

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

для практичних робіт з навчальної дисципліни

«Авіаційні прогнози погоди»

**на тему: «Прогноз синоптичного положення»**

для студентів денної форми навчання спеціальності 103 «Науки про Землю»,  
рівень вищої освіти бакалавр

Методичні вказівки для виконання практичних робіт на тему «Прогноз синоптичного положення» при вивченні дисципліни «Авіаційні прогнози погоди» для студентів IV курсу денної форми навчання за спеціальністю 103 «Науки про Землю», рівень вищої освіти бакалавр. / Укладачі: к.ф.-м.н, Мансарлійський В. Ф. – Одеса, ОДЕКУ, 2021. – 31 с.

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА .....	4
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1 Використання методів формальної та фізичної екстраполяції для прогнозу переміщення баричних утворень..	5
ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ .....	5
ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА .....	10
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2 Прогноз переміщення атмосферних фронтів .....	18
ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ .....	18
ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА .....	21
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3 Прогноз переміщення та інтенсивності тропосферних струминних течій .....	24
ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ .....	24
ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА .....	25
ЛІТЕРАТУРА.....	30

## ПЕРЕДМОВА

Сутність прогнозу синоптичного положення полягає у вирішенні питань, що стосуються положення та інтенсивності розвитку основних синоптичних об'єктів і визначення тих з них, які обумовлюватимуть погоду району базування і можливих маршрутів польотів.

Вибір найбільш раціональної процедури прогнозу залежить від конкретних умов, зокрема від виду вихідної метеорологічної інформації, що є в наявності на момент складання прогнозу в розпорядженні синоптика; від необхідної точності прогнозу; часу, необхідного на розробку прогнозу; виду обчислювальної техніки, що є в розпорядженні прогнозиста, тощо.

*Метою* методичних вказівок є формування у студентів теоретичних знань про призначення прогнозу синоптичного положення та основні методи прогнозу переміщення баричних утворень і практичних навичок щодо застосування існуючих методів прогнозу переміщення баричних утворень.

Після вивчення методичних вказівок студент повинен:

знати:

- прийоми формальної та фізичної екстраполяції для прогнозу переміщення баричних утворень, межі їх застосування;
- способи використання емпіричних правил для переміщення баричних утворень;
- методи прогнозу переміщення атмосферних фронтів та струминних течій, їх еволюції;

вміти:

- здійснювати прогноз переміщення та еволюції об'єктів синоптичного масштабу (баричних утворень, атмосферних фронтів, струминних течій) за даними карт погоди та прогностичними даними світових прогностичних центрів (GFS, EMCWF).

Дані методичні вказівки містять в собі рекомендації з виконання трьох практичних занять з теми «Прогноз синоптичного положення» дисципліни «Авіаційні прогнози погоди». Вивчення цієї теми передбачає засвоєння теоретичного матеріалу та усної відповіді на питання для самоперевірки.

Наведені нижче завдання виконуються студентами під час аудиторних занять. Максимальна кількість балів, яку може одержати студент при виконанні трьох практичних робіт складає 12 балів (по 4 бали за кожну роботу).

## ПРАКТИЧНА РОБОТА №1.

### Використання методів формальної та фізичної екстраполяції для прогнозу переміщення баричних утворень

#### ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Прогноз переміщення циклонів та антициклонів є складовою прогнозу баричного поля біля поверхні землі і на висотах.

У залежності від об'єму використовуваної інформації всі способи прогнозу переміщення баричних центрів умовно можуть бути поділені на чотири групи:

1. Способи, що передбачають використання лише відомостей про положення даного циклону або антициклону в деякі моменти попереднього періоду.

2. Способи, що передбачають використання послідовних приземних карт погоди.

3. Способи, що передбачають використання послідовних комплектів карт (приземних карт і карт баричної топографії).

4. Способи, що передбачають використання супутникової інформації.

Застосування способів третьої групи, як правило є найбільш ефективним.

Способи інших груп можуть використовуватись на практиці коли:

– необхідно швидко, без застосування обчислювальної техніки розробити прогноз синоптичного положення і на його основі визначити, який синоптичний об'єкт, впливатиме на формування погодних умов району базування (фоновий прогноз);

– необхідно уточнити прогноз синоптичного положення, розроблений способами третьої групи, із залученням кільцевих карт погоди;

– у розпорядженні прогнозиста є обмежений об'єм метеорологічної інформації;

– єдиним джерелом інформації про стан атмосфери в даному районі є супутникові спостереження.

*Способи, що передбачають використання лише відомостей про положення баричного центру*

При наявності відомостей лише про положення центрів циклонів і антициклонів, осей гребенів і улоговин у вихідний і попередні строки спостереження для побудови прогностичних алгоритмів використовують екстраполяційні методи.

Якщо прийняти умову сталості маси об'єкту і результуючої зовнішніх сил, що визначає переміщення циклону (антициклону) на протязі розгляданого періоду, то формула формальної екстраполяції може бути представленою у наступному вигляді

$$\vec{L} = b_1 \vec{L}_1 + b_2 \vec{L}_2, \quad (4.1)$$

де  $\vec{L}$  – прогнозоване переміщення центру в період  $\Delta t' = t' - t_0$  (рис. 4.1);  $\vec{L}_1$  і  $\vec{L}_2$  – переміщення центру у періоди  $\Delta t_1 = t_0 - t_1$  і  $\Delta t_2 = t_0 - t_2$  відповідно;

$$b_1 = \frac{\Delta t'}{\Delta t_1} \left( \frac{\Delta t' + \Delta t_1}{\Delta t_1 + \Delta t_2} + 1 \right); \quad \text{і} \quad b_2 = -\frac{\Delta t'}{\Delta t_2} \frac{\Delta t' + \Delta t_1}{\Delta t_1 + \Delta t_2}. \quad (4.2)$$

Прогноз переміщення баричного центру по синоптичним картам при відомих значеннях коефіцієнтів  $b_1$  і  $b_2$  зручно проводити графічним способом (рис 4.1)

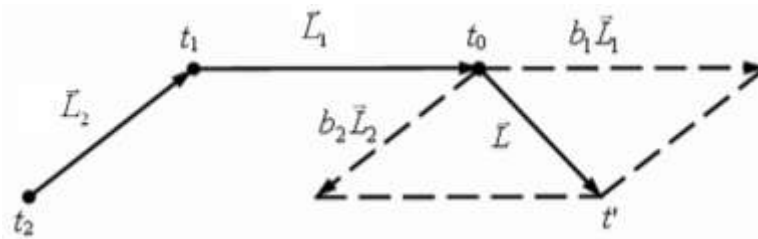


Рис. 4.1 – Графічний спосіб застосування криволінійної екстраполяції при побудові вектора очікуваного переміщення баричного центру.

Екстраполяцію, в якій розглядаються два і більше попередніх періодів часу ( $\Delta t_1, \Delta t_2 \dots$ ), прийнято називати *криволінійною (нелінійною)*. Така екстраполяція застосовується при змінній швидкості руху об'єкту, але постійному прискоренні, тобто *криволінійна екстраполяція – екстраполяція з урахуванням прискорення*.

При *лінійній екстраполяції* приймають за постійну швидкість об'єкту (прискорення дорівнює нулю). В цьому випадку формула (4.1) набуває простого вигляду

$$\vec{L} = \frac{\Delta t'}{\Delta t_1} \vec{L}_1, \quad (4.2)$$

Як видно з формули (4.2), прямолінійну екстраполяцію можна застосовувати навіть у випадках, коли є відомості про положення центру лише за один попередній строк, тобто відомий лише один вектор  $\vec{L}_1$ .

