

Институт природных  
ресурсов, экологии и  
криологии СО РАН



# Особенности диэлектрических характеристик льда вблизи температуры фазового перехода

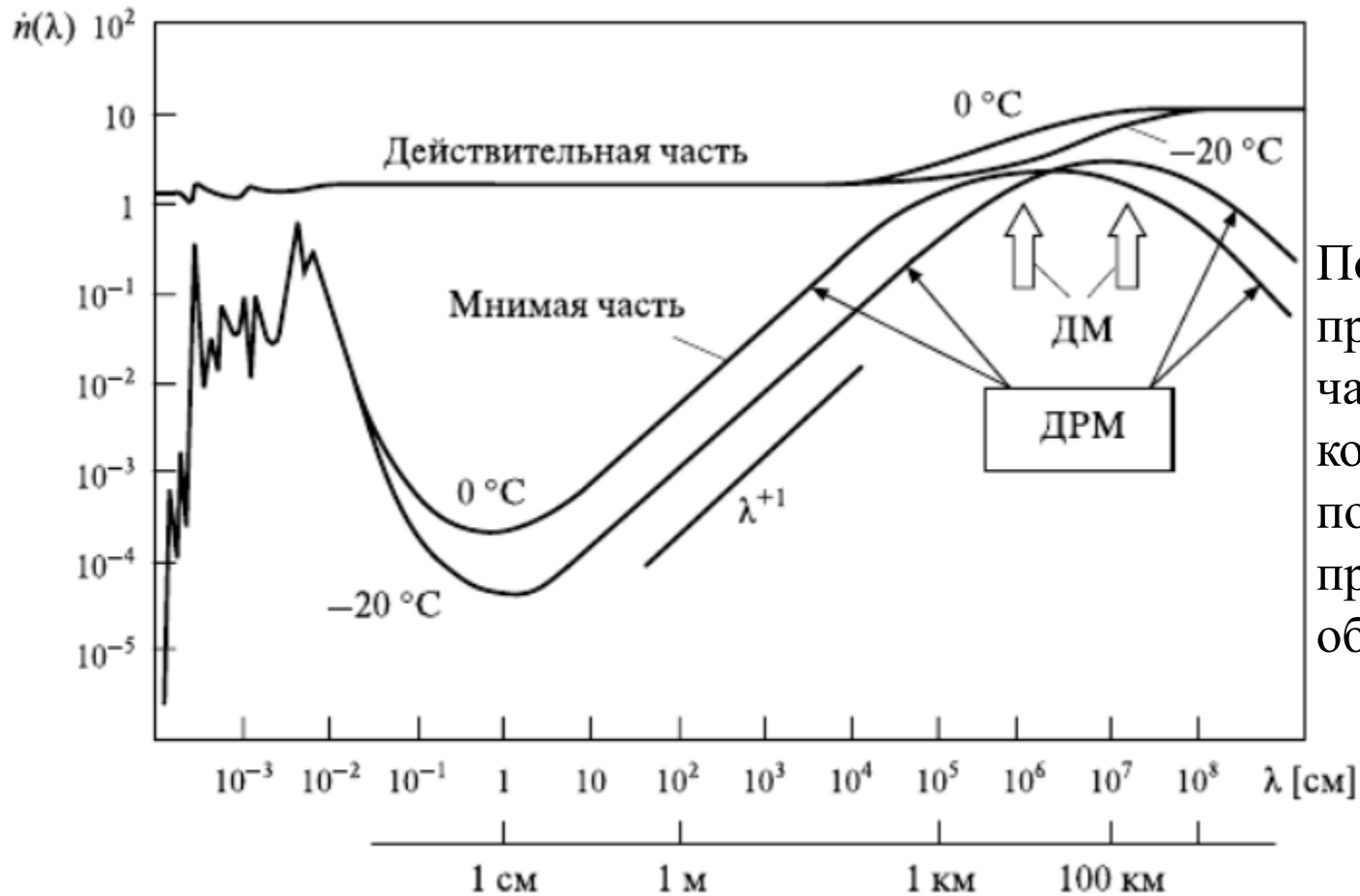
Бордонский Г.С. Казанцев В.А., Козлов А.К.  
email: [lgc255@mail.ru](mailto:lgc255@mail.ru)

# Актуальность



\*[https://svs.gsfc.nasa.gov/3615#section\\_credits](https://svs.gsfc.nasa.gov/3615#section_credits)

