



# ВОДА В АТМОСФЕРЕ

Александрова А.Э.  
Школа №1499 ДО 6

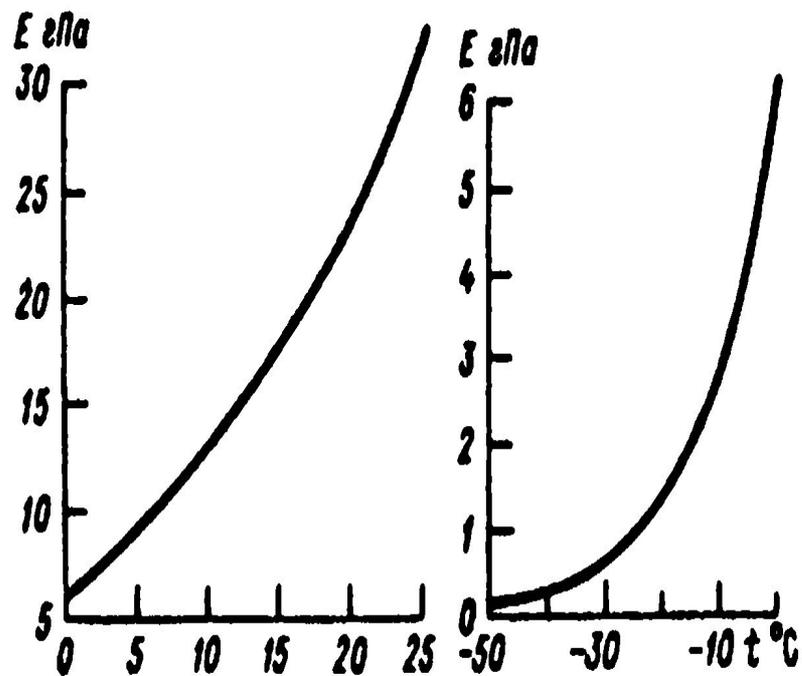


# **ВОДА В АТМОСФЕРЕ**

# 1. ИСПАРЕНИЕ И НАСЫЩЕНИЕ

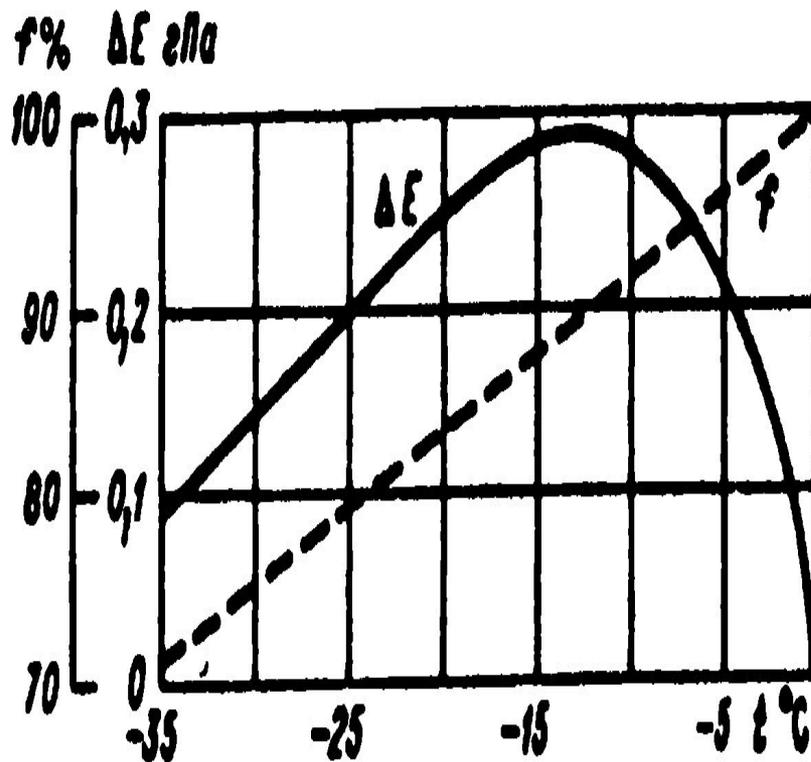
- Водяной пар непрерывно поступает в атмосферу вследствие испарения с поверхностей водоемов и почвы и вследствие транспирации (испарение растительностью). Испарение в отличие от транспирации называют еще *физическим испарением*, а испарение и транспирацию вместе - *суммарным испарением*.
- Одновременно с отрывом молекул от поверхности воды или почвы происходит и обратный процесс их перехода из воздуха в воду или в почву. Когда достигается состояние подвижного равновесия — возвращение молекул становится равным их отдаче с поверхности - испарение прекращается: отрыв молекул с поверхности продолжается, но он покрывается возвращением молекул. Такое состояние называют **насыщением**, **водяной пар в этом состоянии — насыщающим**, а **воздух, содержащий насыщающий водяной пар, — насыщенным**. Парциальное давление водяного пара в состоянии насыщения называют **давлением насыщенного водяного пара**.

Рис. 6.1. Давление насыщенного водяного пара в зависимости от температуры



- При отрицательных температурах давление насыщенного водяного пара по отношению к ледяным кристаллам меньше, чем по отношению к переохлажденным каплям.
- Различие в давлении насыщенного водяного пара над водой и льдом объясняется тем, что силы сцепления между молекулами льда больше, чем между молекулами воды. Поэтому состояние насыщения, т.е. состояние подвижного равновесия между потерей и приходом молекул, наступает для льда при меньшем содержании водяного пара в окружающем воздухе, чем для жидкой воды.

Рис. 6.2. Разность давления насыщения над водой и льдом и относительная влажность при насыщении надо льдом в зависимости от температуры



## 2. СКОРОСТЬ ИСПАРЕНИЯ

- Скорость испарения  $V$  выражается в миллиметрах слоя воды, испарившейся за единицу времени (например, за сутки) с данной поверхности. Она прежде всего пропорциональна разности между давлением насыщенного водяного пара при температуре испаряющей поверхности и фактическим давлением водяного пара в воздухе:

$$E_s - e \text{ (закон Дальтона).}$$

- Чем меньше разность  $(E_s - e)$ , тем медленнее идет испарение, т.е. тем меньше водяного пара переходит в воздух за единицу времени. Если испаряющая поверхность теплее воздуха, то  $E_s$  больше, чем давление насыщенного водяного пара  $E$  при температуре воздуха, поэтому испарение продолжается и тогда, когда воздух уже насыщен, т.е. когда  $e = E < E_s$ . Кроме того, *скорость испарения обратно пропорциональна атмосферному давлению  $p$* . Но этот фактор важен лишь при сравнении условий испарения на разных высотах в горах; на равнине колебания атмосферного давления не так велики, чтобы он имел существенное значение.
- Испарение зависит от скорости ветра  $v$ , поскольку ветер и связанная с ним турбулентность относят водяной пар от испаряющей поверхности и поддерживают необходимый дефицит насыщения в непосредственной близости от нее. Испарение очень велико летом в степной

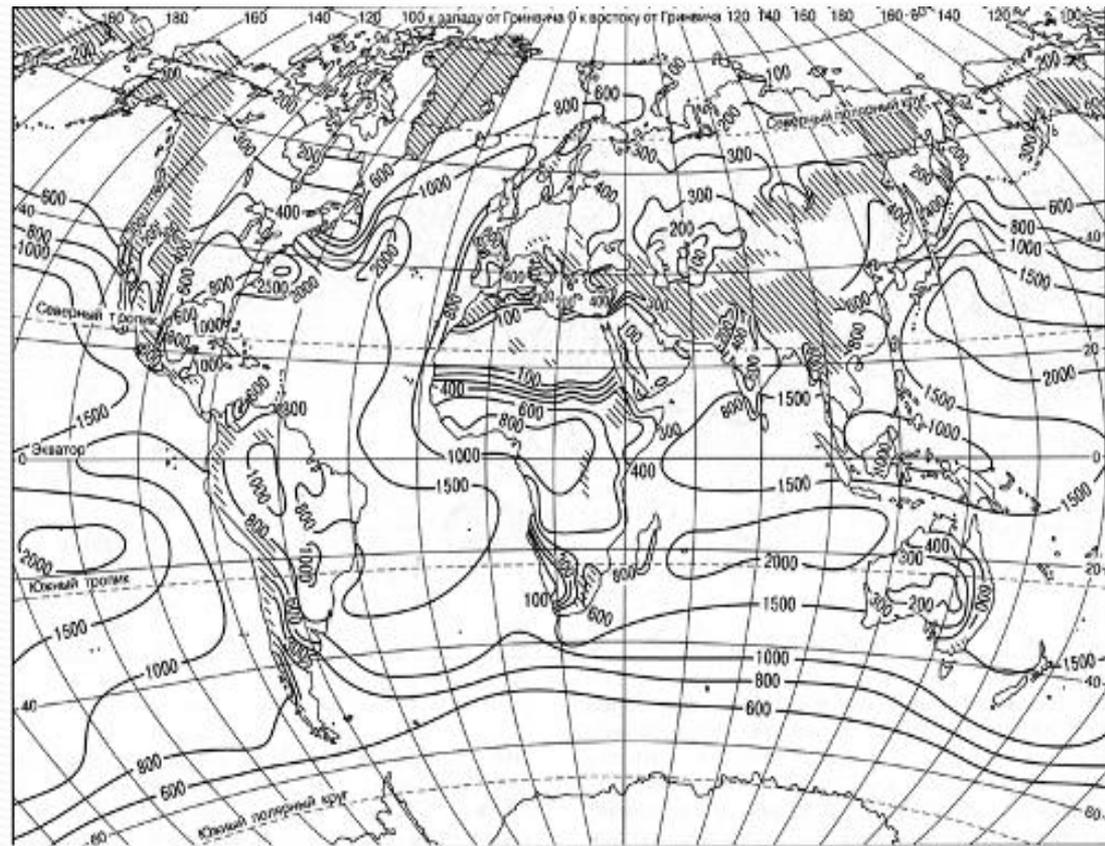
$$V = k \frac{E_s - e}{p} f(v),$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности.

### 3.ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИСПАРЯЕМОСТИ И ИСПАРЕНИЯ

- Испаряемостью называют максимально возможное испарение, не ограниченное запасами влаги.
- Испаряемость не всегда совпадает с фактическим испарением с поверхности почвы

Средние годовые значения испарения с подстилающей поверхности (мм/год) (по С.Г. Любушкиной и др.)



## 4. ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЛАЖНОСТИ

- Влажность воздуха прежде всего зависит от того, сколько водяного пара поступает в атмосферу путем испарения с земной поверхности в том же районе.
- Для каждой температуры существует состояние насыщения, т.е. существует некоторое предельное влагосодержание, которое не может быть превзойдено.
- *Парциальное давление* водяного пара  $e$  - основная и наиболее употребительная характеристика влажности и *относительная влажность*  $f$  - отношение фактического давления пара к давлению насыщенного пара при данной температуре, выраженное в процентах:

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

- **Абсолютная влажность  $a$**  — масса водяного пара в граммах в  $1 \text{ м}^3$  воздуха, т.е. плотность водяного пара, выраженная в граммах на кубический метр.
- Для абсолютной влажности  $a$  справедливо выражение

$$a = 217 \frac{e}{T} \text{ г/м}^3,$$

где  $e$  — в гектопаскалях (гПа);  $T$  — в Кельвинах (К). Это выражение получим, если плотность водяного пара  $\rho_{\text{vv}} = (0,622e)/(R_d T)$  выразим в граммах на  $1 \text{ м}^3$ , а  $e$  - в гПа.

● Удельная влажность (массовая доля водяного пара)  $q$  — отношение массы водяного пара в некотором объеме к общей массе

влажного воздуха в том же объеме. Если этот объем равен  $1 \text{ м}^3$ ,

можно определить удельную влажность  $q$  как отношение плотности

водяного пара к общей плотности влажного воздуха:

$$q = \rho_w / \rho$$

С учетом формул  $\rho_w = \frac{0,622e}{R_d T}$  и  $\rho = \frac{p}{R_d T} \left( 1 - 0,378 \frac{e}{p} \right)$  получим

$$\rho = 0,622 \frac{e}{p \left( 1 - 0,378 \frac{e}{p} \right)}$$

Удельную влажность можно вычислить, зная давление водяного пара и давление воздуха.

● Близка по значению к удельной влажности другая безразмерная характеристика — отношение смеси  $S$ . Отношением смеси называют отношение массы водяного пара к массе сухого воздуха в том же объеме. Если этот объем  $1 \text{ м}^3$ , то  $S = \rho_w / \rho_d$ . С учетом формул для  $\rho_w = 0,622e / (R_d T)$  и  $\rho_d = (p - e) / (R_d T)$  имеем

$$S = 0,622e / (p - e).$$

Так же как и удельную влажность, на практике отношение смеси выражают числом граммов водяного пара на килограмм сухого воздуха:

$$S = \frac{622e}{p - e} \text{ г/кг.}$$

# Три характеристики влажности

- **Температура, при которой содержащийся в воздухе водяной пар достигает насыщения при неизменном общем давлении воздуха, называется точкой росы  $\tau$ .** Так, если при температуре воздуха  $+27^{\circ}\text{C}$  давление пара в нем равно 23,4 гПа, то такой воздух не является насыщенным. Для того чтобы он стал насыщенным, нужно было бы понизить его температуру до  $+20^{\circ}\text{C}$ . Вот эта температура  $+20^{\circ}\text{C}$  и является в данном случае точкой росы. Очевидно, что чем меньше разница между фактической температурой и точкой росы, тем ближе воздух к насыщению. При насыщении точка росы равна фактической температуре.
- **Разность между температурой воздуха  $T$  и точкой росы  $\tau$  называется дефицитом точки росы  $\Delta t = T - \tau$ .**
- **Разность между давлением насыщенного пара  $E$  при данной температуре воздуха и фактическим давлением  $e$  пара в воздухе ( $D = E - e$ ) называется дефицитом насыщения.** Иначе говоря, дефицит насыщения показывает, сколько водяного пара недостает для насыщения воздуха при данной температуре. Выражается он в гектопаскалях.