*Способи, що передбачають використання лише приземних карт погоди*

Розглянуті вище екстраполяційні методи прогнозу допускають похибки при визначенні положення центрів баричних утворень, а відповідно, і у визначенні вектора  $\vec{L}$ , що вносить суттєвий вклад до сумарної помилки екстраполяційного прогнозу.

Зменшення похибок у визначенні положення центрів можна досягнути, шляхом сумісного врахування розподілу значень атмосферного тиску і баричних тенденцій, представлених на приземних картах погоди.

Барична тенденція на станціях синоптичної сітки визначається з точністю до 0,1 гПа, і відповідно, навіть незначне переміщення циклону виявляється по розподілу тенденції на картах погоди.

Завдяки досяжному таким чином підвищенню точності у визначенні центру збільшується оптимальна величина відношення  $\Delta't / \Delta t_1$ . Так, наприклад, при розробці добових екстраполяційних прогнозів відносно непогані результати дає використання формули

$$\vec{L} = 8\vec{L}_{-3}, \quad (4.3)$$

де  $\vec{L}_{-3}$  – вектор переміщення баричного центру за попередні 3 години, визначений з урахуванням розподілу баричних тенденцій.

Для визначення вектору  $\vec{L}_{-3}$  можна скористатися рівностями для циклону (антициклону) з круговими ізобарами при довільному виборі осей  $OX$  і  $OY$ :

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial x} &= 0; \\ \frac{\partial p}{\partial y} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (4.4)$$

Рівності (4.4) справедливі для баричного центру в будь який момент часу, відповідно, можна записати

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial p}{\partial x} &= \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial p}{\partial x} + c_x \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial p}{\partial x} + c_y \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial p}{\partial x} = 0; \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial p}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial p}{\partial y} + c_x \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial p}{\partial y} + c_y \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial p}{\partial y} = 0, \end{aligned} \quad (4.5)$$

де  $c_x, c_y$  – складові вектора миттєвої швидкості  $\vec{c}$  переміщення баричного центру відносно осей  $OX$  і  $OY$ .

Якщо врахувати, що для центру циклону (антициклону), як правило, є справедливою умова  $\frac{\partial^2 p}{\partial x \partial y} = 0$ , отримаємо

$$\left. \begin{aligned} c_x &= - \frac{\frac{\partial^2 p}{\partial x \partial t}}{\frac{\partial^2 p}{\partial x^2}}; \\ c_y &= - \frac{\frac{\partial^2 p}{\partial y \partial t}}{\frac{\partial^2 p}{\partial y^2}}. \end{aligned} \right\} \quad (4.6)$$

У баричних центрах окреслених круговими ізобарами  $\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = k$ .

Тоді формули (4.6) приводять до вигляду

$$\left. \begin{aligned} c_x &= - \frac{1}{k} \frac{\partial^2 p}{\partial x \partial t} = - \frac{1}{k} \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial p}{\partial t}; \\ c_y &= - \frac{1}{k} \frac{\partial^2 p}{\partial y \partial t} = - \frac{1}{k} \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial p}{\partial t}. \end{aligned} \right\} \quad (4.7)$$

З аналізу цих формул виходить наступне прогностичне правило: циклон (антициклон) з круговими ізобарами переміщується по напрямленню ізобаричного градієнту у бік падіння (зростання) тиску.

В тих випадках, коли центр баричного утворення окреслений еліптичними ізобарами, осі  $OX$  і  $OY$  зручно спрямовувати по великій і малій осям еліпсу відповідно (рис. 4.2).



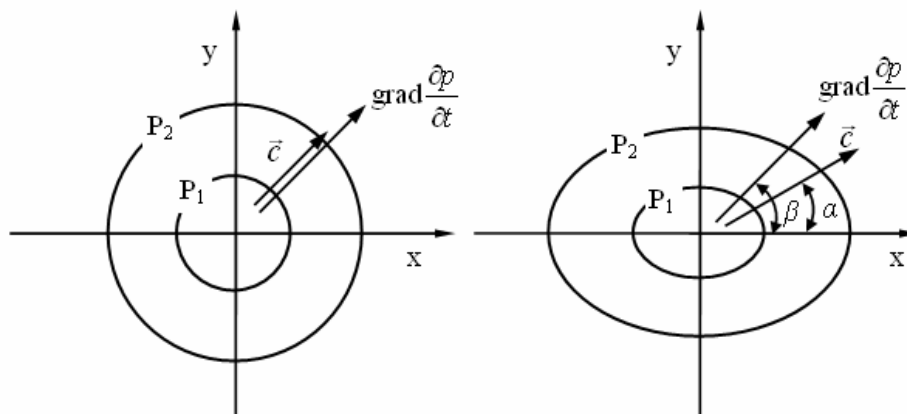


Рис. 4.2 – Напрямок переміщення центру циклону при кругових та еліптичних ізобарах.

Тоді кут відхилення вектору переміщення центру від осі  $Ox$  можна визначити через тангенс кута  $\alpha$ :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{c_y}{c_x} = \frac{\frac{\partial^2 p}{\partial y \partial t}}{\frac{\partial^2 p}{\partial x \partial t}} = \frac{\frac{\partial^2 p}{\partial x^2}}{\frac{\partial^2 p}{\partial y^2}} \operatorname{tg} \beta, \quad (4.8)$$

де кут  $\beta$  – кут між вектором ізолобаричного градієнту і віссю  $Ox$  (рис. 4.2).

Таким чином, з формули (4.8) виходить, що напрям руху циклону (антициклону) з ізобарами еліптичної форми лежить між напрямом ізолобаричного градієнту і великою віссю еліпсу.

*Способи, що передбачають сумісне використання приземних карт погоди і карт баричної топографії*

В оперативній синоптичній роботі широко застосовується правило *провідного потоку*: центри циклонів і антициклонів переміщуються у напрямі достатньо сильного і стійкого повітряного потоку на рівні 3 – 6 км над ними.

На практиці за напрям провідного потоку приймають напрям ізогіпс висотної фронтальної зони (ВФЗ) на карті АТ<sub>700</sub> або АТ<sub>500</sub>. Тому це правило застосовується тільки для низьких і середніх баричних утворень.

Центри циклонів і антициклонів, осей улоговин і гребенів переміщують зі швидкістю  $c$ , пропорційної швидкості вітру  $V_p$  на відповідному рівні, тобто

$$c = kV_p. \quad (4.9)$$

Коефіцієнт  $k$  залежить від швидкості вітру (чим меншою є швидкість вітру, тим більшим є коефіцієнт  $k$ ).

Цей метод на відміну від екстраполяційного методу передбачає постійним на протязі деякого періоду не прискорення (або швидкість) руху баричної системи, а розподіл геопотенціалу обраної ізобаричної поверхні.

Метод геострофічних траєкторій застосовується для прогнозу синоптичного положення, метовеличин і явищ погоди. Він дозволяє визначити:

– звідки перемстилася (або переміститься) частинка повітря до даної точки за проміжок часу  $\Delta t'$ ;

куди перемстилася (або переміститься) частинка повітря з даної точки за проміжок часу  $\Delta t$ .

#### Контрольні питання:

1. Які існують чотири групи способів прогнозу переміщення баричних центрів?
2. Яке прогностичне правило застосовується для визначення напрямку переміщення циклону (антициклону) з круговими ізобарами?
3. Яке прогностичне правило застосовується для визначення напрямку переміщення циклону (антициклону) з ізобарами еліптичної форми?
4. Яку величину приймають за постійну при прямолінійній, а яку при криволінійній екстраполяції?
5. Що називається провідним потоком?
6. До прогнозу переміщення яких баричних утворень застосовується правило провідного потоку?

### ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

*Мета роботи:* набуття практичних навиків з розробки прогнозу переміщення баричних утворень з використанням карт погоди під час метеорологічного забезпечення авіації.

