

**ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ И  
УСТОЙЧИВОСТИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ  
СВЕРХЗВУКОВОЙ КОНДЕНСАЦИЕЙ И ИНИЦИИРОВАННОЙ  
ТЕПЛОВЫМИ ИМПУЛЬСАМИ ВЗРЫВНОЙ  
КРИСТАЛЛИЗАЦИИ**

Томин А.С.

Научный руководитель:  
д.ф.-м.н. Файзуллин М.З.

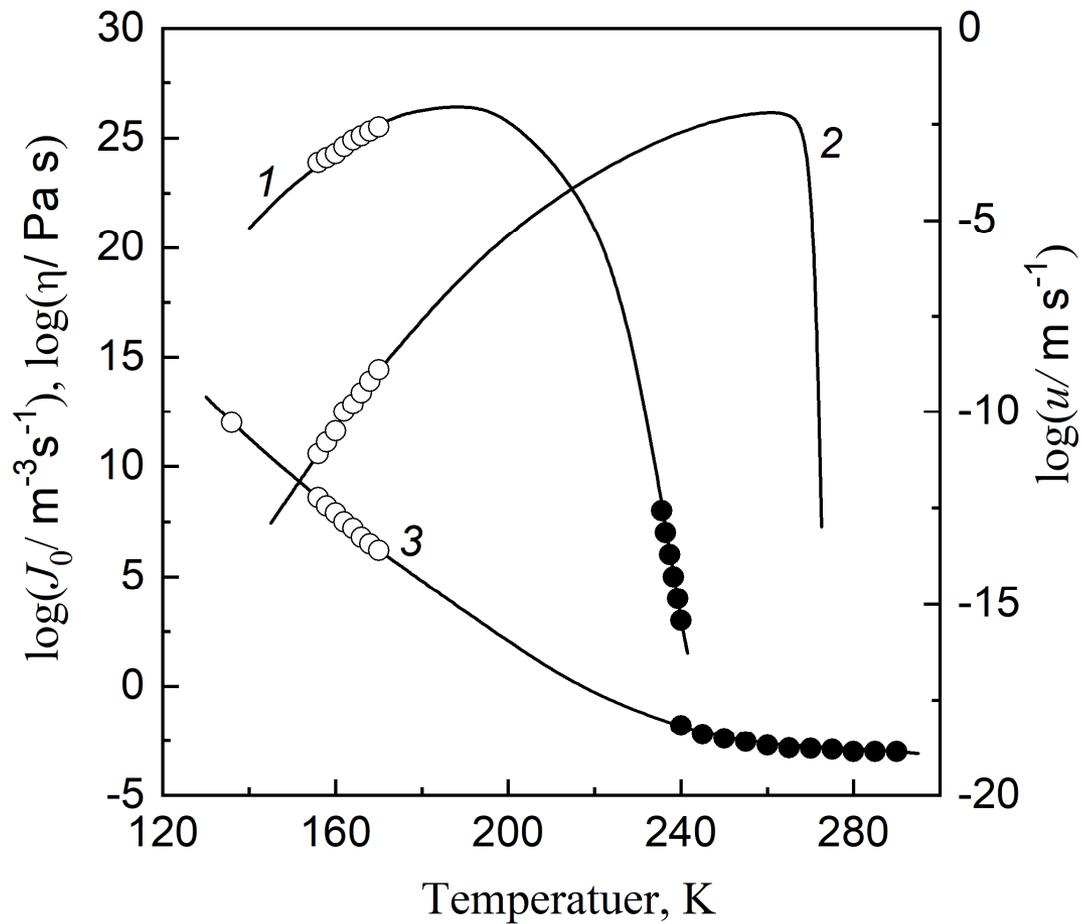
Екатеринбург 2020

# Цель работы:

Исследование устойчивости  
метастабильных состояний и кинетики  
фазовых переходов в сильно  
неравновесных условиях

