів та грозової активності. Використовуючи дані об'єктивного аналізу, спрогнозувати можливі положення найбільш загострених ділянок атмосферних фронтів.

Магістерська кваліфікаційна робота в об'ємі 61 сторінок складається з 4 розділів, висновків, переліку посилань з 16-ти джерела, двох додатків, містить 28 рисунків в основному тексті.

Ключові слова: циклони, південні циклони, стадії розвитку, фронтологічний аналіз, фронтальний параметр, зливові опади, грозова активність.

SUMMARY

Theme of master's qualification work: "Thermodynamic analysis of atmospheric fronts of southern cyclones"

Author: Vershinina Iya Valerievna.

The urgency of the research topic of the most informative quantitative method for determining the position of the atmospheric front, which will be used as an auxiliary to the main frontological analysis.

The purpose of the work: to determine the spatio-temporal structure of the frontal parameter in the southern cyclones reaching the territory of Ukraine to determine the most acute areas and the possibility of forecasting precipitation and thunderstorm activity associated with them.

Tasks solved during the work:

• consideration of basic and modern approaches to methods of calculating various frontal parameters in modern prognostic centers;

• formation of a database of atmospheric radiosonde;

• determining the spatio-temporal evolution of zones with maximum values of the frontal parameter Ψ by constructing parameter fields for consecutive terms;

• identification of factors that affect the localization of areas with hot areas of the atmospheric front.

The object of study: atmospheric fronts in southern cyclones

Subject of research: change of localization and intensity of zones of frontal parameter Ψ at evolution of a southern cyclone.

Methods of research: Methods of synoptic analysis and graphic modeling are used in the work.

Scientific novelty of the obtained results. For the first time, a method of graphical modeling of the most acute areas of atmospheric fronts during southern cyclones was proposed, which allows to determine not only the qualitative indicators of the atmospheric front, but also to quantify the intensity of individual areas and spatiotemporal evolution with the possibility of further predicting convective activity.

The practical value of the results. Lies in the possibility of applying the obtained conclusions in the operational work of the weather forecaster-forecaster during the zones of atmospheric fronts and the possibility of refining the forecast of precipitation and thunderstorm activity. Using the data of objective analysis, predict the possible positions of the most acute parts of the atmospheric fronts.

The 61-page master's thesis consists of 4 sections, conclusions, a list of references from 16 sources, two appendices, contains 28 figures in the main text.

Keywords: cyclones, southern cyclones, stages of development, frontological analysis, frontal parameter, precipitation, thunderstorm activity.

ЗМІСТ

Вступ…….……...6
1 Термобарична структура атмосфери на різних стадіях розвитку циклонів…….…….…8
1.1 Роль циклонічної діяльності в системі загальної циркуляції атмосфери..14
2 Огляд літературних джерел по фронтальним параметрам. їх види та методика розрахунку……..……..…..17
2.1 Фронтальний параметр Ψ: характеристика бароклінності в шарі 850-500 гПа……..…….....……...17
2.2 Фронтальний параметр Р: бароклінність і циклонічність в нижній половині тропосфери……..……..…19
2.3 Фронтальний параметр (комбінований)…….....…19
2.4 "Сухий" фронтальний параметр, сіткове динамічне змушення опадів без урахування вологості…….....…20
3 Повторюваність південних циклонів над територією України…..…..…....23
4 Термодинамічна структура атмосферних фронтів в південних циклонах.....27
Висновки…….……...48
Список використаних джерел…….……49
Додаток А…….……..51
Додаток Б…….……...52

ВСТУП

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

Об'єктивний аналіз атмосферних фронтів здійснюється на базі кількісного аналізу особливостей полів метеорологічних величин в області фронту. В якості кількісних характеристик у практиці світових метеорологічних центрів використовують фронтальні параметри, які, в першу чергу, включають в себе горизонтальний градієнт температури, враховують структуру полів геопотенціалу, вологості, опадів, тип синоптичної ситуації та ін. [1].

В магістерській роботі проводиться огляд літератури по темі атмосферних фронтів і фронтального аналізу. Розглянуті шляхи застосування в синоптичній практиці таких фронтальних параметрів як: параметр Ψ - характеристика бароклінності в шарі 850 500гПа, параметр Р - бароклінність і циклонічність в нижній половині тропосфери, комбінований безрозмірний фронтальний параметр (Ψ і P) і "сухий" фронтальний параметр - сіткове динамічне змушення опадів без урахування вологості [2].

Метою магістерської роботи є визначення критеріальних значень фронтального параметру Ψ для прогнозування зливових опадів та грозової активності над територією України.

Для досягнення поставленої мети, вирішувалися наступні *завдання*:

- Формування вибірки вихідної інформації з випадків південних циклонів а пов’язаних з ними атмосферних фронтів, що впливатимуть на територію України.

- Виявлення погодних умов, що спостерігалися при кожному південному циклону.

- Розрахунок фронтального параметру Ψ та побудова його полів для кожного випадку південного циклону.

- Виявлення закономірностей просторово-часової структури фронтального параметру зі зливовими опадами та грозовою активністю , виявлення порогових значень

В якості *вихідних* використовувався аеросиноптичний матеріал АРМСин та RAOB (карти приземного аналізу та карти баричної топографії, дані радіозондування атмосфери), дані електронних щоденників погоди, дані об’єктивного аналізу NCEP (питома вологість, температура на рівнях 850, 700, 600 та 500 гПа).

Магістерська кваліфікаційна робота в об’ємі 62 сторінок складається з 4 розділів, висновків, переліку посилань з 16-ти джерела, двох додатків, містить 28 рисунків в основному тексті.

1 ТЕРМОБАРИЧНА СТРУКТУРА АТМОСФЕРИ НА РІЗНИХ СТАДІЯХ РОЗВИТКУ ЦИКЛОНІВ

У початковій стадії розвитку фронтального циклону на приземної лінії фронту виникає хвилеподібний вигин, пов'язаний з виникненням на даній ділянці фронту замкнутої циклонічної циркуляції. Тиск поблизу вершини хвилі падає. Над нею в середній тропосфері знаходиться зона згущення ізогіпс на картах АТ-700 і АТ-500. Вісь струминної течії проходить майже паралельно фронту на відстані 200-300 км від вершини хвилі і на відстані 300-400 км від холодного і теплого фронтів (рис. 1.1а).

Рис. 1.1 – Положення вісі СТ та центру циклону на різних стадіях його розвитку.[1]

а – хвиля; *б* – молодий циклон; *в* – оклюдований циклон.

Над передньою частиною хвилі знаходиться слабо виражений баричний гребінь в нижній тропосфері, а в тиловій частині розташована неглибока улоговина (рис.1.2). Вершина хвилі знаходиться під дельтою ВФЗ.

Осьова лінія згущення ізогіпс на карт ВТ500/1000 трохи зміщена щодо вершини хвилі в бік холодного повітря. [1]

У тиловій частині хвилі, за холодним фронтом, з'являється улоговина холоду, а в передній - гребінь тепла. У тиловій частині хвильового збурення спостерігається адвекція холоду, а в передній частині - адвекція тепла. [1]

Лінія нульовий адвекції проходить поблизу вершини хвилі. Відповідно до такого розподілу адвекції, термічний фактор обумовлює падіння тиску перед теплим фронтом і зростання тиску за холодним фронтом.

Оскільки вершина хвилі знаходиться під дельтою ВФЗ, то адвекція додатного вихору швидкості створює сприятливі умови для посилення циклонічної циркуляції і зниження тиску. [1]

Оскільки вершина хвилі знаходиться під дельтою ВФЗ, то адвекція додатного вихору швидкості створює сприятливі умови для посилення циклонічної циркуляції і зниження тиску.

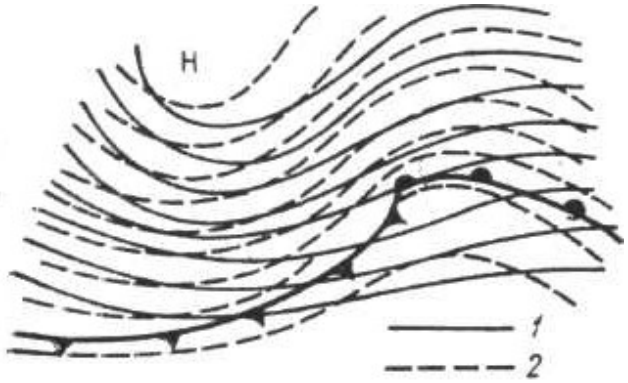


Рис. 1.2 -Термобаричне поле циклону в початковій стадії розвитку.[1]

1 – ізогіпси $АТ_{700}$; 2 –ізогіпси $ОТ_{500/1000}$.

Початкова стадія розвитку циклону вельми швидкоплинна і триває зазвичай менш ніж півдоби. [1]

При подальшому посиленні замкнутої циклонічної циркуляції циклон з хвильової стадії розвитку може перейти в стадію молодого циклону. В цьому випадку триває подальша деформація приземної лінії фронту, в результаті чого виникає чітко помітний сектор циклону, де знаходиться тепле повітря, так званий теплий сектор (рис.1.3). Число замкнутих ізобар на приземної карті погоди збільшується. [1]

Циклон в цій стадії розвитку стає зазвичай середнім баричним освітою і на рівні ізобаричної поверхні 700 гПа з'являються перші замкнуті ізогіпс.

Центр циклону на мапі АТ700 зміщений по відношенню до приземному центру в сторону холодного повітря. Адвекція холоду в тилу циклону стає сильнішою, ніж адвекція тепла в його передній частині, і захоплює велику площу, ніж в стадії хвилі. [1]

Струминне протягом в цій стадії розвитку циклону набуває великої хвильової вигин, ніж в стадії виникнення циклону (рис.1.1б). Відстань від приземного центру циклону до проекції осі струменевої течії стає мінімальним, а відстань від осі струменевої течії до холодного і особливо теплого фронту більше.

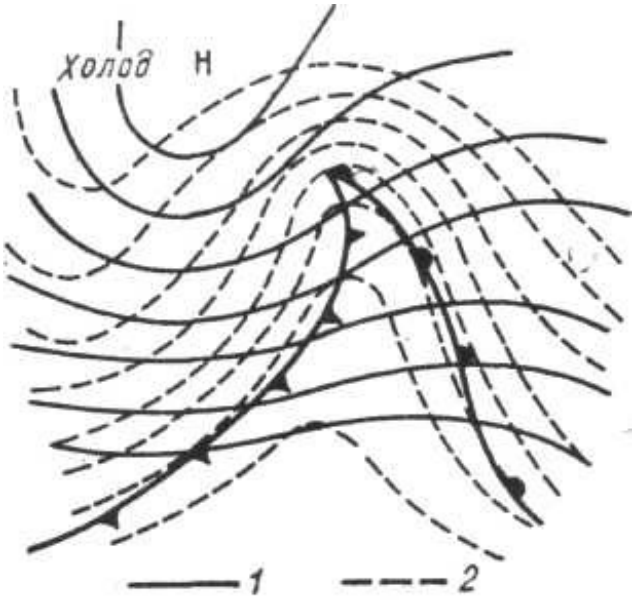


Рис. 1.3–Термобаричне поле молодого циклону.[1]

Час існування молодого циклону зазвичай не перевищує 1,5-2 добу. Початок стадії максимального розвитку циклону збігається з початком процесу окклюдування. У поверхні Землі циклон вже окреслено великим числом замкнутих ізобар. Він стає зазвичай високим баричним освітою. Кут нахилу його висотної осі до горизонту збільшується в порівнянні зі стадією молодого циклону. Гребінь тепла на мапі от500 / 1000 звужується, вісь його збігається з верхнім фронтом. Тилова улоговина холоду на мапі от500 / 1000

розташовується ближче до центру циклону на приземної карті погоди (рис.1.4). [1]

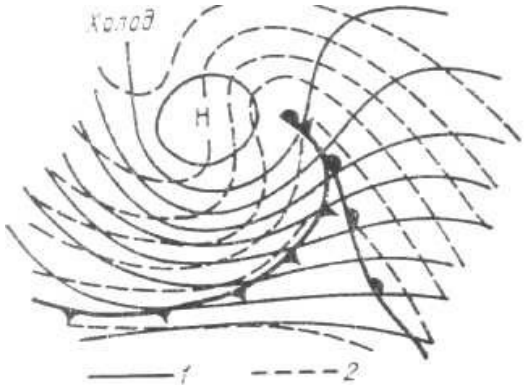


Рис.1.4 – Термобаричне поле циклону в стадії максимального розвитку.[1]

У цій стадії розвитку циклону хвильової вигин струменевої течії стає ще більш значним. Ось струменевої течії перетинає фронт оклюзії майже під прямим кутом, так що приземний центр циклону виявляється вже на циклонічної периферії струменевої течії. Відстань від фронтів до осі струменевої течії збільшується ще більше. Видалення осі струменевої течії від холодного фронту становить в середньому близько 500 км, а від теплого фронту - близько 800 км.

Рис. 1.5 – Термобаричне поле в стадії заповнення .[1]

Подальше окклюдування циклону, що призводить до витіснення теплого повітря нагору і зникнення роздільного існування теплого і холодного фронтів, супроводжується його заповненням.

Ця остання стадія еволюції циклону триває до зникнення останньої замкнутої ізобари на приземної карті погоди. [1]

Заповнення циклону починається у поверхні Землі за рахунок конвергенції тертя, так як зникають умови, що сприяють підтримці і, тим більше, подальшого зниження тиску: відсутні адвекція позитивного вихору швидкості і адвективні зміни температури. .[1]

Ізогіпс АТ і ВТ500/1000 розташовуються майже паралельно (рис.1.5). Циклон являє собою високе холодне баричне освіту з майже вертикальною віссю. Центр циклону знаходиться зліва від осі струменевої течії (рис.1.1в). Заповнюється циклон складається, по суті, з порівняно однорідної холодної повітряної маси, без фронтальних розділів. Горизонтальні градієнти температури невеликі.

Час існування циклону з моменту початку окклюдування зазвичай досягає 3-4 діб і залежить від структури термобаричного поля над його центральною частиною. [1]

Коли вона несприятлива для підтримки падіння тиску в центрі циклону, то його заповнення може початися в самому початку процесу окклюдування. При сприятливих умовах, навпаки, падіння тиску може тривати майже до зникнення основних фронтів. Встановлено, що найбільш швидко заповнюються циклони, в яких холодні повітряні маси з обох боків фронту оклюзії на всіх висотах мають однакові властивості, тобто оклюзії є нейтральним. [1]

Заповнення циклону відбувається в основному за рахунок збільшення маси повітря над центральною частиною циклону в нижній частині тропосфери. За даними П.Н. Бєлова, в області інтенсивно заповнюють циклону приплив маси, що приводить до зростання тиску у Землі, на 80% відбувається в шарі Земля - 5 км.

У циклоні що оклюдує, між фронтом оклюзії і одним з добре виражених вторинних холодних фронтів в тиловій частині циклону може виникнути вторинний теплий сектор (рис.1.6). [1]

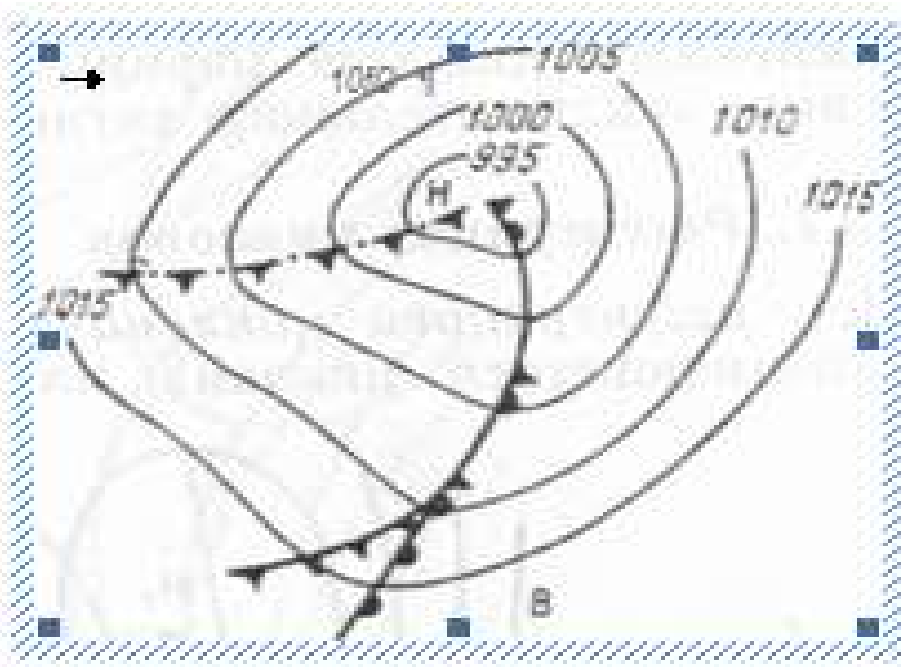


Рис.1.6 – Оклюдований циклон із вторинним теплим сектором .[1]

Такі циклони з вторинним теплим сектором, утвореним фронтом оклюзії і вторинним холодним фронтом, можуть досягати великої глибини і існувати тривалий час. У цих циклони можна виділити дві області з різними погодними умовами, аналогічні молодому циклону. Одна з областей знаходиться в центральній частині циклону, де можна виділити зони характерних погодних умов перед фронтом оклюзії, за вторинним холодним фронтом і у вторинному теплому секторі. Друга область знаходиться на периферії циклону, де також можна виділити свої три зони особливих погодних умов: перед основним теплим фронтом, за основним холодним фронтом і в основному теплому секторі. [1]

Однак погодні умови у вторинному теплому секторі, як правило, відрізняються від погодних умов в основному теплому секторі. Повітряна маса, яка перебуває у вторинному теплому секторі, є відносно теплою тільки в нижніх шарах і тому нестійка. У ній навіть в холодне півріччя часто виникає купчасто-дощова хмарність, і випадають зливові опади. [1]

У зв'язку з тим, що сприятливі умови для циклогенезу в будь-якому районі можуть зберігатися тривалий час, протягом його може виникнути

кілька циклонів на одному і тому ж фронті. Переміщаючись по напрямку повітряних течій, ці циклони утворюють циклонічні серії. Першим в цій серії є найбільш «старий», зазвичай оклюдованого циклон, а останнім - найбільш «молодий» циклон (рис. 1.7). [1]

Рис.1.7 - Схема-приклад циклонічної серії на приземній карті погоди .[1]

Циклони однієї серії розділені між собою проміжними антициклонами (гребенями). Закінчується серія зазвичай вторгненням в тилу останнього циклону порції холодного повітря, оформленої у вигляді заключного антициклону.

1.1 Роль циклонічної діяльності в системі загальної циркуляції атмосфери

Циклонічна діяльність є важливою ланкою загальної циркуляції атмосфери. Розвиваючись на фоні процесів планетарного масштабу, циклони і антициклони перетворюються в стаціонарні баричні утворення і стають компонентами висотних деформаційних полів. Тим самим вони беруть участь

у формуванні таких синоптичних об'єктів, як ВФЗ, що є джерелами виникнення рухливих циклонів і антициклонів. [1]

Рухливі циклони і антициклони здійснюють обмін повітряними масами між високими і низькими широтами. Вони зменшують і підтримують в певних сезонних межах меридіональний градієнт температури, що виникає внаслідок нерівномірного припливу сонячної радіації до підстильної поверхні. При цьому над окремими районами відбувається концентрація великих градієнтів температури, утворюються фронтальні зони. [1]

У нижній і середній тропосфері формуються фронтальні розділи, системи хмар, опадів та інших явищ. Якщо умови для фронтогенезу сприятливі, то градієнти температури і тиску, а разом з ними і швидкість вітру, т.д. Інтенсивність циркуляції, поступово збільшуються. Однак збільшення зазначених показників обмежена деяким межею критичним значенням градієнта потенційної енергії, після досягнення якого потоки в ВФЗ втрачають стійкість і починається її хвильовий обурення, а потім освіту макротурбулентних вихорів - циклонів і антициклонів. [1]

Критичні значення градієнтів температури і тиску, а також швидкості вітру досягаються лише в окремих ділянках порівняно вузьких ВФЗ. При цьому середні значення градієнтів і швидкості вітру над півкулею залишаються нижче критичних, а різниця температур між екватором і полюсом - менше значення, відповідного режиму променистого рівноваги.

Таким чином, роль циклонічної діяльності в загальній циркуляції атмосфери полягає в тому, що вона призводить до ліквідації надлишкових контрастів потенційної енергії. Тому циклонічна діяльність являє собою природний механізм, за допомогою якого атмосфера при надлишку контрастів потенційної енергії і втрати стійкості автоматично приходить в більш стійкий стан. Здійснюється це макротурбулентним перемішуванням. Великі маси холодного повітря переміщаються на південь, теплого - на північ. Відбувається трансформація повітряних мас. Градієнт температури убуває, відповідно зменшуються градієнт тиску і швидкість циркуляції. Таким чином,

циклонічна діяльність обмежує верхню межу контрасту "потенційної енергії, а разом з ним і рівень кінетичної енергії, тобто інтенсивність циркуляції атмосфери.

