

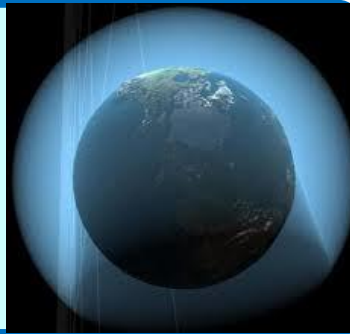
ЛЕКЦИЯ 7. АТМОСФЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ

- 1 Состав и строение атмосферы*
- 2 Солнечная радиация, радиационный баланс*
- 3 Температура воздуха, её суточный и годовой ход*
- 4 Влажность воздуха*
- 5 Туманы, облака, осадки*



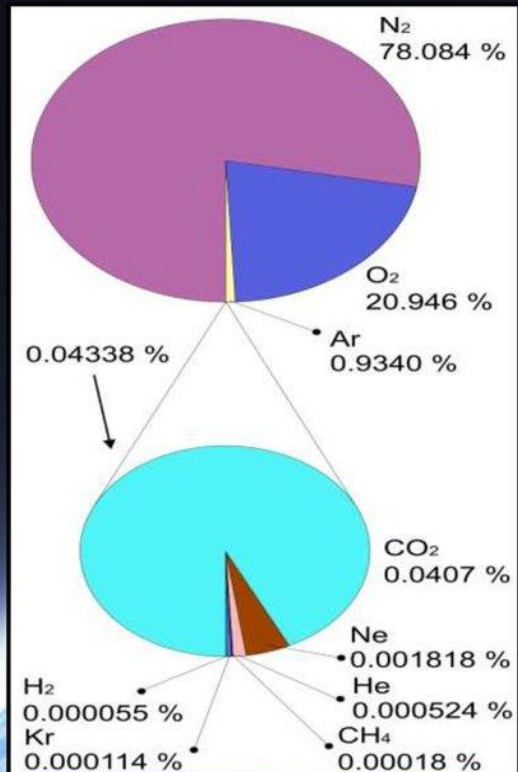
1. Состав и строение атмосферы

Атмосфера – это газообразная воздушная оболочка, окутывающая Землю. Воздух – механическая смесь газов с содержанием водяного пара, капель воды, кристаллов льда и других твердых частиц

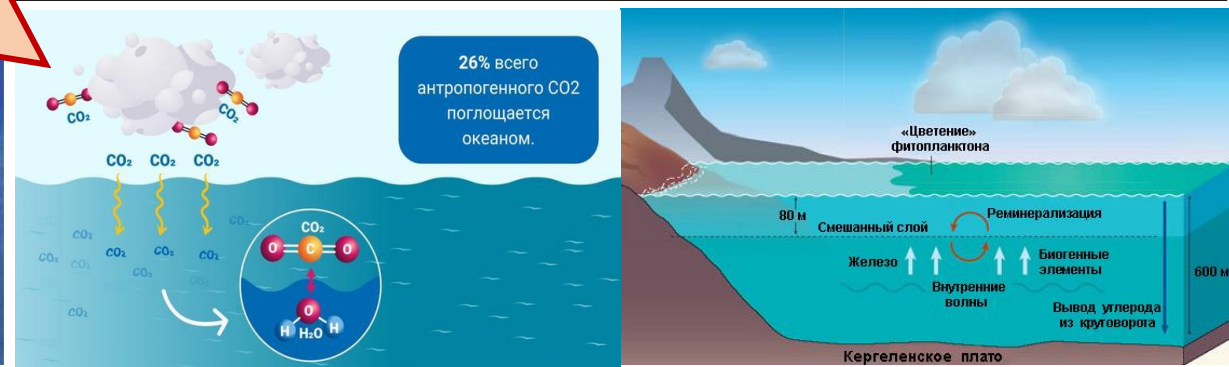
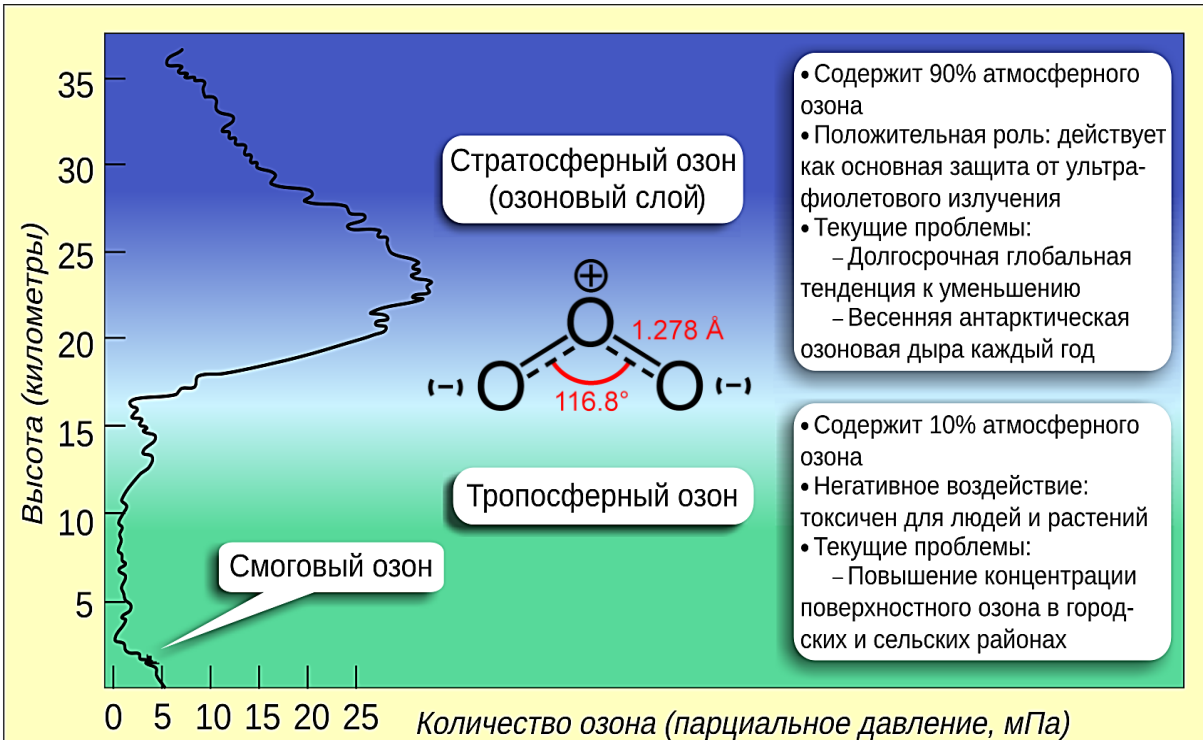


Исключительно важную роль имеет **ОЗОН** (поглощает неблагоприятную для живых организмов и растений ультрафиолетовое излучение Солнца).

Химический состав атмосферы Земли



Азот (N₂) – 78.084%
Кислород (O₂) – 20.0946%
Аргон (Ar) – 0.9340%
Углекислый газ (CO₂) – 0.0407%
Неон (Ne) – 0.001818%
Гелий (He) – 0.000524%
Метан (CH₄) – 0.00018%
Криптон (Kr) – 0.000114%
Водород (H₂) – 0.000055%





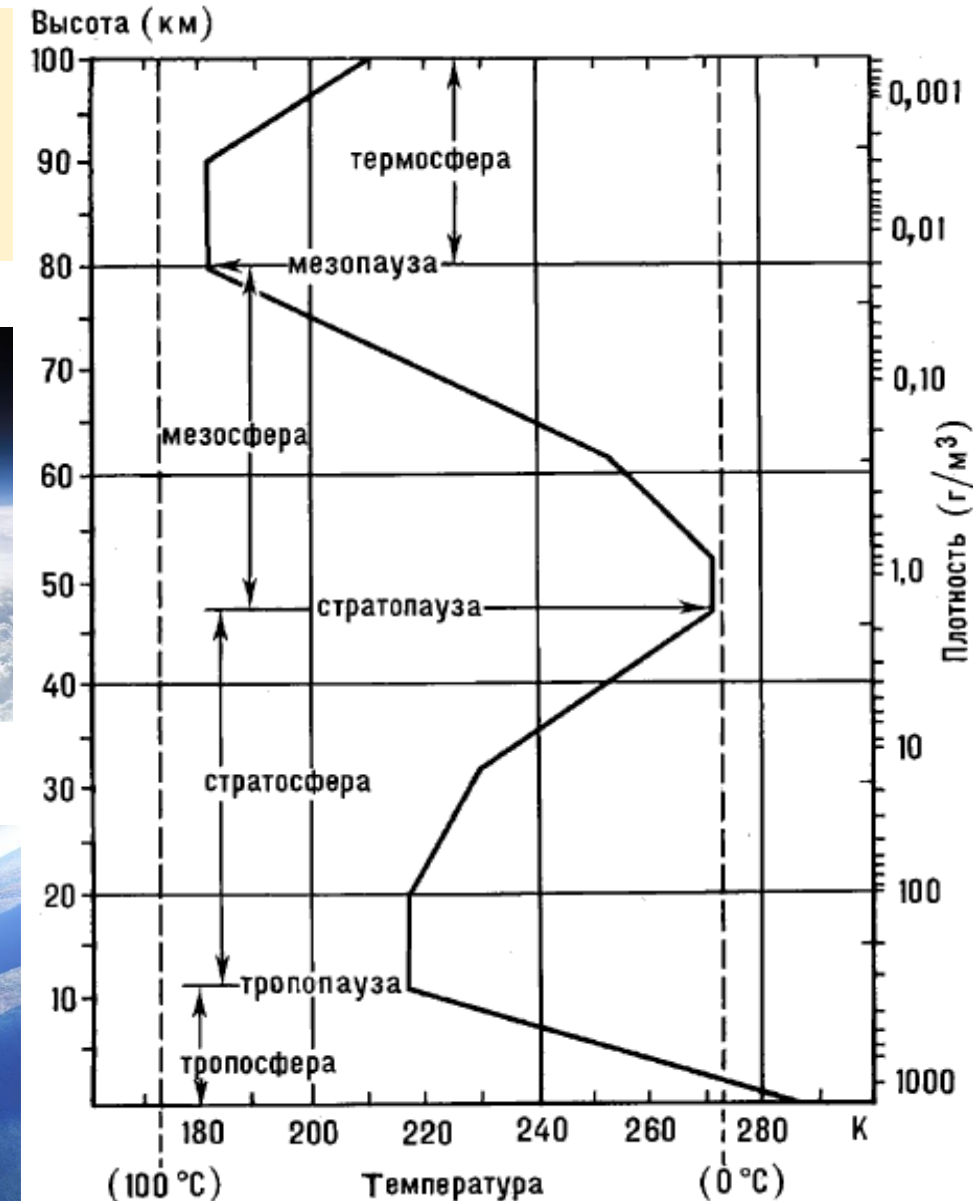
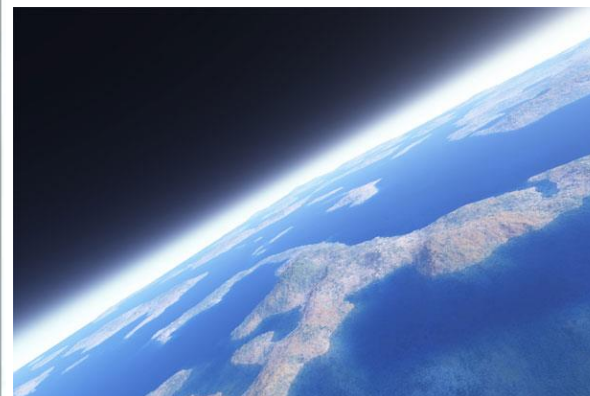
Масса атмосферы составляет $5,3 \cdot 10^{15}$ т. В слое до 5,5 км содержится 50%, до 25 км – 95% и до 30 км – 99% всей массы атмосферы. Тридцатикилометровый слой атмосферы составляет 1/200 или 0,05 радиуса Земли. На глобусе диаметром 40 см этот 30-километровый слой имеет толщину около 1 мм, т.е. атмосфера представляет тонкую пленку, покрывающую поверхность Земли!

Давление и плотность с высотой убывают: при давлении у земли 1013 гПа плотность равна $1,27 \cdot 10^3$ г/м³, а на высоте 750 км плотность составляет 10^{-10} г/м³.