*Вихідні матеріали:*

1. Комплект карт погоди (архів АРМ синоптика).

Таблиця 4.1 – Варіанти вхідних даних

№ варіанту	дата	Приземна карта погоди	Карта баричної топографії
1	03.04.18	An_priz_Klc_QPPA98_M=0300.T4	An_AT500_PYUA50_M=0300.T4
2	17.02.19	An_priz_Klc_QPPA98_M=1700.T4	An_AT500_PYUA50_M=1700.T4
3	20.02.19	An_priz_Klc_QPPA98_M=2000.T4	An_AT500_PYUA50_M=2000.T4
4	01.03.19	An_priz_Klc_QPPA98_M=0100.T4	An_AT500_PYUA50_M=0100.T4
5	02.03.19	An_priz_Klc_QPPA98_M=0200.T4	An_AT500_PYUA50_M=0200.T4
6	03.03.19	An_priz_Klc_QPPA98_M=0300.T4	An_AT500_PYUA50_M=0300.T4
7	03.01.18	An_priz_Klc_QPPA98_M=0300.T4	An_AT500_PYUA50_M=0300.T4
8	14.02.20	An_priz_Klc_QPPA98_Mn=1400.T4	An_AT500_PYUA50_M=1400.T4
9	25.01.21	An_priz_Klc_QPPA98_Mn=2500.T4	An_AT500_PYUA50_M=2500.T4
10	26.01.21	An_priz_Klc_QPPA98_Mn=2600.T4	An_AT500_PYUA50_M=2600.T4
11	02.04.18	An_priz_Klc_QPPA98_M=0200.T4	An_AT500_PYUA50_M=0200.T4
12	05.03.20	An_priz_Klc_QPPA98_Mn=0500.T4	An_AT500_PYUA50_M=0500.T4

Завдання 1. Розробити прогноз переміщення баричного утворення на 24 години з використанням емпіричних правил.

*Рекомендації по виконанню завдання:*

1. Провести аналіз синоптичного положення:

- визначити місцеположення баричного утворення і тиск в його центрі;
- виявити особливості баричного та ізалобаричного полів;
- виявити особливості фронтальної структури;
- зробити висновок про стадію розвитку баричного утворення.

2. Відповідно до особливостей стану баричних утворень обрати емпіричні правила і зробити висновок щодо напрямку переміщення.

3. За формулою Ключарова (4.10) або Гандіна (4.11) у залежності від форми ізобар (кругова або еліптична) розрахувати довжину траєкторії переміщення баричного утворення ( $\Delta t = 24$  години).

$$L_{np} = l \cdot \frac{|P| + P}{0,5(P_1 + P_2) - P_0} \quad (4.10)$$

де  $l$  – довжина відрізка, що з'єднує точки з максимальним падінням і зростанням тиску;

$P$  і  $P$  – абсолютні величини максимальних тенденцій;

$P_1$  і  $P_2$  – тиск в точках з максимальними тенденціями;

$P_0$  – якнайменший (найбільший) тиск на лінії, що з'єднує ізалобаричні осередки поблизу до центру баричного утворення.

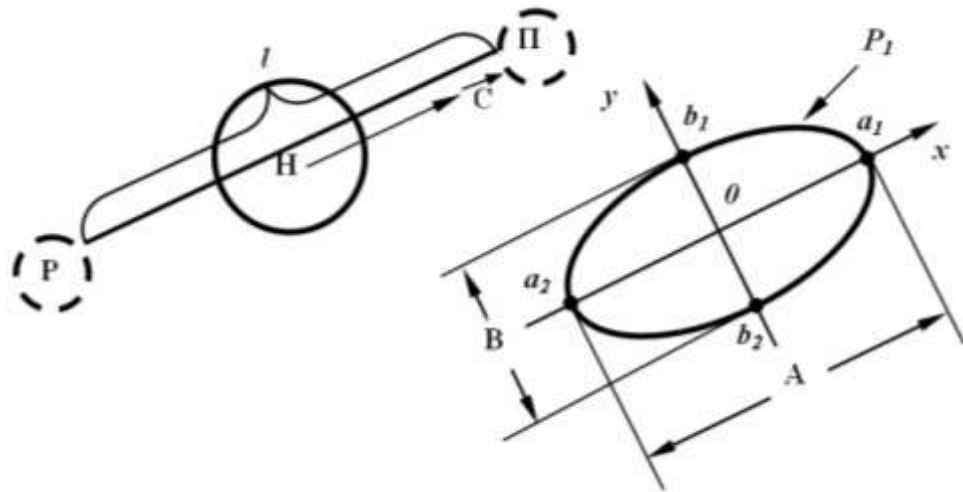


Рис. 4.1. – Розрахунок переміщення баричного центру з урахуванням розподілу тенденцій.

4. Очікувана траєкторія переміщення циклону (антициклону) позначається штриховою лінією, біля кінця стрілки підписується швидкість переміщення без розмірності.

$$L_x = A \frac{p(a_1) - p(a_2)}{P_0 - P_1}; \quad L_y = B \frac{p(b_1) - p(b_2)}{P_0 - P_1} \quad (4.11)$$

У тих випадках, коли положення центрів ізолобаричних осередків важко визначити або ці осередки розташовані не на одній прямій з центром циклону (антициклону), формули для розрахунку складових вектора  $L$  можуть бути отримані наступним чином. Необхідно обрати ізобару яка окреслює циклон (антициклон) еліптичної форми з тиском  $P_1$ , відмінним від тиску у баричному центрі  $P_0$  не менше ніж на 3-4 мбар, і спрямувати осі  $Ox$  і  $Oy$  відповідно уздовж більшої  $A$  і меншої  $B$  осей еліпсу (рис. 4.1). В точках перетину осей з обраною ізобарою  $P_1$  зняти значення баричної тенденції  $p(a_1)$ ,  $p(a_2)$  та  $p(b_1)$ ,  $p(b_2)$  відповідно.

Умовами застосовності формул Гандіна є добра освітленість полів тиску і тенденцій в області баричного центру і відсутність великих прискорень в його переміщенні за минулу добу.

#### *Звітні матеріали*

Записані в конспекті висновки стосовно аналізу синоптичного положення, напрямку і довжини траєкторії переміщення циклону, місцеположення прогностичного центру циклону (*аналогічно прикладу*).

### Приклад

Приземна карта за 06 год. 25 січня (атлас з «Авіаційної метеорології»), циклон в районі Херсона.

1. Аналіз синоптичного положення. Циклон з тиском в центрі близько 1008 гПа розташовується в районі станції Херсон. В області циклону є одна замкнута ізобара, дві гілки арктичного і полярного фронту з широким теплим сектором, добре виражена ізалобарична пара.

Висновок: Даний циклон температурно-несиметричний, рухомий, знаходиться у другій стадії розвитку, низьке або середнє баричне утворення.

2. Використання інформації приземної карти тільки за один строк дозволяє застосувати емпіричні правила. Для прогнозу напряму переміщення центру циклону, розташованого в районі станції Херсон, використовуємо правило ізалобаричної пари. Циклон переміщуватиметься в північно-східному напрямі.

3. Оскільки центри ізалобаричних осередків розташовані на одній прямій з баричним центром і рівновіддалені від нього, а ізобара має приблизно кругову форму, для розрахунку прогностичної траєкторії можна використати формулу Ключарова:

$$L_{np} = l \cdot \frac{|P| + P}{0,5(P_1 + P_2) - P_0} = 1200 \cdot \frac{3,0 + 2,3}{0,5(1016,5 + 1011,5) - 1008,1} = 1078 \text{ км}$$

4. Очікувана траєкторія позначається штриховою лінією, біля кінця стрілки підписується швидкість переміщення без розмірності.

$$V = \frac{L_{np}}{\Delta t} = \frac{1078}{24} \approx 45 \text{ км/год.}$$

Завдання 2. Розробити прогноз переміщення баричного утворення з використанням методів екстраполяції.