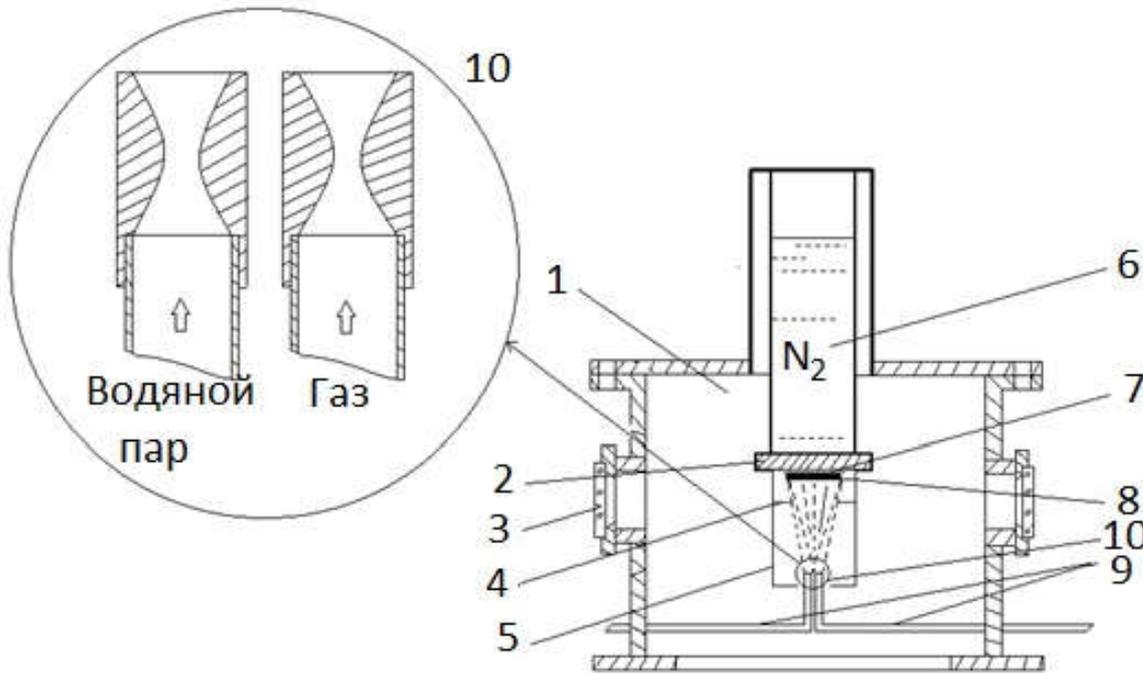
# Задачи:

- Исследовать влияние условий осаждения на кинетику кристаллизации аморфной воды;
- Исследовать влияние присутствия кристаллической фазы в аморфной воде на кинетику кристаллизации;
- Исследовать влияние газосодержания на кинетику кристаллизации бинарных систем  $H_2O-CH_4$ ,  $H_2O-C_2H_6$ ,  $H_2O-C_3H_8$  и  $H_2O-CO_2$ ;
- Установить условия формирования и границы устойчивости гидратов бинарных систем  $H_2O-CH_4$ ,  $H_2O-C_2H_6$ ,  $H_2O-C_3H_8$  и  $H_2O-CO_2$ .



1) стационарная частота зародышеобразования, 2) скорость роста кристалла, 3) вязкость в переохлажденной воде.