## 5. ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

Психрометр ВИТ -1



Психрометр аспирационный механический МВ-4-2М

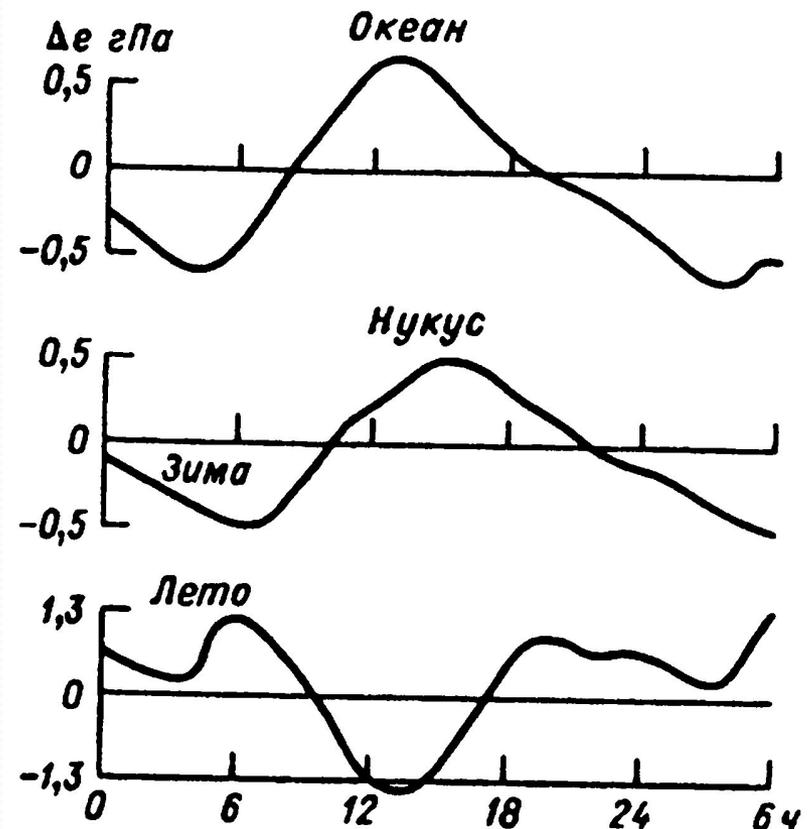


## 6. СУТОЧНЫЙ И ГОДОВОЙ ХОД ДАВЛЕНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА

- Суточный ход давления пара лучше выражен в многолетних средних значениях, чем в значениях за отдельные дни, так же как и суточный ход температуры воздуха. Амплитуда его в средних широтах мала: весной и летом 2—3 гПа, осенью и зимой 1—2 гПа.

- Годовая амплитуда давления пара тем больше, чем больше годовая амплитуда температуры. Следовательно, в континентальном климате она больше, чем в морском. Еще больше она в муссонных областях, где существует резкая противоположность между сухой зимой и влажным летом. Над океанами и в морском климате на суше, особенно в экваториальных областях, годовая амплитуда содержания пара мала.

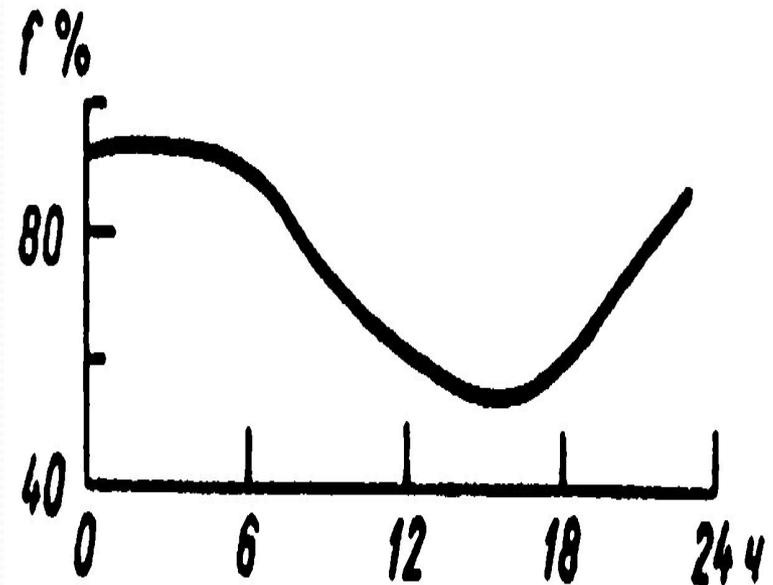
Рис. 6.3. Суточный ход давления водяного пара в тропическом океане и пустыне (г. Нукус) зимой и летом:  $\Delta e$  — отклонение от средних суточных значений



## 7. СУТОЧНЫЙ И ГОДОВОЙ ХОД ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ

- Суточный ход относительной влажности  $f = (e - 100\%) / E$  зависит от суточного хода фактического парциального давления пара  $e$  и от суточного хода давления насыщенного пара  $E$ . Но последний находится в прямой зависимости от суточного хода температуры. Давление пара  $e$  в общем меняется в суточном ходе не очень значительно. Гораздо резче меняется вместе с температурой давление насыщенного пара  $E$ . Поэтому суточный ход относительной влажности с достаточным приближением обратен суточному ходу температуры. При падении температуры относительная влажность растет, при повышении температуры - падает.

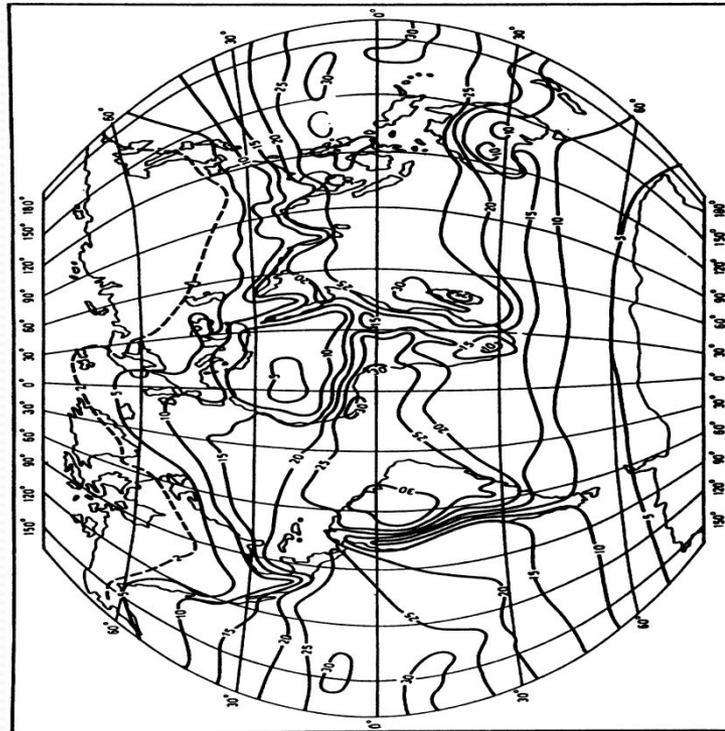
Рис 6.5 Суточный ход относительной влажности в Иркутске в июле



# 8. ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

Географическое распределение влажности воздуха зависит: 1) от испарения в каждом данном районе; 2) от переноса влаги воздушными течениями из одних мест Земли в другие.

Карта распределения среднего месячного давления водяного пара в январе (гПА)



Карта распределения среднего месячного  
распределения давления водяного пара в в июле  
(гПа)

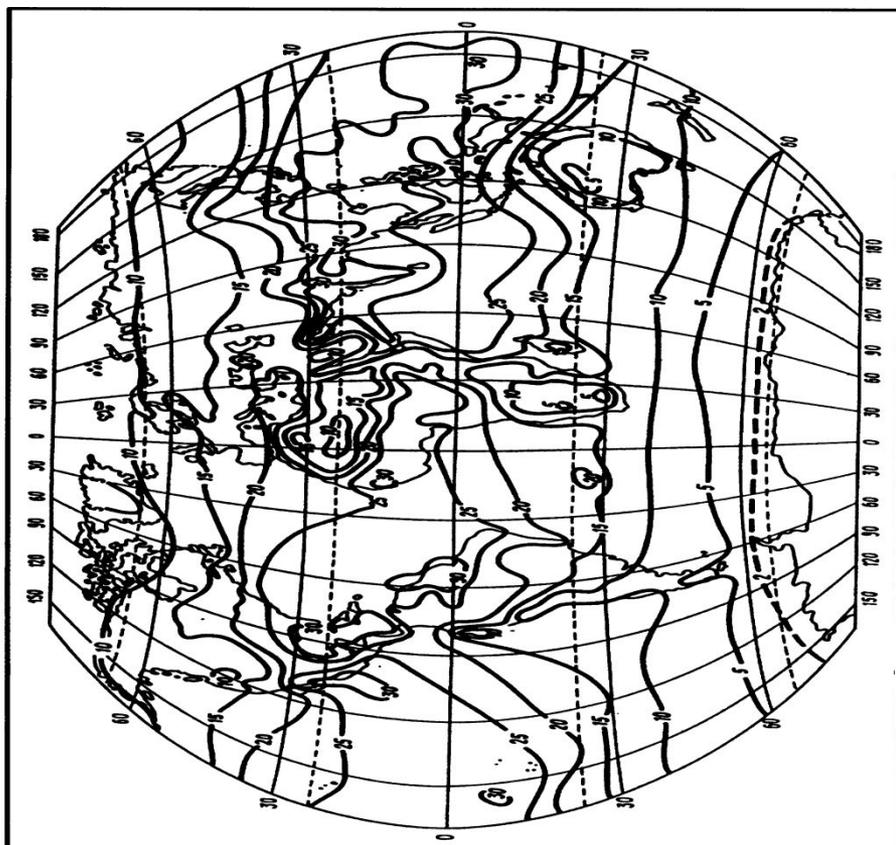


Рис. 6.6. распределение зонального  
давления водяного пара зависимости от  
географической широты

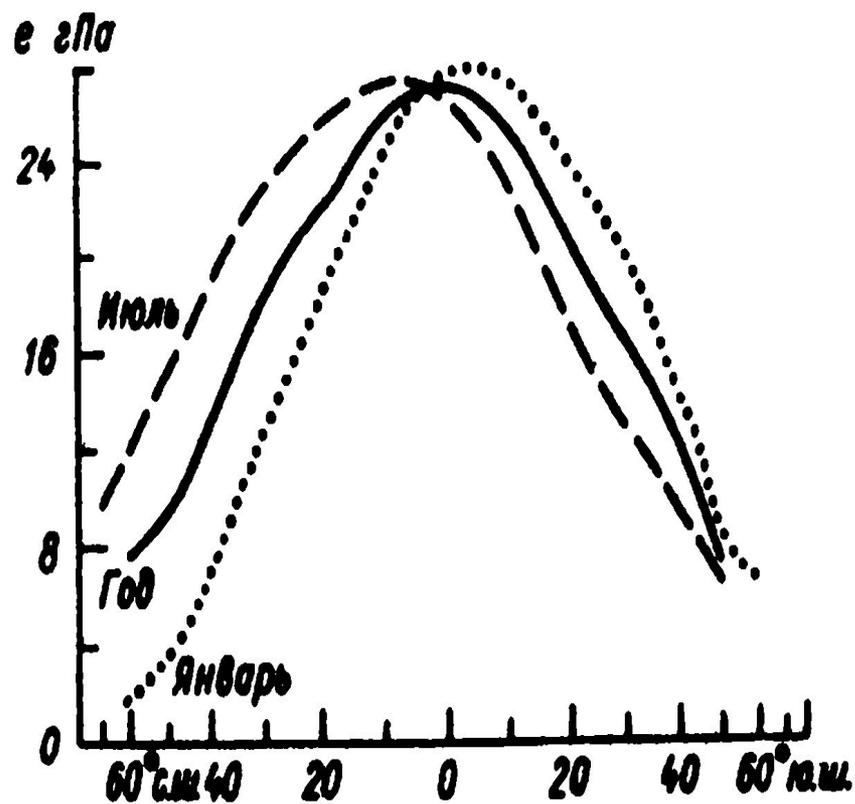
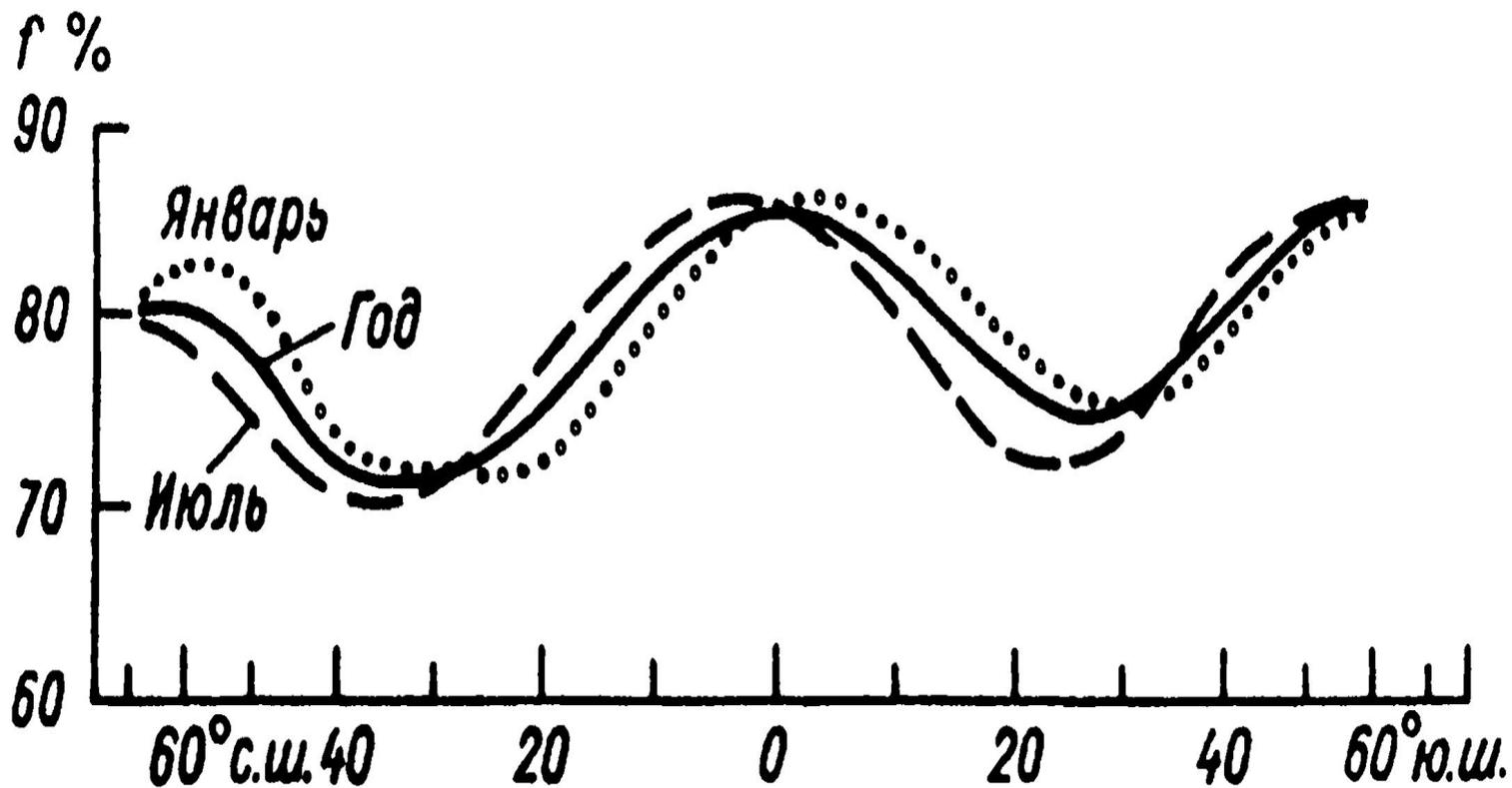


