

курс

**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ВОЗДЕЙСТВИЯ  
НА АТМОСФЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ**

# Тема 5

*Роль твердой фазы в формировании осадков.*

*Рост ледяной фазы*

Водяной пар + ледяные ядра + облачные капли при  $T < 0^\circ$

(Образование ядер)

**Ледяные кристаллы**

(сублимация)

**Снежные кристаллы**

(заиневение)

**крупя**

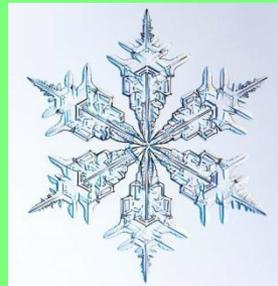
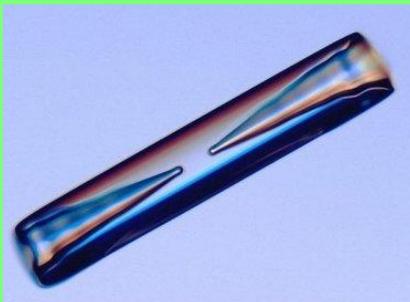
**Кристаллы  
инея**

(сублимация)

**Снежинки**

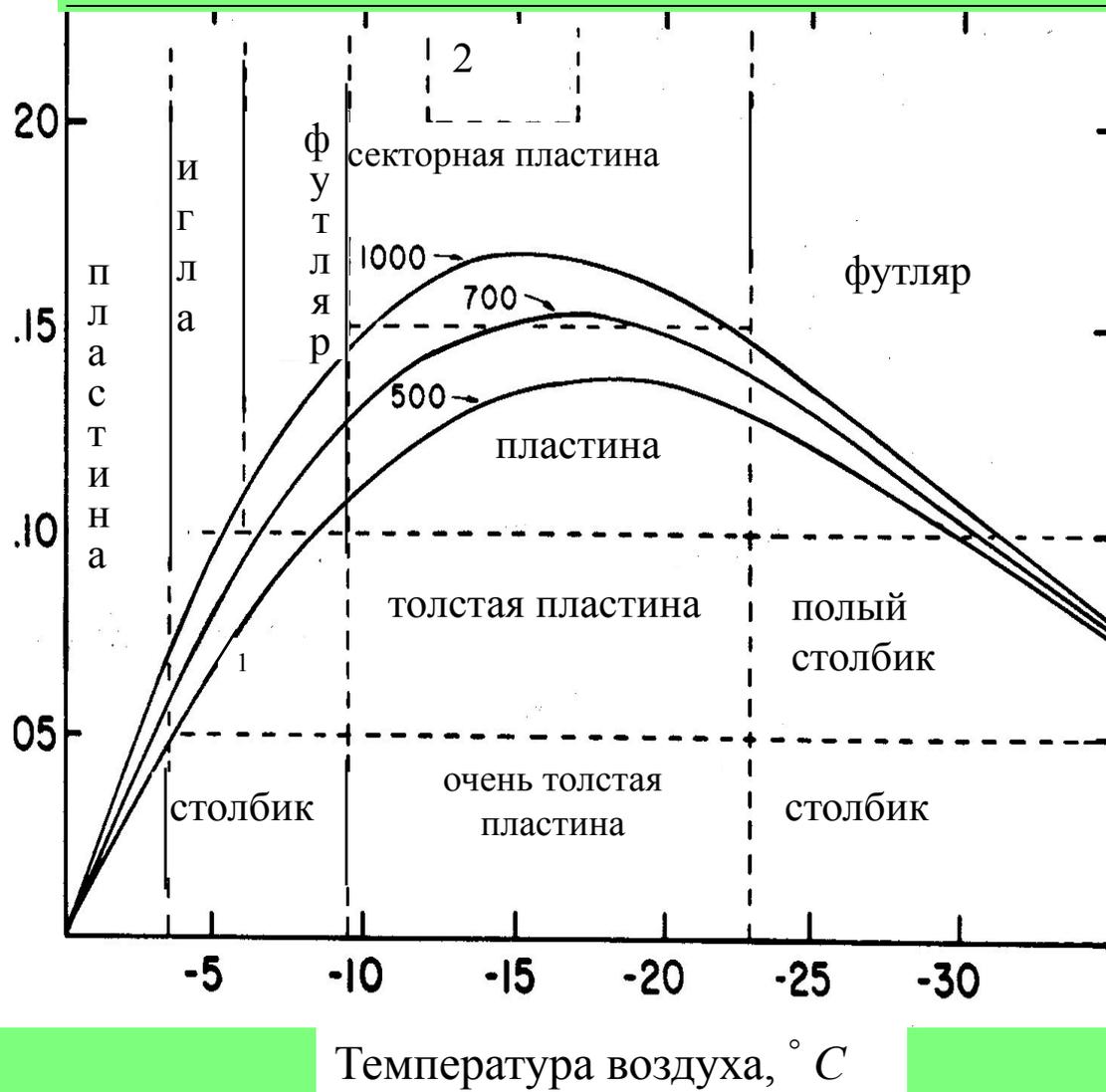
(коагуляция)

**Снежные хлопья**



# *Роль твердой фазы в формировании осадков*

- Возникновение осадков наиболее вероятно в облаках, содержащих ледяную фазу.
- Давление насыщения надо льдом всегда меньше, чем давление насыщения над переохлажденной водой.
- В атмосфере устанавливается относительная влажность, соответствующая насыщению (или даже пересыщению) по отношению к воде, ледяные кристаллы оказываются в очень благоприятных условиях для конденсации на них пара.
- Процесс диффузии пара идет в 10-20 раз интенсивнее, чем на капли тех же размеров.

