



# ВЛИЯНИЕ ТОНКОЙ ПЛЕНКИ ЛЬДА О НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОДЛОЖКЕ НА ПРОХОЖДЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ В ОПТИЧЕСКОМ, ИК И МИКРОВОЛНОВОМ ДИАПАЗОНАХ

**Орлов А.О., Гурулев А.А., Бордонский Г.С.**

*Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт природных ресурсов,  
экологии и криологии СО РАН*

**lgc255@mail.ru**

# Актуальность

Актуальность исследований льда  $0$  связывается с тем, что он обуславливает отражательную способность полярных мезосферных облаков, которые наблюдаются перед восходом или после захода Солнца («серебристые облака»). Эти облака обладают необычными физическими свойствами: несмотря на то, что размеры ледяных частиц, их составляющих, весьма малы и имеют значения порядка десятков нанометров, и плотность в единице объема чрезвычайно мала, было обнаружено отражение от мезосферных облаков излучения низкочастотных радаров. Динамика мезосферных облаков в свою очередь вызывает большой интерес, так как её связывают с изменениями климата.



# Фото серебристых облаков



с. Преображенка (Забайкальский край) 15.06.2020 г.

# Отражательная способность серебристых облаков

В работах (Bordonskiy et al., 2019, Бордонский и др., 2020б) высказывалось предположение, что отражательная способность серебристых облаков обусловлена образованием льда 0. Лед 0 – теоретически предсказанная (Russo et al., 2014) и обнаруженная экспериментально (Бордонский, Орлов, 2017, Бордонский и др., 2020а) сегнетоэлектрическая кристаллическая модификация льда. На контакте двух диэлектриков с большой разницей значений статической диэлектрической проницаемости, в данном случае льда 0 и пылевой частицы, и возникновением плазмонного резонанса (Борен, Хафмен, 1986), образуется нанометровый слой с высокой проводимостью (Korobeunikov et al., 2005). Ледяные частицы серебристых облаков благодаря этому слою приобретают электромагнитные свойства близкие к металлическим.



# Цель работы:

В настоящей работе с целью изучения спектральных особенностей поглощения электромагнитного излучения льдом 0 исследовалось прохождение через диэлектрическую пластинку с осажденным на ней льдом 0 излучения в следующих диапазонах длин волн:

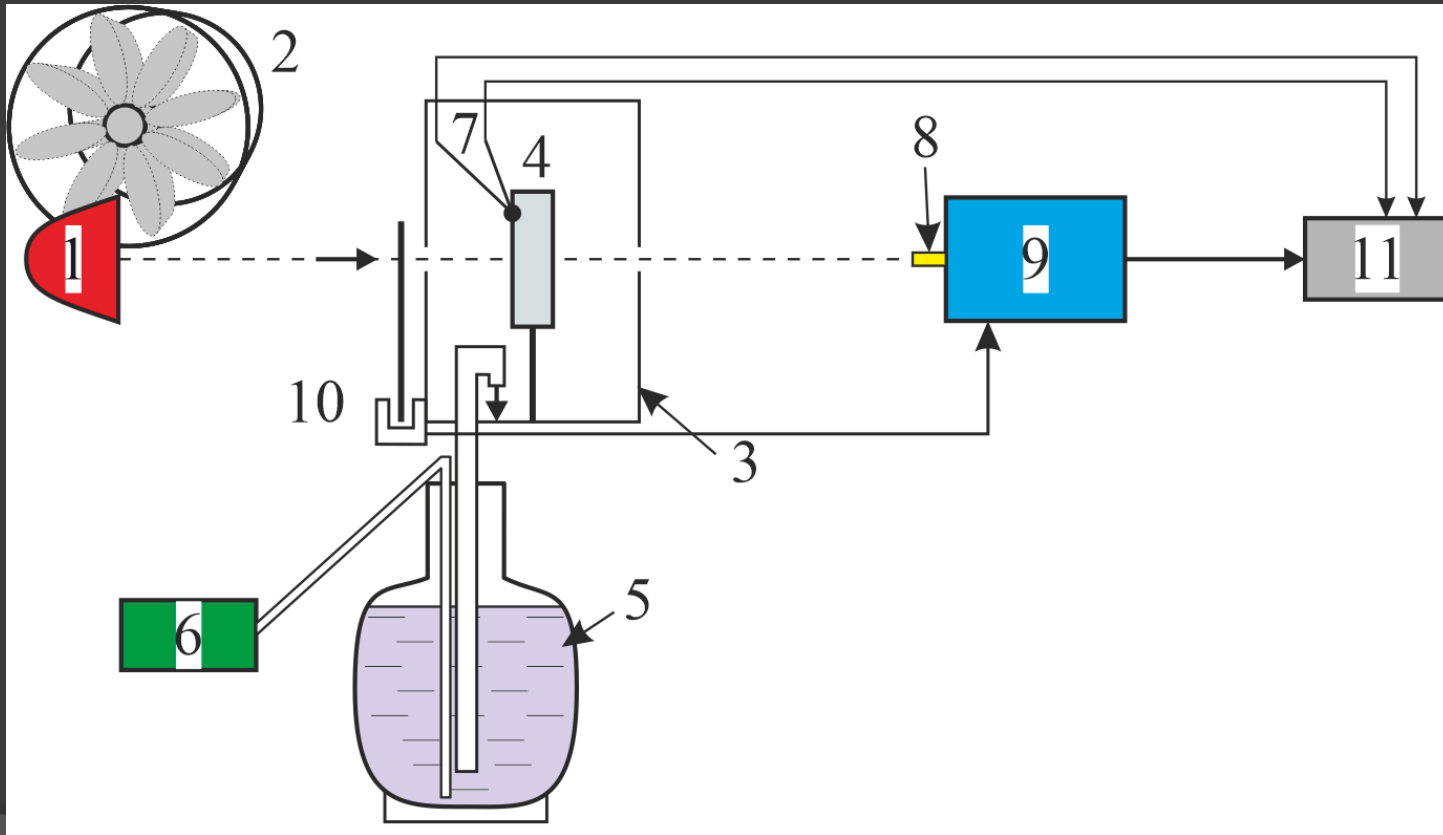
- оптическом;
- тепловом инфракрасном;
- миллиметровом.



# Получение плёнки льда 0 на диэлектрической подложке

- Для получения тонкой пленки толщиной порядка единиц нанометра использовали специальный прием конденсации водяного пара на холодную подложку из разнообразных диэлектриков.
- На первом этапе эксперимента в камеру с температурой лабораторного помещения подавали через изолированную трубку жидкий азот из сосуда Дьюара, который испаряясь заполнял объём камеры, охлаждал её элементы и подложку.
- После достижения подложкой требуемой температуры ( $-100\text{ }^{\circ}\text{C} \dots -180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) начинали процесс ее нагревания путем отключения подачи азота. Нагревание подложки при этом происходило путем притока теплоты через стенки камеры.
- Адсорбированные пары воды и мелкие кристаллики льда при повышении температуры, испаряясь на нагреваемых поверхностях, увеличивали абсолютную влажность на периферийных участках установки. Диффундируя в центральную часть камеры, пары конденсировались на более холодных элементах, в том числе на подложке. В результате удалось получить приток пара и его конденсацию при температурах, при которых может образовываться лед 0 на исследуемой подложке. Одновременно с изменением температуры образца выполняли измерения проходящей мощности излучения в различных диапазонах.
- Эксперименты проводились при охлаждении до  $\sim -100\text{ }^{\circ}\text{C}$  образцов из различных диэлектрических материалов (кварцевое стекло, слюда, NaCl).

# Поглощение оптического и ИК-излучения. Схема экспериментальной установки.



- 1 – галогеновая лампа;
- 2 – вентилятор;
- 3 – термостат;
- 4 – образец;
- 5 – сосуд Дьюара с жидким азотом;
- 6 – насос;
- 7 – термопара;
- 8 – фотодетектор;
- 9 – ИК-радиометр;
- 10 – модулятор;
- 11 – система сбора информации.