Атмосфера (снимок с МКС, 2006)



<https://eol.jsc.nasa.gov>



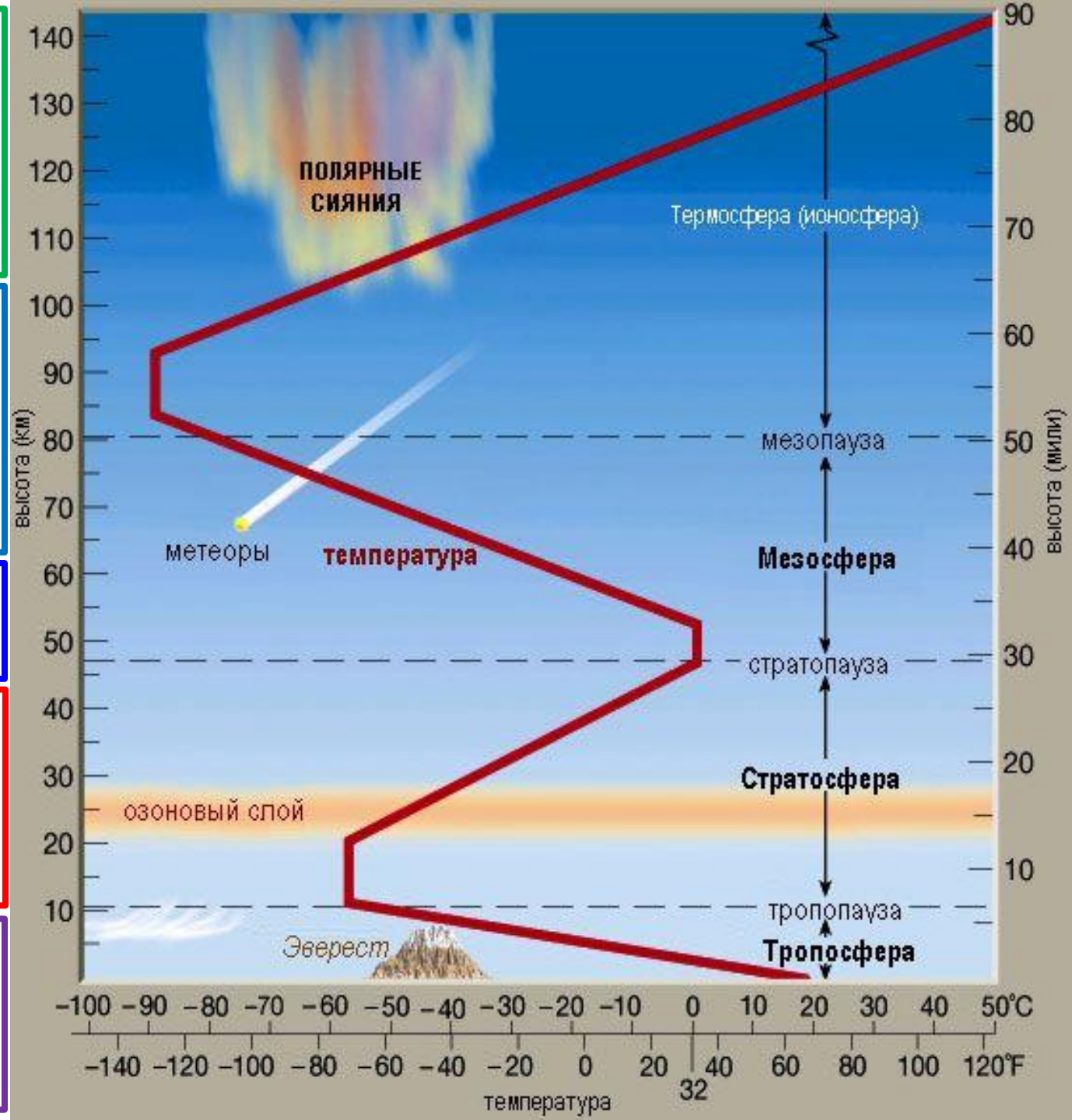
Тропосфера – самый нижний слой атмосферы. Вертикальная протяженность: умеренные широты – 9-12 км; на полюсах – 8-10 км; на экваторе – 16-18 км. Характерно понижение температуры воздуха с высотой на 0,6°C на 100 м высоты. Средняя годовая температура на верхней границе: в умеренных широтах – -55°C, над экватором – -75 °C, над северным полюсом: зимой – -65 °C и летом – -47 °C. Имеют место горизонтальные и вертикальные движения воздуха, турбулентность, возникают и развиваются все погодообразующие процессы (циклоны, антициклоны атмосферных фронтов, почти все виды облаков и осадков).

Стратосфера простирается до высоты 50-55 км. Отмечается рост температуры, который объясняется поглощением солнечной радиации озоном. На верхней границе – 0°C с отклонениями $\pm 20^\circ\text{C}$ (связано с изменениями содержания озона). В стратосфере происходит интенсивная циркуляция воздуха с вертикальными движениями. Водяной пар содержится в ничтожном количестве и обычные облака не образуются. Изредка на высотах 22-27 км и только в Северной Европе и на Аляске зимой (Солнце в нескольких градусах ниже горизонта) наблюдаются *перламутровые облака* из переохлажденных капель воды.

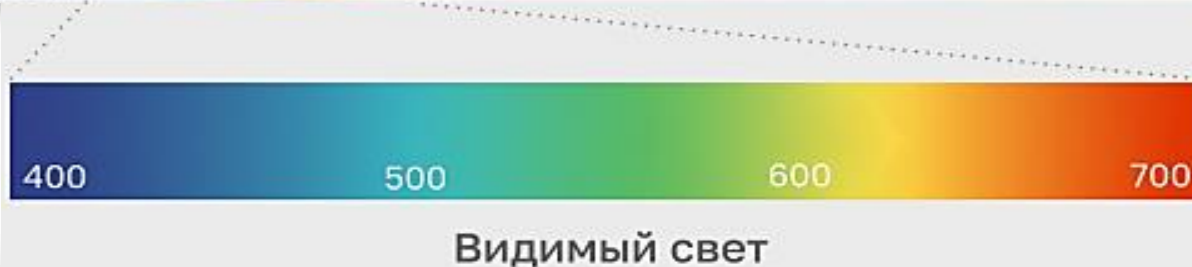
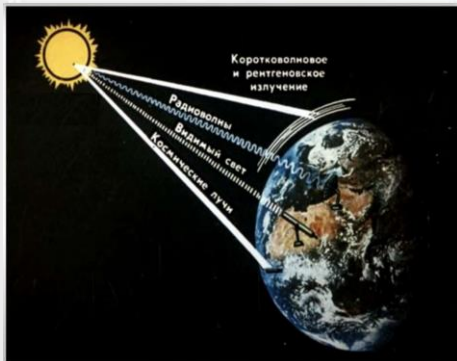
Мезосфера – слой толщиной от 55 до 80-85 км. В этом слое температура понижается до -90°C. В мезосфере отмечаются скорости ветра до 150 м/с. Наблюдаются *серебристые облака* из ледяных кристаллов и вулканической пыли.

Термосфера – слой, толщиной до 450 км, температура с высотой растет и на верхней границе, на высоте 200-300 км, достигает +1500–2500° C. Связана с крайне высокой разреженностью и увеличением расстояния между молекулами газов – молекулы сильно разгоняются, но практически не сталкиваются, поэтому высокая температура термосферы *потенциальная* и она не ощущается живыми организмами. В термосфере наблюдается значительная ионизация, что приводит к образованию ионосферы и возникновению полярных сияний.

Экзосфера (от 450 до 700 км) – это наружная сфера, или *сфера рассеяния*. Этот внешний слой атмосферы, простирающийся до так называемой *земной короны*, постепенно переходящий в межпланетное пространство. Температура на высоте 700 км растет до 3000 °K. В ней газы находятся в очень разреженном состоянии и их частицы, двигаясь с огромными скоростями, почти не сталкиваясь друг с другом, частично покидают земную атмосферу.



2. Солнечная радиация, радиационный баланс



Солнечная постоянная
 $1,37 \text{ кВт/м}^2$

СПЕКТР СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

Солнечная радиация, которая попадает на Землю, состоит из инфракрасных, ультрафиолетовых и видимых нами лучей – радуги, которую мы видим после дождя, а также в меньшей степени из гамма-лучей и рентгеновских лучей.

Солнечная радиация – это спектр электромагнитных волн, излучаемых Солнцем.



Прямая солнечная радиация – это коротковолновая радиация Солнца, которая поступает от солнечного диска и околосолнечной зоны радиусом 5°

$$S' = S * \sin h_\theta$$

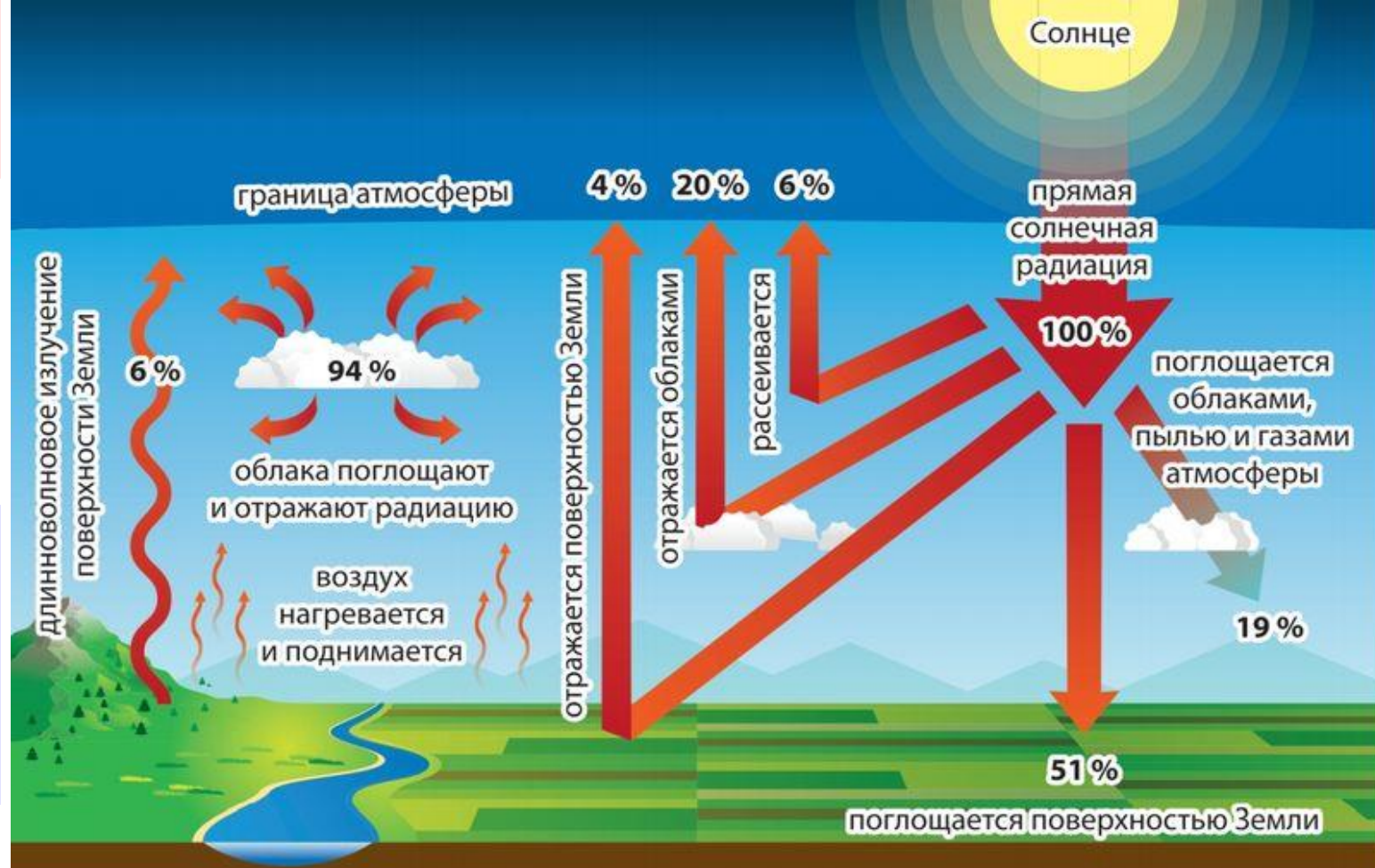
S – интенсивность прямой солнечной радиации на перпендикулярную к лучам поверхность, кВт/м²; **h_θ** – высота Солнца

Рассеянная солнечная радиация – это коротковолновая радиация Солнца, которая поступает на горизонтальную поверхность от небосвода, за исключением диска Солнца и околосолнечной зоны радиусом 5° . Она обуславливает солнечный свет в пасмурный день.

Суммарная радиация

$$Q = S' + D$$

S' – интенсивность прямой радиации на горизонтальную поверхность, кВт/м²; **D** – интенсивность рассеянной радиации на горизонтальную поверхность, кВт/м²



Соотношение между прямой и рассеянной радиацией:

- при ясном небе перед восходом Солнца суммарная радиация полностью состоит из рассеянной, а при низком Солнце после восхода – преимущественно из рассеянной радиации;
- при высоком положении Солнца и ясном небе преобладает прямая радиация, а с увеличением облачности доля прямой радиации уменьшается;
- светлые и тонкие облака (перистые, высококучевые и кучевые), особенно освещенные Солнцем сбоку, могут увеличивать рассеянную радиацию в 8-10 раз по сравнению с безоблачным небом;

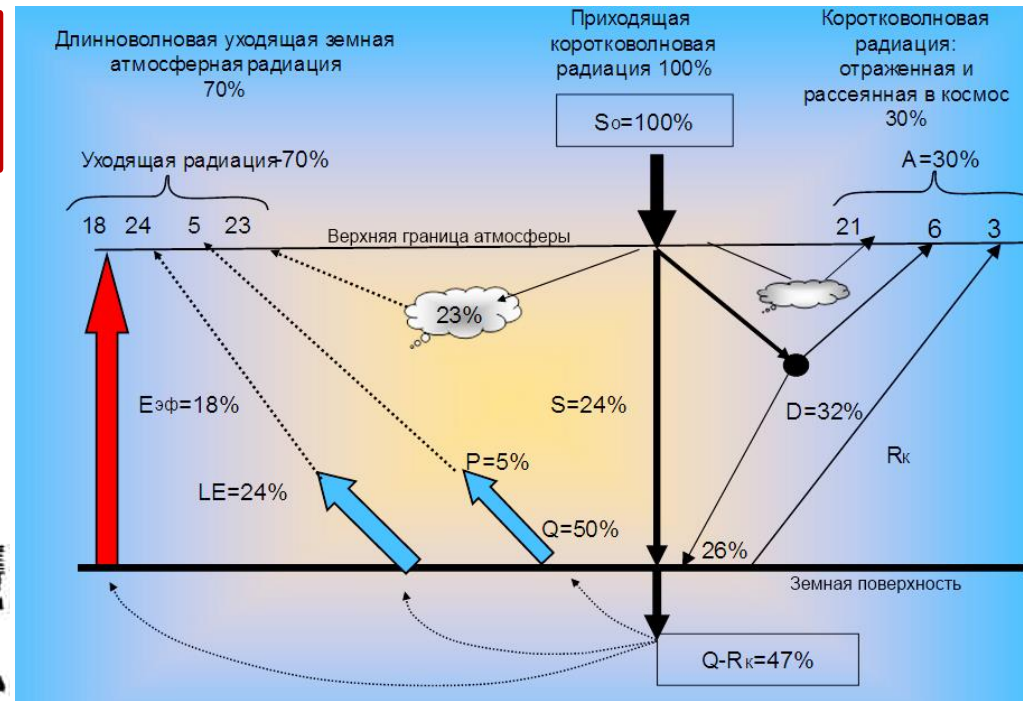
- сильно увеличивает рассеянную радиацию снежный покров (отраженная от его поверхности радиация вторично рассеивается в атмосфере);
- плотная сплошная облачность прямую радиацию не пропускает;
- с увеличением высоты над уровнем моря при ясном небе увеличивается прямая радиация, а рассеянная – уменьшается за счет большей прозрачности воздуха и уменьшения толщины вышележащего слоя атмосферы

