

# Авиационная метеорология

## ОБЛАКА, ОСАДКИ, ТУМАНЫ, ДЫМКИ

Вертикальные движения в атмосфере

Понятие устойчивости и неустойчивости атмосферы

Причины формирования облачности

Классификация облачности

Осадки, их форма и вид

Туманы, дымки и условия их формирования

## Виды вертикальных движений воздуха

```
graph LR; A[Виды вертикальных движений воздуха] --- B[Конвекция – это вертикально направленные восходящие или нисходящие движения воздуха]; A --- C[Восходящее скольжение – это наклонное движение больших масс воздуха, которое наблюдается:]; A --- D[Динамическая турбулентность – это беспорядочные восходящие и нисходящие вихри, возникающие при горизонтальном перемещении и трении воздуха о подстилающую поверхность]; A --- E[Волновые движения воздуха – возникают в слоях инверсии и изотермии (на их верхней и нижней границах) вследствие разности плотности и скорости движения воздуха над и под инверсией];
```

**Конвекция** – это вертикально направленные восходящие или нисходящие движения воздуха

**Восходящее скольжение** – это наклонное движение больших масс воздуха, которое наблюдается:

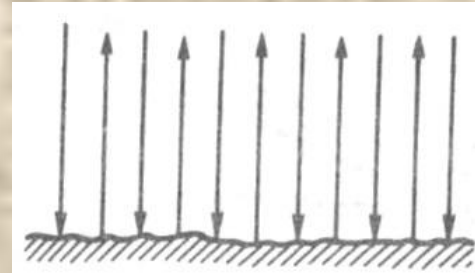
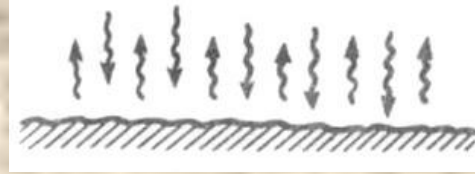
**Динамическая турбулентность** – это беспорядочные восходящие и нисходящие вихри, возникающие при горизонтальном перемещении и трении воздуха о подстилающую поверхность

**Волновые движения** воздуха – возникают в слоях инверсии и изотермии (на их верхней и нижней границах) вследствие разности плотности и скорости движения воздуха над и под инверсией



# Конвекция

Термическая конвекция возникает в результате неравномерного нагревания Солнцем подстилающей поверхности



Вынужденная конвекция образуется при подтекании ХВ под ТВ или при натекании воздуха на крутые склоны гор (орографическая конвекция)

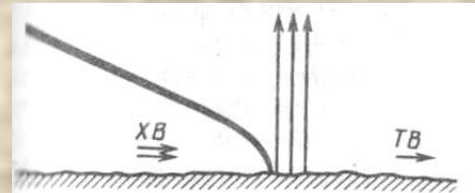


Рис. Вынужденная конвекция на холодных фронтах

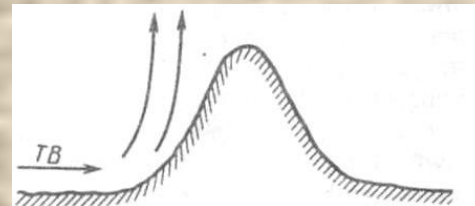


Рис. Вынужденная (орографическая) конвекция

натекании ТВ на ХВ на теплых фронтах

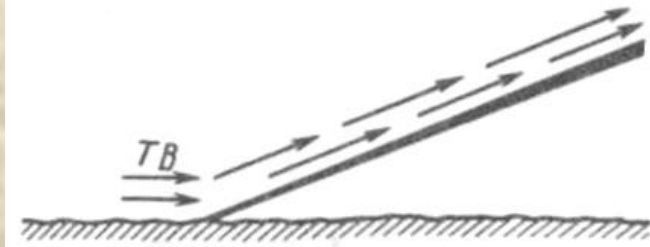


Рис. Натекание теплого воздуха на холодный воздух

Восходящее скольжение наблюдается при:

натекании ТВ на пологие склоны гор



Рис. Натекание теплого воздуха на пологие склоны гор

медленном подтекании ХВ под ТВ на холодном фронте 1-го рода

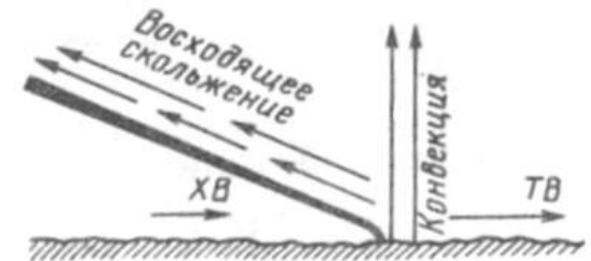
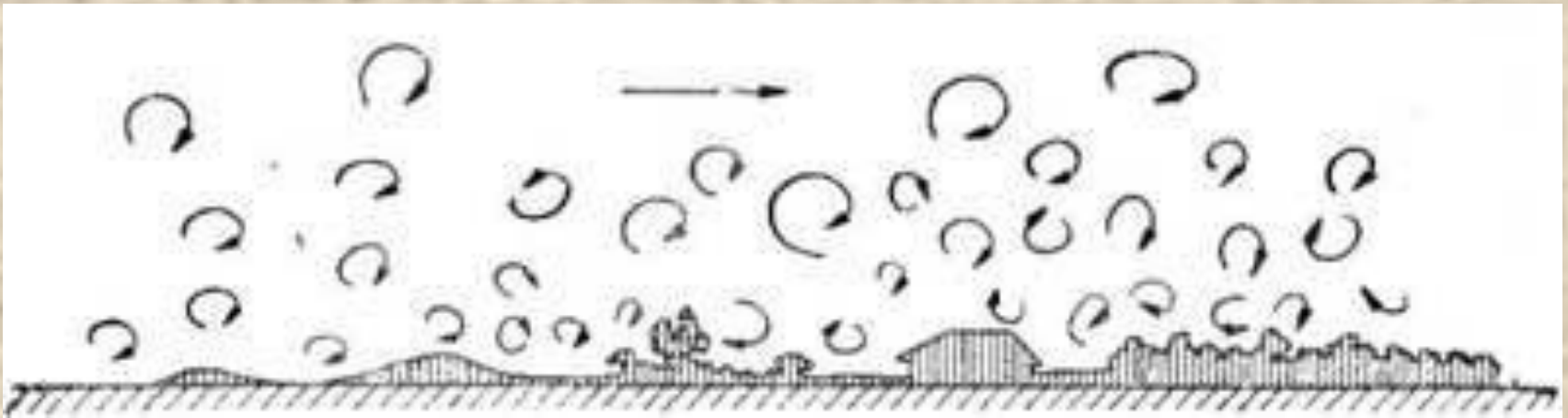


Рис. 5.6. Медленное подтекание холодного воздуха под теплый

## Динамическая турбулентность

Наблюдается в любое время года и суток. Её интенсивность зависит от скорости ветра и рельефа. Скорость вертикальных движений при динамической турбулентности достигает нескольких десятков см/с. Она наблюдается в слое от земли до 1-1,5 км.

В летнее время термическая конвекция и динамическая турбулентность часто наблюдаются одновременно. Динамическая турбулентность приводит к образованию волнистообразных облаков нижнего яруса и обуславливает на этапах взлета и посадки слабую, реже умеренную болтанку.





## Волновые движения воздуха

Волновые движения воздуха возникают в слоях инверсии и изотермии (на их верхней и нижней границах) вследствие разности плотности и скорости движения воздуха над и, под инверсией. Подобно тому, как на поверхности моря, являющейся границей между двумя средами - водой и воздухом, возникают волны, так и граница инверсионного слоя представляет собой волнистую поверхность. При этом в вершинах волн имеют место восходящие движения, в долинах - нисходящие.

Волновые движения воздуха образуются также в горных районах, на подветренных сторонах гор. При определенных условиях волновые движения в горных районах охватывают почти всю тропосферу, а иногда проникают и в стратосферу. Скорости восходящих и нисходящих потоков - несколько метров в секунду.

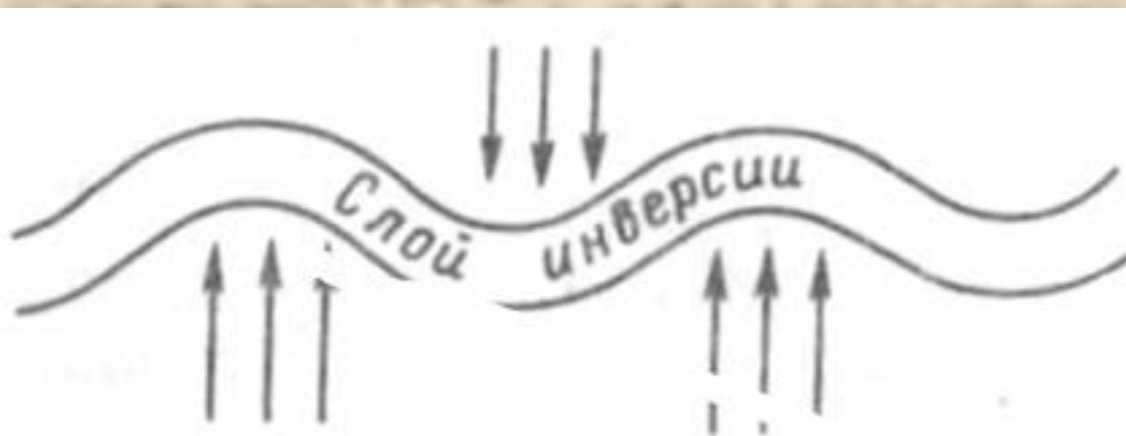


Рис. Волновые движения воздуха

При достаточном влагосодержании в гребнях волн образуются волнистообразные облака. При полете и пересечении таких волн наблюдается циклическая болтанка самолета.