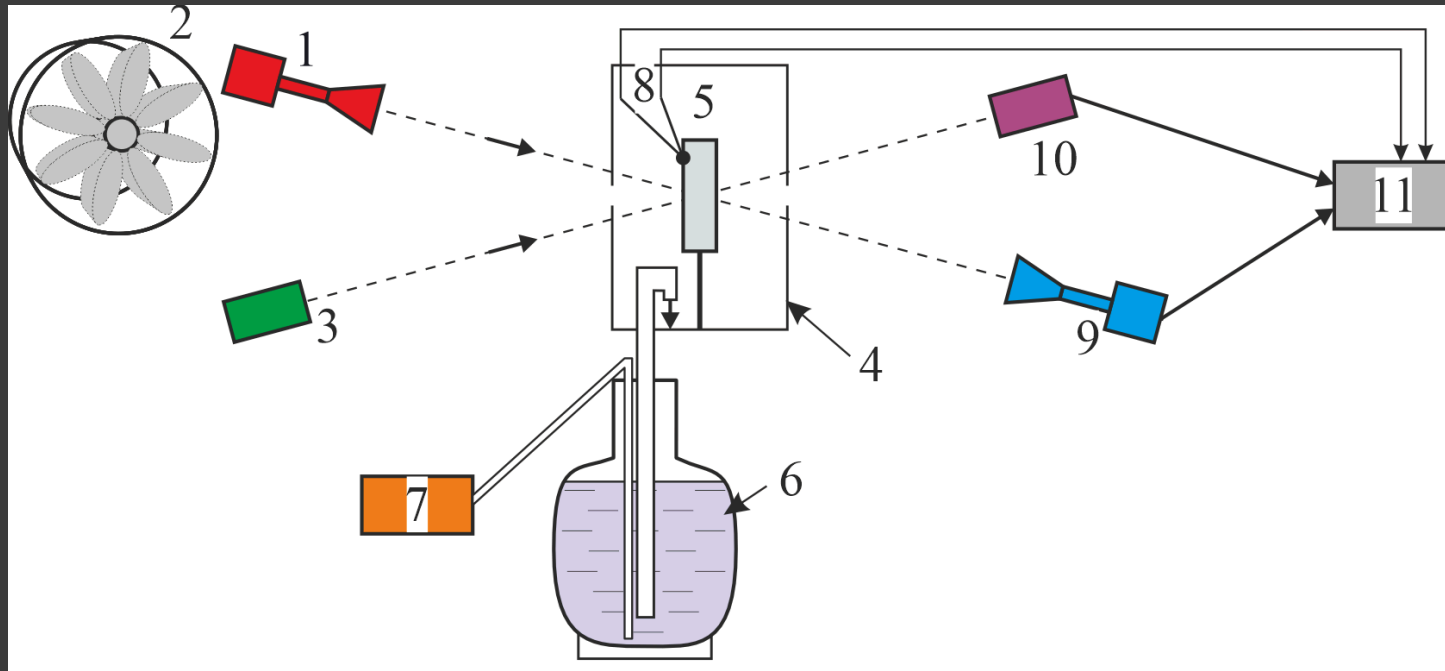
# Поглощение оптического и ИК-излучения. Фото экспериментальной установки.



- 1 – галогеновая лампа;
- 2 – термостат;
- 3 – ИК-радиометр;
- 4 – сосуд Дьюара с жидким азотом;
- 5 – система сбора информации.