Радиационный баланс подстилающей поверхности

Отражательная способность подстилающей поверхности зависит от ее физических свойств, цвета, состояния и характеризуется величиной **альбедо**

Альбедо – это отношение отраженной (коротковолновой) радиации R_k к суммарной Q , поступающей на подстилающую поверхность

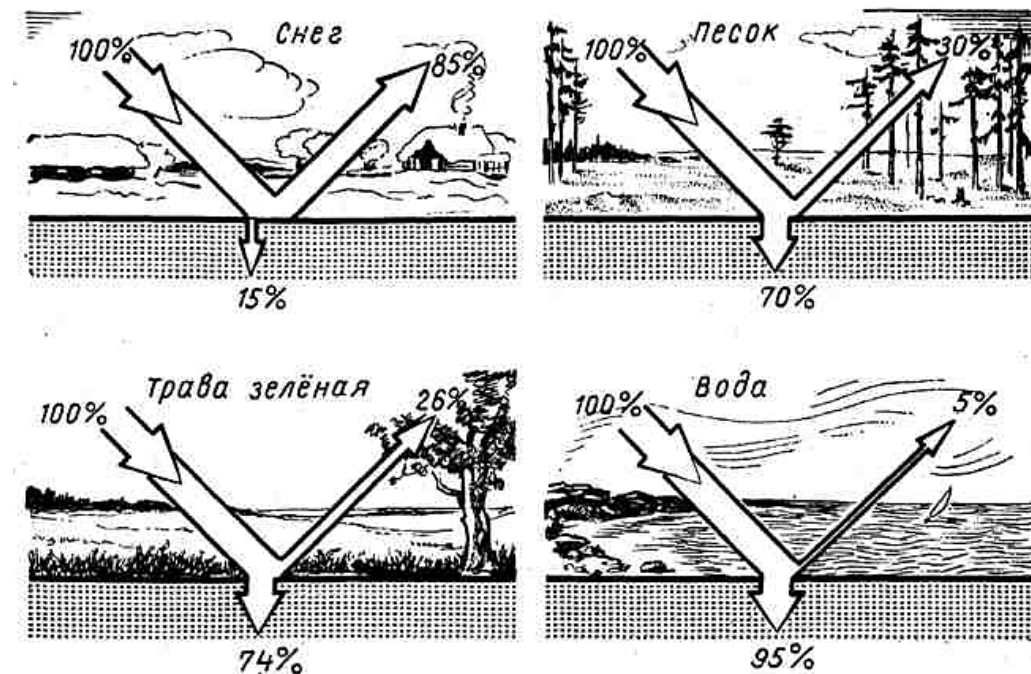
$$A_k = \frac{R_k}{Q}$$



Радиационный баланс подстилающей поверхности представляет собой разность между приходом и расходом лучистой энергии (равен количеству энергии, поглощенной подстилающей поверхностью).

$$B = S' + D + E_a - R_k - R_a - E_z, \text{ кВт/м}^2$$

S' – прямая солнечная радиация на горизонтальную поверхность, кВт/м²; D – рассеянная солнечная радиация на горизонтальную поверхность, кВт/м²; E_a – встречное излучение атмосферы (длинноволновое излучение атмосферы, направленное в сторону подстилающей поверхности), кВт/м²; R_k – коротковолновая радиация, отраженная от подстилающей поверхности, кВт/м; R_a – длинноволновая радиация, отраженная от подстилающей поверхности, кВт/м²; E_z – длинноволновое излучение подстилающей поверхности, кВт/м².

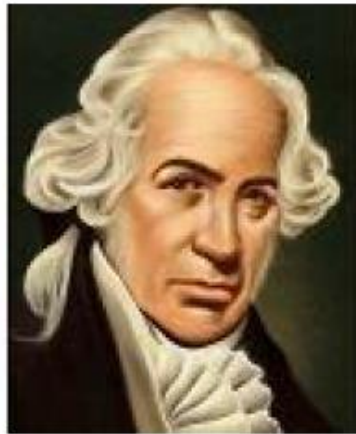


3. Температура воздуха, её суточный и годовой ход

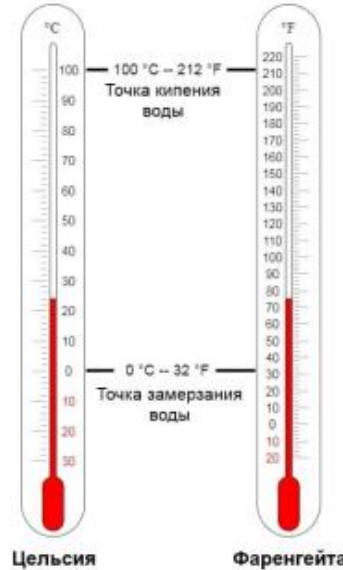
Температурный режим атмосферы – это распределение температуры воздуха в пространстве и её изменение во времени.

Турбулентный теплообмен – результат перемешивания объёмов воздуха при беспорядочном, хаотическом движении.

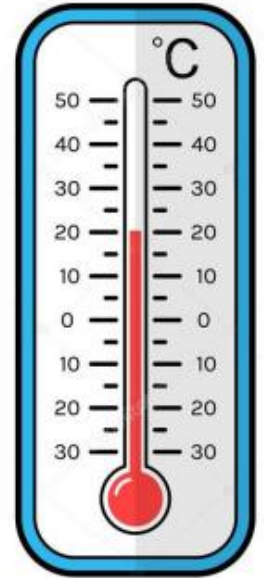
Измерение температуры воздуха



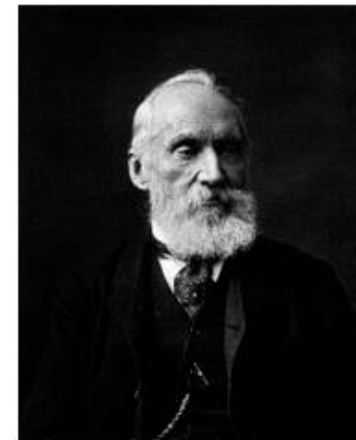
Фаренгейт
Габриель Даниель
(1686-1736)



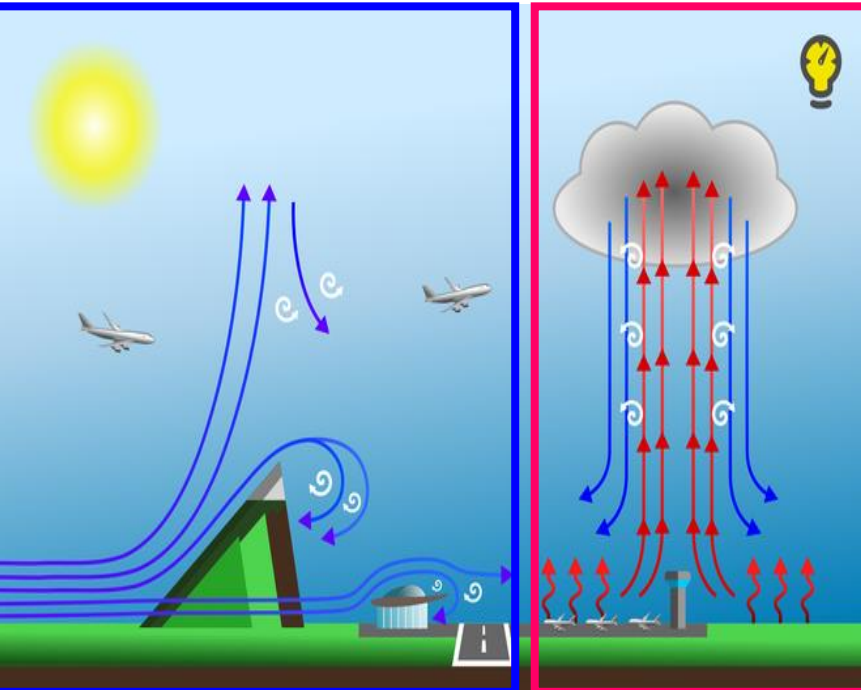
Цельсий
Андерс
(1701-1744)



Реомюр
Рене Антуан
(1683-1757)



Уильям Томсон
(лорд Кельвин)
(1824-1907)



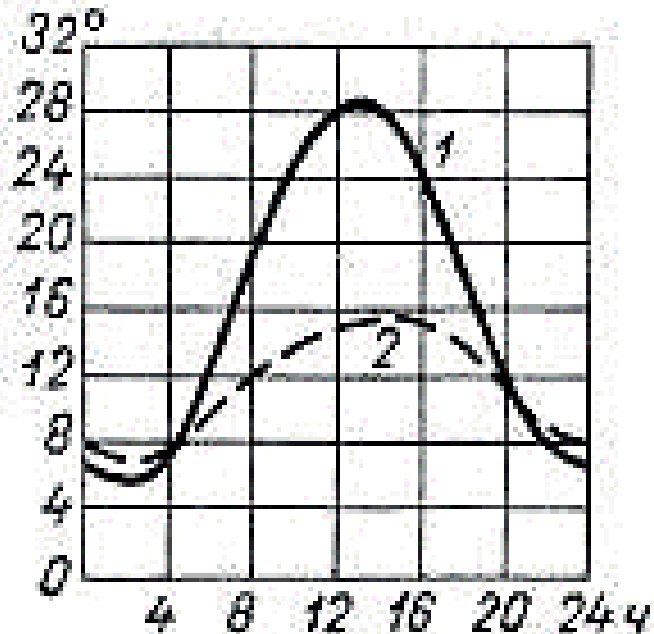
Термическая конвекция – перенос объёмов воздуха в вертикальном направлении, возникающий при нагреве нижележащего слоя воздуха

Температура воздуха в приземном слое в суточном ходе следует за температурой подстилающей поверхности

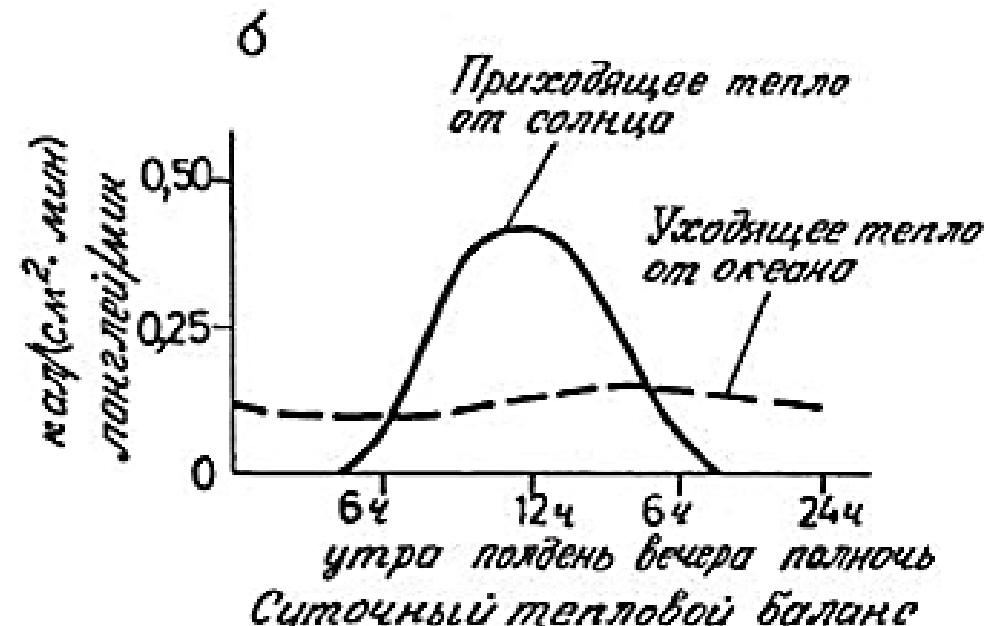
Над морями и океанами максимум температуры воздуха наступает на 2-3 ч раньше, чем над материками

минимум температуры воздуха у земли (на суше) приходится на время перед восходом Солнца, а **максимум** - на 14-15 ч

амплитуда суточного хода температуры воздуха больше, чем суточная амплитуда температуры водной поверхности (поглощение солнечной радиации воздухом и его излучение над морем больше, чем над сушей – над морем в воздухе содержится больше водяного пара)



Суточный ход температуры почвы (1) и воздуха (2) в Павловске в июне



Суточный тепловой баланс

Заморозки

Заморозок на почве – это понижение температуры почвы и растений ночью до 0°C и ниже вследствие эффективного излучения, в то время как в воздухе на высоте 2 метров (в метеорологической будке) температура остается выше 0°C .



