

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
для практичного заняття студентів  
з навчального модулю «Синоптична метеорологія»  
**Визначення процесів фронтогенезу та фронтолізу на картах погоди  
та за прогностичними даними**

ОДЕСА – 2022

Методичні вказівки для практичного заняття на тему **«Визначення процесів фронтогенезу та фронтолізу на картах погоди та за прогностичними даними»** з дисципліни «Військова підготовка», навчальний модуль «Синоптична метеорологія», для студентів 1 року навчання за програмою підготовки офіцерів запасу ВОС 200200, 600100 / Укладач: канд.геогр.наук Міщенко Н.М.; укр., 26 стор.

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
Теоретична частина	
Поняття про фронтогенез та фронтоліз.....	5
Практична частина	
Визначення процесів фронтогенезу та фронтолізу за картами погоди та прогностичними даними.....	15
Додатки.....	16

## ВСТУП

Навчальний модуль «Синоптична метеорологія» передбачений програмою військової підготовки за військово-обліковими спеціальностями 200200, 600100.

Вивчення навчального модулю відбувається протягом I-II семестру – на 1 році навчання

*Метою* методичних вказівок є формування у студентів практичних навичок з розрахунку інтенсивності процесів фронтогенезу (фронтолізу) для ідентифікації еволюції атмосферних фронтів

Після вивчення методичних вказівок студент повинен знати:

- визначення атмосферного фронту, умови його виникнення;
- вплив деформаційного поля атмосфери на еволюцію атмосферних фронтів;
- методи розрахунку індивідуального та локального фронтогенезу

вміти:

- виявляти атмосферні фронти на картах погоди та визначати їх еволюційні зміни;
- розраховувати фронтогенетичну функцію за прогностичними даними або за даними об'єктивного аналізу.

## Список літератури

1. Міщенко Н.М. Синоптична метеорологія: Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2019. 65 с.
2. Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні та стихійні явища погоди. Київ. Держ.ком. України з гідрометеорології, 2004. 31 с.

## Теоретична частина

### ПОНЯТТЯ ПРО ФРОНТОГЕНЕЗ ТА ФРОНТОЛІЗ

Кожен атмосферний фронт існує обмежений період часу. Це відноситься не тільки до ділянок фронтів усередині певного циклону, а й в цілому до головних напрямів великої горизонтальної протяжності, хоча такі фронти існують більш тривалий час.

Адвекція в атмосфері відіграє основну роль в міжширотному обміні повітря. Особливо інтенсивна вона при циклонічній і антициклонічною діяльності. В результаті міжширотного обміну відбувається перерозподіл тепла і холоду.

При цьому між високими холодними циклонами і високими теплими антициклонами виникають зони переходу у вигляді згущення ізогіпс - висотні фронтальні зони (ВФЗ), де концентруються величезні запаси енергії, яка витрачається, в тому числі, і на формування циклонів і антициклонів, виникнення та загострення атмосферних фронтів .

Значна адвекція мас повітря в ВФЗ призводить до процесів фронтогенезу та фронтолізу.

Оскільки фронти виявляються на кожній карті погоди, яка охоплює значну територію, це означає, що процеси утворення фронтів (фронтогенез) і процеси розмивання фронтів (фронтоліз) спостерігається безперервно, подібно до того як безперервно формуються і трансформуються повітряні маси.

#### Процеси утворення фронту.

- Формується висотна фронтальна зона (ВФЗ), тобто зона великих горизонтальних градієнтів температури і тиску.
- Відбувається подальше загострення фронтальної зони з утворенням похилого (наклонного) перехідного фронтального шару.
- При відповідних циркуляційних умовах в граничному шарі атмосфери (наприклад, збіжність вітрів уздовж осі баричної улоговини) фронт проявляється на приземній карті у вигляді більш-менш чітко вираженою лінії, що розмежовує сусідні повітряні маси з різними властивостями, уздовж якої утворюються хмари і опади, відповідні певним типам фронтів.

Процес фронтогенезу на висотах і в граничному шарі може відбуватися як одночасно, так і в різний час. Крім того, він може охопити лише один шар, не захоплюючи інші. Наприклад, може утворитися висотна фронтальна зона або навіть верхній фронт при відсутності фронту на приземній карті. В інших випадках приземний фронт може утворитися поза зв'язком з ВФЗ.

Процеси розмивання існуючого фронту (фронтоліз) взагалі є процесами, протилежними процесам виникнення фронту (фронтогенезу): висотна фронтальна зона під впливом фронтолізу стає все більш розпливчатою, в

граничному шарі зникає збіжність вітрів уздовж певної лінії і перехід від однієї повітряної маси до іншої стає поступовим.

Під впливом трансформації, властивості сусідніх повітряних мас можуть стати настільки подібними, що подальше їх розмежування стає неможливим.

Основним показником фронтогенезу або фронтолізу служить зміна в часі горизонтального градієнта температури в розглянутому шарі або на певному рівні.

Процеси фронтогенезу і фронтолізу проявляються в деформаційних полях тропосфери.

*Деформаційні поля атмосфери - це термобаричні поля тропосфери, утворені двома парами навхрест розташованих циклонів і антициклонів з відповідними їм осередками тепла і холоду.*

Розрізняють симетричні та асиметричні деформаційні поля. Якщо компоненти деформаційного поля тропосфери мають приблизно однакову інтенсивність, таке поле називається симетричним (рис. 1).

В одній частині поля частинки повітря, зближуються між собою, в іншій - розходяться.

Деформаційне поле має вісі розтягування і стиснення:

- **вісь розтягування**, уздовж якої повітряні маси що розтікаються сходяться на вході в ВФЗ, є *фронтогенетичною*,
- а **вісь стиснення**, уздовж якої потоки що зближуються потім розходяться в дельті ВФЗ, є **фронтолітичною** віссю.