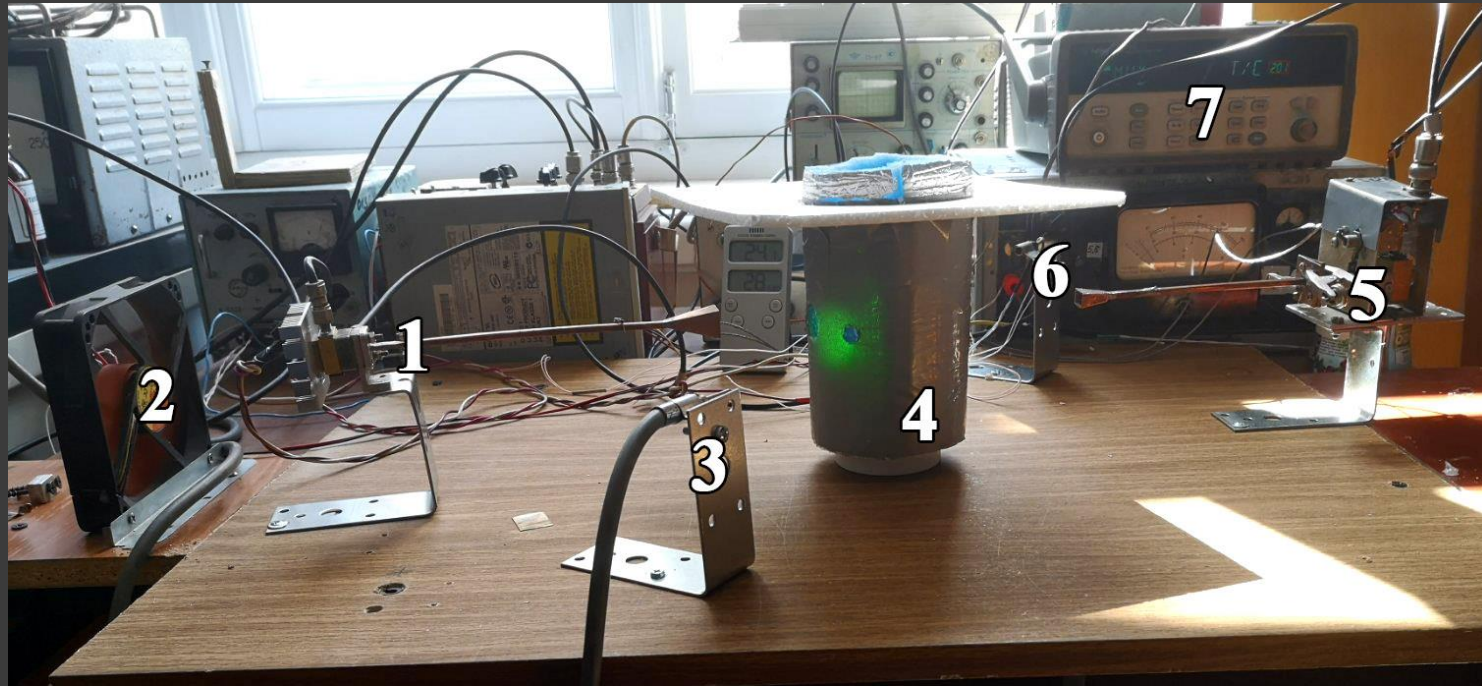


# Поглощение оптического и микроволнового излучений. Схема экспериментальной установки.



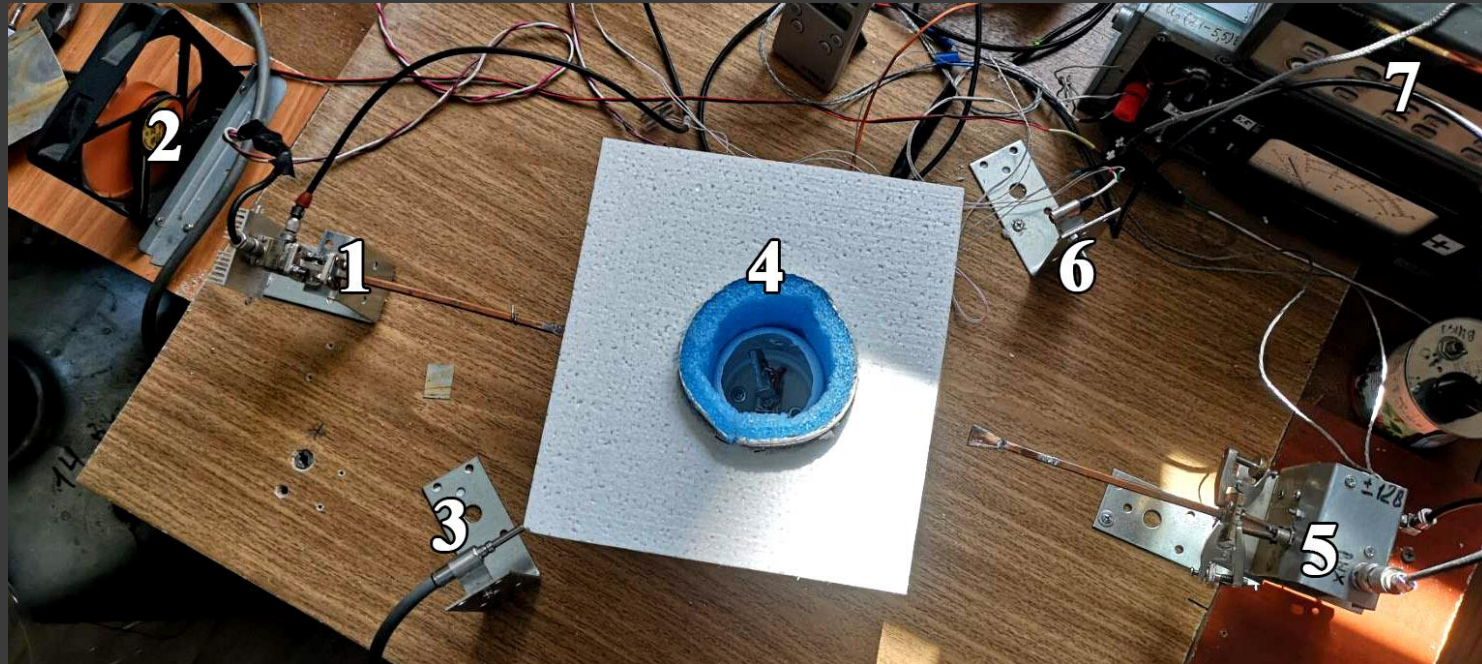
- 1 – СВЧ-генератор;
- 2 – вентилятор;
- 3 – лазер;
- 4 – термостат;
- 5 – образец;
- 6 – сосуд Дьюара с жидким азотом;
- 7 – насос;
- 8 – термопара;
- 9 – СВЧ-детектор;
- 10 – фотодетектор;
- 11 – система сбора информации.