Заморозок в воздухе – это понижение температуры воздуха до 0°C и ниже вечером и ночью при положительных средних суточных температурах



Борьба с заморозками

Дождевание



Дымление



Внекорневые подкормки
фосфором и калием



Парники

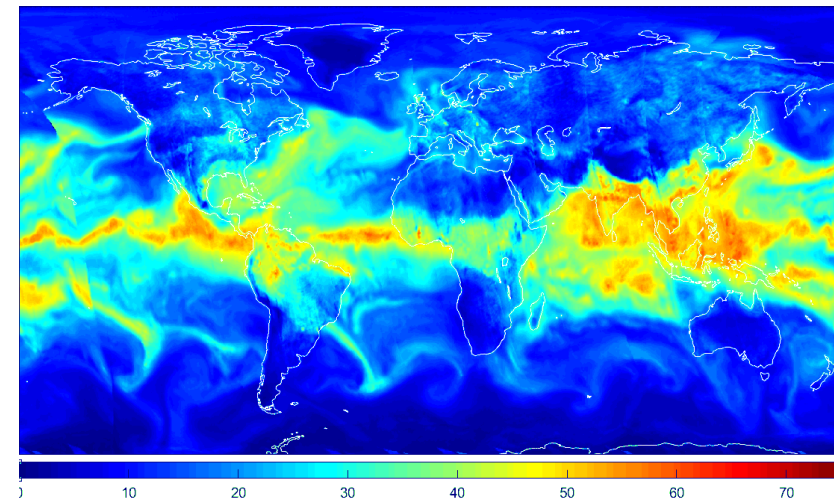
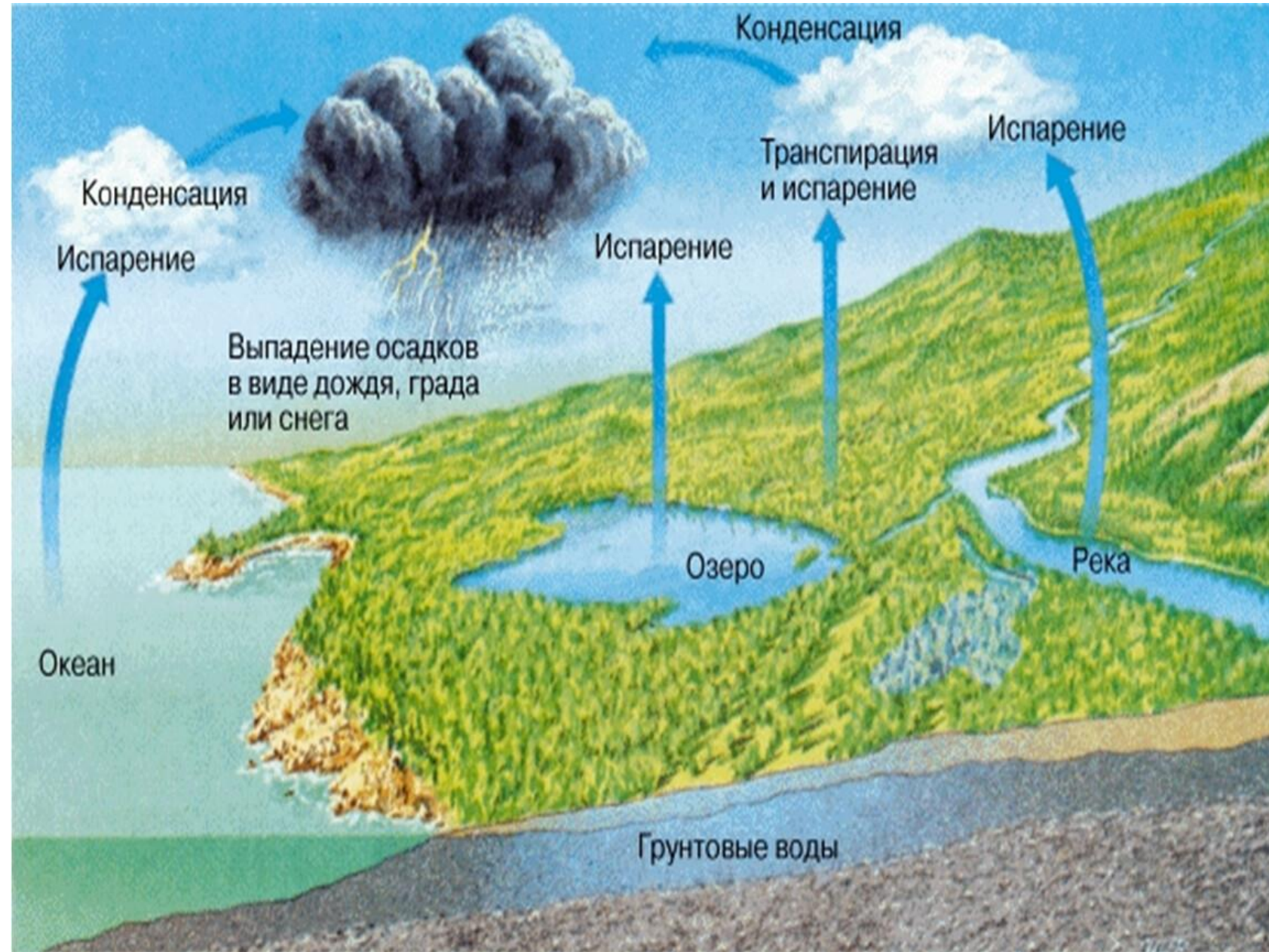


Укрывное окучивание



4 Влажность воздуха

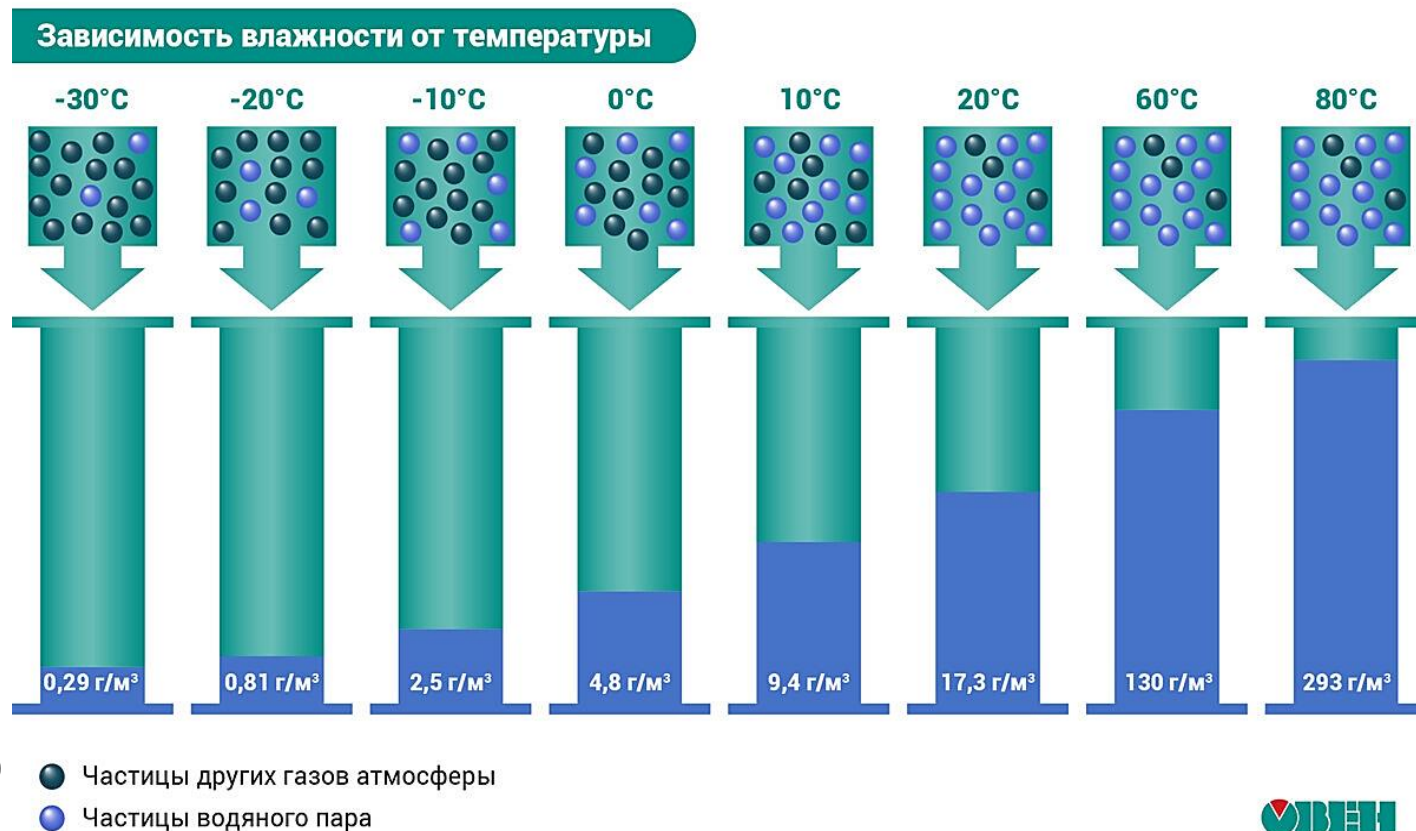
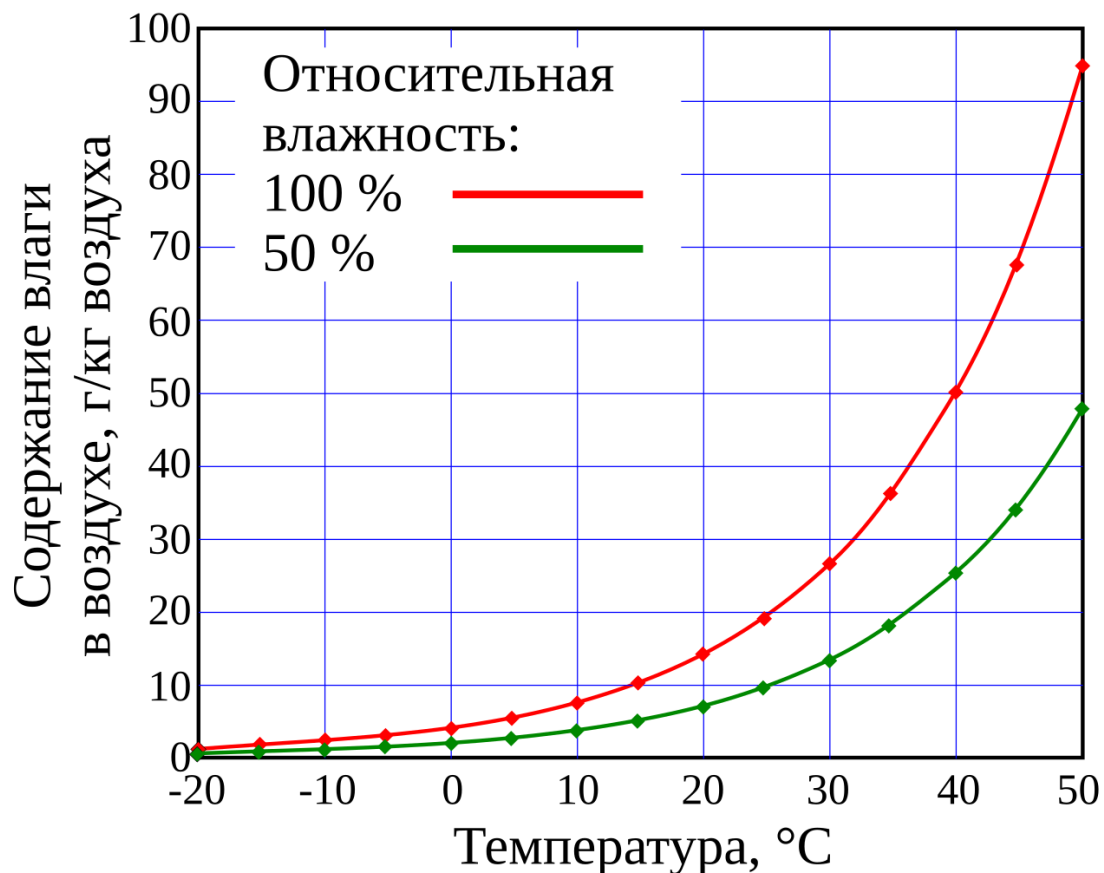
В атмосферу непрерывно поступает водяной пар, образующийся в результате испарения с поверхности воды, почвы, испарения растениями (транспирация). При конденсации водяного пара и выпадении осадков вода покидает атмосферу. В среднем на любой момент времени в атмосфере содержится 12900 км^3 воды, что составляет $0,001\%$ от всего количества воды на Земле, но в 6 раз больше воды, содержащейся в руслах рек мира.



