

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
для чергувань в НБП
з дисципліни “Синоптична метеорологія”

на тему
«КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ АТМОСФЕРНИХ ФРОНТІВ»

Затверджено на засіданні
методичної комісії ГМІ
протокол №__ від _____

Одеса 2013

Методичні вказівки для чергувань в Навчальному бюро погоди (НБП) з дисципліни «Синоптична метеорологія» для студентів III та IV курсів денної форми навчання

Напрямок підготовки: гідрометеорологія, шифр 6.040105, 7.040105

Кафедра: теоретичної метеорології та метеорологічних
прогнозів Одеського державного екологічного
університету ОДЕКУ, Одеса, 2013 р., укр., 33 с.

Укладач: Нажмудінова Олена Миколаївна, к.геогр.н., доц.

ВСТУП

Чергування в навчальному бюро погоди (НБП) за темою «Комплексний аналіз атмосферних фронтів» ґрунтується на методиках аналізу і прогнозу виникнення, еволюції та переміщення атмосферних фронтів з комплексним використанням базової аеросиноптичної інформації (фактичні та прогностичні карти погоди і карти баричної топографії; дані наземних спостережень і радіозондування атмосфери; інформація зі штучних метеорологічних супутників Землі).

Метою чергування є вивчення характеристик та властивостей об'єктів синоптичного аналізу – атмосферних фронтів; методів прогнозу і еволюції фронтальних розділів та явищ погоди фронтального походження.

За результатами виконання завдань студент повинен:

Знати

- ознаки виявлення атмосферних фронтів на картах погоди;
- умови виникнення, еволюції та переміщення фронтальних розділів;
- фізичні закономірності розвитку атмосферних процесів та передбачення можливих змін умов погоди, пов'язаних з фронтальною діяльністю.

Вміти

- визначати на картах погоди положення атмосферних фронтів та пов'язані з ними явища погоди.

Чергування виконується студентами за планом чергувань в навчальному бюро погоди.

Список літератури

1. Нажмудінова О.М. Синоптична метеорологія: Конспект лекцій. Одеса: Екологія, 2011. 76 с.
2. Практикум з синоптичної метеорології: Навчальний посібник / Під ред. Г.П. Івус, С.М. Іванової. Одеса: Вид-во «ТЭС», 2004. 419 с.
3. Хохлов В.М. Аналіз та прогноз розвитку повітряних мас, атмосферних фронтів та баричних утворень (конспект лекцій). Одеса: ТЭС, 2004. 125 с.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ, ОЗНАЧЕННЯ, ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРНИХ ФРОНТІВ

При зближенні повітряних мас з різними характеристиками у зоні між ними збільшуються горизонтальні градієнти температури повітря, вологості, тиску, зростає швидкість вітру. Між масами виникає **погранична зона, або фронт**. Синоніми – **фронтальна зона, фронтальний шар, фронтальний розділ, фронтальна система, фронтальна поверхня**.

Атмосферні фронти (АФ) – це особливі вузькі перехідні зони між повітряними масами, що розрізняються за розмірами, особливостями переміщення, вертикальною і горизонтальною будовою, умовами погоди.

Перехідна зона на висотах може досягати **200-500 км**. Горизонтальна і вертикальна довжина фронтальних поверхонь має той же порядок, що і довжина повітряних мас, що вони розділяють. У тропосфері **довжина зони фронту вимірюється тисячами км, ширина - сотнями км**. Товщина фронтальної поверхні по вертикалі дуже мала - кілька сотень метрів, це набагато менше, ніж ширина самих повітряних мас.

Приземна синоптична карта є найбільш важливою для аналізу фронтів. Ширина фронтальної зони на приземній карті унаслідок впливу сил тертя приблизно в два рази вужча, ніж на АТ-850, тобто її легше знайти. Тільки деякі, особливо різкі фронти вдається виділити на картах АТ-700 і АТ-500. Ширина зони фронту на картах погоди складає кілька десятків кілометрів, але при аналізі синоптичних карт фронт проводять у вигляді однієї лінії. Лише на вертикальних розрізах атмосфери великого масштабу можливо виявити верхню і нижню границі перехідного шару.

У полях температури і вітру фронти найбільш чітко виражені біля поверхні землі в системі циклонів, що розвиваються, і баричних улоговинах. В області антициклонів чи гребенів при низхідних рухах атмосферні фронти розмиваються і не визначаються.

ВИСОТНІ ФРОНТАЛЬНІ ЗОНИ

На картах баричної топографії у середній та верхній тропосфері, а також у стратосфері, виявляються зони згущення ізогіпс, які визначаються як синоптичні об'єкти планетарного масштабу, так звані, **висотні фронтальні зони (ВФЗ)**.

ВФЗ - це перехідна область між високими холодними циклонами (улоговинами) та високими теплими антициклонами (гребенями) у вільній атмосфері. Положення ВФЗ визначають за картами ВТ-500/1000, АТ-500, АТ-300 або АТ-200.

Одночасно зі згущенням ізогіпс в області ВФЗ, як правило,

спостерігається згущення ізотерм на картах абсолютної топографії (АТ) або згущення ізогіпс на картах відносної топографії (ВТ). Тотожності між ВФЗ та зоною найбільших температурних контрастів немає.

У ВФЗ напрям ізотерм з висотою змінюється мало; вітер прагне прийняти напрям паралельний ізотермам середньої температури шару повітря, що знаходиться нижче, й посилюється при переході до струминної течії (СТ) у верхній частині тропосфери. Таким чином, ВФЗ характеризуються як великими горизонтальними градієнтами температури, так і значною швидкістю вітру.

Однозначного зв'язку між ВФЗ та тропосферними фронтами не існує. Нерідко два приблизно паралельних один одному фронти, добре виявлені у нижній тропосфері, у верхніх шарах з'єднуються в одну широку фронтальну зону. У цей же час не завжди при наявності ВФЗ існує фронт біля поверхні землі. На практиці одній і тій же ВФЗ біля поверхні землі можуть відповідати кілька систем фронту. Така ситуація можлива при великих градієнтах на окремих ділянках ВФЗ, що визначається її **динамічною значимістю – $16\text{ }^{\circ}\text{C}/1000\text{ км}$ або $16\text{ дам}/1000\text{ км}$, при збільшенні градієнтів до подвійних значень і більше – $32, 36, 40\text{ }^{\circ}\text{C}/1000\text{ км}$** – на приземних картах можна проводити дві паралельні системи фронтів на певній відстані одна від одної з поділом різних за властивостями повітряних мас.

Центральна ізогіпса ВФЗ називається **осьовою ізогіпсою**. Частина ВФЗ, обернена у бік низького тиску від осьової ізогіпси називається **циклонічною периферією ВФЗ**, а частина, обернена у бік високого тиску – **антициклонічною периферією ВФЗ**. Поняття цикло- і антициклонічної периферії ніяк не пов'язане з кривизною ізогіпс.

Частина ВФЗ, де вздовж потоку спостерігається збіжність ізогіпс, називається входом ВФЗ, а частина ВФЗ, де спостерігається розбіжність ізогіпси - дельтою ВФЗ.

У відповідності до типу головного фронту в Північній півкулі виділяють ВФЗ: арктичні і помірних широт.

У межах деякого широтного поясу північної півкулі може виникати кілька областей збіжності потоків, які можуть зливатися в єдину ВФЗ і в середній та верхній тропосфері опоясувати усю Півкулю Землі або переважну її частину. Таку систему ВФЗ називають **планетарна ВФЗ (ПВФЗ)**. Встановлено, що у всі сезони в Північній півкулі існує 4 типи ПВФЗ, які із врахуванням переважаючого широтного положення називаються: арктична, північна помірних широт, південна помірних широт, субтропічна. Відзначається сезонна суттєва зміна положення і інтенсивності ПВФЗ: зміщення від зими до літа у північному напрямі і зменшення інтенсивності.

КЛАСИФІКАЦІЇ АТМОСФЕРНИХ ФРОНТІВ

Класифікації АФ базуються на урахуванні ряду характерних ознак.

1) за циркуляційною значущістю і просторовою протяжністю виділяють АФ:

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

До **основних** належать фронти, які розділяють повітряні маси, що суттєво відрізняються за своїми властивостями, тобто переважно повітряні маси різних географічних типів. Вони, як правило, є **тропосферними (високими)**, мають велику горизонтальну довжину - кілька тисяч км, і вертикальну - кілька км, простежуються і на приземній карті, і на картах баричної топографії, існують впродовж декількох діб.

Контраст температури в зоні основного фронту на приземній карті погоди перевищує $5^{\circ}\text{C}/100\text{ км}$. У зоні ВФЗ, пов'язаній з основним фронтом, градієнти геопотенціалу в середній тропосфері (ВТ-500/1000) складають $\geq 8^{\circ}\text{C}/1000\text{ км}$. Одночасно спостерігається кілька розділів або систем основних фронтів, часто розташованих на різних широтах.

Вторинними (низькими) називаються АФ, що поділяють частини однієї і тієї ж повітряної маси. Вторинні фронти мають невелику горизонтальну довжину - кілька сотень км, вертикальна протяжність становить 1,0...1,5 км - на картах баричної топографії вторинні фронти не простежуються; нерідко спостерігаються в тилу циклону за основним фронтом; існують не більше 1-2 діб, не пов'язані з ВФЗ.

Верхні АФ виникають на деякій висоті в тропосфері, на приземних картах не виявляються. Ці фронти можуть бути визначені за характером хмарності та опадами або одночасно і за полем температури на якомусь рівні в тропосфері. Вони можуть утворитися внаслідок розмивання фронту біля поверхні землі, який ще деякий час зберігається на висотах, або сформуватися на висотах, не досягаючи землі.

2) За особливостями переміщення, вертикальної будови і умовами погоди розрізняють АФ:

- прості: теплі, холодні, малорухомі;
- складні, або фронти оклюзії - теплі, холодні, нейтральні.

Теплими (ТФ) називаються фронти, які переміщуються у бік більш холодного повітря. За теплим фронтом рухається тепла повітряна маса.

Холодними (ХФ) є фронти, що переміщуються у бік більш теплого повітря. За холодним фронтом рухається холодна повітряна маса.

