

Лекція 9

Тема: Вода в атмосфері і ґрунті



1. Утворення і класифікація хмар, їх характеристика.
2. Конденсація водяної пари.
3. Тумани.

Література

1. *Агрометеорологія : навч. посіб. / О.В. Суботіна. – Київ : Науково-методичний центр ВФПО, 2021. – 28...34 с.*
2. *Основи агрометеорології: Підручник / Польовий А.М., Божко Л.Ю., Вольвач О.В.; Одеський державний екологічний університет – Одеса: Видництво ТЕС, 2012 - 92...99.*



1. Утворення і класифікація хмар, їх характеристика.

Хмари – не сталі утворення, для одержання надійних характеристик хмарності необхідні безперервні спостереження за формуванням, розвитком та зміною хмар. Спеціальні атласи фотографій та схем хмар дозволяють вивчати їхню різноманітність. Цьому сприяє й коротка загальна характеристика хмар.

Хмари верхнього ярусу – найвищі хмари тропосфери. Складаються з кристалів льоду. Вони світло-сірого кольору, напівпрозорі, пропускають частково прямі сонячні промені, тому предмети мають тіні.

Перисті (пір'ясті) хмари як пір'я птаха або смуги волокнистої структури.



Перисто-шаруваті хмари – тоненька прозора біляста вуаль, яка вкриває все небо чи його частину. Інколи вони також мають волокнисту структуру.



Перисто-купчасті хмари мають вигляд гряд, шарів, які складаються з дуже малих пластівців, кульок, завитків, баранців. Вони часто нагадують брижі на поверхні води чи піску.



Хмари середнього ярусу значно щільніші. Сонце та Місяць через них просвічують у вигляді розмитих плям, але прямих сонячних променів уже немає і предмети не створюють тіні.

Високо-шаруваті хмари – світло-сірий покрив різної щільності, вкривають усе небо чи його частину. Це типові змішані хмари. У яких є дрібненькі краплі та сніжинки. З них випадають слабкі опади, які влітку випаровуються і не досягають земної поверхні, а взимку з них випадає слабкий сніг.



Високо-купчасті хмари мають вигляд шарів та гряд сірого кольору, які складаються з плоских валів, дисків, пластин. Вони часто простягаються у вигляді рядів. Для них характерна іризація – райдужне забарвлення країв хмар, які спрямовані до Сонця. Іризація свідчить про те, що високо-купчасті хмари складаються з дуже дрібних крапель води.



Хмари нижнього ярусу.

Шаруваті хмари – це сірий однорідний шар. Складаються із крапель води діаметром 4-10 мкм. З них випадає мряка. Взимку при досить низьких температурах з них випадають снігові зерна (як манна крупа), маленькі сніжинки, або кристалики льоду у вигляді голок. Коли утворюється тонкий шар хмар, то диск Сонця чи Місяця може посвічувати крізь хмари. Інколи хмари можуть мати вигляд суцільного шару порваних клаптів.



Шарувато-купчасті хмари – це гряди чи шари сірих хмар, які завжди мають темні ділянки. Між окремими елементами хмар інколи просвічує небо. Зовні дещо схожі на висококупчасті хмари, але окремі елементи їх будови більші. Структурні елементи хмар у більшості випадків простягаються рядами. Складаються в основному з дрібненьких однорідних крапель з діаметром 10-14

мкм, які при від'ємних температурах зберігаються у переохолодженому стані, зрідка присутні трохи кристалів та сніжинок. Тому із щільних хмар інколи випадає мряка або слабкий сніг.



Шарувато-дощові хмари – дуже потужні хмари на атмосферних фронтах і простягаються з нижнього до верхнього ярусів. У верхній частині вони складаються з дрібненьких крапель та сніжинок, а в нижній є й великі краплі та сніжинки. Тому хмари темно-сірого кольору і небесні світила крізь них не просвічують. Під суцільним шаром шарувато-дощових хмар часто утворюються безформні накопичення розірваних хмар, які дуже темні на фоні шарувато-дощових. Із цих хмар випадають опади облогового характеру.



Хмари вертикального розвитку утворюються в результаті конвекції. Мають вигляд ізольованих щільних мас з плоскою основою та чудернацькими вершинами, які нагадують нагромадження куполів та башт. Вершини хмар сліпучо-білі, а основи сірі або темно-сірі. Найчастіше основа хмар на висоті 400-1500 м, а вершина досягає верхнього ярусу.