# Поглощение оптического и микроволнового излучений. Фото экспериментальной установки.



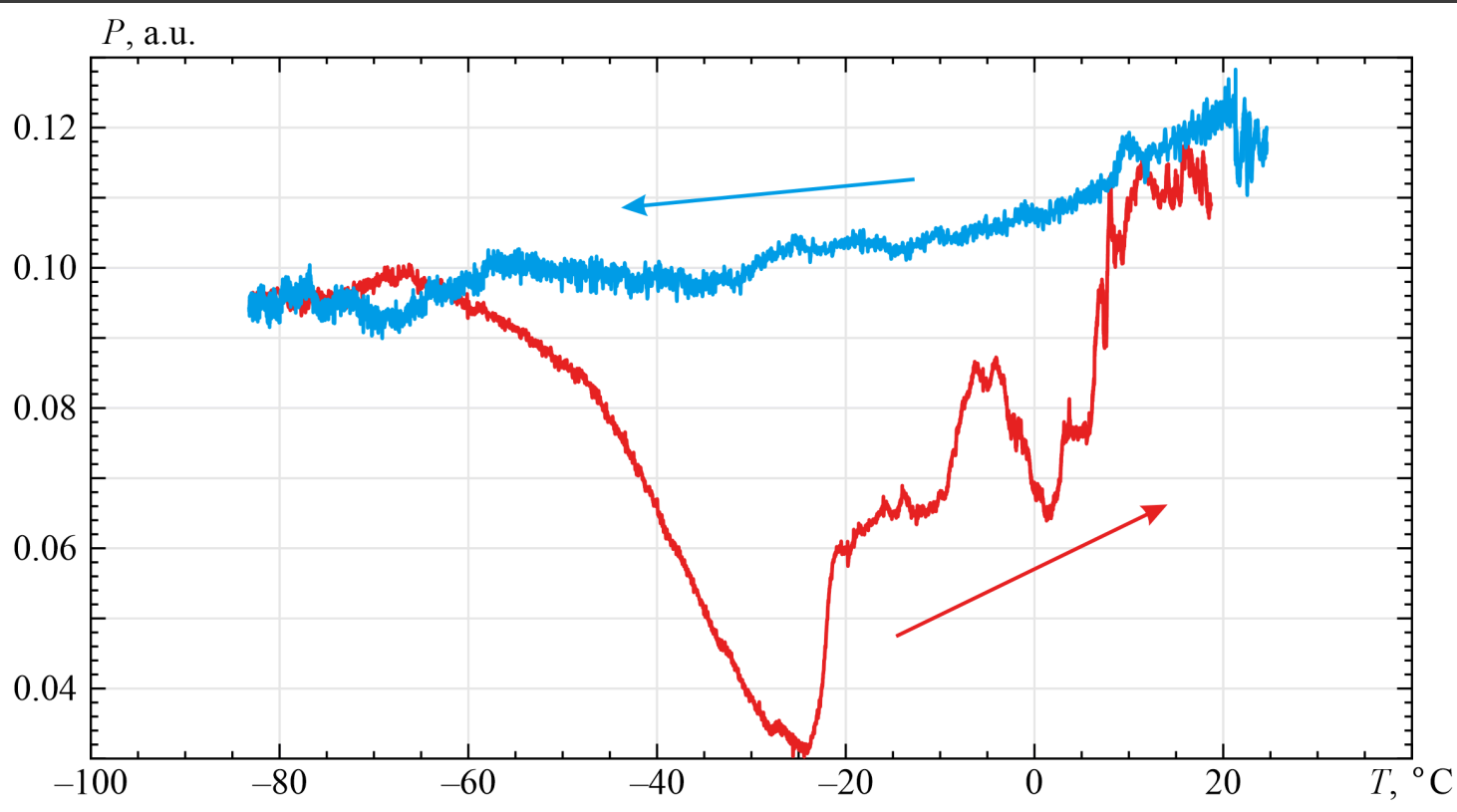
- 1 – СВЧ-генератор;
- 2 – вентилятор;
- 3 – лазер;
- 4 – термостат;
- 5 – СВЧ-детектор;
- 6 – фотодетектор;
- 7 – система сбора информации.