# Экспериментальная установка



## Осаждение:

Скорость осаждения: **100 – 200 мкм/ч**

Толщина образца: **100 – 400 мкм**

Температура осаждения: **< 80 К**

Вакуум: **10<sup>-6</sup> mmHg**

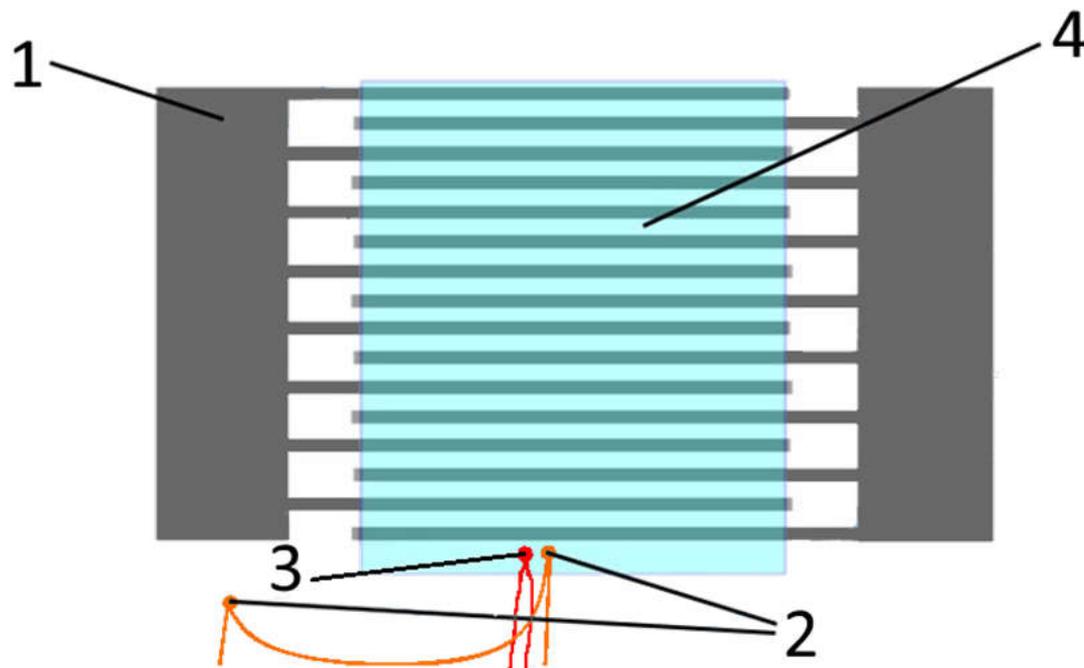
## Измерение:

Скорость нагрева: **0.05 К/с**

Частота электрического поля: **10 кГц**

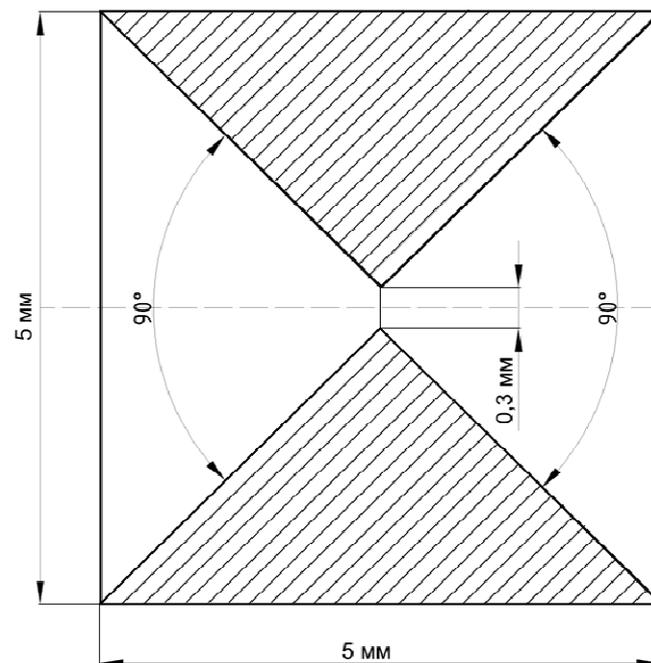
1 - вакуумная камера, 2 - медная подложка, 3 - смотровое окно, 4 - маска, 5- экран, 6 - жидкий азот, 7 - емкостный датчик, 8 - образец, 9 - паропроводы, 10 - сверхзвуковые сопла