АФ поділяються на поверхні висхідного і низхідного ковзання теплого повітря.

Якщо тепле повітря піднімається відносно фронтальної зони, тобто здійснює висхідне ковзання вздовж клину холодного повітря, такий фронт називається **анафронтом**; якщо тепле повітря опускається - здійснює низхідне ковзання вздовж клину холодного повітря - це **катафронт**. Практично той самий фронт може бути на різних рівнях анафронтом і катафронтом. До анафронтів відносять усі теплі фронти і холодні фронти, що повільно зміщаються, до катафронтів - холодні фронти, що швидко зміщаються.

Фронти разом з повітряними масами рухаються зі швидкістю до 30-35 км·год⁻¹. За певних умов атмосферні фронти можуть довгий час залишатися на місці. Фронти, які суттєво не змінюють свого положення впродовж тривалого часу, називаються **малорухомими або стаціонарними** (квазістаціонарними).

При зміні циркуляційних умов може змінитися напрямок переміщення фронту (знак фронту): ділянка теплового фронту може перетворитися в ділянку холодного, і навпаки. Також можуть почати зміщатися і ділянки малорухомого фронту.

Складними фронтами є фронти, що являють собою об'єднану систему двох атмосферних фронтів – зімкнуті фронти. У системі одного і того ж циклону холодний фронт переміщується дещо швидше теплового, внаслідок чого з часом відбувається зближення, а потім і злиття холодного і теплового фронтів - змикання - процес витіснення теплового повітря в циклоні з утворенням складного фронту. Процес змикання називається оклюдуванням, точка злиття – точкою оклюзії, а сам фронт називається **фронтом оклюзії - ФО**.

Фронти оклюзії не відносяться до основних (динамічно значимих) фронтів і простежуються до рівня АТ-850.

Відповідно до співвідношення температури повітря по обидва боки фронту оклюзії і напрямку його переміщення **розрізняють теплі і холодні фронти оклюзії. На нейтральних фронтах повітряні маси по обидва боки фронтального розділу мають приблизно однакові властивості.** У будь-якому випадку, по обидва боки ФО розташовуються повітряні маси, більш близькі за своїми властивостями, чим повітряні маси, поділені холодними або теплими фронтами, тому **ФО відносять до вторинних фронтів.** Їх горизонтальна довжина не виходить за межі одного циклона.

3) За географічними ознаками відповідно до географічної класифікації повітряних мас виділяють наступні АФ:

- **арктичний фронт (АФ)** - фронт між арктичними і полярними повітряними масами північної півкулі. Розташовується на південній межі арктичної повітряної маси.
- **полярний фронт або фронт помірних широт** - є південною межею помірної повітряної маси, що розділяє повітряні маси помірних широт і тропічне повітря.

- **внутрішньотропічна зона конвергенції (ВЗК)** - досить вузька і виражена зона збіжності між північним і південним пасатами вздовж екватора.

Всі ці типи відносяться до **кліматологічних фронтів**. **Кліматологічні фронти характеризують середнє положення фронтів визначеного типу в конкретному районі.** Розташування кліматологічних фронтів тісно зв'язано з центрами дії атмосфери.

Фронти будь-якого типу можуть бути **різко вираженими (загостреними)** або **слабко вираженими (розмитими)**. Фронти, нечітко виражені у полі якої-небудь метеовеличини називають маскованими у полі цієї величини.

НАХИЛ ФРОНТАЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ

Зближення двох різнорідних повітряних мас веде до того, що на одному і тому ж рівні виявляється повітря з різною щільністю. Така система спрямовується до взаємного розташування своїх компонент так, що її центр ваги займає найбільш низьке положення. Тому потенційно холодне повітря буде підтікати під тепле. В результаті система буде складатися з холодної повітряної маси, розташованої знизу і теплої повітряної маси, розташованої зверху. Межею поділу між ними буде виступати перехідний шар або поверхня розриву температури (щільності). В реальних умовах такий процес практично не завершується і поверхня поділу зберігає деякий нахил до горизонту. Горизонтальне положення поверхні можливе лише за умов, що сили баричного градієнта, діючі на поділяючі повітряні маси, будуть врівноважені іншими силами, наприклад силою Коріоліса. Таким чином, **атмосферний фронт являє собою похилу поверхню, оскільки фронт розділяє повітряні маси, що переміщуються одна відносно іншої.**

За інших рівних умов нахил фронтальної поверхні тим більше, чим ближче до полюсу розташований фронт. На екваторі, де параметр Коріоліса $l=0$, неможливе існування геострофічного вітру, а отже, і існування похилої поверхні стаціонарного фронту.

Порядок $\text{tg}\alpha \sim 0,01$, тобто кут нахилу фронту $\alpha \sim 1^\circ$.

При висхідному ковзанні для анафронтів виконується умова:

$$(\text{tg}\alpha)_{\text{анафр}} > (\text{tg}\alpha)_{\text{стац.}}$$

При низхідному ковзанні для катафронтів виконується умова:

$$(\text{tg}\alpha)_{\text{катафр}} < (\text{tg}\alpha)_{\text{стац.}}$$

Характерні величини: $(\text{tg}\alpha)_{\text{анафр}} \approx 0,01-0,03$; $(\text{tg}\alpha)_{\text{катафр}} \approx 0,001-0,002$.

АТМОСФЕРНІ ФРОНТИ У ПОЛЯХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ВЕЛИЧИН

Фронти у полі тиску

Атмосферні фронти в нижній тропосфері завжди пов'язані з баричними улоговинами, які можуть бути явно виражені або замасковані. В приземному шарі фронти розташовуються в системі U або V-подібних улоговин, а у вільній тропосфері – замаскованих. Це відбувається з причини того, що з висотою осі баричних улоговин зміщуються у бік більш низьких температур і зближуються з осями термічних улоговин.

Лінії фронтів проходять по осі улоговини, де ізобари мають найбільшу кривизну. Цьому сприяє збіжність повітряних течій біля поверхні землі - **конвергенція**, унаслідок якої в зоні фронту стикаються маси повітря з різними характеристиками.

Фронти не можуть розміщуватися уздовж осей баричних гребенів, де має місце розбіжність потоків. Фронт може перетинати вісь баричного гребеня перпендикулярно, змінюючи знак на осі.

З висотою контрасти температур на осі баричної улоговини зменшуються – вісь зміщується у бік більш низьких температур повітря і прагне збігтися з віссю термічної улоговини, де контрасти температури мінімальні. Так, з висотою фронт поступово відходить від осі баричної улоговини на її периферію, туди, де складаються найбільші контрасти. З цієї причини у середній і верхній тропосфері спостерігається розбіжність положення лінії висотного фронту і осей висотних улоговин. На АТ-850 фронти ще, як правило, лежать на осі баричної улоговини, а на АТ-700 і АТ-500 - зрушені на її периферію. **Холодні фронти розташовується далеко у передній частині висотної улоговини, а теплі – у тилівій.**

Оскільки на висотах ізогіпси приблизно рівнобіжні ізотермам середньої температури нижче розташованого шару, то і фронти з висотою стають усе більш паралельними ізогіпсам.

Фронти у полі вітру

Вітер на фронті, незалежно від типу фронту, обертається проти годинникової стрілки. Вплив тертя веде до того, що безпосередньо перед фронтом вітер майже паралельний фронту, а за фронтом має велику нормальну складову до фронту. Таким чином, у зоні фронту завжди спостерігається конвергенція ліній току.

Розподіл вітру в області фронту у вільній тропосфері задовільно описується геострофічною і градієнтною моделлю зв'язку поля геопотенціалу і поля вітру. Відхилення вітру від ізогіпси звичайно знаходиться у допустимих для практичних цілей межах.

Зміна вітру з висотою в зоні фронту описується моделлю термічного вітру, за якою при адвекції тепла вітер з висотою відхиляється вправо, а при адвекції холоду – вліво.

На верхніх рівнях, якщо фронт розташований на периферії великомасштабної улоговини чи області високого тиску, в його системі напрям вітру по обидва боки від лінії фронту практично однаковий, при цьому зона максимальних вітрів знаходиться лівіше (дивлячись у напрямку потоку) лінії фронту, що проходить посеред найбільших горизонтальних градієнтів температури.

Проходження фронту через пункт супроводжується зміною напрямку вітру залежно від типу фронту: **при перетині теплого фронту вітер з висотою повертає вправо, а при перетині холодного - вліво.**

При перетині стаціонарного фронту вітер з висотою різко змінює напрямок на протилежний, якщо потоки у теплій і холодній повітряній масі протилежні за напрямом, або зберігає свій напрямок, але при цьому стрибкоподібно змінюється швидкість – при однакових напрямках потоків у теплій і холодній повітряній масі. Напрямок і швидкість вітру змінюються тим різкіше, чим на меншій висоті знаходиться фронтальна поверхня.

Фронти у полі баричних тенденцій

Значення і знаки змін тиску в зоні фронту залежать від значень баричного градієнта в передній та тилівій частинах улоговини, з якою пов'язаний фронт, від швидкості переміщення улоговини та знаку її еволюції.

Фронт характеризується значними ізаллобаричними градієнтами, що пов'язані з областями падіння або росту тиску з замкнутими ізаллобаричними осередками.

При наближенні фронту на станціях спостерігається падіння тиску, а після проходження - тиск зростає. Найбільший ріст тиску має місце за ХФ, а найбільше падіння тиску - перед ТФ. Формується характерне для фронту поле баричних тенденцій у вигляді двох сполучених областей падіння і росту тиску – **ізалобарична пара.**

Якщо глибина улоговини суттєво не міняється, тоді значення тенденцій з обох сторін фронту приблизно однакові, але протилежні за знаком. При поглибленні улоговини падіння тиску може спостерігатися і за фронтом, але менше, ніж перед ним. В улоговині, яка заповнюється – тиск зростає – баричні тенденції можуть бути додатними і перед фронтом, але вони будуть значно менші, ніж за фронтом.

При повільному переміщенні фронту і поглибленні баричної улоговини, падіння тиску відбувається з обох боків фронту, особливо якщо на ньому розвиваються хвилі. В улоговинах, що швидко заповнюються,

з фронтом оклюзії, найчастіше спостерігається зростання тиску по обидва боки фронту. В результаті: якщо фронт переміщується – баричні тенденції з обох сторін фронту розрізняються або за знаком, або за величиною при однаковому знаку.