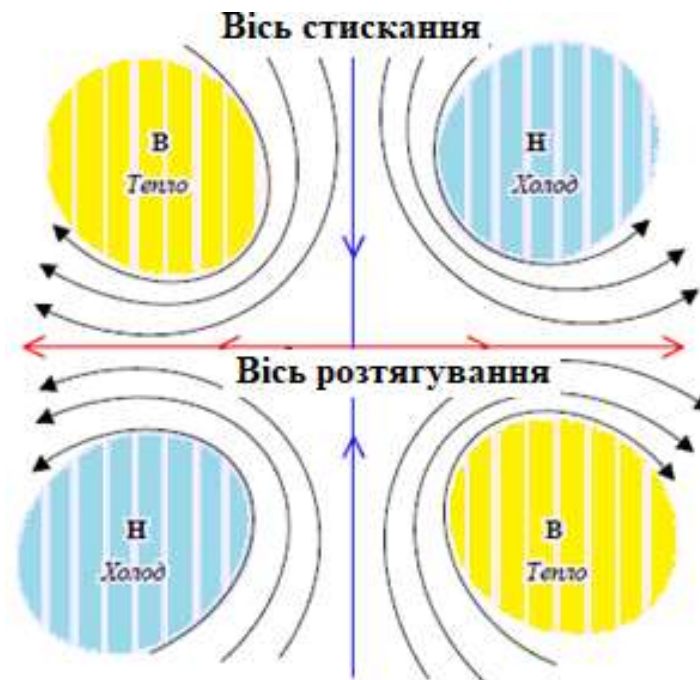


Рис. 1 – Симетричне деформаційне поле з відповідними осередками тепла та холоду

В реальних умовах атмосфери симетричні деформаційні поля спостерігаються рідко, тому що наявність неоднорідностей підстильної поверхні і нерівномірного припливу тепла призводить до утворення баричних центрів різної інтенсивності. Деформаційні поля тропосфери, як правило, мають асиметричну форму і велику просторову протяжність, порядку континенту або великий його частини

Розглянемо деформаційне поле повітряних течій і відзначимо, що якщо ізотерми нахилені до осі розтягування під кутом менш  $45^\circ$  (рис.2 а) уздовж вісі розтягнення має місце **фронтогенез**, а вздовж осі стиснення - фронтоліз. Якщо початковий кут більше  $45^\circ$  (рис. 2б), то навпаки.

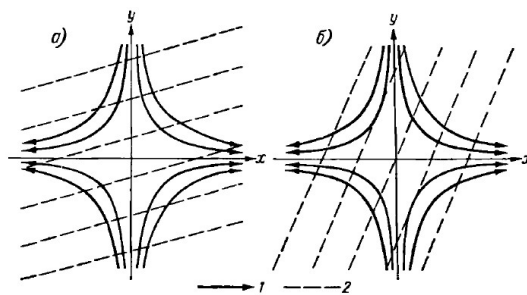


Рис.2 – Схеми фронтогенезу вздовж вісі розтягування деформаційного поля  
1 – лінії току, 2 – ізотерми

Рис. 3 а характеризує структуру термобаричного поля тропосфери входу фронтальної зони, що характеризується збіжністю ізогіпс при кутах між ізотермами та ізогіпсами і віссю розтягування менш  $45^\circ$ . Поле течій направлено так, що адвекція нижчих температур з півночі (адвекція холоду) так само як і адвекція більш високих температур з півдня (адвекція тепла), збільшують горизонтальні градієнти температури безпосередньо біля самої вісі розтягнення. Таке термобаричне поле є найбільш сприятливим для фронтогенезу

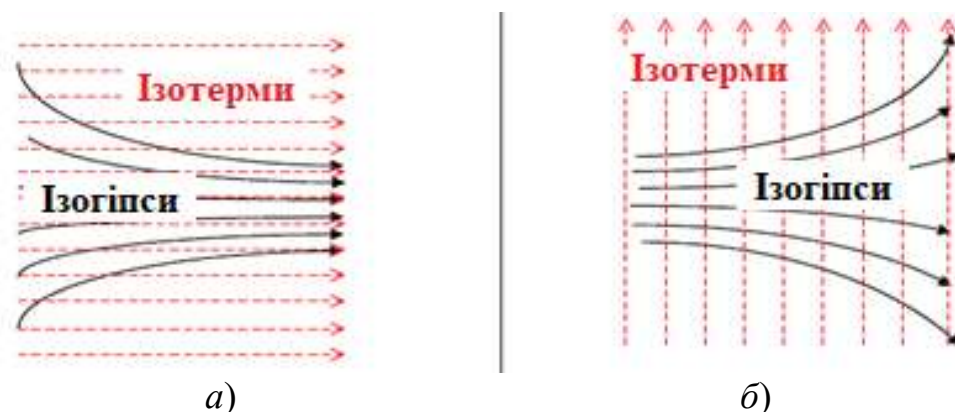


Рис.3 – Схеми фронтогенезу в області входу а) та дельти б) ВФЗ

На рис. 3 б представлена дельта фронтальної зони, що характеризується розбіжністю течій, та ізотерми з віссю стиснення утворюють кут **більше 45°**. Розбіжність поля течій в даному випадку сприяє згущення ізотерм: швидкості течій в центральній і тилувій частині значно більше, ніж в передній. Тому ізотерми передньої частини схеми ще не встигають відійти, а ізотерми тилової частини швидко до них наближаються.

Така структура термобаричного поля є найбільш сприятливою для *фронтотенезу* в дельті.

На рис. 4а у вході фронтальної зони тропосфери ізотерми утворюють з віссю розтягування кут **більший 45 °**. В цьому випадку, хоча поле течій зображено таким же, як і на першій схемі, але внаслідок великих кутів воно вже призводить не до зближення ізотерм вздовж осі розтягнення, а до розрідження їх.

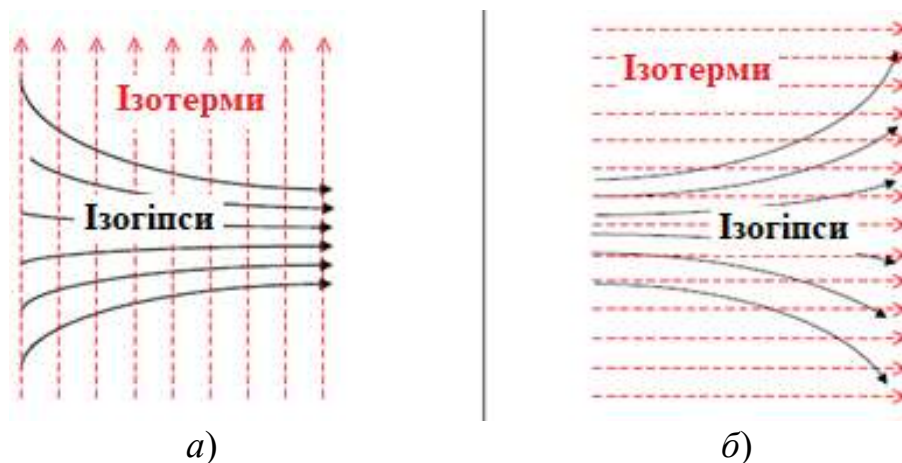


Рис. 4 – Схеми умов фронтотенезу в області входу а) та дельт б) висотної фронтальної зони тропосфери

Розрідження ізотерм (фронтоліз) відбувається тому, що швидкості в передній частині входу більше, ніж в тилувій. Внаслідок цього, ізотерми, що знаходяться в передній частині схеми переміщуються швидше, ніж встигають наближатися наступні за ними ізотерми.