# Поглощение оптического и микроволнового излучений. Фото экспериментальной установки.



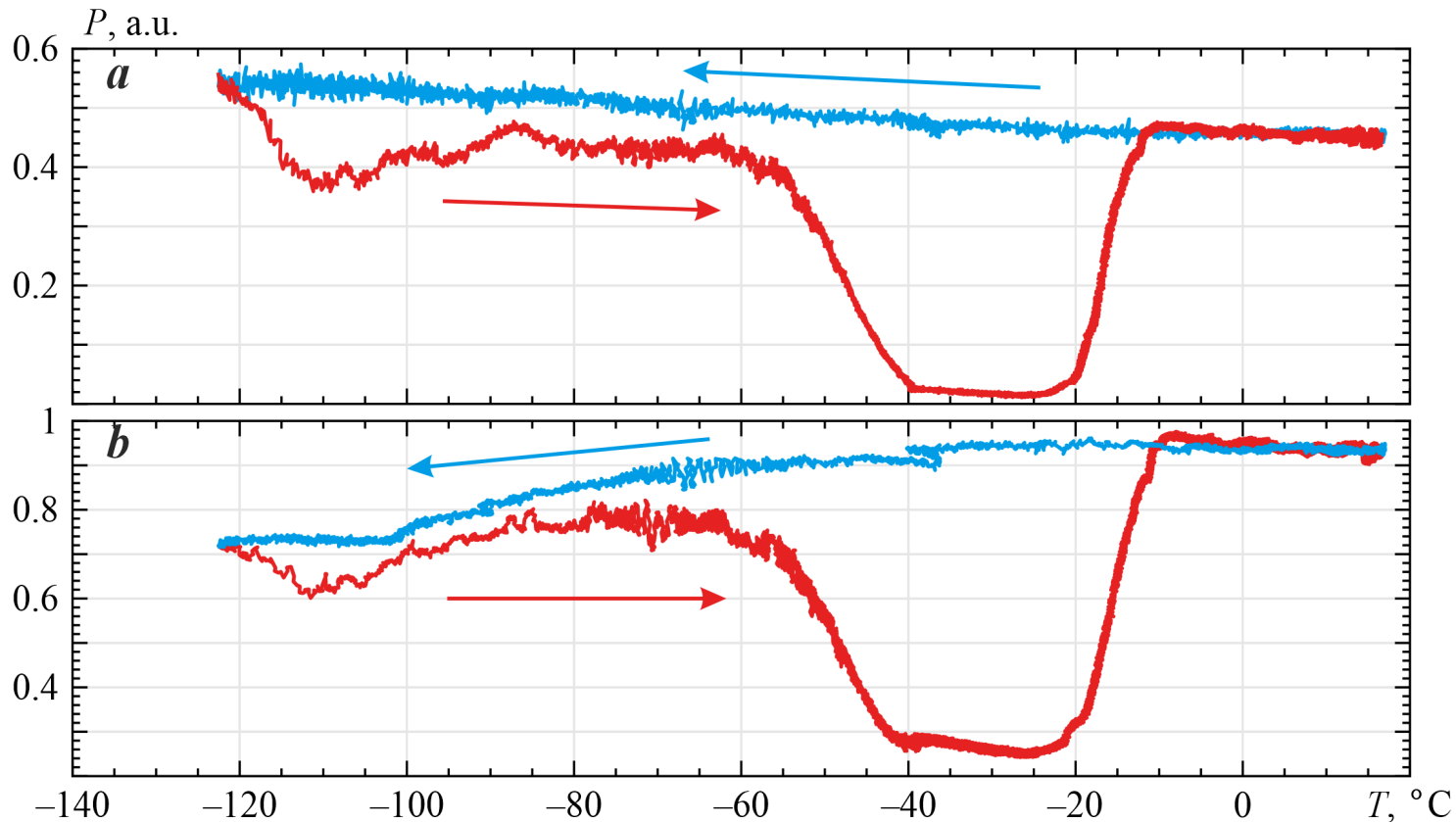
Вид сверху.  
1 – СВЧ-генератор;  
2 – вентилятор;  
3 – лазер;  
4 – термостат;  
5 – СВЧ-детектор;  
6 – фотодетектор;  
7 – система сбора информации.