$\Delta\rho_{\text{п}}$ Разн  
ость  
плот  
ностей,  
г/м<sup>-3</sup>

1 – полый столбик

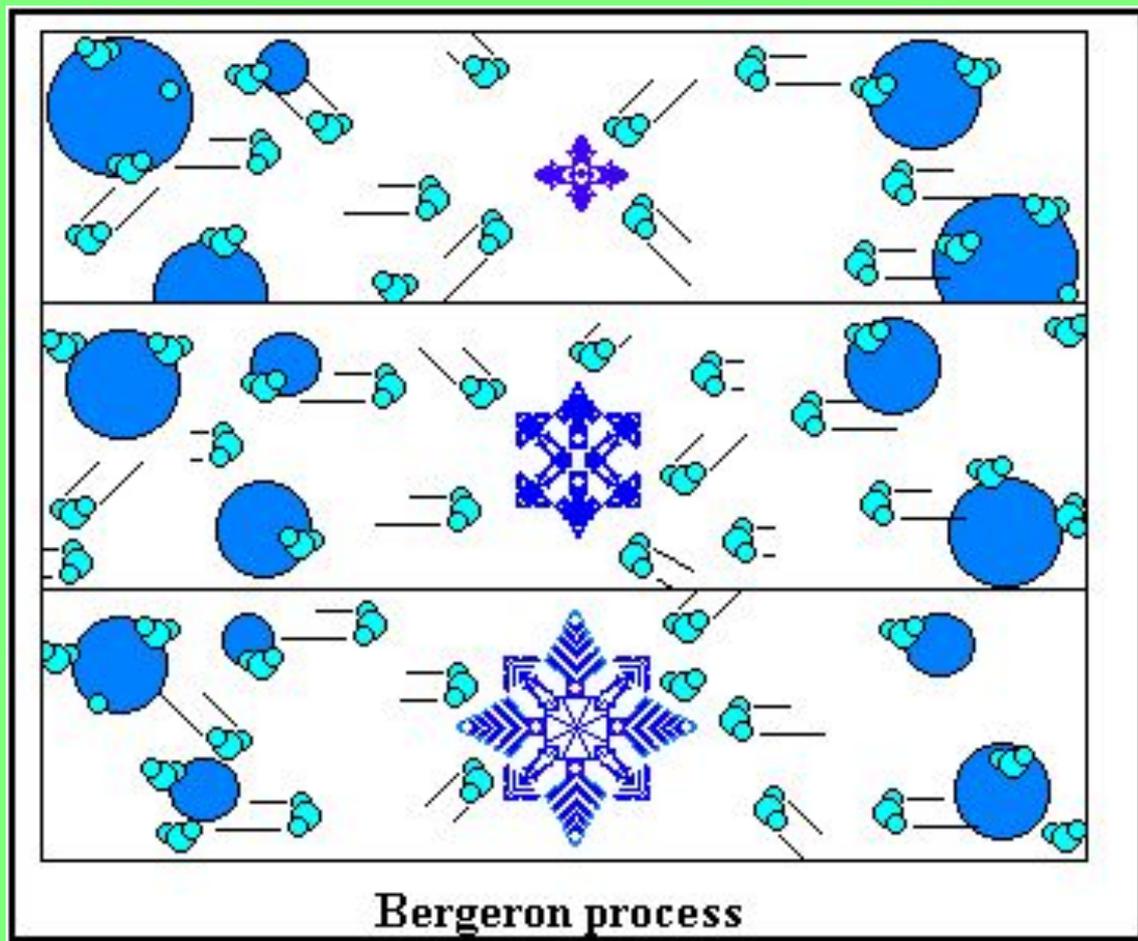
2 – дендрит

Условия роста ледяных кристаллов разных форм.

# *Роль твердой фазы в формировании осадков*

- В облаке смешанной структуры давление пара может соответствовать равновесию над каплями, т.е. капли не будут ни укрупняться, ни испаряться.
- Такое равновесное по отношению к воде давление пара является пересыщением по отношению к льдинкам, которые будут расти.
- Одновременно с сублимацией пара на кристаллах уменьшается давление пара в воздухе, и капли начинают испаряться.
- Это называется - Перегонка воды с капель на кристаллы.

Это называется - Перегонка воды с капель на кристаллы.



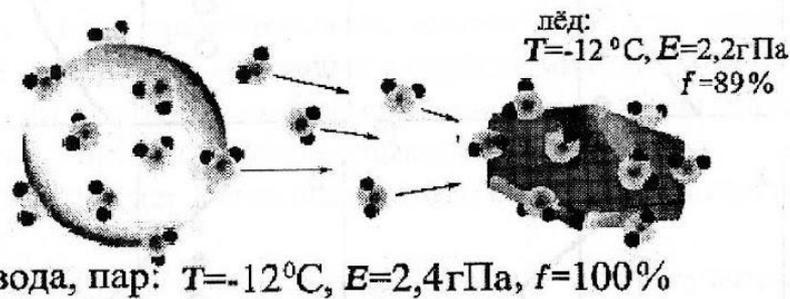
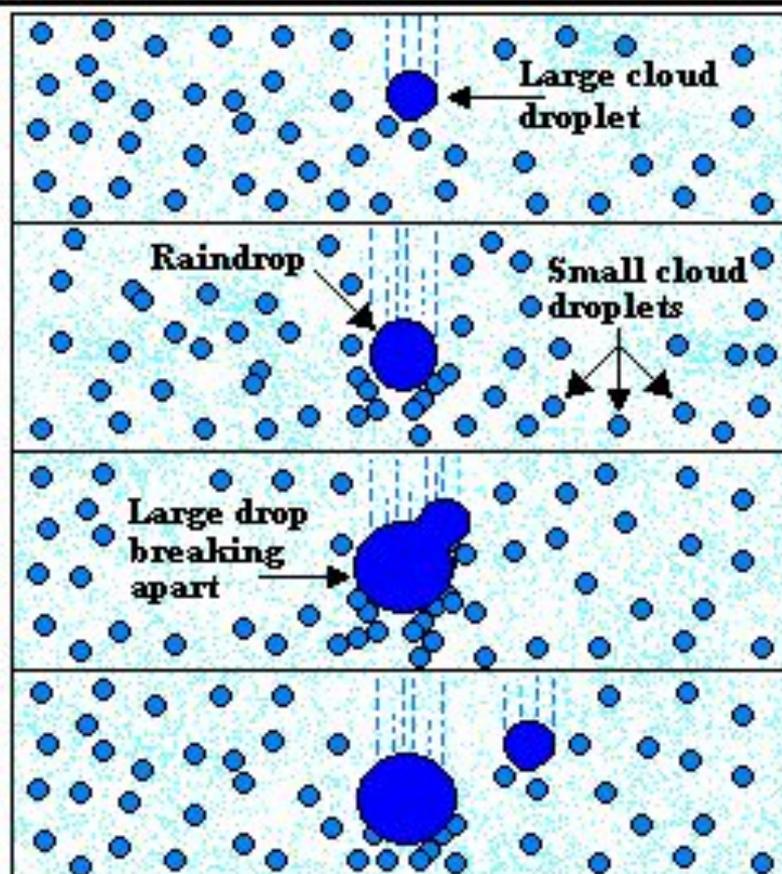


Рис.28. Перегонка пара с облачных капель на ледяные кристаллы.

- Давление насыщения зависит от радиуса частицы.
- При каждой температуре существует некоторый критический размер ледяных частиц, при котором они начинают расти за счет перегонки воды с капель.
- После того, как радиус ледяных частиц достигает 50-60 мкм, основную роль начинает играть процесс гравитационной коагуляции.





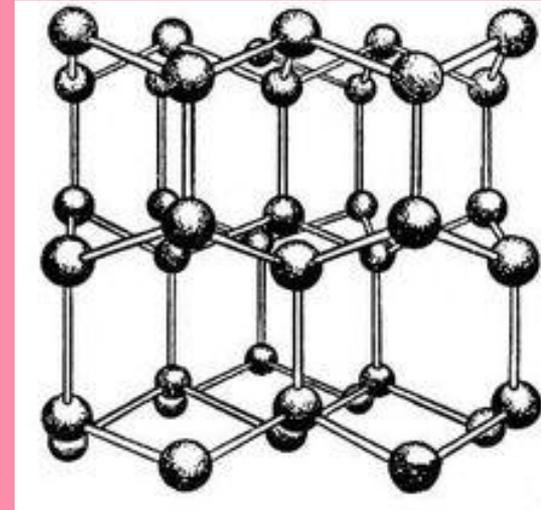
Collision-coalescence process

# Диффузионный рост ледяных частиц

- Особенность роста льда определяет кристаллическая структура.
- Молекула пара, столкнувшись с ледяной поверхностью, не встраивается тут же в кристаллическую решетку.
- Нарастание льда происходит слоями в виде ступенек.
- Ступенька распространяется до тех пор, пока она не заполнит соответствующую грань кристалла. Далее этот процесс повторяется.
  - Распространение ступенек

от спонтанно  
образовавшегося  
зародыша

от места нарушения  
упорядоченной  
структуры  
льда (дислокации)  
в виде выступов,  
ямок, сколов и т. п.



- При большой скорости поступления молекул из пара на поверхности кристалла образуется квазижидкий слой.
- Слой, толщиной от 100 до 102 молекул, связанных друг с другом подобно тому, как это происходит в жидкой воде.
- Рост кристалла осуществляется в результате непрерывной диффузии молекул к ступенькам.