Надмірність контрастів потенційної енергії ліквідується шляхом переходу її в кінетичну. Тому тимчасово відбувається зростання кінетичної енергії, який проявляється в збільшенні швидкості циркуляції в період розвитку циклонічних і антициклонічних вихорів. У період обурення потоку і розвитку вихорів досягається максимум швидкості вітру в окремих областях ВФЗ. Однак після закінчення цього процесу і загасання вихорів середні значення градієнтів температури і тиску і середньої швидкості потоків в даній області ВФЗ зменшуються. Розглянуті процеси спорадично виникають там, де є сприятливі умови для утворення і загострення ВФЗ. [1]

2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ПО ФРОНТАЛЬНИМ ПАРАМЕТРАМ. ЇХ ВИДИ ТА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ

2.1 Фронтальний параметр Ψ: характеристика бароклінності в шарі 850-500 гПа

Зони атмосферних фронтів, де спостерігаються різні види гідродинамічної нестійкості, методами об'єктивного аналізу виділяються за допомогою розрахунку фронтогенетичних функцій, які представляють собою значення похідної за часом від модулю градієнту будь-якої величини поля температури [2, 8, 12]. У загальному розумінні зону фронту можна трактувати як зону підвищеної бароклінності і, відповідно, використовувати для визначення зони її локалізації критерії, які визначають ступінь бароклінності атмосфери. Спираючись на результати[3], наявність фронтів будемо визначати за розташуванням гребеневих ліній у полі фронтального параметру ψ, який розраховується за формулою

$$\psi = \nabla\left|\nabla ZTE\right| n_{ZTE}, \tag{2.1}$$

де

$$ZTE = -\sum (R/g)\overline{T}_e \ln\left(p_{500}/p_{850}\right), \tag{2.2}$$

де R - питома газова стала, g – прискорення сили тяжіння;

$\overline{T}_e$ – середня еквівалентна температура; ∇ - оператор градієнта;

n_{ZTE} - одиничний вектор, спрямований у бік зменшення ∇ZTE ;

ZTE – еквівалентна товщина шару від 850 до 500 гПа.

Сума в (2.2) береться в межах від p_l=850гПа до p_u=500гПа, $\overline{T}_e$ – еквівалентна температура $T_e = T + L\overline{q}/c_p$ (де $\overline{q}$ – масова доля вологи):

$$T_e = \left(\overline{T}_{e,u} - T_{e,l} \right) / \ln\left(T_{e,u} / T_{e,l}\right). \qquad (2.3)$$

Таким чином, ψ являється характеристикою бароклінності в шарі 850-500гПа.

Положення фронтів визначається як положення гребеневих ліній в поле Ψ, причому приймаються в розгляд лише значення Ψ > 2,5 К / Δn (де Δn - крок сітки). Негативні значення Ψ (не приймаються до розгляду, оскільки вони відповідають не фронтальним умовам) зводяться до нуля.

Значення Ψ тим більше, чим більше бароклінність в шарі 850 - 500 гПа, і по суті цей фронтальний параметр містить інформацію не тільки про становище, а й про інтенсивність фронту (про гостроту контрастів температури і вологості). Видається, що авторське користування поля Ψ лише для проведення гребеневих ліній зменьшує можливості методу. Як характеристика бароклінності, параметр Ψ може бути пов'язаний з полем опадів.

Метод дозволяє виділяти невеликі, але зате найбільш інтенсивні фронтальні зони, в яких щільність випадків випадання опадів висока, і не виявляє зони слабших фронтів, це якість може виявитися корисним. [2]

2.2 Фронтальний параметр Р: бароклінність і циклонічність в нижній половині тропосфери

Фронтальний параметр Р, згідно [2] розраховується наступним чином: 1) проводиться об'єктивна класифікація топографії баричного поля біля землі в даному квадраті сітки і його околиці, 2) для того класу баричних ситуацій, який відповідає даному квадрату, визначається ймовірність наявності фронту шляхом використання вирішального правила для даного класу.

Отже, параметр Р за своїм фізичним змістом є характеристикою як бароклінності в нижній половині тропосфери, так і циклонічності поля тиску біля землі і в нижній тропосфері. Для сильних і дуже сильних опадів, отримуємо більш тісну залежність повторюваності опадів від фронтального параметру: більш високі H_0, більш високий відсоток випадків опадів, спостерігаються всередині ізолінії (72,5% для Р = 15). Обидва ці показники значно краще у параметра Р ніж у Ψ. [2, 4]

2.3 Фронтальний параметр (комбінований)

Досвід розрахунків полів Ψ і P показав, що виділення за допомогою параметра Ψ нечисленних інтенсивних фронтальних зон, хоча саме по собі і не забезпечує успішного аналізу, може виявитися корисним для поліпшення графічного представлення картини об'єктивного аналізу фронтів, одержуваної за допомогою параметра Р. Накладення обох картин, як уявлялося, дозволить підкреслити більш активні ділянки фронтів. Пошук найкращої лінійної комбінації ΔР+ΔΨ (після приведення Ψ; до безрозмірного виду) за допомогою статистичного методу показав, що коефіцієнти А і В повинні бути близькими за значенням. На підставі

таких міркувань та оцінок був введений і випробуваний безрозмірний фронтальний параметр

$$F = P + \Psi \qquad (2.4)$$

На більшій частині розглянутої області F близький до P, але в зонах великих Ψ (а це близько 10% площі регіону) поправки значні. Таким чином, параметр F забезпечує найбільш ефективне виділення зон фронтів. [2]

2.4 "Сухий" фронтальний параметр, сіткове динамічне змушення опадів без урахування вологості

При всіх відмінностях фронтальних параметрів Ψ, P і F загальним для них є те, що вони оцінюють бароклінність по контрастам еквівалентності температури і таким чином враховують контрасти як температури, так і вологості. Загальновизнано, що вимірювання вологості та її об'єктивний аналіз недостатньо точні, і часто цим пояснюють помилки в чисельному прогнозі опадів. Вклад контрастів вологості в характеристики бароклінності, таким чином, хоча і досить значний кількісно, проте не грає вирішальної ролі в якісному відношенні.

Підкреслимо, що врахування вологості тут принципово відрізняється від того, що має місце в чисельних моделях: процеси конденсації і інші підсіткові ефекти не включаються в розгляд. Фронтальний параметри, що розглядаються в даній статті, характеризують динамічне вимушення опадів сіткового масштабу [2, 14, 16]. Об'єктивний аналіз атмосферних фронтів не зводиться до комп'ютерного відтворення дій і логіки синоптика при їх проведенні. Комп'ютерна реалізація фронтального аналізу дозволяє кількісно враховувати великий обсяг різнорідних даних і отримувати з доступною дискретністю

значення деякої критеріальної величини (фронтального параметра), що містить інформацію не тільки про наявність і відсутність фронту, а й про ширину його зони, про його інтенсивність та просторову неоднорідність. Ця інформація не носить якісного або суб'єктивного характеру і в принципі піддається об'єктивній оцінці ефективності на основі порівняння з даними про погодні умови на станціях. Оцінка ефективності, так само як і розуміння синоптиком принципів розрахунку, необхідна для практичного застосування будь-якого комп'ютеризованого методу аналізу або прогнозу метеорологічних умов. Те, що фронтальні параметри визначаються факторами бароклінності і циклонічності атмосферних полів, надає цим параметрам сенс кількісної характеристики динамічного вимушення опадів, що має сітковий масштаб. З ростом інтенсивності динамічного змушення повторюваність опадів будь-якої градації безперервно зростає, причому тим більше, чим вище їх інтенсивність. Цей ефект особливо яскраво виражений в повторюваності сильних і дуже сильних опадів. [2, 9, 10, 12]

Опубліковані до теперішнього часу результати розрахунків фронтогенеза за даними об'єктивного аналізу і чисельного прогнозу для конкретних процесів (стратосферні вторгнення, еволюція струминних течій, циклогенез, оклюдування циклонів, конвективні смуги в циклонічних областях) виявили певні закономірності, що мають практичне значення.

Так, був зроблений висновок, що виникнення і розвиток улоговин і гребенів на висотної фронтальної зони, меандрування і інтенсифікація струминних течій - всі ці процеси мають загальний механізм: векторний фронтогенез в товщі тропосфери і нижньої стратосфери. При цьому обертальний фронтогенез відіграє основну роль на початковій стадії формування контрастів температури, а в подальшому визначальну роль відіграє скалярний фронтогенез. [2, 11, 12]

Далі, векторний фронтогенез, мабуть, грає ключову роль в процесі зародження і еволюції циклонічних вихорів. Особливо це відноситься до обертальної складової: осередки обертального фронтогенеза є провісниками

циклогенезу у землі. Також певні складові фронтогенеза (обумовлені завихрення або деформацією) відповідальні за поглиблення оклюдованого циклону, звуження піднімається обсягу теплого повітря і утворення в ньому хмар і опадів.

Вертикальні циркуляції, обумовлені фронтогенезом, виступають в ролі генераторів конвективного нестійкості, вирішення якої може відбуватися під впливом таких видів гідродинамічної нестійкості, як симетрична і інерційна, що впливають на характер організації конвекції і її прояви в полях опадів і вітру.

3 ПОВТОРЮВАНІСТЬ ПІВДЕННИХ ЦИКЛОНІВ НАД ТЕРИТОРІЄЮ УКРАЇНИ

На першому етапі роботи розрахувалась повторюваність південних циклонів за період з 2017 до 2020р. що досягали території України, для визначення актуальності даного дослідження.

В якості вихідних, використовувалися синоптичний матеріал АРМСин, та електронні щоденники погоди сайту rp5.

Загальна вибірка південних циклонів за період з 2017-2020 рр. склала 146(100%) випадків, з них 64 спостерігались на території України(47%). Була розрахована загальна статистика південних циклонів за теплий и холодний періоди. Вона склала 64 (43,8%) і 82(56,5%), за теплий і холодний відповідно. Окремо по траєкторіям за два періоди вибірка склала: за теплий період - траєкторія I (9%), траєкторія II (11%), траєкторія III (7%), траєкторія IV (0%), траєкторія V (15%); за холодний період – траєкторія I (8%), траєкторія II (19%), траєкторія III (8%), траєкторія IV (5%), траєкторія V (13%). На території України статистика південних циклонів значна менше. Окремо по траєкторіям за два періоди вибірка склала: за теплий період - траєкторія I (4%), траєкторія II (7%), траєкторія III (6%), траєкторія IV (0%), траєкторія V (28%); за холодний період – траєкторія I (4%), траєкторія II (9%), траєкторія III (3%), траєкторія IV (4%), траєкторія V (12%).

Таблиця 3.2 – Повторюваність південних циклонів за теплий і холодний період 2017-2020 рр.

Період	**Фактична**	**%**
ТП	64	43,8
ХП	82	56,2

Таблиця 3.3 – Повторюваність різних траєкторій південних циклонів за теплий и холодний періоди 2017-2020 рр.

	Загальне число вип.		**%**	
Траєкторія	ТП	ХП	ТП	ХП
I	13	11	9	8
II	16	28	11	19
III	10	12	7	8
IV	0	7	0	5
V	22	19	15	13

Таблиця 3.4 – Повторюваність різних траєкторій південних циклонів за теплий и холодний періоди на території України за 2017-2020 рр.

	Чис.вип. в Укр.		**%**	
	ТП	ХП	ТП	ХП
I	3	3	4	4
II	5	13	7	19
III	4	6	6	9
IV	0	3	0	4
V	19	8	28	12

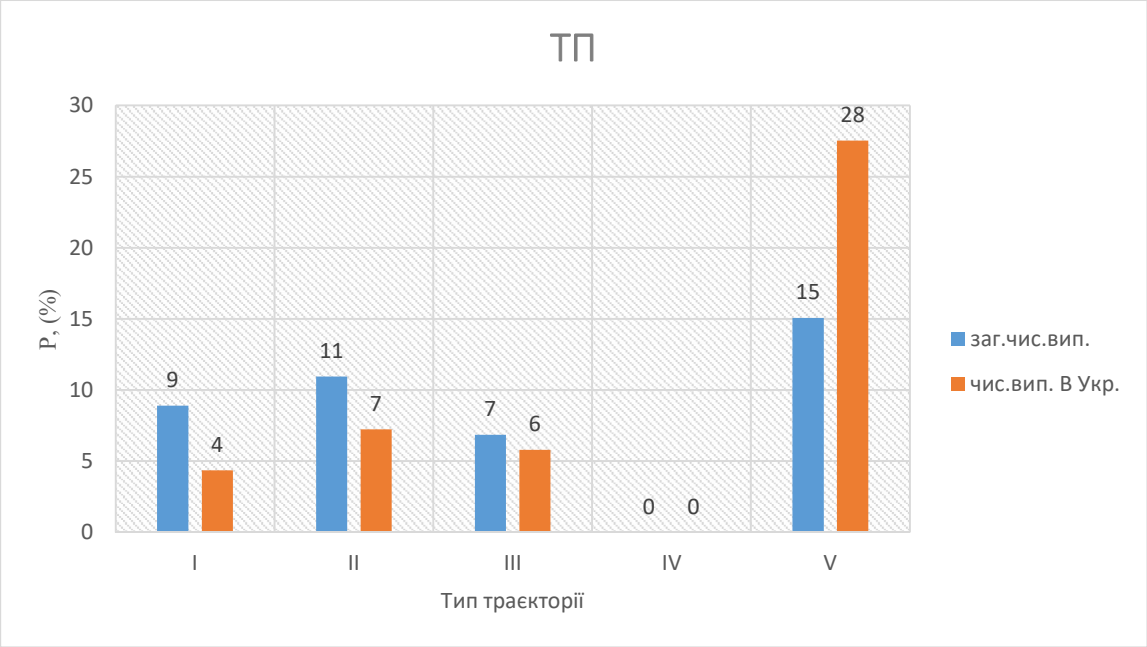


Рисунок 3.1 – Діаграма повторюваності південних циклонів різних траєкторій за теплий період 2017-2020 рр на Україні та загальне число випадків.

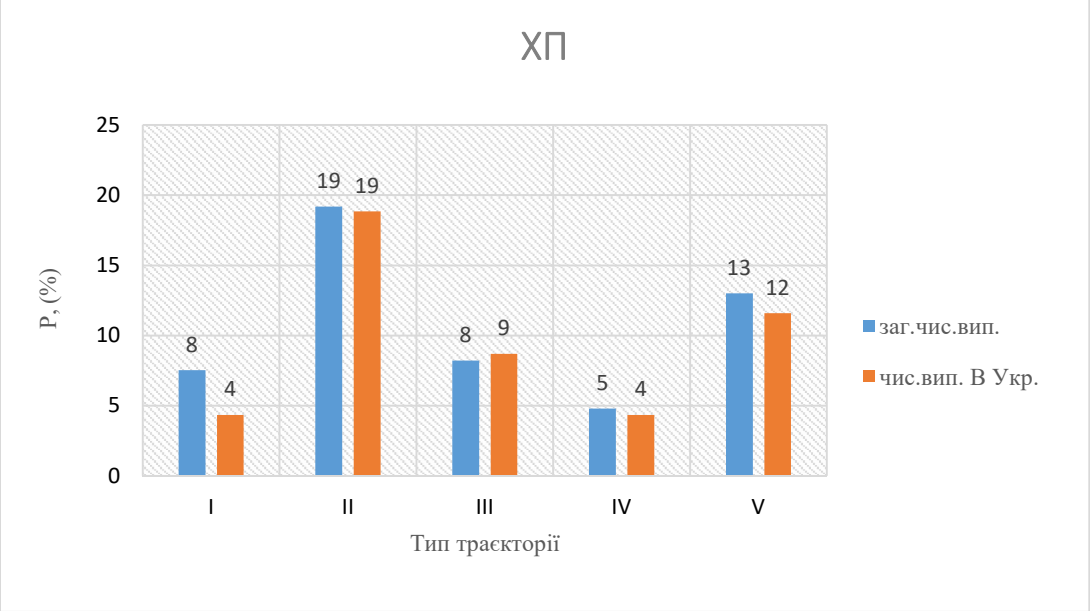


Рисунок 3.2 – Діаграма повторюваності південних циклонів різних траєкторій за холодний період 2017-2020 рр на Україні та загальне число випадків.

Згідно з рисунками 3.1-3.2, можна побачити, що більшість південних циклонів найчастіше виникають в холодне півріччя, причому найбільша

повторюваність другої траєкторії, менш всього вони рухаються по четвертій траєкторії. В тепле півріччя більше циклонів рухалось по п’ятої траєкторії, четверта траєкторія взагалі не відмічалась.

4 ТЕРМОДИНАМІЧНА СТРУКТУРА АТМОСФЕРНИХ ФРОНТІВ В ПІВДЕННИХ ЦИКЛОНАХ

У представленій роботі використовується один з таких методів, в якому для об'єктивного аналізу атмосферних фронтів запропоновані деякі комплексні характеристики температури і вологості повітряних мас, так званий фронтальний параметр Ψ, який детально описаний в [2, 3].

Авторами даного параметру було показано, що параметр Ψ можна використовувати не лише для проведення ліній фронтів, але і для виділення зон опадів, пов'язаних з фронтами. Іншими словами, автори методу пропонують за допомогою Ψ виділяти зони фронтів, в яких опади найбільш імовірні.

Розглянемо, як цей метод спрацює для південних та північно-західних циклонів і чи є доцільним його використання для уточнення фронтальних розділів.

Для розрахунків і аналізу використовувався аеросиноптичний матеріал АРМСин, дані об’єктивного аналізу по середньодобовій кількості опадів, температурі і вологості на ізобаричних поверхнях 850-500 гПа. [2, 3-5] та дані електронного щоденника погоди [6].

Відомо, що атмосферні фронти проявляються в полях хмарності, опадів, вітру, баричних тенденцій та ін. Отже, атмосферні фронти, що виділяються різними методами на картах погоди, повинні узгоджуватися з ознаками реальних фронтів, і, зокрема, бути зонами переважного випадання опадів.

В представленій роботі наявність фронтів будемо визначати за допомогою параметру ψ, який розраховується за наступною формулою

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

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

де R – питома газова стала, g – прискорення сили тяжіння, T_e – середня еквівалентна температура, ∇ - оператор градієнту, n_{ZTE} одиничний вектор, спрямований у бік зменшення ∇ZTE, ZTE- еквівалентна товщина шару від 850 до 500 гПа. [2, 3].

З формули видно, що ψ являється характеристикою бароклінності в шарі 850-500 гПа тому розрахунки велися саме в цьому шарі. Значення ψ тим більше, чим більша бароклінність в шарі 850-500 гПа і по суті цей фронтальний параметр містить інформацію не лише про положення, але й про інтенсивність фронту. [2, 3].

Для аналізу відібрані випадки південних циклонів за теплий та холодний період (11 – 15.10.2020 р.) та пов'язаних з ним атмосферних фронтів.

Випадок південного циклону, який представлено в роботі зацікавив процесом регенерації. Було цікаво побачити, як поведе себе фронтальний параметр в даній ситуації.

Циклон, з центром над Італією окреслений однією замкненою ізобарою та мінімальним тиском у центрі 1012 гПа, на перший погляд знаходиться вже на стадії максимального розвитку (наявність фронту оклюзії). Проте його аналіз по всім рівням показав, що це баричне утворення тільки виникло. Про це каже наявність замкненого центру тільки у поверхні землі і відсутність на інших рівнях, його термобарична неоднорідність та відсутність фронту оклюзії, згідно аналізу термічного поля (рис.4.1).

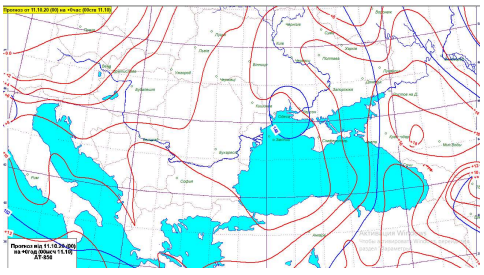


Рис.4.1 – Прогностична карта АТ-850 за 11.10.2010 р. 00 СГЧ

Таким чином, проведений фронт оклюзії на приземній карті (рис.4.2 а) не відповідає дійсності. До того ж даний циклон відсутній в попередні строки. Саме тому, робимо висновок, що циклон знаходиться на стадії виникнення.