Купчасті хмари – спочатку у вигляді шматків вати з подальшим розвитком угору. Це окремі щільні маси з сіруватими плоскими основами та опуклими вершинами. Інколи вершини бувають плоскими, що свідчить про наявність в атмосфері інверсії, яка перешкоджає розвитку хмар угору. Складаються з крапель води і не дають опадів. При сприятливих умовах купчасті хмари перетворюються в купчасті потужні з темною основою та блискучою вируючою вершиною. У цій фазі вони можуть включати і кристали, тому з них можуть випадати опади зливого характеру.



Купчасто-дощові хмари є результатом подальшого розвитку купчастих хмар. Це велетенські гороподібні маси хмар з темною, а інколи синюватою основою та з білою вершиною частіше волокнистої структури. Часто верхня частина хмари має форму ковадла. У верхній частині купчасто-дощові хмари складаються з кристалів льоду, а в середній з кристалів та крапель. З цих хмар

випадають опади зливогого характеру, часто з грозами. Тому купчасто-дощові хмари ще називають зливовими або грозовими. Вертикальна протяжність до 10км, а інколи досягають тропопаузи. Під основою цих хмар у смугах падіння опадів часто спостерігають накопичення розірваних хмар.



Елементи хмар – краплі та кристали дуже малі і вони зрівноважуються силою тертя. Швидкість падіння крапель у нерухомому повітрі дорівнює кільком долям сантиметра за секунду, а кристалів – ще менше. При наявності турбулентності краплі та кристали перебувають у завислому стані тривалий час. Вони повільно зміщуються то вниз, то вгору. Якщо відносна вологість повітря зменшується, то хмари випаровуються.

Хмара постійно змінюється: її складові постійно випаровуються і виникають знову. Хмара є лише видимою частиною води у даний момент. Це особливо помітно при утворенні хмар над вершиною гори. При безперервному перетіканні повітря через вершину у ньому відбуваються такі зміни. При піднесенні вгору повітря адіабатично охолоджується, відбувається конденсація водяної пари і утворюються хмари. Їх видно над вершиною гори, як нерухомі. Насправді ми кожної миті бачимо нову хмару. Хмари рухаються разом з повітрям і спереду постійно випаровуються. Тут повітря опускається вниз, адіабатично нагрівається і відділяється від стану насичення. З навітряного боку гори **хмари** постійно наново утворюються із вологи, яка переноситься догори разом з повітрям.

На рівнині хмара так само постійно змінюється. Краплі з хмари опускаються донизу і, переходячи за її межі у ненасичене повітря, одразу випаровуються. Водяна пара переноситься вгору і знову конденсується. Цей процес іде постійно і хмара постійно відновлюється. Вважається, що конкретна купчаста хмара існує лише 10-20 хвилин, після чого ми вже бачимо по суті іншу купчасту хмару.

2. Конденсація водяної пари.

Конденсація – перетворення водяної пари у рідкий стан. В результаті конденсації утворюються дрібненькі крапельки діаметром кілька мікрометрів. Більші краплі утворюються в результаті злиття кількох дрібненьких або в результаті танення сніжинок. Якщо температура повітря знижується до точки роси, то водяна пара стає насиченою. При подальшому зниженні температури повітря, надлишок водяної пари зверху насиченої, перетворюється у рідкий стан.

Зниження температури повітря у більшості випадків відбувається через його піднесення угору. Коли повітря не насичене, то воно адіабатично охолоджується на 1°C на кожні 100м висоти. Тому для початку конденсації досить повітря підняти угору на кілька сотень метрів. Коли ж воно далеке від насичення, то воно повинно підняти на 1-2км і більше.

Причини піднесення повітря угору різні. Це і турбулентне невпорядковане перемішування, теплова конвекція, і висхідні упорядковані рухи повітря на атмосферних фронтах чи вздовж схилів у горах, а також висхідні рухи повітря на гребенях атмосферних хвиль. Усі ці причини обумовлюють утворення різних видів хмар.

Тумани також утворюються в результаті зниження температури приземного шару повітря. Але у цьому випадку температура повітря знижується в результаті теплообміну з холодною земною поверхнею.

В атмосфері крім конденсації водяної пари відбувається і сублімація. **Сублімація – це перетворення водяної пари безпосередньо у кристалики льоду. Сублімація в атмосфері починається при температурі нижче -40°C . Коли ж в атмосфері уже є кристали льоду, то сублімація на їхній поверхні відбувається і при температурі нижче $-6-8^{\circ}\text{C}$.**

У більшості випадків кристали льоду появляються в атмосфері при замерзанні переохолоджених крапель води при температурі близько -10°C і нижчій.