# Особенности коагуляционного роста ледяных частиц

## Лёд - вода

- Сравнительно крупная ледяная частица, падая сквозь облако, может сталкиваться с переохлажденными каплями и с более мелкими ледяными частицами.

# В зависимости от температуры частицы и капли возможны два механизма их взаимодействия.

## Мокрый

При небольшом переохлаждении капля, попадая на ледяную поверхность, прежде чем замерзнуть, растекается по ней.

Если капли следуют достаточно часто друг за другом, то вода не успевает замерзнуть.

На поверхности льда формируется водяная пленка, под которой происходит нарастание льда.

## Сухой

Сравнительно низкая температура.

При соприкосновении капля так быстро покрывается корочкой льда, что ее сферическая форма сохраняется.

Нарастание таких капель на поверхности льда называют *обзернением*.

Чередование режимов сухого и мокрого роста проявляется при формировании многослойных градин.

## Коагуляция лёд-лёд

- мелкие ледяные кристаллы сталкиваются с крупной ледяной частицей, находящейся в режиме мокрого роста — ледяные частицы прилипают к мокрой поверхности.
- Диффузионный рост снежных ледяных кристаллов при температурах, близких к нулю, сопровождается образованием на поверхности льда тончайшей водяной пленки (квазижидкого слоя).
- При соприкосновении кристаллов в пленках формируются ледяные „мостики“, скрепляющие кристаллы друг с другом.
- Сухие ледяные частицы, имеющие низкую температуру, практически не коагулируют.
- Аналогичный механизм может проявляться во время роста града, когда поверхность градины сухая, но температура ее близка к нулю градусов.

# *Рост крупы и града*

Рассмотрим рост сравнительно крупных ледяных частиц крупы или града.

Различие между этими видами осадков заключается в следующем. **Частица крупы представляет собой совокупность смерзшихся мелких почти сферических ледяных зерен.** Каждое такое зерно в свою очередь образуется при быстром замерзании переохлажденной капли воды. Смерзшиеся частицы образуют сравнительно рыхлую структуру матово-белого цвета снаружи и в разрезе. Частицы крупы формируются в *режиме сухого роста*.

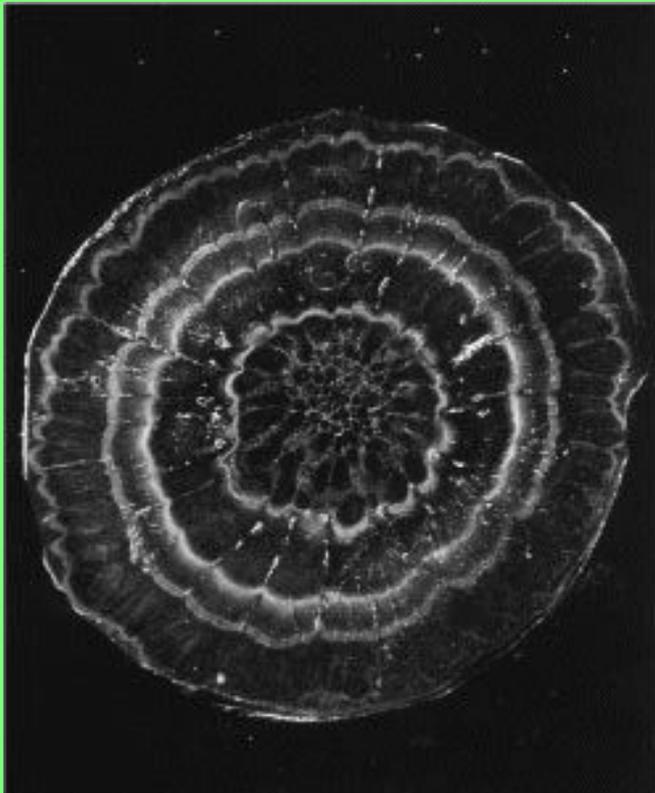
- ***В режиме мокрого роста***, когда тепло, выделяющееся при замерзании переохлажденных капель, оказывается достаточно большим, на всей поверхности частицы или части ее образуется пленка воды.
- Под ней происходит нарастание прозрачного льда сравнительно высокой плотности (приближающейся к  $0,9 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$ ). Следует заметить, что прозрачность льда зависит также от размеров и концентрации включенных в лед пузырьков воздуха.
- пузырьки образуются вследствие того, что растворимость воздуха в воде многократно больше, чем во льду. При замерзании воды воздух выделяется.

- При **малых скоростях замерзания** во льду образуется сравнительно небольшое число крупных пузырьков или длинных столбчатых каналов воздуха – формируется прозрачный сравнительно плотный лед.
- При **большой скорости замерзания** молекулы воздуха не успевают собраться в большие пузырьки или каналы. Во льду образуется множество мельчайших воздушных пузырьков, лед становится матовым. Матовые слои льда могут образовываться также путем захвата ледяной частицей, покрытой пленкой воды, более мелких ледяных кристаллов, которые примерзают к поверхности, часто не успевая растаять.



Рекордные по величине градины весом более 1 килограмма, выпавшие 14 апреля 1986 года в Гопалгандже, Бангладеш, явились причиной смерти 92 человек

# Градины



# Градобития



# Thunderstorms

## HAIL DAMAGE



# Thunderstorms HAIL DAMAGE



# Глыбы с ясного неба



Это кусок льда (на снимке он уже подтаявший) упал в феврале этого года на дом Стива Макгрива (Steve McGreevy) в Чикаго. Он пробил крышу и упал на пол гостиной. Большую часть льда Стив сохранил в морозильнике для предъявления страховой компании (фото NBC5.com).

**Friday, July 27, 2007**

**DUBUQUE, Iowa (AP)** -- Large chunks of ice, one of them reportedly about 50 pounds, fell from the sky in this northeast Iowa city, smashing through a woman's roof and tearing through nearby trees.



"It sounded like a bomb!"  
78-year-old Jan Kenkel said. She said she was standing in her kitchen when an ice chunk crashed through her roof at about 5:30 a.m. Thursday.