У випадку квазістаціонарного (малорухомого) атмосферного фронту зміни тиску по обидві сторони фронту однакові, як за знаком, так і за величиною. При цьому зміна тиску зумовлюється лише еволюцією баричного поля, тому в системах таких фронтів баричні тенденції або близькі до нуля – при слабкій еволюції поля, або приблизно рівні за величиною і знаком при інтенсивній еволюції.

Фронти у полі температури повітря

Особливості поля температури в області фронту визначаються тим, що повітряні маси з різними температурами, що його утворюють, є сусідніми не тільки по горизонталі, але й у вертикальному напрямку – тепле повітря знаходиться над холодним. **Температурний контраст, тобто горизонтальний градієнт температури, є найважливішою характеристикою фронту.** У фронтальній зоні шириною кілька десятків кілометрів зміна температури може складати $\geq 10^{\circ}\text{C}$.

Характер розподілу температури в області різних типів фронтів відрізняється: на основних фронтах контрасти по горизонталі особливо значні, на фронтах оклюзії значно менші, а на низьких приземних фронтах контрасти температури часто зовсім відсутні.

Характерною рисою фронтального шару є інверсії, ізотермії. Визначити фронти на картах АТ нижньої і середньої тропосфери допомагають дані про розподіл температури повітря на висотах, при цьому діагностування фронту проводиться за наявністю на картах АТ подовжених зон згущення ізотерм, найбільш вузьких на АТ-850 в 200-300 км, і дещо ширших на АТ-700 і АТ-500 – до 300-500 км.

Про наявність фронту і його структуру можна судити не тільки за температурою на ізобаричних поверхнях, але і за картою середньої температури шару – ВТ-500/1000. Найбільші згущення ізотерм відзначаються перед теплим і за холодним фронтом.

Фронту оклюзії на карті ВТ-500/1000 відповідає гребінь тепла. Часто ФО розташовані всередині теплового сектора циклону, у таких випадках про характер фронту в теплому секторі судять по полю температури: якщо в нижніх шарах тропосфери вісь гребеня з висотою у теплому секторі різко зрушена вперед або назад відносно приземної лінії фронту, то фронт всередині теплового сектору визначається як **ФО**. Якщо зсув гребеня всередині теплового сектору відсутній – це **вторинний фронт**.

Контрасти температури уздовж фронтальної зони

розподіляються нерівномірно. Найбільш часто фронт, що є динамічно значимим, розташовується в середній частині фронтальної зони, а на периферії фронтальної зони - фронти звичайно динамічно незначимі.

У більшості випадків фронт добре виражений у термічному полі не тільки на висотах, але й біля поверхні землі. На приземній карті поле ізотерм в цілому характеризується згущенням в області фронту. Однак, вплив підстильної поверхні, хмарності й опадів нерідко призводить до виникнення ряду особливостей термічного поля: часто біля поверхні землі температура повітря в теплому і холодному повітрі по обидві сторони фронту виявляється однаковою, а іноді, у теплій повітряній масі - дещо нижчою, ніж у холодній: **фронт стає маскованим у полі приземної температури.**

Фронти в полі вологості

Особливості поля вологості в системі фронту визначається структурою цих полів у суміжних повітряних масах, що утворюють фронт, характером і щільністю хмарного поля, структурою поля опадів. **У зв'язку з цим виділяють два основних типи горизонтального розподілу вологості на висотах:**

- **1 тип** характерний для ділянок фронту з щільною хмарністю й інтенсивними опадами. Максимальне значення точки роси відзначається поблизу лінії фронту. Градієнти точки роси біля лінії фронту малі, найбільшого значення вони досягають в холодному повітрі поблизу межі зони опадів.
- **2 тип** характерний для ділянок, де хмарність має розриви, або зовсім відсутня - це розмиті фронти. Найбільші горизонтальні градієнти точки роси спостерігаються поблизу лінії фронту в холодному повітрі.

Різниця значень точки роси у теплій і холодній повітряній масі в зоні фронту у більшій мірі залежить від географічного походження повітряних мас. Ця різниця **особливо значна у зоні арктичного фронту**, оскільки в арктичному повітрі значення точки роси малі. На фронтах, що переміщуються з Атлантичного океану, різниця точки роси невелика, оскільки повітря в цілому дуже насичене.

Оскільки у теплому повітрі вміст водяної пари найчастіше більший, ніж в холодному, то крива стратифікації точки роси – депеграма, при перетині фронтального шару має злам, що вказує на зростання вологості з висотою. **Відповідно в зоні фронту відмічається стрибкоподібна зміна дефіциту точки роси.**

Фронти у полі вертикальних рухів

Поле вертикальних рухів в області атмосферного фронту формується під впливом декількох факторів. Основними з них є конвергенція повітряних потоків у приземному шарі на осі улоговини, нестационарність рухів повітря і внутрішнє тертя, що виникає в зоні фронту при русі холодної і теплої повітряних мас відносно одна одної. Оцінка швидкості вертикальних потоків вказує на присутність в області фронту інтенсивних вертикальних рухів.

На АФ значний розвиток мають висхідні рухи повітря, тому у фронтальних зонах складаються умови для утворення хмар і опадів. Цьому сприяє, **по-перше, збіжність вітру до лінії фронту в приземному шарі, по-друге, у системі фронтів відбувається підйом теплового повітря (висхідне ковзання, термічна конвекція)**. Висхідні рухи повітря виникають і внаслідок різниці швидкостей зафронтального і передфронтального повітря, тобто коли зафронтальне повітря рухається швидше, ніж передфронтальне. Підйом повітря відбувається на тих ділянках фронту, де спостерігається нестационарність руху. Висхідним рухам на ранній стадії розвитку циклона сприяє також динамічне падіння тиску. При підйомі повітря відбувається його адіабатичне охолодження, формування хмарності й опадів.

У зоні атмосферних фронтів на всіх рівнях переважають висхідні рухи, що зростають з висотою, області низхідних вертикальних рухів розташовуються поза фронтальною зоною на відстані $\geq 400-500$ км від лінії фронту біля поверхні землі, поблизу центра антициклону.

ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ФРОНТІВ НА КАРТАХ ПОГОДИ

Аналіз атмосферних фронтів полягає у визначенні положення і типу фронту на приземних картах погоди та картах баричної топографії і називається **фронтологічний аналіз**. Ця операція є складною, труднощі вирішення якої пов'язані з:

- відсутністю єдиних об'єктивних кількісних критеріїв розпізнавання положення фронту біля поверхні землі і на різних висотах;
- впливом на фронти процесів різних масштабів, які розвиваються не тільки в зоні фронту, але і на деякій відстані від нього;
- впливом орографії, характером підстильної поверхні, властивостями повітряних мас, особливостями баричного поля тощо.

При виявленні фронтальних розділів велике значення має **збереження історичної послідовності аналізу**, оскільки одні лише різкі зміни у полях метеовеличин можуть бути пов'язані не з фронтальною поверхнею, а з місцевим впливом чи орографією.

АФ проводяться умовними позначками на приземних картах погоди та картах АТ-850; на карту ВТ-500/1000 лінії фронту в точності переносяться з приземної карти.

Окремим питанням при визначенні положення фронтів на картах погоди є **зміна знаку АФ** – теплого на холодний і навпаки. Для цього використовують кілька прийомів, одним з найпростіших й часто вживаних є: зміна знаку відбувається на середині відрізка при перетині однієї за значенням ізолінії – ізобари чи ізогіпси, в інших випадках - розглядають комплекс погодних умов у повітряних масах, що утворюють фронт.

АТМОСФЕРНІ ФРОНТИ НА ПРИЗЕМНИХ КАРТАХ ПОГОДИ

Аналіз фронтів біля поверхні землі проводиться в 2 етапи: визначається загальна картина положення фронтів у великому масштабі, а потім уточнюється їх положення у приземному шарі.

Основна увага при аналізі приділяється **полю температури на висотах**, оскільки температура найпростіше дозволяє відрізнити повітряні маси, значні контрасти безпосередньо вказують на існування фронту. У більшості випадків при наявності фронтальної зони на висотах існує і фронт біля поверхні землі. Для аналізу в першу чергу використовують карту ВТ-500/1000. **Фронтальні зони, що визначаються на цій карті за положенням ВФЗ і її ділянками з найбільшими градієнтами, надають схематичну уяву про положення основних фронтів біля землі.** Зона найбільших значень відносного геопотенціалу на карті ВТ-500/1000, як правило, зміщена у бік холодного повітря відносно положення фронту у приземному шарі.

Додатково аналізують **поле температури на карті АТ-850**. Іноді, контрасти на карті ВТ-500/1000 відсутні, а на поверхні 850 гПа проявляються досить чітко. Поле температури дозволяє приблизно визначати і ФО біля поверхні землі, для якого характерні гребінь тепла і його зсув з висотою.

Розподіл температури на висотах надає лише перший загальний висновок про положення фронту: значні контрасти температури на висотах не є обов'язковою ознакою існування фронту біля поверхні землі.

Точка роси біля поверхні землі у більшій мірі реагує на поле опадів, ніж на саме положення фронту. Значення точки роси максимальне там, де випадають опади – вздовж їх зони витягнутий «язик» вологого повітря. Положення зони максимальних контрастів точки роси відносно фронту залежить від розподілу зони опадів. **Якщо опади випадають з холодного боку фронту, а в теплом повітрі відсутні, і коли опади присутні по обидва боки від фронту, максимальний контраст точки роси спостерігається у холодному повітрі біля зовнішньої по відношенню до**

фронту межі зони опадів. Зона максимальних контрастів точки роси характеризує саме положення фронту, коли опади випадають з його теплої сторони, при чому внутрішня по відношенню до фронту межа зони опадів примикає до нього. Зона максимальних контрастів точки роси вказує положення основних фронтів на тих ділянках, де опади і дуже низька хмарність відсутні.

При проведенні фронту біля поверхні землі враховують **характер баричного поля і попередній розвиток процесів**. Положення фронту біля землі у більшості випадках добре фіксують **поля вітру і тиску**. При тривалому існуванні улоговини конвергенція потоків вітру в пограничному шарі атмосфери призведе до утворення на осі улоговини приземного фронту.

