

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія аеронавігації

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни
«Метеорологія»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Аеронавігація

За темою № 4 Фізичні процеси в атмосфері. 4.2. Хмари. Умови та причини утворення хмар

Вінниця 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії аеронавігації, протокол від 28.08.2023 р № 1.

Розробник:

викладач циклової комісії аеронавігації, спеціаліст Дроздова С.П.

Рецензенти:

викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки
Кременчуцького льотного коледжу Харківського університету внутрішніх
справ, професор, доцент, к.х.н., Козловська Т.Ф.
командир льотного загону аеродрому «Велика Кохнівка» КЛК ХНУВС
Шорохов І.В.

План лекції:

1. Конденсація та сублімація водяної пари.
2. Умова та причини виникнення хмар.

Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті

Основна:

1. Правила метеорологічного забезпечення авіації. – Київ: Наказ Державної авіаційної служби України від 09.03.2017 № 166.

Додаткова:

1. Володко О.М. Безпека польотів вертольотів, М.: Транспорт, 1981. – 224 с.
2. Воробйов В.І. Синоптична метеорологія. - Л.: Гідометеоздат, 1998. - 213 с.
3. Новожилов Н.І., Хргіян А.Х. Атлас хмар. Ленінград: Гідрометеоздат. 1981.
4. Матвеев Л.Т. Курс загальної метеорології. Фізики атмосфери. - Л.: Гідрометеоздат, 1984. - 198 с.
5. Прох Л.З. Словник вітрів. - Л. Гідометеоздат, 1983. - 204 с.
6. Тараканов Г.Г. Тропічна метеорологія. - Л.: Гідометеоздат, 1980. – 244 с.
7. Хромов С.П. Метеорологія та кліматологія. - Л.: Гідометеоздат, 1968. - 256 с.
8. Шкільний Є.П. Фізика атмосфери. Одеса, ОТМІ, 1997. - 210 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті:

1. Офіційний портал Державної авіаційної служби України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://avia.gov.ua>
2. Офіційний портал Всесвітньої метеорологічної організації [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.wmo.int>.
3. Офіційний сайт Державного підприємства обслуговування повітряного руху України. Міністерство інфраструктури України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uksatse.ua>

Текст лекції

1. Конденсація і сублімація водяної пари.

Випаровування - перехід рідини в пару внаслідок нагрівання або зниження тиску. Це процес, в результаті якого вода з океану або поверхні землі потрапляє в атмосферу. Тиск, утворений додатково водяною парою, називається пружністю пари по відношенню до води (e) і використовується для її кількісної характеристики. Точка роси - це температура, при якій деякий об'єм повітря, що охолоджується при постійному тиску, досягає стану насичення водяною парою по відношенню до води. Точка інею - це температура, при якій водяна пара, що знаходиться в повітрі, стає насиченою по відношенню до поверхні льоду.

Конденсація водяної пари в атмосфері, перехід водяної пари, що міститься в повітрі, в рідкий стан (краплі). У розширеному значенні термін конденсація водяної пари застосовується до переходу водяної пари як в рідкий, так і в твердий стан.

Конденсація водяної пари забезпечуючи утворення хмар і опадів, служить важливою ланкою вологообороту на земній кулі. Тепло, що відбирається у земної поверхні при випаровуванні і виділяється при конденсації водяної пари грає величезну роль в теплообміні між землею і атмосферою.

Конденсація (лат. condensation - згущення, ущільнення) - перехід газу або пари в рідину внаслідок охолодження або стиснення їх. Це процес згущення молекул водяної пари і ущільнення її до стану рідини. Конденсація починається з утворення зародків, тобто комплексів молекул з пониженою кінетичною енергією. Якщо такі комплекси опиняються сталими, то вони перетворюються в подальшому в краплі та кристали, завислі в повітрі (хмари в вільній атмосфері, серпанок і туман над землею поверхнею) або виділяються на земній поверхні та на наземних предметах у вигляді гідрометеорів (роса, іній тощо). Для конденсації необхідно, щоб повітря знаходилось в стані насичення або навіть перенасичення. Це досягається або пониженням температури повітря до точки роси, особливо при адіабатичному підйомі повітря, або при збільшенні вологості повітря шляхом випаровування. Основою для утворення зародків і в подальшому крапель води в атмосфері служать ядра конденсації, роль яких зводиться до зниження пересичення водяної пари. Без ядер конденсації для початку конденсації необхідно було б мати багатократне перенасичення. В якості ядер конденсації можуть виступати кристали морської солі (хлориди), а по мірі

просування в глибину континенту додаються ядра, що утворюються при природних та штучних процесах згоряння (лісові та торфові пожежі, виверження вулканів, індустріальна діяльність тощо), а також пилок та спори рослин, різноманітні частки пилу та ґрунту при пилових бурях тощо.