Рис. 6.7. Распределение зональной относительной влажности в зависимости от географической широты



## 9. ИЗМЕНЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ С ВЫСОТОЙ

С высотой давление водяного пара убывает; убывает и абсолютная, и удельная влажность

- *Относительная влажность меняется с высотой менее закономерно. В общем, она с высотой убывает. Но на уровнях, где происходит облакообразование, относительная влажность, конечно, повышенная. В слоях с температурными инверсиями она уменьшается очень резко вследствие повышения температуры.*
- Зная распределение абсолютной влажности по высоте, можно подсчитать, сколько водяного пара содержится во всем столбе воздуха над единицей площади земной поверхности. Эту **величину называют влагосодержанием атмосферного столба. В иностранной литературе эту величину называют precipitable water, т.е. водой, которая может быть осаждена.** В среднем над каждым квадратным метром земной поверхности в воздухе содержится около 28,5 кг водяного пара. Напомним, что общая масса такого столба при среднем атмосферном давлении более 10 т (примерно в 300 раз больше массы водяного пара).

# Распределение средней месячной относительной влажности в январе (в%)



# Распределение средней месячной относительной влажности в июле (в%)



# 10. КОНДЕНСАЦИЯ В АТМОСФЕРЕ

- **Конденсация** - переход воды из газообразного в жидкое состояние.
- В атмосферных условиях происходит не только конденсация, но и сублимация - образование кристаллов, переход водяного пара в твердое состояние.



Перистые облака

# 11. ЯДРА КОНДЕНСАЦИИ

- Образование капель при конденсации в атмосфере всегда происходит на так называемых ядрах конденсации.
- Важнейшими ядрами являются частицы растворимых гигроскопических солей, особенно морской соли, которая всегда обнаруживается в воде осадков.
- Различают: 1) наиболее мелкие ядра радиусом  $r < 0,1$  мкм (так называемые «ядра Айткена»), которые при наблюдающихся в атмосфере пересыщениях в процессе конденсации не участвуют;  
2) облачные ядра конденсации ( $r = 0,1-1,0$  мкм); именно эти ядра обеспечивают конденсацию в атмосфере;
- 3) гигантские ядра ( $r = 1,0-5-3,5$  мкм,  $m > 10^{-11}$  г), очень немногочисленные, но важные для образования крупных капель в облаках.

# 12. ОБЛАКА

- В атмосфере в результате конденсации возникают скопления продуктов конденсации - капель и кристаллов, видимых простым глазом. Их называют *облаками*.



Смешанные облака

При конденсации непосредственно у земной поверхности скопления продуктов конденсации называют *туманами*.



Туманы Причерноморья

## 13.МИКРОСТРУКТУРА И ВОДНОСТЬ ОБЛАКОВ

- По фазовому состоянию облачных элементов облака делятся на три класса.
- *Водяные (капельные) облака*, состоящие только из капель. Они могут существовать не только при положительных температурах, но и при отрицательных ( $-10^{\circ}\text{C}$  и ниже). В этом случае капли находятся в переохлажденном состоянии, что в атмосферных условиях вполне обычно.
- *Смешанные облака*, состоящие из смеси переохлажденных капель и ледяных кристаллов. Они могут существовать, как правило, при температурах от  $-10$  до  $-40^{\circ}\text{C}$ .
- *Ледяные {кристаллические} облака*, состоящие только из ледяных кристаллов. Они преобладают, как правило, при температурах ниже  $-30^{\circ}\text{C}$
- Фото 1. Водяные облака

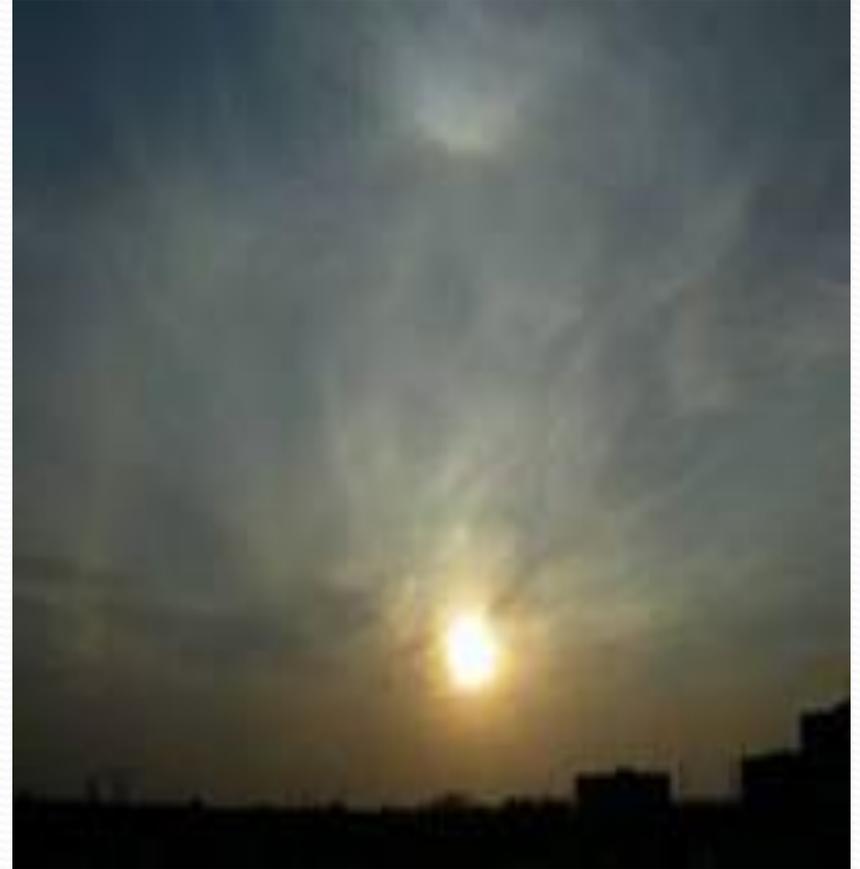


Водяные(капельные) облака

## Смешанные облака



## Ледяные (кристаллические) облака



# 14.МЕЖДУНАРОДНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЛАКОВ

- В современном варианте международной классификации облака делятся на десять основных форм (родов) по внешнему виду. В основных родах различают значительное число видов, разновидностей и дополнительных особенностей; различаются также промежуточные формы.

## I. Перистые — Cirrus (Ci).



# МЕЖДУНАРОДНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЛАКОВ

II. Перисто-кучевые -  
Cirrocumulus (Cc).



Перисто-слоистые — Cirrostratus  
(Cs).

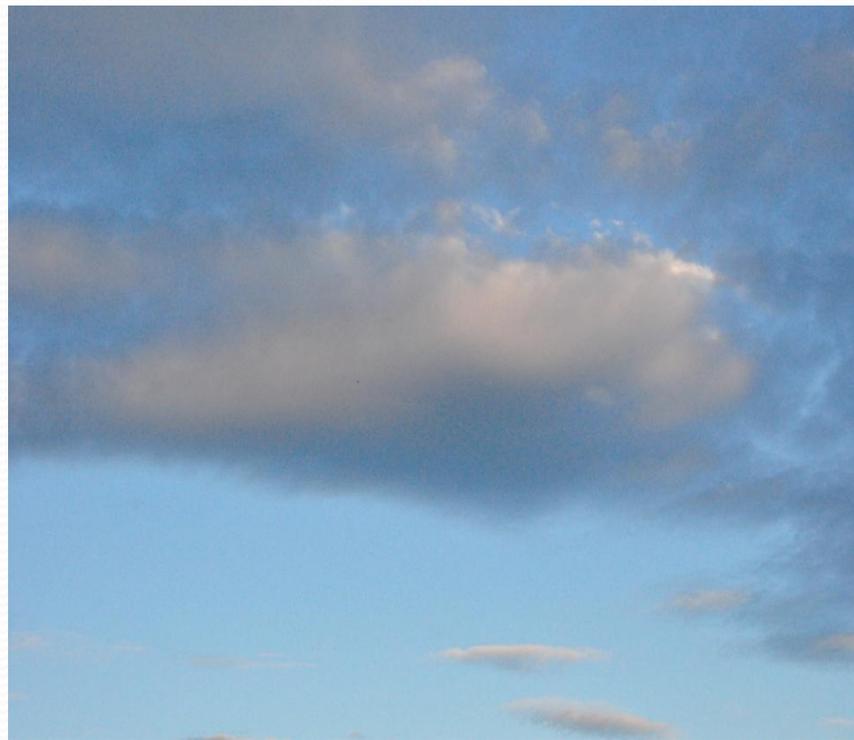


# МЕЖДУНАРОДНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЛАКОВ

Высококучевые —  
Alto cumulus (Ac). V.



Высокослоистые —  
Altostratus (As).



# МЕЖДУНАРОДНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЛАКОВ

VI. Слоисто-  
дождевые Nimbostratus (Ns).

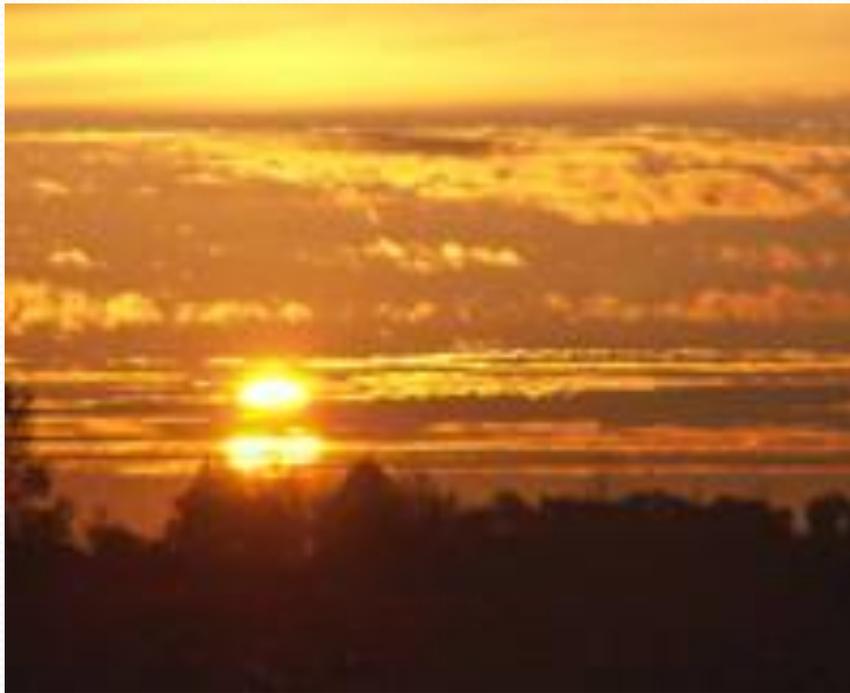


VII. Слоисто-кучевые - Stratocumulus  
(Sc).

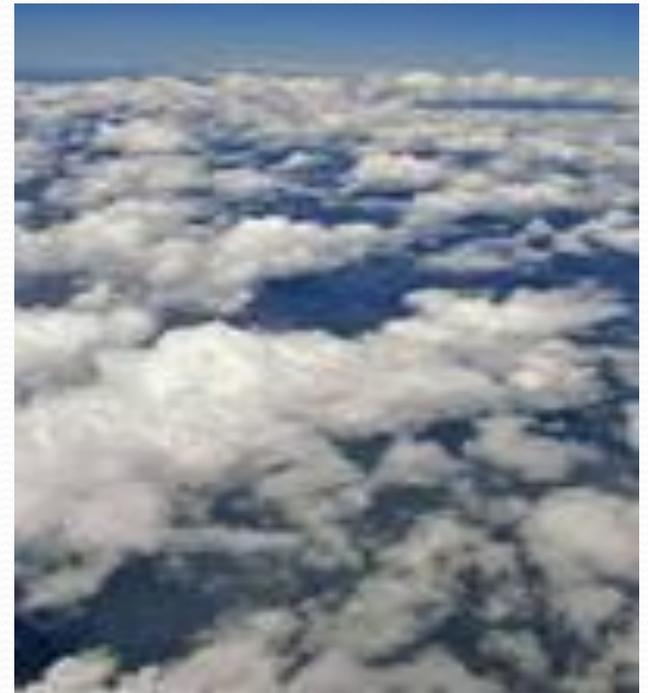


# МЕЖДУНАРОДНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЛАКОВ

VIII. Слоистые — Stratus  
(St).



IX. Кучевые — Cumulus  
(Cu).



## X. Кучево-дождевые — Cumulonimbus (Cb).



## 15. ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ РОДОВ ОБЛАКОВ

### **Облака верхнего яруса.**

- *Перистые облака* выглядят как отдельные нити, гряды или полосы волокнистой структуры. *Перисто-кучевые облака* представляют собой гряды или пласты, состоящие из очень мелких хлопьев, шариков, завитков (барашков). Часто они напоминают рябь на поверхности воды или песка.
- *Перисто-слоистые облака* - тонкая прозрачная белесоватая вуаль, частично или полностью закрывающая небосвод. Иногда они имеют волокнистую структуру. В этих облаках часто возникают оптические явления: гало или различные комбинации светлых дуг.