# Емкостный датчик

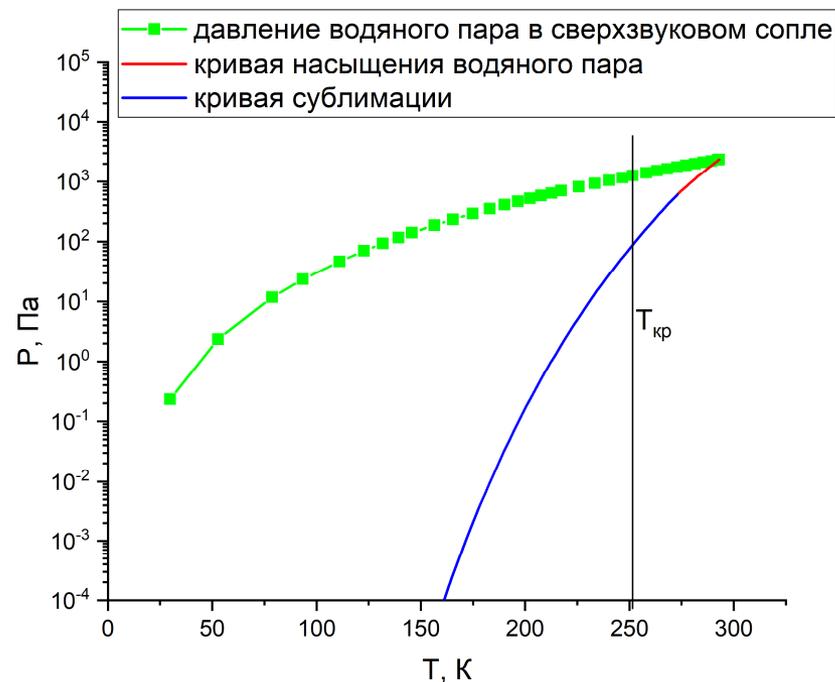
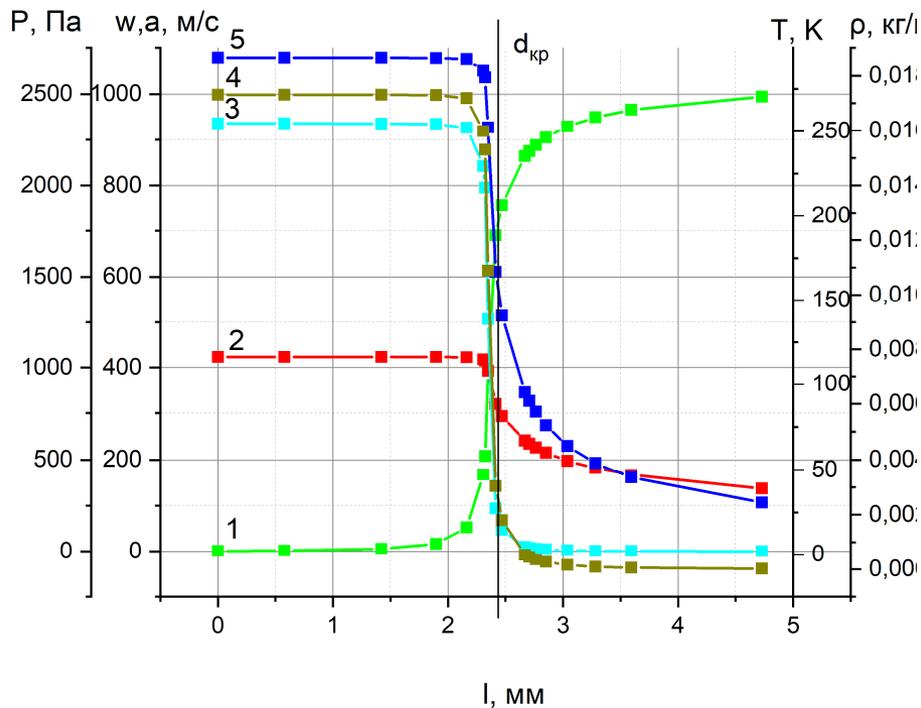


1 – пленочный конденсатор,  
2 – дифференциальная термопара,  
3 – измерительная термопара,  
4 - образец