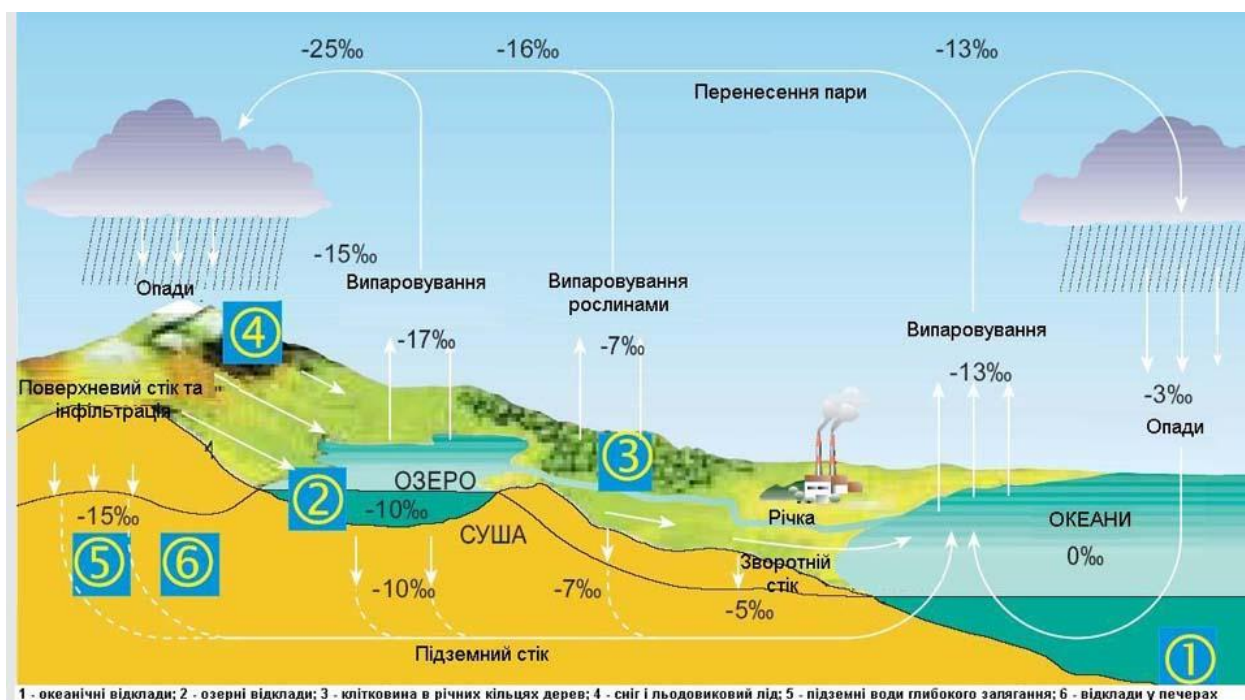
Сублімація (лат. *sublimatio* від *sublimo* - підіймаю, підношу) –

1) Перехід речовини з кристалічного стану безпосередньо в пару, минаючи рідку фазу; узгін. Це перехід молекул води в газоподібний стан безпосередньо з поверхні льоду (нафталін, сухий лід, сушка білизни взимку), обходячи стан рідини.

2) Перехід водяної пари в атмосфері безпосередньо в тверду фазу (лід, сніг). При такому зворотному процесі утворюється іній на предметах земної поверхні безпосередньо з водяної пари, а також утворення кристалів в атмосфері.