У баричному полі, що створює дивергенцію потоків повітря, фронт не може сформуватися. Тому на осях гребенів і в центральних частинах антициклонів фронти не проходять. Але фронт може існувати у смугі зниженого тиску між центрами двох близько розташованих антициклонів, при цьому положення фронту уточнюють проведенням проміжних ізобар – через 2,5 гПа.

Більшість фронтів чітко виявляються у полі вітру. Там, де **фронт знаходиться на осі улоговини чи смуги зниженого тиску, вітер за фронтом відхилений вправо у порівнянні з його напрямом перед фронтом. Вітер перед фронтом часто паралельний лінії фронту, а за ним відхиляється від фронту на кут $\sim 90^\circ$** . В замаскованій улоговині швидкість вітру більше з того боку фронту, де тиск вищий, а напрям вітру по обидві сторони фронту практично однаковий.

При розпізнаванні фронтів велике значення має **поле ізотенденцій**. Ізолінії баричних тенденцій у більшості випадків мають вигляд витягнутих вздовж фронтів областей падіння і росту тиску. Найчастіше фронт проходить там, де ізалобарична пара максимальна. Область падіння звичайно знаходиться перед теплим фронтом, а область росту тиску – за холодним.

Форма хмарності може одночасно вказувати на існування фронту і ступінь його активності. Процес розмивання фронтів також проявляється у полі хмарності – спочатку зникає хмарність нижнього ярусу, у хмарних системах фронтів з'являються безхмарні проміжки, а хмарність верхнього ярусу може існувати ще тривалий час.

Форми хмарності мають визначну роль для визначення фронтів у теплу пору року. Восени і взимку в помірних широтах підінверсійна хмарність часто закриває розташовану вище фронтальну хмарність, що значно ускладнює фронтологічний аналіз.

Окремою задачею при визначенні положення фронту є аналіз появи **нової хвилі на фронті**. У ряді випадків складно визначити – **з чим пов'язаний новоутворений невеликий вигин фронту** – це або початкова

стадія утворення хвилі на фронті або орографічні причини, не пов'язані з хвилеформуванням. При цьому, якщо вигин на фронті звернений опуклістю у бік холодного повітря і вітер у теплому повітрі біля поверхні землі паралельний лінії фронту, або має спрямовану до неї складову, то цей вигин на фронті можна вважати хвилею.

При зближенні двох однойменних за характером ділянок фронтів вони зливаються одна з одною, найбільш чітко це виражено у полі хмарності – коли масив фронтальної хмарності є суцільним. Відокремлене проведення двох близько розташованих паралельних фронтів не відображує дійсності і переобтяжує карту, в таких випадках проводять один фронт.

Аналіз карт погоди повинен показувати **об'єктивну картину**, тому фронт визначають лише при комплексі показників, а при їх відсутності навіть за умови існування фронтальної зони на висотах біля поверхні фронт не проводять – це може бути випадок верхнього фронту або сильно розмитого фронту, що ще деякий час зберігається на висотах.

АТМОСФЕРНІ ФРОНТИ НА КАРТАХ БАРИЧНОЇ ТОПОГРАФІЇ

Проведення фронтів на картах баричної топографії полегшує їх аналіз на приземних картах і дозволяє робити висновки про особливості просторової структури фронту: кут нахилу, положення верхніх компонент фронту оклюзії, розподіл температури, вологості і вітру в зоні фронту, зміна контрасту температури з висотою, вертикальна потужність повітряних мас тощо.

Основне значення при виявленні фронтів на висотах має **поле температури**, а поле геопотенціалу, вітру і вологості виступають додатковими ознаками.

На висотах fronti характеризуються більш чи менш широкою перехідною зоною, тобто не можуть бути представлені однією лінією.

Лінію фронту прийнято проводити всередині перехідної зони, там, де горизонтальний градієнт температури найбільший: вздовж серединної ізотерми зони згущення.

Звичайно, на великій протяжності фронт не може бути паралельний ізотермам, оскільки температура в холодній і теплій повітряній масах на різних ділянках фронту відрізняється. Висхідні рухи в циклонах і низхідні в антициклонах впливають на поле температури таким чином, що **на теплому фронті в області циклону проявляється тенденція ізотерм до правого повороту від лінії фронту, а на холодному фронті – в зоні упорядкованих низхідних потоків – ізотерми повертають вліво від фронту, якщо напрямок при цьому орієнтований вздовж ізотерм так, що низькі температури залишаються зліва.**

Для ФО на поверхні АТ-850 характерний гребінь тепла. Але при його визначенні необхідно встановити, що існування цього гребеня спричинене процесом оклюдування циклону.

З двох характеристик вологості – точка роси і дефіцит – кращу уяву про положення фронту надає точка роси.

Фронт, незалежно від наявності опадів, характеризується довгою вузькою смугою підвищених значень точки роси, коли поблизу його у теплом повітрі розташований потужний антициклон. При цьому фронт приблизно паралельний ізогісам, які окреслюють прилеглу до нього частину антициклону. З іншого боку фронту виділяються низькі значення точки роси, характерні для холодного повітря.

На фронтах горизонтальні градієнти температури і точки роси спрямовані у бік холодного повітря.

Для аналізу фронтів може бути використане **поле дефіциту точки роси, який у зоні фронту звичайно мінімальний.** Але дефіцит вологості у значній мірі залежить від процесу конденсації. Він наближений до нуля всюди, у тому числі і поза фронтальною зоною, де на даному рівні присутні опади або хмарність зі значною водністю. Розриви в значеннях дефіциту можуть бути і поза фронтами – біля меж хмарності.

Вітер і його горизонтальний зсув звичайно не надають достатньо вказівок для проведення фронтів на картах баричної топографії. Відмінність у нахилі поверхні фронту і ізобаричних поверхонь веде до зміщення осі улоговини у бік холодного повітря, з висотою вона все більше віддаляється від фронтальної зони. Тому **на висоті 850 гПа тільки пологі fronti можуть характеризуватися поворотом вітру.** Також відсутній чіткий зв'язок між положенням фронту і розподілом швидкостей вітру у фронтальній системі.

Важливу інформацію для фронтологічного аналізу надає карта ВТ, яка дозволяє **визначити розташування та інтенсивність тропосферних осередків холоду і тепла,** між якими зазвичай і розміщуються фронтальні зони. При розпізнаванні ФО карта ВТ-500/1000 вказує на положення висотних вузьких термічних гребенів. Вісь гребеня звичайно зрушена відносно фронту біля землі вперед при оклюзії за типом теплового фронту і збігається з ним або незначно здвинута назад при оклюзії за типом холодного фронту.

Фронтальні розділи на поверхнях 700 і 500 гПа простежуються незадовільно. Тільки порівняно різкі fronti можна визначити на цих висотах.

АТМОСФЕРНІ ФРОНТИ У ПОЛЯХ ХМАРНОСТІ ТА ОПАДІВ

Теплі фронти

Теплий фронт має антициклонічну кривизну і рухається у бік холодного повітря. На карті погоди теплий фронт відзначається червоним кольором або зачерненими напівкружками, спрямованими у бік переміщення фронту.

Проходження теплового фронту характеризується падінням тиску, поступовим посиленням вітру, швидким підвищенням температури і різким поворотом вітру вправо. Після проходження фронту швидкість вітру зменшується, падіння тиску припиняється і починається його слабкий ріст, хмари розсіюються, опади зникають.

Перед теплим фронтом розташовується замкнута область падіння тиску, за фронтом - або ріст тиску, або відносний ріст (падіння, але менше, чим перед фронтом).

Найбільш загальним моментом у структурі поля хмарності теплового фронту є факт, що основна система хмар розташовується безпосередньо перед приземною лінією фронту у зоні найбільших висхідних рухів - основними складовими цієї системи є шарувато-дощові (Ns) та розірвано-дощові (Frnb) хмари, і випадання облогових опадів. На відстані приблизно 200-300 км від фронту ці хмари переходять у щільні високошаруваті непрозорі (As opacus), а ще далі - прозорі високошаруваті (As trans). Під ними спостерігаються розірвано-шаруваті хмари і розірвано-купчасті поганой погоди (St fr і Ci fr).

Адіабатичне охолодження теплового повітря, що ковзає уздовж клину холодного, підсилюється розвитком висхідних рухів внаслідок нестационарності при динамічному падінні тиску та збіжності вітру в нижньому шарі атмосфери, що веде до утворення характерної системи шаруватоподібних хмар (хмар висхідного ковзання): перисто-шаруваті - високошаруваті - шарувато-дощові (Cs-As-Ns).

Масив хмарності на значній відстані від самої лінії фронту починається з перистоподібної хмарності, де на передньому краї відзначається тонка периста кігтьовидна хмарність у вигляді паралельних смуг (Ci uncinus), що є провісниками теплового фронту. Спостерігаються вони приблизно за добу (іноді лише за 10-12 годин) до проходження лінії фронту, можуть відмічатися на відстані до 1000 км від фронту, розташовуються найчастіше під тропопаузою або в шарі тропопаузи. Нижня межа хмар перед теплим фронтом знижується до 500-1000 м, іноді до 50 м і навіть до поверхні землі. У ряді випадків перед теплим фронтом спостерігаються тумани.

На відстані більш ніж 500 км від фронту спостерігаються

напівпрозорі, вуалеподібні перисто-шаруваті хмари (Cs). Ці хмари відділені від нижче розташованих шарів хмар безхмарним прошарком.

Хмари верхнього ярусу - перисто-шаруваті Cs й перисті Ci складаються з крижаних кристалів, і опади з них не випадають. Найчастіше хмари Ci-Cs являють собою самостійний шар, верхня границя якого збігається з віссю струминної течії, тобто близька до тропопаузи.