Лінійна екстраполяція використовується у тому випадку, коли вважається, що центр баричного утворення (ділянка фронту) переміщуватиметься з тією ж швидкістю  $V$  та у тому ж напрямі, як і в попередній проміжок часу.

$$V = L/\Delta t = \text{const},$$

де  $L$  – відстань яку проходить баричне утворення за проміжок часу  $\Delta t$ . За умов, що  $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_{np}$ , дотримується наступне рівняння рис.4.2:

$$L_1 = L_2 = L_{np},$$

в інших випадках прогностична відстань переміщення баричного утворення має вигляд:

$$L_{np} = V \Delta t_{np},$$

Швидкість та напрям переміщення визначається шляхом використання двох або декількох послідовних карт за попередні строки

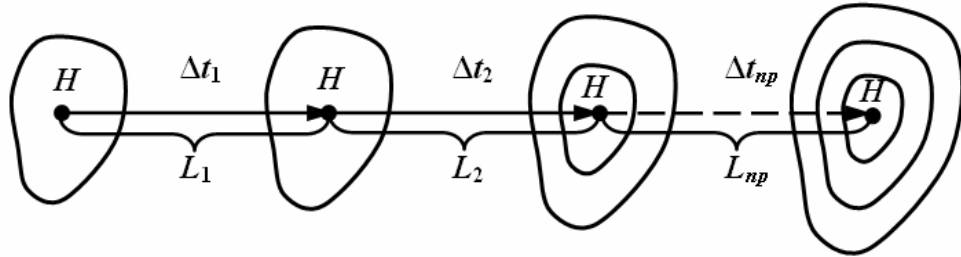


Рис. 4.2. – Прогноз переміщення циклону з використанням методу лінійної екстраполяції

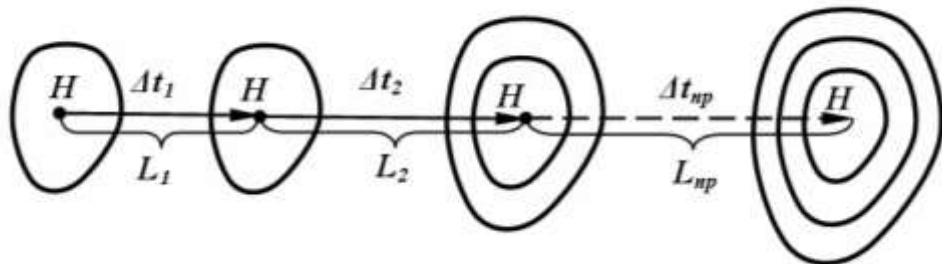


Рис. 4.3 – Прогноз переміщення циклону з використанням методу нелінійної екстраполяції.

Нелінійна екстраполяція дозволяє уточнити розрахунок очікуваного положення об'єкту. Приймається умова, що він буде зміщуватись з постійним прискоренням, яке визначається за зміною швидкості та напрямку у два послідовні проміжки часу рис. 4.3. При цьому вважається також, що кут відхилення залишається постійним. За даними карт погоди знаходять значення  $L_1$  та  $L_2$  – відстані на які перемістилося баричне утворення за два попередніх, рівних проміжки часу. При визначенні  $L_{np}$  на прогностичний проміжок часу, вважається, що прискорення залишиться незмінним, тобто  $L_{np} - L_2 = L_2 - L_1$ . Формула розрахунку  $L_{np}$  матиме вигляд:

$$L_{np} = V_2 \Delta t_{np} + a \frac{\Delta t_{np}^2}{2}, \text{ де } a = \frac{V_2 - V_1}{\Delta t_{np}}$$

*Рекомендації по виконанню завдання:*

1. Провести аналіз карт погоди.
2. Визначити довжину траєкторій переміщення баричного утворення за попередні строки.
3. Розрахувати швидкість та прискорення переміщення баричного утворення.
4. Зробити висновок про майбутнє положення баричного утворення.

*Звітні матеріали*

Записані в конспекті висновки про майбутнє положення циклону (аналогічно до прикладу).

Завдання 3. Розробити прогноз переміщення баричного утворення на 6 і 12 годин з використанням приземних карт і карт баричної топографії.

*Вихідні матеріали.*

1. Приземна карта за 06 год. 30 листопаду (атлас по «Авіаційній метеорології»).
2. Карты баричної топографії: АТ<sub>850</sub>, АТ<sub>700</sub>, АТ<sub>500</sub>, ОТ<sub>1000</sub><sup>500</sup> за 03 год. 30 листопаду.

*Рекомендації по виконанню завдання:*

1. Провести аналіз термобаричної структури баричного утворення.
2. Перенести центр баричного утворення на обрану карту баричної топографії (залежно від того яке це баричне утворення) і визначити напрям його зсуву (уздовж ізогіпс карти баричної топографії).
3. Розрахувати швидкість переміщення центру циклону (антициклону) за формулою 4.9, де,  $k$  – коефіцієнт переносу, який в середньому на АТ<sub>850</sub>  $\approx 0,9$ ; на АТ<sub>700</sub>  $\approx 0,8$ ; на АТ<sub>500</sub>  $\approx 0,6$ ; на ОТ<sub>1000</sub><sup>500</sup>  $\approx 0,5$ .
4. Розрахувати довжину прогностичної траєкторії переміщення циклону  $L_{np} = C \cdot \Delta t$ , де  $\Delta t$  – завчасність прогнозу (год.).
5. Позначити прогностичну траєкторію переміщення циклону.
6. Зробити висновок про майбутнє положення баричного утворення.

### *Звітні матеріали*

Записані в конспекті висновки про майбутнє положення циклону (аналогічно прикладу).

#### *Приклад*

1. Приземна карта за 06 год. 25 січня (Атлас з авіаційної метеорології).

2. Карти баричної топографії: АТ<sub>850</sub>, 700, 500, ОТ<sub>1000</sub><sup>500</sup> за 03 год. 25 січня.

1. Циклон, розташований в районі станції Херсон, є низьким, температурно-несиметричним, рухомим баричним утворенням. Знаходиться в другій стадії розвитку.

2. Виходячи з аналізу синоптичної ситуації, для прогнозу переміщення циклону, використовуватимемо карту АТ<sub>700</sub>. Циклон зміщуватиметься у напрямі ізогіпс цієї карти, тобто у північно-східному напрямі.

3. Розрахуємо швидкість переміщення. Визначимо середню швидкість переміщення по трьох точках на карті АТ<sub>700</sub> над центром циклону

$$v_{700} = \frac{25 + 20 + 23}{3} \approx 22,5 \text{ м/с} \approx 81 \text{ км/год}$$

$$C = 0,8 \cdot 81 \approx 65 \text{ км/год.}$$

4. Розрахуємо довжину прогностичної траєкторії переміщення  
 $L_{np} = C \cdot \Delta t$

$$L_{np+6} = 65 \cdot 6 = 390 \text{ км,}$$

$$L_{np+12} = 65 \cdot 12 = 780 \text{ км}$$

5. Позначимо прогностичну траєкторію у вигляді переривистої стрілки в північно-східному напрямі з урахуванням масштабу карти.

#### Прогностичні висновки.

Центр циклону, розташований в районі станції Херсон, через 6 годин розташовуватиметься на відстані 80-100км на південний схід від Харкова, а через 12 годин на захід від Урюпинська.

Завдання 4. Розробити прогноз переміщення баричного утворення на 24 і 32 годин з використанням методу провідного потоку.

#### *Вихідні матеріали.*

1. Приземна карта погоди.