а) *б*)

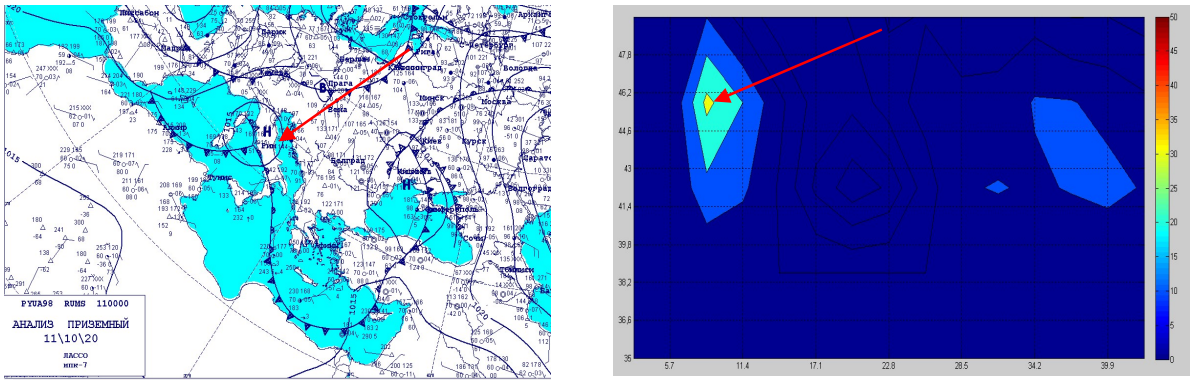


Рис. 4.2 – Карта приземного аналізу а) та поле фронтального параметру Ψ за 11.10.2020 р.

Поле фронтального параметру (рис.4.2 б) показало центр цього циклону у вигляді осередку його максимальних значень (Ψ=30). Це досить велике його значення і в роботах [ ] визначається як таке, при якому очікуються опади. Проте опади над Італією відмічалися лише з 9 год. (рис.4.3).

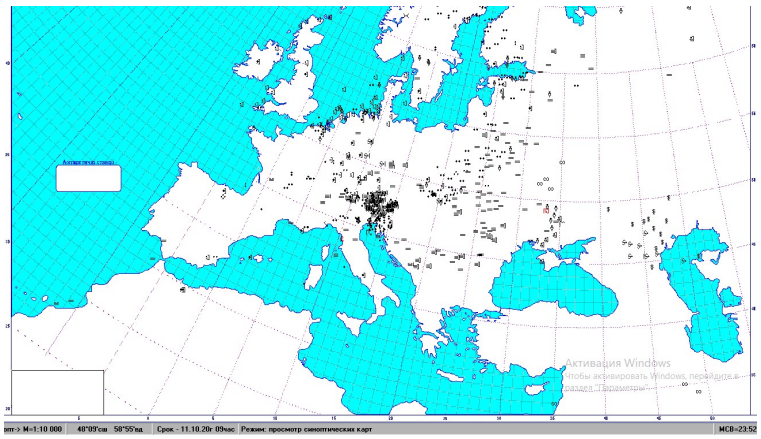


Рис.4.3 – Карта фактичної погоди за 11.10.2020 р. 09 год. СГЧ

На протязі доби тиск в центрі циклону продовжував падати, о 12 годині він вже складав 1007 гПа а в деяких містах Італії вже спостерігалися зливові опади.

З 18 год. циклон вже перейшов до стадії максимального розвитку, в нього з’явився фронт оклюзії і він стан високим баричним утворенням, хоча термічна неоднорідність ще спостерігається, більшу частину циклону вже займає холодне повітря.

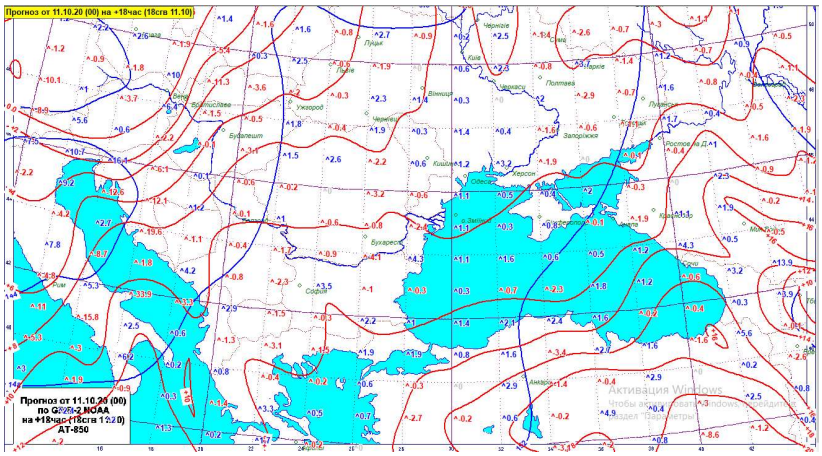


Рис.4.4 - Прогностична карта АТ-850 за 11.10.2010 р. 18 СГЧ

12.10.2020 р. в тил циклону заходить нова гілка атмосферного фронту (холодна). Така ситуація є сприятливою для початку регенерації баричного утворення (рис. 3.5). В Римі відмічаються зливові опади з грозами.

Поле фронтального параметру (рис.4.5 б) показало осередки максимальних значень (Ψ=30) які відповідають на приземній карті фронту оклюзії та невеликій ділянці теплого фронту.

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

З 13.10.2020 р. центр циклону перемістився на території Албанії та Сербії (рис. 4.6), тиск в центрі складає вже 1005 гПа.

а) *б*)

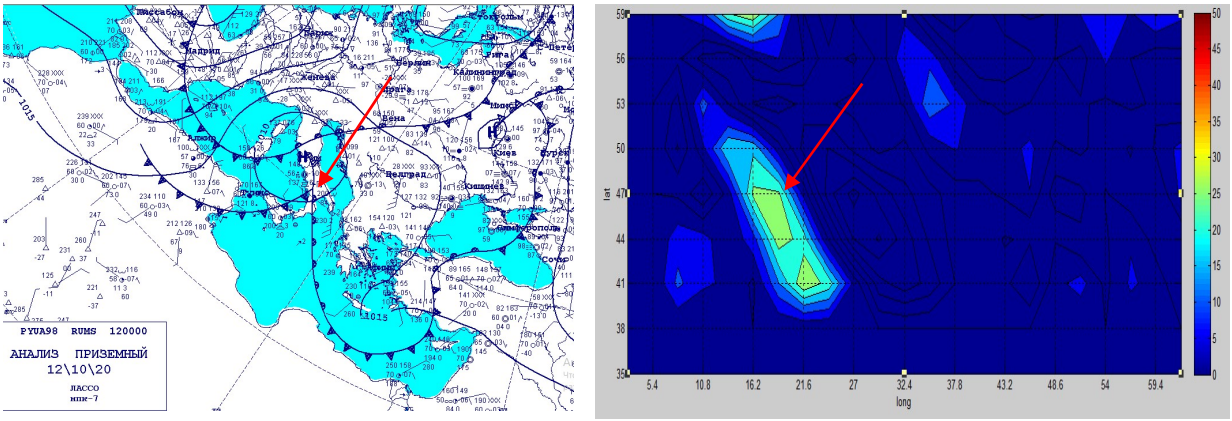


Рис.4.5 – Карта приземного аналізу а) та поле фронтального параметру Ψ за 12.10.2020 р. 00 СГЧ

а) *б*)

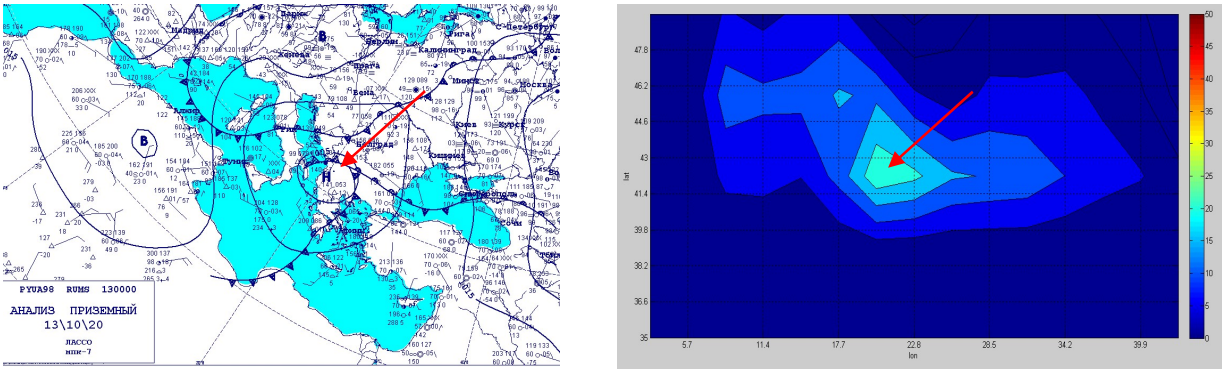


Рис. 4.6 - Карта приземного аналізу а) та поле фронтального параметру Ψ за 13.10.2020 р.

Опади над Італією припинилися, хоча вона знаходилася під впливом іншої фронтальної системи (той, що призведе до регенерації південного циклону), в той час як над Албанією та Сербією спостерігалися (рис.3.7).

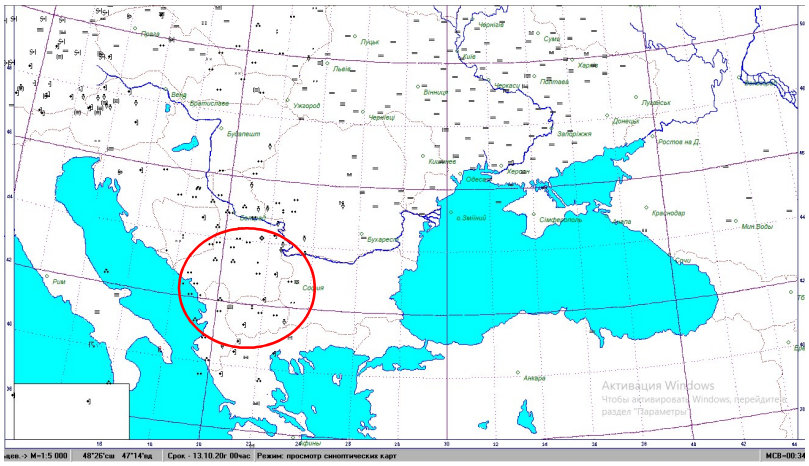


Рис. 4.7 - Карта фактичної погоди за 13.10.2020 р. 09 год. СГЧ

Як бачимо із рис.4.6, фронтальний параметр зменшився до 20, але на можливість генерації опадів як зливового характеру так і облогового це не вплинуло.

14.10.2020 р. циклон змістився на західні території України (рис.4.8 а), центр розташовується над Польщею, тиск в центрі продовжує падати і вже складає 1001 гПа. Над зазначеними територіями відмічалися опади (зливові) пов’язані з фронтами. Слід зазначити, шо в циклоні вже спостерігаються дві фронтальні гілки і обидві оклюдовані.

Максимальні значення фронтального параметру (рис.4.8 б) залишаються незмінними і складають Ψ=30 вже можна побачити два осередка максимальних значень і обидва пов’язані з лініями фронту позначено на рисунках відповідними стрілками).

15.10.2020 р. циклон не змінив свого положення, але значно зменшився в горизонтальних розмірах і тик в центрі зріс на 9 гПа та склав 1010 гПа. Опади над територіями його розташування припинилися, але в межах циклону (в його тилу) відмічаються тумани та димки.

а) *б*)

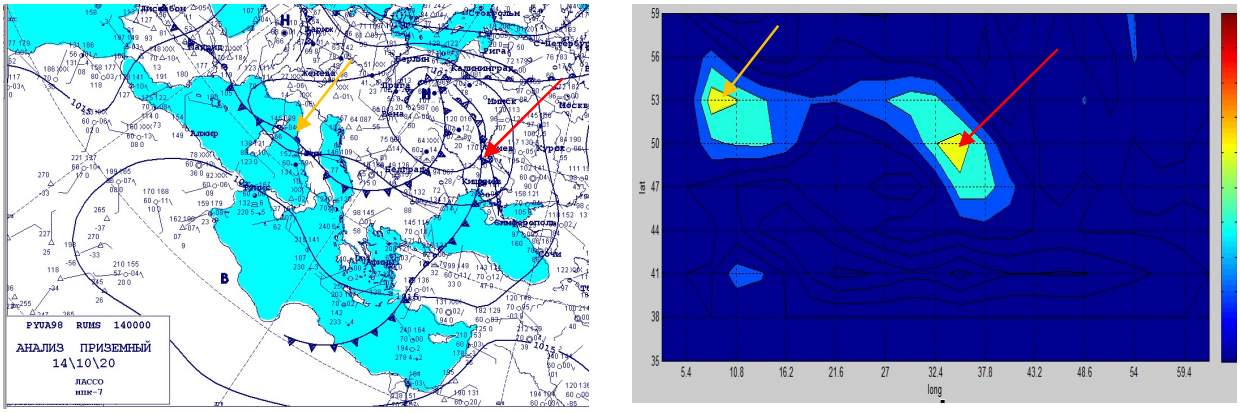


Рис. 4.8 - Карта приземного аналізу а) та поле фронтального параметру Ψ за 14.10.2020 р.

а) *б*)

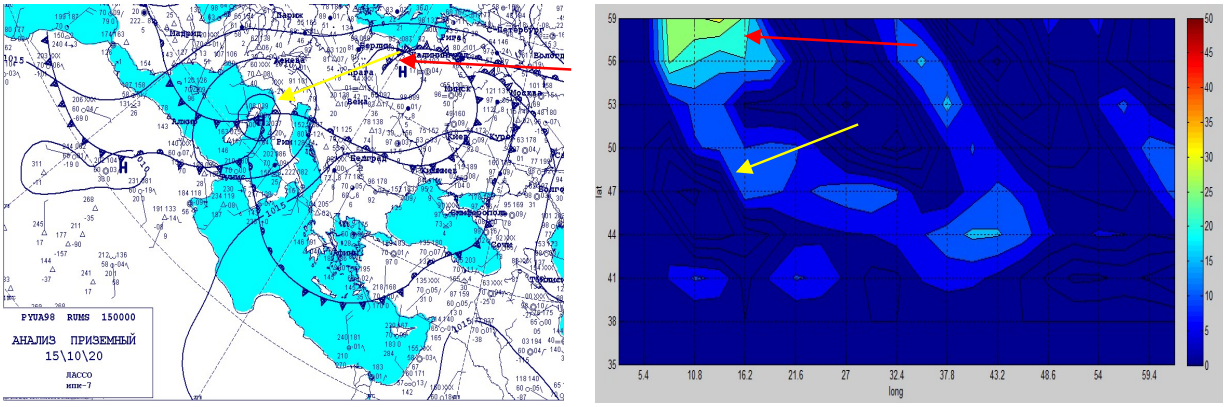


Рис. 4.9 - Карта приземного аналізу а) та поле фронтального параметру Ψ за 15.10.2020 р.

Як видно із рис.4.9, максимальні значення фронтального параметру відповідають фронту оклюзії циклону, що перемістився на територію України та Польщі з півдня. Але, слід звернути увагу на схожий циркуляційний процес в цй же день над Італією. Можна чітко побачити вже сформований південний циклон з оклюдованою однією гілкою фронту та холодною гілкою іншого атмосферного фронту в тилу, що також свідчить про можливість регенерації

цього циклону. Як видно із рис.4.10, опади над Італією спостерігалися з 6 год і також приймали зливовий характер, відмічалися окремі грози, фронтальний параметр, при цьому (рис.4.9 б) показав досить низькі значення (близько 15) над цією територією (жовта стрілка).

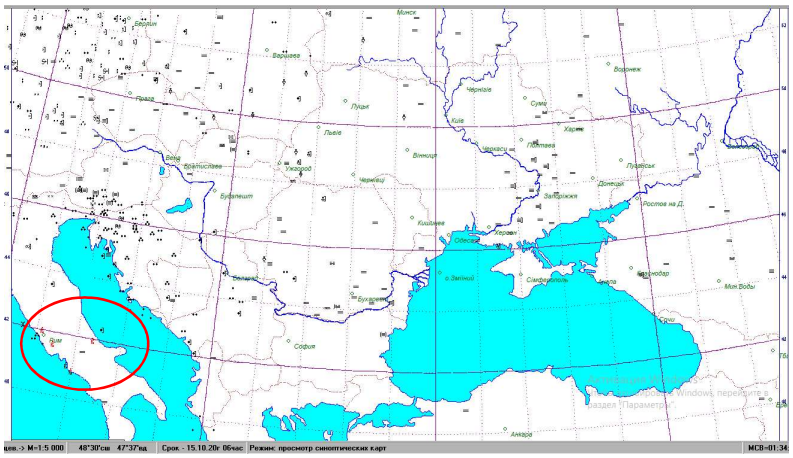


Рис. 4.10 - Карта фактичної погоди за 15.10.2020 р. 06 год. СГЧ

Таким чином, для можливості утворення зливових опадів та гроз достатньо того, щоб фронтальний параметр мав значення від 15. При цьому, якщо його значення будуть досягати 30, така фронтальна система буде досить довго активною (загостреною) та впродовж тривалого часу давати опади конвективного характеру.

Аналіз південного циклону за період 25.09.20 - 01.10.20 показав, що це баричне утворення високе. Про це свідчить наявність замкненого центру до рівня АТ-500.

25 вересня він розповсюджувався над всією територією Балкан, але його центр спостерігався над Чехією, де тиск складав 994 гПа. Циклон окреслений двома замкненими ізобарами. В його центрі також спостерігається фронт оклюзії, на основі чого робимо висновок, що цей циклон досяг максимального розвитку.

а) б)

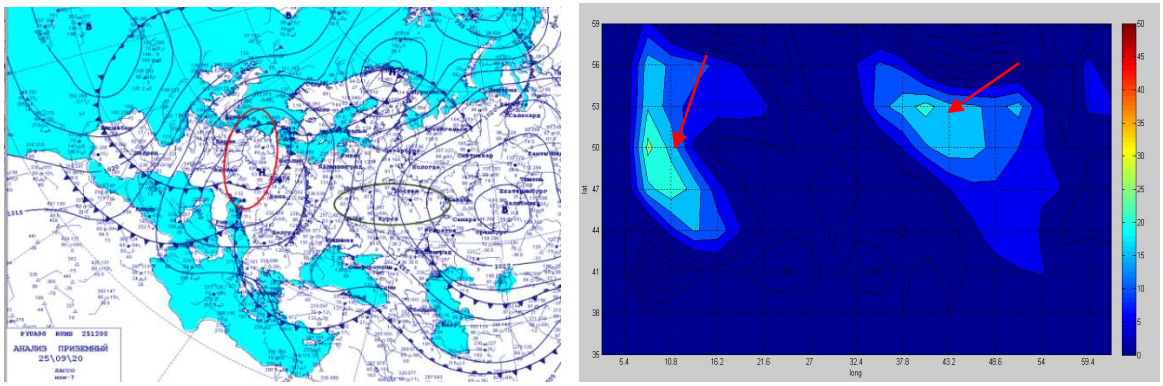


Рис. 4.11 - Карта приземного аналізу а) та б) поле фронтального параметру Ψ за 25.09.2020 р.

Поле фронтального параметру показує осередок, який відповідає центру циклону на приземній карті, де значення фронтального параметру дорівнює Ψ=25. При цьому значенні є можливість утворення опадів. В деяких місцях відмічався дощ та конвективна хмарність На західній периферії антициклону також був зафіксований великий осередок зі значеннями Ψ>15.

а) б)

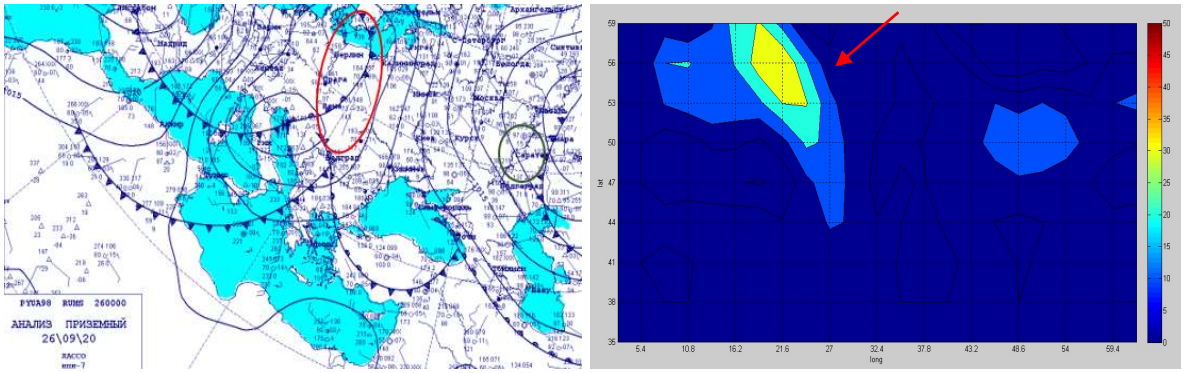


Рис. 4.12 - Карта приземного аналізу а) та б) поле фронтального параметру Ψ за 26.09.2020 р.

На наступну добу циклон поглибився, його центр вже відмічається над Адріатичним морем. Він вже окреслений трьома ізобарами. Тиск у центрі падає, що вказує на те, що він поглиблюється.