# Понятие устойчивости и неустойчивости атмосферы

**Адиабатическим процессом** называется термодинамический процесс, при котором изменение температуры в некотором объеме воздуха происходит без теплообмена с окружающей средой. При адиабатических процессах расширение воздуха сопровождается его охлаждением, а сжатие - нагреванием. В атмосфере адиабатические процессы наблюдаются при вертикальных движениях воздуха.

Адиабатические процессы

Сухоадиабатические – происходят в сухом или влажном, но ненасыщенном воздухе

$$\gamma_a = 0,98^\circ C / 100m$$

Влажноадиабатические – происходят во влажном насыщенном воздухе

$$\gamma_{ва}^{cp} = 0,5^\circ C / 100m$$

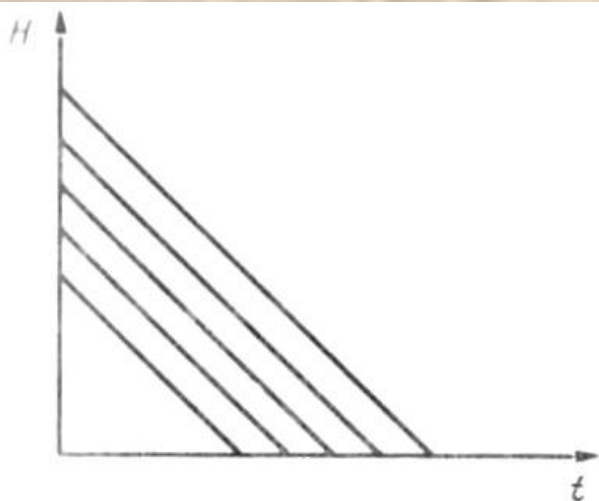


Рис. Сухие адиабаты

Изменение температуры при адиабатических процессах можно изобразить графически при помощи линий, называемых адиабатами.

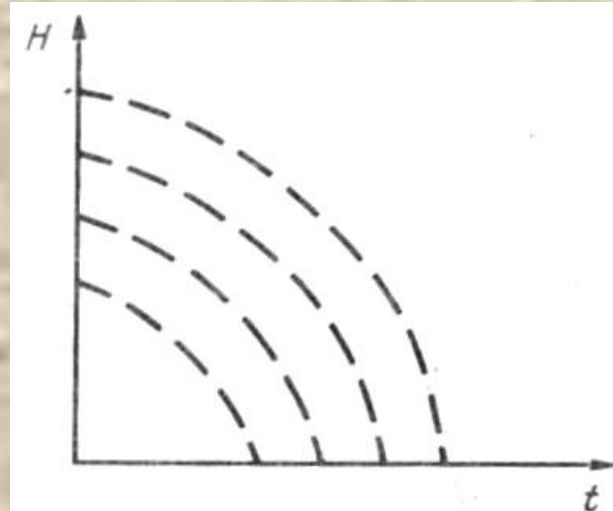


Рис. Влажные адиабаты

**Уровень конденсации** - высота, на которой водяной пар в поднимающемся воздухе достигает насыщения. Очевидно, что на уровне конденсации температура воздуха равна точке росы, а относительная влажность становится равной 100%. Высота уровня конденсации находится в прямой зависимости от температуры воздуха у земли и в обратной зависимости от его относительной влажности.

$$h_k = 17 \cdot (100 - f_0); \quad h_k = 123 \cdot (t_0 - t_{d0})$$

$f_0$  - относительная влажность у поверхности земли;

$t_0$  - температура у поверхности земли воздуха;

$t_{d0}$  - точка росы у поверхности земли.

**Уровень конвекции** - это высота, до которой может распространяться восходящий воздушный поток. На уровне конвекции температура поднимающегося воздуха равна температуре окружающего воздуха. Высота уровня конвекции находится в прямой зависимости от начальной температуры поднимающегося воздуха и вертикального температурного градиента в окружающем воздухе.

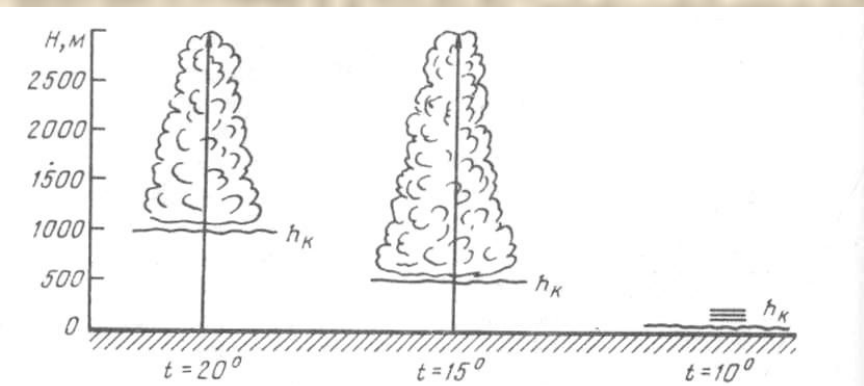


Рис. Зависимость уровня конденсации от температуры и влажности воздуха ( $a = 9,4 \text{ г/м}^2$ ;  $t_d = 10^\circ \text{C}$ )