Така структура термобарического поля є найбільш сприятливою для фронтоліза.

На рис. 4б, також в дельті фронтальної зони тропосфери, ізотерми з віссю стиснення утворюють кут **менше 45 °**. В цьому випадку розходиться поле течій призводить вже до розрідження ізотерм вздовж осі стиснення: з одного боку (вище осі) ізотерми піднімаються на північ, а з іншого (нижче осі) - опускаються на південь.



Дане термобаричну поле є сприятливим для фронтоліза.

Так як щільність соленоїдального поля пропорційна горизонтальному градієнту температури  $T_v = \frac{\partial T}{\partial v}$ , то основним показником фронтогенеза або фронтоліза є зміна в часі горизонтального градієнта температури в розглянутому шарі або на певному рівні.

Розрізняють індивідуальний фронтогенез (або фронтоліз):

$$F_{\text{інд}} = \frac{dT_v}{dt} \quad (1)$$

і локальний фронтогенез (або фронтоліз):

$$F_{\text{лок}} = \frac{\partial T_v}{\partial t}$$

де  $T_v = \frac{\partial T}{\partial v}$  горизонтальний градієнт температури во фронтальному шарі в напрямку, нормальному до лінії фронту.

У випадку фронтогенезу:  $\frac{dT_v}{dt} > 0$ ,  $\frac{\partial T_v}{\partial t} > 0$  или  $F > 0$

У випадку фронтолізу  $\frac{dT_v}{dt} < 0$ ,  $\frac{\partial T_v}{\partial t} < 0$  или  $F < 0$

Індивідуальний фронтогенез (фронтоліз) визначається змінами горизонтального градієнта температури в переміщається повітряній масі і є основним показником для оцінки можливості виникнення фронту і його еволюції.

У цьому випадку інтенсивність фронтогенетичного ефекту оцінюється за допомогою параметра індивідуального фронтогенезу.

$$F = \frac{d}{dT} \frac{\partial T}{\partial v}$$

$$\frac{\partial T}{\partial v} = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2}$$

$$\frac{d}{dT} \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial x} + u \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial x} + \tau \frac{\partial}{\partial p} \frac{\partial T}{\partial x}$$

$$\frac{d}{dT} \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial y} + u \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial y} + v \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial y} + \tau \frac{\partial}{\partial p} \frac{\partial T}{\partial y}$$

Після деяких перетворень отримаємо:

$$F = \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right) \left( \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial t} - \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial y} - \frac{\partial \tau}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial p} \right) + \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right) \left( \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial t} - \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial y} - \frac{\partial \tau}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial p} \right) \quad (2)$$

Використовуючи рівняння припливу тепла в адіабатичному наближенні, перетворимо (2) до наступного вигляду:

$$F = \left( \frac{\partial T}{\partial v} \right)^{-1} \left[ \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 \frac{\partial u}{\partial x} + \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial y} \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \left( \frac{\partial T}{\partial v} \right)^{-1} \left[ \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\gamma_a - \gamma}{\rho g} \frac{\partial \tau}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\gamma_a - \gamma}{\rho g} \frac{\partial \tau}{\partial y} \right]. \quad (3)$$

Рівняння (3) дозволяє дати оцінку інтенсивності фронтогенезу в залежності від характеру горизонтальних рухів в області фронту або (в геострофічних наближенні) від структури баричного поля, а також в залежності від горизонтального розподілу вертикальних рухів з урахуванням термічної стійкості атмосфери і структури поля температури.

Другий член рівняння (3) показує залежність інтенсивності фронтогенезу від вертикальних рухів повітря. Таким чином, інтенсивність фронтогенезу залежить від ступеня термічної стійкості атмосфери і змін вертикальної швидкості уздовж нормалі до ізотерм. Фронтогенезу сприяє зростання швидкості вертикальних рухів в напрямку холодного повітря, а при низхідних рухах - зростання їх швидкості в напрямку теплого повітря.

Локальний фронтогенез (фронтоліз) визначається по локальних змін горизонтального градієнта температури, які можуть бути пов'язані з переміщенням фронтальної зони і ізотерм, тобто з адвекцією

$$\frac{dTv}{dt} = \frac{\partial Tv}{\partial t} + \left( u \frac{\partial Tv}{\partial x} + v \frac{\partial Tv}{\partial y} \right) + w \frac{\partial T}{\partial p} = \frac{\partial Tv}{\partial t} - \left( \frac{\partial Tv}{\partial t} \right)_{\text{адв}} + w \frac{\partial T}{\partial p}$$

тобто для локального фронтогенеза

$$F_{\text{лок}} = F_{\text{инд}} + F_{\text{адв}} + F_w.$$

Таким чином, фронтогенез визначається збільшенням горизонтальних градієнтів температури між масами повітря, що володіють різними властивостями, фронтоліз - зменшенням горизонтальних градієнтів температури між цими масами повітря.

За структурою баричного поля можна виділити наступні умови для фронтогенезу і фронтолізу.

1) При циклонічній кривизні ізогіпс ( $K > 0$ ) і адвекції холоду, а також при антициклонічній кривизні ізогіпс ( $K < 0$ ) і адвекції тепла, при відсутності дивергенції і зміни густоти ізогіпс буде спостерігатися фронтогенез.

2) При циклонічній кривизні ізогіпс і адвекції тепла або антициклонічною кривизні ізогіпс і адвекції холоду буде спостерігатися фронтоліз.

3) При згущенні ізогіпс в сторону низького тиску і адвекції холоду або згущення ізогіпс в сторону високого тиску і адвекції тепла - фронтогенез.

4) При згущенні ізогіпс в сторону низького тиску і адвекції тепла, або згущення ізогіпс в сторону високого тиску і адвекції холоду - фронтоліз.

Фронтогенез зазвичай має один і той же знак в більш-менш потужному шарі атмосфери. У синоптичній практиці про фронтогенез (фронтоліз) судять по змінам з часом контрасту середньої температури шару між поверхнями, зазвичай - між 1000 гПа і 500 гПа.

Для цієї мети служить прямокутна палетка з кроком  $h$ .