Абсолютная влажность воздуха (a) – это количество водяного пара в граммах, содержащееся в 1 м³ воздуха

Парциальное давление водяного пара (e) – это давление, которое имел бы водяной пар, если бы он один занимал объём газовой смеси при той же температуре (измеряется в гПа).

$$a = 0,8 \frac{e}{1 + \alpha t}, \text{ г / м}^3$$

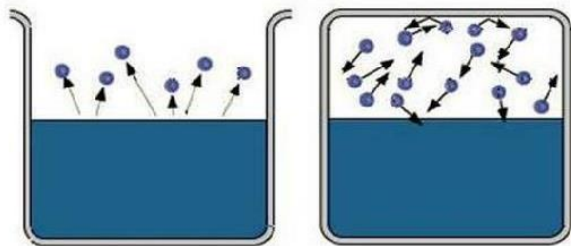


Относительная влажность воздуха (f) – это отношение фактического парциального давления водяного пара в воздухе к парциальному давлению насыщенного водяного пара при той же температуре, выражается в процентах.

$$f = \frac{e}{E} 100\%$$

Дефицит насыщения (d) – недостаток водяного пара до насыщенного состояния (разность между E и e)

$$d = E - e, \text{ гПа}$$

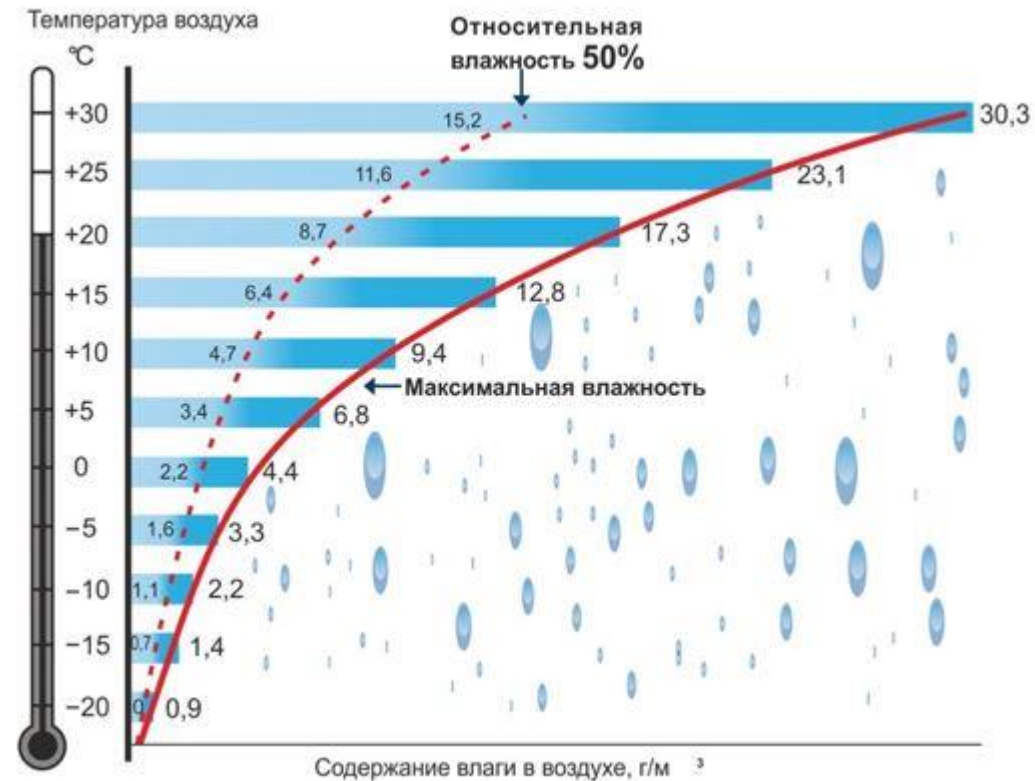
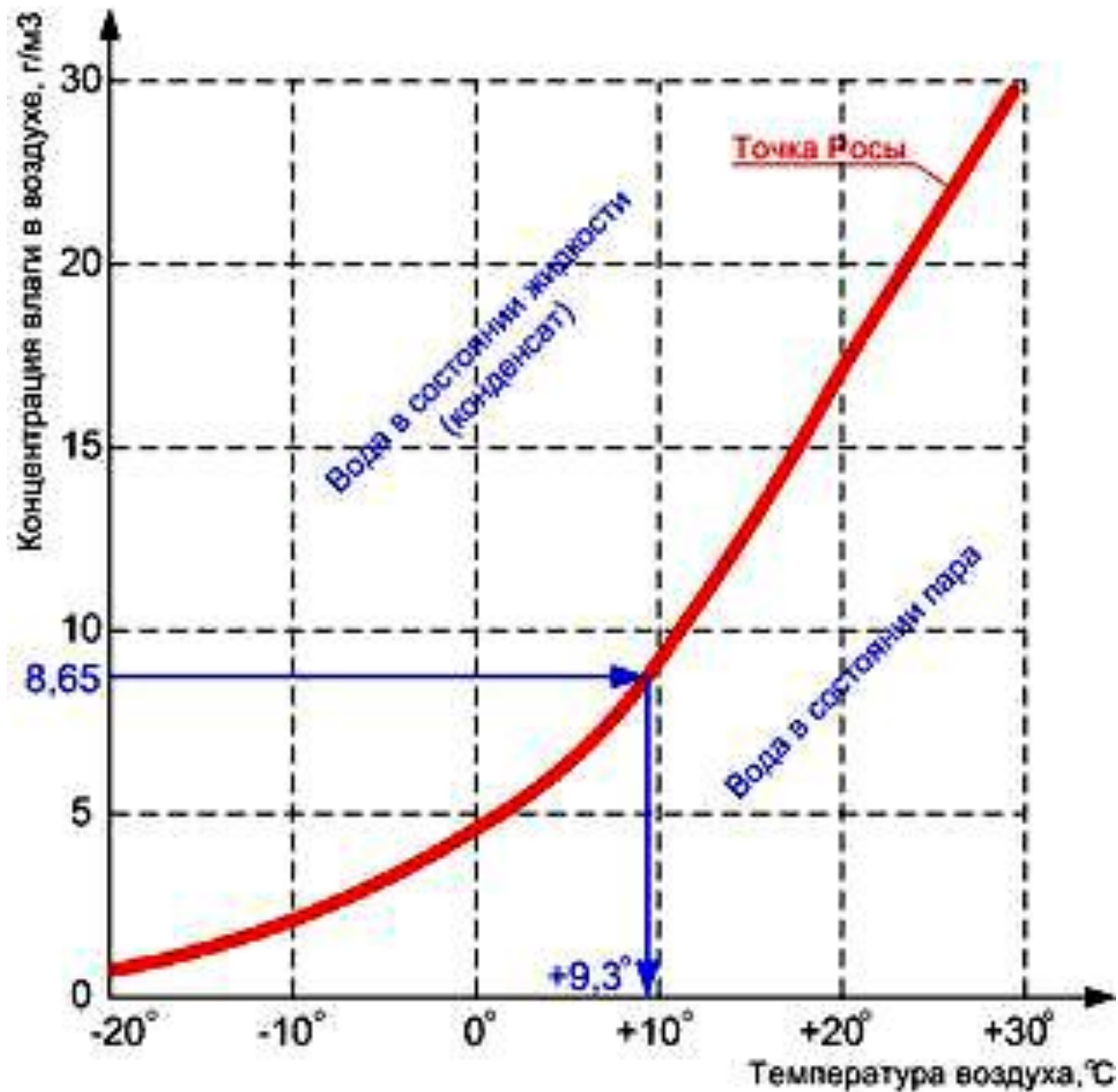


ненасыщенный пар насыщенный пар



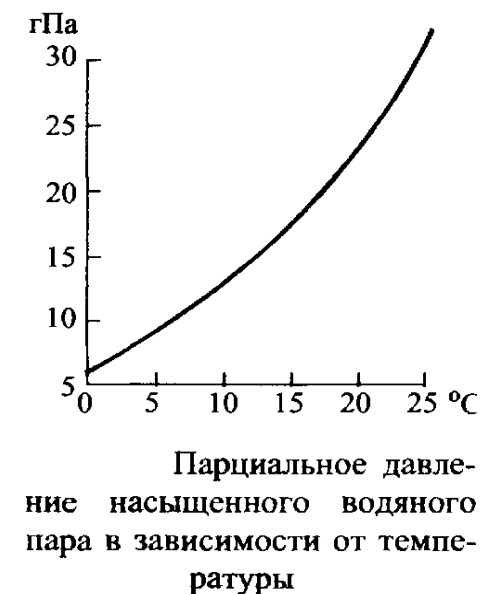
1. Абсолютная влажность воздуха и парциальное давление водяного пара характеризуют содержание водяного пара в воздухе – **влажностное содержание**);
2. Относительная влажность и дефицит насыщения характеризует соотношение между фактическим влажностным содержанием воздуха и предельно возможным – **насыщенное состояние**.

Точка росы (t_d) – температура, при которой водяной пар, содержащийся в воздухе при данном атмосферном давлении, становится насыщенным.



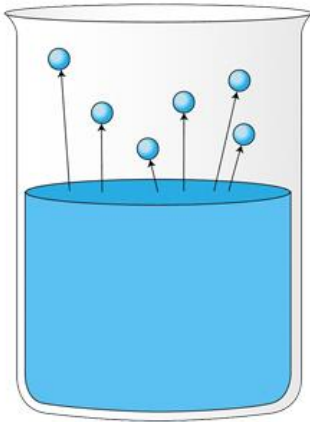
Дефицит точки росы (D) – разность между температурой воздуха и точкой росы:

$$D = t - t_d$$

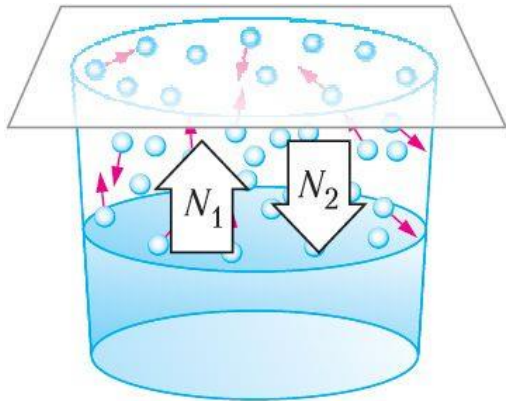


Двигаясь над испаряющей поверхностью в различных направлениях, часть молекул возвращается в воду. Данная система имеет ряд состояний:

1) **Испарение** – число вылетающих молекул больше числа возвращающихся.



2) **Насыщение** – количество вылетающих молекул равно количеству возвращающихся в воду



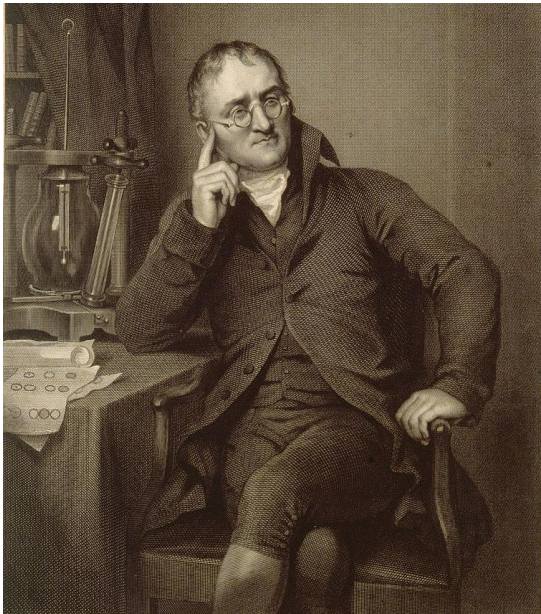
3) **Конденсация** – число возвращающихся молекул превышает число отрывающихся



4) **Сублимация** – переход водяного пара из газообразного состояния в лёд, минуя жидкую фазу при низких температурах

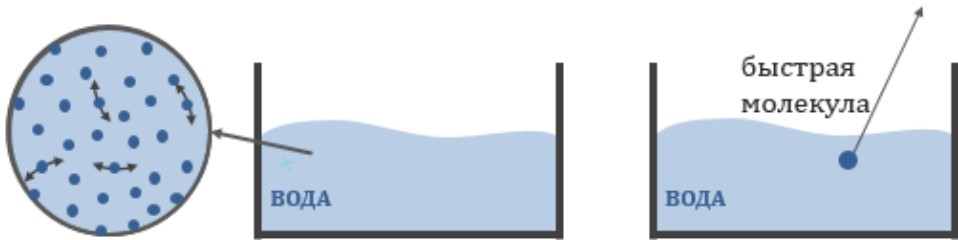


Скорость испарения выражается слоем воды (в миллиметрах), испарившейся за единицу времени.



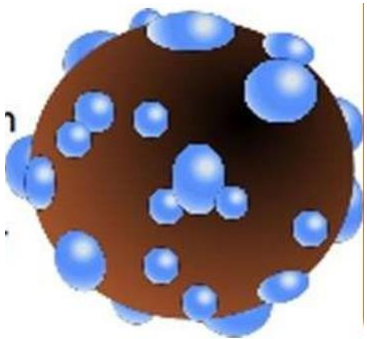
Закон Дальтона

«...Чем меньше водяного пара над испаряющей поверхностью при той же величине насыщенного водяного пара, тем больше скорость испарения...»



ВНИМАНИЕ! ВАЖНО!!! Конденсация и сублимация происходят при наличии ядер конденсации!

Ядра конденсации – это взвешенные в воздухе мельчайшие частицы почвы, горных пород, органических веществ, вулканической и космической пыли (поступают в атмосферу в большом количестве при её турбулентном перемешивании и под воздействием восходящих движений воздуха)



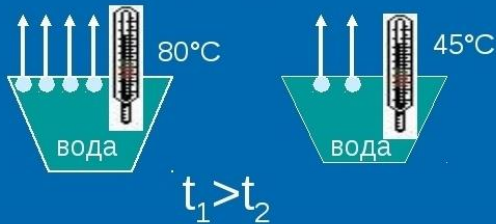
От чего зависит скорость испарения?

★ От рода жидкости



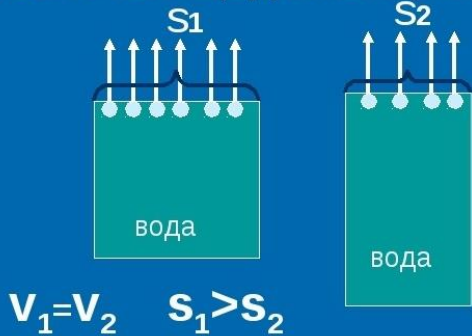
Быстрее испаряется та жидкость, молекулы которой притягиваются друг к другу с меньшей силой.

★ От температуры жидкости



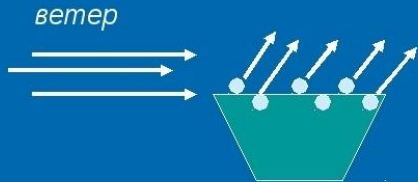
Испарение происходит тем быстрее, чем выше температура жидкости

★ От площади поверхности жидкости



Чем больше площадь поверхности жидкости, тем быстрее происходит испарение.