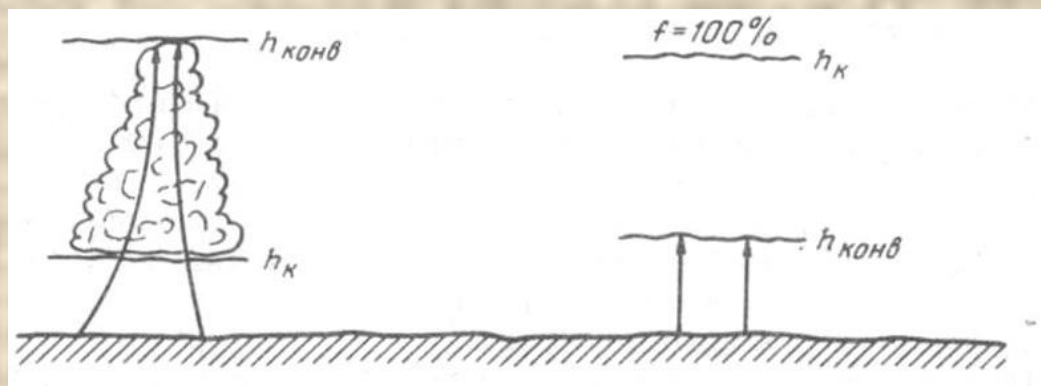


Рис. Влияние взаимного расположения уровней конвекции и конденсации на образование облаков



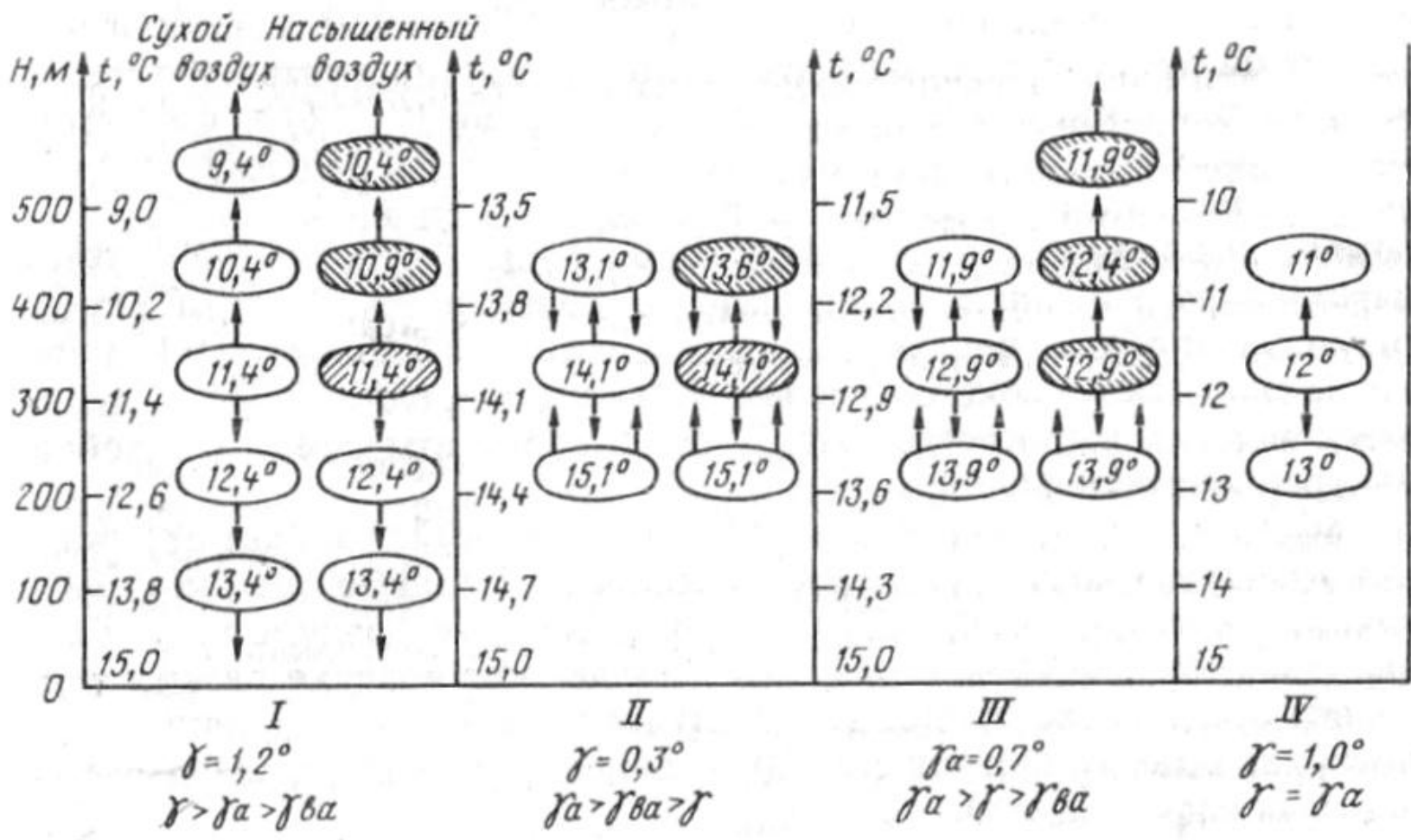


Рис. Развитие вертикальных движений воздуха при различных вертикальных температурных градиентах

Такое состояние называется устойчивым равновесием воздуха.

