

курс

**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ВОЗДЕЙСТВИЯ  
НА АТМОСФЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ**

Тема

*Реагенты*

# Модификация возможна

- 1) Коллоидная неустойчивость – конденсационно-коагуляционный рост капель в облаке и выпадение дождя из теплых облаков
- 2) Термодинамическая (фазовая) неустойчивость коллоидной системы облаков и туманов – переохлажденные облака и туманы с водной фазой
- 3) Конвективная неустойчивость атмосферы

# Воздействие на фазовый состав облака

- Основная группа методов АВ на облака различных форм связана с воздействием на **фазовую неустойчивость** облачной среды.
- При введении в такую зону искусственных зародышевых ледяных частиц начинается процесс "перегонки" водяного пара с переохлажденных капель на эти частицы в силу того что  $E_B < E_L$ .

# Введение хладореагента или льдореагента в облако

- жидкий азот
- с помощью самолетных азотных генераторов мелкодисперсных частиц льда ГМЧЛ-А.
- Аэрозоли иодида серебра AgI
- пиропатрон ПВ-26 или ПВ-50 при полете самолета вблизи верхней границы облаков.
- льдообразующая активность составляет  $5 \times 10^{12}$  ядер на 1 г состава (при температуре  $-10^\circ\text{C}$ ). Длина трассы активного дымления составляет 1 км.

Вещества, используемые в качестве реагента, должны удовлетворять следующим основным требованиям.

- **1. *Нерастворимость.*** При растворении в воде разрушается поверхность вещества, тем самым исключается возможность упорядоченной ориентации молекул воды, необходимой для образования кристаллической структуры.
- В то же время для проявления льдообразующих свойств вещество должно обладать гидрофильностью.
- Требования нерастворимости и гидрофильности плохо совместимы.
- На практике они удовлетворяются добавлением к реагенту гидрофильных присадок.

• **2. Размер.** Важной характеристикой является степень дисперсности реагента.

• Чем **меньше** размеры частиц реагента, тем *большее* число их может быть **получено из единичной массы**.

• Однако независимо от механизма нуклеации при заданных условиях жизнеспособными могут быть только ледяные зародыши с размерами больше критического.

- **критический радиус жизнеспособных зародышей зависит от температуры** (при механизмах конденсационного, иммерсионного и контактного замерзания) и от пересыщения при замерзании осаждения, *которое, в конечном счете, также является функцией температуры.*
- формирование жизнеспособного ледяного зародыша на ЛОЯ или частичке ЛОР **энергетически выгодно** только в том случае, когда **размер ядра** оказывается **больше размера зародыша.**
- Поэтому очень мелкие частички становятся неэффективными в качестве ЛОЯ.



- Исследования показали, что образцы реагента с **очень однородной поверхностью** (хорошо отполированной) проявляют **меньшую льдообразующую способность**, чем те, на поверхности которых содержатся многочисленные микроскопические **трещины, сколы, выступы, каверны** и т. д.
- Окруженные участками гидрофобной поверхности активные места адсорбируют молекулы воды, которые с понижением температуры встраиваются в ледяную решетку.
- Размеры активных мест соизмеримы с размерами жизнеспособных зародышей, а значит размеры ЛОЯ должны быть существенно больше их.

- 3. *Подобие*. Важным условием эффективности реагента является подобие его кристаллической решетки или поверхностных свойств соответствующим характеристикам льда. Это способствует уменьшению энергии, необходимой для образования жизнеспособных ледяных зародышей. Различают три вида подобия.
- – *Изоморфность* (Тождество кристаллических структур). В табл. 1.9.1 приведены сведения о параметрах кристаллических решеток для некоторых веществ.
- Видно, что кристаллические решетки йодистого серебра и льда являются практически одинаковыми. Этим и объясняют высокий температурный порог . Кристаллические решетки других веществ в большей или меньшей мере отличаются от решетки льда *Ih*. Образование ледяных зародышей связано с необходимостью подстройки (преодоления деформации) кристаллической решетки льда (или подложки). Такая подстройка возможна лишь при сравнительно небольших отличиях строения кристаллов.

# Параметры кристаллической решетки некоторых веществ

Вещество	Сингония*	Постоянные решетки, нм			Температурный порог, °С
		$a_0$	$b_0$	$c_0$	
Лед–Ih	гексагональная	0,452		0,736	
AgI	гексагональная	0,459		0,751	–3...–6
$PbI_2$	тригональная	0,454		0,686	–4...–7
$CuS$	гексагональная	0,380		1,64	–4...–8
$Cu_2O$	кубическая	0,425			–4...–6
$C_6H_3(OH)_3 \cdot 2H_2O$	орторомбическая	0,673	1,358	0,809	–2...–5
$(CH_3CHO)_4$	тетрагональная	1,040		0,411	–1...–2

Сингония – классификационное подразделение кристаллов по признаку симметрии элементарной ячейки кристалла.