### **Облака среднего яруса.**

*Высококучевые облака* представляют собой облачные пласты или гряды белого или серого цвета (или одновременно и того и другого).

*Высокослоистые облака* — светлый, молочно-серый облачный покров различной плотности, застилающий небосвод целиком или частично.

# ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ РОДОВ ОБЛАКОВ

## **Облака нижнего яруса.**

*Слоисто-дождевые облака* имеют такое же происхождение, как и высокостроистые. Однако слой их более мощный (несколько километров). Эти облака находятся в нижнем, среднем и часто верхнем ярусах.

*Слоисто-кучевые облака* представляют собой гряды или слои серых или беловатых облаков, почти всегда имеющие более темные участки.

*Слоистые облака* - однородный серый слой капельного строения. Из них может выпасть морось.

## **Облака вертикального развития.**

*Кучевые облака* — плотные с резко очерченными контурами отдельные облака, развивающиеся вверх в виде холмов, куполов, башен. Имеют ослепительно белые клубящиеся вершины (похожи на кочаны цветной капусты).

*Кучево-дождевые облака* образуются в результате дальнейшего развития кучевых облаков. Они представляют собой мощные кучевообразные массы, очень сильно развитые по вертикали в виде гор и башен. Часто простираются от нижнего до верхнего яруса.

# 16. СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ОБЛАКАХ

● В ледяных облаках верхнего яруса, особенно в перисто-слоистых, возникают явления *гало*. К ним относятся *световые круги радиусом 22 или 46 угловых градусов, центры которых совпадают с центром солнечного (или лунного) диска*. Круги слабо окрашены в радужные цвета (красный внутри). Кроме этих основных форм гало наблюдаются *ложные солнца* - слегка окрашенные светлые пятна на одном уровне с солнцем и на угловом расстоянии от него также 22 или 46°. К основным кругам присоединяются иногда различные *касательные дуги* к ним. Наблюдаются еще неокрашенные вертикальные столбы, проходящие через солнечный диск, т.е. как бы продолжающие его вверх и вниз, а также неокрашенный *горизонтальный круг* на одном уровне с Солнцем.



Гало

# СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ОБЛАКАХ

- В тонких водяных облаках, состоящих из мелких однородных капель (обычно это высококучевые облака) и закрывающих диск светила, за счет дифракции возникают явления *венцов*. Венцы возникают также в тумане около искусственных источников света.
- **Венцы** вокруг искусственных источников света малых размеров (по сравнению с дисками светил) имеют более богатые радужные цвета.
- **Глория** подобна венцу, но возникает она не вокруг солнца или луны, а вокруг точки, прямо противоположной диску светила. Наблюдается глория на облаках, расположенных прямо перед наблюдателем или ниже его, т.е. в горах или с самолета.
- Радуга наблюдается на фоне облаков, из которых выпадает дождь, если эти облака освещены Солнцем и, следовательно, расположены против него.
- Радуга объясняется преломлением солнечных лучей при входе и выходе из капель, их отражением внутри капель и явлениями дифракции на каплях.

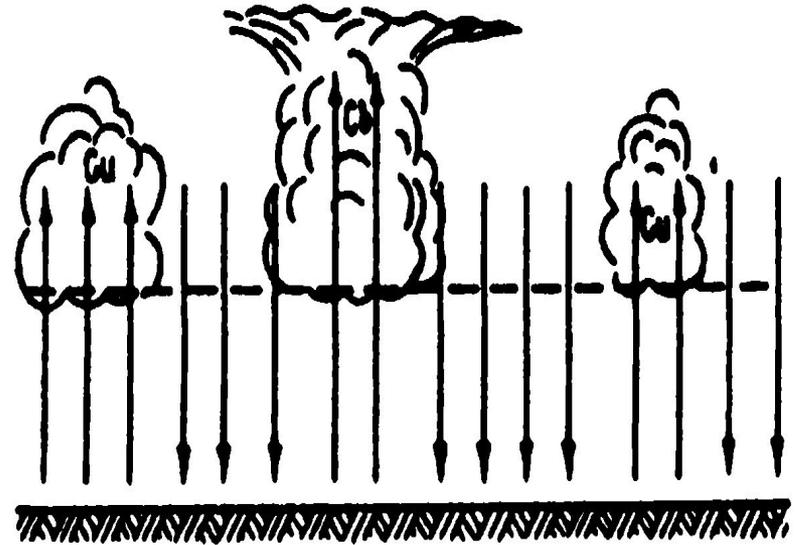


Радуга в горах

# 17. КУЧЕВООБРАЗНЫЕ ОБЛАКА

- Различия в структуре и во внешнем виде облаков объясняются различиями в условиях их возникновения. Поэтому облака можно разделить на несколько генетических типов.
- Различаются облака внутримассовые и фронтальные.
- В неустойчивых воздушных массах (холодных, а летом над сушей также и местных) облакообразование связано с сильно развитой конвекцией при неустойчивой стратификации. В результате адиабатического охлаждения воздуха в восходящих токах и возникают облака конвекции.
- В холодных воздушных массах, движущихся над теплой поверхностью, облака конвекции возникают и над сушей, и над морем. Над сушей летом они развиваются также в местных воздушных.

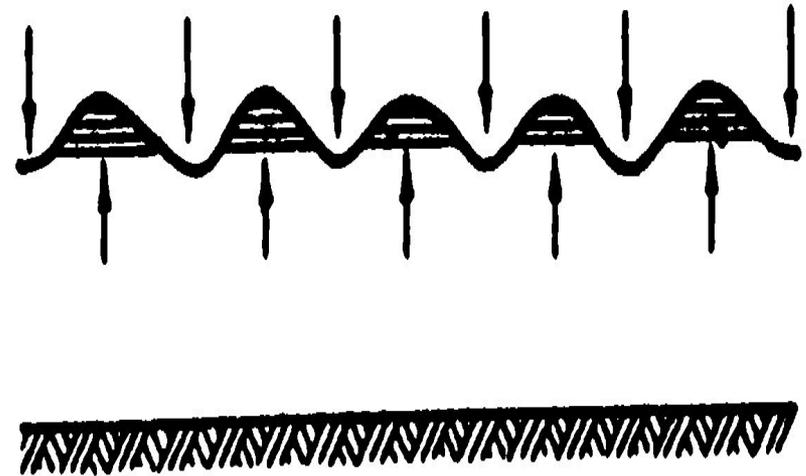
Рис. 6.8. Схема возникновения облаков конвекции



# 18. ВОЛНООБРАЗНЫЕ ОБЛАКА

- Облака растянуты в горизонтальном направлении и часто обнаруживают волновую структуру, поэтому и называются *волнообразными*.
- Волнообразные облака в суточном ходе имеют максимум повторяемости ночью. Слоистые облака особенно характерны для ночного времени и для холодного сезона.

Рис. 6.9. Схема возникновения волнообразных облаков



# 19. СЛОИСТО-ОБРАЗНЫЕ ОБЛАКА

- С фронтами связаны облака упорядоченного крупно масштабного восходящего движения.
- Облачная система упорядоченного восходящего движения особенно хорошо выражена на теплом фронте.
- На фронтах возможно образование облаков и некоторых других типов. Например, для холодного фронта характерны перисто-кучевые облака, для фронта окклюзии типичны разнообразные виды высококучевых облаков. Летом над сушей кучево-дождевые облака нередко развиваются и на теплом фронте.
- Фронтальные облака могут усиливаться при приближении фронта к горному хребту. При подъеме воздушного течения по горному склону в нем могут развиваться и самостоятельные орографические облака, чаще всего кучево образные.
- Фронтальная облачность в наименьшей степени обнаруживает суточный ход. Но все же днем она немного усиливается.
- Во внетропических широтах преобладают облака упорядоченного восходящего движения. В тропиках основное место принадлежит облакам конвекции.

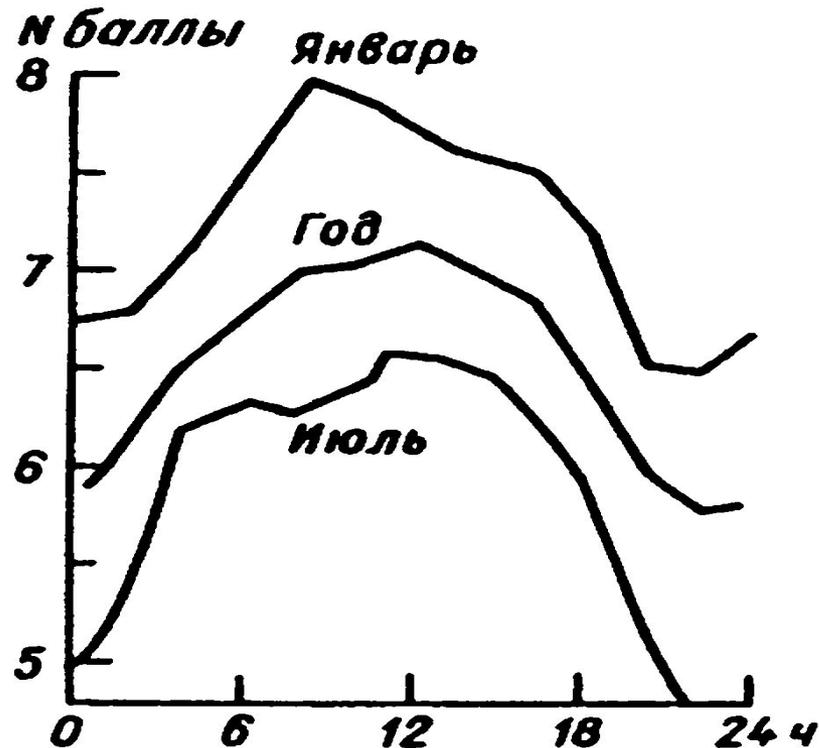


Москва Высококучевые слоистообразные

# 20. ОБЛАЧНОСТЬ, ЕЕ СУТОЧНЫЙ И ГОДОВОЙ ХОД

- Степень покрытия небесного свода облаками называют количеством облаков или облачностью.
- Суточный ход облачности сложен и в большей степени зависит от родов облаков.
- В годовом ходе облачность в разных климатических областях меняется по-разному.

Рис. 6.10. Суточный ход облачности в Потсдаме

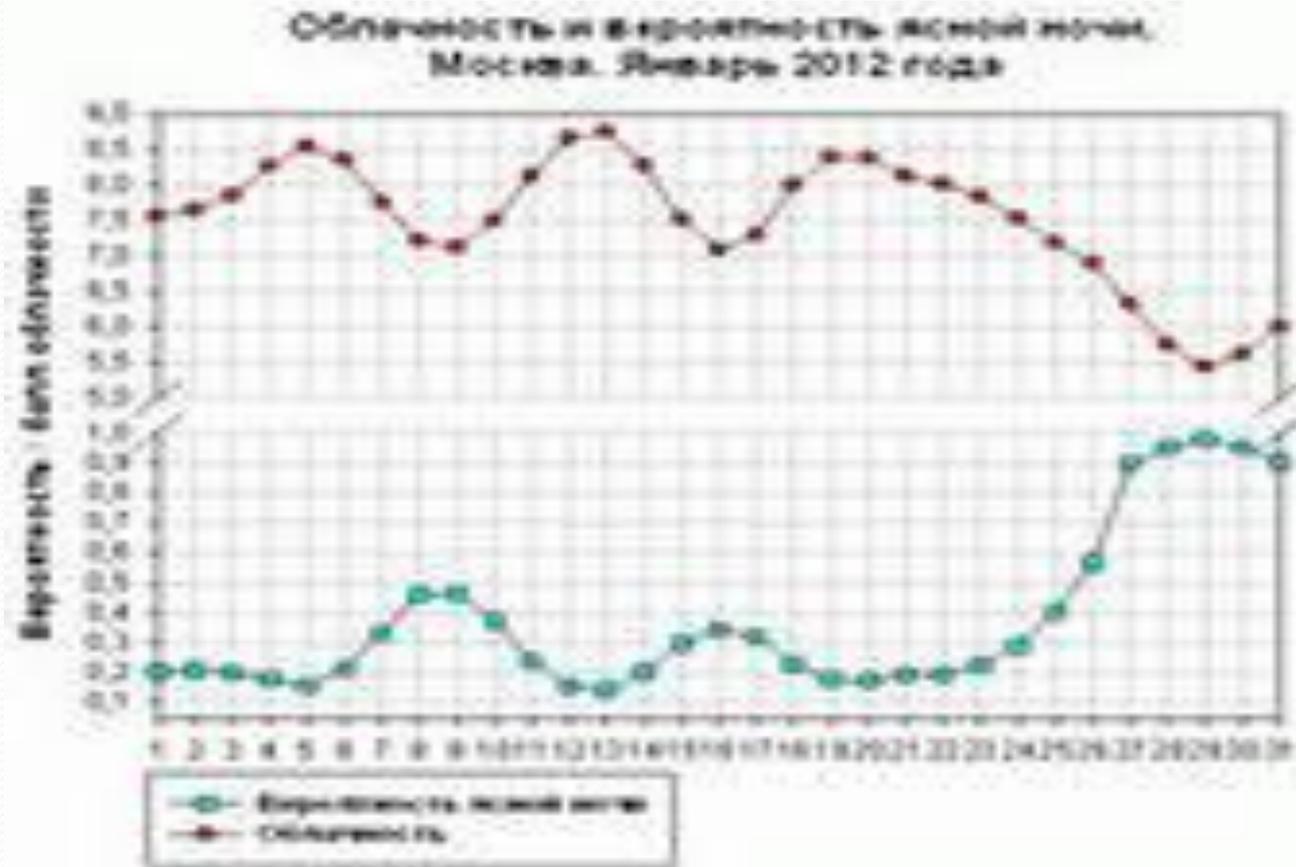


## 21. ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАЧНОСТИ ПО НАЗЕМНЫМ ДАННЫМ

Средние годовые значения облачности в разных широтных зонах над сушей и над морем составляют:

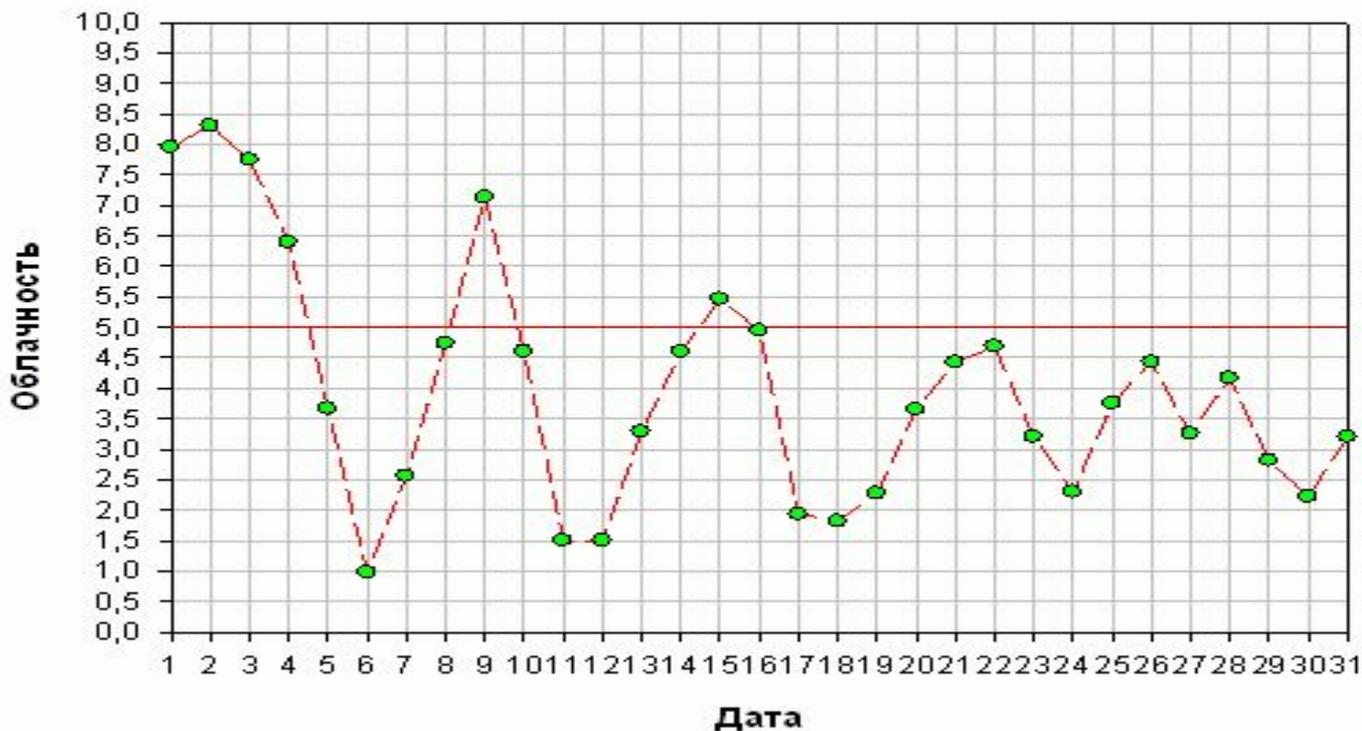
Терри- тория	Широта, град								
	90—80	80—70	70—60	60—50	50—40	40—30	30—20	20—10	10—00
Северное полушарие									
Суша	—	6,5	6,8	6,6	5,5	4,3	3,7	4,5	6,2
Море	7,0	7,1	7,4	7,8	7,4	6,3	5,4	5,6	5,9
Южное полушарие									
Суша	5,7	5,7	6,3	—	5,6	4,7	3,8	4,8	6,4
Море	—	7,2	8,1	8,0	7,1	6,1	5,7	5,5	5,5

## Средняя облачность в январе г. Москва 2012 г.



# Средняя облачность в марте г. Москва 2010 г.

Облачность в марте 2010 г. Москва.  
"Новая модель облачности"  
(Meteoweb.ru/ИЦ Ка-Дар)



# 22. ГЛОБАЛЬНОЕ ПОЛЕ ОБЛАЧНОСТИ ПО ДАННЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СПУТНИКОВ

Широта, град	Океан				Материк				Полушарие			
	XII-II	III-V	VI-VIII	IX-XI	XII-II	III-V	VI-VIII	IX-XI	XII-II	III-V	VI-VIII	IX-XI
80° с.ш.	3,7	3,9	5,9	5,4	3,4	3,0	4,5	4,0	3,4	3,7	5,6	5,1
70	4,6	4,7	6,1	6,2	3,9	4,2	5,6	5,7	4,3	4,4	5,8	5,9
60	6,4	6,2	6,7	7,1	5,2	6,4	6,2	6,4	5,7	5,7	6,4	6,7
50	7,5	7,2	7,6	7,3	5,6	5,3	5,4	5,4	6,4	6,1	6,3	6,2
40	6,9	6,3	6,0	6,2	4,9	4,7	3,9	3,7	6,1	5,6	5,1	5,2
30	6,3	5,7	5,3	5,7	3,2	3,4	3,5	2,8	4,9	4,7	4,5	4,4
20	4,9	4,7	5,4	5,0	1,8	2,1	3,1	2,5	4,1	3,9	4,8	4,3
10	5,0	5,0	6,2	5,9	2,4	3,8	4,9	4,5	4,5	4,8	6,0	5,6
0	5,4	5,1	5,4	5,4	5,9	6,2	6,2	6,3	5,5	5,4	5,6	5,6
10° ю.ш.	5,7	5,2	5,4	5,6	6,4	5,6	3,5	5,3	5,9	5,3	5,0	5,5
20	5,8	5,6	5,9	6,0	5,4	4,2	3,1	4,3	5,7	5,3	5,2	5,6
30	5,7	6,1	6,4	6,5	4,3	4,2	4,1	4,3	5,4	5,6	5,8	6,0
40	6,5	6,8	6,8	7,0	4,7	5,1	5,9	4,7	6,4	6,8	6,8	7,0
50	7,1	7,3	7,1	7,4	6,4	6,2	6,5	6,1	7,1	7,3	7,1	7,4
60	7,3	7,5	7,0	7,6	-	-	-	-	7,3	7,5	7,0	7,6
70	5,9	6,5	5,7	5,9	3,1	2,7	3,0	2,8	4,8	4,9	4,6	4,6
80	-	-	-	-	1,8	1,9	1,7	1,6	1,8	1,9	1,7	1,6

# 23. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО СЯНИЯ

- **Продолжительностью солнечного сияния называется время, в течение которого прямые солнечные лучи освещают земную поверхность.** На метеорологических станциях она измеряется гелиографами, которые основаны обычно на том, что под действием фокусированных солнечных лучей остается либо прожог на специальной бумажной ленте прибора, либо след на фотобумаге.
- Продолжительность солнечного сияния, как в часах, так и в процентах от возможного возрастает от полярных широт к тропикам. В Арктике относительная продолжительность не превышает 25%, в Северной Европе - около 40, в Италии - 50, в Мадриде - 65%. Продолжительность солнечного сияния достигает максимума в субтропических пустынях. Например, в Аризоне она составляет в среднем годовом 88%, а в июне даже 97% от возможной. В дождливых областях вблизи экватора продолжительность снижена до 35%. Очень велика относительная продолжительность солнечного сияния в Восточной Антарктиде.
- Максимум солнечного сияния в центральной части Европы в среднем годовом приходится на 12-13 ч; летом - на 10-11 ч, зимой - на 13-14 ч. На горных вершинах максимум солнечного сияния отмечается на два часа раньше, а в тропиках приходится на 8-9 ч.

## 24. ДЫМКА, ТУМАН, МГЛА

- Воздух часто представляется замутненным вследствие наличия в нем различных примесей и мельчайших продуктов конденсации. Примеси рассеивают проходящий свет и приводят к ухудшению видимости. Если помутнение воздуха невелико (дальность видимости 1-10 км), оно называется *дымкой*. Помутнение вызывают микроскопические частицы - капли (или кристаллы) и пылинки. Помутнение на высоких уровнях придает небесному своду белесоватость.
- **Туманом** называют скопление продуктов конденсации (капель, кристаллов или тех и других) у земной поверхности и связанное с ним сильное помутнение воздуха, при котором дальность видимости становится менее 1 км.
- Если сильное помутнение вызвано не продуктами конденсации, а твердыми частицами, то оно называется *мглой*. Мгла особенно часто возникает в районах эродированных почв и пыльных бурь в пустынных и степных районах, а также в результате задымления воздуха при лесных пожарах и над промышленными городами.

# 25. УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ТУМАНОВ

- Туман возникает в том случае, когда у земной поверхности создаются благоприятные условия для конденсации водяного пара. Нужные для этого ядра конденсации существуют в воздухе всегда.
- В зависимости от причин образования туманы делят на два основных класса: **туманы охлаждения** и **туманы испарения**. Первые абсолютно преобладают.
- Туманы, которые при этом возникают, называются адвективными. Во-вторых, воздух может охлаждаться при радиационном охлаждении подстилающей поверхности. Такие туманы называются радиационными. В-третьих, охлаждение может происходить под влиянием обоих факторов. Туманы, возникающие в этом случае, называются адвективно-радиационными.
- **Радиационные туманы** бывают двух типов: **поземные** и **высокие**.

**Туман** — атмосферное явление, скопление воды в воздухе.

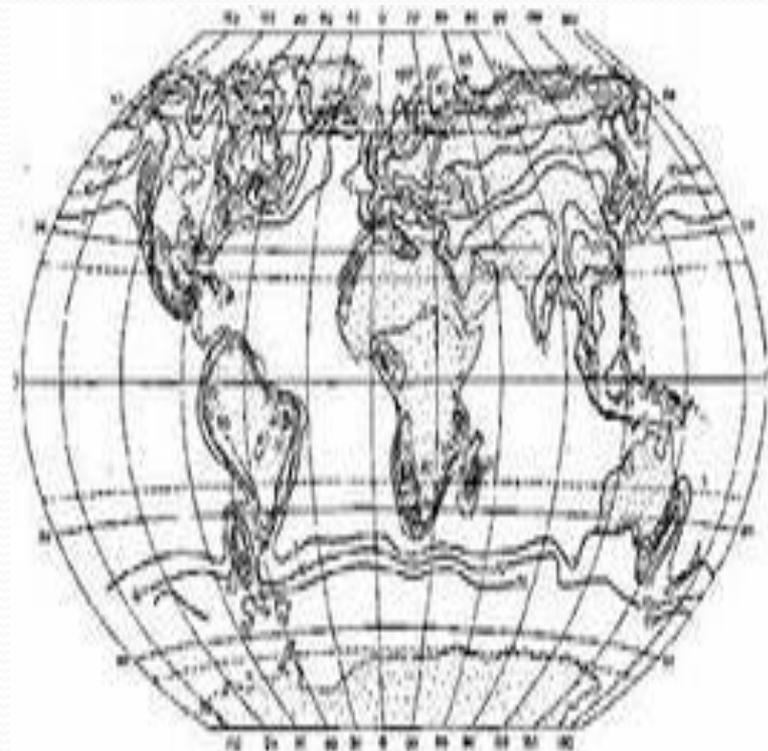
Туманы охлаждения и туманы испарения



Туманная дымка над рекой

## 26. ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТУМАНОВ

Причины частых туманов - перенос теплых воздушных масс на холодную поверхность льда и перемещение холодного воздуха со льда или с холодной суши на открытую воду. Высока повторяемость туманов и над водами Южного океана в высоких широтах. В умеренных широтах Северного полушария наиболее часто туманы наблюдаются в районе Ньюфаундленда (до 80 дней и более), где они связаны с переносом воздуха с теплых вод Гольфстрима на холодные воды Лабрадорского течения. В субтропических широтах Южного полушария особенно богаты туманами (также до 80 дней и более) прибрежные пустыни Южной Африки и Южной Америки и омывающие их воды. Теплый воздух здесь распространяется на холодные океанические течения. Мало туманов во внутренних частях материков, особенно в пустынях, где содержание водяного пара в воздухе невелико, а температуры высокие. Мало туманов в Сибири и Канаде. Здесь в теплое лето воздух далек от насыщения, а в холодную зиму влажность воздуха настолько мала, что даже при насыщении туманы редко образуются.