Краплі води при конденсації водяної пари утворюються на ядрах конденсації. В основному ядрами конденсації є кристалики гігроскопічних солей, особливо морської солі. Морська сіль надходить в атмосферу при хвилюванні моря. На гребенях хвиль утворюється піна, тобто бульбашки, заповнені повітрям. Бульбашка лопається і в усіх напрямках розлітаються дрібненькі краплі. Коли розривається бульбашка діаметром близько 6 мм, то розлітається близько 1000 крапель, які вітром разносяться на величезні відстані. При швидкості вітру 15 м/с з 1 cm^2 поверхні моря за 1с у повітря надходить кілька десятків ядер конденсації з масою 10^{-15-16} г кожне.

Розмір ядер конденсації малий: від $5\cdot 10^{-3}$ до 20 мкм. Цей діапазон умовно поділяють на три групи ядер. Ядра радіусом від $5\cdot 10^{-3}$ до $2\cdot 10^{-1}$ мкм називають ядрами Айткена – на честь англійського фізика Дж. Айткена. Їх концентрація змінюється від 1 до $1\cdot 10^5 \text{ cm}^{-3}$ залежно від висоти над земною поверхнею. Другу групу складають великі ядра з радіусом від 0,2 до 1 мкм, середня концентрація яких близько 10^2 cm^{-3} . Ядра з радіусом понад 1 мкм називають гігантськими і їх концентрація звичайно не перевищує $1\cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-3}$. Саме ці ядра відіграють велику роль в утворенні опадів. Через свою легкість ядра завжди завислі в атмосфері і самі не падають з атмосфери, вони плавають в атмосфері роками. Через свою гігроскопічність вони часто плавають у вигляді насиченого розчину солей. При збільшенні відносної вологості повітря краплі збільшуються у розмірі, а при наближенні вологості повітря до 100% вони стають видимими на око краплями хмар та туманів.

Кристалики солей та інші гігроскопічні ядра надходять в атмосферу при розвіюванні ґрунту вітром. Гігроскопічними є також тверді частки продуктів горіння або органічного розкладу. У промислових центрах в атмосфері є дуже багато таких ядер конденсації. Ядрами конденсації можуть бути досить великі негігроскопічні частки, поверхня яких змочується. Взагалі за походженням ядра конденсації поділяють на чотири групи, %: ядра морського походження – 20, продукти горіння – 40, частинки ґрунту – 20, іншого походження – 20.

Конденсація водяної пари відбувається на найбільших ядрах конденсації. Це так звані метеорологічні ядра конденсації з розміром $0,1 - 1,0$ мкм. На малих ядрах водяна пара може конденсувати лише у штучних умовах при значному перенасиченні повітря. У повітрі ядер конденсації достатніх розмірів багато. Поблизу земної поверхні в 1см^3 повітря містяться тисячі й десятки тисяч ядер конденсації. При піднесенні угору кількість ядер конденсації швидко зменшується.

Конденсація водяної пари може відбуватись і без ядер конденсації. Це відбувається інколи на комплексі молекул газів. Але така крапля не стійка. Наступної миті молекули розлітаються і крапля зникає. Наявність ядра конденсації в краплі збільшує її стійкість через гігроскопічність ядра. В лабораторних умовах конденсація не відбувається навіть при великому перенасиченні повітря, якщо в ньому немає ядер конденсації. В природних умовах перенасичення повітря не спостерігається, оскільки ядер конденсації завжди достатньо.

Раніше вважалось, що кристалики льоду в атмосфері виникають на особливих ядрах сублімації. Тепер уже досліджено, що на ядрах конденсації виникають краплі води, які при низьких температурах замерзають і на цих кристалах відбувається сублімація водяної пари.

В результаті конденсації водяної пари утворюються дуже дрібненькі крапельки – це долі мікрметра. При тривалому процесі конденсації радіус крапель може досягти 20 мкм. Залежно від умов утворення та стадії розвитку хмари краплі у ній можуть бути досить однорідні, а можуть бути й різноманітними за розмірами. Краплі хаотично рухаються і в результаті зустрічі двох крапель відбувається їх коагуляція або злиття. Для того, щоб спрацював механізм коагуляції, необхідна наявність крапель у хмарі з радіусом $r \geq 18$ мкм. Природним джерелом великих крапель можуть бути гігантські ядра конденсації, які складаються з морської солі. Нова крапля уже більша за розмірами.