2. Карти баричної топографії: АТ<sub>850</sub>, АТ<sub>700</sub>, АТ<sub>500</sub>, ОТ<sub>1000</sub><sup>500</sup>.

3. Прогностичні карти.

*Рекомендації по виконанню завдання*

1. Провести аналіз термобаричної структури баричного утворення.

2. Перенести центр баричного утворення на обрану карту баричної топографії (залежно від того яке це баричне утворення) і визначити напрям його зсуву (уздовж ізогіпс карти баричної топографії).

3. Розрахувати швидкість переміщення центру циклону за формулою 4,9.

4. Розрахувати довжину 12-годинної траєкторії переміщення циклону  $L_{np} = C \cdot \Delta t$ , де  $\Delta t$  – завчасність прогнозу (12 год.).

5. Отриману точку перенести на прогностичну карту баричної топографії, на якій аналогічним чином розрахувати траєкторію переміщення баричного утворення на наступні 12 і 24 години.

6. Отриману на прогностичних картах точку перенести на приземну карту погоди.

7. Позначити прогностичну траєкторію переміщення циклону.

8. Зробити висновок про майбутнє положення баричного утворення.

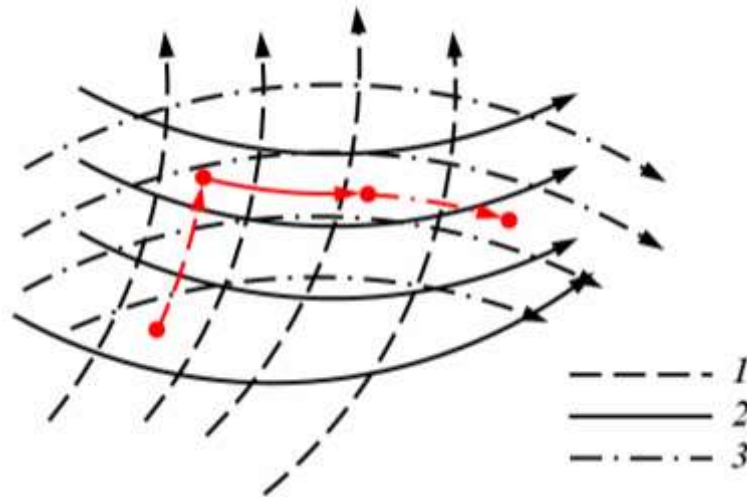


Рис. 4.3 – Визначення траєкторії частки рухомого повітря: 1 – ізогіпси вихідної карти АТ; 2 – ізогіпси прогностичної карти +24 год.; 3 – ізогіпси прогностичної карти +36 год.

*Звітні матеріали*

1. Записані в конспекті висновки про майбутнє положення циклону (аналогічно до прикладу).

## ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

### Прогноз переміщення атмосферних фронтів

#### ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

З переміщенням атмосферних фронтів пов'язані найбільш різкі змінення погодних умов. Більшість небезпечних для авіації явищ погоди виникають в результаті процесів, що відбуваються в зоні атмосферних фронтів. Прогноз переміщення атмосферних фронтів має проводитись після прогнозу переміщення і еволюції баричних утворень, оскільки швидкість переміщення фронтів повністю визначається атмосферою циркуляцією та станом баричного поля.

У залежності від характеру використовуваних вихідних даних способи прогнозу переміщення атмосферних фронтів можна умовно об'єднати аналогічно тому, як це було зроблено для баричних утворень, до трьох груп.

*Способи першої групи.* Для їх застосування необхідно знати місцеположення атмосферних фронтів.

В основі способів першої групи лежить метод формальної екстраполяції, в якому приймається за постійне прискорення фронту у попередній  $\Delta t_1$  і прогностичний  $\Delta t'$  періоди:

$$\frac{d\bar{V}}{dt} = \text{const} , \quad (5.1)$$

де  $\bar{V}$  – середня швидкість переміщення фронту.

Прийнявши  $\text{const} = 0$ , отримаємо рівномірний рух фронтальної поверхні, при якому швидкість її переміщення буде постійною і визначатиметься рівнянням

$$\frac{L}{\Delta t'} = \frac{L_1}{\Delta t_1} , \quad (5.2)$$

де  $L$  і  $L_1$  – переміщення лінії фронту за час  $\Delta t'$  і  $\Delta t_1$

Таким чином, очікуване переміщення атмосферного фронту дорівнюватиме

$$L = \frac{\Delta t'}{\Delta t_1} L_1 . \quad (5.2)$$

При такій моделі руху очікуване положення лінії фронту може бути визначеним шляхом паралельного переносу лінії фронту від положення  $a_0b_0$  (момент часу  $t_0$ ) до  $a_2b_2$  (момент часу  $t_0 + \Delta t'$ ) на відстань  $L$  (рис. 5.1).

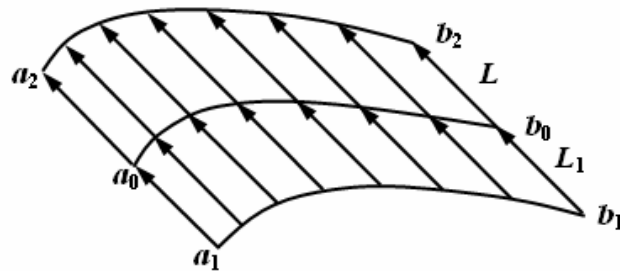


Рис.5.1 – Екстраполяційний прогноз переміщення фронту шляхом паралельного переносу: лініями  $a_1b_1$ ,  $a_0b_0$  і  $a_2b_2$  показані положення фронту у моменти  $t_0 - \Delta t$  і  $t_0 + \Delta t'$  відповідно.

Розглянутий спосіб називається *лінійною екстраполяцією*.

Інший спосіб – *нелінійної екстраполяції* – передбачає постійність не швидкості, а прискорення фронту.

Для обчислення прискорення фронту необхідна наявність трьох послідовних карт, на яких спостерігався б прогнозований фронт.

Розглянуті вище екстраполяційні схеми не можна застосовувати при прогнозі переміщення атмосферних фронтів в центральній частині стаціонарних циклонів, до цих випадків необхідно підходити за умов постійності кутової швидкості всіх точок на лінії фронту.

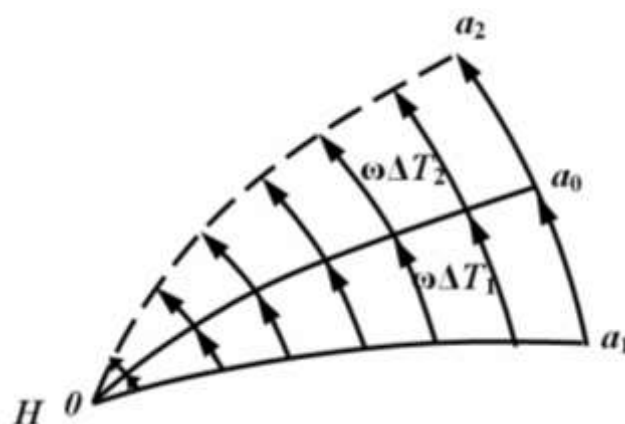


Рис. 5.2 – Екстраполяційний прогноз обертального руху фронту в центральній частині стаціонарного циклону: лініями  $Oa_1$ ,  $Oa_0$  і  $Oa_2$  показані положення фронту у моменти часу  $t_0 - \Delta t$ ,  $t_0$  і  $t_0 + \Delta t'$ .

На рисунку 5.2 представлений екстраполяційний прогноз обертального руху фронту, де лініями  $0a_1$ ,  $0a_0$  і  $0a_2$  показані положення фронту у моменти часу  $t_0 - \Delta t$ ,  $t_0$  і  $t_0 + \Delta t$ .