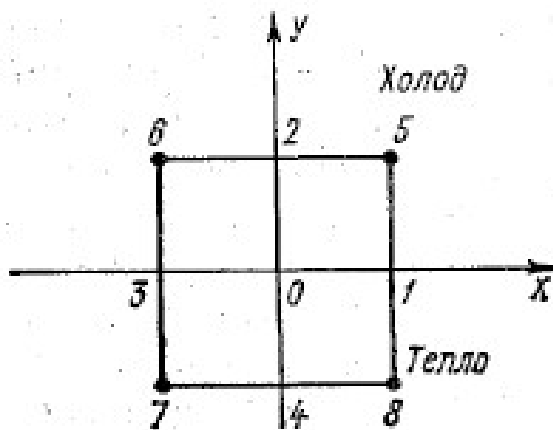


Рис. 5 – Схема розташування точок вихідних даних для розрахунків

Індивідуальний фронтогенез, обумовлений горизонтальними рухами повітря, визначається по робочій формулою

$$F = 0.146(H_6 + H_8 - H_5 + H_7)(T_4 - T_2) \quad (4)$$

Де  $H$  і  $T$  - геопотенціал (гп.дам) і температура на даній ізобаричній поверхні.

Крім розглянутих вище умов індивідуального фронтогенезу (фронтолізу), для локального фронтогенезу (фронтолізу) сприятливим є зменшення (збільшення) контрасту температури повітря у напрямку потоку.

### **Контрольні запитання**

1. Що називається фронтогенезом? Які ознаки фронтогенезу на приземній карті погоди ви знаєте?
2. Що називається фронтолізом? Які ознаки фронтолізу на приземній карті погоди ви знаєте?
3. Як розташовуються ізотерми відносно ізогіпс при фронтогенезі?
4. Як розташовуються ізотерми відносно ізогіпс при фронтолізі?
5. Чим визначається індивідуальний фронтогенез?

## Практична частина

### ВИЗНАЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ФРОНТОГЕНЕЗУ ТА ФРОНТОЛІЗУ ЗА КАРТАМИ ПОГОДИ

Мета роботи: Сформулювати у студентів практичні навички виявлення в зонах атмосферних фронтів на приземних картах та картах баричної топографії фронтогенетичних та фронтолітичних ділянок.

#### Пояснення до виконання:

1. Для виконання роботи, із додатку студенту надається дата з необхідним синоптичним матеріалом та позначаються дві ділянки атмосферного фронту, які необхідно проаналізувати. Після цього необхідно провести співставлення полів геопотенціалу на АТ-700 та ВТ<sup>500</sup><sub>1000</sub> для виявлення фронтогенетичних або фронтолітичних ділянок атмосферних фронтів та співставити результати з приземними ділянками тих самих атмосферних фронтів.

За обрану дату завантажити дані об'єктивного аналізу (температури та геопотенціалу) на рівні 850 гПа (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP-NCAR/.CDAS-1/.DAILY/.Intrinsic+.PressureLevel+.temp/?help+dataselection>) та провести за формулою (3) розрахунок фронтогенетичної функції для заданої ділянки фронту. Провести аналіз та співставлення з картами баричної топографії.

#### Вихідний матеріал:

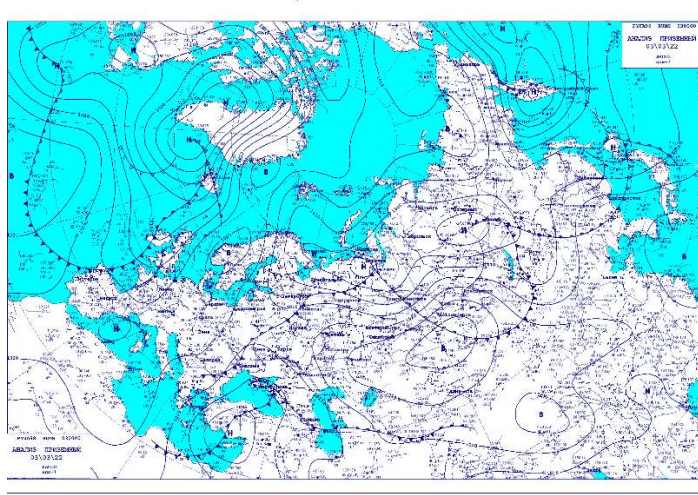
- Карти приземного аналізу та баричної топографії (АТ-700, ВТ<sup>500</sup><sub>1000</sub>) за обрану дату з додатку.

#### Звітний матеріал:

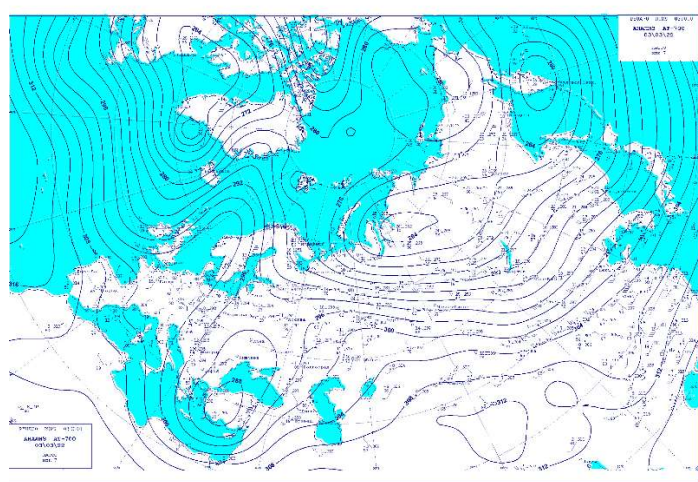
Аналіз взаємного розташування ізогіпс на АТ-700 та ВТ<sup>500</sup><sub>1000</sub> в зонах обраних атмосферних фронтів, а також на приземних картах погодні явища з висновком про наявність фронтогенезу або фронтолізу.

ДОДАТКИ  
(Синоптичний матеріал)

*a)*



а)



б)