а) б)

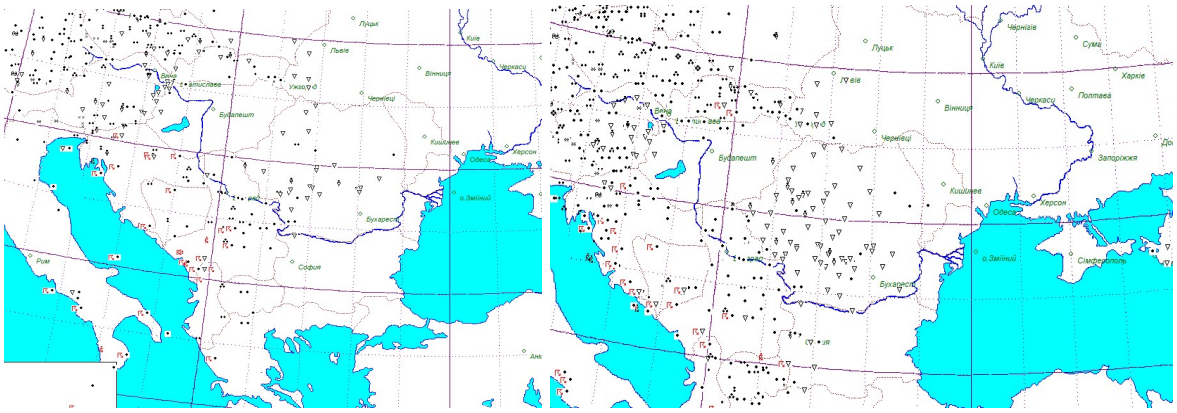


Рис. 4.13 - Карта фактичної погоди за 26.09.2020 р. а) 00 год. СГЧ б) 06 год. СГЧ

а) б)

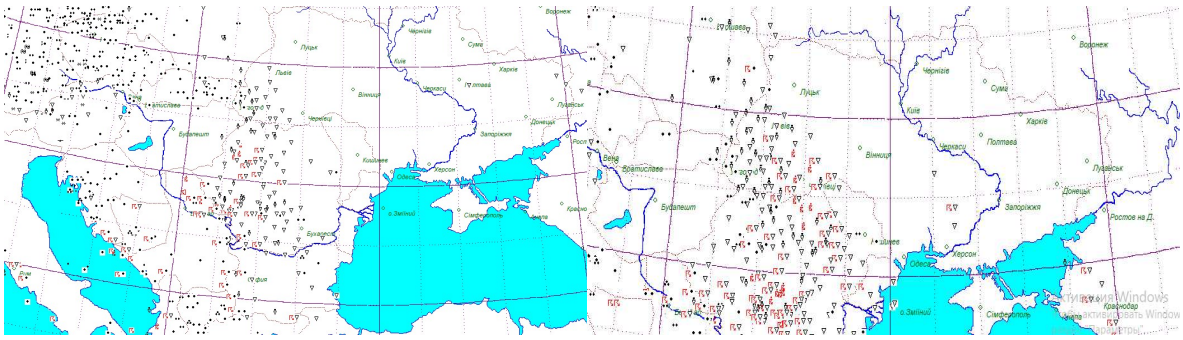


Рис. 4.14 - Карта фактичної погоди за 26.09.2020 р. а) 18 год. СГЧ б) 18 год. СГЧ

Із зазначеним циклоном були пов’язані наступні явища погоди. Над Італією в 00 год. опади практично відсутні, але їх можна спостерігати над центральною Європою. Від 12 до 18 год. вони вже відмічались на території Румунії, та західною Україною. Таким чином можна зазначити, що гілка

холодного фронту не є загостреною, більшість опадів пов’язані з теплим фронтом даного циклону та гілкою холодного фронту за межами даного циклону на півночі (доречі, в даному регіоні також відмічаються досить великі значення фронтального параметру 30)

а) б)

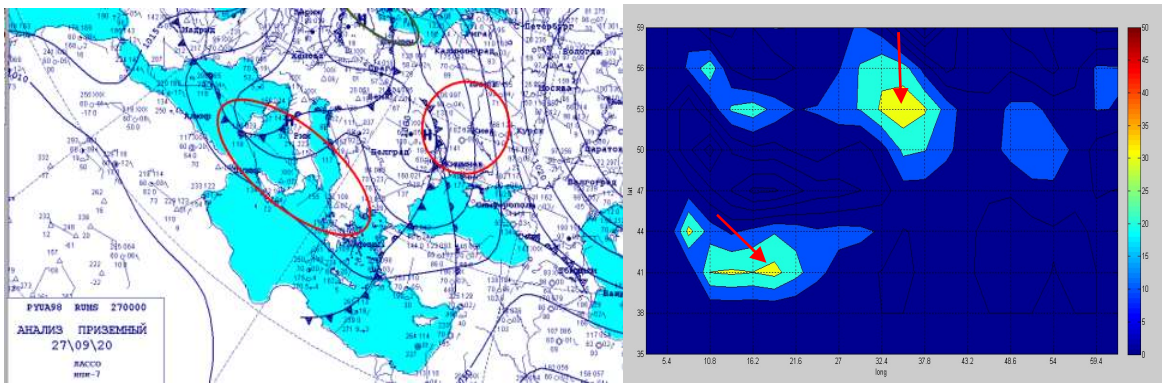


Рис. 4.15 - Карта приземного аналізу а) та б) поле фронтального параметру Ψ за 27.09.2020 р.

27.09.2020 р. циклон досягає території України та приносить на її західні та південно-західні території значні опади які за добу поширюються майже на всю територію. Максимальне значення фронтального параметру співпадає з фронтом оклюзії та досягає також 30.

Ще один максимум значення фронтального параметру відмічається над Тирренським морем на південної периферії циклона, та пов’язаний з гілкою холодного фронту з яким також пов’язані опади зливового характеру (фронтальний параметр також досягає 30). Слід зазначити, що в цій області є умови для формування нового центру зниженого тиску.

а) б)

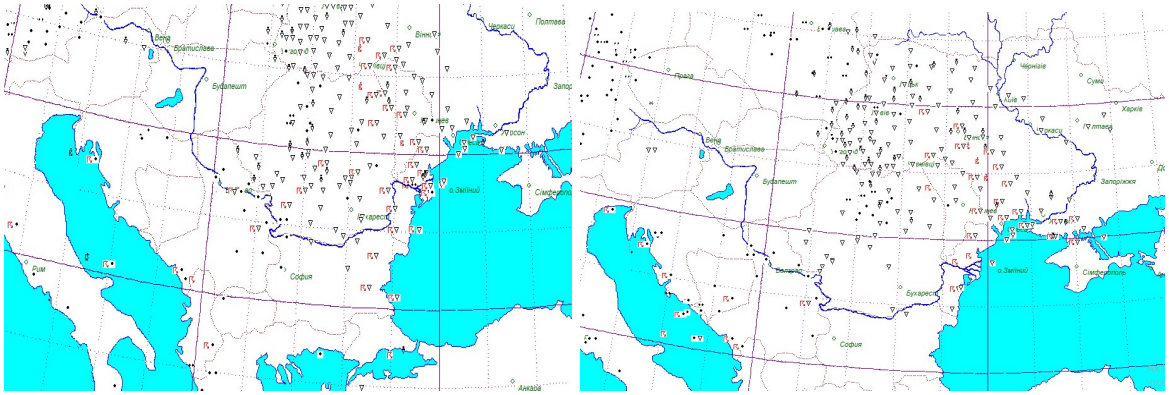


Рис. 4.16 - Карта фактичної погоди за 27.09.2020 р. а) 00 год. СГЧ б) 06 год. СГЧ

а) б)

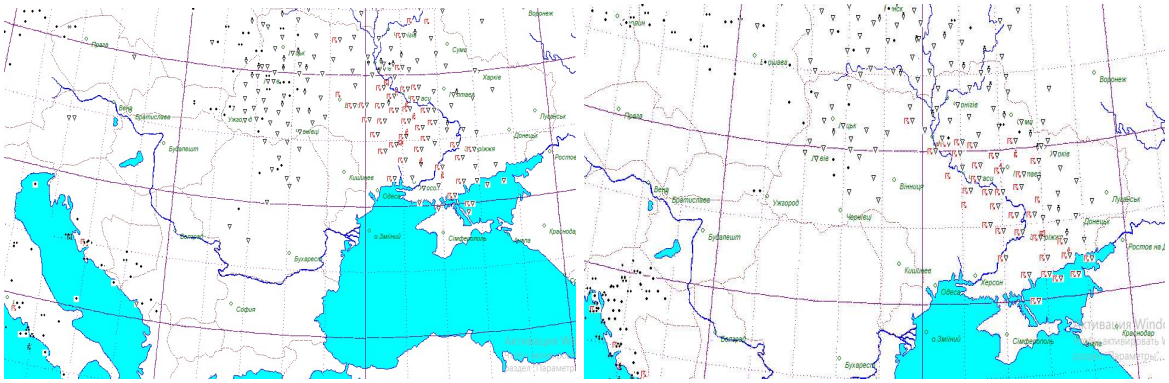


Рис. 4.17 - Карта фактичної погоди за 27.09.2020 р. а) 12 год. СГЧ б) 18 год. СГЧ

28.09.2020 р. територія України знаходиться вже в гребені антициклону. Циклон, що мав вплив на погоду минулої доби вже заповнився. Явищ погоди не відмічається. Проте, над територією Італіїї спостерігається південний циклон в стадії максимального розвитку та з великими значеннями фронтального параметру. Над Адріатичним морем відмічаються зливові опади з грозами.

а) б)

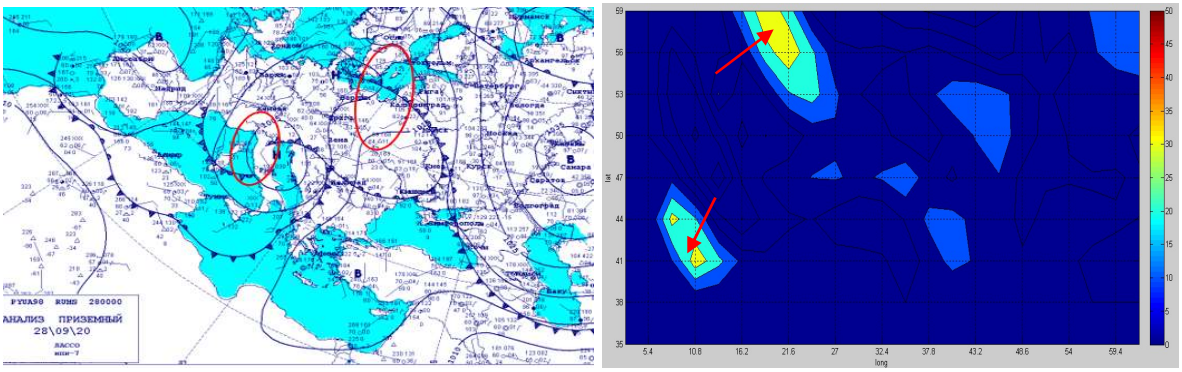


Рис. 4.18 - Карта приземного аналізу а) та б) поле фронтального параметру Ψ за 28.09.2020 р.

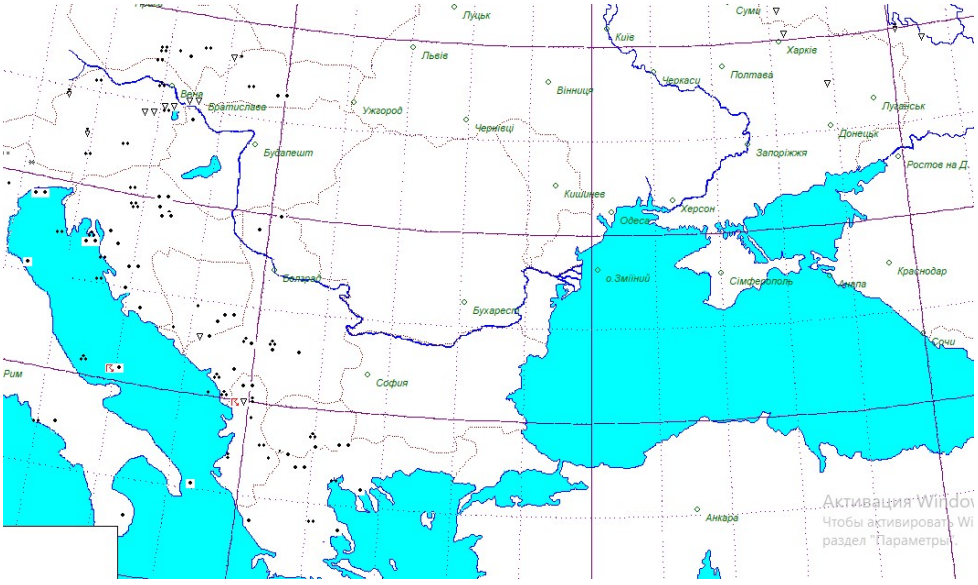


Рис. 4.19 - Карта фактичної погоди за 28.09.2020 р. 03 год. СГЧ

Як можна побачити на карті приземного аналізу, замкнений центр циклону зникає, на його місті спостерігається улоговина з ізобарою 1015 гПа. В її центрі, над Белградом проходить фронт оклюзії. На ОТ-850 також спостерігається улоговина.

Значення фронтального параметру незначно знижується до 25. Осередки знаходяться над північною частиною Європи, Берліном, Калінінградом та

Мінським, а також північчю Росії. Осередок нижче 20 зафіксований над Чорним морем.

а) б)

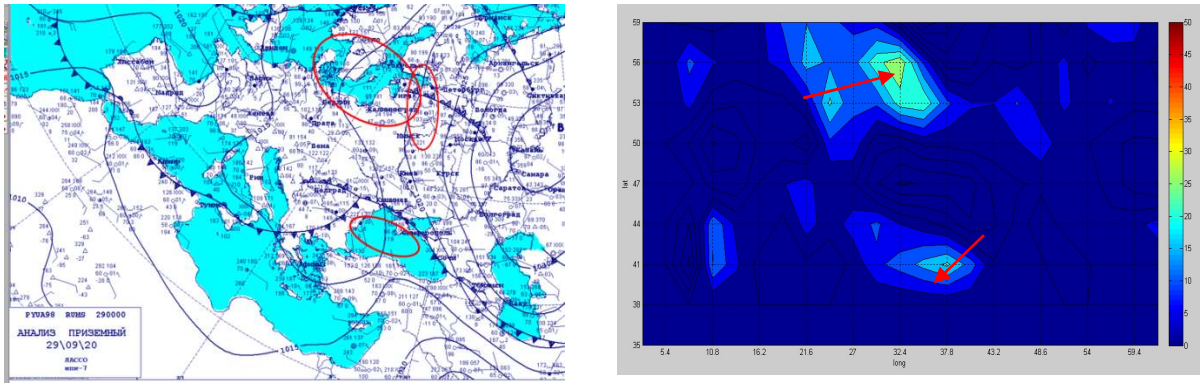


Рис. 4.20 - Карта приземного аналізу а) та б) поле фронтального параметру Ψ за 29.09.2020 р.

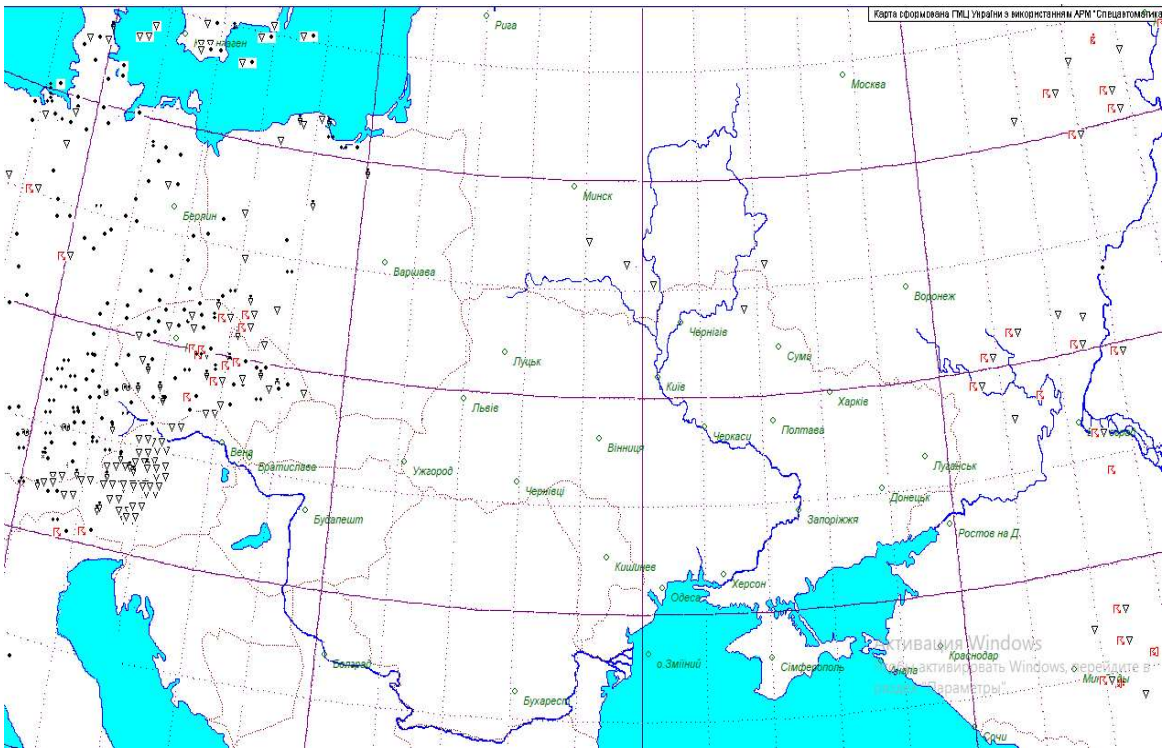


Рис. 4.20 - Карта фактичної погоди за 29.09.2020 р. 00 год. СГЧ

Карта фактичної погоди на 03 год. показує, що зона опадів спостерігалась над середньодунайської низовиною, зокрема над Австрією та Чехією. На цих територіях були облогові опади та мряка, в деяких місцях грози. Також невелика зона с ливнями та грозами відмічалась над ЄТР, і це відповідає області досить високого значення фронтального параметру.

а) б)

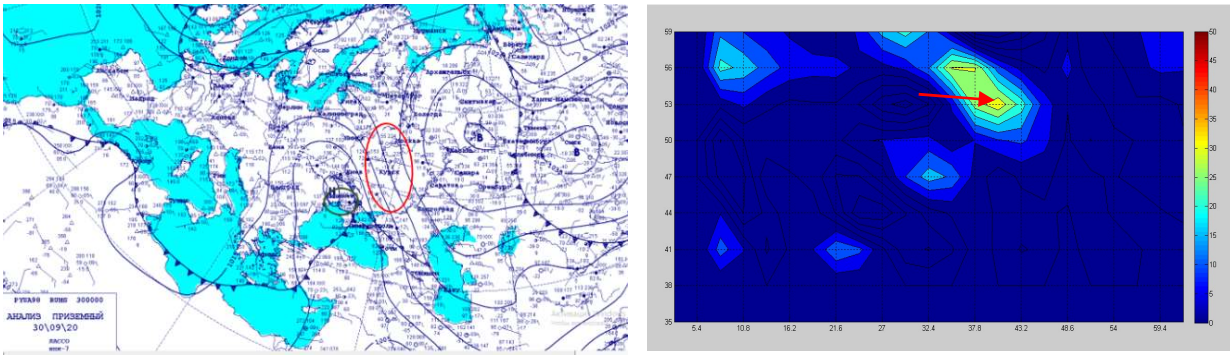


Рис. 4.21 - Карта приземного аналізу а) та б) поле фронтального параметру Ψ за 30.09.2020 р.

З’являється замкнений центр над Кишинівом. Тиск в центрі 1005 гПа, в його центр також надходить фронт оклюзії. Високі значення фронтального параметру (ψ=30) відповідають зоні на приземній карті між циклоном та антициклоном. Та меншому по значенню осередку в центрі циклона. В цій території можна побачити в деяких місцях облогові та мрячні опади, окремо спостерігалась гроза.

Центр циклону зміщується на північ, причому він співпадає з центром на висотах, тому вісь стає квазівертикальной. Це може означати, що південний циклон стає стаціонарним. Осередок фронтального параметру, де значення ψ не перевищує 30 практично не змінює свого положення. Опади фіксуються в деяких місцях, але вони незначні.