- Если отличаются не только параметры решетки, но и вид сингонии, рост кристаллов не может быть эпитаксильным.
- Для подстройки кристаллов в этом случае требуется дополнительная энергия.
- Например,  $\text{Cu}_2\text{O}$  отличается от льда  $Ih$  и сингонией, и размерами осей. Эпитаксильный рост льда на подложке  $\text{Cu}_2\text{O}$  представляется маловероятным. Однако пороговая температура почти не отличается от для и  $\text{PbI}_2$ .
- Еще большее отличие проявляется между решетками льда и органических веществ. Тем не менее, пороговые температуры для них оказываются даже выше, чем для . Это означает, что эффективность льдообразования определяется не только изоморфностью.

- – *Подобие водородных связей.* Взаимодействие между молекулами  $H_2O$  во льду осуществляется с помощью водородных связей  $O...H$ . Наличие атомов кислорода или гидроксильных групп на поверхности вещества способствует формированию водородных связей с молекулами пара или воды. Аналогичную природу льдообразования проявляют и биогенные ЛОЯ.
- – *Подобие электростатической структуры поверхности,* расположение зарядов полярных молекул на поверхности вещества подобно их расположению на поверхности льда.

## *Цепочка превращений.*

<b>Состояния</b>	<b>Процессы</b>
<i>1 – реагент</i>	
	1 – нагрев и возгонка реагента
<i>2 – газ реагента</i>	
	2 – перемешивание с окружающим воздухом, охлаждение
<i>3 – пересыщенный газ реагента</i>	
	3 – образование микроскопических частиц реагента
<i>4 – аэрозоль реагента</i>	
	4 – нуклеация льда
<i>5 – жизнеспособные ледяные зародыши</i>	
	5 – рост зародышей
<i>6 – АЛЧ</i>	

- С физической точки зрения мы имеем дело с фазовыми превращениями собственно реагента и гетерогенной нуклеацией льда на его поверхности.
- Сильный нагрев реагента приводит к его быстрому испарению, то есть к переходу в газообразное состояние (возгонка).
- По мере удаления от источника нагрева газ реагента, перемешиваясь с окружающим воздухом, охлаждается и становится пересыщенным.
- Создаются условия для гомогенной  
(газ → капли → кристаллы реагента)  
или гетерогенной (газ → кристаллы) нуклеации реагента. Образование жизнеспособных ледяных зародышей на частицах реагента осуществляется одной из четырех мод нуклеации льда, описанных выше. Состояния 1...4 и процессы 1...3 отражают механизм диспергирования реагента.

# диспергирование реагента

Степень  
диспергированность  
и  
(измельченности)  
реагента

Скорость  
нагрева

следующее  
за нагревом  
охлаждение

наличием  
и размерами  
инородных частиц



- На практике способы диспергирования тесно связаны со средствами доставки реагента в облака.
- В лабораторных условиях диспергирование реагента можно осуществить путем внешнего нагрева.
- В практике воздействий реализация такого приема затруднительна.

- Широкое распространение получили методы диспергирования, связанные с сжиганием реагента в пиротехнических составах.
- Эти методы используются при доставке реагента в облако с помощью специальных ракет, которые несут так называемые шашки активного дыма (ШАД).
- Шашка представляет собой пиротехническую смесь с примесью реагента.
- На заданном участке траектории ШАД воспламеняется.
- В облаке образуется «след» аэрозоля реагента.
- Аналогичный процесс происходит при обстреле облаков пиропатронами с летательных аппаратов.

- При обстреле облаков с поверхности земли с помощью артиллерийских орудий реагент закладывается в снаряд, начиненный взрывчатым веществом (ВВ).
- При взрыве снаряда температура ВВ резко повышается, что приводит к испарению реагента.
- Эффективным способом получения мелкодисперсных частиц йодистого серебра является растворение его в ацетоне.
- Сжигание ацетона в специальной камере приводит к образованию газа. Перемешиваясь с воздухом этот газ становится пересыщенным, что способствует образованию аэрозольных частиц реагента.
- Этот способ имеет ряд технологических недостатков, в частности связанных с пожароопасностью.

- Используются гранулированная твердая углекислота (сухой лед  $\text{CO}_2$ ), гранулы которой имеют температуру  $-70\text{ }^\circ\text{C}$  и жидкий азот ( $\text{N}_2$ ) температура кипения  $-178\text{ }^\circ\text{C}$ .
- Для введения в облака гранулированной углекислоты применяются самолетные углекислотные комплексы.

- Вторым способом искусственной кристаллизации переохлажденных капель является введение в облако аэрозолей иодида серебра AgI.
- частицы AgI не влияя непосредственно на температуру воздуха выполняют функцию искусственных ядер кристаллизации - играют роль подложки для роста ледяных частиц, поскольку их кристаллическая структура изоморфна льду.