★ От ветра



Ветер уносит молекулы пара. Испарение происходит быстрее.

Суточный и годовой ход абсолютной влажности и парциального давления полностью взаимно идентичны. В тёплое время года над сушей в ясную погоду в суточном ходе парциальное давление имеет 2 минимума и 2 максимума

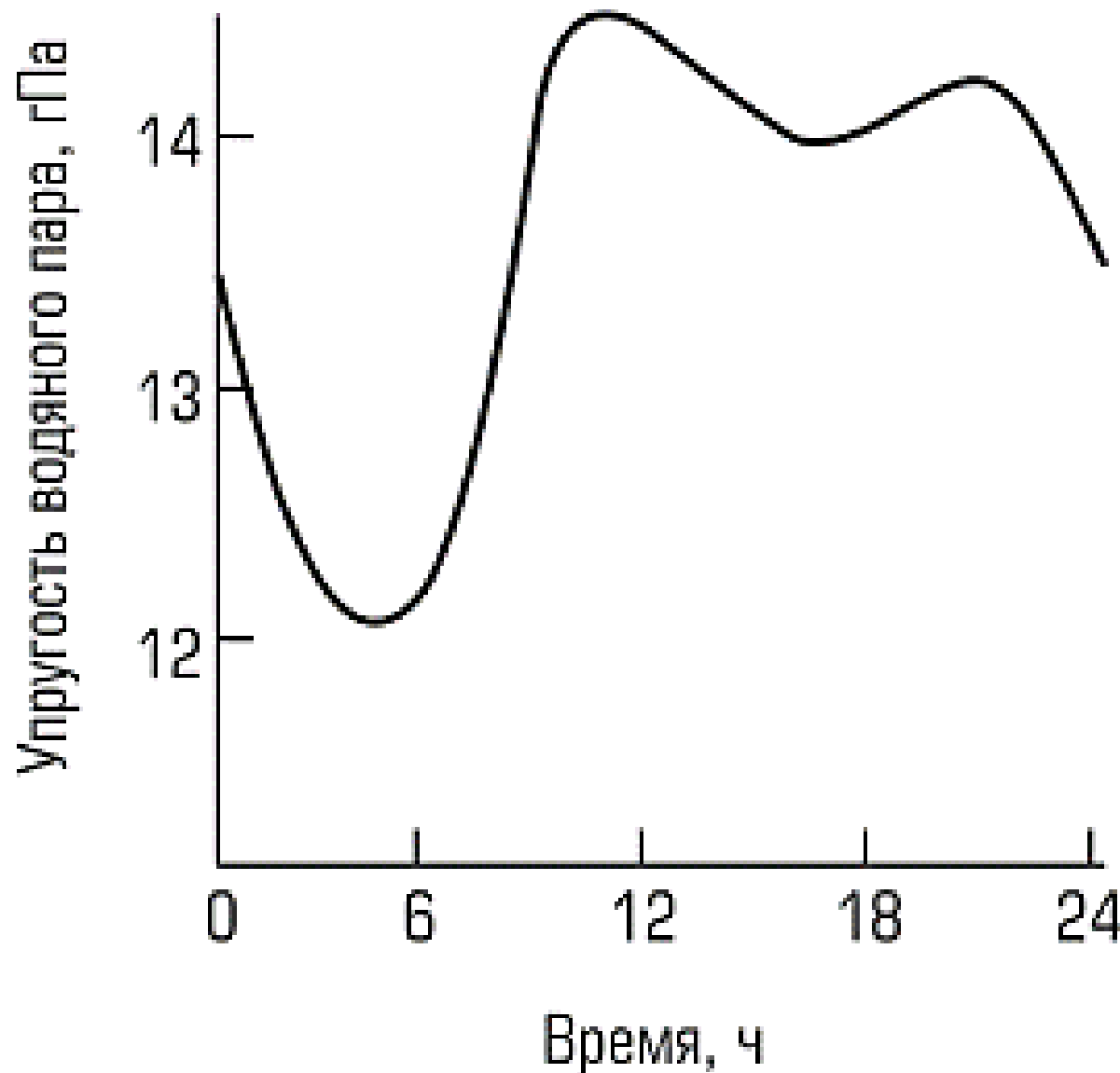
Первый минимум (5-6 ч) – минимум температуры подстилающей поверхности и минимальное поступление влаги от испарения.

Первый максимум (8-10 ч) – с увеличением высоты Солнца повышается температура подстилающей поверхности и парциальное давление быстро растет, пока испарение преобладает над переносом пара вверх.

Второй минимум (15-16 ч) – после полудня турбулентный перенос влаги в вышележащие слои воздуха превышает поступление влаги от испарения и парциальное давление пара понижается.

Второй максимум (20-22 ч) – к вечеру при ослабевающей турбулентности земная поверхность остаётся еще достаточно тёплой, что обеспечивает превышение испарения над переносом влаги вверх.

При этих условиях парциальное давление пара продолжает расти, достигая максимума, после чего испарение уменьшается до полного прекращения и парциальное давление также понижается до утреннего минимума.



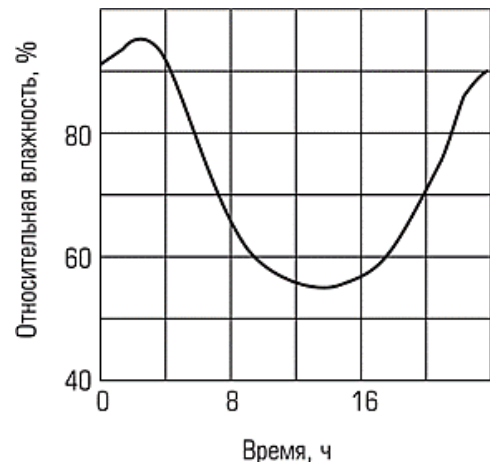
Суточный ход упругости водяного пара в июле (г. Иркутск)

Над морями суточный ход парциального давления следует за суточным ходом температуры.

Суточный ход относительной влажности

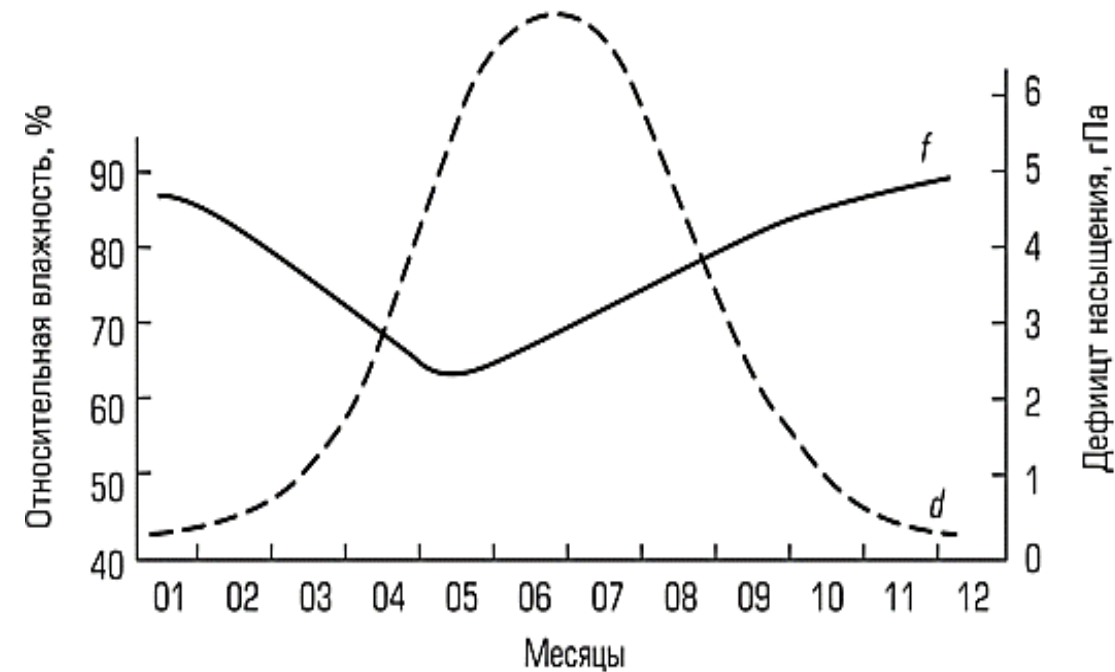
воздуха зависит от суточного хода парциального давления водяного пара и от суточного хода парциального давления насыщенного водяного пара, которое, в свою очередь, зависит от суточного хода температуры воздуха.

суточный ход относительной влажности
обратен суточному ходу температуры
воздуха: *максимум* соответствует по времени *минимуму* температуры воздуха, а *минимум* приходится на время *максимальной* суточной температуры воздуха



Суточный ход относительной влажности в ясные дни в июне (г. Павловск)

В годовом ходе между **относительной влажностью** и температурой воздуха наблюдается обратная зависимость



Годовой ход относительной влажности воздуха (f и дефицита насыщения водяного пара d) (Санкт-Петербург)

5 Туманы, облака, осадки

Туман – это скопление продуктов конденсации или сублимации водяного пара, взвешенных в воздухе над поверхностью земли и вызывающих помутнение атмосферы (видимость составляет до 1 км)



Мгла – это сплошное помутнение атмосферы, которое наблюдается в сухую погоду и вызывается множеством находящихся в воздухе мелких твёрдых частиц – пыли, дыма



I. Туманы по видимости:

- 1) *сильные* – дальность видимости менее 50 м;
- 2) *умеренные* – 50-500 м;
- 3) *слабые* – 500-1000 м;
- 4) *умеренная дымка* – 1-2 км;
- 5) *слабая дымка* – 2-10 км.

II. По агрегатному состоянию водяного пара:

- а) *водяные* (до -20°)
- б) *ледяные*

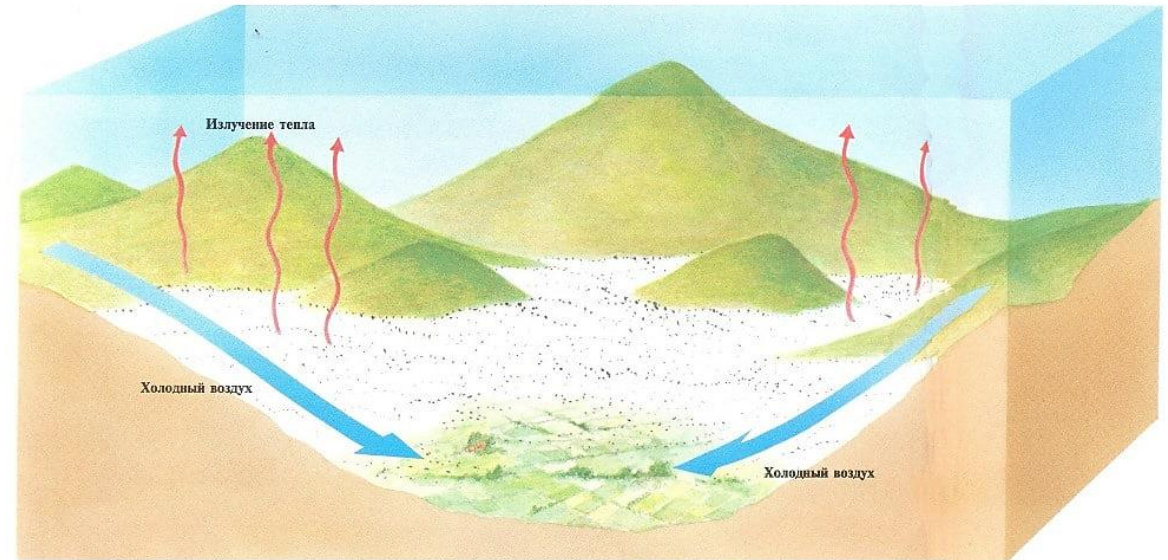
Ледяной туман в Салехарде



III. По происхождению:

1) туманы охлаждения:

а) **радиационные** (образуются в результате радиационного выхолаживания подстилающей поверхности, от которой охлаждается прилегающий к ней слой воздуха до стадии конденсации водяного пара)



Благоприятные условия для образования на суше летом являются:

- ясная или малооблачная ночь;
- относительная влажность воздуха более 60%;
- инверсионное распределение температуры в слое 50-300 м;
- вогнутая поверхность рельефа, способствующая накоплению холодного воздуха в низине;
- слабый ветер (не более 2 м/с).



При полном штиле вместо тумана образуется **роса**

б) **адвективные** (возникают при адвекции тёплого и влажного воздуха на холодную подстилающую поверхность).