*Способи другої групи.* Для прогнозу переміщення атмосферних фронтів з використанням лише приземних карт погоди можна скористатися способом, що передбачає переміщення лінії фронту зі швидкістю нормальною до фронту складової геострофічного вітру  $V_g$ , обчисленій по ізобарах біля поверхні землі. Емпірично встановлено, що теплі фронти переміщуються зі швидкістю, складової 0,6 – 0,8 від нормальної складової швидкості геострофічного вітру  $V_g$ , холодні фронти другого роду – зі швидкістю 0,7 – 0,9, холодні фронти першого роду – зі швидкістю 0,9 – 1,0. Якщо  $V_g$  визначати по фактичному полю тиску, цей спосіб буде різновидом лінійної екстраполяції, оскільки передбачає збереження швидкості, що є на даний час. Однак використання прогностичних карт погоди, дозволяє частково врахувати вплив змінення поля тиску на швидкість переміщення фронту.

*Способи третьої групи.* Прогностичні методики, що передбачають використання карт баричної топографії, є більш універсальними і ефективними. Якщо до моделі фронту застосувати принцип провідного потоку, то можна сформулювати наступне правило: кожна точка фронту біля поверхні землі переміщується уздовж ізогіпс карт АТ<sub>700</sub> (АТ<sub>500</sub>) зі швидкістю, пов'язаною зі швидкістю вітру на цій карті формулами:

$$V_{\phi} = 0.8 \cdot V_{700}; \tag{5.3}$$

$$V_{\phi} = 0.6 \cdot V_{500}.$$

де  $V$  – нормальна до фронту складова швидкості геострофічного вітру, яка визначається по складовій градієнту тиску, спрямованій уздовж лінії фронту.

У відповідності до цього правила майбутнє положення точок фронту легко визначити за методом геострофічних траєкторій.

Як і при прогнозі переміщення приземних баричних центрів, прогноз переміщення фронтів по фактичним картам АТ дає прийнятні результати на строк до 12 годин. При прогнозі на 24 години і більше доцільно використовувати прогностичні карти АТ і прогностичні траєкторії проводити декількома кроками.

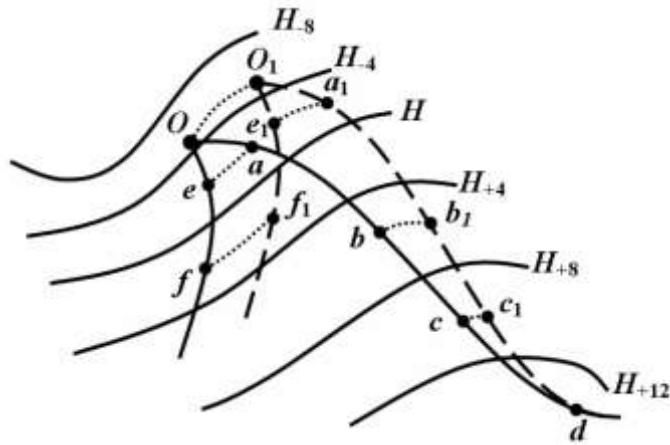


Рис. 5.3 – Приклад прогнозу переміщення атмосферного фронту з використанням карти АТ: вихідне (суцільні лінії) і очікуване (пунктирні лінії) положення фронту.

Правило провідного потоку не можна застосовувати, якщо фронт на приземній карті погоди лежить на периферії антициклону, сформованого в холодній повітряній масі, і між вітром на АТ<sub>700</sub> та біля поверхні землі спостерігається невідповідність.

#### Контрольні питання:

1. Яким чином при прогнозі переміщення атмосферних фронтів реалізується метод паралельного переносу і до якого способу він відноситься?
2. Який спосіб доцільніше використовувати при прогнозі переміщення атмосферних фронтів в центральній частині стаціонарних циклонів?
3. Яке правило необхідно використовувати якщо до моделі фронту застосувати принцип провідного потоку?
4. Які карти погоди необхідно використовувати при прогнозі на 24 години і більше?
5. В яких випадках недоцільно використовувати правило провідного потоку?

#### ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

*Мета роботи:* набуття практичних навиків з прогнозу переміщення атмосферних фронтів і повітряних мас на 6, 12 і 24 год.

Завдання 1. Виконати аналіз аеросиноптичного матеріалу.

*Вихідні матеріали:*

1. Комплект карт погоди (архів АРМ синоптика).

Таблиця 5.1 – Варіанти вхідних даних

№ варіанту	дата	Приземна карта погоди	Карта баричної топографії
1	01.09.18	An_priz_Klc_K=0100.T4	An_AT850_PYUA50_M=0100.T4
2	04.02.18	An_priz_Klc_K=0400.T4	An_AT850_PYUA50_M=0400.T4
3	28.07.17	An_priz_Klc_K=2800.T4	An_AT850_PYUA50_M=2800.T4
4	02.04.18	An_priz_Klc_K=0200.T4	An_AT850_PYUA50_M=0200.T4
5	03.11.17	An_priz_Klc_K=0300.T4	An_AT850_PYUA50_M=0300.T4
6	08.10.17	An_priz_Klc_K=0800.T4	An_AT850_PYUA50_M=0800.T4
7	18.01.18	An_priz_Klc_K=1800.T4	An_AT850_PYUA50_M=1800.T4
8	24.09.18	An_priz_Klc_K=2400.T4	An_AT850_PYUA50_M=2400.T4
9	01.02.21	An_priz_Klc_K=0100.T4	An_AT850_PYUA50_M=0100.T4
10	26.01.21	An_priz_Klc_K=2600.T4	An_AT850_PYUA50_M=2600.T4

*Рекомендації щодо виконання завдання*

1. Виконати аналіз аеросиноптичного матеріалу.

*Звітні матеріали*

Оброблений комплект аеросиноптичного матеріалу

Завдання 2. Розробити прогноз переміщення атмосферних фронтів на 6 і 12 годин

*Вихідні матеріали.*

Аналогічно завданню 1.

*Рекомендації щодо виконання завдання*

1. Розробити прогноз переміщення баричного утворення на 6 і 12 годин вперед з урахуванням розвитку баричного утворення.
2. Уточнити положення лінії фронту на приземній карті погоди, використовуючи додатково карти АТ<sub>700</sub> і ОТ<sub>1000</sub><sup>500</sup> за відповідний строк.
3. Перенести положення приземної лінії фронту на карту АТ<sub>850</sub> і обрати декілька точок, для яких визначити швидкість фактичного вітру  $v_{850}$ .
4. Розрахувати швидкість переміщення ділянок фронту по формулі (5.3).
5. Розрахувати довжину траєкторії зсуву ділянок фронту на 6 і 12 годин вперед і з урахуванням масштабу карти відкласти її паралельно до ізогіпс карти АТ<sub>700</sub> (по напрямку вітру).

6. З'єднати плавною лінією майбутнє положення центру баричного утворення і знайдених точок (за відповідні строки).

7. Використовуючи географічні координати перенести прогностичну лінію фронту з карти АТ<sub>700</sub> на приземну карту погоди.

8. Використовуючи аеросиноптичний матеріал і емпіричні правила спрогнозувати еволюцію атмосферних фронтів на 6 і 12 год.