Такое состояние называется устойчивым равновесием воздуха.

Такое состояние воздуха называется влажно-неустойчивым равновесием.

Такое состояние атмосферы называется безразличным равновесием.

# ПРИЧИНЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЛАЧНОСТИ

**Облака** - это видимое скопление капель воды и/или кристаллов льда, (продуктов конденсации и/или сублимации водяного пара), находящихся в воздухе во взвешенном состоянии на некоторой высоте над поверхностью земли.

Для образования облаков необходимы: достаточная влажность воздуха, восходящие движения и ядра конденсации (гигроскопические частицы пыли, дыма, гари и т.д.).

Главной причиной образования облаков является адиабатическое понижение температуры в поднимающемся влажном воздухе. В зависимости от вида восходящего движения, в результате конденсации и сублимации водяного пара, образуются облака различных форм с различными физическими характеристиками (микроструктурой, водностью).

Признаки деления  
облаков на группы

По микроструктуре

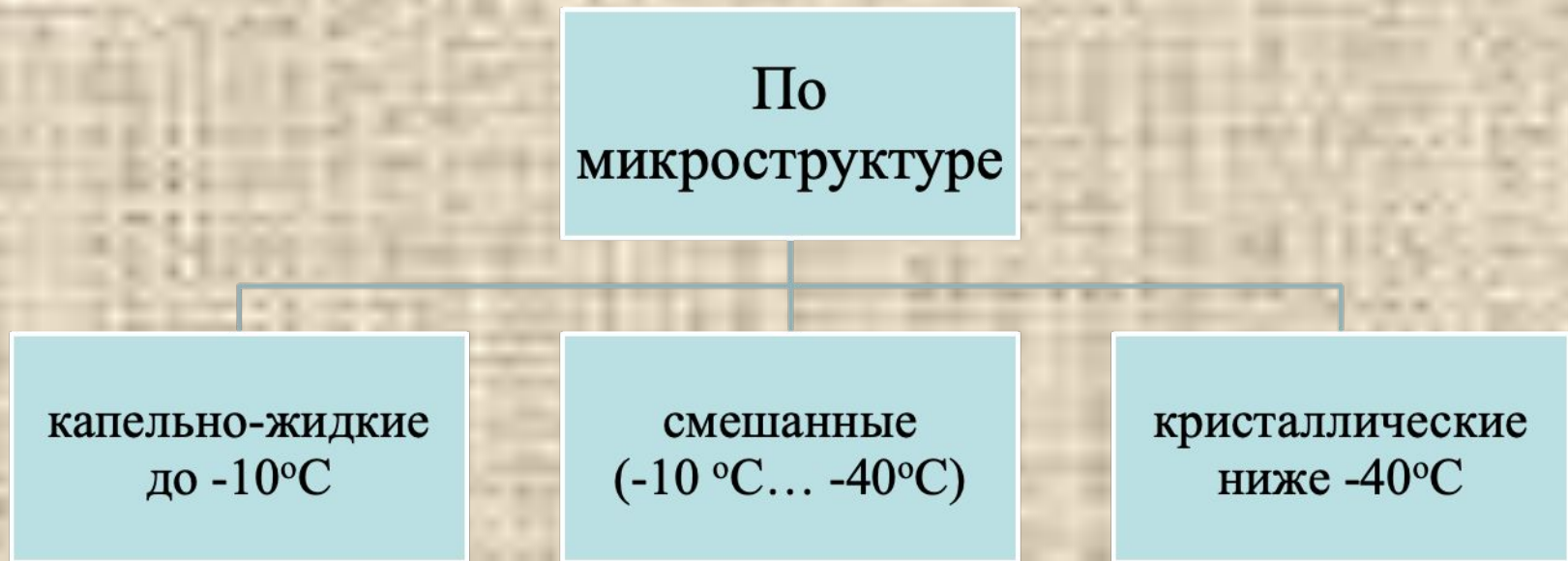
В зависимости от высоты  
расположения НГО и  
внешнего вида  
(морфологическая  
классификация)

По условиям  
образования  
(генетическая  
классификация)



**Микроструктура облаков** - внутреннее строение облаков. К ней относятся фазовое состояние облачных элементов, их размеры, число облачных частиц в единице объема.

Чем выше расположены облака, тем ниже температура воздуха и тем вероятнее кристаллическая структура. Капли, составляющие водяные облака, имеют радиус 4...25 мкм. В 1 м<sup>3</sup> облака содержится 100...600 капель. Облачные ледяные кристаллы имеют разные размеры и форму, но при низких температурах преобладают ледяные шестиугольные пластинки или призмы размером 10...12 мкм.