# Сверхзвуковое сопло

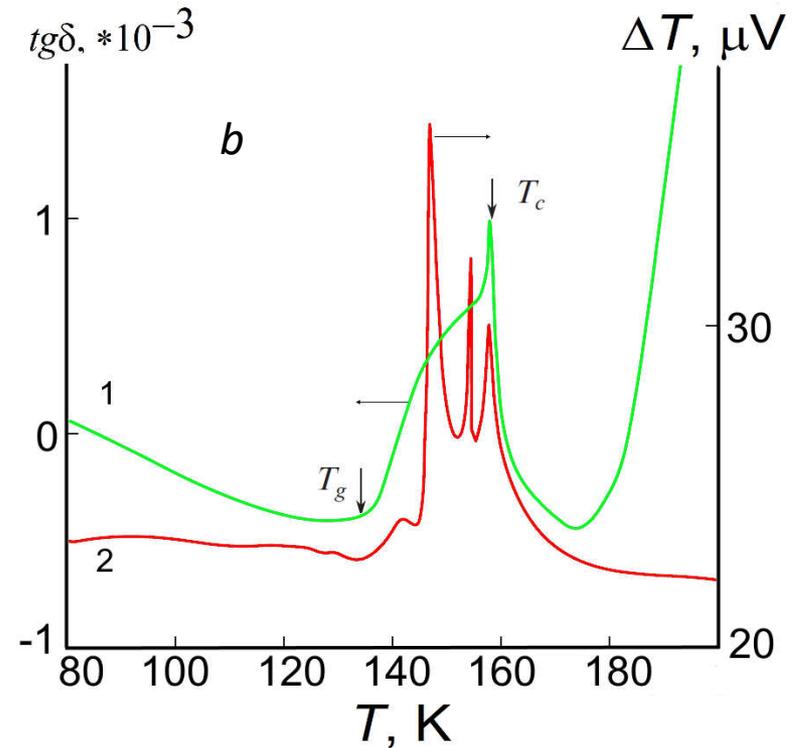
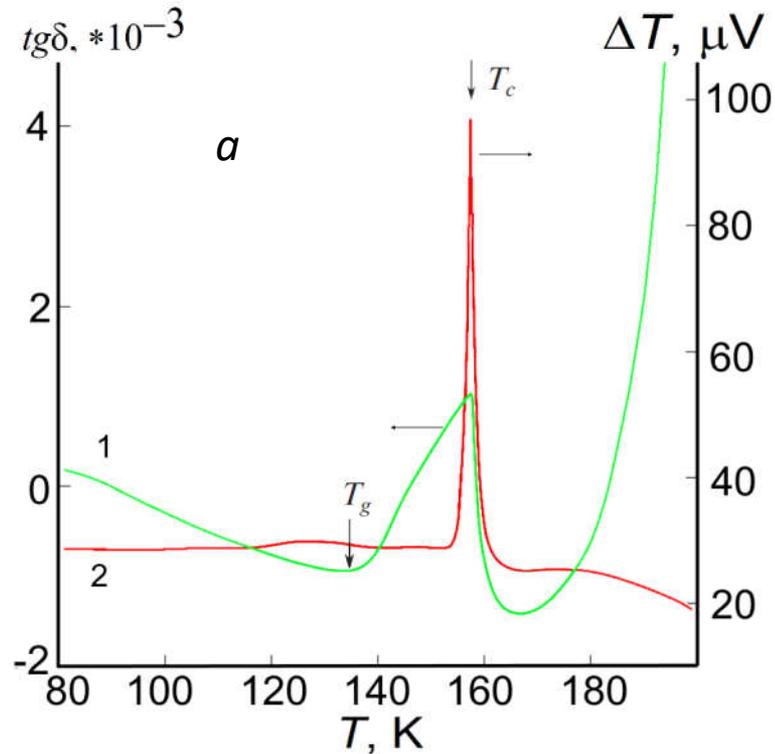