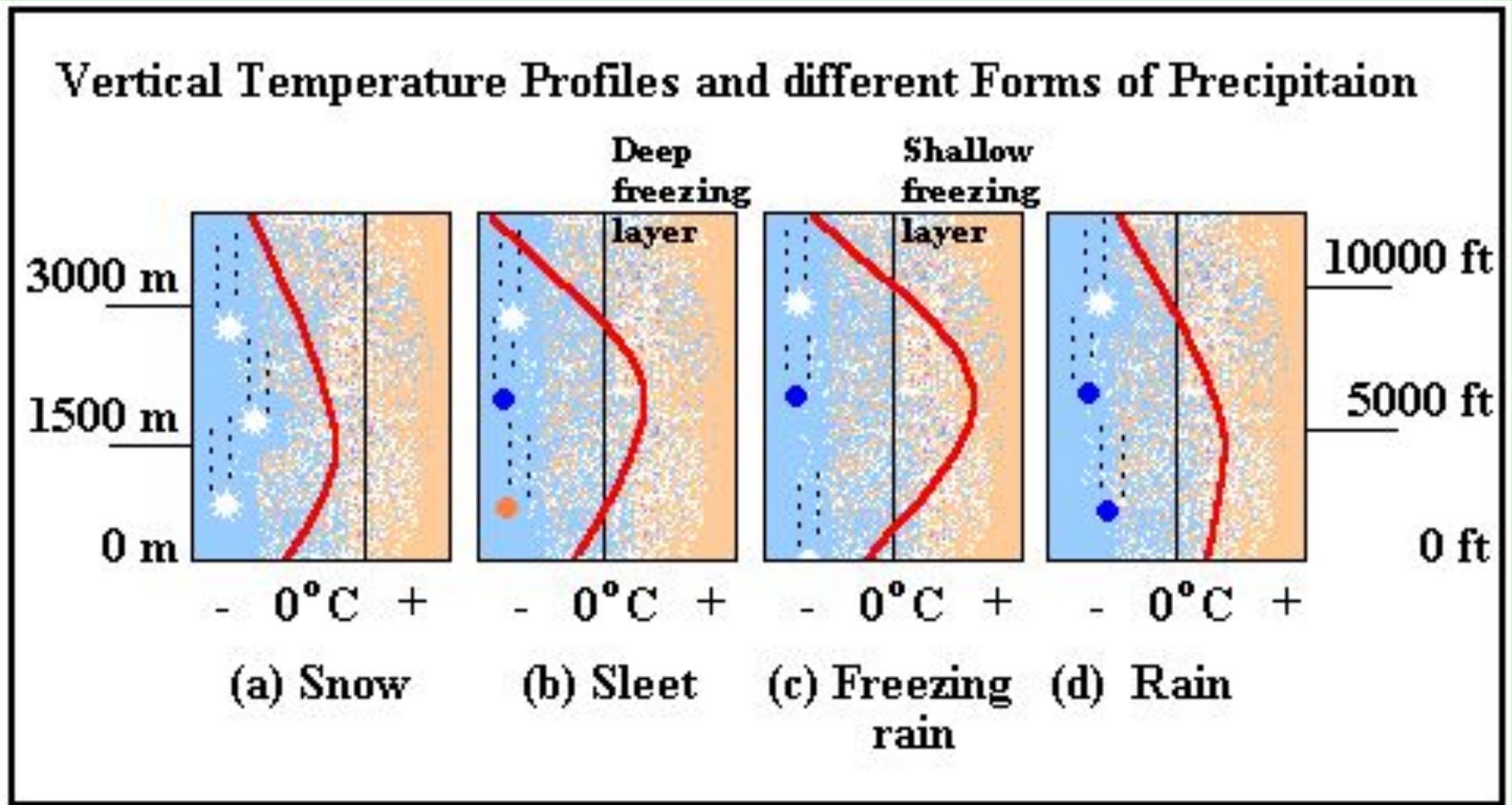




# Тема 6

## **Возникновение осадков в естественных условиях**

# Виды осадков



- для возникновения облаков и осадков необходимо сочетание многих условий как термодинамического, так и микроструктурного характера, которые в атмосфере реализуются не всегда, поэтому осадки не являются постоянным следствием облачности.

**Среднегодовая повторяемость (%) фазового состояния  
облаков умеренных широт [4]**

Сезон	Фазовое состояние	Форма облаков				
		St	Sc	Ns	Ac	As
Лето	Капельное	99,5	98,8	29	80	44
	Смешанное	0,5	1,2	71	17	40
	Кристаллическое	0	0	0	3	16
Зима	Капельное	85	73	13	44	15
	Смешанное	14	24	84	44	36
	Кристаллическое	1	3	3	12	49
Год	Капельное	89	83	17	62	24
	Смешанное	10	16	81	30	36
	Кристаллическое	1	1,5	2	7	40

# Схематично основные условия возникновения осадков можно характеризовать так:

- Капельно-жидкие (водяные) облака при положительных температурах в умеренных широтах осадков не дают.
- Происходит это потому, что главный механизм укрупнения капель в таких облаках – конденсационный рост – является медленным и ослабевающим по мере увеличения радиуса капли.
- Исключение составляют тропические водяные облака вертикального развития, в которых частицы интенсивно укрупняются за счет гравитационной коагуляции.

# Схематично основные условия возникновения осадков можно характеризовать так:

- Чисто ледяные облака, несмотря на их малую вертикальную мощность, дают осадки в виде мелкого снега или ледяных игл.
- Наиболее благоприятные условия и для сублимационного роста кристаллов (за счет перегонки воды с капель) и для коагуляционного роста существуют в облаках смешанной структуры. Такие облака в умеренных и высоких широтах являются основным источником ливневых осадков.

## общие критерии осадкообразования применительно к конкретным формам облаков

- Перистые (Ci) – осадки не выпадают, но иногда наблюдаются полосы падения из кристалликов льда.
- Перисто-кучевые (Cc) – полосы падения ледяных кристаллов не достигают земли, но нередко доходят до ниже лежащих облаков.
- Перисто-слоистые (Cs) – осадки не выпадают.

## общие критерии осадкообразования применительно к конкретным формам облаков

- Высоко-слоистые (As) - зимой выпадает снег даже из тонких просвечивающих облаков и доходит до земли с интенсивностью 0.25 – 4.0 мм/час. Летом выпадающие осадки обычно до земли не доходят.
- Высоко-кучевые (Ac) – наблюдаются полосы падения, но до земли не доходят.

## общие критерии осадкообразования применительно к конкретным формам облаков

- Слоисто-кучевые (Sc) – как правило, осадки не выпадают. Очень редко выпадают слабые, непродолжительные осадки с интенсивностью 0.05 мм/час.
- Слоистые (St) – очень редко выпадают осадки; летом – морось, зимой – редкий снег. Интенсивность до 0.05 мм/час.
- Слоисто-дождевые (Ns) – выпадает обложной дождь и снег с интенсивностью 0.25 – 4.0 мм/час. Капли дождя имеют радиус 0.2 – 0.5 мм, снежинки и снежные хлопья достигают сантиметров в поперечнике.

## общие критерии осадкообразования применительно к конкретным формам облаков

- Кучевые (Cu) – в большинстве районов осадки не выпадают. Исключение составляют субтропики, где из этих облаков выпадает дождь с радиусом капель 0.5- 1.0 мм и интенсивностью 1.0-4.0 мм/час.
- Кучево-дождевые (Cb) – осадки выпадают. Летом – ливневой дождь, крупа, град; зимой – ливневой снег. Интенсивность осадков – 15-40 мм/час.

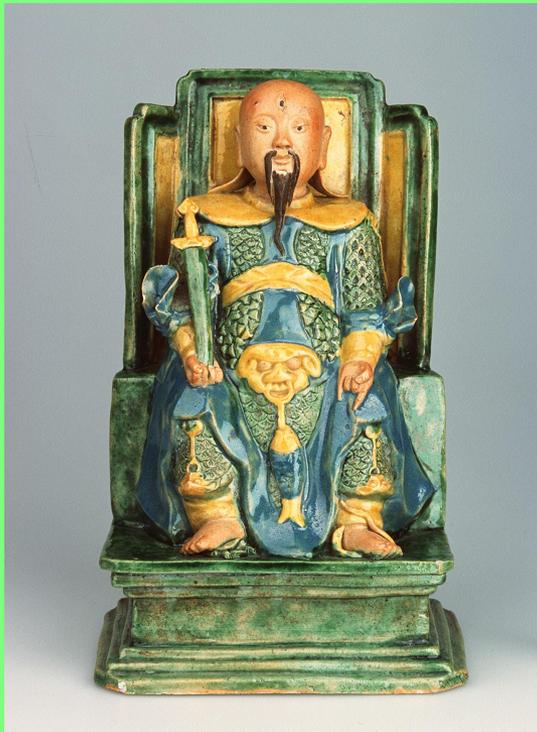
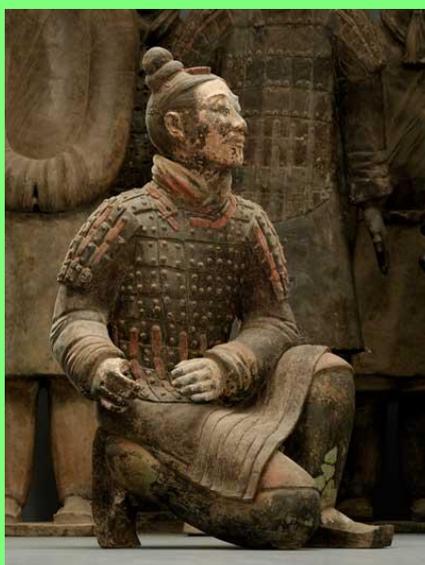
# Некоторые данные об осадках в умеренных широтах