# Генетическая классификация

## Кучевообразные

Кучевые

Мощно-кучевые

Кучево-дождевые

Высоко-кучевые  
хлопьевидные или  
башенкообразные

Перисто-кучевые

## Слоистообразные

Слоисто-дождевые

Разорванно-дождевые

Высоко-слоистые

Перисто-слоистые

Перистые

## Волнистообразные

Слоистые

Слоисто-кучевые

Высоко-кучевые

Перисто-кучевые



**Морфологическая классификация** облаков предусматривает распределение их прежде всего по высоте нижней границы: облака верхнего, среднего и нижнего ярусов. Особо выделяются облака вертикального развития, представляющие собой облачные массы, простирающиеся по вертикали до различных высот. В современной международной классификации используют латинские названия облаков, которым соответствуют сокращенные обозначения.



# Облака верхнего яруса

## Перистые облака (Cirrus, Ci)

Вид	Разновидность
<i>Нитевидные</i> – fibratus (fib.)	<i>Перепутанные</i> – intortus (int.)
<i>Когтевидные</i> – uncinus (unc.)	<i>Радиальные</i> – radiatus (rad.)
<i>Плотные</i> – spissatus (sp.)	<i>Хребтовидные</i> – vertebratus (vert.)
<i>Башенковидные</i> – castellanus (cast.)	<i>Двойные</i> – duplicatus (dup.)
<i>Хлопьевидные</i> – floccus (floc.)	

## Перисто-кучевые облака (Cirrocumulus, Cc)

Вид	Разновидность
<i>Слоистообразные</i> – stratiformis (str.)	<i>Волнистые</i> – undulatus (und.)
<i>Чечевицеобразные</i> – lenticularis (lent.)	<i>Дырявые</i> – lacunosus (lac.)
<i>Башенковидные</i> – castellanus (cast.)	
<i>Хлопьевидные</i> – floccus (floc.)	

## Перисто-слоистые облака (Cirrostratus, Cs)

Вид	Разновидность
<i>Нитевидные</i> – fibratus (fib.)	<i>Двойные</i> – duplicatus (du.)
<i>Туманообразные</i> – nebulosus (neb.)	<i>Волнистые</i> – undulatus (und.)



# Облака среднего яруса

## Высококучевые облака (Alto cumulus, Ac)

Вид

Разновидность

*Слоистообразные* –  
stratiformis (str.)

*Чечевицеобразные* –  
lenticularis (lent.)

*Башенковидные* –  
castellanus (cast.)

*Хлопьевидные* –  
floccus (floc.)

*Просвечивающие* –  
translucidus (trans.)

*С просветами* –  
perlucidus (per.)

*непросвечивающие* –  
opacus (op.)

*Двойные* –  
duplicatus (dup.)

*Волнистые* –  
undulatus (und.)

*Радиальные* –  
radiatus (rad.)

*Дырявые* –  
lacunosus (lac.)

## Высокослоистые облака (Altostratus, As)

Вид

Разновидность

Не выделяются

*Просвечивающие* –  
translucidus (trans.)

*Непросвечивающие* –  
opacus (op.)

*Двойные* –  
duplicatus (du.)

*Волнистые* –  
undulatus (und.)

*Радиальные* –  
radiatus (rad.)

# Облака нижнего яруса

## Слоистые облака (Stratus, St)

Вид	Разновидность
Туманообразные – nebulosus (neb.)	Непросвечивающие – opacus (op.)
Разорванные – fractus (fr.)	Просвечивающие – translucidus (trans.)
	Волнистые – undulatus (und.)

## Слоисто-кучевые облака (Stratocumulus, Sc)

Вид	Разновидность
Слоистообразные – stratiformis (str.)	Просвечивающие – translucidus (trans.)
Чечевицеобразные – lenticularis (lent.)	С просветами – perlucidus (per.)
Башенковидные – castellanus (cast.)	Непросвечивающие – opacus (op.)
	Двойные – duplicatus (dup.)
	Волнистые – undulatus (und.)
	Радиальные – radiatus (rad.)
	Дырявые – lacunosus (lac.)

## Слоисто-дождевые облака (Nimbostratus, Ns)

Вид	Разновидность
Не выделяются	

# Облака вертикального развития

## Кучевые облака (Cumulus, Cu)

Вид

Разновидность

*Разорванные* –  
fractus (fr.)

*Плоские* –  
humilis (hum.)

*Средние* –  
mediocris (med.)

*Мощные* –  
congestus (cong.)

*радиальные* –  
radiatus (rad.)

## Кучево-дождевые облака (Cumulonimbus, Cb)

Вид

Разновидность

*Лысые* –  
calvus (calv.)

*Волосатые* –  
capillatus (cap.)

Не выделяются



## Высоко-кучевые облака

Высоко-кучевые облака - серого, белого или синеватого цвета, облака в виде волн и гряд, состоящих из хлопьев или пластин, разделенных просветами (окнами). Края облаков могут приобретать слабую радужную окраску. Высота нижней границы обычно 2...6 км, вертикальная протяженность 0,2...0,7 км. В отдельных случаях из облаков могут выпадать капли дождя или снежинки.