# Сверхзвуковые сопла



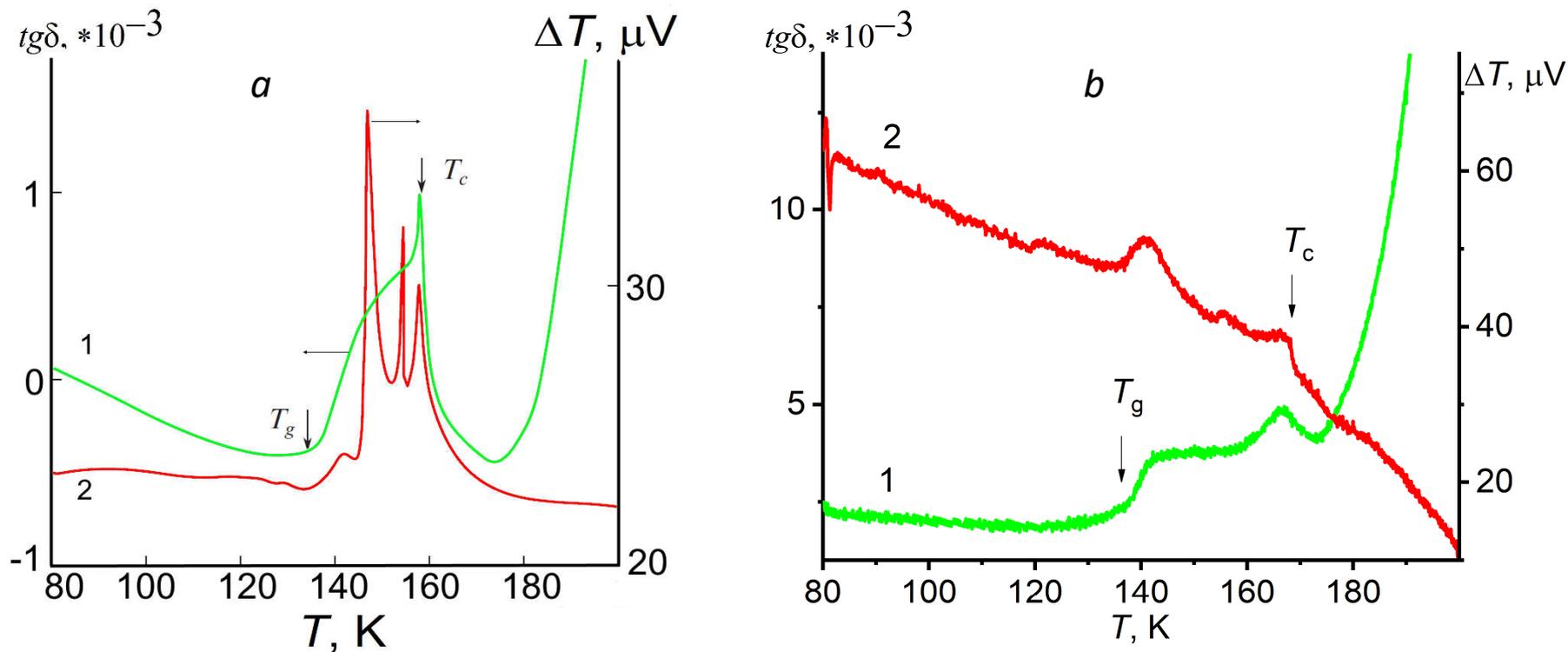
- 1 – скорость потока  $w$ ,  
2 – скорость звука  $a$ ,  
3 – давление  $P$ ,  
4 – плотность  $\rho$ ,  
5 – температура  $T$  по оси сопла

# Исследование нестационарной нуклеации в присутствии искусственно внесенных кристаллических центров



1 - Диэлектрические свойства и 2 - ДТА-термограмма аморфного льда, полученного осаждением:  
*a*) – дозвуковых и *b*) – сверхзвуковых пучков.