Вид осадков	Радиус капли, мм	Расстояние между каплями, мм	Интенсивность мм/час
Оседающий туман	0.10	20	0.05
Морось	0.20	36	0.25
Умеренный дождь	1.00	120	4.00
Сильный дождь	1.50	130	15.00
Ливень	До 7	140	50-100

# Гваделупа, Барет, 38 мм/с



Шангди, 401  
мм/час



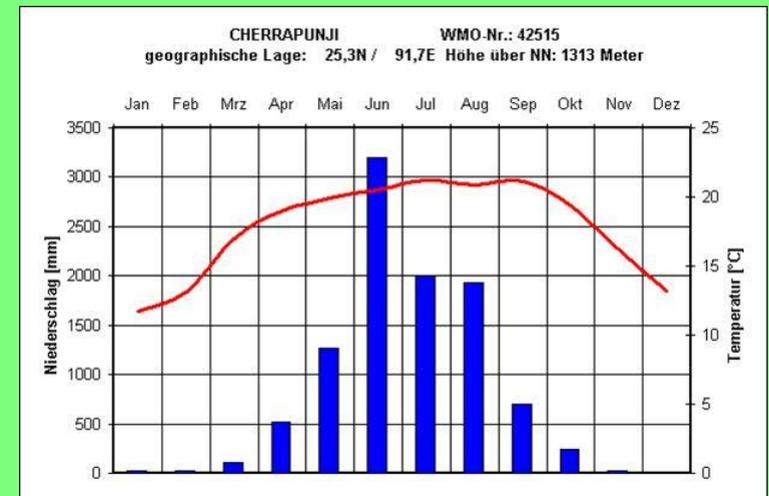
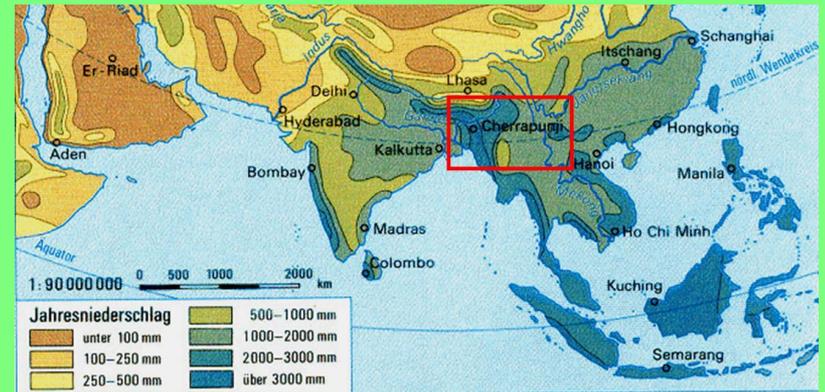
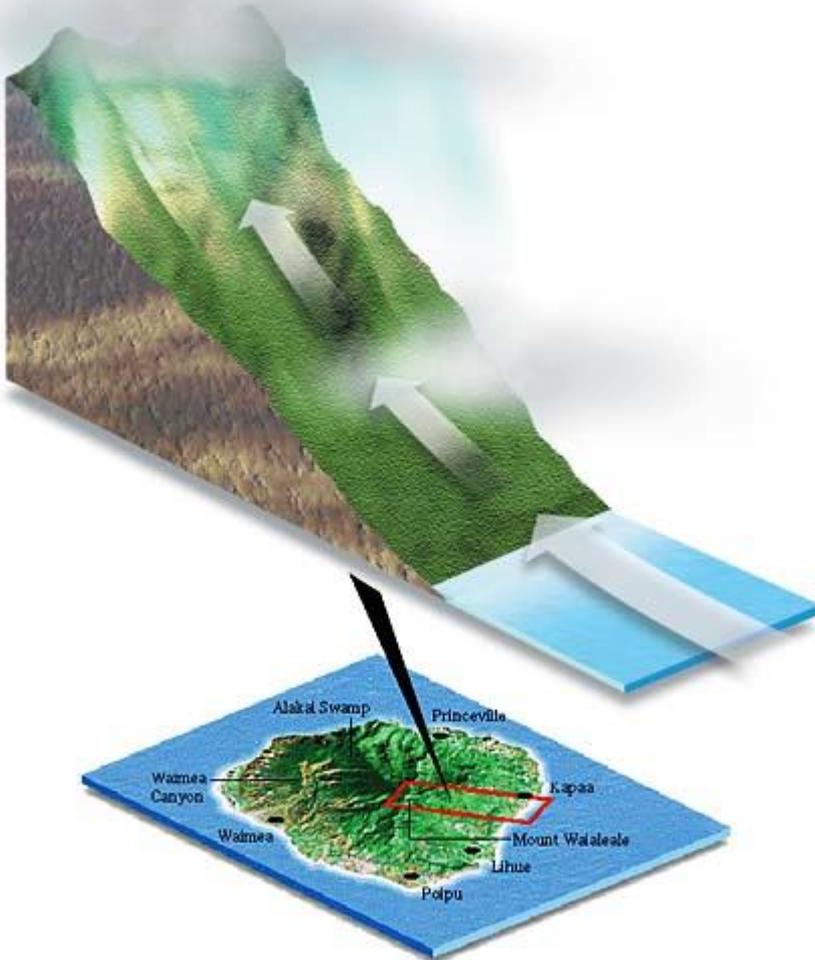
Бог Хуан Ци Шангди

# Реюньон, 1825 мм/сутки

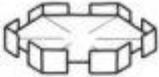
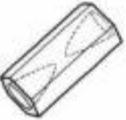
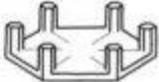
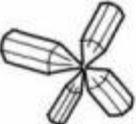
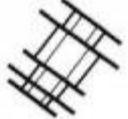
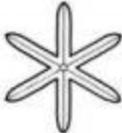
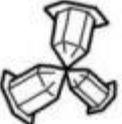
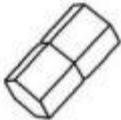
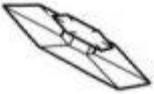
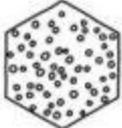




# Черрапунджи, 9300 мм/мес, 26 461 мм/год



- наблюдаемому процессу выпадения атмосферных осадков предшествует множество явлений как крупномасштабного так и микроструктурного характера.
- крупномасштабные движения (подъем влажного воздуха до уровня конденсации, волновые движения) создают термодинамические предпосылки для превращения пара в капли или кристаллы льда
- факторы микроструктуры (ядра конденсации, растворимые примеси, электрические заряды, спектр распределения капель по размерам и т.п.) определяют характер и интенсивность фазовых переходов, определяя этим вид атмосферных осадков.