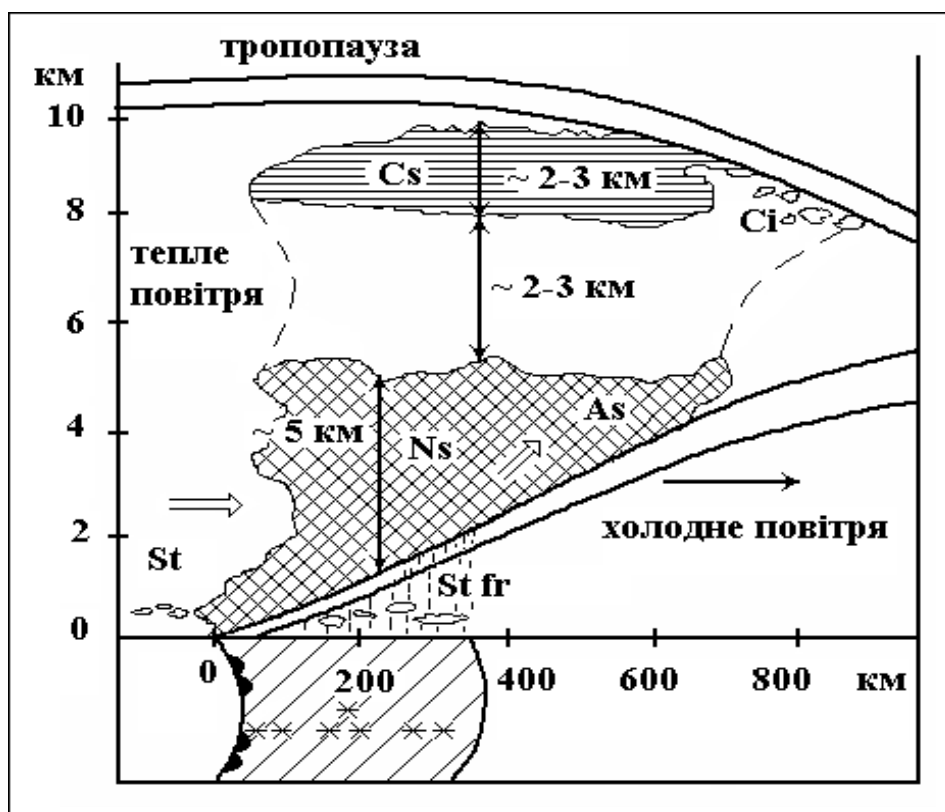


Схема теплового фронту у вертикальному розрізі.

Перисто-шаруваті хмари поступово ущільнюються і перетворюються на високошаруваті As, а потім і на щільні шарувато-дощові Ns, утворюючи однорідний безформний темно-сірий покрив, що закриває все небо. З цих хмар починають випадати **облогові опади**, що **слабшають або зовсім припиняються після проходження лінії фронту**.

Вертикальна потужність As досить значна: від 3-5 до 6-7 км. Опади, що випадають з цих хмар, улітку, проходячи крізь теплий шар атмосфери, випаровуються і не досягають поверхні землі. Узимку з As відмічаються опади у вигляді снігу, що також може стимулювати випадання опадів з St-Sc, у таких випадках ширина зони облогових опадів становить ≥ 400 км.

Найближче до поверхні землі на висоті декількох сотень метрів утворюються шарувато-дощові хмари Ns, під якими розвиваються низькі,

темні розірвано-дощові St fr з нерівними краями, що зливаються із Ns, з яких випадають облогові опади у вигляді дощу і снігу. Шарувато-дощові хмари простираються від 1-3 до 6-7 км, тобто мають досить значну вертикальну потужність.

Далі проходить «лінія фронту», тобто фронтальна зона шириною 10-15 км, а за нею переміщується і тепла повітряна маса.

У центрі циклону, де система хмар теплового фронту має найбільший розвиток, ширина хмарної зони Ns і зони облогових опадів у середньому 300 км. У цілому хмари As-Ns мають ширину 500-600 км, ширина зони хмар Ci-Cs - близько 200-300 км.

На супутникових знімках хмарність ТФ, що швидко переміщується має смугову структуру, але суцільні довгі смуги як правило нехарактерні.

Фронтальні хмари можуть утворюватися не тільки над похилою поверхнею фронту, а в деяких випадках і по обидві сторони від фронту. Це характерно для початкової стадії циклону, коли висхідні рухи захоплюють зафронтальну область, тоді й опади можуть випадати по обидва боки. Але за лінією фронту фронтальна хмарність звичайно сильно розширована і зафронтальні опади частіше представлені у виді мряки.

Розширення системи хмарності ТФ пов'язане з неоднорідністю поля вертикальних рухів з висотою – хмарні шари відповідають зонам активних висхідних потоків, а безхмарні проміжки – низхідним рухам, або послабленим висхідним.

Погодні умови на ТФ: облогові опади, іноді мряка, інверсії; посилення вітру; випадіння снігу перед ТФ взимку часто супроводжується хуртовинами. Якщо при від'ємній температурі у приземному шарі над фронтальною поверхнею температури додатні, то краплі дощу, випадаючи у переохолодженому стані, досягають поверхні землі, що веде до формування ожеледі. Перед ТФ і особливо за ним характерні тумани, серпанки.

У теплу пору року висхідні рухи поблизу лінії фронту набувають характеру конвективних, і в денний час на ТФ нерідко розвиваються купчасто-дощові хмари й спостерігаються зливові опади. Це відбувається зазвичай вночі, коли тепле повітря стає нестійким внаслідок радіаційного випромінювання і охолодження верхньої частини хмар системи Ns-As. Тоді на фоні упорядкованих висхідних рухів виникає вимушена конвекція, спостерігаються зливові опади, нерідко з грозами. При цьому характерна для ТФ структура поля хмарності не встигає повністю розвинути. Масив хмарності має невелику ширину і часто розташовується за приземною лінією фронту.

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

Іноді ТФ майже або взагалі не супроводжується опадами. Так буває при малому вологовмісті теплого повітря, коли рівень конденсації лежить на значній висоті. При сухості повітря й особливо у випадку його помітної стійкої стратифікації висхідне ковзання теплого повітря не досягає великих висот, і стан насичення не досягається.

Тепле повітря над фронтальною поверхнею неоднорідне – над ТФ спостерігаються від 1 до 3-х верхніх розділів з підвищеними значеннями горизонтальних і зниженими значеннями вертикальних градієнтів температури. **Верхні розділи - це зони шириною декілька десятків км в межах 40-140 км, їх нахил до горизонту приблизно такий же як в основних ТФ.**

Холодні фронти

Холодний фронт рухається у бік теплого повітря. На приземній карті погоди ХФ відмічається синім кольором або зачерненими трикутниками, спрямованими у бік переміщення фронту. **При проходженні холодного фронту вітер з висотою повертає вліво, швидкість вітру завжди посилюється.** Зміна баричної тенденції (від падіння до росту, від повільного росту до більш сильного) свідчить про проходження лінії приземного фронту. **З проходженням ХФ починається швидкий ріст тиску, який за фронтом може сягати 3-5 гПа/3 год., а іноді $\geq 6-8$ гПа/3 год.**

Температура повітря після проходження фронту падає (адвекція холоду), причому часом швидко і різко на 5-10 °С і більше за 1-2 години. Точка роси знижується одночасно з температурою повітря . Видимість, як правило, поліпшується, оскільки за холодним фронтом вторгається більш прозоре і менш вологе повітря з північних широт.

В окремих випадках ХФ, що переміщується на материк або перевалює через невисокі гори, зміщується над приземним шаром дуже холодного повітря, такий стан є нестійким, при розмиванні цього шару проходження ХФ буде супроводжуватися біля поверхні землі не похолоданням, а підвищенням температури, таке явище називається «маскуванням» ХФ.

На супутникових знімках **хмарність чітко виражених ХФ** являє собою хмарні смуги шириною 200-300 км і довжиною до 1000 км і більше. Смуги складаються з купчасто-дощової **Cb** і шарувато-дощової **Ns** хмарності. Хмарність розмитих ХФ складається з ізольованих або видовжених у вигляді тонких смуг купчасто-дощових хмар.

Хмарні смуги ХФ мають добре виражену циклонічну кривизну і звичайно відокремлюються безхмарними або малохмарними зонами від передфронтальної і зафронтальної хмарності.

Взимку хмарна система ХФ прихована від спостерігача більш низькою хмарністю St і Sc, сформованою всередині повітряних мас, а

також **Frnb**, що відмічаються в зоні опадів. Але при швидкому русі холодної повітряної маси і інтенсивному рості тиску за лінією фронту, **безпосередньо за ХФ настає хоча б нетривале прояснення.**

В холодну пору року вертикальна протяжність хмарності, навіть **Cb**, невелика ~2-3 км, в той же час низьке положення ізотерми -10 °С сприяє утворенню льодяної фази у відносно плоских хмарах з випадінням з них опадів. У тилу циклонів за ХФ, де зазвичай спостерігаються **Cb у вигляді відкритих осередків мезомасштабної структури,** формуються затримуючі шари на висотах 3-3,5 км, які обмежують вертикальний розвиток хмарності, але над морями і у береговій зоні **Cb можуть бути сильно розвиненими по вертикалі.**

Влітку над материками ХФ виражені найбільш чітко, оскільки при переміщенні цих фронтів з північного-заходу морське зафронтальне повітря значно холодніше континентального передфронтального. В зв'язку з розвитком термічної конвекції, **Cb**, особливо у денні години, можуть мати велику вертикальну протяжність, досягати тропопаузи, а іноді і пробивати її, при цьому формується **хмарність з ковадел** при розтіканні Cb вздовж межі тропопаузи.

Особливістю холодних фронтів є передфронтальні шквали. Біля поверхні землі в області ХФ виникають **лінії нестійкості, або лінії шквалів.** Лінії шквалів можуть розташовуватися на відстані декілька десятків або сотень км попереду ХФ, або збігатися з лінією фронту. Швидкість вітру нерідко перевищує 15-20 м·с⁻¹, тривалість звичайно кілька хвилин.

У більшій мірі характер погоди і хмарні поля холодних фронтів залежать від швидкості переміщення фронту. **Виділяють два типи холодних фронтів у залежності від швидкості їхнього руху - малорухомі холодні фронти (І-роду) і холодні фронти, що швидко рухаються (ІІ-роду).**

Холодні фронти І-роду

До холодних фронтів І-го роду належать фронти, що повільно рухаються або сповільнюють свій рух в глибоких баричних улоговинах або поблизу центра циклона.