Емпіричні правила для прогнозу еволюції атмосферних фронтів:

- швидкорухомі фронти, розташовані в плоских улоговинах, як правило, розмиваються за рахунок енергійного переміщення в зоні фронту теплих і холодних повітряних мас;

- якщо середній вологовміст стовпа повітря від землі до рівня поверхні 500 гПа в зоні фронту з часом убуває, це вказує на розмивання фронту;

- якщо область падіння спостерігається по обидві сторони від фронту, це вказує на загострення фронту, тоді як зростання тиску по обидві сторони від фронту є ознакою його розмивання;

- фронт загострюється, якщо над ним на рівнях 700 і 500 гПа спостерігається розбіжність потоків, а падіння тиску перед фронтом є більшим, ніж зростання за ним;

- фронт розмивається, якщо над ним на рівнях 700 і 500 гПа спостерігається збіжність потоків, а падіння тиску перед фронтом є меншим ніж зростання за ним;

### *Звітні матеріали*

1. Розрахунки, представлені на зворотному боці карти АТ<sub>850</sub>.

1. Графічний прогноз фронтів арктичної системи через 6 і 12 годин на приземній карті з позначенням напрямку руху і швидкості.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА №3

### Прогноз переміщення та інтенсивності тропосферних струминних течій

#### ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

*Струминна течія* (СТ) представляє собою сильний вузький потік з майже горизонтальною віссю в верхній тропосфері або нижній стратосфері, який характеризується великими горизонтальними і вертикальними зсувами вітру, одним або більше максимумами в швидкості вітру

В практиці метеорологічного забезпечення авіації використовується прогностична інформація про просторове розташування СТ і максимальну швидкість вітру в СТ.

Струминні течії, як правило, пов'язанні з висотними фронтальними зонами (ВФЗ). Якісні висновки про переміщення ВФЗ при прогнозі СТ можна зробити, використовуючи наступні емпіричні правила:

- якщо в меридіонально спрямованій ВФЗ спостерігаються швидкості вітру 200 км/год. і більше, то її вісь і вісь СТ зазвичай мають тенденцію до значних переміщень;
- велика неоднорідність швидкостей вітру уздовж СТ при збіжності або розбіжності ізогіпси у ВФЗ є ознакою початку суттєвих перетворень цієї зони струминної течії;
- ділянка СТ, на якій попереду потоку розташований від'ємний, а позаду додатний ізалобаричний осередок, погортатиме вправо;
- ділянка СТ, на якій попереду потоку розташований додатний, а позаду від'ємний ізалобаричний осередок, погортатиме вліво.

Одним з методів прогнозу горизонтального переміщення вісі струминної течії є метод Рейтера. Метод передбачає припущення, що струминна течія, а відповідно, і його вісь переміщується разом з осередненим по великій площині потоком на поверхні 300 гПа. Вихідним матеріалом для складання прогнозу є карти максимального вітру на поверхні АТ<sub>300</sub> за вихідний строк.

Для прогнозу інтенсивності і висоти струминної течії на 24 години можна скористатися методом прогнозу висоти і рівня максимального вітру, запропонованим Петренко. В якості вихідних матеріалів використовується карта максимального вітру у вихідний момент часу, прогностичні карти АТ<sub>500</sub> і АТ<sub>300</sub> і результати прогнозу горизонтального переміщення вісі струминної течії. Точки, для яких виконуються розрахунки по визначенню висот вісі струминної течії і швидкості на ній, обираються на прогностичній вісі.



### Контрольні питання:

1. Що називається струминною течією?
2. Які емпіричні правила застосовують при прогнозі переміщення струминних течій?
3. На яких припущеннях базується метод Рейтера?
4. Який вихідний матеріал використовується під час прогнозу інтенсивності і висоти струминної течії за методом Петренко?

### ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

*Мета роботи:* набуття практичних навиків з розробки прогнозу переміщення та інтенсивності тропосферних струминних течій.

*Завдання 1.* Розробити прогноз переміщення вісі струминної течії із завчасністю 24 год. за способом Рейтера.

*Вихідні матеріали.*

1. Карти баричної топографії АТ<sub>300</sub> (АРМ синоптика).
2. Прогностичні карти баричної топографії АТ<sub>300</sub> і АТ<sub>500</sub> (АРМ синоптика).

Таблиця 6.1 – Варіанти вхідних даних

№ варіанту	Дата	№ варіанту	Дата
1	07.11.19	6	15.10.19
2	08.11.19	7	15.10.19
3	14.11.19	8	25.10.19
4	15.11.19	9	19.09.19
5	07.10.19	10	20.09.19

*Рекомендації по виконанню завдання:*

1. На карті АТ<sub>300</sub> визначити вісь струминної течії або перенести вісь струминної течії з карти максимального вітру.
2. Обрати уздовж проекції вісі струминної течії розрахункові точки (0). Кількість таких точок є тим більшою, чим більше викривлена вісь струминної течії і чим більш неоднорідним є поле ізогіпс карти АТ<sub>300</sub> поблизу до вісі струминної течії.
3. На вихідній карті АТ<sub>300</sub> розраховуються складові усередненого потоку  $C_{\text{мер}}$  і  $C_{\text{зон}}$ .

Меридіональна складова усередненого потоку  $C_{\text{мер}}$  (у градусах широти) в точці 0 розраховується за формулою 6.1, а зональна складова усередненого потоку  $C_{\text{зон}}$  (у градусах довготи) – за формулою 6.2:

$$C_{\text{мер}} = 0,1 \cdot [(H_3 - H_1) + (H_5 - H_4) + (H_8 - H_6)]; \quad (6.1)$$

$$C_{\text{зон}} = 0,1 \cdot [(H_6 - H_1) + (H_7 - H_2) + (H_8 - H_3)], \quad (6.2)$$

де  $H_{1...8}$  - значення геопотенціалу (дам) на АТ<sub>300</sub> в точках 1, 2, ..., 8, які визначаються за допомогою палетки (Рис. 6.1).

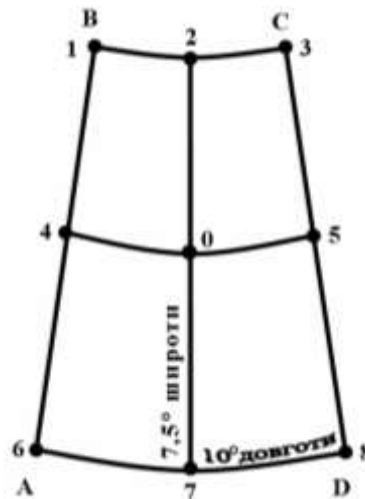


Рис. 6.1 – Палетка для обчислення  $C_{\text{мер}}$  і  $C_{\text{зон}}$ .

4. Після розрахунку  $C_{\text{мер}}$  і  $C_{\text{зон}}$  необхідно відкласти вектори на карті АТ<sub>300</sub>, як показано в прикладі (Рис. 6.3).

При додатному значенні  $C_{\text{мер}}$  з точки 0, паралельно до меридіан, відкладають вектор  $C_{\text{мер}}$ , направлений на північ, при від'ємному – на південь. Додатне значення  $C_{\text{зон}}$  вказує на зсув, паралельно до широт, на схід, від'ємне – на захід. Векторна сума складових визначає прогнозоване місцеположення точки 0 через 24 год. Аналогічні розрахунки виконуються для ряду інших обраних точок.

5. Після отримання нових положень точок їх необхідно з'єднати. Очікуване положення вісі струминної течії через 24 години визначається шляхом з'єднання нового положення обраних точок плавною пунктирною лінією (Рис. 6.2).

### *Звітні матеріали*

1. Прогностичне положення вісі струминної течії. (аналогічно прикладу).

Завдання 2. Розробити прогноз інтенсивності і висоти вісі струминної течії із завчасністю 24 год. за способом Петренка.

*Вихідні матеріали.*

Аналогічно до попереднього завдання.

1. На карті АТ<sub>300</sub> на прогностичній вісі струминної течії обрати точки по яких виконуватимуться розрахунки по визначенню висот вісі струминної течії і швидкості на ній.