а) б)

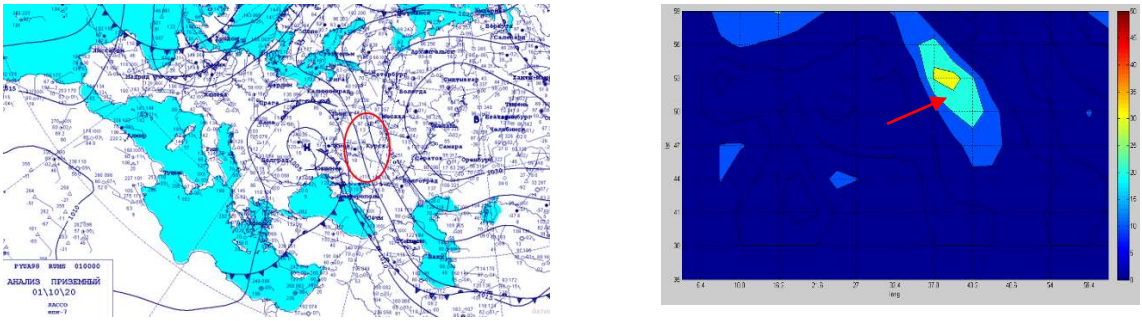
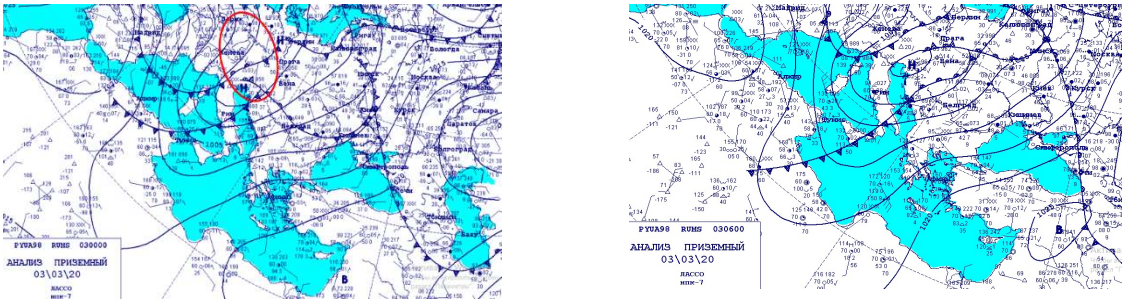
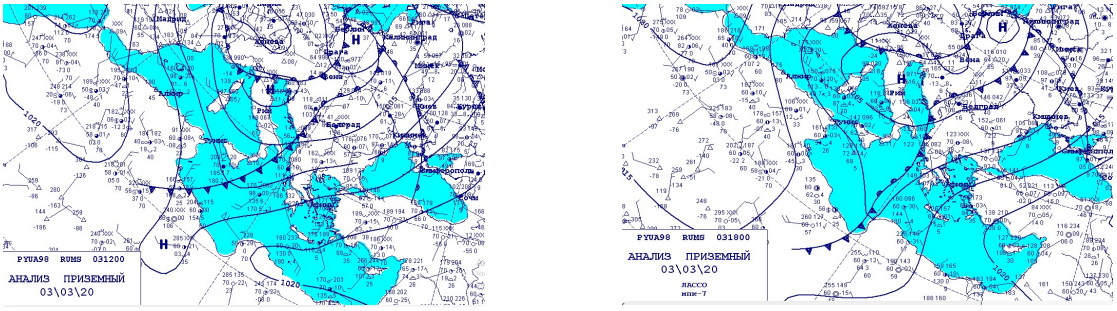


Рис. 4.22 - Карта приземного аналізу а) та б) поле фронтального параметру Ψ за 01.10.2020 р.

а) *б*)



в) *г*)



д)

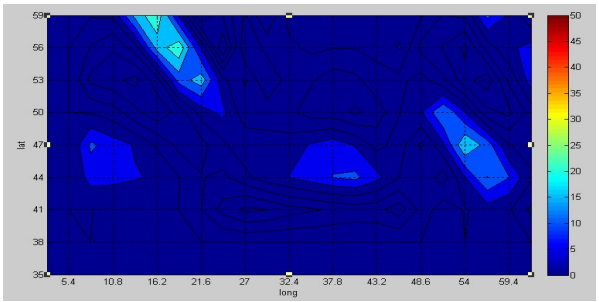
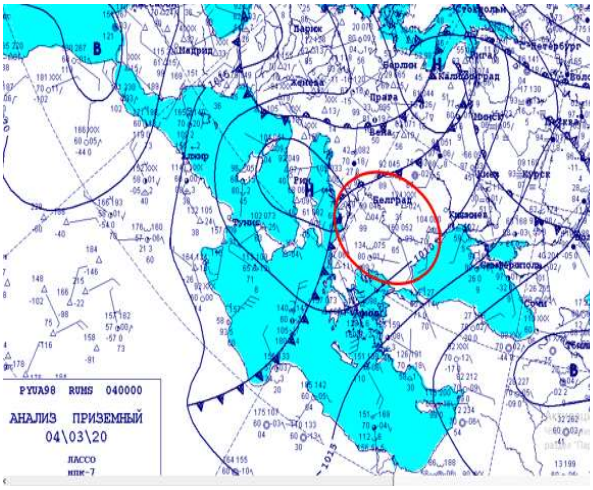


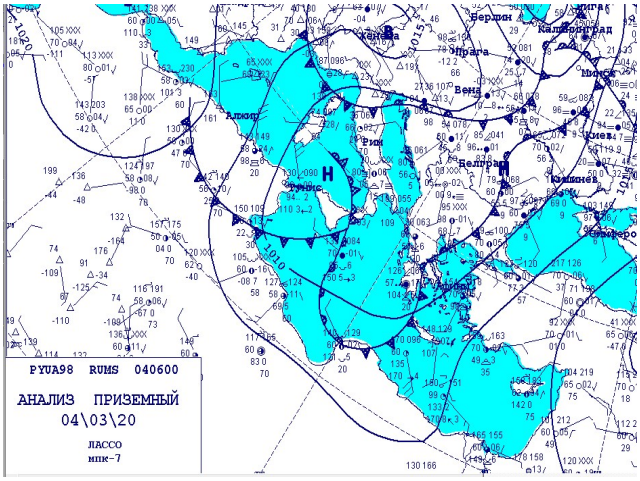
Рис. 4.23 - Карта приземного аналізу а) 00 UTC б) 06 UTC в) 12 UTC г) 18 UTC д) поле фронтального параметру Ψ за 03.03.2020 р.

Даний випадок південного циклону цікавий тим, що він дуже швидко розвився, і виник на хвилі холодного фронту. Тиск в його центрі складав 958 гПа. На його периферію та в центральну частину також надходить фронт оклюзії. У 12 год. центр розділяється на два осередки. Більша частина країни знаходиться під впливом цього баричного утворення. Фронтальний параметр поки не дуже виражений, значення не перевищують 20. Осередок знаходиться приблизно в центрі циклона, де добре розвинена фронтальна система.

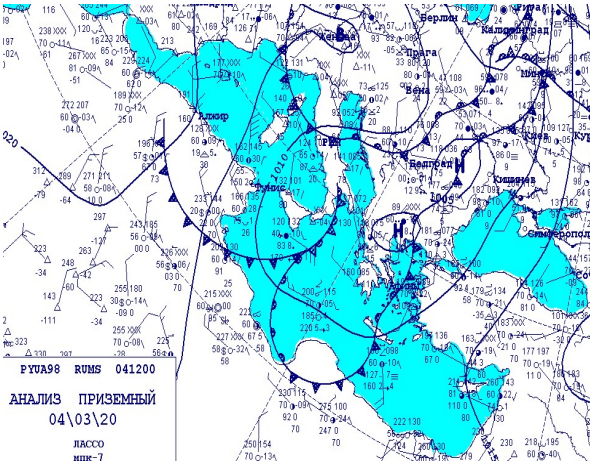
а)



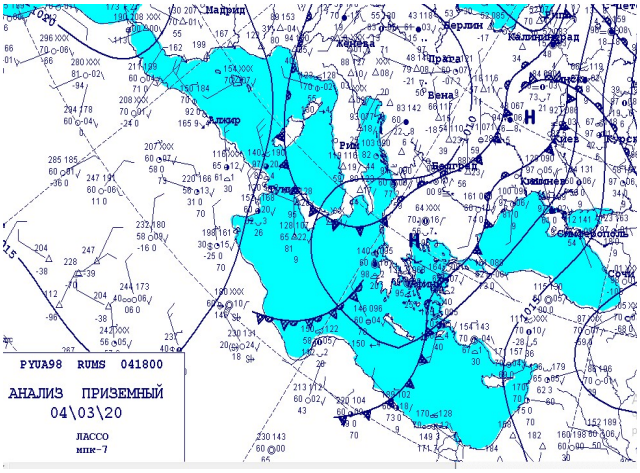
б)



в)



г)



д)

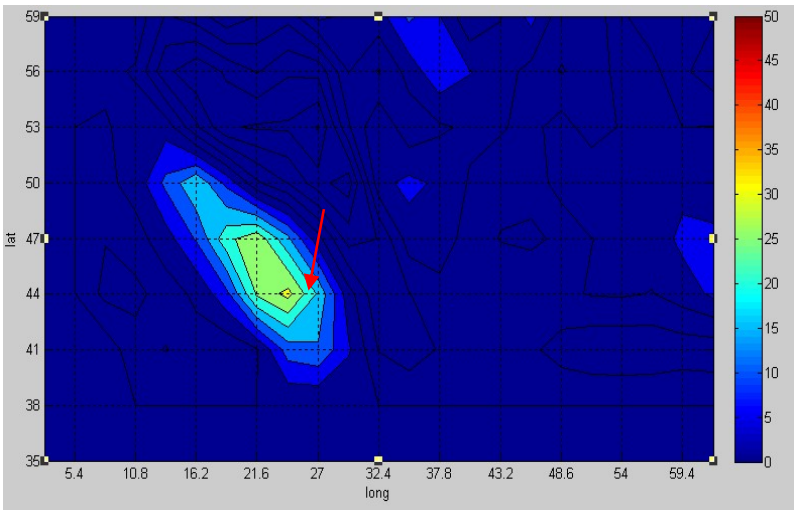


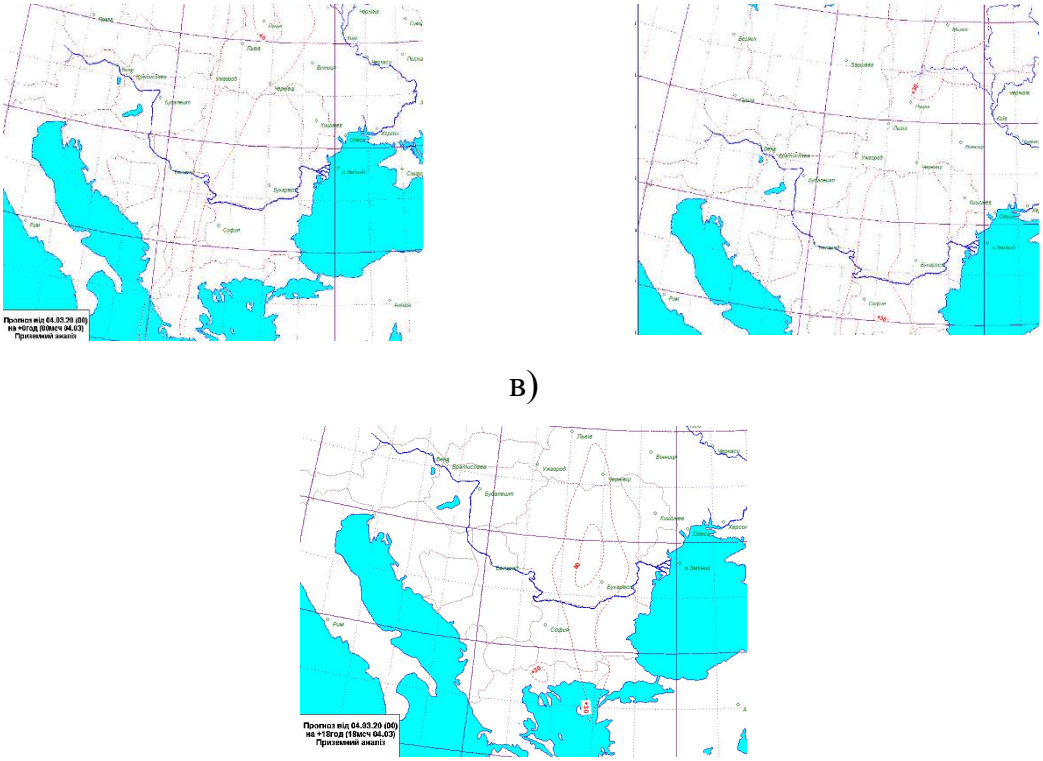
Рис. 4.24 - Карта приземного аналізу а) 00 UTC б) 06 UTC в) 12 UTC г) 18 UTC д) поле фронтального параметру Ψ за 04.03.2020 р.

На наступну добу приземний центр змістився південніше на Італію. В ньому вже одна замкнута ізобара, тиск піднімається, циклон заповнюється. У 18 год. центр знаходиться над Балканським півостровом.

Осередок підвищеного значення фронтального параметру (ψ=30) розташовується в передній частині циклону. В цій області прогнозується висока можливість утворення грози над заходом України, та Румунії. Ці значення засновані на методі прогнозу гроз Уайтінга (для значень більше 20, це дуже сприятливі умови для гроз).

Карти фактичної погоди показують, що облогові та мрячні опади ще не дуже інтенсивні, але к 15 годині вони посилюються, охоплюючи більшість західної частини Україні, Румунії, Болгарії, Сербії. Атмосферний фронт, згідно рис. 4.24 *г* вже перетинає територію України (її центральні райони), та досі є достатньо загостреним щоб опади не припинялися ще деякий час над територіями, над якими він проходить.

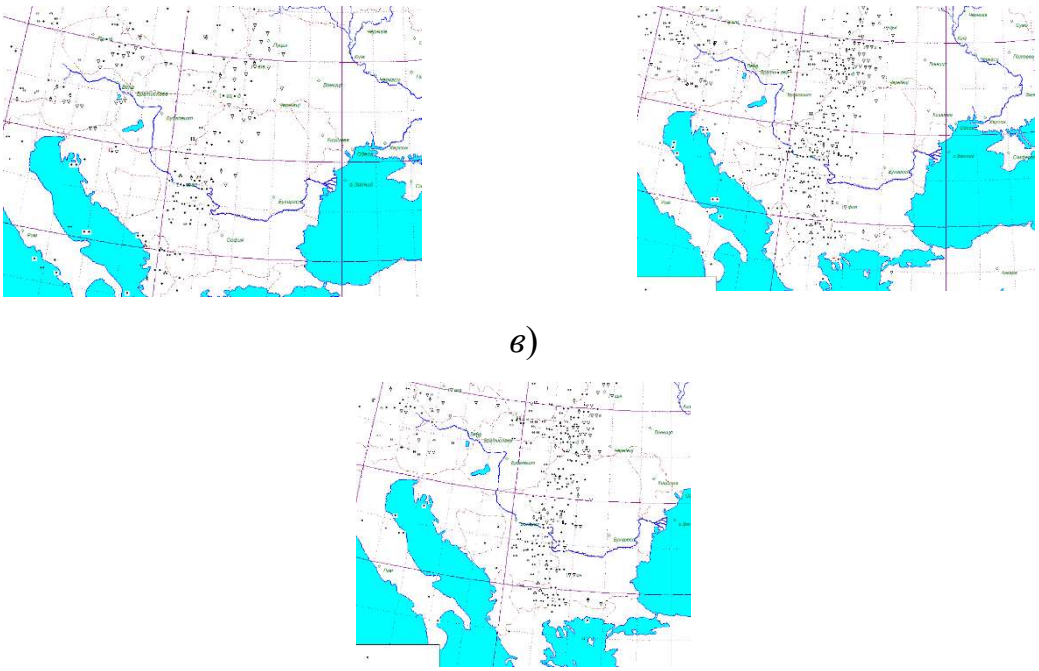
а) б)



в)

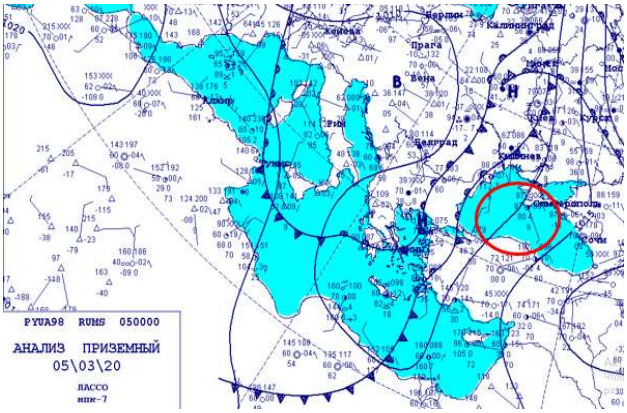
Рис. 4.25 – Прогноз гроз від 04.03.20 на а)00 г. б)12 год. в)18 год.

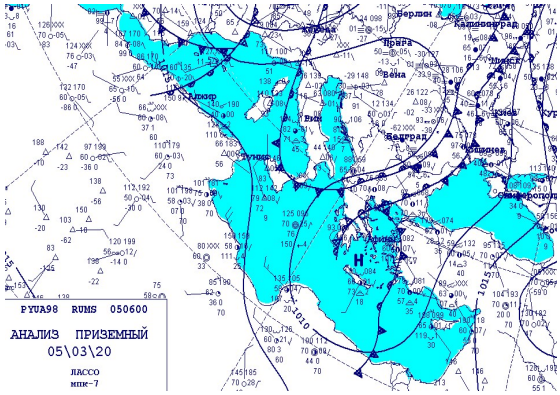
а) *б*)



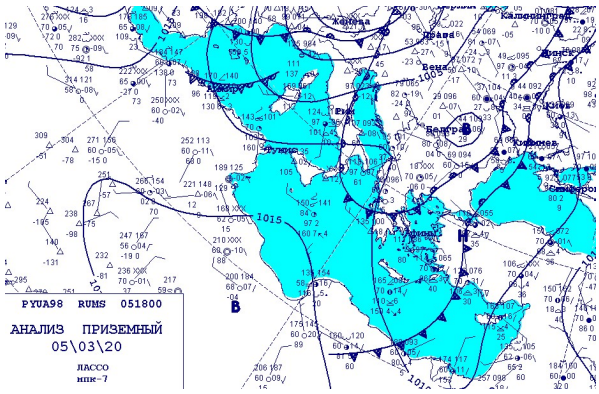
в)

а) б)





в) г)



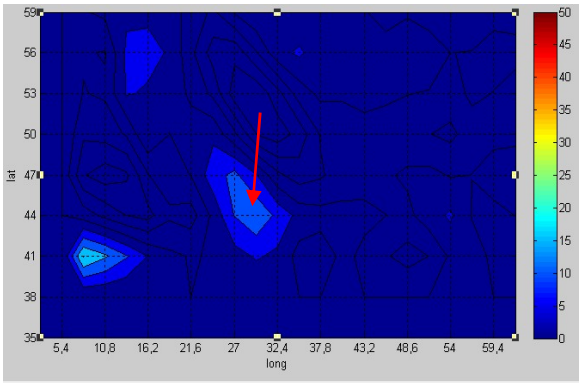


Рис. 4.27 - Карта приземного аналізу а) 00 UTC б) 06 UTC в) 18 UTC г) поле фронтального параметру Ψ за 05.03.2020 р.

Циклон переходить в заключну стадію, зникає замкнений центр, на його місті залишається барична улоговина, яка зміщується на Малу Азію. Значення фронтального параметру не виражене, і це пов’язане зі слабшанням потужності циклону.

ВИСНОВКИ

Таким чином, із проведеного дослідження можна зробити наступні висновки:

- Із загального числа південних циклонів за період з 2017-2020 рр., над територією України спостерігались 64. Причому, переважно вони розповсюджувались з території Італії, район Адріатичного моря та з Малої Азії.
- Менш за всього або взагалі не спостерігаються південні циклоні з району Егейського моря.
- Фронтальний параметр дозволяє виділяти невеликі, але найбільш інтенсивні фронтальні зони, в яких частота випадків випадання опадів висока. Так, відмітили, що при Ψ>20 є можливість утворення зливових опадів. При значеннях параметру Ψ>30 – грози.
- Використання фронтального параметру в синоптичній практиці, як допоміжного засобу при складанні прогнозів опадів поблизу фронтальної системи є доцільним, до того ж із проведеної роботи можна побачити, що він достатньо добре узгоджується з фактичними даними як про опади так і про загострені ділянки атмосферних фронтів.
- При значеннях фронтального параметру більше 25, фронтальна система може бути загостреною впродовж всього існування циклону і навіть на його останній стадії розвитку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология: [уч] / В.И. Воробьев. – Л: Гидрометеоиздат,1991. – 616 с.

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

3. Шакина Н.П., Скриптунова Е.Н., Иванова А.Р. Прогностическая значимость динамических факторов генерации осадков // Метеорология и гидрология, 2008.—Вып. № 5. — С. 31 - 44.

4. Шакина Н.П., Скриптунова Е.Н.. Иванова А.Р. Прогностическая значимость динамических факторов генерации осадков // Метеорология и гидрология. 2008. № 4. С. 5–18.

5. Шметер С.М. Термодинамика и физика конвективных облаков. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 267 с.