Сублімація водяної пари в атмосфері, процес безпосереднього переходу водяної пари, що міститься в повітрі, в тверду фазу води (лід, сніг). Може мати місце при мінусовій температурі повітря, коли пружність водяної пари перевищує пружність насичення по відношенню до поверхні льоду. Сублімація водяної пари відбувається як у вільній атмосфері, так і на земній поверхні і на земних предметах. В атмосфері водяна пара сублімується на замерзлих крапельках, сніжинки і деяких твердих частинках. При температурах нижче -40°C сублімація водяної пари можлива на будь-яких частках, а також і на комплексах молекул води. Продуктом сублімації водяної пари в атмосфері є крижані кристали, які виростають потім в сніжинки. На земній поверхні і на земних предметах утворюються паморозь і іній.

Адвекція (лат. *advection* - доставка, від лат. *adveho* - підвожу, доставляю) - горизонтальне переміщення повітря і перенесення разом з ним тепла, вологи, домішок). Мова може йти про адвекцію повітряних мас, про адвекцію тепла, водяної пари, моменту руху тощо. Певні атмосферні явища, що відбуваються в результаті адвекції, називаються адвективними. Так, наприклад, кажуть про адвективні тумани, адвективні грози, адвективні заморозки тощо.



Основні атмосферні процеси (лат. processus - проходження, просування вперед).

Вода в атмосфері може перебувати в трьох фазових станах - газоподібному, рідкому і твердому - і переходити з одного стану в інший шляхом випаровування, конденсації, сублімації, замерзання і танення.

2. Умови та причини виникнення хмар

Хмари - це видиме скупчення крапель води та/або кристалів льоду (продуктів конденсації та/або сублімації водяної пари), що знаходяться в повітрі в підвішеному стані на деякій висоті над поверхнею землі.

Для утворення хмар необхідні: достатня вологість повітря, висхідні рухи і ядра конденсації (гігроскопічні частинки пилу, диму, морської солі, гару і т.д.).

Головною причиною утворення хмар є адіабатичне зниження температури в вологому повітрі яке піднімається. Залежно від виду висхідного руху, в результаті конденсації і сублімації водяної пари, утворюються хмари різних форм з різними фізичними характеристиками (мікроструктурою, водністю). Висхідні рухи, в залежності від причин утворення, поділяються на такі види: конвекція (термічна, вимушена і орографічна), висхідне ковзання, динамічна турбулентність і хвильові рухи.

Конвекція (лат. convectio - принесення від лат. conveho - приношу) - в загальному значенні перенос рідин або газів у вертикальному напрямку. В

розумінні цього терміну кажуть про конвективний потік тепла, конвективний потік вологи, конвективну складову руху тощо.

Конвекція - це вертикально спрямовані висхідні і низхідні потоки повітря, які виникають за рахунок: нерівномірного нагрівання підстильної поверхні (термічна конвекція), витіснення теплого повітря підтікають під нього холодним повітрям на атмосферних фронтах (вимушена конвекція) і натікання повітря на круті схили гір (орографічна конвекція) .

Висхідне ковзання - це похилий рух великих мас повітря, яке спостерігається при: натіканні теплого повітря на холодне повітря (на теплих фронтах), натікання теплого повітря на пологі схили гір і при повільному підтіканні холодного повітря під тепле повітря (на холодних фронтах).

Динамічна турбулентність - це безладні вихори, що виникають при горизонтальному переміщенні і тертя повітря під підстиляючу поверхню.

Хвильові рухи виникають в шарах інверсії і ізотермії внаслідок різниць щільності і швидкості руху повітря над і під цими шарами. При цьому в вершинах хвиль спостерігаються висхідні потоки, а в долинах - спадні.

Утворення хмар.

Хмари утворюються в результаті конденсації водяної пари в вільній атмосфері. Крім розглянутих вище процесів перемішування, що призводять до насичення, конденсація водяної пари може відбутись і при адіабатичному підйомі з охолодженням до точки роси. Такий підйом може відбуватись в наступних випадках:

- а) конвективний підйом,
- б) фронтальний підйом,
- в) орографічний підйом.