# Результаты измерений



Мощность инфракрасного излучения, прошедшего через образец в виде слоя льда 0, осажденного на подложке из NaCl. Стрелки указывают направление изменения температуры во времени.

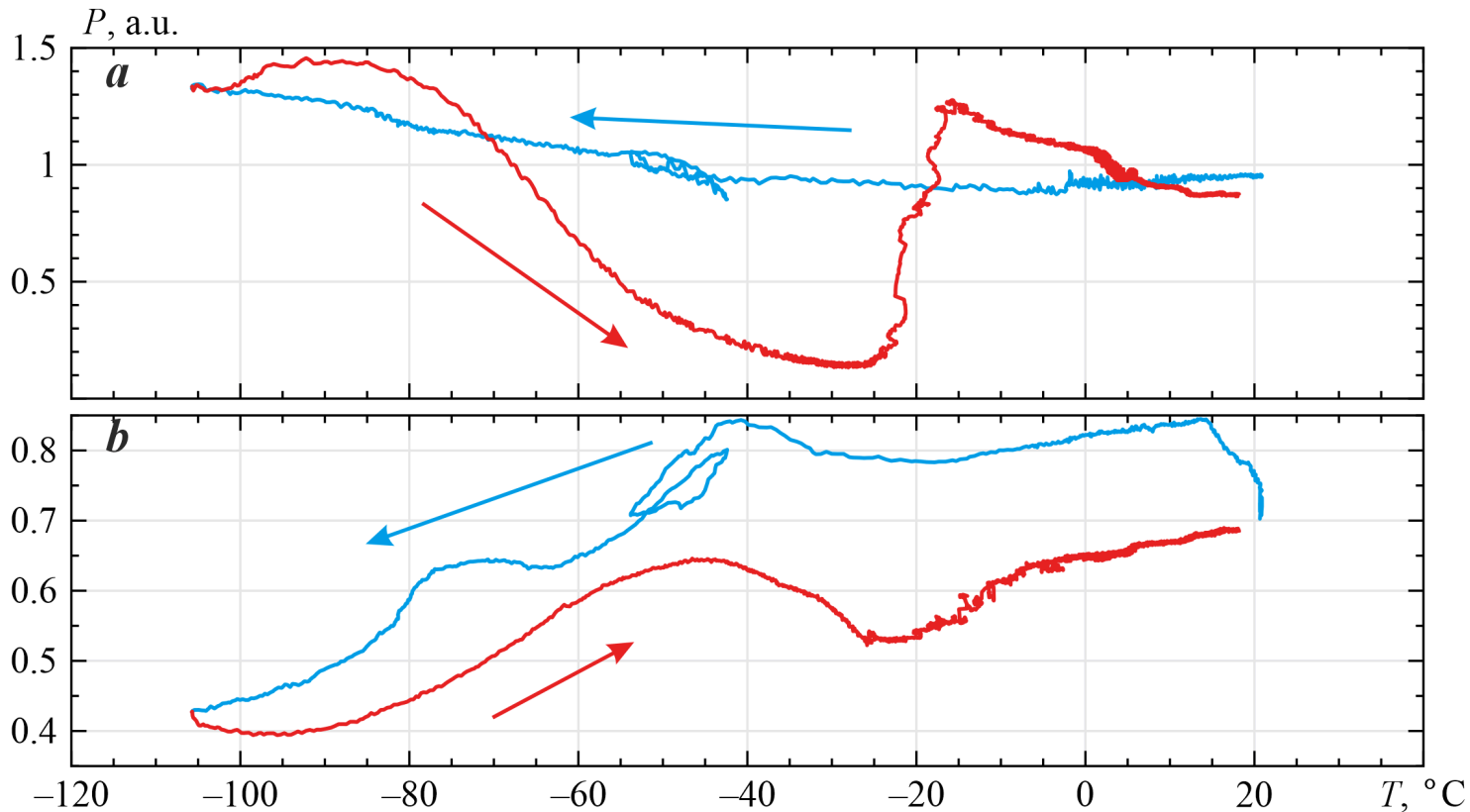
# Результаты измерений



Мощность излучения, прошедшего через образец в виде слоя льда 0, осажденного на подложке из кварцевого стекла.  
*a* – для ИК-диапазона;  
*b* – для видимого.



# Результаты измерений



Мощность излучения, прошедшего через образец в виде слоя льда 0, осажденного на подложке из кварцевого стекла.  
*a* – для видимого диапазона;  
*b* – для микроволнового (94 ГГц).

# Заключение

Падение мощности прошедшего через образец излучения наблюдали до температур  $-30\dots-23$  °С, где находится точка фазового перехода льда 0 в лед Ih. Как и в случае с лазером при разрушении льда 0 интенсивность проходящего излучения в ИК-диапазоне, а в некоторых случаях и на частоте 94 ГГц, выше температуры  $-23$  °С увеличивалась практически до значений в начале экспериментов. Кроме того были проведены эксперименты по осаждению пленки льда 0 на поверхности пластинки из льда Ih с целью проверки возможного подавления образования льда 0 уже существующими кристаллами гексагонального льда. Эти эксперименты показали, что образование льда 0 при конденсации водяного пара на поверхности кристаллов из льда Ih приводит к сильному поглощению и рассеянию электромагнитного излучения видимого диапазона. В ИК-диапазоне эксперимент не проводился в виду непрозрачности в нём льда Ih.