				
Simple Prisms	Solid Columns	Sheaths	Scrolls on Plates	Triangular Forms
				
Hexagonal Plates	Hollow Columns	Cups	Columns on Plates	12-branched Stars
				
Stellar Plates	Bullet Rosettes	Capped Columns	Split Plates & Stars	Radiating Plates
				
Sectoried Plates	Isolated Bullets	Multiply Capped Columns	Skeletal Forms	Radiating Dendrites
				
Simple Stars	Simple Needles	Capped Bullets	Twin Columns	Irregulars
				
Stellar Dendrites	Needle Clusters	Double Plates	Arrowhead Twins	Rimmed
				
Fernlike Stellar Dendrites	Crossed Needles	Hollow Plates	Crossed Plates	Graue

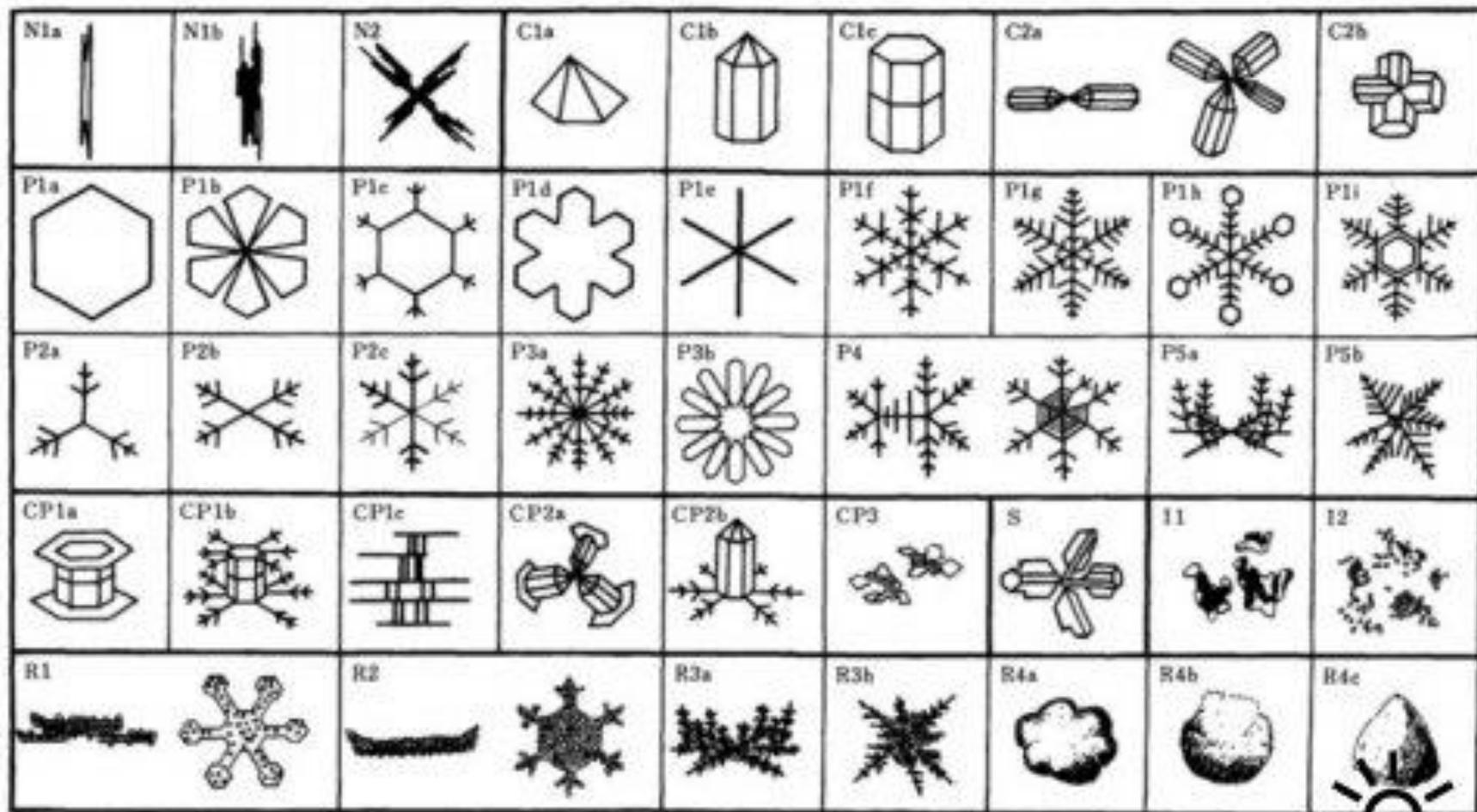
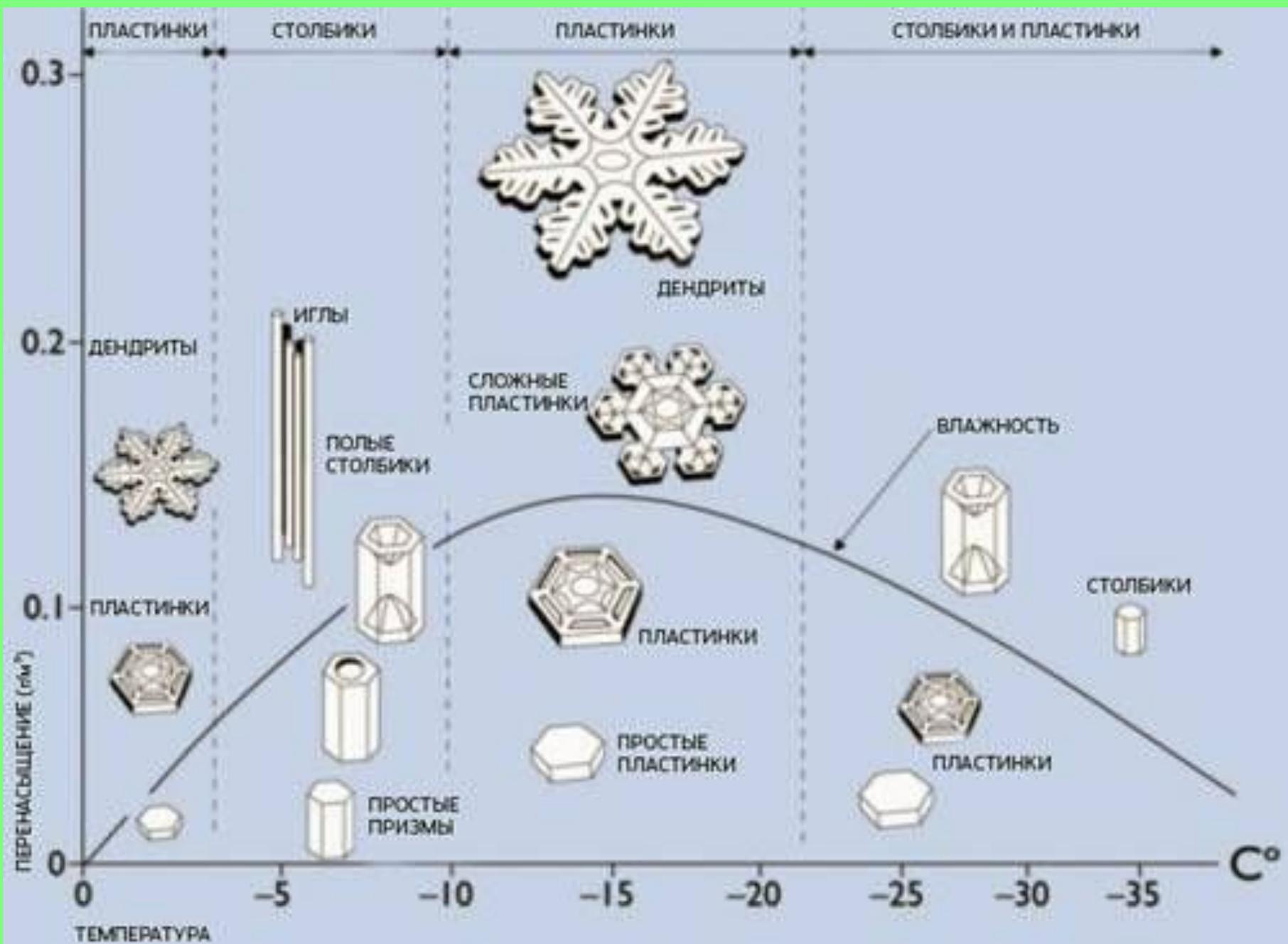


Fig. 197. General classification of snow crystals, sketches.