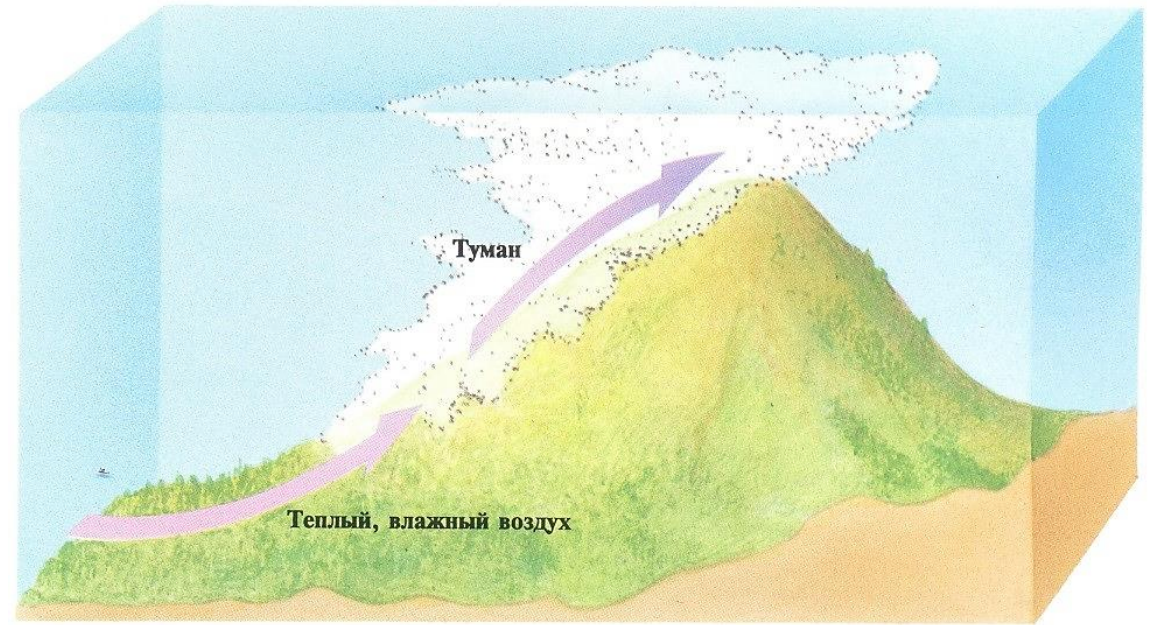
Образуются:

- при перемещении тропического морского воздуха в более высокие широты;
- летом при перемещении тёплого континентального воздуха на холодную поверхность моря;
- при перемещении тёплого морского воздуха на холодную поверхность континента в холодное время года;
- при перемещении воздуха с тёплой водной поверхности на холодную водную поверхность.



Адвективные туманы высокие, образуются в любое время суток и могут существовать при значительных скоростях ветра

в) **орографические** (возникают при охлаждении поднимающегося воздуха вдоль склонов гор).

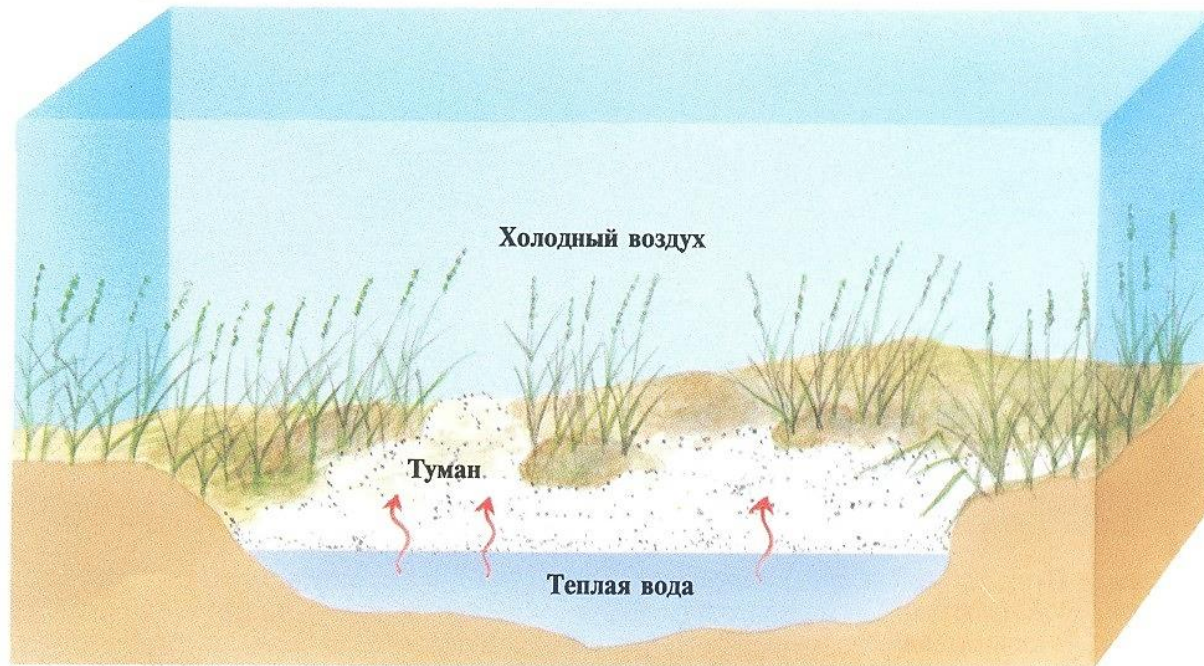


Образуются:

при подъёме воздуха в горах воздействие на него атмосферного давления постепенно ослабевает. Благодаря этому происходит увеличение объёма этого воздуха, уменьшение его плотности, что приводит к понижению температуры (при расширении газа его температура уменьшается). При достижении точки росы, водяной пар начинает конденсироваться.

2) туманы испарения:

Наблюдаются над водной поверхностью при температуре воды выше температуры прилегающего к ней воздуха. **Образование обусловлено охлаждением и конденсацией пара, поступающего с водной поверхности в воздух.**



Часто образуются летом осенью над реками и озерами. В холодное время года – над полыньями среди льдов

IV. По высоте:

- *поземные* (до 2 м);
- *низкие* (2-10 м);
- *средние* (10-100 м);
- *высокие* (более 100 м)



Поземный туман



Низкий туман



Средний туман

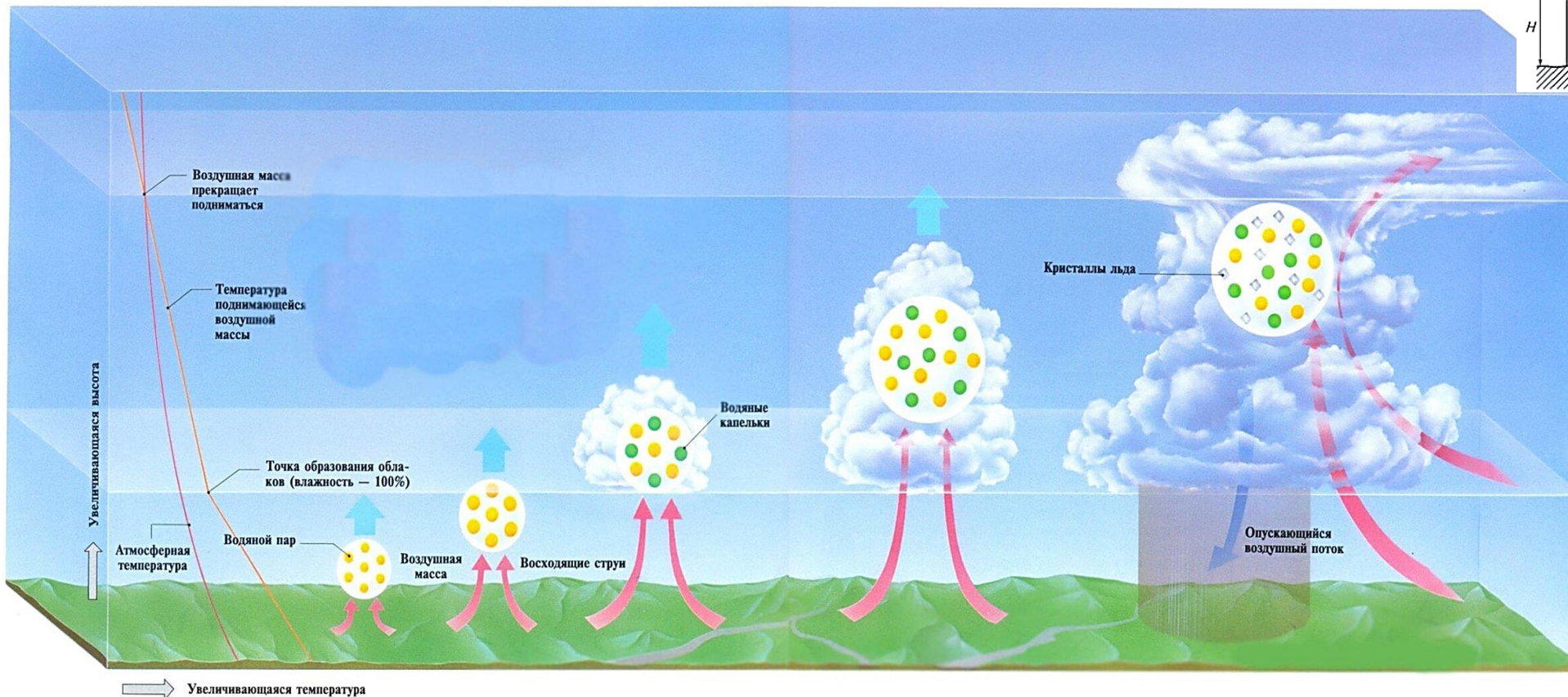
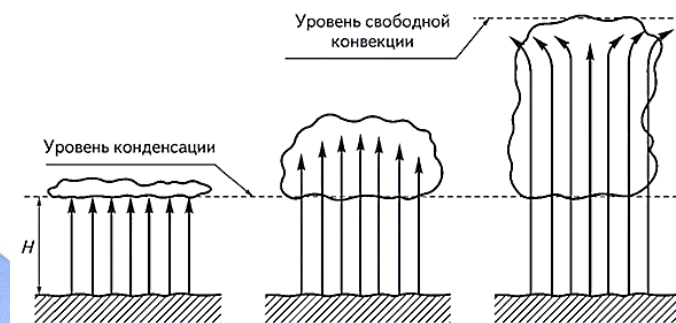


Высокий туман

Облако – это видимое скопление продуктов конденсации или сублимации водяного пара на некоторой высоте. Из облаков выпадают осадки, в них возникают грозы, они влияют на приток лучистой энергии к подстилающей поверхности и, следовательно, на температурный режим почвы, водоемов и воздуха.



Облака образуются только в случае подъёма воздуха и его адиабатического охлаждения. При опускании воздуха, в результате адиабатического разогрева, облака исчезают.



В зависимости **от состава** облака делятся на 3 группы:

- 1) **Водяные** – полностью состоят из капель воды (выше -10°C). При минусовых температурах капли переохлаждаются.
- 2) **Ледяные, или кристаллические** – полностью состоят из ледяных кристаллов (ниже -15°C).
- 3) **Смешанные** – смесь ледяных кристаллов и капель воды (от -10 до -15°C).

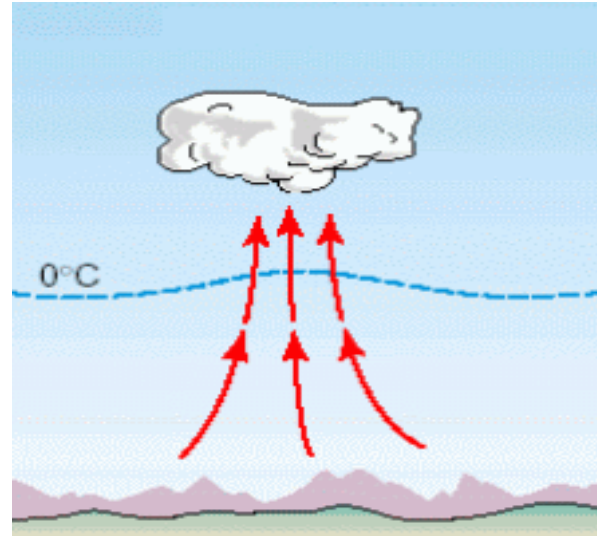


Процессы, порождающие облака

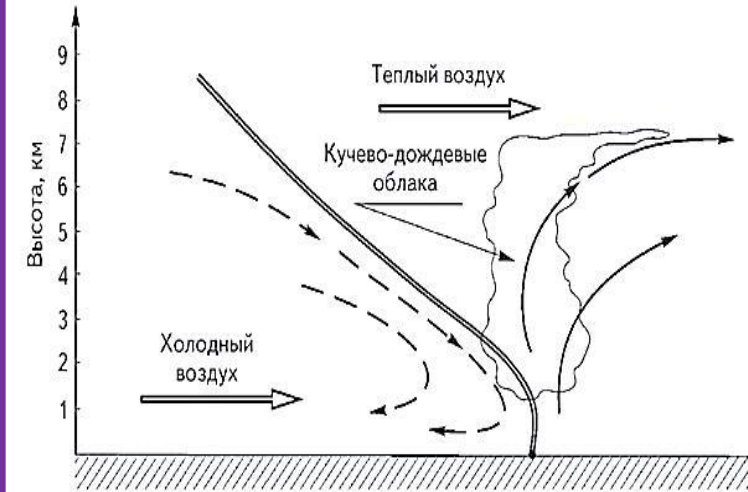
а) наклонно восходящие движения тёплого воздуха поверх более холодного потока. При этом образуются слоистообразные облака (**перистые, перисто-слоистые, высоко-слоистые и слоисто-дождевые**)