# Литература

- Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. М.: Мир, 1986. 664 с.
- Бордонский Г.С., Гурулев А.А., Орлов А.О. (2020а) Пропускание электромагнитного излучения видимого диапазона тонким слоем льда 0, конденсированного на диэлектрическую подложку // Письма в ЖЭТФ. 2020. Т. 111. № 5-6 (3). С. 311-315.
- Бордонский Г.С., Крылов С.Д., Гурулев А.А. (2020б) Лёд 0 в природной среде. Экспериментальные данные и предполагаемые области его существования // Лёд и снег. 2020. Т. 60. № 2. С. 263-273.
- Бордонский Г.С., Орлов А.О. Признаки возникновения льда «0» в увлажненных нанопористых средах при электромагнитных измерениях // Письма в ЖЭТФ. 2017. Т. 105. № 8. С. 483-488.
- Орлов А.О., Цыренжапов С.В. Методика исследования в ИК-диапазоне пленки льда 0, осажденной на диэлектрическую пластинку // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов. Материалы XXI Международной научно-практической конференции. В 3 ч. Чита, 2021. С. 163-168.
- Bordonskiy G.S., Gurulev A.A., Orlov A.O. The possibility of observing noctilucent clouds in microwave radiometric measurements // 25th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. Proc. SPIE. 2019. V. 11208. P. 270-274.
- Korobeynikov S.M., Melekhov A.V., Soloveitchik Yu.G., Royak M.E., Agoris D.P., Pyrgioti E. Surface conductivity at the interface between ceramics and transformer oil // Journal of Physics D: Applied Physics. 2005. V. 38. No. 6. P. 915-921.
- Russo J., Romano F., Tanaka H. New metastable form of ice and its role in the homogeneous crystallization of water // Nature materials. 2014. V. 13. P. 733-793.

**Благодарю за внимание!**