# Исследование влияния газосодержания аморфных конденсатов на кинетику кристаллизации

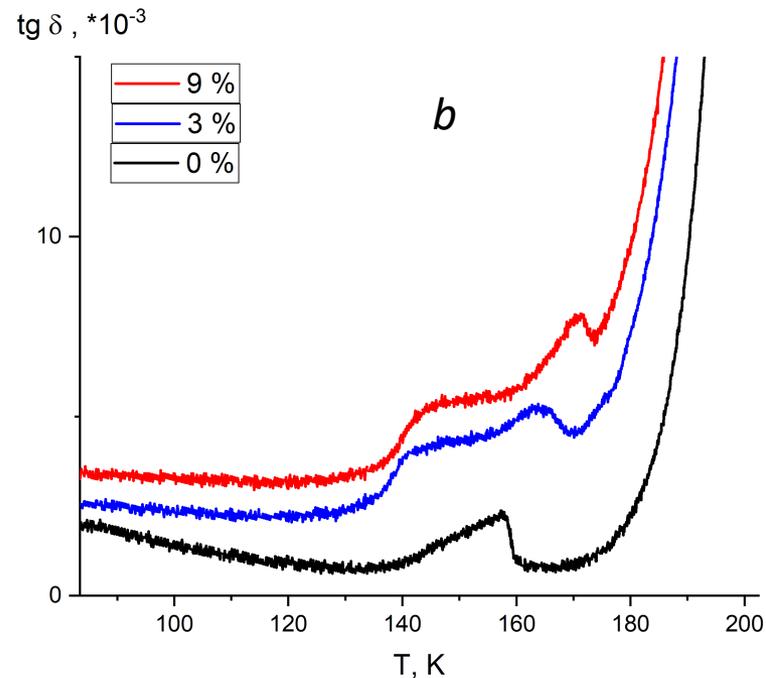
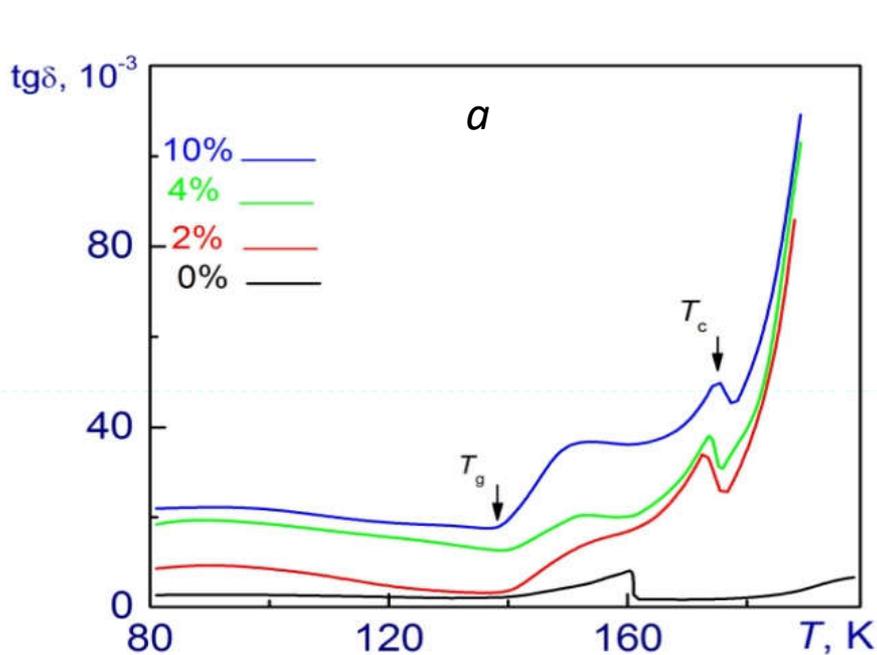


*a*) – Аморфный лед,

*b*) – аморфная смесь  $H_2O-CH_4$ , массовая доля  $CH_4$  - 3%

1 - Диэлектрические свойства и 2 - ДТА-термограмма

# Исследование влияния газосодержания аморфных конденсатов на кинетику кристаллизации



Диэлектрические свойства аморфных смесей  $H_2O-CH_4$ , полученных осаждением:

*a*) – дозвуковых и *b*) – сверхзвуковых пучков.

# Результаты экспериментов

|  | бинарная водно-газовая система |               |               |             |
|--|--------------------------------|---------------|---------------|-------------|
|  | $H_2O-CH_4$                    | $H_2O-C_2H_6$ | $H_2O-C_3H_8$ | $H_2O-CO_2$ |
| массовая доля газового компонента в опытах, %  | 0 - 15                         | 0 - 14,5      | 0 - 18        | 0 - 20      |
| скорость нагревания, К/с   | 0,05                           |               |               |             |
| массовая доля газового компонента при полном заполнении соответствующих полостей газового гидрата согласно теории, % | 13,4                           | 17,8          | 12,6          | 31,7        |
| гидратное число  | 5,75                           | 7,67          | 17            | 5,75        |
| структура  | <i>KC-I</i>                    | <i>KC-I</i>   | <i>KC-II</i>  | <i>KC-I</i> |

Спасибо за внимание!