## 27. ОСАДКИ, ВЫПАДАЮЩИЕ ИЗ ОБЛАКОВ (КЛАССИФИКАЦИЯ ОСАДКОВ)

- При определенных условиях из облаков выпадают осадки, т.е. капли или кристаллы достаточно крупных размеров, которые не могут удерживаться в атмосфере во взвешенном состоянии. Наиболее типичны и важны *дождь* и *снег*.
- Из облаков упорядоченного восходящего движения (слоисто-дождевых и высокослоистых), связанных с фронтами, выпадают *обложные осадки*.
- Из кучево-дождевых облаков, связанных с конвекцией, выпадают интенсивные, но малопродолжительные *ливневые осадки*.
- Кроме обложных и ливневых осадков различают еще *осадки морозящие*. Это внутримассовые осадки, выпадающие из слоистых и слоисто-кучевых облаков, типичных для теплых или местных устойчивых воздушных масс.
- *Морось* - жидкие осадки, состоящие из капель диаметром порядка 0,5—0,05 мм с очень малой скоростью падения. Они легко переносятся ветром в горизонтальном направлении.
- *Снег* - твердые осадки, состоящие из сложных ледяных кристаллов (снежинок). Формы их очень разнообразны и зависят от условий образования.



# 28. ОБРАЗОВАНИЕ ОСАДКОВ

- Осадки выпадают в том случае, если хотя бы часть элементов, составляющих облако (капель или кристаллов), по каким-то причинам укрупняется. Когда облачные элементы становятся настолько тяжелыми, что сопротивление и восходящие движения воздуха больше не могут удерживать их во взвешенном состоянии, они выпадают из облака в виде осадков.



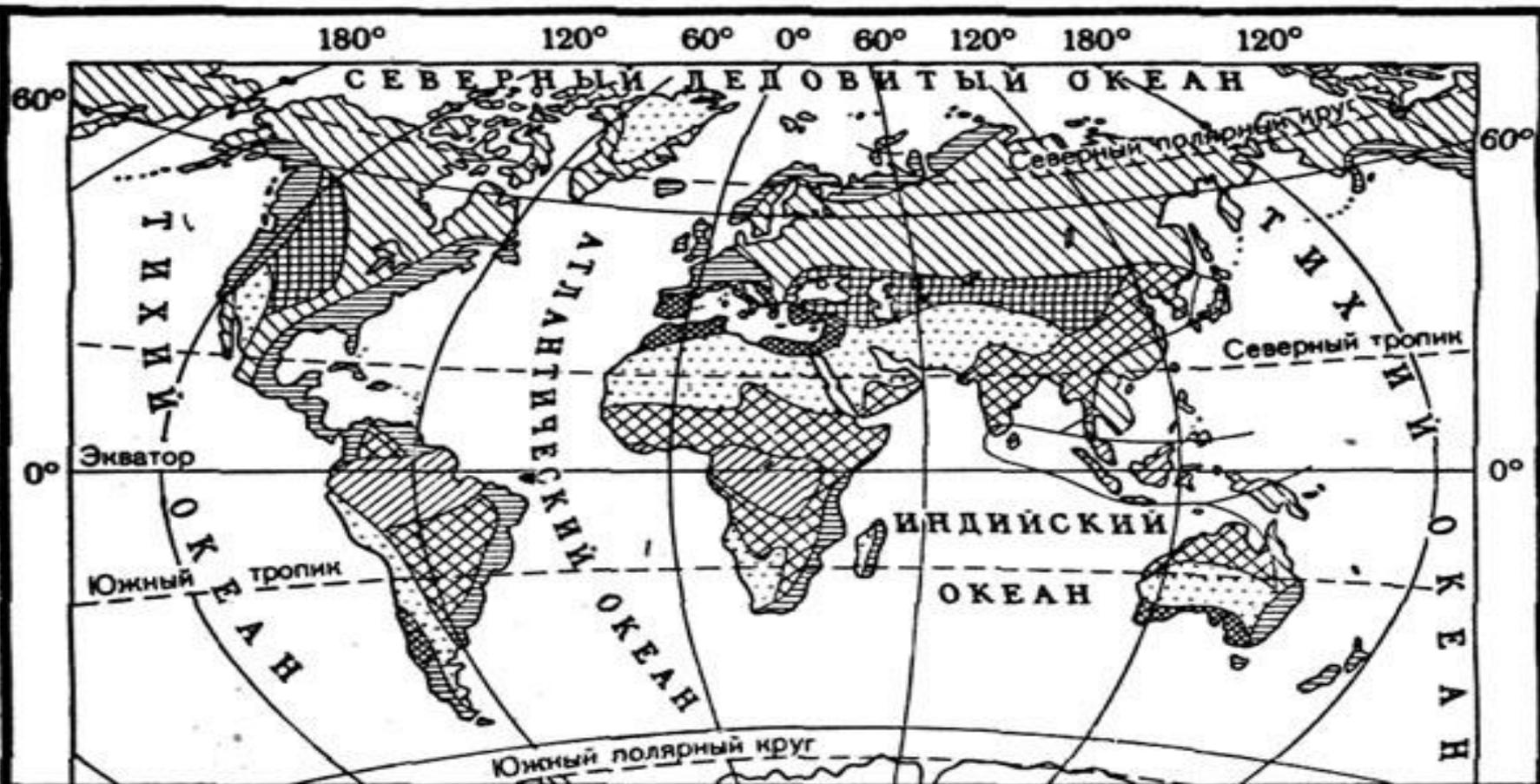
Дождь



Град

*Снег*





## СЕЗОННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСАДКОВ

Осадки во все сезоны

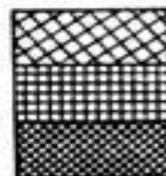
Периодические осадки  
(отчетливый сухой сезон)



с равномерным распределением

с двойным максимумом

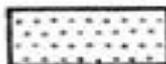
с летним максимумом



с летним максимумом

с весенним максимумом

с зимним максимумом



Постоянная засушливость

## 29. ИСКУССТВЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОБЛАКА

Выпадение осадков прямо не связано с вертикальной протяженностью и водностью облаков. Конечно, чем больше вертикальная протяженность облаков, тем больше вероятность того, что они достигнут уровня оледенения и из них начнут выпадать осадки. Чем больше водность облаков, тем интенсивнее должны быть осадки.

Чаще всего в облаках *рассеивают твердую углекислоту с очень низкой температурой.*

*Это* вызывает замерзание некоторых капель, что приводит к возникновению тех зародышевых ледяных ядер, которые дают начало выпадению осадков. Дальше процесс развивается уже в виде цепной реакции.

Другой распространенный способ - *введение в облака паров йодистого серебра (AgI)*, которые, охлаждаясь, образуют в воздухе ультрамикроскопические кристаллы. При температурах ниже  $-4^{\circ}\text{C}$  они являются в облаке ядрами кристаллизации: на них растут ледяные кристаллы. Есть и другие химические реагенты, приводящие к замерзанию облачных элементов и, как следствие, к выпадению осадков.

Практическое значение получил в нашей стране и в некоторых **странах за рубежом метод искусственного воздействия на градовые кучево-дождевые облака**, служащие источником опасных для народного хозяйства градобитий. Метод основан на введении в зону накопления переохлажденных капель большого количества искусственных ядер кристаллизации йодистого серебра.

## 30. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО ОБЛАКОВ И ОСАДКОВ

- Средний заряд капель в туманах - от десятков до тысяч элементарных зарядов (*элементарным зарядом называют заряд электрона*). К условиям в туманах, по-видимому, близки и условия в мелкокапельных облаках, не дающих осадков.
- Дожди значительно чаще выпадают на земную поверхность с положительными зарядами; относительно снега сведения менее определенные.
- Разделение зарядов в кучево-дождевых облаках, т.е. скопление электричества одного знака в одной части облака, а противоположного - в другой, приводит к огромным значениям напряженности электрического поля атмосферы в облаках и между облаками и Землей.

# 31.ГРОЗА

- Типичное развитие кучево-дождевых облаков и выпадение из них осадков связано с мощными проявлениями атмосферного электричества, а именно с многократными электрическими разрядами в облаках или между облаками и Землей. Такие разряды искрового характера называют молниями, а сопровождающие их звуки - громом. Весь процесс, часто сопровождаемый еще и кратковременными усилениями ветра - шквалами называется **грозой**. По происхождению грозы делятся на внутримассовые и **фронтальные**.
- Внутримассовые грозы наблюдаются двух типов: в холодных воздушных массах, перемещающихся на теплую земную поверхность, и над прогретой сушей летом (местные, или тепловые, грозы).
- Фронтальные грозы связаны главным образом с холодными фронтами где теплый воздух вытесняется вверх продвигающимся вперед холодным воздухом.



**Фронтальные грозы**

## 32.МОЛНИЯ И ГРОМ

- Необходимым условием грозы является возникновение очень больших разностей электрического потенциала в облаках, или между облаками, или между облаками и земной поверхностью. Это возможно при сильной электризации облаков.
- Молния состоит из нескольких, иногда многих последовательных разрядов - импульсов, следующих по одному и тому же пути, называемому каналом молнии.
- Освещение облаков невидимыми молниями при отдаленной грозе (когда не слышен гром) носит название зарниц.



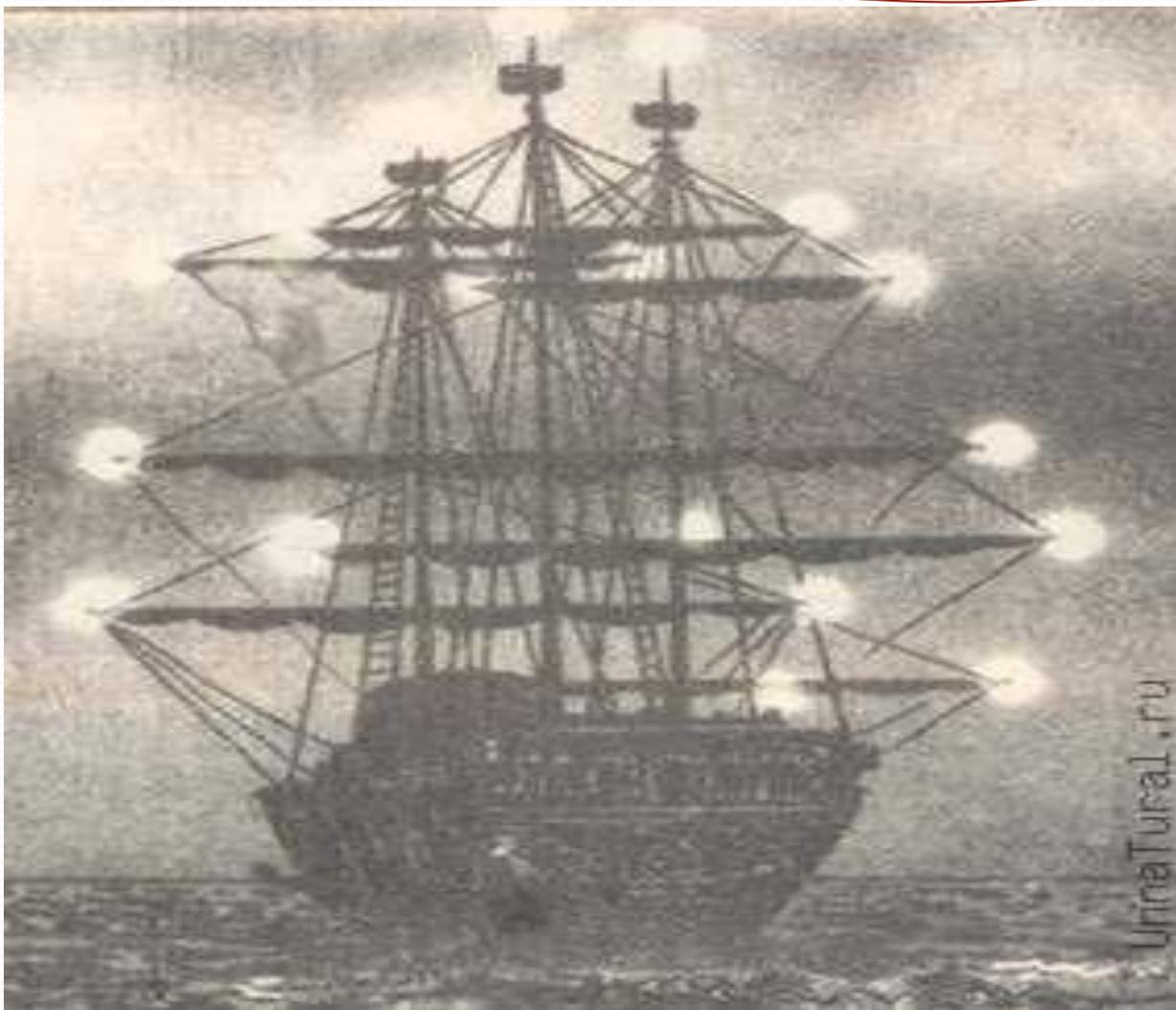
Молния

## 33.ШАРОВАЯ МОЛНИЯ. ОГНИ СВЯТОГО ЭЛЬМА

- **Шаровая молния** - светящийся шар диаметром в десятки сантиметров, перемещающийся вместе с ветром или вообще с током воздуха (если попадает внутрь помещения). При соприкосновении с наземными предметами он может взорваться.
- При достаточно больших разностях потенциалов в атмосфере кроме искровых разрядов наблюдается истечение электричества с остроконечных предметов (с остриев), которое иногда сопровождается свечением. Эти тихие (или сопровождающиеся слабым треском) разряды называют *огнями святого Эльма*. Они могут наблюдаться и в отсутствии грозных облаков, особенно при метелях и пыльных бурях, наиболее часто в горах.