2. Розрахувати значення висот і швидкостей для обраних точок з а наступними формулами:

$$H_T = \frac{V_{300} - V_{500} + \Gamma_a H_{300} + \Gamma_b H_{500}}{\Gamma_a + \Gamma_b},$$

$$V_T = \frac{V_{300} + V_{500} \Gamma_a / \Gamma_b + 3,6 \Gamma_a}{1 + \Gamma_a / \Gamma_b},$$

де  $V_T$  – швидкість вітру на вісі струминної течії (у м/с);

$H_T$  – висота вісі струминної течії (у гп. дам);

$V_{300}, V_{500}$  – швидкості вітру у м/с на відповідних ізобаричних поверхнях на обраних точках прогностичної вісі струминної течії;

$H_{300}, H_{500}$  – значення висоти у гп. км в тих самих точках;

$\Gamma_b$  – абсолютний вертикальний градієнт вектору швидкості вітру в шарі 1 гп. км між поверхнею 500 гПа і рівнем максимального вітру;

$\Gamma_a$  – абсолютний вертикальний градієнт вектору швидкості вітру в тому ж шарі між поверхнею 300 гПа і рівнем максимального вітру.

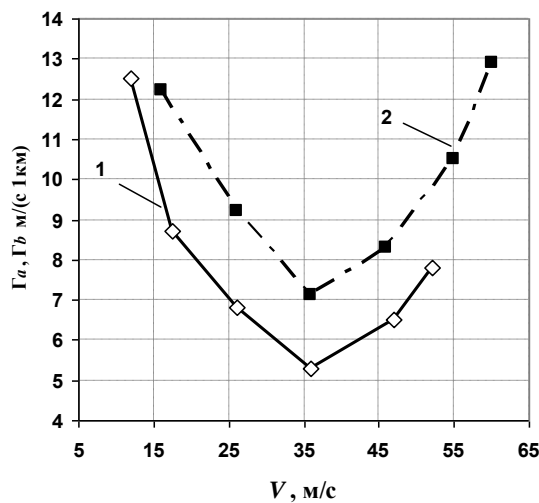


Рис. 6.2 – Залежність середніх значень  $\Gamma_b$  від швидкості вітру на ізобаричній поверхні 500 гПа (1) і  $\Gamma_a$  від швидкості вітру на ізобаричній поверхні 300 гПа (2) (по Петренко).

3. Середні значення  $\Gamma_b$  і  $\Gamma_a$  визначити по графікам, що описують емпіричну залежність  $\Gamma_b$  і  $\Gamma_a$  від швидкості вітру на прогностичних картах АТ<sub>500</sub> АТ<sub>300</sub>. приклад такого графіка наведений на рис. 6.2.

4. Розраховані значення швидкостей і висот для обраних точок оформити у вигляді таблиці.

#### *Звітні матеріали*

1. Позначенні на карті з відображеною прогностичною віссю струминної течії точки по яким походилися розрахунки.

2. Розраховані значення швидкостей і висот для обраних точок оформити у вигляді таблиці.

Приклад: Розробити прогноз переміщення вісі струминної течії на добу за способом Рейтера.

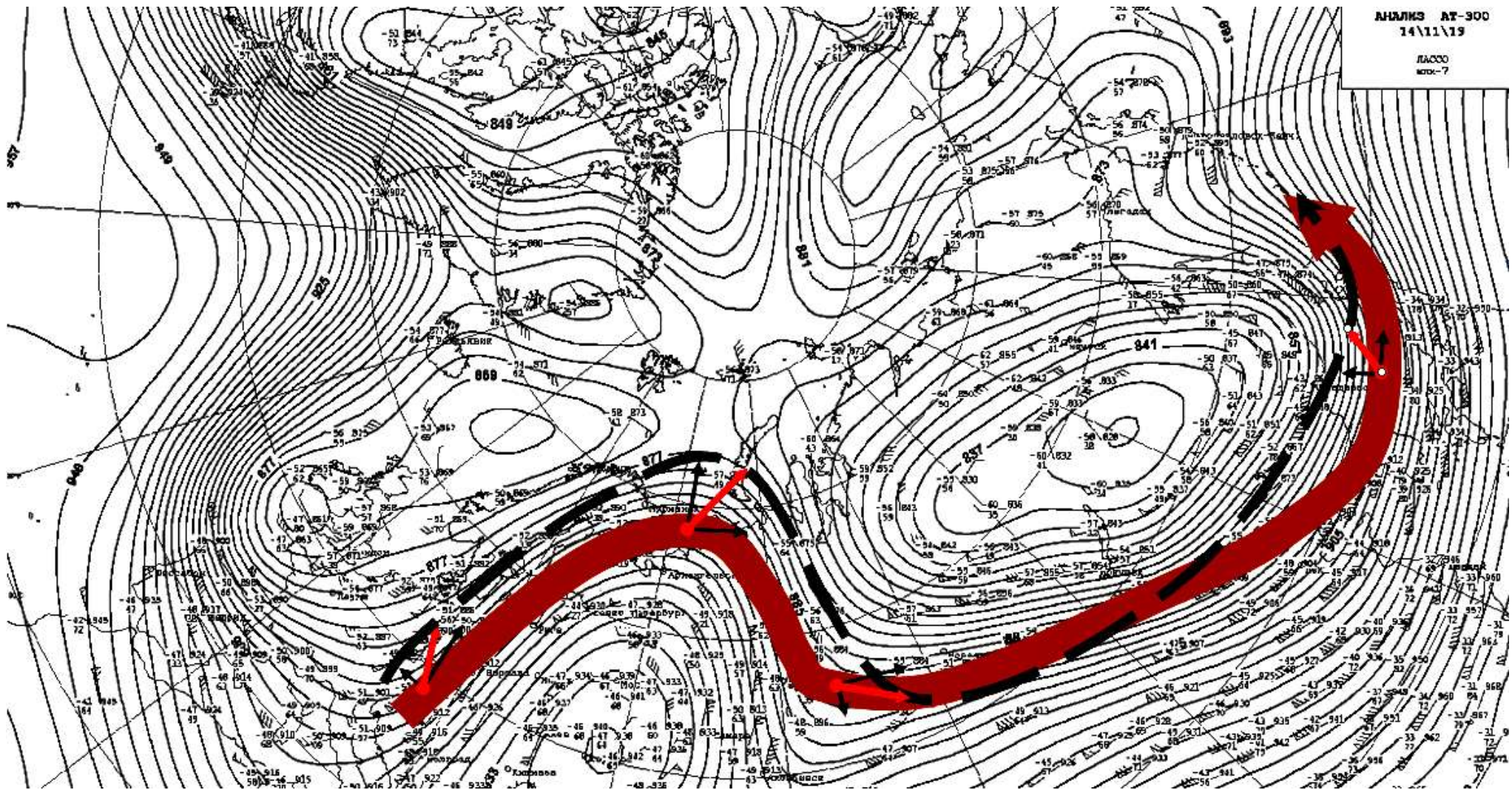


Рис. 6.2 – Приклад прогнозу струминної течії: суцільна смуга – фактичне положення СТ; пунктирна лінія – прогностичне положення СТ

## ЛІТЕРАТУРА

1. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – С. 546-576.
2. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – С. 336-393, 454-461.
3. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды, ч.1. Л.: Гидрометиздат, 1986. – С. 147-263.
4. Руководство по практическим работам метеорологических подразделений авиации Вооруженных Сил СССР. М.: Воениздат, 1981. 376 с.

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
для практичних робіт з навчальної дисципліни  
«Авіаційні прогнози погоди»  
**на тему: «Прогноз синоптичного положення»**  
для студентів денної форми навчання спеціальності 103 «Науки про Землю»,  
рівень вищої освіти бакалавр

Укладачі: к.ф.-м.н. Мансарлійський В.Ф.

Електронна версія © Мансарлійський В.Ф.