Коагуляції сприяють різнойменні заряди крапель. Однойменно зарядженні краплі взаємно відштовхуються. В результаті коагуляції радіус крапель у хмарі може досягти $100-200$ мкм. Такі краплі починають випадати із хмар у вигляді мряки чи слабкого дощу. Краплі більшого розміру виникають при таненні кристалів льоду. Радіус крапель дощу може досягати тисяч мікрметрів, тобто кількох міліметрів.

При замерзанні крапель води в атмосфері утворюються повні кристали – льодяні шестигранні пластинки або призми з діаметром $10-20$ мкм. При подальшій сублімації на їхній поверхні, кристалики збільшуються і на їхніх кутах утворюються розгалуження у вигляді променів. На цих розгалуженнях утворюються нові розгалуження і кристали перетворюються у шестигранні зірочки-сніжинки. Ця форма йде від формули води. Кристали можуть бути й іншого різноманітного складного вигляду, оскільки вони в атмосфері дробляться, змерзаються тощо. Радіус сніжинок досягає кількох міліметрів. Часто кілька сніжинок злипаються і утворюється цілі пластівці.

Зрозуміло, що не вся водяна пара в атмосфері конденсується. У рідкий чи твердий стан перетворюється лише частина водяної пари – зверху насиченої водяної пари.

3. Тумани.

Сукупність завислих у повітрі крапель води, кристалів льоду, які погіршують видимість до значень менших за один кілометр – називається туманом.

Серпанком називається сукупність завислих у повітрі крапель води або кристалів льоду, які спричиняють видимість у межах від 1 до 10 км

Імлою називається сукупність завислих твердих частинок, які погіршують видимість до значень менших за 10 км.

А.С. Зверев запропонував таку класифікацію туманів (залежно від основних фізичних процесів їх утворення):

1. Тумани охолодження:

- а) **радіаційні** (приземні, низькі і високі);
- б) **адвективні** (адвекція теплої та холодної повітряної маси, зниження хмар і переміщення туманної маси);
- в) **адвективно - радіаційні**;
- г) **орографічні** (сходження вздовж схилів гір).

2. Тумани випаровування:

- д) **випаровування вологи із водойм** (арктичних морів, осінньо-зимове річок, внутрішніх морів, та крапель теплої дощу у холодному приземному підшарі);
- е) **змішування, або перемішування (мас повітря із різними тер-могігрометричними властивостями** – берегові та фронтальні тумани).

3. Тумани, викликані діяльністю людини:

- є) **міські**;
- ж) **морозні** (селищні, пічні);
- з) **штучні**.

Радіаційні тумани утворюються у результаті охолодження поверхні Землі і прилеглої до неї шару повітря під впливом ефективного випромінювання і турбулентного перемішування. Умови, сприятливі для утворення радіаційних туманів, є такими:

1. Відсутність хмарності, оскільки хмари послаблюють охолодження поверхні Землі.
2. Висока відносна вологість на початку процесу охолодження поверхні Землі та прилеглих шарів повітря.
3. Слабкий вітер, не більше 2...4 м/с.
4. Низька теплопровідність ґрунтового покриву Землі.
5. Обов'язковий інверсійний розподіл температури повітря у шарі товщиною 50...300 м.

Для утворення **адвективних туманів** необхідні такі сприятливі умови:

1. Висока відносна вологість теплої повітряної маси, яка переміщується на холодну підстилаючу поверхню.
2. Значна різниця температур між повітряною масою та поверхнею Землі.
3. Помірні швидкості вітру, не більші ніж 2...5 м/с.
4. Збільшення та постійність відносної вологості повітря із висотою відносно поверхні Землі. Наявність слабого турбулентного обміну.

Тумани схилів гір виникають завдяки підйому повітряних мас вздовж схилів гірських систем і підвищень.

Тумани випаровування утворюються внаслідок надходження випаруваної вологи із поверхні теплої води у відносно вологе повітря.

Тумани змішування (перемішування) виникають у тих рідких випадках, коли різниця температур мас повітря, що перемішуються, дуже велика і обидві маси близькі до насичення.



Контрольні запитання

1. Назвіть головну причину утворення хмар
2. Охарактеризуйте хмари вертикального розвитку