6. https://rp5.ua/

7. Современные представления об атмосферном фронтогенезе. II. Некоторые результаты расчетов по реальным данным. Н. П. Шакина, А. Р. Иванова, Н. И. Комасько

8. Browning K.A., Harrold T.W. Air motion and precipitation growth in a wave depression // Q. J. Roy. Met. Soc. 1969. V. 95. No. 404. P. 288–309.

9. Browning K.A., Hardman M.E., Harrold T.W., Pardoe C.W. The structure of rainbands within a midlatitude depression // Q. J. Roy. Met. Soc. 1973. V. 99. P.215–312.

10. Carlson T.N. Midlatitude weather systems. London: HarperCollins Academic, 1991. 507 c. Charney J.G. The dynamics of long waves in a baroclinic westerly current // J. Meteorol. 1947. V. 4. No. 5. P. 135–162.

11. Clarke L., Renard R.L. The US Navy numerical frontal analysis scheme: further development and limited evaluation // J. Appl. Meteorol.. 1966. V.

5, P. 764–777. Eady E.T. Long waves and cyclone waves // Tellus. 1949. V. 1. No. 3. P. 35–52.

12. liassen A. On the vertical circulation in frontal zones // Geofys. Publ. 1962. V. 24. No. 4. P. 147– 160. Emmanuel K.A. Atmospheric convection. Oxford Univ. Press, 1994, 580 p.

13. Eliassen A. The formation of fronts in the atmosphere / Atm. and Sea in Motion. B. Bolin, Ed. Rockefeller Inst. Press, 1959. P. 277–287.

14. Benard H. Les tourbillons cellulaires dans une nappe liquid // Rev. Gen. Sci. Pures et Appl. 1900. V. 11. P. 1261–1328.

15. Blumen W. A comparison between the Hoskins-Bretherton model of frontogenesis and the analysis of an intense surface frontal zone // J. Atmos. Sci. 1980. V. 37. No. 1. P. 64–77.

16. Browning K.A. Mesoscale structure of rain systems in the British Isles // J. Met. Soc. Japan. 1974. V. 52. No. 3. P. 314–327.

ДОДАТОК А

ДОВІДКА
кафедри метеорології та кліматології
до магістерської роботи
магістра гр. МЗМ-19 Вершиніної Її Валеріївни
на тему:
«Термодинамічний аналіз атмосферних фронтів південних циклонів»

- **Вершиніна І.В.** «Термодинамічний аналіз атмосферних фронтів південних циклонів» Матеріали XIX наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ, 25-29 травня. Одеса: ОДЕКУ. 2020., с. 275.

http://odeku.edu.ua/wp-content/uploads/Materiali-XIX-konferentsiyi-molodih-vchenih-25-29-travnya-2020.pdf

- Тема магістерської роботи виконувалася в рамках кафедральної наукової теми: «Прогнозування небезпечних метеорологічних явищ над південними районами України» (2015-2019 рр., ДР № 0115U006532).

Зав. кафедрою
метеорології та кліматології к.геогр.н., доц. Прокоф'єв О.М.