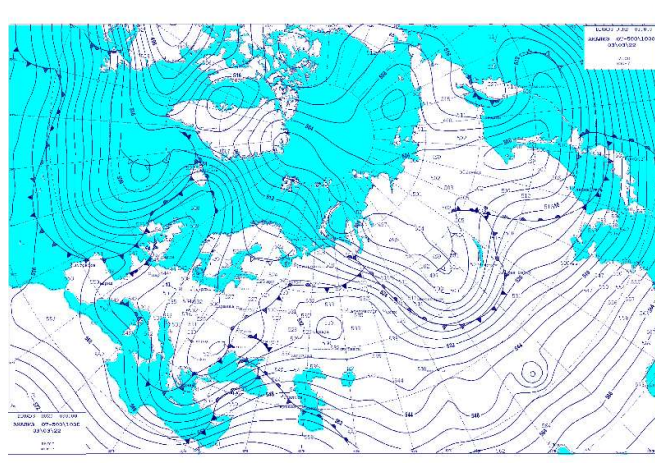
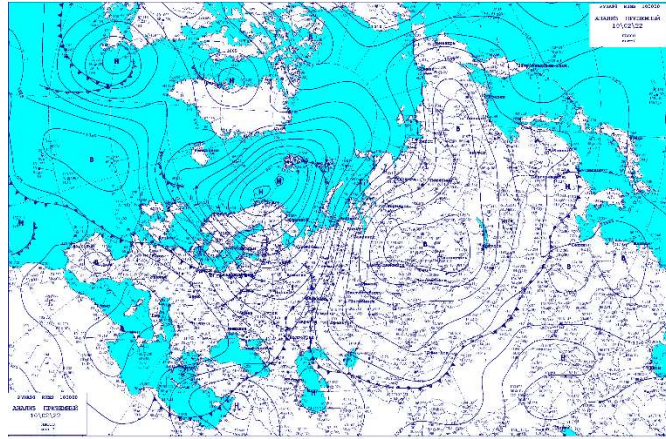
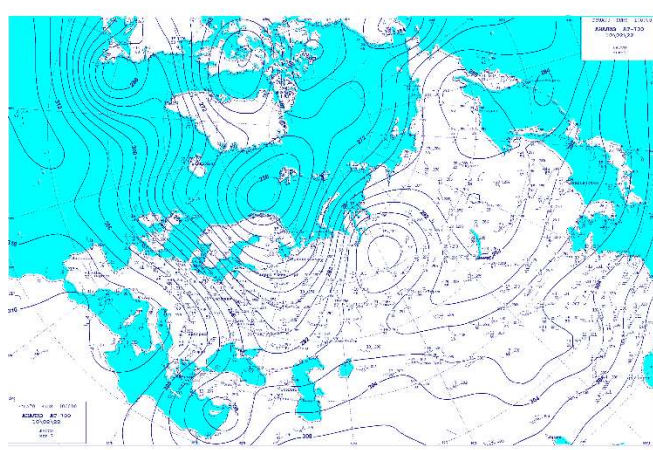


Рис. А.1 – Карты а) приземного анализа, б) АТ-700 гПа та ВТ<sup>500</sup><sub>1000</sub> в) за 00 год. 03.03.2022 р.

a)



б)



в)

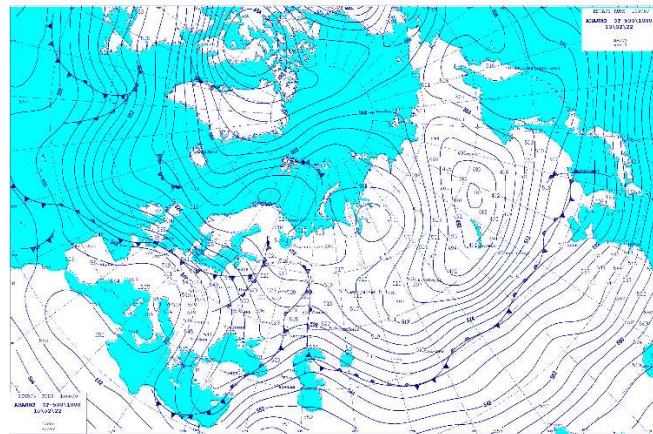
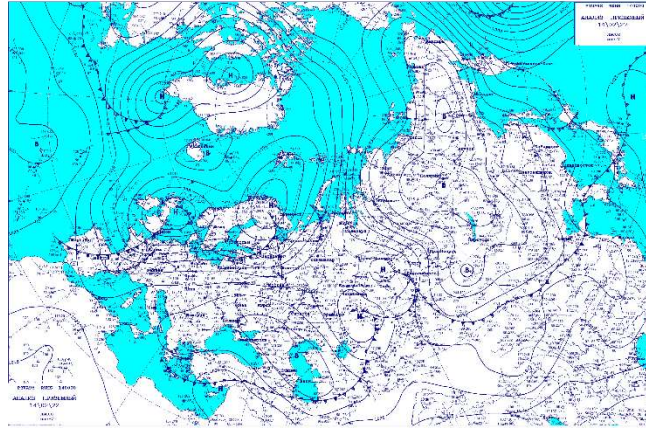


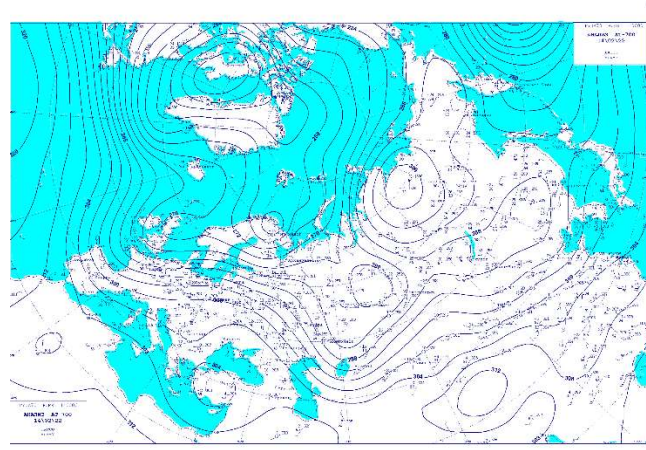
Рис. А.2 – Карты а) приземного анализа, б) АГ-700 гПа та в) ВГ<sup>500</sup><sub>1000</sub> за 00 год. 10.02.2022 р.



а)



б)



в)

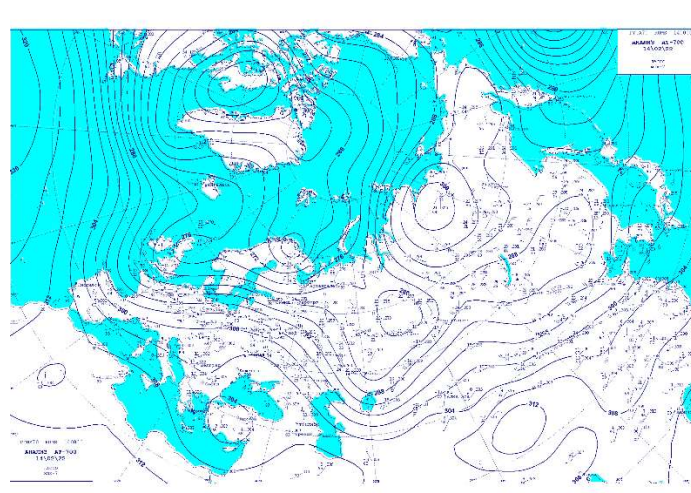
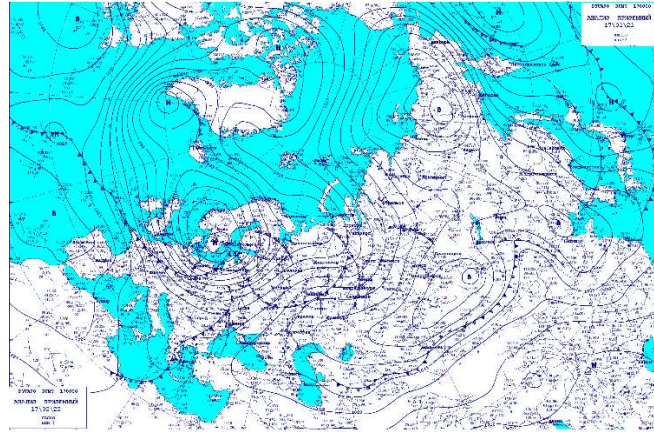
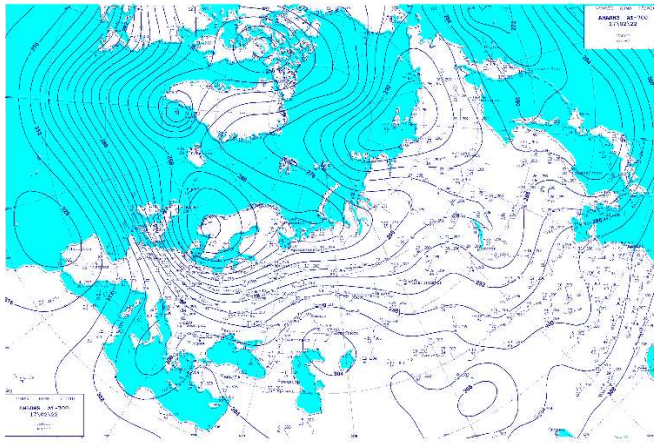