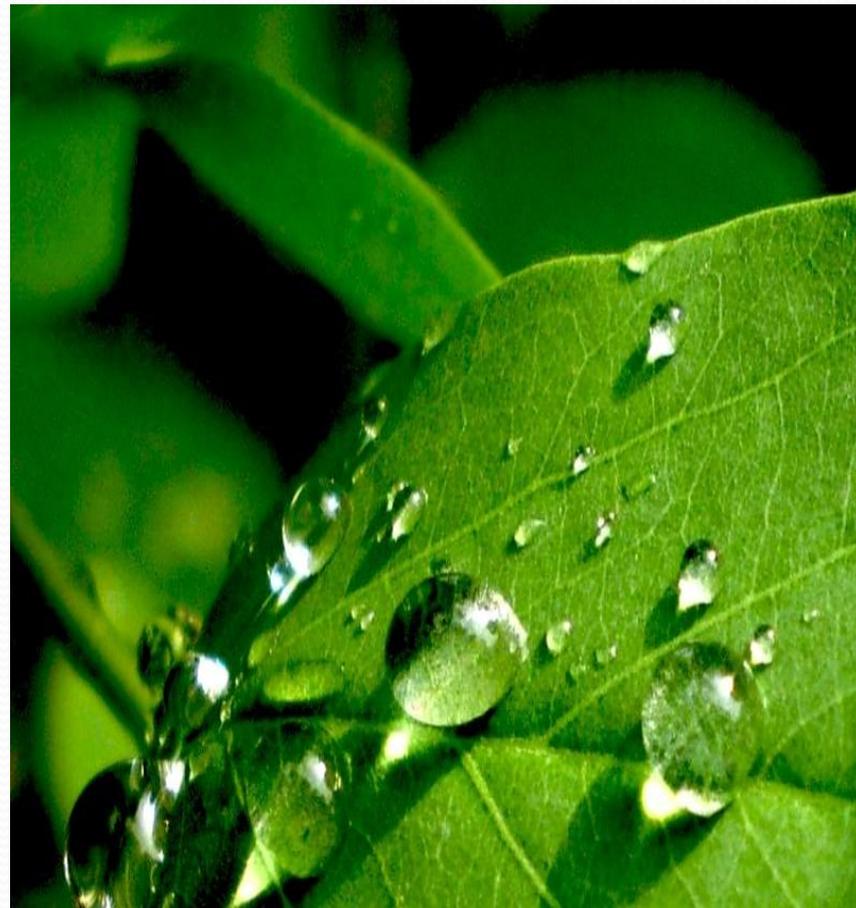
**Шаровая молния**



*Огни святого Эльма*

## 34. НАЗЕМНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРЫ

- Росой называются мельчайшие капли воды, образовавшиеся в процессе конденсации на земной поверхности, особенно на траве, а также на горизонтальных поверхностях предметов, вечером и ночью в теплое время года. Роса возникает на самой поверхности предметов при отсутствии тумана.
- Жидким налетом называется пленка воды, возникающая на холодных, преимущественно вертикальных поверхностях в пасмурную и ветреную погоду.
- Твердый налет возникает на вертикальных поверхностях, особенно каменных (стены, цоколи зданий), с наветренной стороны при таких же условиях, как и жидкий налет, но при температурах ниже нуля.
- Изморозью называют рыхлые белые кристаллы, нарастающие на ветвях деревьев, на хвое, проводах, проволочных изгородях и других тонких предметах.



Роса

## 35. ГОЛОЛЕД И ОБЛЕДЕНЕНИЕ САМОЛЕТОВ

- Образование слоя плотного льда на земной поверхности и на предметах в результате замерзания капель переохлажденного дождя, мороси или обильного тумана называется гололедом.
- Образование гололеда (как и твердого налета) может происходить также на самолетах. Это явление называют *обледенением самолетов*.



*Обледенение самолетов.*

## 36. ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЖИМА ОСАДКОВ

- Измерение осадков на метеорологических станциях производится простыми приборами — дождемерами (осадкомерами) длительного времени.
- **Количество осадков, выпавших в том или ином месте за определенное время, выражается в миллиметрах слоя выпавшей воды.** Для характеристики климата подсчитывают многолетние средние количества (суммы) осадков по месяцам и за год.
- В дополнение к средним суммам осадков подсчитывают еще среднее число дней с осадками за месяц и за год, среднюю месячную и годовую продолжительность осадков в часах, общую продолжительность в течение дня с осадками, а также вероятность осадков, т.е. отношение числа часов с осадками к общему числу часов в месяце или в году и вероятность осадков для различных градаций их количества.
- Определяют среднюю интенсивность осадков в миллиметрах за сутки с осадками, а также интенсивность осадков в миллиметрах за минуту или за час для осадков различной продолжительности.

*дождемер (осадкомер).*



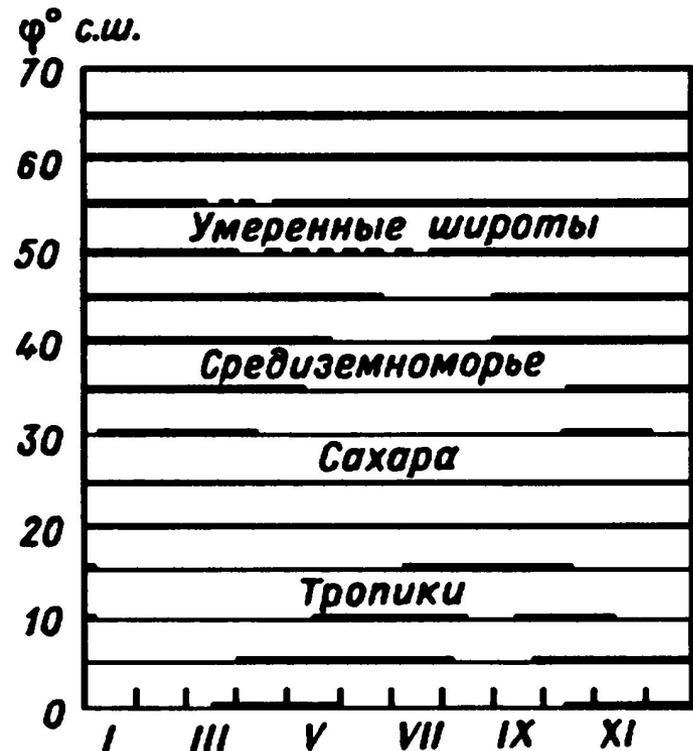
## 37.СУТОЧНЫЙ ХОД ОСАДКОВ

- Для определения суточного хода количества осадков выражают осадки, выпавшие за определенный часовой интервал суток, в процентах от общего суточного количества.
- На суше различают два основных типа суточного хода осадков - континентальный и береговой, которыми, однако, не ограничивается все разнообразие явлений. В связи с местными условиями наблюдаются многочисленные отступления от этих типов и их усложнения.

# 38.ГОДОВОЙ ХОД ОСАДКОВ

- **Экваториальный тип.** Вблизи экватора (примерно до  $10^\circ$  широты в каждом полушарии) в году имеются два дождливых сезона, разделенных сравнительно сухими сезонами.
- **Тропический тип.** По мере приближения к внешним границам тропического пояса два максимума в годовом ходе температуры сливаются в один — летний.
- **Тип тропических муссонов.** В тех районах тропиков, где хорошо выражена муссонная циркуляция (например, Индия, юго-восточный Китай, район Гвинейского залива, Северная Австралия).
- **Средиземноморский тип.** В субтропических широтах на островах и в западных частях материков также наблюдается различие (иногда очень резкое) между влажным и сухим сезонами.
- **Внутриматериковый тип умеренных широт.** Внутри материков в умеренных широтах максимум осадков приходится на лето, минимум — на зиму при преобладании антициклонов.
- **Морской тип умеренных широт.** В умеренных широтах в западных частях материков циклоны чаще бывают зимой, чем летом.
- **Муссонный тип умеренных широт.** В муссонных районах умеренных широт, преимущественно на востоке материка Азии, максимум осадков приходится на лето, как и внутри материка, а минимум — на зиму.
- **Полярный тип.** Годовой ход осадков полярного типа над материками характеризуется летним максимумом, так как летом влажность воздуха, выше, чем зимой, а интенсивность циклонической деятельности не очень сильно меняется в течение года.

Рис. 6.11. Распределение сезонов с осадками в различных широтах Северного полушария



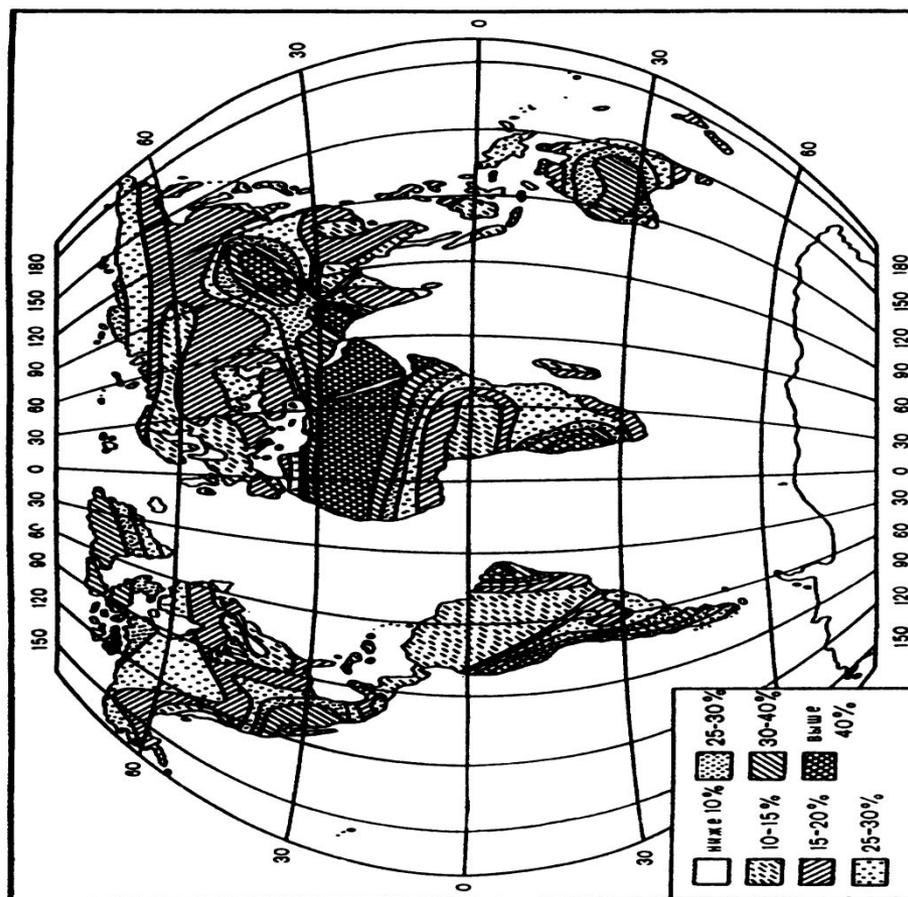
## 39. ПОКАЗАТЕЛЬ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ОСАДКОВ

Степень неравномерности в годовом распределении осадков можно охарактеризовать некоторым числовым индексом — *показателем неравномерности (или показателем периодичности)*:

$$w = \frac{\sum |m_i - R/12|}{R} \cdot 100\%,$$

## 40. ИЗМЕНЧИВОСТЬ СУММ ОСАДКОВ. ЗАСУХИ

Изменчивость месячных и годовых сумм осадков весьма значительна, особенно в условиях континентального климата. Изменчивость месячных сумм больше, чем годовых (карта)



## 41. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ И ИНТЕНСИВНОСТЬ ОСАДКОВ

- На европейской части России число дней с осадками в году 200-220 на севере, 180-190 на западе и 120—140 на востоке средней полосы, 70-100 на юге Украины и в северном Крыму, 120-140 на Черноморском побережье Кавказа и на Южном берегу Крыма, 50-60 в Прикаспийской низменности. В Москве в году 187 дней с осадками.