Якщо на фронті взимку і перехідні сезони конвекція слабо розвинена, то хмарна система переважно складається з шарувато-дощової і високошаруватої хмарності, а часто і з масиву перисто-шаруватих хмар.

Вертикальна потужність хмарної системи ХФ І-роду залежить від вологості теплого повітря, на меридіонально орієнтованих фронтах верхня межа хмарності сягає 10-12 км, а на зонально орієнтованих – 5-7 км.

Хмарність ХФ І-го роду, є як би **дзеркальним відображенням хмарності теплого фронту**, тобто хмарна система аналогічна ТФ, але розташована у зворотному порядку.

Хмарність починається з системи Ns-As, а закінчується Cs-Ci. При цьому хмари розташовані головним чином за лінією фронту. Відмінність від хмарності теплового фронту: унаслідок тертя поверхня холодного фронту в нижніх шарах більш крута, тому перед самою лінією фронту замість повільного висхідного ковзання спостерігається конвективний підйом теплового повітря. Завдяки цьому, в передній частині хмарної системи можуть виникати потужні купчасті (**Cu cong.**) і купчасто-дощові (**Cb**) хмари, розтягнуті на сотні км уздовж фронту.

Зливові опади перед фронтом після його проходження змінюються більш рівномірними облоговими опадами. Біля центра циклону, що розвивається, облогові опади випадають як перед холодним фронтом, так і за ним. Потім з'являються перисто-шаруваті та перисті хмари.

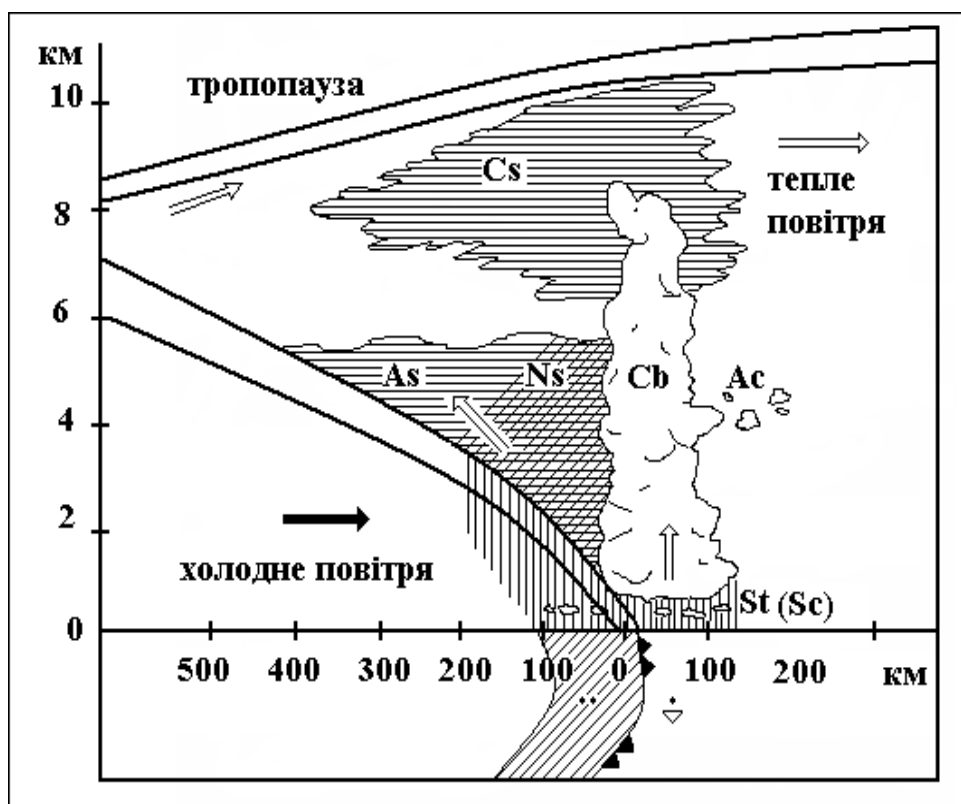


Схема холодного фронту I-роду у вертикальному розрізі.

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

Холодні фронти, що повільно рухаються та розташовані у малоградієнтних баричних полях або у вузьких та слабо виражених улоговинах біля поверхні землі, динамічно нестійкі. **На таких ХФ виникають хвильові збурення, які переміщуються вздовж фронту.** Удень при проходженні ділянки холодного фронту в хвильовому збуренні розвиваються потужні купчасті і купчасто-дощові хмари, виникають грози, зливи, град, а іноді шквали.

На відміну від відособлених купчастих і зливових хмар, що утворюються вдень усередині однорідної холодної повітряної маси, перед лінією ХФ Сб рухаються суцільним валом. За лінією фронту тепле повітря піднімається уздовж фронтальної поверхні повільно, і після проходження лінії фронту Сб змінюються на Ns, з яких випадають облогові опади. Потім з'являються As і Cs, опади припиняються і настає прояснення.

Для ХФ І роду, розташованого у глибокій улоговині, є характерним існування верхніх розділів над ХФ, що також є холодними, зміщуються разом з основним фронтом, їх кількість варіюється від одного до трьох. **Ширина розділів коливається в межах 40- 140 км і в середньому дещо менша, ніж основного фронтального шару.**

Існують сезонні особливості структури холодних фронтів І-го роду. У холодну половину року ширина хмарної системи 400-500 км, а зони облогових опадів - до 200 км. В зоні опадів утворюються розірвано-дощові хмари з нижньою межею 100-150 м. В хмарах і переохолодженому дощі відзначається зледеніння. Видимість в опадах знижується до значень 1000 м і менше.

У теплу половину року крім основної хмарної системи, нерідко розвиваються купчасто-дощові хмари, грози, що супроводжуються зливовими опадами і шквалистими вітрами. Ширина хмарної системи складає близько 300 км, зона зливових опадів - близько 50 км, далі вони переходять в облогові; загальна ширина зони опадів у середньому близько 150 км. У хмарах відзначається зледеніння, а в купчасто-дощових сильна бовтанка.

Холодні фронти II роду

До холодних фронтів II-го роду відноситься значна частина холодних фронтів, що **швидко рухаються** в системах циклонів, особливо на їх окраїнах. Холодні фронти II-роду характеризуються значно меншою шириною хмарних систем, вона утворюється перед фронтом. Основна форма хмарності **потужні Сб**, при розтіканні яких можуть виникати в незначній кількості **Сі, Сс, Ас, Sc**, а під ними в зоні зливових опадів зазвичай спостерігаються **St fr** або **Cu fr**.

На ХФ II-роду передня частина клина холодного повітря крутіша, ніж у холодному фронті І-роду, і звичайно має опуклість, обернену в бік

теплого повітря. Тепле повітря витісняється з нижніх шарів холодним валом, що просувається вперед більш інтенсивно, в результаті виникає низхідний рух повітря уздовж верхньої частини клину холодної повітряної маси. Унаслідок цього хмари за лінією фронту не утворюються, відсутні і облогові опади.

Перед лінією фронту, приблизно за 200 км від нього і за 3-4 години до його проходження, з'являються незмінні провісники холодного фронту II-роду - висококупчасті сочевицеподібні хмари.

Cb хмари з опадами спостерігаються перед фронтом у вузькій смузі шириною 50-100 км. і являють собою не окремі конвективні хмари, а безперервний ланцюг, або хмарний вал, що може бути не суцільним (особливо при невисокій вологості повітря).

За фронтом опади припиняються і фронтальна хмарність спочатку зникає, а потім іноді відновлюється, але відносно слабка.

Проходження фронту супроводжується активною різко мінливою погодою з інтенсивними опадами, короткочасними проясненнями, швидким похолоданням і різким поворотом вітру вліво. Тиск після проходження фронту швидко підвищується.

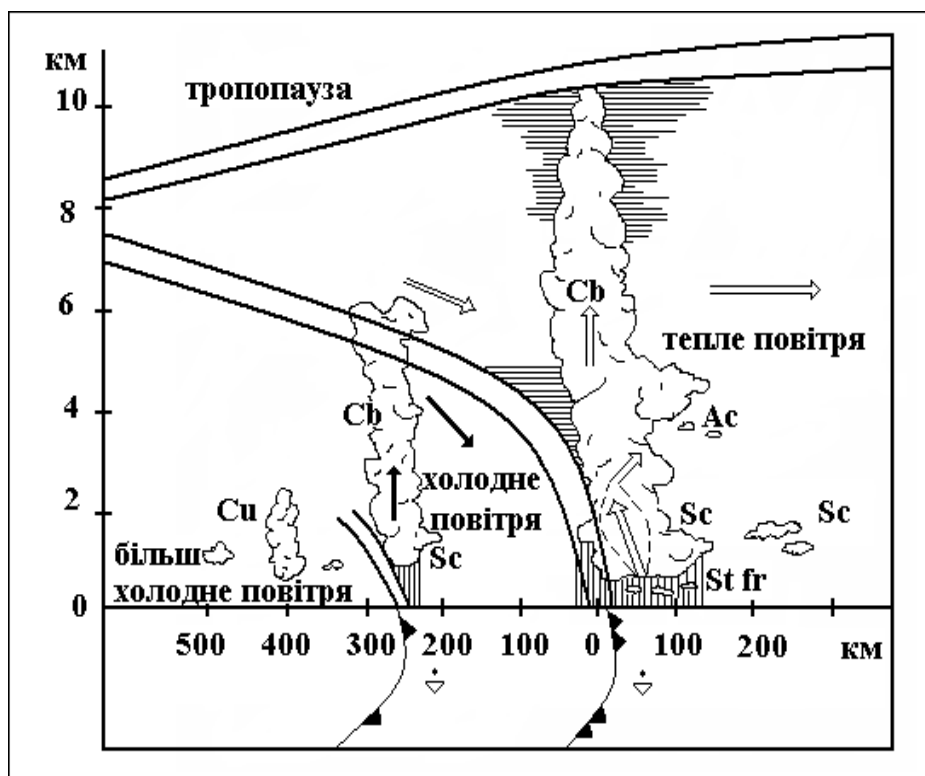


Схема холодного фронту II-роду у вертикальному розрізі.