Рис. А.3 – Карты а) приземного анализа, б) АТ-700 гПа та в) ВТ<sup>500</sup><sub>1000</sub> за 00 год. 14.02.2022 р.

a)



б)



в)

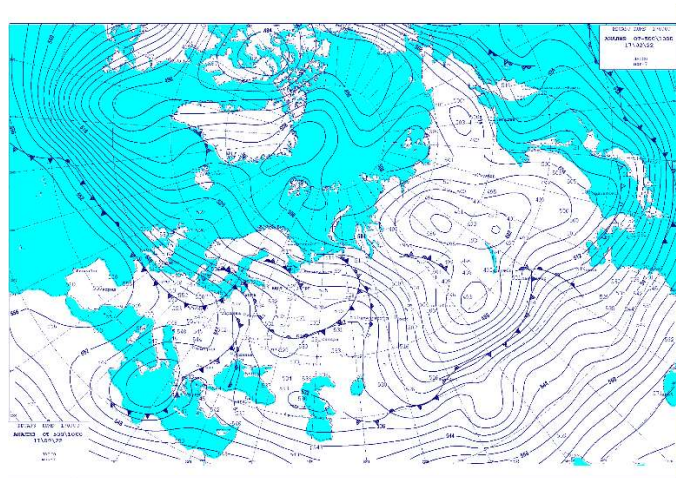
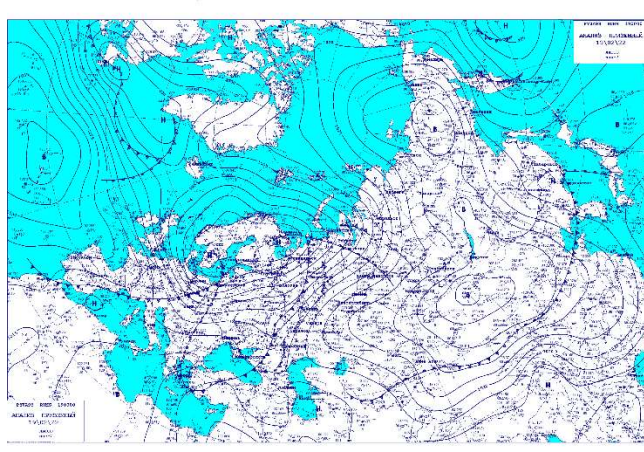
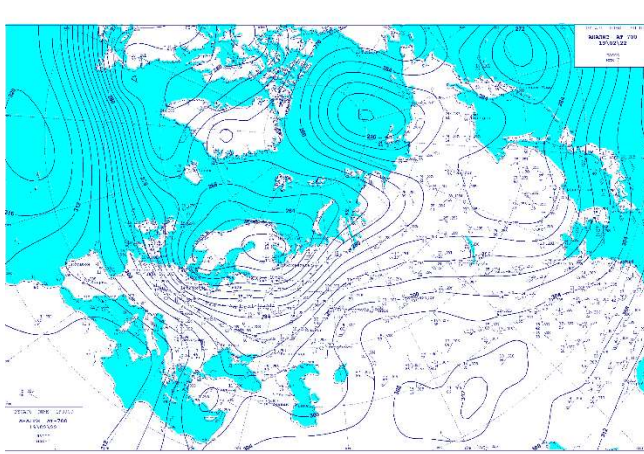


Рис. А.4 – Карты а) приземного анализа, б) АГ-700 гПа та в) ВГ<sup>500</sup><sub>1000</sub> за 00 год. 17.02.2022 р.

a)



б)



в)

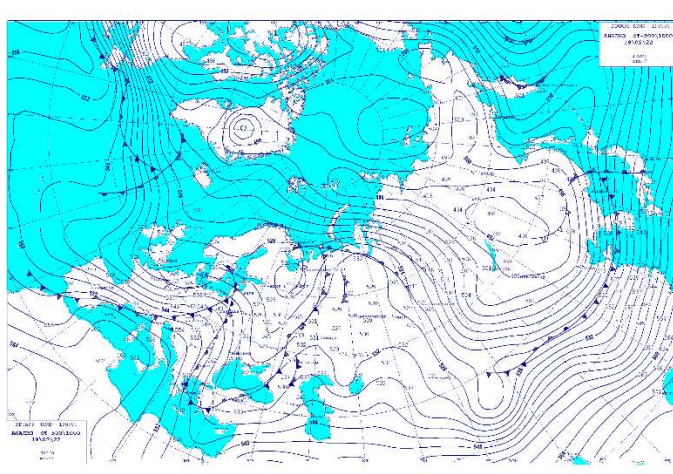
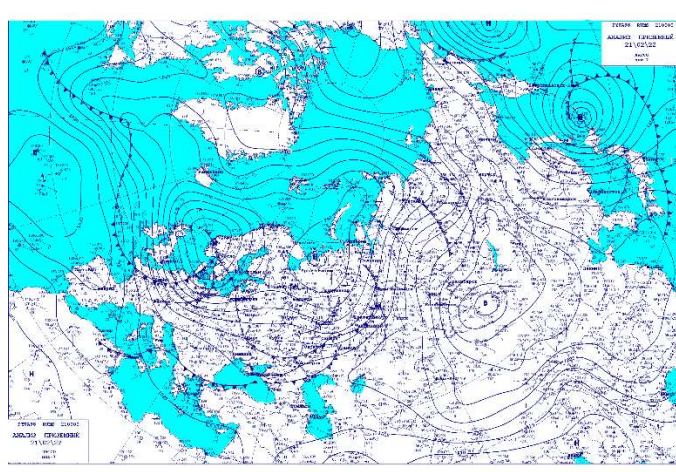
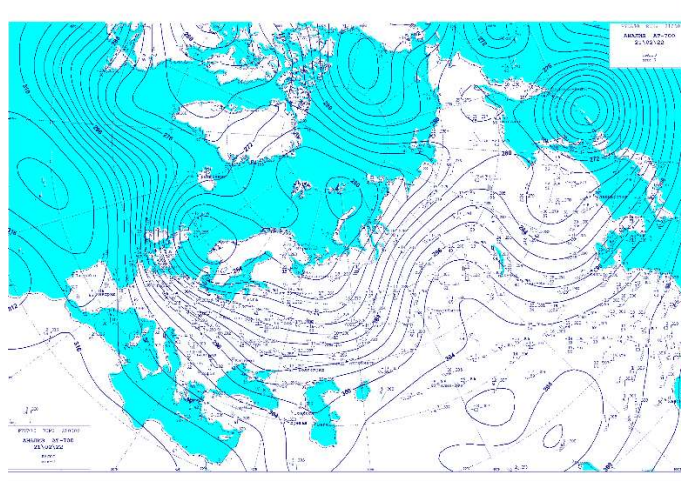