Утворення різних форм, видів і різновидів хмар. Процес утворення хмар того або іншого роду називається хмароутворенням. Хмара існує іноді дуже короткий час. Наприклад, час існування окремої купчастої хмари може обчислюватися 10 - 15 хвилинами. Але навіть коли хмара існує тривалий час, це не означає, що вона знаходиться в незмінному стані. У дійсності елементи хмари постійно випаровуються і виникають наново. Визначений процес хмароутворення є тривалим процесом. Хмара - це тільки видима в даний момент частина загальної маси води, що втягується в цей процес. Це особливо помітно при утворенні хмар над горами. При безупинному перетіканні повітря через гору він адіабатично охолоджується при підйомі настільки, що на деякій висоті виникають хмари. Ці хмари здаються

нерухомо прив'язаними до гребеня хребта. Але в дійсності вони переміщаються разом із повітрям і увесь час випаровуються в передній частині, де це повітря починає опускатися, і наново утворюються в тилівій частині з водяної пари, що надходить із повітрям, що піднімається. Завислість хмар також оманна. Якщо хмара не змінює своєї висоти, то це ще не означає, що складові його елементи не випадають. Краплі в хмарі можуть опускатися, але, досягаючи нижньої межі хмари, вони переходять у ненасичене повітря і тут випаровуються. У результаті хмара буде здаватися, що хмара довгостроково знаходиться на однім рівні. Щоб відбулися конденсація водяної пари й утворення хмар, необхідний деякий надлишок водяної пари понад насичення. Він може з'явитися або внаслідок збільшення вологості повітря, або внаслідок зниження його температури нижче точки роси, тобто нижче температури, при котрій водяна пара, що міститься в повітрі, стає насиченою. Вологість повітря збільшується унаслідок випаровування як із підстилаючої поверхні (при зниженні її температури), так і при підйомі повітря в результаті адіабатичного охолодження. У природі обидва чинники звичайно діють спільно. Всякий процес, що веде до зниження температури або збільшенню вологості повітря, є сприятливим для хмароутворення. Найбільше сприятливі умови для хмароутворення створюються тоді, коли повітря робить висхідний рух: уздовж фронтальної поверхні, при конвекції, хвилястих рухах, орографічному підйомі. Істотну роль в хмароутворенні грають і такі чинники, як турбулентний обмін і радіаційна втрата тепла. У зв'язку з цим існує генетична класифікація хмар:

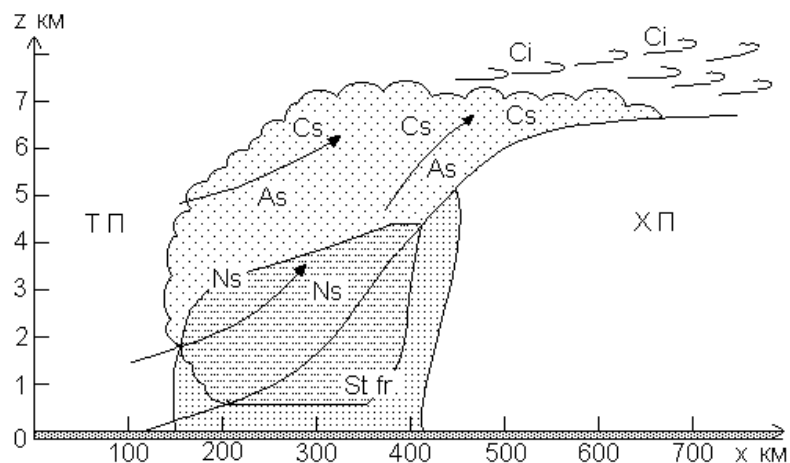
У відповідності з умовами їх утворення, існує генетична класифікація хмар, в якій розрізняються основні генетичні типи:

- а) хмари висхідного ковзання (фронтальні),
- б) хмари нестійких повітряних мас (конвекції),
- в) хмари стійких мас.

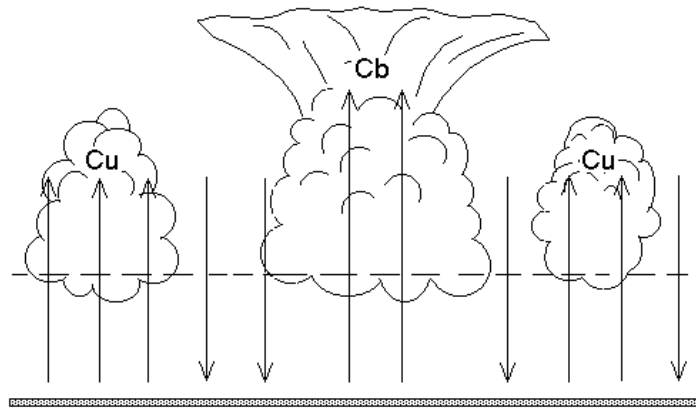
г) окремо можна виділити орографічні хмари, перламутрові (20-25 км) та сріблясті (70-80 км). З точки зору морфології фронтальні хмари можна називати переважно шаруватими, конвекції - купчастими, хмари стійких мас - хвилястими.