У теплу половину року верхня межа (ковадла) Cb поширюється до висоти тропопаузи. На холодних фронтах II-го роду спостерігається

інтенсивна грозова діяльність, зливи, іноді з градом, шквалисті вітри. У хмарах сильна бовтанка і зледеніння. Ширина зони небезпечних явищ погоди складає кілька десятків кілометрів.

У **холодну половину** року вершини купчасто-дощових хмар досягають 3-4 км. З цією хмарністю пов'язані короткі сильні зливові снігопади (ширина зони снігопаду складає 50 км), хуртовини при видимості менше 1000 м, різке посилення швидкості вітру, бовтанка. У холодну пору року і для фронтів II-роду характерні системи хмар As – Ns, за винятком південних районів помірних широт, при цьому зона опадів стає більш симетричною по відношенню до лінії фронту.

Хмарність холодного фронту II-го роду має чітко виражений добовий хід: вночі хмари Cb можуть розмиватися, вдень підсилюються конвективні рухи повітря в зв'язку з прогріванням підстильної поверхні, і розвитком турбулентних рухів, тому **найбільшого розвитку хмарність й опади досягають у післяобідні години**, що характерно і для внутрішньомасових хмар Cu і Cb.

Вторинні холодні фронти

Вторинні холодні фронти виявляються біля поверхні землі в тилу циклона за основним фронтом і в слабо виражених баричних улоговинах, де має місце конвергенція вітру. Виникають вторинні ХФ у зв'язку з додатковим надходженням відносно невеликої порції холодного повітря, яка не викликає при цьому значних контрастів температури. Вторинні ХФ чітко визначаються у полі температури на поверхні 850, іноді і 700 гПа.

Може існувати від 1 до 3 вторинних фронтів. Вторинні фронти мають систему хмар, подібну з хмарністю холодного фронту II-го роду, але вертикальна довжина хмар менше, ніж в основних. Унаслідок цього, після короточасного прояснення, що настає слідом за проходженням основного фронту, з'являються конвективні хмари, пов'язані з вторинними фронтами, влітку зі зливовими опадами, грозами, шквалами, взимку - з хуртовинами, при чому зливові снігопади як біля фронту так і в нестійкій масі за ним можуть бути хоча і короточасними, але дуже інтенсивними і повторюватися багаторазово, так звані, снігові заряди.

Хмарні системи вторинних фронтів на супутникових знімках являють собою вигнуті у вигляді спіралі хмарні смуги шириною 50-200 км, розташовані в тилівій частині основного хмарного вихору, пов'язаного з циклоном. Найчастіше складаються з купчастих і купчасто-дощових хмар. Лінія фронту біля поверхні землі звичайно проходить по тилівій частині хмарної спіралі.

Фронти оклюзії

На стадії заповнення циклона виникають комплексні, або складні фронти - фронти оклюзії, що утворюються при змиканні холодних і теплового атмосферних фронтів.

ФО поєднують у собі риси теплового і холодного фронтів, але часто проявлені менш різко. Баричне поле ФО представлене добре вираженою улоговиною з V-подібним профілем. Перед фронтом на синоптичній карті утворюється область падіння тиску, зумовлена впливом теплового фронту, за фронтом оклюзії - область росту тиску, пов'язана з поверхнею холодного фронту.

Точка оклюзії знаходиться за центром осередку падіння тиску. По мірі оклюдування циклону, точка оклюзії зміщується на його периферію. Положення **точки оклюзії** зазвичай **визначають за невеликим розширенням хмарної смуги** поблизу місця розбіжності хмарних масивів холодного і теплового фронтів.

Повітряні маси, що змикаються при оклюдуванні звичайно мають різну температуру - одна може бути холоднішою від іншої. Відповідно до цього, розрізняють два типи фронтів оклюзії - фронти оклюзії типу теплового фронту і фронти оклюзії типу холодного фронту.

Якщо **тилове повітря тепліше, ніж у передній частині циклону** - утворюється **теплий фронт оклюзії**, якщо **холодніше - холодний фронт оклюзії**. У момент змикання холодного і теплового фронтів зближаються їхні хмарні системи, тобто до хмар і опадів теплового фронту впритул примикають хмари й опади холодного фронту. Тому **при проходженні фронту оклюзії через пункт спостереження опади випадають як перед наближенням фронту, так і після його проходження.**

Тип ФО – теплий чи холодний необхідно встановлювати за температурою біля поверхні землі або за видом опадів в області фронту.

В окремий тип виділяють нейтральний ФО. Нейтральні фронти оклюзії, найчастіше, мають хмарну систему, аналогічну системі теплих фронтів оклюзії. Вони є нейтральними лише у контексті близьких значень температури на приземній карті погоди по обидві сторони від фронту. Гребінь тепла з висотою розширюється, але вісь не змінює свого положення, тобто на різних рівнях знаходиться на одній вертикальній площині.

З часом температури по обидві сторони нижнього фронту оклюзії і від поверхні оклюзії поступово вирівнюються, і фронт оклюзії дегенерує.

У зв'язку з тим, що барична улоговина, в якій розміщений ФО, часто сильно видовжена і симетрична відносно лінії фронту, з **проходженням ФО напрям вітру особливо різко змінюється, іноді практично на протилежний.**

На карті термобаричного поля вісь гребеня тепла у випадку ТФО дещо зміщена вперед, а у випадку ХФО – назад відносно приземного ФО.

Хмарність ФО на супутникових знімках являє собою щільну хмарну смугу, що має форму спіралі з фокусом поблизу центра циклону на рівні верхньої межі хмар. Середня ширина такої смуги 300 км.

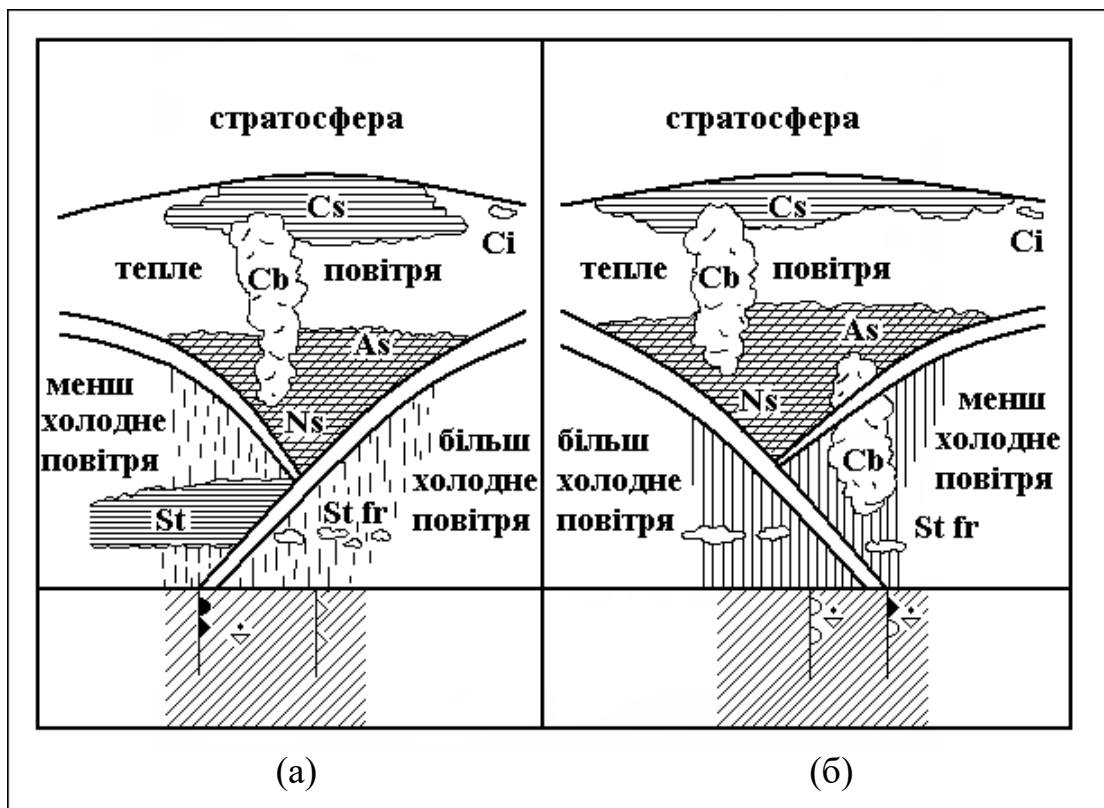


Схема теплого (а) і холодного (б) фронтів оклюзії у вертикальному розрізі.

Холодні фронти оклюзії (ХФО)

У випадку холодного фронту оклюзії проекція верхнього фронту (верхня частина фронтальної поверхні оклюзії) на приземній карті розташовується за лінією приземного фронту. При утворенні ХФО тилловий клин холодного повітря має нижчу температуру, тому він підтікає під передній клин, якби піднімаючи його. Лінія ТФ відокремлюється від поверхні землі і переміщується нагору по поверхні ХФ. Таким чином, верхнім фронтом оклюзії буде ТФ, а нижнім - ХФ. Термічний гребінь на висоті буде розташовуватися за термічним гребенем більш низьких шарів.

Проходження нижнього фронту оклюзії зумовлює біля поверхні землі похолодання.

У передній частині фронту оклюзії спостерігають Ci, Cs, As, а у випадку активних фронтів оклюзії - Ns. Якщо в оклюдуванні бере участь ХФ І-роду, то вище верхнього ТФ може залишитися частина хмарної системи ХФ.

Якщо в процесі формування ФО взаємодіє ХФ II-роду, то за верхнім теплим фронтом настає прояснення, але в шарі нижнього ХФ може розвинути вал Сb вже в передньому холодному повітрі, що витісняється більш холодним тиловим клином. В результаті, випадіння опадів з As-Ns, якщо воно відбувається, може починатися до випадіння зливових опадів, або одночасно з проходженням нижнього холодного фронту, або після його проходження.

Опади можуть спостерігатися по обидві сторони від нижнього фронту, а перехід від облогових до зливових опадів відбувається не перед нижнім фронтом, а в безпосередній близькості до нього.

Холодні фронти оклюзії типові для літа, для них характерні грози, зливи, часті тумани.