# Высоко-слоистые облака

Высоко-слоистые облака имеют вид однородной или волнистой пелены серого или синеватого цвета, иногда со слабо выраженными волнами.

Если Солнце или Луна просматриваются через облака, то они выглядят тусклыми. Высота нижней границы облаков 3...5 км, вертикальная протяженность 1...2 км. Из облаков могут выпадать слабый дождь или снег, особенно в тех случаях, когда в верхней части облачного массива имеются ледяные кристаллы.



Рис. Под плотным слоем высокослоистых непросвечивающих облаков (*Altostratus opacus*) видны темные клочья слоистых разорванных облаков (*Stratus fractus*, *St fr.*).



## Слоисто-кучевые

Слоисто-кучевые облака имеют вид крупных гряд, волн, пластин, хлопьев, сливающихся в сплошной серый волнистый покров, в котором иногда бывают просветы. Высота нижней границы чаще всего 0,6...1,5 км, вертикальная протяженность 0,2...0,8 км, иногда 1...2 км и более. Облака обычно состоят из капель воды, которые в зимнее время являются переохлажденными и, кроме того, имеют примесь кристаллов льда и снежинок. Из сплошных плотных облаков летом иногда может выпадать слабый дождь, а зимой слабый и умеренный снег.





## Слоисто-дождевые облака

Слоисто-дождевые облака представляют собой сплошные низкие темно-серые облачные массы сравнительно однородного вида с некоторой волнистостью. Для этих облаков характерны продолжительные осадки в виде дождя или снега. Под их основным слоем обычно наблюдаются разорванно-дождевые облака в виде клочьев нередко закрывающих вышележащие облака. Высота нижней границы слоисто-дождевых облаков зависит от близости к линии фронта и составляет 0.1...1 км; вертикальная протяженность обычно 2...3 км, иногда 5 км и более. Облачный массив может быть расслоенным и сплошным. В последнем случае, сливаясь с высоко-слоистыми и перисто-слоистыми облаками, облачная система по вертикали может занимать большую часть тропосферы. Облака состоят из переохлажденных капель и ледяных кристаллов.



## Слоистые облака

Слоистые облака образуют сплошной однородный покров серого цвета, иногда разорванный и клочковатый. Высота нижней границы облаков обычно 0,1...0,7 км, а при разорванных облаках - 20...100 м. Вертикальная протяженность, как правило, 0,2...0,8 км. Иногда облака сливаются с туманом, в теплое время года они состоят из мелких капель, зимой - из переохлажденных капель с примесью ледяных кристаллов. Из облаков может выпадать морось, а зимой - мелкие снежинки и снежные зерна. Слоистые облака нередко образуются под слоем инверсии. Под слоистыми облаками (или самостоятельно) могут наблюдаться разорванно-слоистые облака (*stratus fractus*, St fr) - низкие бесформенные, обычно не образующие сплошного слоя.





# Кучевые облака





# Кучево-дождевые облака



# Туманы

Туманы - скопление вблизи земной поверхности взвешенных в воздухе капель воды или кристаллов льда, ухудшающих горизонтальную видимость до значения менее 1 км.

Аналогичное явление при видимости 1...10 км называется дымкой.





# Туманы

Для образования тумана необходимо

Увеличение общего влагосодержания воздуха до значения, которое требуется для насыщения при данной температуре

Понижение температуры воздуха до температуры конденсации содержащегося в нем водяного пара

Вследствие испарения воды с земной поверхности

Вследствие радиационного выхолаживания

Вследствие испарения капель выпадающих осадков

Вследствие турбулентного и молекулярного теплообмена с соседними массами воздуха и земной поверхностью