Фронтальні хмари (хмари висхідного ковзання). Хмари висхідного ковзання - це хмари, зв'язані зі сходженням великих шарів повітря над фронтальною поверхнею і його динамічним охолодженням. Хмарна система особливо добре виражена у випадку теплового фронту. Сама потужна частина системи поблизу лінії фронту являє собою шарувато-дощові хмари (Ns) у декілька кілометрів товщиною. Далі від лінії фронту хмари переходять у

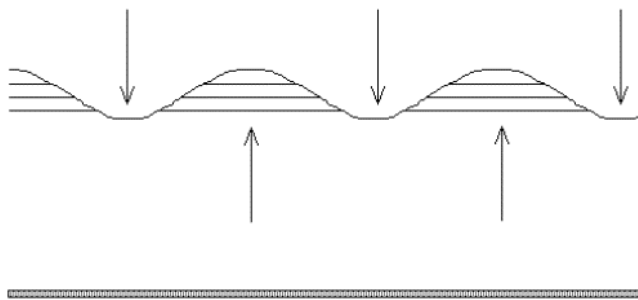
менше потужні високо-шаруваті (As), ще далі - у пір'ясто-шаруваті (Cs), перед якими спостерігаються пасма пір'ястих (Ci) уже на відстані багатьох сотень кілометрів від лінії фронту. У випадку холодного фронту утворюється, по суті, така ж хмарна система. Відмінність її перебуває в тому, що хмарна система холодного фронту більш вузька, а в передній частині має характер купчасто-дощових хмар (Cb) із зливовими опадами, тому що підйом теплого повітря має тут більш бурхливий характер, чим у випадку теплого фронту. Для холодного фронту характерно утворення і такого виду хмар як пір'ясто-купчасті (Cc). На фронтах оклюзії спостерігаються різні видозміни основних форм, наприклад, щільні високо-купчасті (As op.) і шарувато-купчасті (Sc op.). Поняття хмари висхідного ковзання можна поширити також на орографічні хмари, зв'язані зі сходженням повітряної маси по гірському хребту. У даному випадку частіше усього розвиваються купчасто подібні хмари.



Хмари конвекції - це хмари, пов'язані з атмосферною конвекцією, тобто підйом великих мас повітря викликає термічна конвекція при нестійкій стратифікації повітря. Швидкість підйому нерідко досягає 10 м/с і більше. Все це призводить до утворення конвективних хмар і випадінню зливових опадів. У першій стадії розвитку конвекції, коли вона є лише різновидом неупорядкованого турбулентного руху, це плоскі купчасті хмари (Cu hum.), а також разірвано-купчасті (Cu fr.). При виникненні добре оформлених висхідних струменів значної швидкості виникають потужні купчасті хмари (Cu cong.) і купчасто-дощові (Cb), інакше їх називають зливовими і грозовими. У середньому ярусі з конвекцією пов'язані деякі різновиди високо-купчастих хмар (As) - пластівчасті, баштовидні.



Хмари стійких повітряних мас. Хмари стійких мас виникають у стійких повітряних масах у зв'язку з охолодженням повітря від підстиляючої поверхні, динамічною турбулентністю і хвилястими рухами на поверхнях інверсії. До них відносяться шаруваті (St) і велика частина шарувато-купчастих (Sc) і високо-купчастих (Ac) хмар.



Орографічні хмари виникають при перетіканні повітряної течії через гірський хребет. Сюди відносяться особливо різні форми сочевицевидних хмар. Хмари цього типу утворюються на навітряній стороні або над гребенем хребта і тануть на підвітряній стороні, маючи, таким чином, характер стоячих хвиль. До орографічних хмар можна віднести також і хмари купчасті і купчасто-дощові, що утворюються над гірськими схилами.