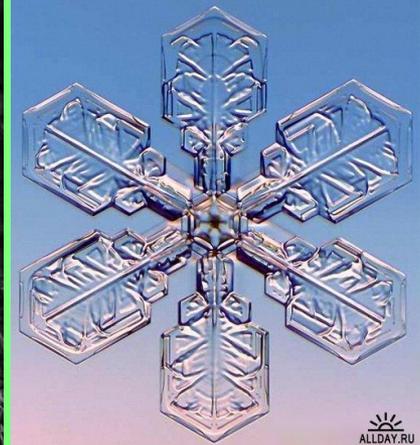
ALLDAY.RU



ALLDAY.RU



ALLDAY.RU



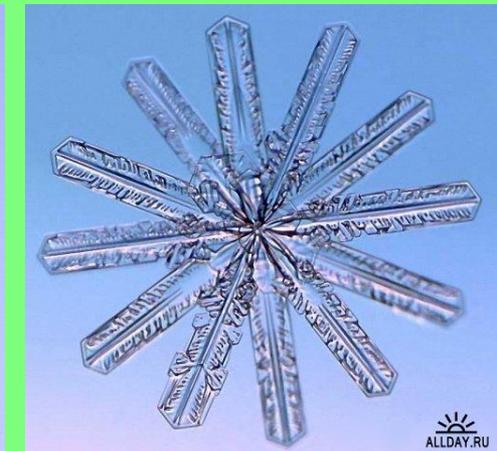
ALLDAY.RU



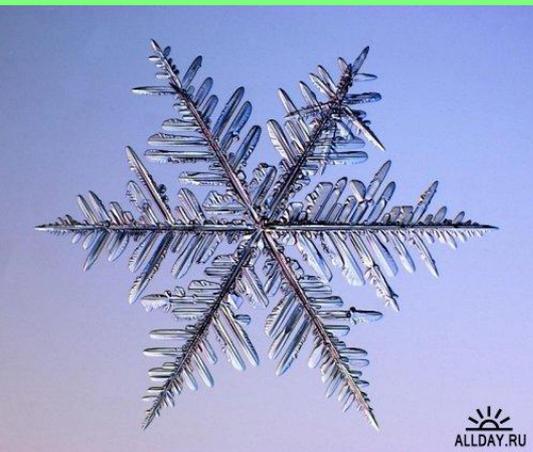
ALLDAY.RU



ALLDAY.RU



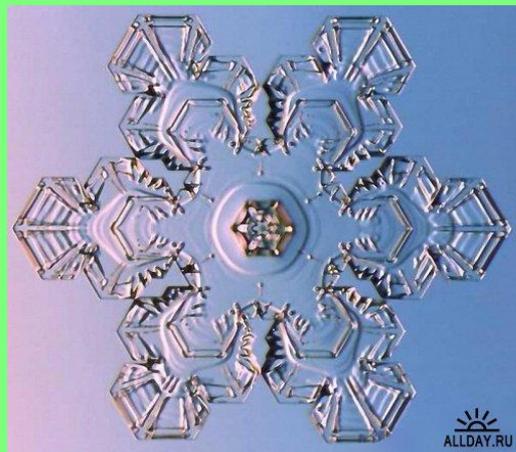
ALLDAY.RU



ALLDAY.RU



ALLDAY.RU



ALLDAY.RU



### ДВОЙНЫЕ ПЛАСТИНКИ

Это столбики с наконечниками, у которых очень короткая вертикальная часть. Пластинки растут очень быстро, при этом одна из них заслоняет вторую от водяных паров и вырастает более крупной



### ПАПОРОТНИКООБРАЗНЫЕ ДЕНДРИТЫ

Одни из самых крупных. Иногда ветви звездчатых дендритов вырастают такими тонкими и частыми, что снежинка начинает напоминать папоротник



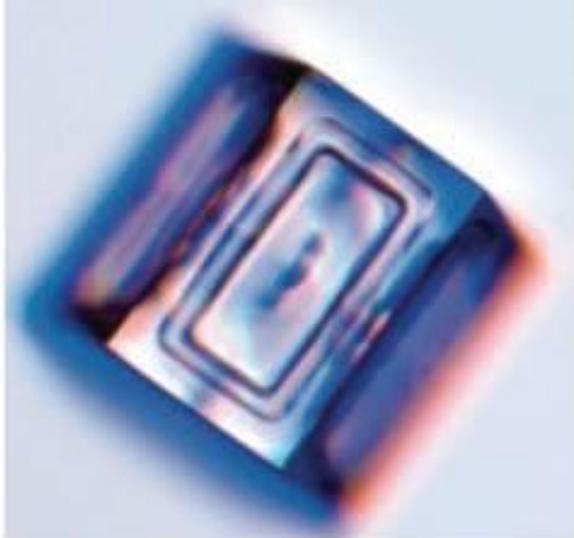
### ПОЛЫЕ СТОЛБИКИ

Внутри столбиков с шестиугольным сечением иногда образуются полости. Любопытно, что форма полостей симметрична относительно центра кристалла. Чтобы рассмотреть полости в маленьких снежинках, необходимо сильное увеличение



### ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ КРИСТАЛЛЫ

Иногда из микроскопической капельки начинает расти несколько снежных кристаллов в разных направлениях. Каждый из них впоследствии может приобрести сложную форму. Сращенные кристаллы могут распадаться на несколько простых снежинок



### ПРИЗМЫ

Могут представлять собой как плоские 6-угольные пластинки, так и тонкие столбики с 6-угольным сечением. Несмотря на крошечные размеры призм (они почти не видны невооруженным глазом), их грани, как правило, украшают сложные узоры



### ИГЛЫ

Длинные и чрезвычайно тонкие снежные кристаллы образуются при температуре около  $-5$  градусов Цельсия. При наблюдении невооруженным глазом они выглядят как маленькие светлые волоски



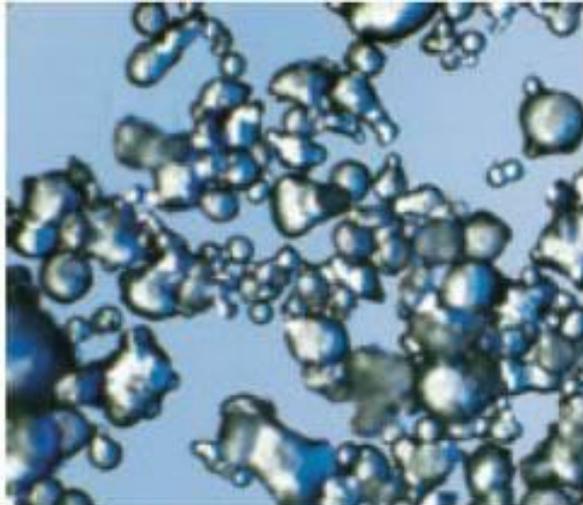
### ДЕНДРИТЫ

Дендриты (древopodobные) имеют ярко выраженные тонкие разветвляющиеся лучи. Как правило, это крупные кристаллы, видимые невооруженным глазом, а самые большие дендриты достигают 30 см в диаметре