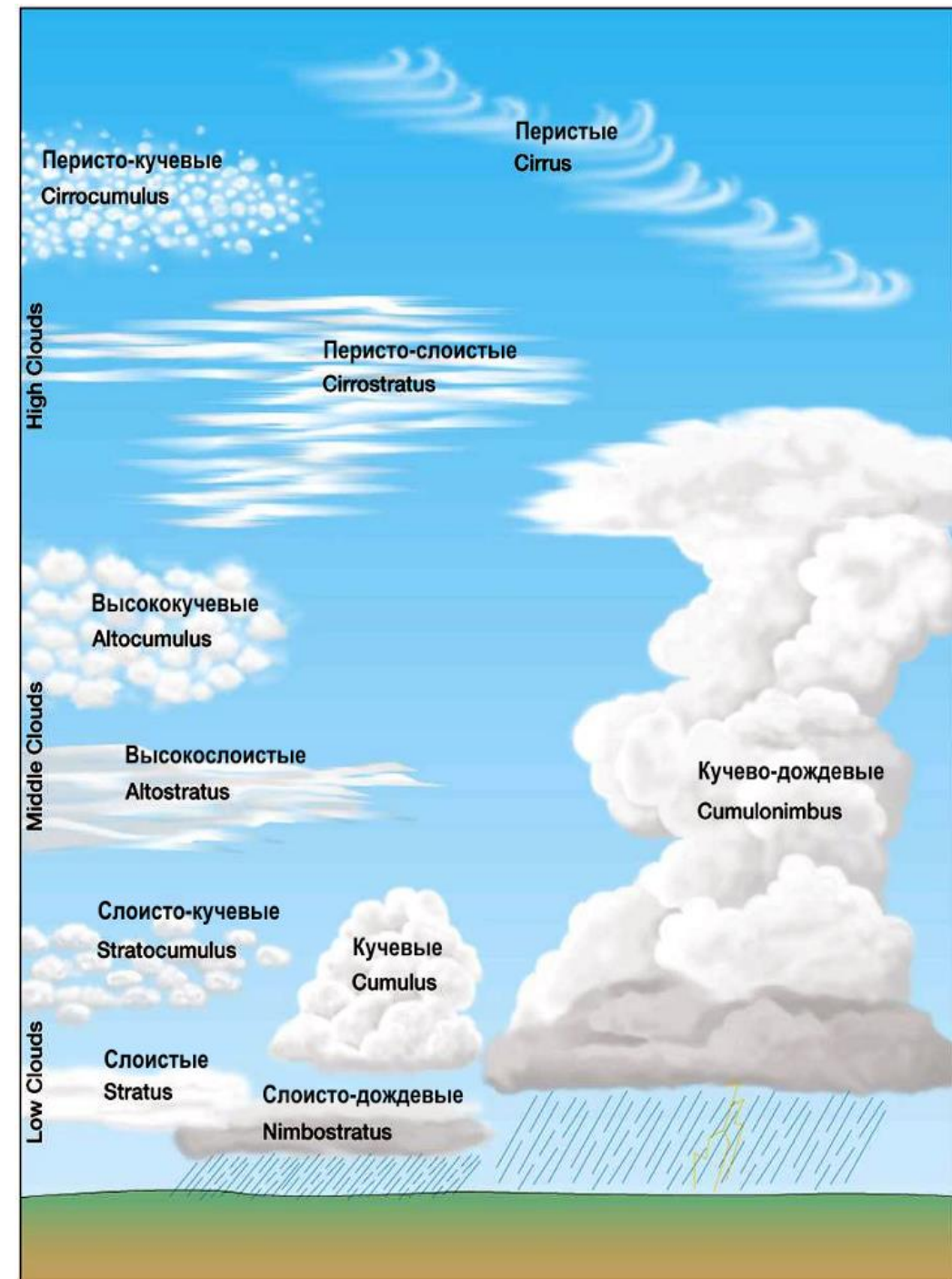
б) волнообразные движения воздуха, приводящие к образованию волнистообразных облаков (**перисто-кучевые, высококучевые и слоисто-кучевые**)



в) вертикально восходящее движение воздуха, порождающее кучевообразные облака (**кучевые и кучево-дождевые**)



Международная классификация облаков:



12,000 1) **Облака верхнего яруса** ($h > 6$ км), состоят из мельчайших кристалликов льда:

- а) перистые;
10,500 б) перисто-кучевые;
в) перисто-слоистые.

9,000 2) **Облака среднего яруса** ($h = 2-6$ км):

- а) высококучевые:
- просвечивающие;
7,500 - плотные;
б) высокослоистые:
- просвечивающие;
6,000 - плотные.

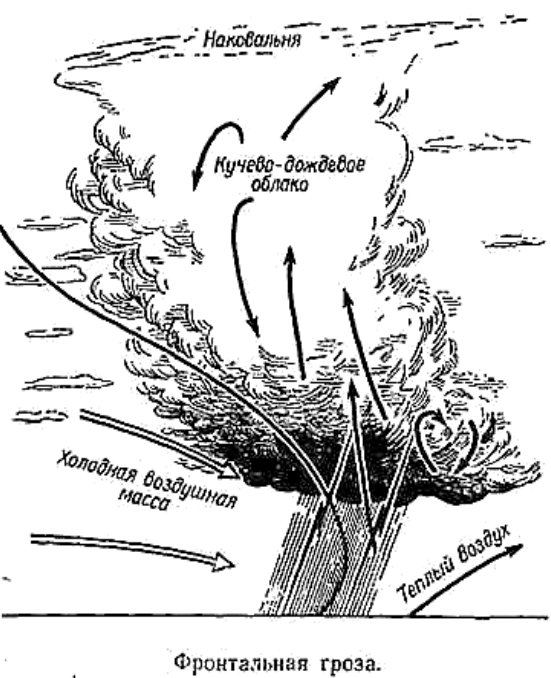
4,500 3) **Облака нижнего яруса** ($h < 2$ км):

- а) слоисто-кучевые;
б) слоистые;
в) слоисто-дождевые.

3,000 4) **Облака вертикального развития (конвективные облака)**:

- а) кучевые:
1,500 - плоские кучевые;
- кучевые средние;
- мощные кучевые;
0 б) кучево-дождевые.

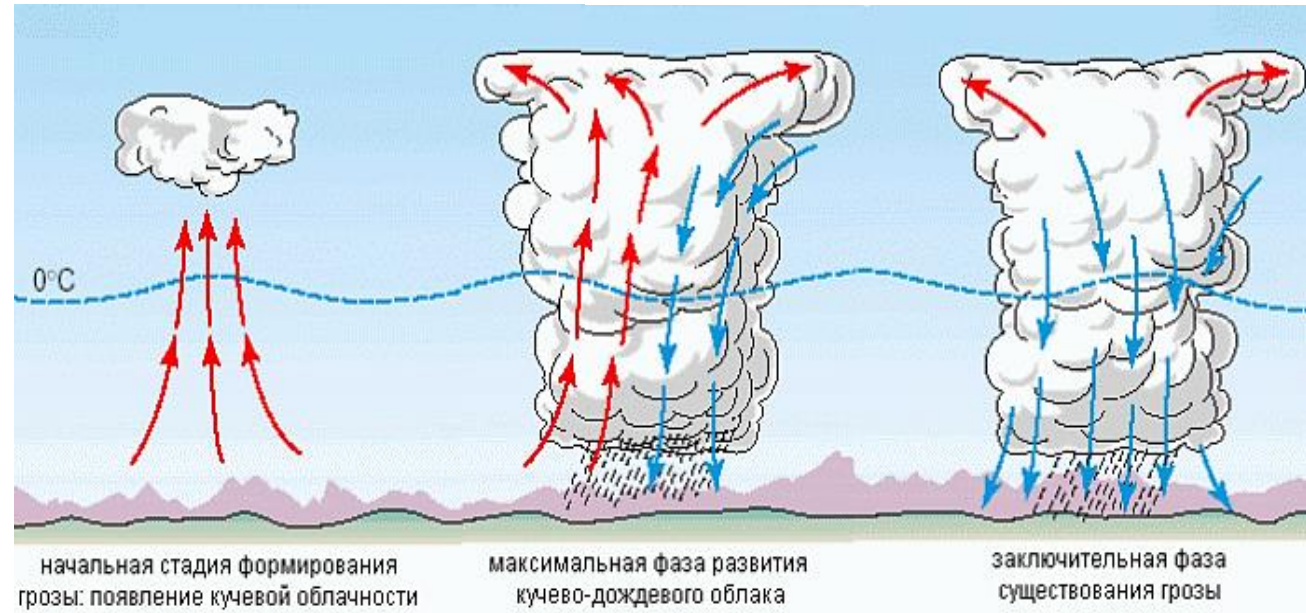
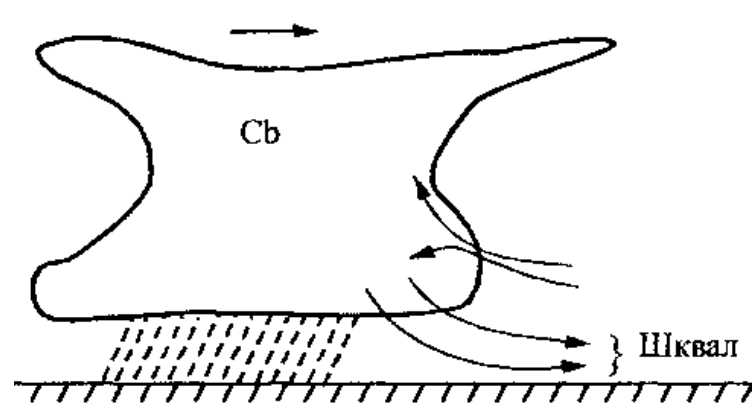
Образование облака вертикального развития



образуются при вертикальном подъёме воздуха (конвекции) и связанного с этим адиабатического охлаждения воздуха до стадии конденсации и сублимации водяного пара



Прохождение крупных кучево-дождевых облаков летом часто сопровождается шквалом, сильным, продолжительностью в несколько минут, ветром со скоростью до 20-30 м/с. Шквалы возникают в результате образования вихревого движения воздуха с горизонтальной осью в передней по ходу движения части облака



Редкие виды облаков

Утренняя gloria



Грозовой воротник



Лентикулярные облака



Облака Кельвина
Гельмгольца



Грибовидное
облако



Серебристые
облака



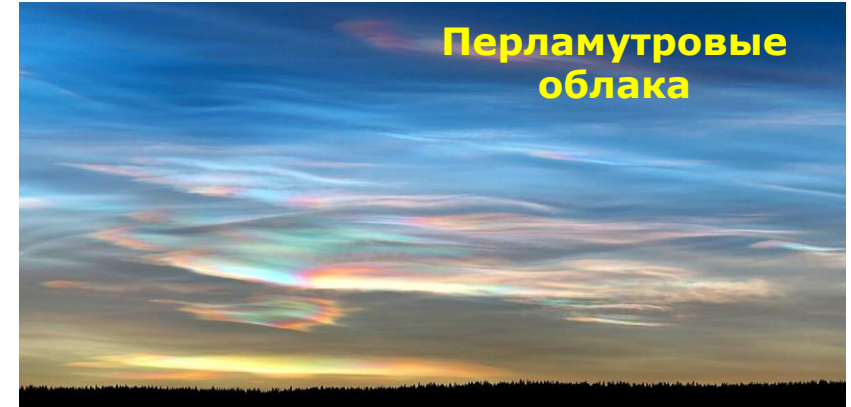
Облака-медузы



Вымеобразные
облака

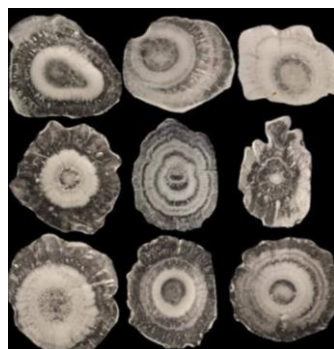
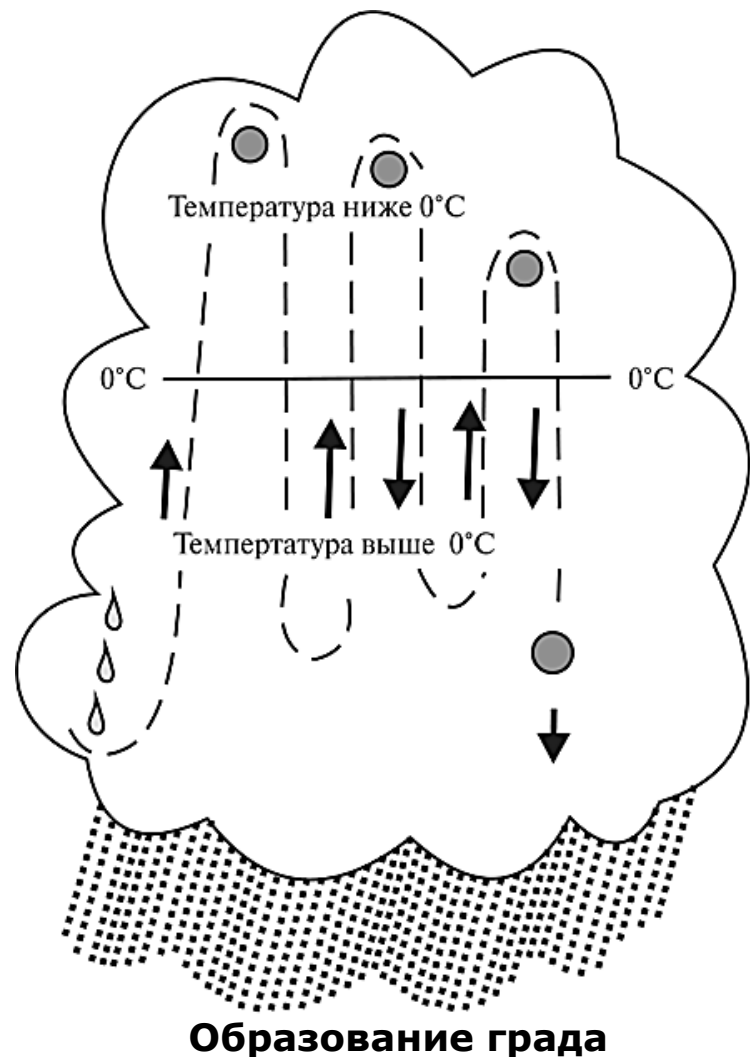


Перламутровые
облака



Атмосферные осадки – это капли воды и кристаллы льда, выпадающие из облаков или осаждающиеся из воздуха на поверхности земли и предметах

Атмосферные осадки



Твёрдые

- а) снег;
- б) снежная крупа;
- в) снежные зёрна;
- г) ледяная крупа;
- д) ледяной дождь;
- е) град

из облаков

Жидкие

- а) дождь;
- б) морось

Смешанные
(мокрый снег)

на поверхности земли и предметах

Твёрдые

- иней;
- изморозь;
- гололед

Жидкие

- роса



ПРЕЗЕНТАЦИЯ ЗАКОНЧЕНА

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