ДОДАТОК Б

Аеросиноптичний матеріал

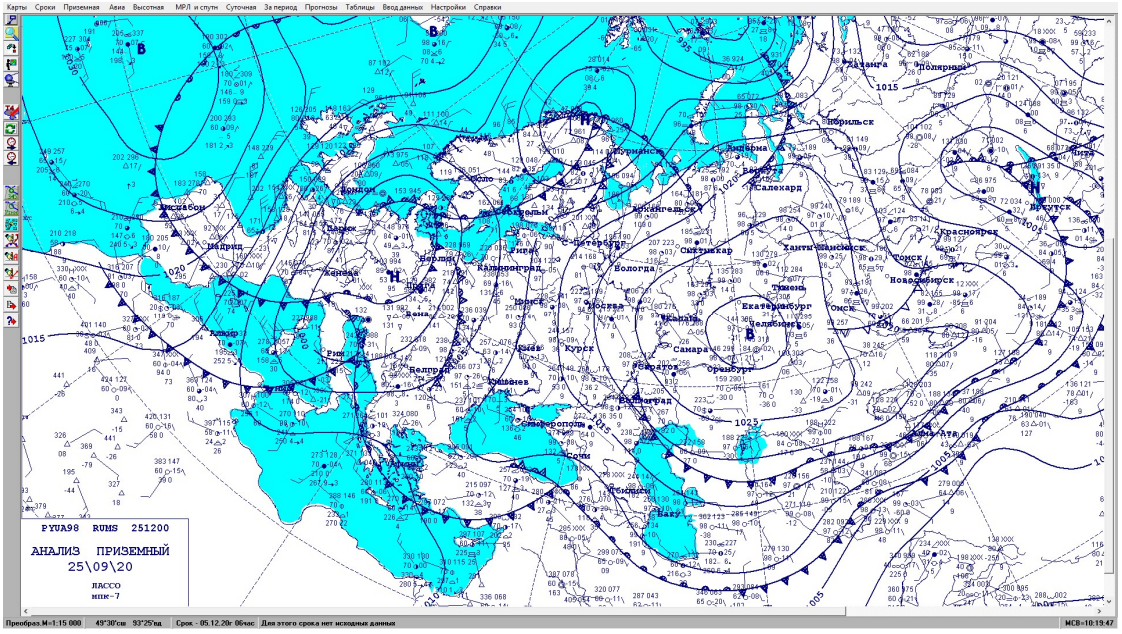


Рис.Б.1 – Карта приземного аналізу за 25.09.2020 р. 12 СГЧ

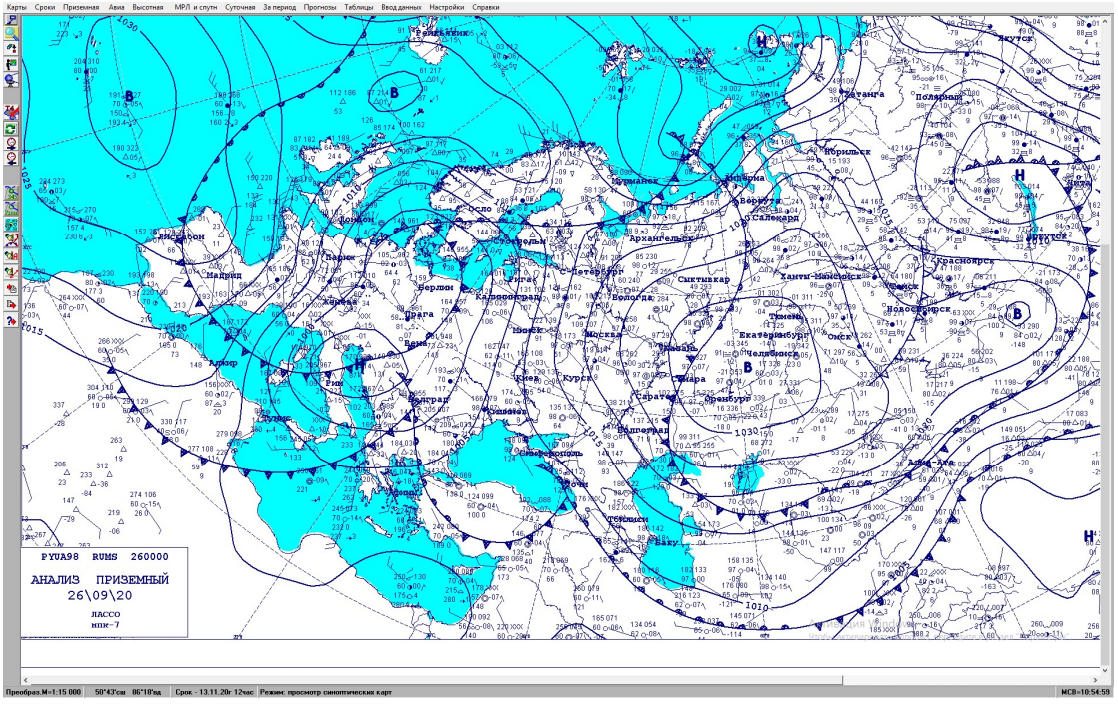


Рис.Б.2 – Карта приземного аналізу за 26.09.2020 р. 00 СГЧ

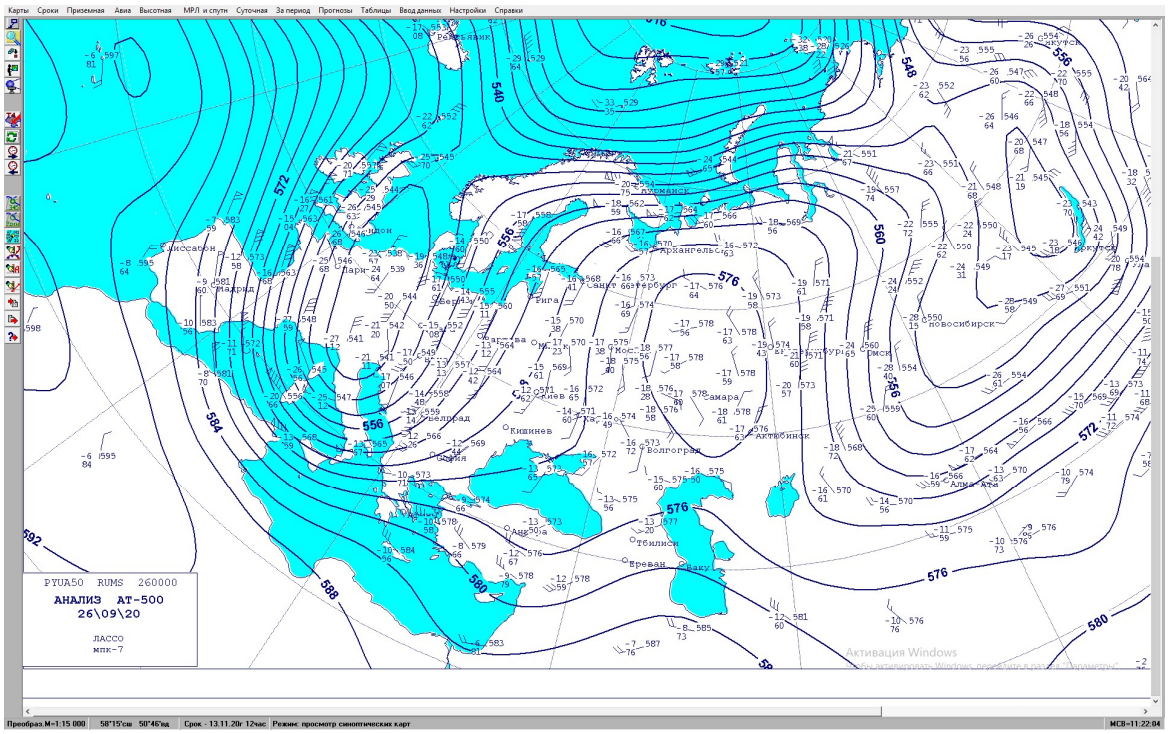


Рис.Б.3 – Карта АТ-500 за 26.09.2020 р. 00 СГЧ

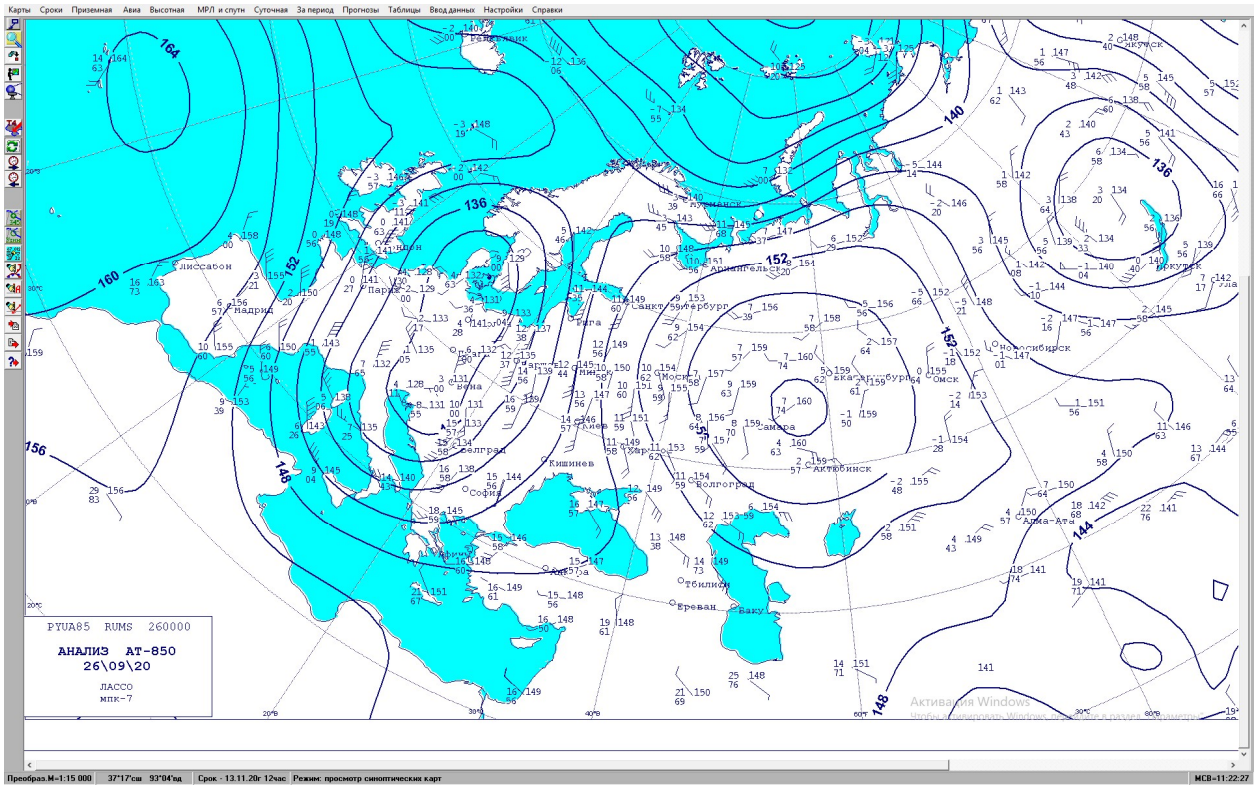


Рис.Б.4 – Карта АТ-850 за 26.09.2020 р. 00 СГЧ

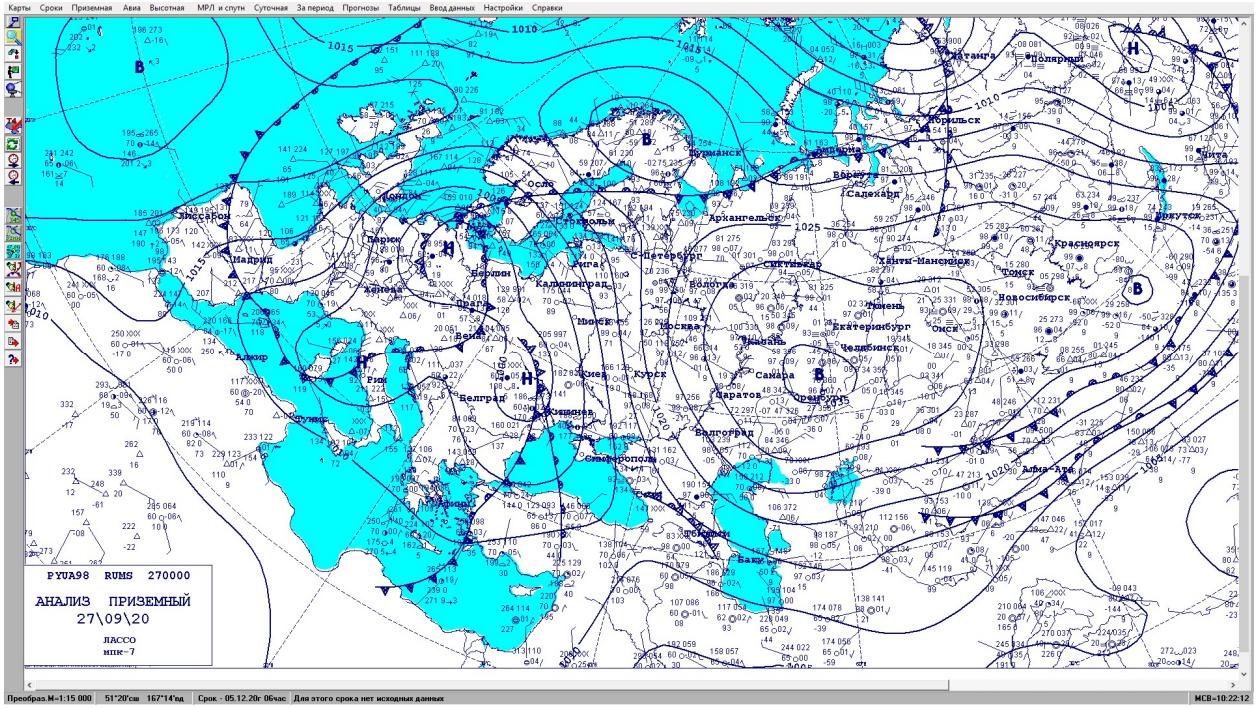


Рис.Б.5 – Карта приземного аналізу за 27.09.2020 р. 00 СГЧ

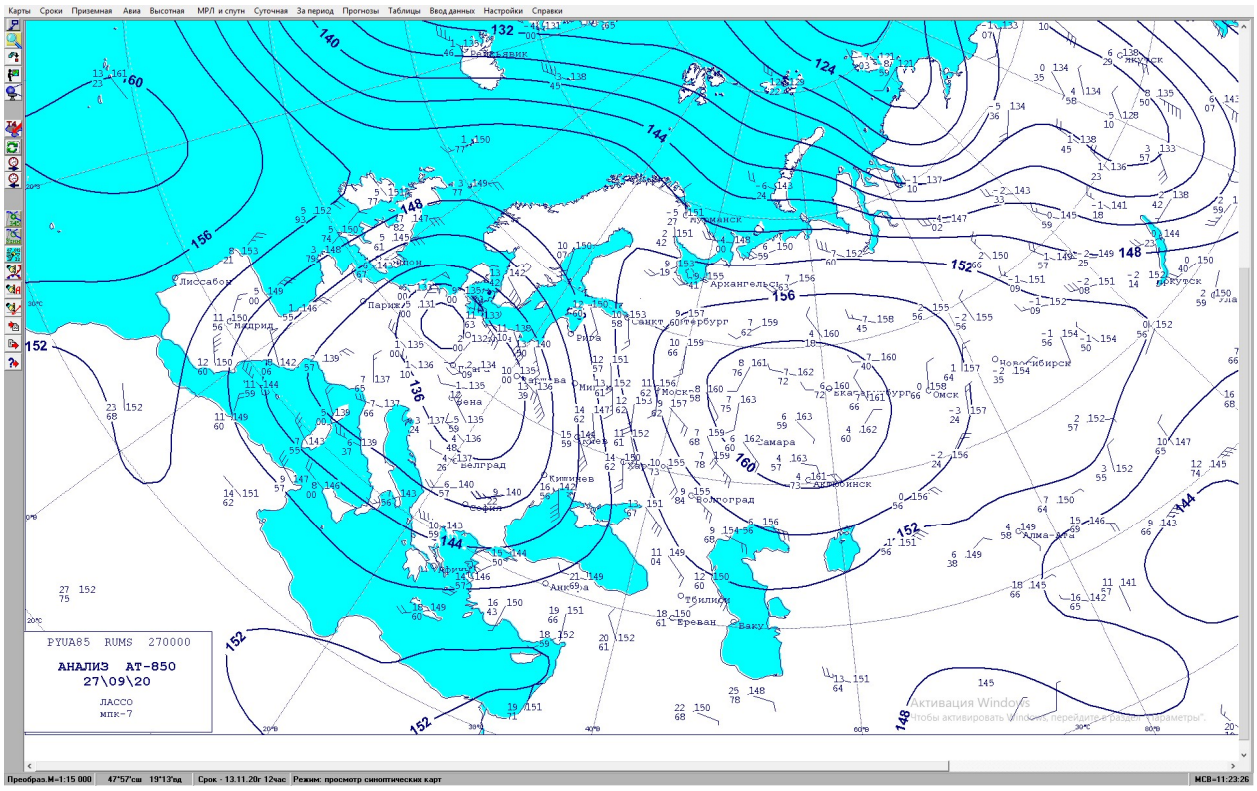


Рис.Б.6 – Карта АТ-850 за 27.09.2020 р. 00 СГЧ

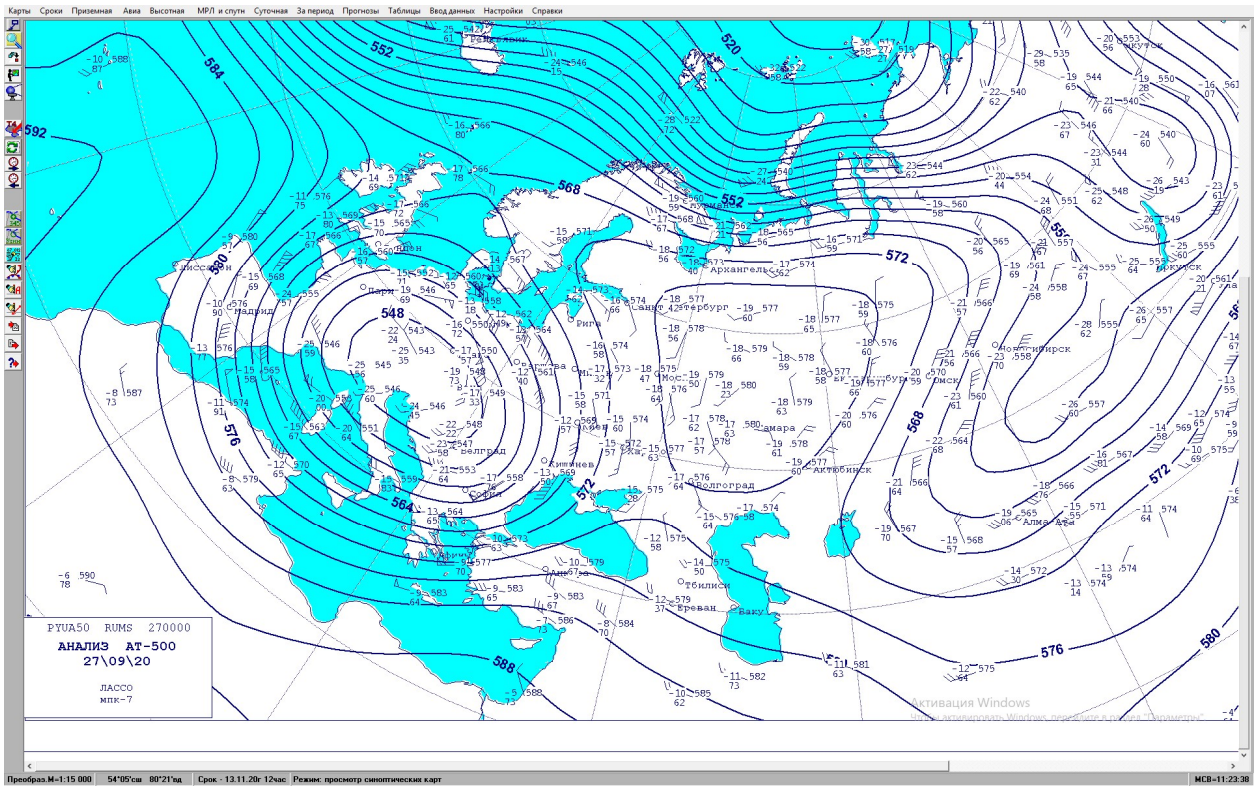


Рис.Б.7 – Карта АТ-500 за 27.09.2020 р. 00 СГЧ

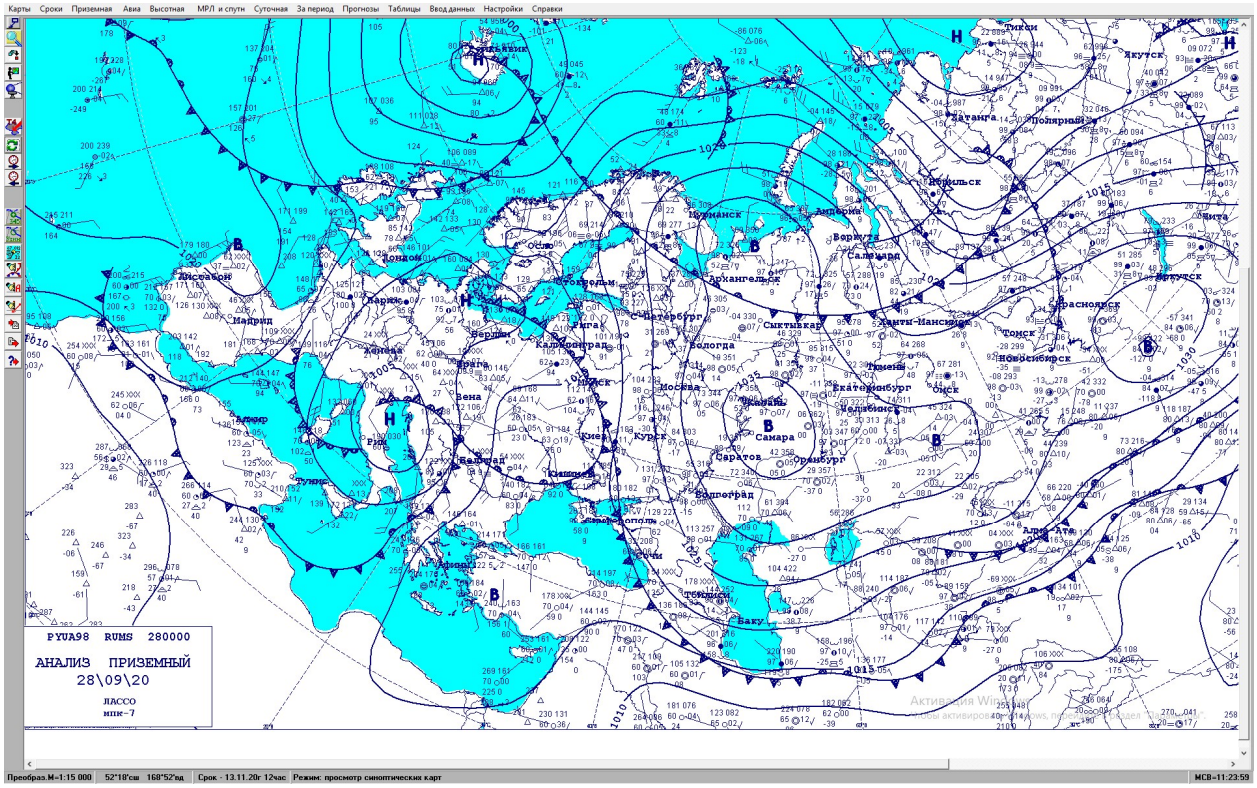


Рис.Б.8 – Карта приземного аналізу за 28.09.2020 р. 00 СГЧ

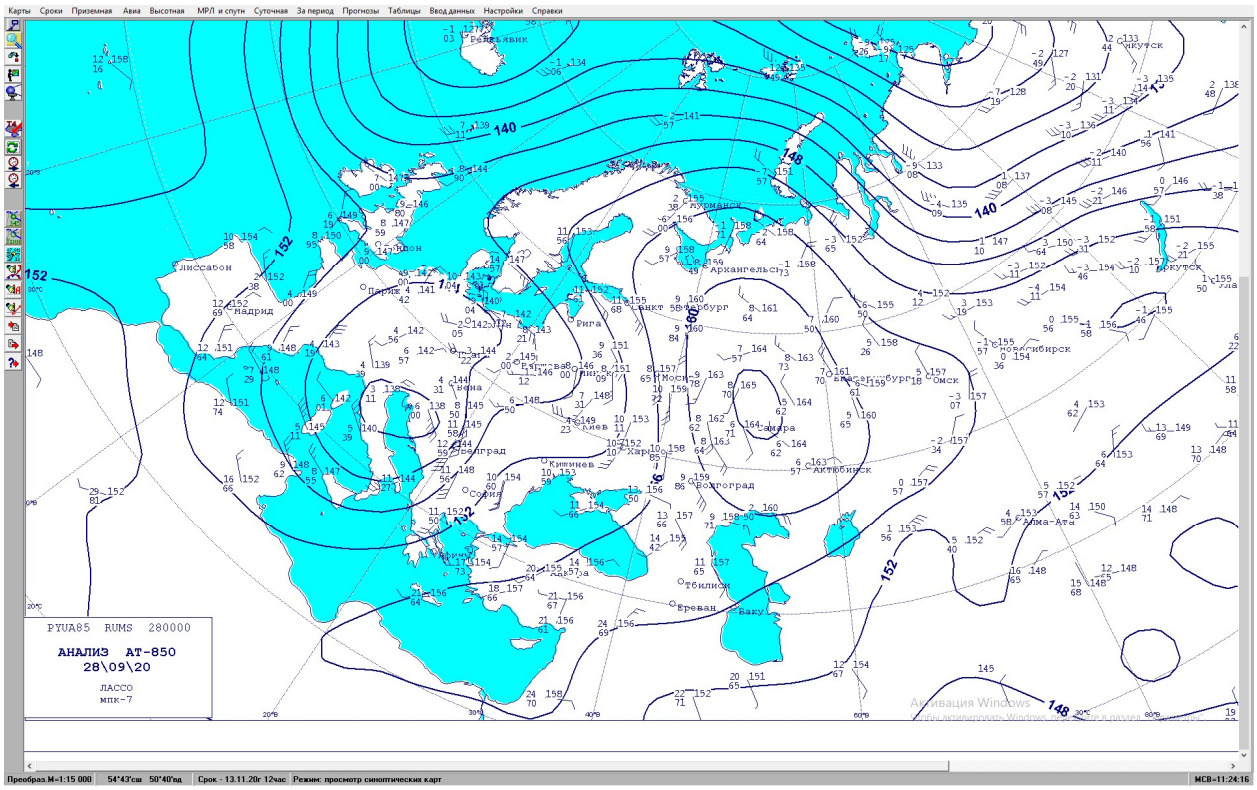


Рис. Б.9 – Карта АТ-850 за 28.09.2020 р. 00 СГЧ

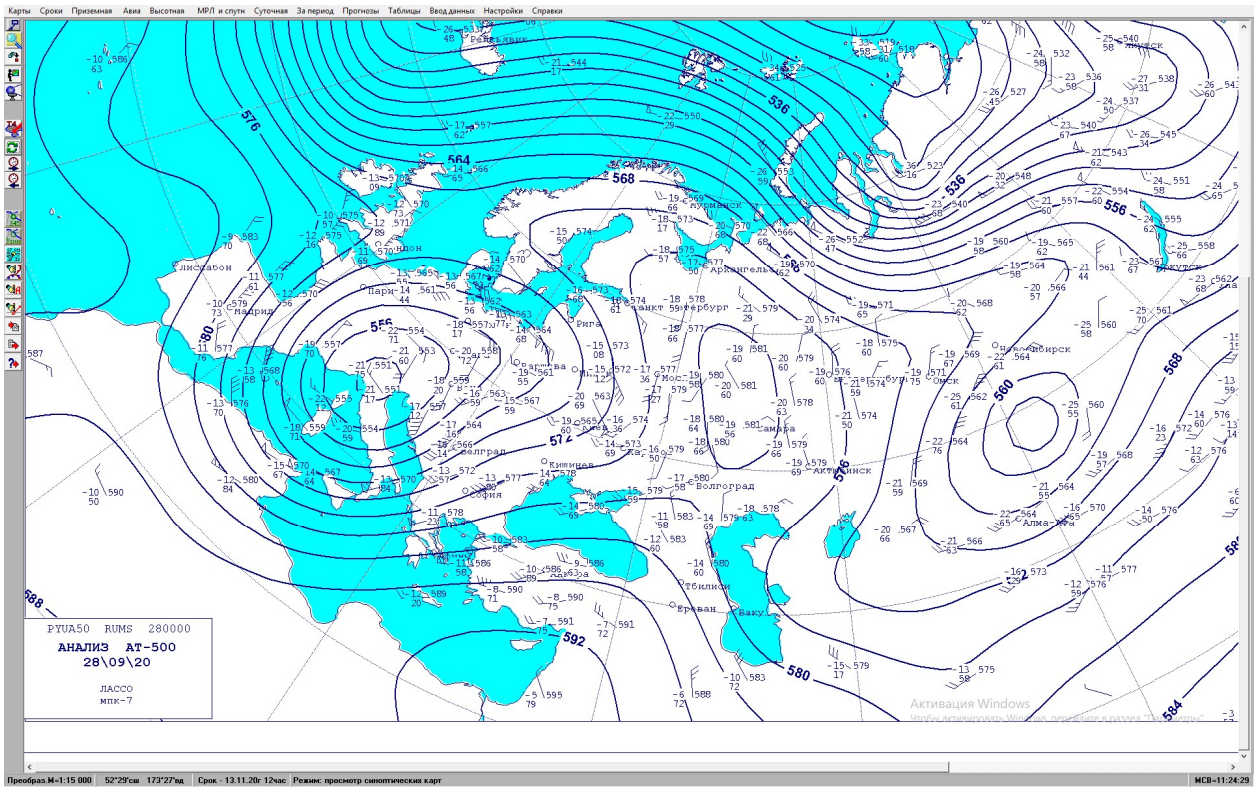