Вследствие горизонтального и вертикального перемещения воздуха

Вследствие адиабатического расширения ВМ при её подъеме

# Туманы

Классификация туманов

Внутримассовые – образующиеся внутри одной и той же массы воздуха

Фронтальные – связанные с прохождением АФ

охлаждения

испарения

радиационные

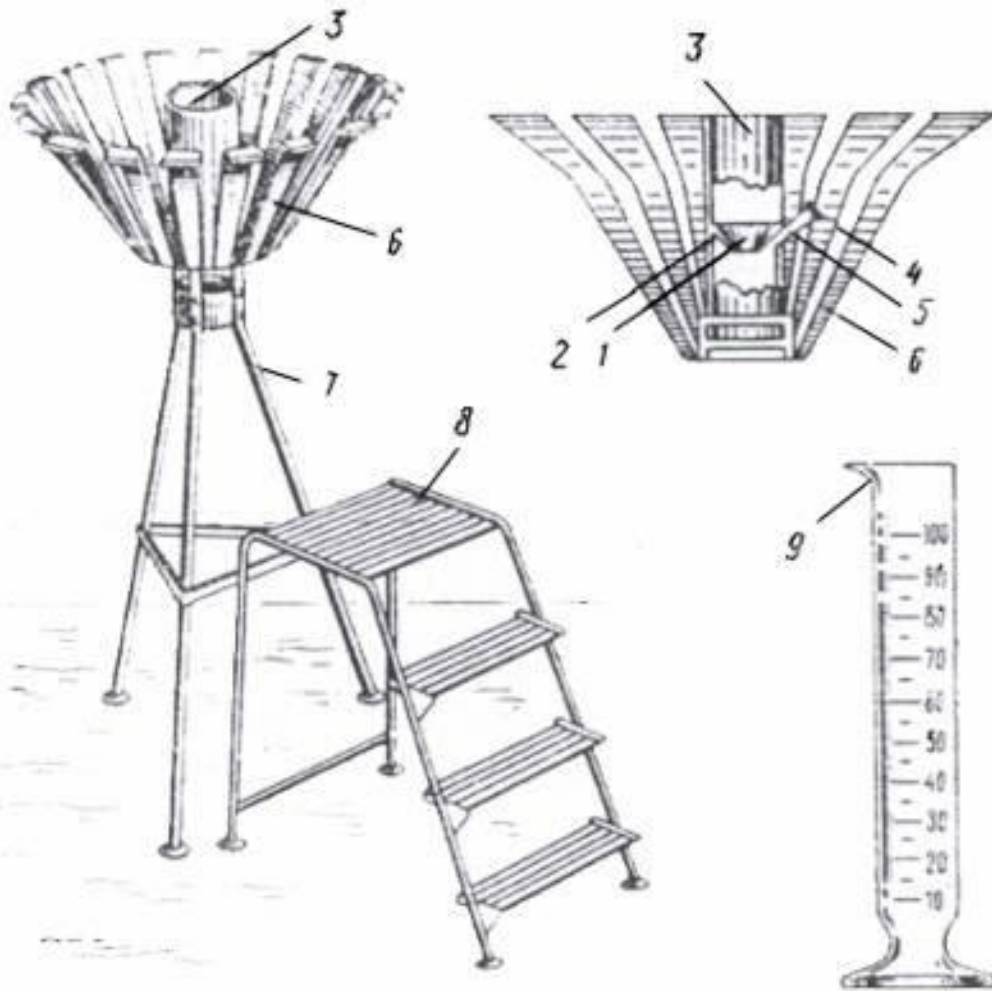
адвективные

адвективно-  
радиационные



# Осадки

**Осадками** называется вода в твердом или жидком состоянии, выпадающая из облаков или оседающая из воздуха на поверхность земли. Осадки из облаков дают более 90 % общей массы воды, поступающей из атмосферы на земную поверхность. Менее 1 % осадков приходится на росу, иней, изморозь, твердый и жидкий налет.



Для характеристики осадков используют понятие их количества и интенсивность. **Количество осадков** измеряется толщиной (в миллиметрах) слоя воды, образующегося в результате осадков на водонепроницаемую поверхность.

**Интенсивность** осадков - это слой осадков, выпадающих за единицу времени (обычно за 1 мин).

# Осадки

Чтобы осадки выпали из облаков, они должны быть достаточно большими. Осадки выпадают из тех облаков, в которых создаются условия для роста капель или кристаллов до такого размера, при котором их вес может преодолеть сопротивление воздуха и восходящих потоков

Причины роста капель или кристаллов

конденсация / сублимация

Коагуляция – слияние капель друг с другом

Неодинаковые скорости падения мелких и крупных капель

Электрические силы разноименно заряженных капель

Атмосферная турбулентность



## Форма осадков

**Снег** - твердые осадки в виде снежинок (кристаллов) разных размеров. Если температура воздуха около нуля, снежинки слипаются, образуя хлопья, нередко довольно крупные.

**Снежная крупа** - довольно мягкие матово-белые непрозрачные крупинки округлой формы диаметром 2...5 мм. Снежные зерна отличаются от снежной крупы в основном размером: их диаметр меньше 2 мм.

**Ледяная крупа** - прозрачные крупинки с плотным белым ядром в центре. Диаметр крупинок 2...5 мм. Они образуются в тех случаях, когда капли дождя или частично растаявшие снежинки замерзают при падении.

**Град** - осадки в виде кусочков льда разного размера. Градины имеют неправильную или близкую к сферической форму, их диаметр до 150 мм. В градинах слой прозрачного льда чередуется со слоями мутного льда.

**Ледяной дождь** - мелкие прозрачные сферические частицы диаметром 1...3 мм. Они образуются при замерзании капель дождя, падающих сквозь нижний слой воздуха с отрицательной температурой.

**Ледяные иглы** - это мельчайшие ледяные кристаллы, как правило, неразветвленные. В ясные морозные дни их можно обнаружить по блеску.

**Дождь** - жидкие осадки из облаков в виде капель диаметром 0,5 мм и более.

**Морось** - осадки в виде мелких капель диаметром не более 0,5 мм. Капли настолько малы, что падение их почти незаметно для глаза. Они кажутся плавающими в воздухе.

**Мокрый снег** - осадки, состоящие из тающего снега или смеси снега с дождем.