Рис. А.5 – Карты а) приземного аналізу, б) АТ-700 гПа та в) ВТ $_{1000}^{500}$  за 00 год. 19.02.2022 р.

а)



б)



в)

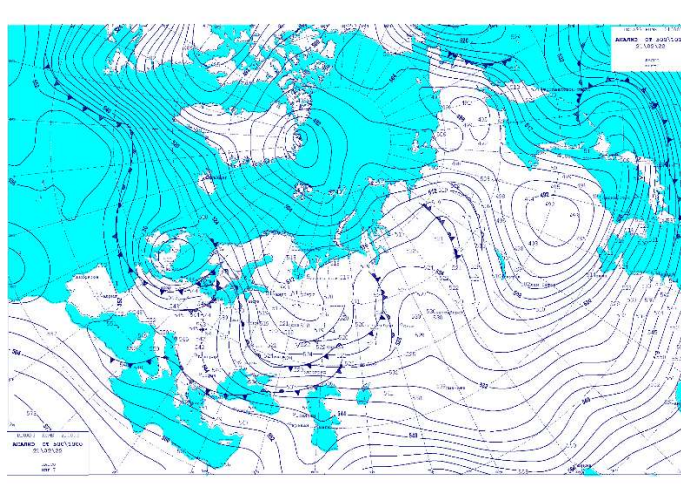
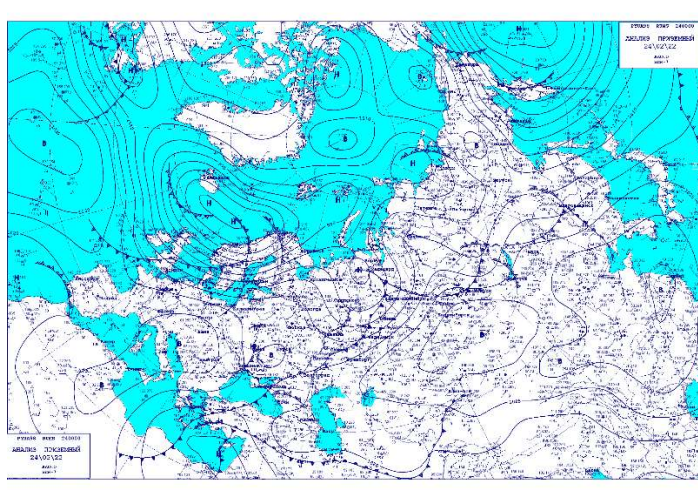
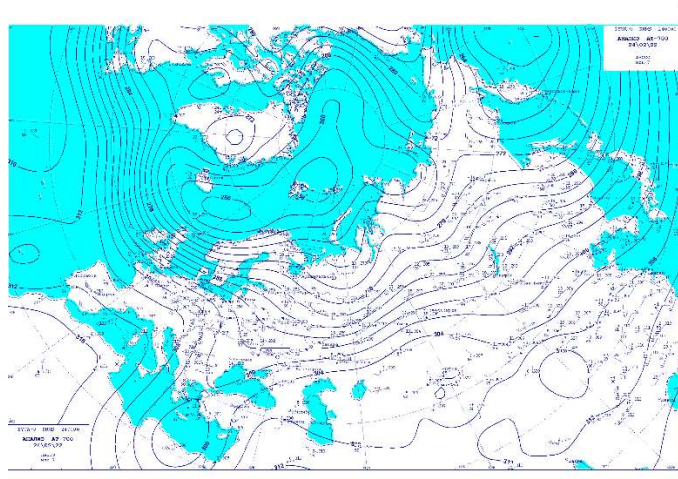


Рис. А.6 – Карты а) приземного аналізу, б) АТ-700 гПа та в) ВТ $_{1000}^{500}$  за 00 год. 21.02.2022 р.

а)



б)



в)