Рис. Б.10 – Карта АТ-500 за 28.09.2020 р. 00 СГЧ

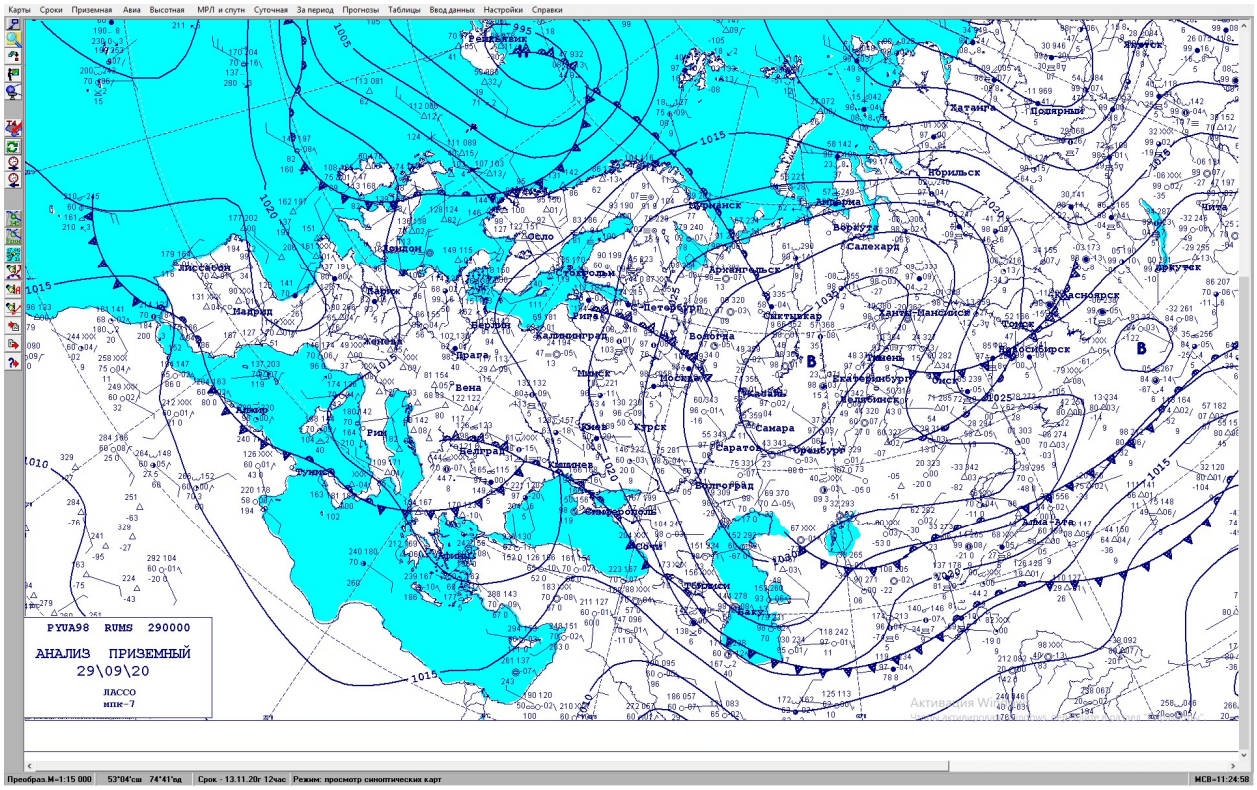


Рис. Б.11 – Карта приземного аналізу за 29.09.2020 р. 00 СГЧ

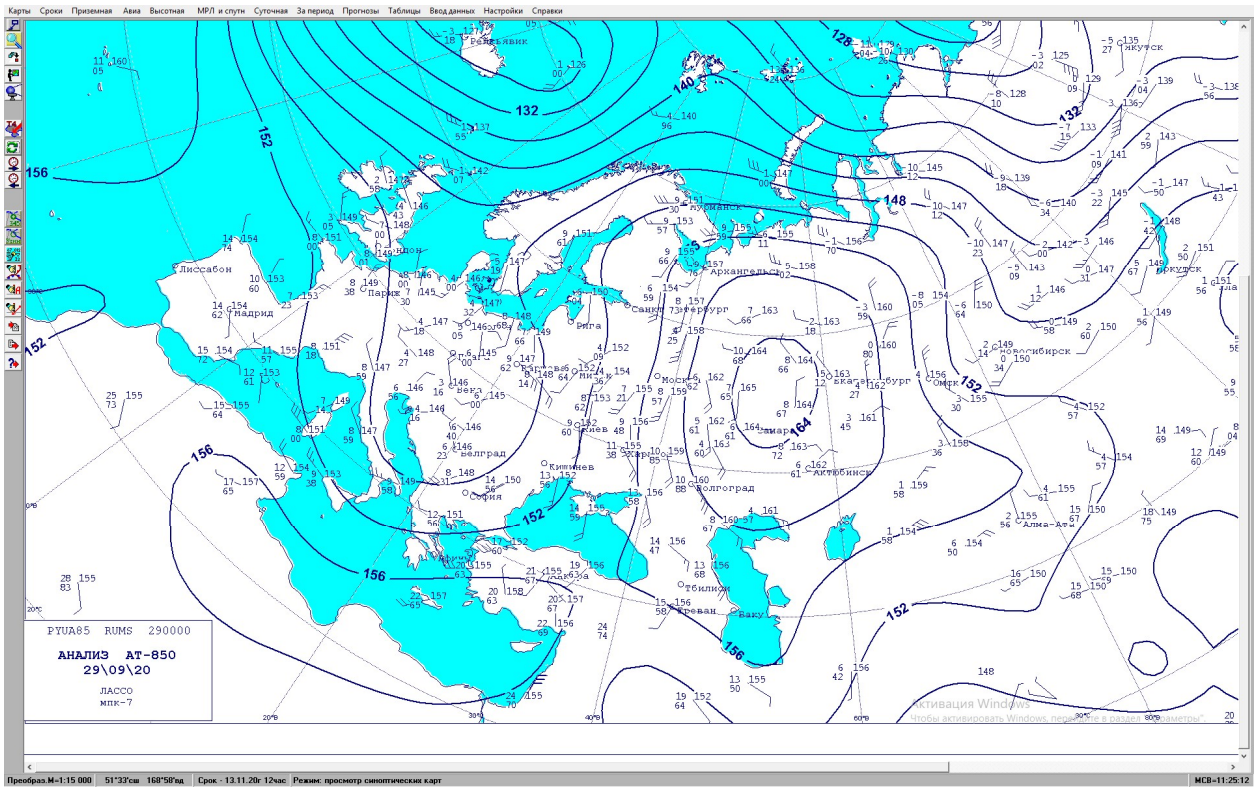


Рис. Б.12 – Карта АТ-850 за 29.09.2020 р. 00 СГЧ

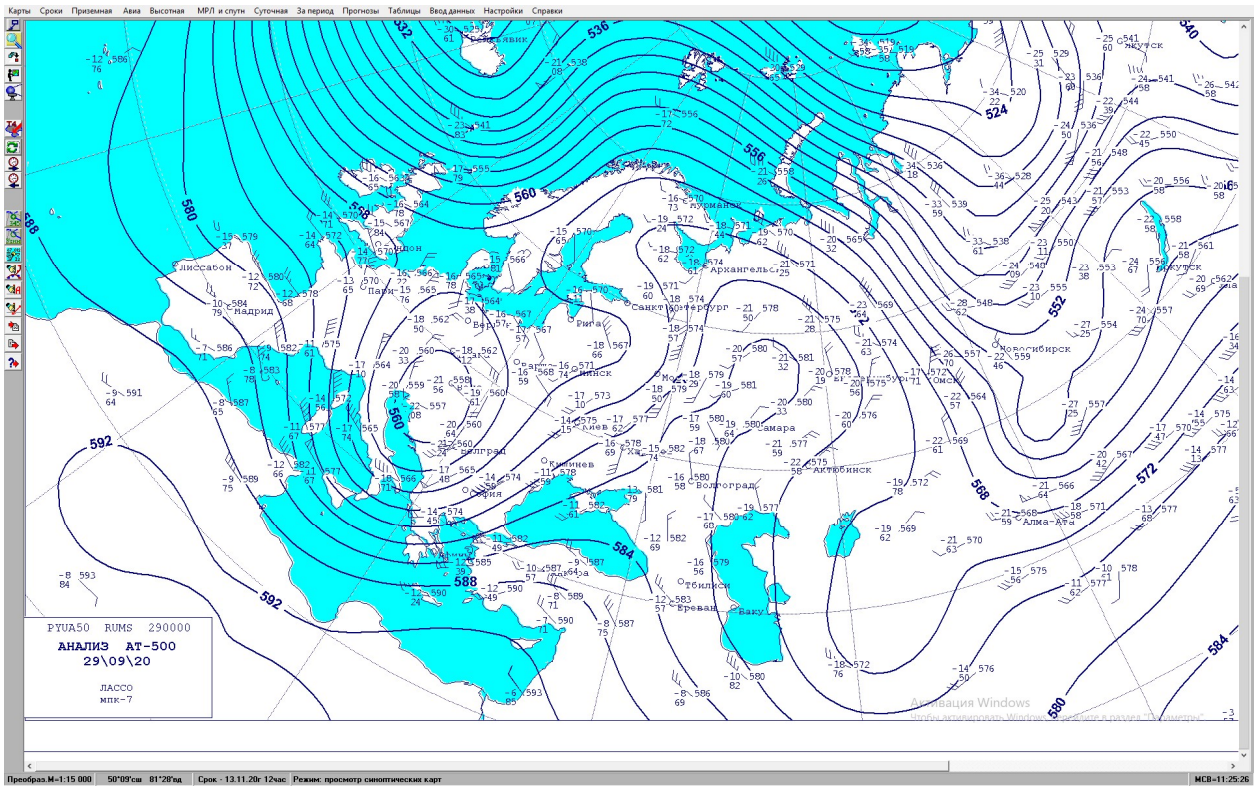


Рис. Б.13 – Карта АТ-500 за 29.09.2020 р. 00 СГЧ

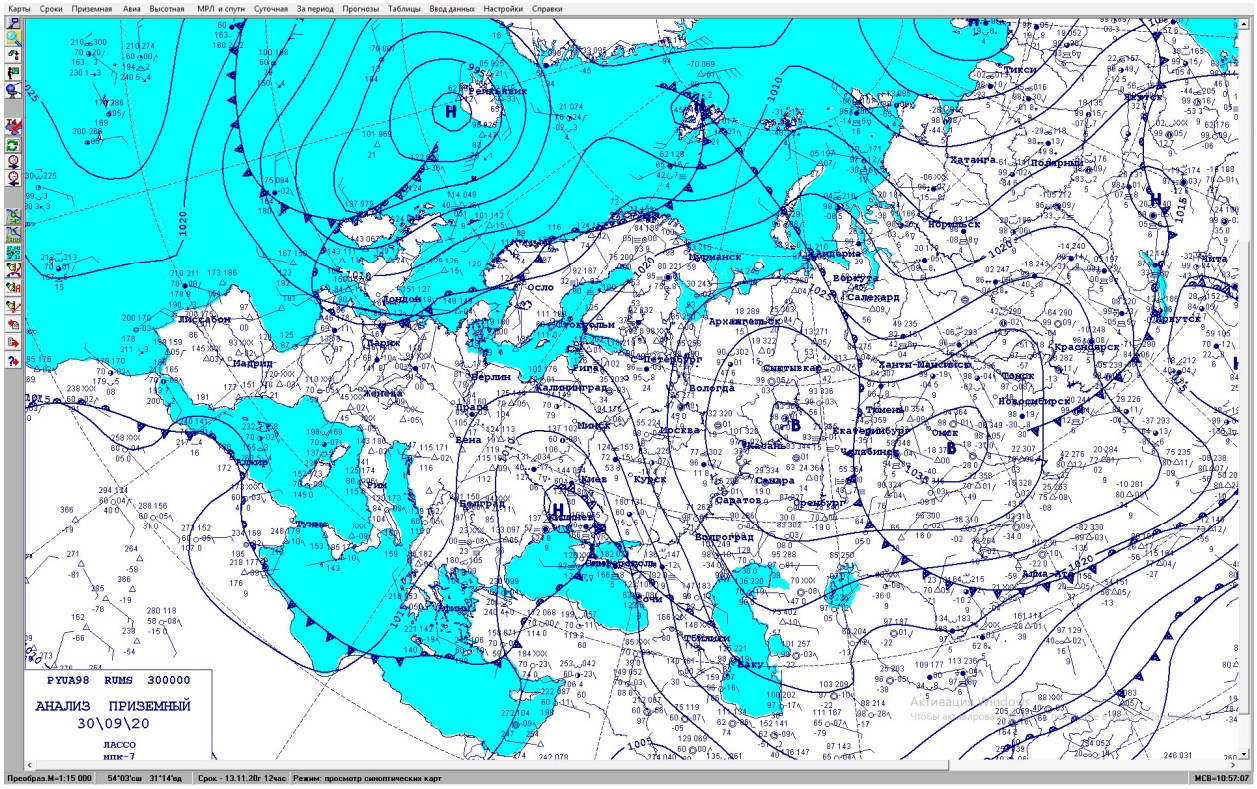


Рис. Б.14 – Карта приземного аналізу за 30.09.2020 р. 00 СГЧ

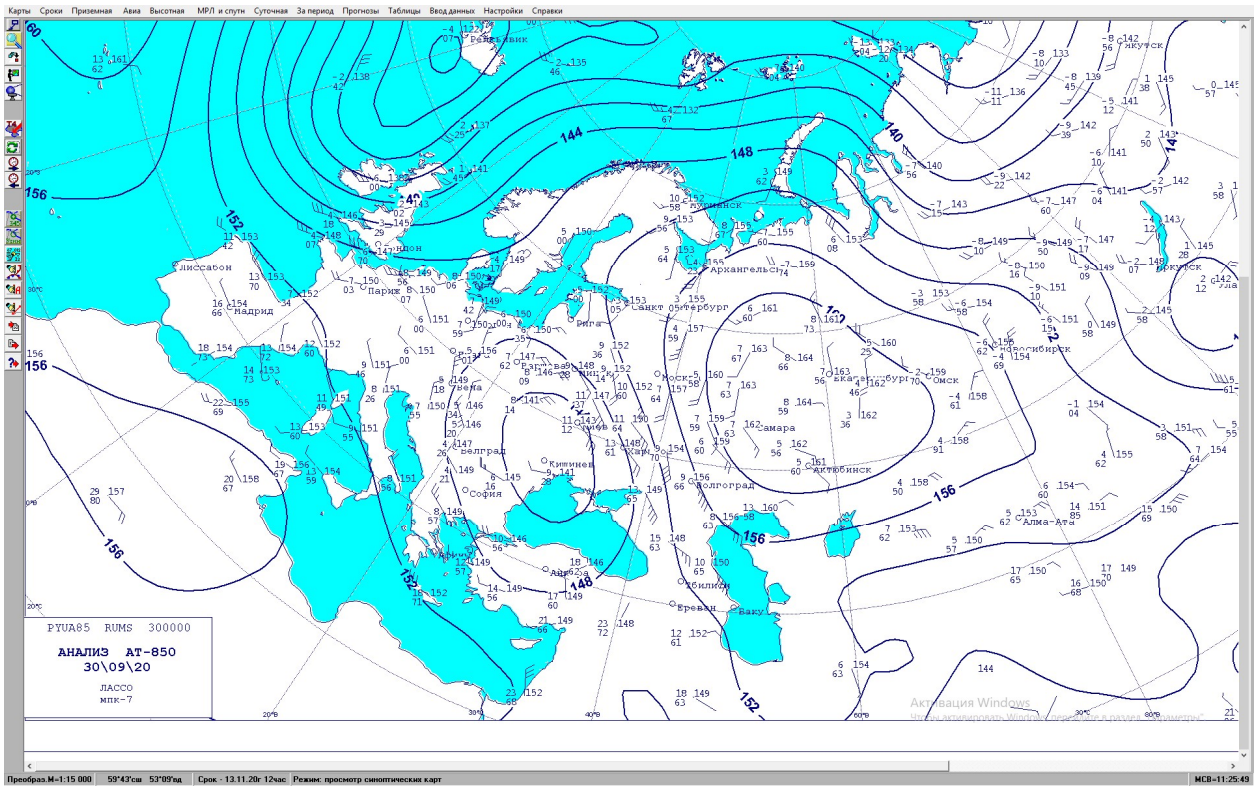


Рис. Б.15 – Карта АТ-850 за 30.09.2020 р. 00 СГЧ

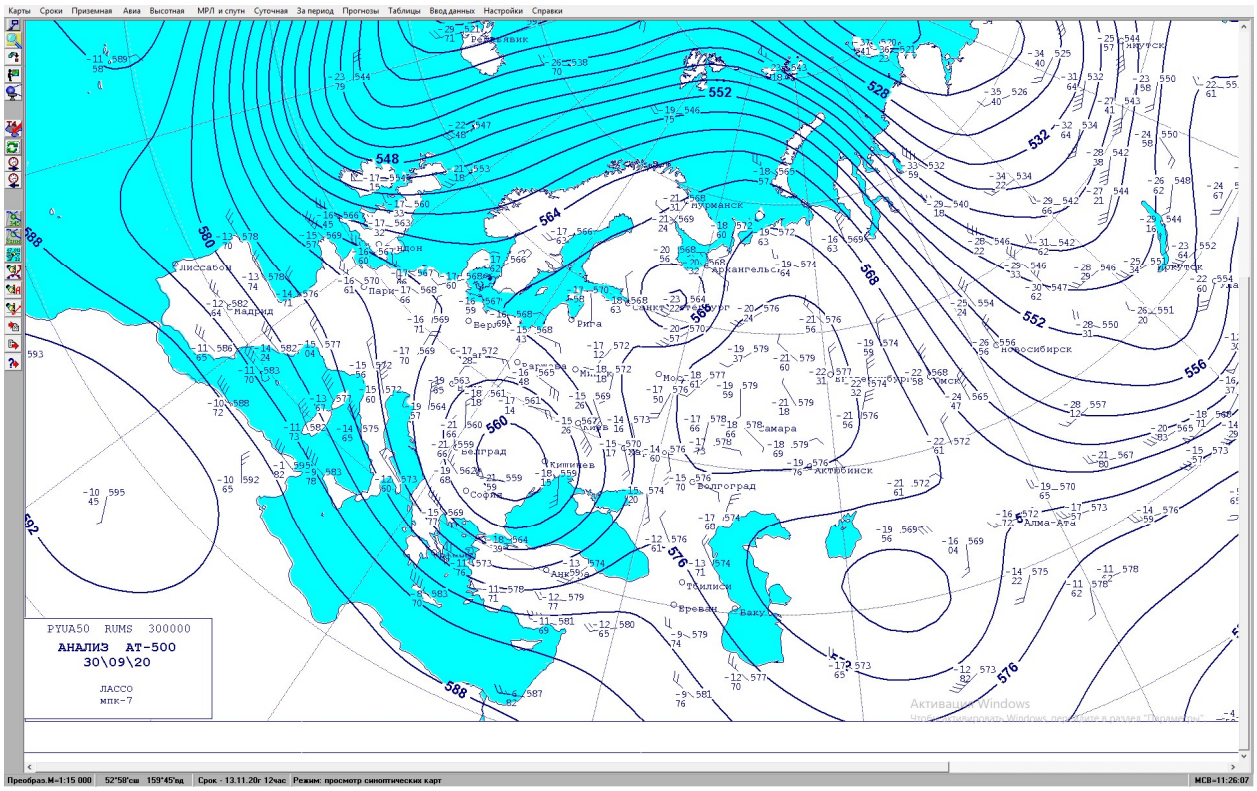


Рис. Б.16 – Карта АТ-500 за 30.09.2020 р. 00 СГЧ

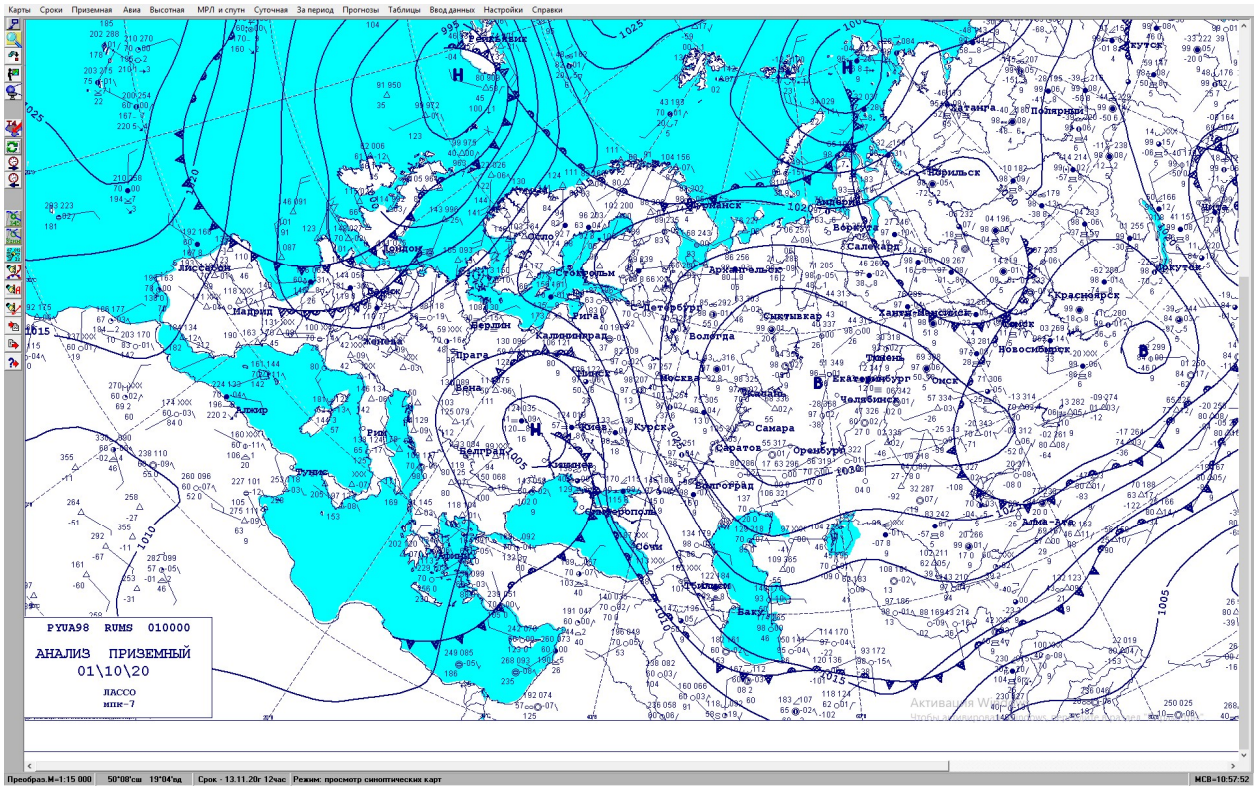


Рис. Б.17 – Карта приземного аналізу за 01.10.2020 р. 00 СГЧ

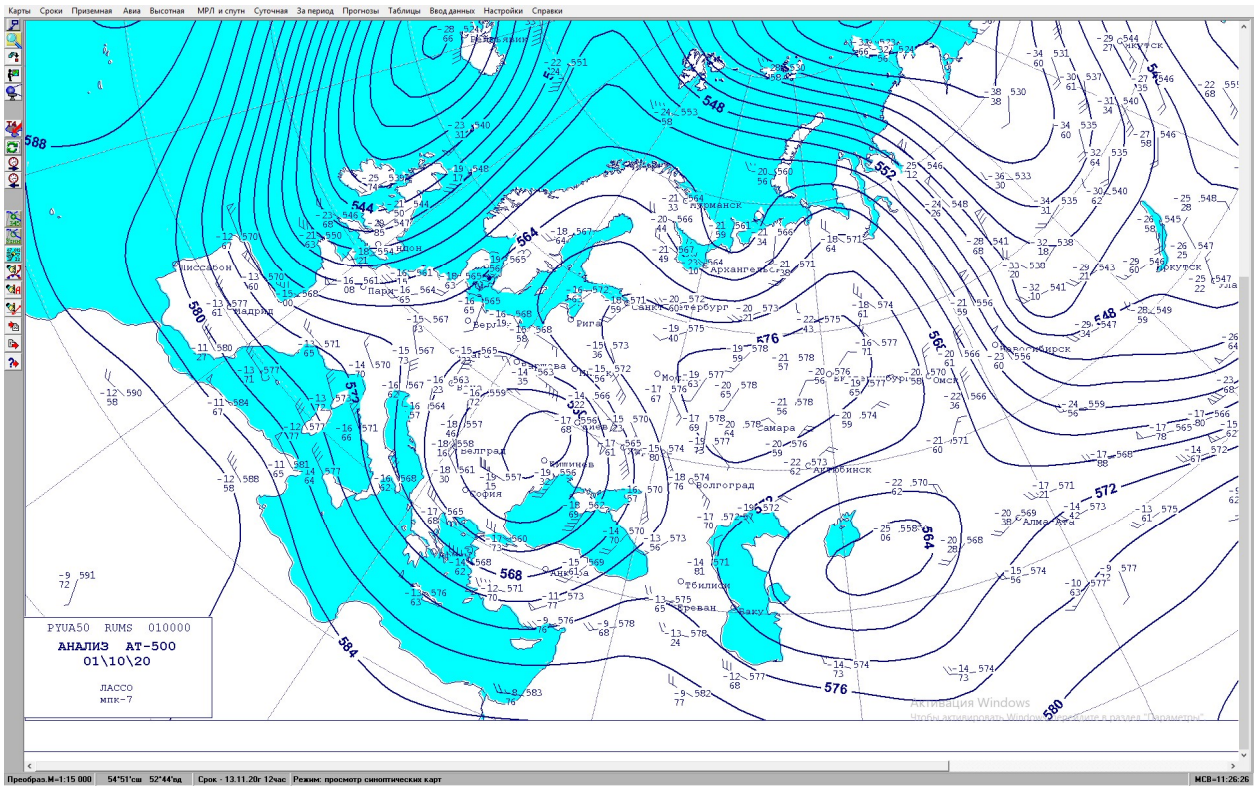


Рис. Б.18 – АТ-500 за 01.10.2020 р. 00 СГЧ

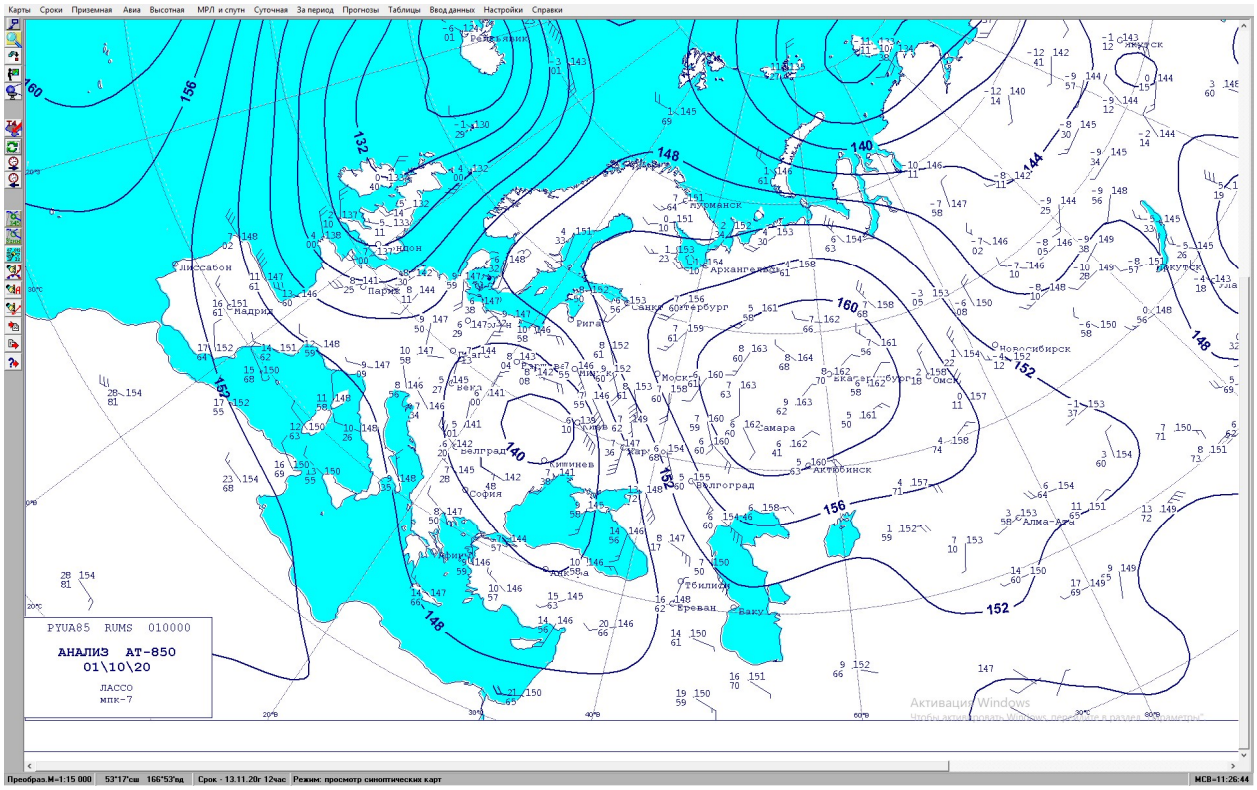


Рис. Б.19 – Карта АТ-850 за 01.10.2020 р. 00 СГЧ