Теплі фронти оклюзії (ТФО)

У випадку теплового фронту оклюзії маса теплового повітря витісняється більш теплим повітрям, що натікає на клин більш холодного повітря. Тиловий клин менш холодного повітря наздоганяє передній клин більш холодного повітря, і ХФ, відокремившись від поверхні землі, піднімається по поверхні ТФ. Таким чином, верхнім фронтом оклюзії (верхньою частиною фронтальної поверхні оклюзії) буде ХФ, а нижнім - ТФ.

Проекція верхнього фронту (верхньої частини фронтальної поверхні оклюзії) на приземну карту розташовується перед лінією приземного фронту. Термічний гребінь на висоті буде розміщуватися перед термічним гребенем більш низьких шарів.

Проходження нижнього фронту спричиняє біля землі потепління.

Системи хмар ТФ і ХФ, що зближаються, в основному складаються з As-Ns. У результаті виникає потужна хмарна система Cs-As-Ns з найбільшою товщиною у верхньому холодному фронті.

У випадку молодого фронту оклюзії хмарна система починається з Ci і Cs, які переходять у As, потім у Ns. Іноді за Ns можуть спостерігатися Сb, за якими знову йдуть Ns. Слабке висхідне ковзання тилового повітря уздовж поверхні оклюзії може призвести до утворення уздовж неї хмар типу St-Sc, які не досягають рівня крижаних ядер. З їх системи перед нижнім теплим фронтом будуть формуватися мрячні опади.

У випадку старого теплового фронту оклюзії хмарна система складається з Cs і As, іноді до них приєднуються As; опади можуть не спостерігатися.

Теплі фронти оклюзії частіше спостерігаються у холодну пору року, вони супроводжуються в основному облоговими опадами, мрякою, хуртовинами і ожеледдю.

ОБ'ЄКТИВНИЙ АНАЛІЗ ФРОНТІВ

Процес утворення фронтів називається фронтогенезом, процес розмивання - фронтолізом.

Процеси фронтогенезу і фронтолізу пов'язані з деформацією ВФЗ. Фронтогенез визначається збільшенням горизонтальних градієнтів температури між масами повітря, що мають різні властивості, фронтоліз - зменшенням горизонтальних градієнтів температури між цими масами.

Процеси фронтогенезу і фронтолізу виявляються в деформаційних полях тропосфери. Деформаційні поля атмосфери - це термобаричні поля тропосфери, утворені двома парами хрестоподібно розташованих циклонів і антициклонів з відповідними їм осередками тепла і холоду. Розрізняють симетричні й асиметричні деформаційні поля. Якщо компоненти деформаційного поля тропосфери мають приблизно однакову інтенсивність, таке поле називається симетричним.

Деформаційне поле має осі розтягнення і стискання: **вісь розтягнення, уздовж якої повітряні маси розтікаються, сходяться у вхід ВФЗ, є фронтогенетичною, а вісь стискання, уздовж якої потоки, що зближаються, розходяться в дельті ВФЗ, є фронтолітичною віссю.**

В реальних умовах симетричні деформаційні поля зустрічаються рідко через неоднорідності підстильної поверхні і нерівномірний приплив тепла, що призводить до утворення баричних центрів різної інтенсивності.

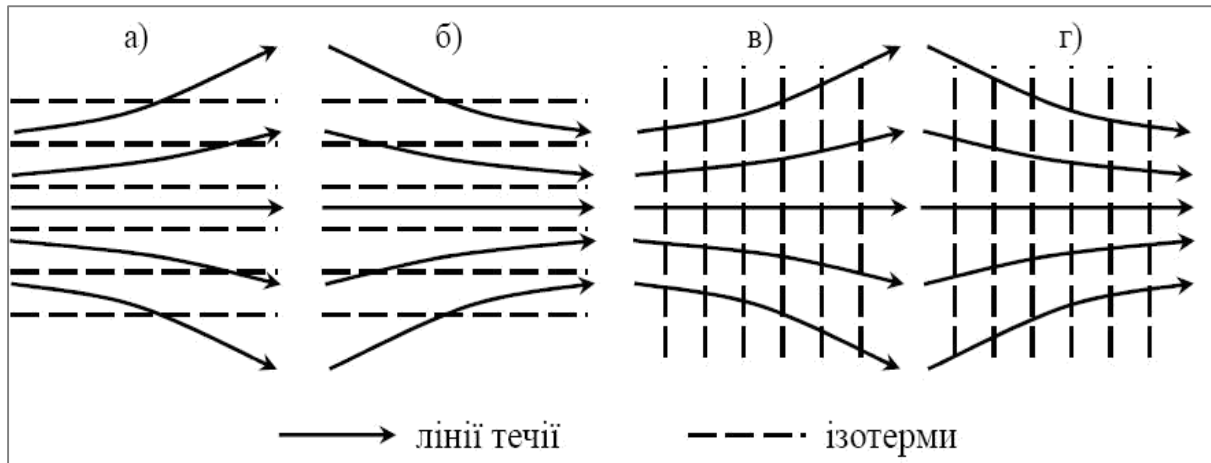
Розрізняють два види процесів - **тропосферний та приземний фронтогенез (фронтоліз).**

Тропосферний фронтогенез (фронтоліз) звичайно охоплює всю товщу тропосфери або значну її частину. Існування тропосферних фронтів пов'язане з тропосферним фронтогенезом.

Приземний фронтогенез (фронтоліз) характеризується збільшенням (зменшенням) горизонтальних градієнтів температури, обумовлених збіжністю або розбіжністю потоків у приземному шарі. Існування приземних фронтів пов'язано з приземним фронтогенезом.

Умови фронтогенезу і фронтолізу як в області входу, так і в дельті фронтальної зони тропосфери будуть визначатися **величиною кута між ізотермами і віссю розтягнення або стискання:**

- Тропосферний фронтогенез має місце у системі ізогіпс, що збігаються при кутах адвекції $<45^\circ$ і у системі розбіжних ізогіпс при кутах адвекції $>45^\circ$;
- Тропосферний фронтоліз має місце в системі ізогіпс, що збігаються при кутах адвекції $>45^\circ$ і у системі розбіжних ізогіпс при кутах адвекції $<45^\circ$.



Схеми утворення (фронтогенез) і розмивання (фронтоліз) АФ

На рисунку *схема а)* - у дельті фронтальної зони ізотерми з віссю стиснення утворюють кут $< 45^\circ$. У цьому випадку розбіжне поле течій призводить до розрідження ізотерм уздовж осі стиснення: з однієї сторони (вище осі) ізотерми піднімаються на північ, а з іншої (нижче осі) - опускаються на південь. **Дане термобаричне поле є сприятливим для фронтолізу.**

Схема б) характеризує структуру термобаричного поля тропосфери входу фронтальної зони, що характеризується збіжністю ізогіпс при кутах між ізотермами і ізогіпсами і віссю розтягнення $< 45^\circ$. Поле течій спрямоване так, що більш низькі температури з півночі (адвекція холоду) так само як і адвекція більш високих температур з півдня (адвекція тепла), збільшують горизонтальні градієнти температури безпосередньо біля самої осі розтягнення. **Таке термобаричне поле є найбільш сприятливим для фронтогенезу.**

На *схемі в)* представлена дельта фронтальної зони, що характеризується розбіжністю потоків, де ізотерми з віссю стиснення утворюють кут $> 45^\circ$. Поле течій, що розходяться сприяє згущенню ізотерм: швидкості течій у центральній і тилівій частині значно більші, ніж у 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 фронтогенезу в дельті.**

На *схемі г)* в області входу фронтальної зони тропосфери ізотерми мають з віссю розтягнення кут $> 45^\circ$. Розрідження ізотерм (фронтоліз) відбувається тому, що швидкості в передній частині входу більші, ніж у тилівій. Унаслідок цього, ізотерми, що знаходяться в передній частині схеми, переміщуються швидше, ніж встигають наближатися наступні за ними ізотерми. **Така структура термобаричного поля є найбільш сприятливою для фронтолізу.**

Питання для самоперевірки студентів

1. Наведіть означення атмосферних фронтів.
2. В яких баричних полях утворюються атмосферні фронти, а в яких розмиваються?
3. Чим зумовлений нахил фронтальної поверхні?
4. Які типи фронтів виділяють за вертикальною протяжністю?
5. Охарактеризуйте особливості поля температури та вітру в зоні фронту.
6. Як змінюється барична тенденція у фронтальному шарі?
7. На яких картах погоди визначаються фронтальні розділи?
8. Наведіть основні характеристики теплового фронту.
9. Наведіть основні характеристики холодних фронтів.
10. Які фронти називаються складними?
11. Надайте визначення ВФЗ.
12. Охарактеризуйте процеси фронтогенезу і фронтолізу.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Завдання.

1. Провести аналіз карт ВТ-500/1000 та АТ-500 минулої та поточної доби з визначенням характеристик висотної фронтальної зони:
 - направленість потоків (зональна та меридіональна циркуляція);
 - визначення динамічно значимих ділянок і розрахунок контрастів у цих зонах;
 - встановлення зв'язку між положенням ВФЗ та приземними фронтальними системами.
2. Використовуючи зазначені підходи і відомі методики, виявити положення фронтальних розділів на приземній карті і карті АТ-850 поточної доби. Особливу увагу приділити супутниковим даним про хмарність.
3. Встановити комплекс погодних умов в зонах атмосферних фронтів.

Вихідні матеріали:

Комплект карт погоди за минулу і поточну добу: приземна синоптична карта і карти баричної топографії: АТ-850, АТ-700, АТ-500, ВТ-500/1000; супутникові знімки хмарності минулої і поточної доби.

Звітні матеріали:

1. Приземна карта погоди, карта АТ-850 і ВТ-500/1000 з проведеним фронтологічним аналізом.
2. Загальна характеристика погодних умов, пов'язаних з фронтальними розділами над Європою.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для чергувань в НБП
з дисципліни “Синоптична метеорологія”

КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ АТМОСФЕРНИХ ФРОНТІВ

Укладач: к.геогр.н., доц. Нажмудінова О.М.

Електронна версія © Нажмудінова О.М.

Одеський державний екологічний університет
65016, Одеса, вул. Львівська, 15