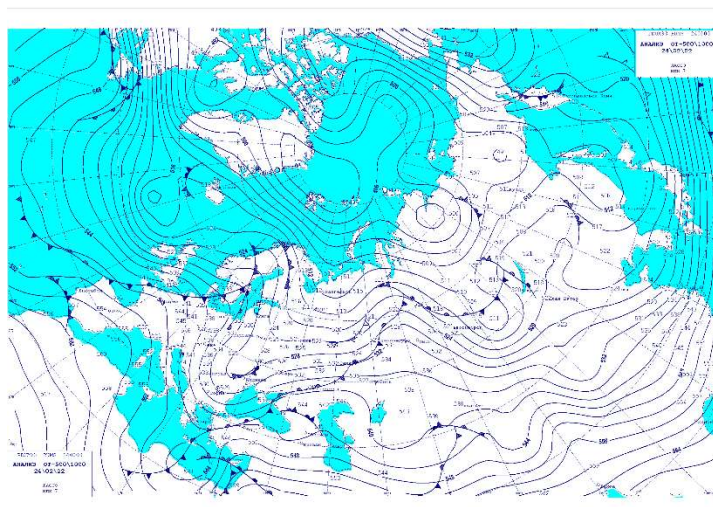
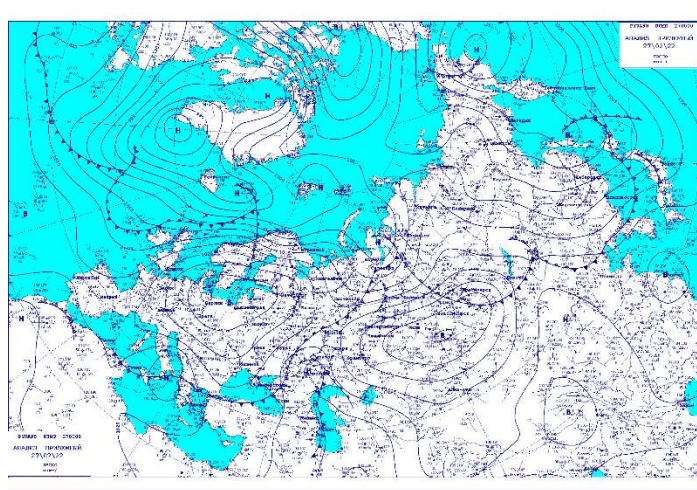
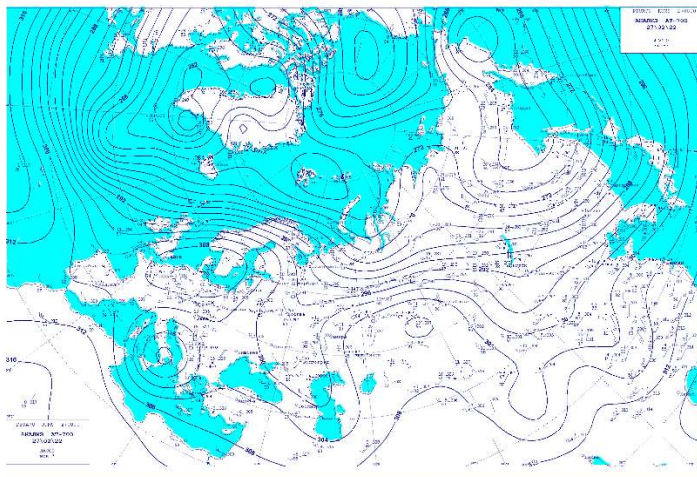


Рис. А.7 – Карты а) приземного анализа, б) АТ-700 гПа та в) ВТ $_{1000}^{500}$  за 00 год. 24.02.2022 р.

а)



б)



в)

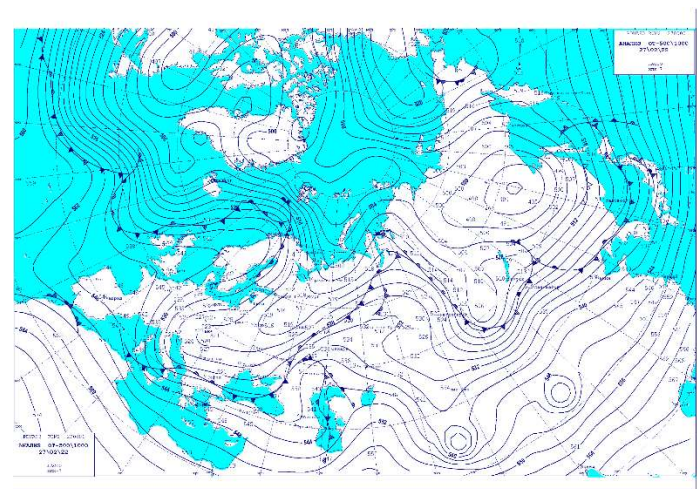
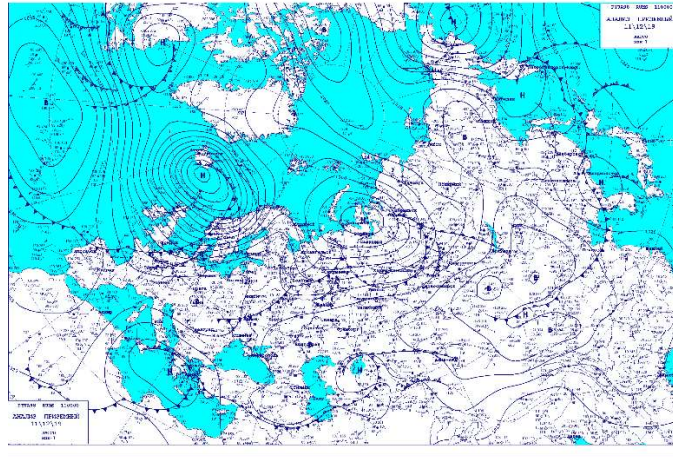
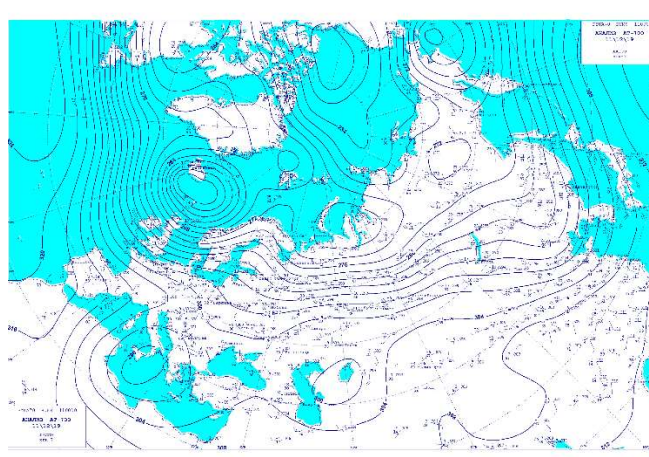


Рис. А.8 – Карти а) приземного аналізу, б) АТ-700 гПа та в) ВТ $_{1000}^{500}$  за 00 год. 27.02.2022 р.

а)



б)



в)

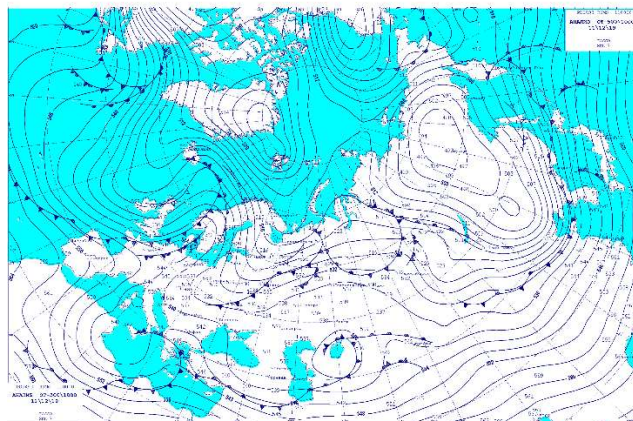


Рис. А.9 – Карты а) приземного анализа, б) АТ-700 гПа та в) ВТ<sup>500</sup><sub>1000</sub> за 00 год. 17.02.2022 р.