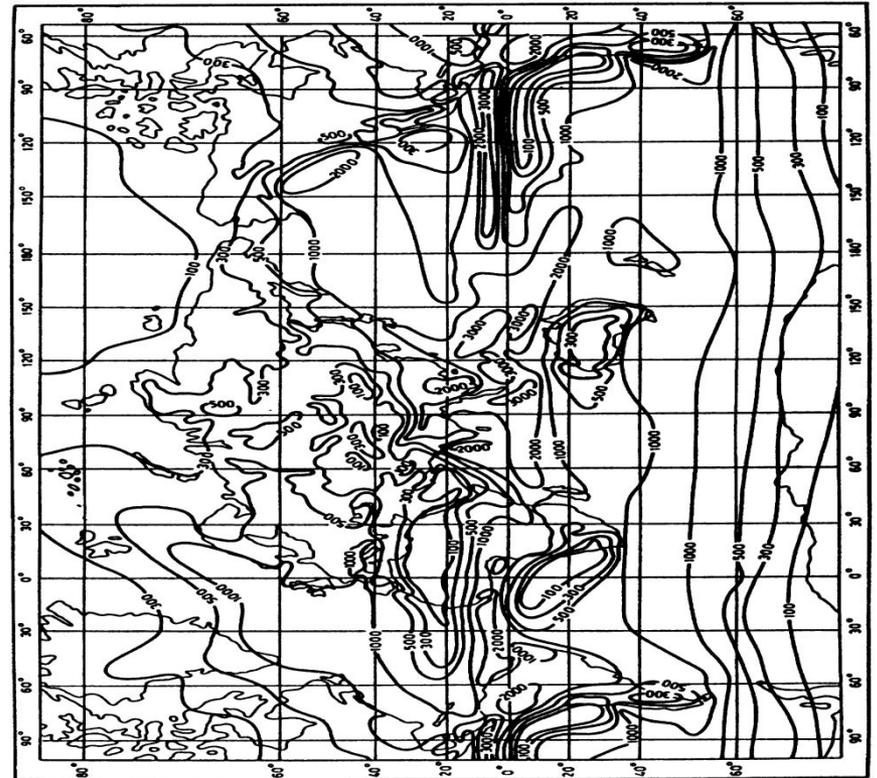
### Продолжительность твердых осадков



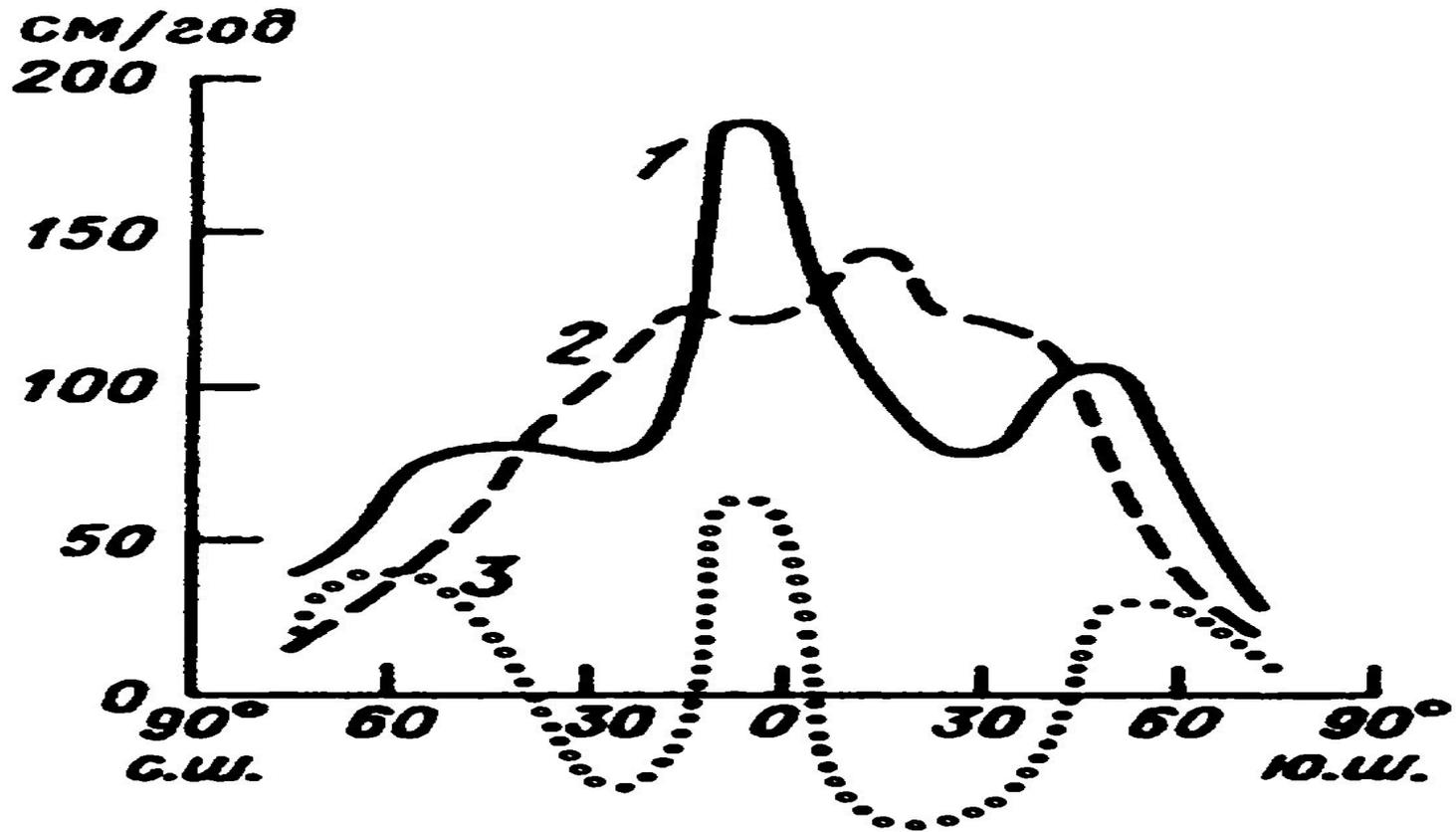
## 42.ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСАДКОВ

- Распределение осадков связано с распределением облачности и температуры и, следовательно, также обладает зональностью.

Распределение средних годовых осадков



**6.12.** Распределение средних зональных составляющих водного баланса с широтой: 1 — осадки, 2 — испарение, 3 — сток



## 43. ХАРАКТЕРИСТИКИ УВЛАЖНЕНИЯ

Для оценки условий увлажнения нужно учитывать не только выпадающие осадки, но и возможность их испарения.

Испаряемостью называют величину испарения, возможную в данной местности при неограниченном запасе влаги. Она зависит от всего комплекса климатических условий местности, в первую очередь от температуры. Поэтому естественно характеризовать условия увлажнения за год, за месяц или за сезон отношением суммы осадков  $R$  к испаряемости  $E_{\text{И}}$  за тот же период. Такое отношение, выраженное в процентах, называют коэффициентом увлажнения:

$$k_{\text{ув}} = \frac{R}{E_{\text{И}}} \cdot 100\%.$$

# 44.ВОДНЫЙ БАЛАНС НА ЗЕМНОМ ШАРЕ

- *Осадки, испарение и сток являются составляющими водного баланса на земной поверхности.*
- На всем земном шаре за год выпадает 577 тыс. км<sup>3</sup> осадков, т.е. средняя высота слоя осадков — 1130 мм. Из них 458 тыс. км<sup>3</sup> выпадает над Мировым океаном, давая среднюю высоту слоя воды 1270 мм, и 119 тыс. км<sup>3</sup> — над сушей, со средней высотой слоя воды 800 мм. Таким образом, 21% всех осадков выпадает над сушей и 79% над океаном, хотя он занимает лишь 71% всей площади земной поверхности. Почти половина всех осадков выпадает между 20° с.ш. и 20° ю.ш. На обе полярные зоны приходится только 4% осадков.

Водный баланс земного шара в среднем за год.

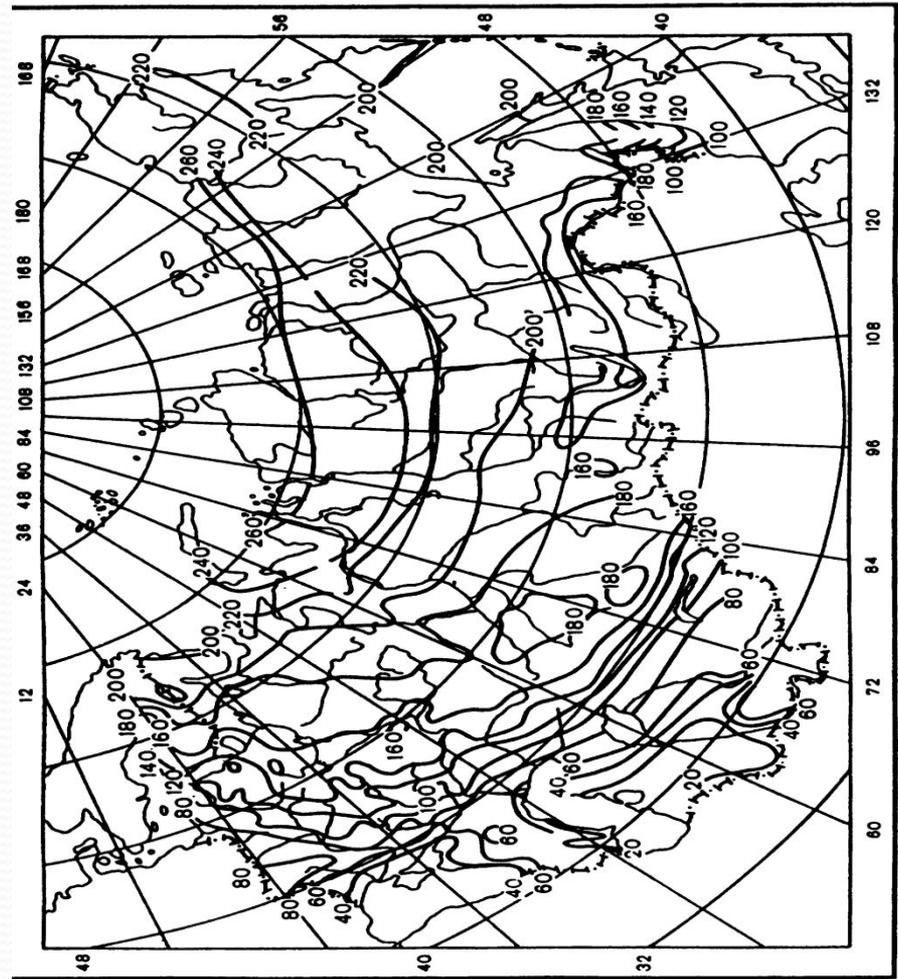
Поверхность	Площадь, млн. км <sup>2</sup>	Объем, км <sup>3</sup>			Слой, мм		
		испарение	осадки	сток	испарение	осадки	сток
Земной шар	510	577 000	577 000	—	1130	1130	—
Мировой океан	361	505 000	451 000	47 000	1400	1270	130
Суша	149	72 000	119 000	47 000	485	800	315
в том числе:							
Область стока в океан	119	63 000	110 000	47 000	529	924	395
Область внутреннего стока (не достигающего океана)	30	9 000	9 000	—	300	300	—

## 45.ВНЕШНИЙ И ВНУТРЕННИЙ ВЛАГООБОРОТ

- Выпадение осадков на ограниченной территории суши за счет водяного пара, испарившегося с этой территории, называется внутренним влагооборотом для данной территории. Выпадение осадков из водяного пара, принесенного извне, называется внешним влагооборотом.
- Подсчитано, что на территории европейской части России и Украины в среднем за год только 10% осадков выпадает за счет воды, испарившейся с данной территории, т.е. выпадает в процессе внутреннего влагооборота. Остальные 90% осадков выпадают за счет водяного пара, попавшего в воздух за границами этой территории, в особенности испарившегося над Атлантическим океаном. В 10% оценивается и доля внутреннего влагооборота в бассейне Миссисипи. Это значит, что внутренний влагооборот даже для значительной территории суши ненамного увеличивает общее количество осадков

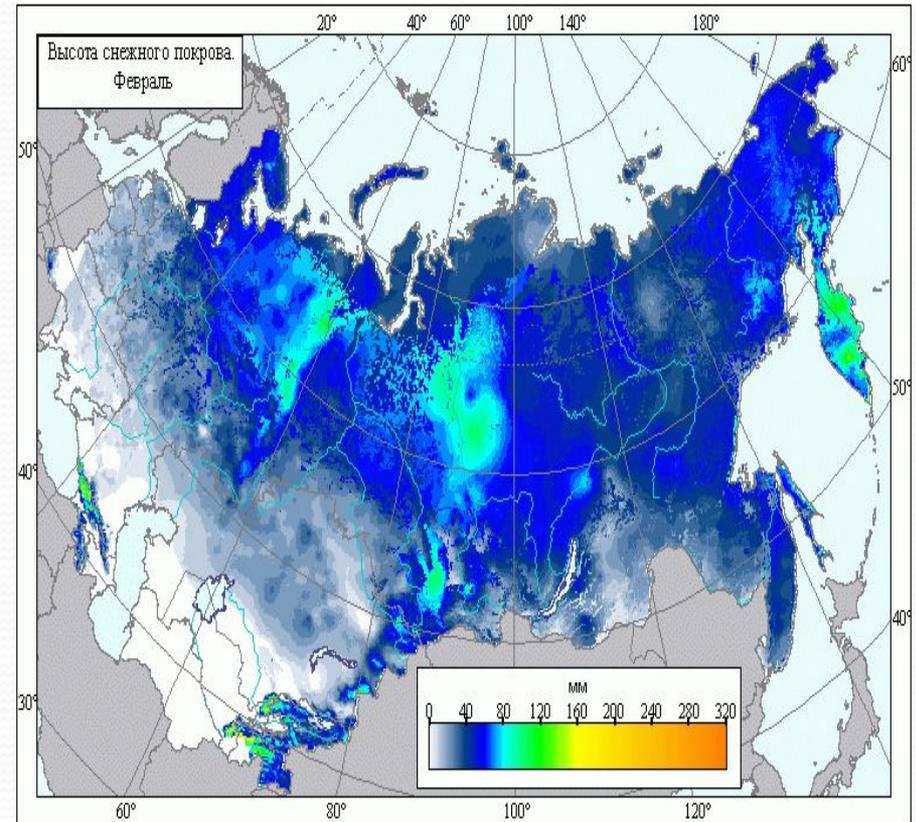
# 46. СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ

- При устойчивых отрицательных температурах воздуха снег, выпавший на земную поверхность, остается лежать на ней в виде снежного покрова (карта XXV). В высоких полярных широтах (Антарктида, Гренландия, Арктический бассейн) снежный покров сохраняется круглый год. В умеренных и тропических широтах снег удерживается круглый год только на больших высотах в горах. На равнинах умеренных широт снежный покров стаивает весной и устанавливается вновь осенью.
- **карта XXV. Число дней по снежны покрова в России**



## 47. КЛИМАТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

- Снежный покров - продукт атмосферных процессов и, следовательно, климата, но в то же время он сам влияет на климат, как и на другие составляющие географического ландшафта. Температура на поверхности снежного покрова ниже, чем на поверхности почвы, не покрытой снегом, так как снег обладает исключительно высоким альбедо (80-90%).



## 48. СНЕГОВАЯ ЛИНИЯ

- **Снеговой линией (снеговой границей) называют границу в горах, выше которой круглый год сохраняется снежный покров (в многолетнем среднем). Это значит, что годовой приход твердых атмосферных осадков выше этой линии равен их расходу путем таяния и сползания ледников.**
- **С увеличением континентальности климата, т.е. с повышением летних температур и с общим уменьшением осадков, снеговая линия повышается.**

## СНЕГОВАЯ ЛИНИЯ.



# 49. МЕТЕЛИ

- *Метелью называется атмосферное явление, состоящее в переносе снега более или менее сильным ветром. Различают несколько типов метелей.*
- *Низовая метель, при которой снег поднимается ветром с поверхности снежного покрова. Если перенос снега ветром ограничивается самым нижним слоем атмосферы, непосредственно над снежным покровом (несколько сантиметров или дециметров), явление называют *поземком*.*
- *Общая метель, когда снег выпадает при достаточно сильном ветре и практически нельзя различить, в какой мере ветер переносит выпадающий снег, а в какой мере он срывает снег с поверхности снежного покрова.*



**Общая метель и  
низовая метель**



## Список литературы

- Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология. – М.: Наука, 2006