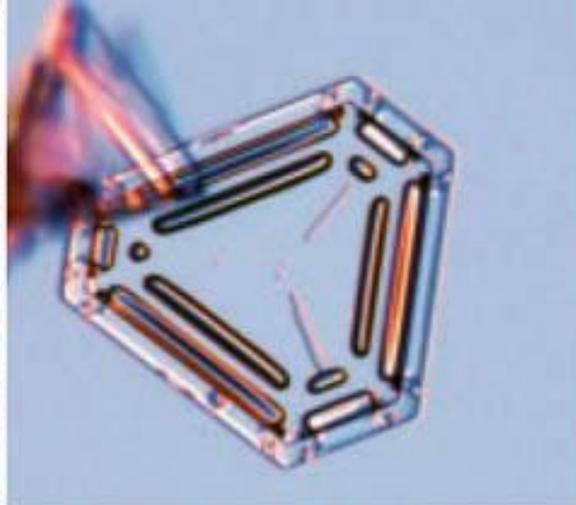
### 12-ЛУЧЕВЫЕ СНЕЖИНКИ

Иногда столбики с наконечниками формируются с поворотом пластинок относительно друг друга на 30 градусов. Когда из каждой пластинки вырастают лучи, получается кристалл с 12 лучами



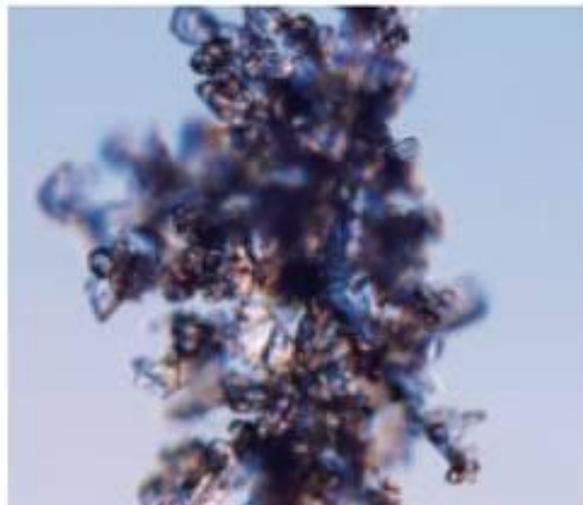
### ИСКУССТВЕННЫЙ СНЕГ

Снежные пушки распыляют в воздухе мелкие капли воды, которые замерзают в полете. Поэтому искусственные снежинки и выглядят как замерзшие капли воды, а не причудливые ледяные кристаллы



### ТРЕУГОЛЬНЫЕ КРИСТАЛЛЫ

Снежинки треугольной формы формируются при температуре около  $-2$  градусов Цельсия. Разумеется, на самом деле это шестиугольные призмы, часть сторон которых значительно короче других. На гранях таких призм также могут вырастать лучи



### КРИСТАЛЛЫ НЕПРАВИЛЬНОЙ ФОРМЫ

В большинстве своем снежные кристаллы бывают именно такими – маленькими, несимметричными, сросшимися друг с другом. Образование красивых симметричных кристаллов требует удачного стечения очень многих климатических обстоятельств



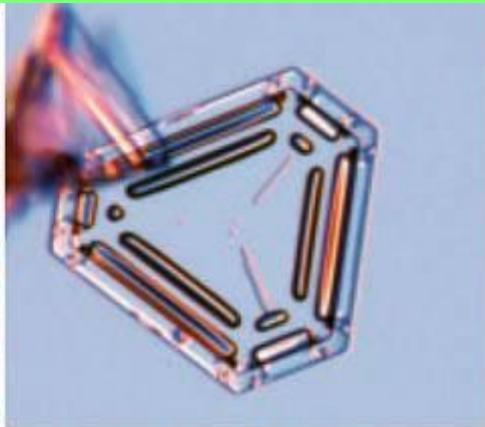
### СТОЛБИКИ С НАКОНЕЧНИКАМИ

Редкий вид снежинок. Кристаллы начинают расти в виде столбиков, но затем ветер переносит их в зону с иными погодными условиями, и на их концах начинают расти пластинки



### И СНЕГ

...от в воздухе мелкие капли  
... в полете. Поэтому искус-  
...глядят как замерзшие капли  
... ледяные кристаллы



### ТРЕУГОЛЬНЫЕ КРИСТАЛЛЫ

Снежинки треугольной формы формируются при температуре около  $-2$  градусов Цельсия. Разумеется, на самом деле это шестиугольные призмы, часть сторон которых значительно короче других. На гранях таких призм также могут вырастать лучи



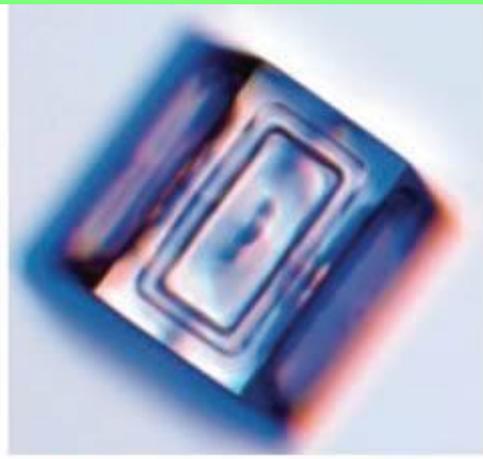
### И

у которых очень ко-  
стинки растут очень  
слоняет вторую от  
ее крупной



### ПАПОРОТ- ДЕНДРИТЫ

Одни из самых  
дендритов выра  
что снежинка на



### ПРИЗМЫ

Могут представлять собой как плоские 6-угольные пластинки, так и тонкие столбики с 6-угольным сечением. Несмотря на крошечные размеры призм (они почти не видны невооруженным глазом), их грани, как правило, украшают сложные узоры



### ДЕНДРИТЫ

Дендриты (древоподобные) и  
ные тонкие разветвляющиеся  
это крупные кристаллы, види  
глазом, а самые большие д  
30 см в диаметре



### АВИЛЬНОЙ ФОРМЫ

...ежные кристаллы бывают  
...ькими, несимметричными,  
...ом. Образование красивых  
...ов требует удачного стече-  
...ических обстоятельств



### СТОЛБИКИ С НАКОНЕЧНИКАМИ

Редкий вид снежинок. Кристаллы начинают расти в виде столбиков, но затем ветер переносит их в зону с иными погодными условиями, и на их концах начинают расти пластинки



...ным сечением ино-  
...пытно, что форма  
...тельно центра кри-  
...сти в маленьких сне-  
...величение



### ПРОСТРАН ИГЛЫ

Иногда из мик  
расти нескольк  
правлениях. Ка  
приобрести сло  
могут распадаться на несколько простых снежинок



### ДЛИННЫЕ И ЧРЕЗВЫЧАЙНО ТОНКИЕ СНЕЖНЫЕ КРИСТАЛЛЫ

образуются при температуре около  $-5$  градусов Цельсия. При наблюдении невооруженным глазом они выглядят как маленькие светлые волоски



### 1 2-ЛУЧЕВЫЕ СНЕЖИ

Иногда столбики с наконечн  
с поворотом пластинок относ  
30 градусов. Когда из каждой  
лучи, получается кристалл с 12