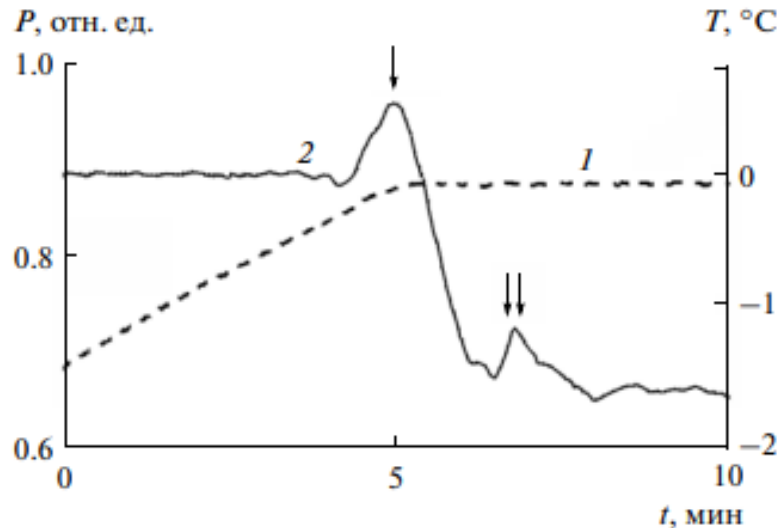
# Диэлектрическая проницаемость льда



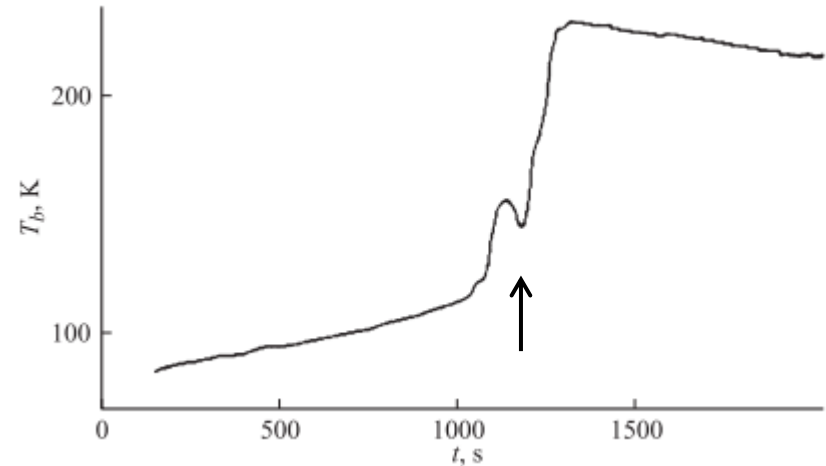
Полуколичественное представление частотных свойств комплексного показателя преломления для образцов льда

# Диэлектрические особенности льда

(микроволновый диапазон)



Зависимости изменения температуры блока льда (кривая 1) и проходящей мощности излучения (кривая 2) при его нагревании от времени. Частота измерений 90 ГГц, толщина блока 15 см.\*



Зависимость радиояркой температуры тающего блока льда при измерениях на просвет от времени. Частота измерений 34 ГГц, толщина блока 5 см. \*\*

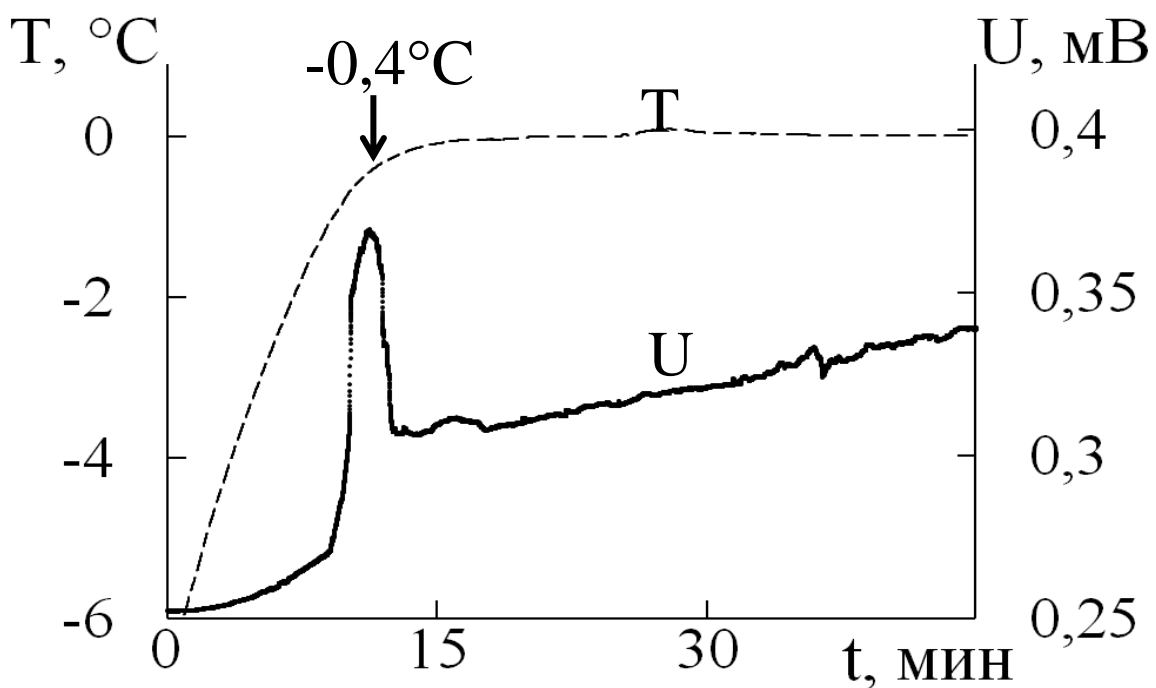
**(стрелками отмечены аномалии пропускания образцов льда вблизи  $0^{\circ}\text{C}$ )**

\* Бордонский Г. С. Гурулева А. А., Крылов С. Д. "Просветление" льда в микроволновом диапазоне при текучести // Письма в Журнал технической физики. 2009. Т. 35, № 22. С. 46-54.

\*\* Бордонский Г. С., Гурулев А. А., Крылов С. Д. Электромагнитные потери пресного льда в микроволновом диапазоне при  $0^{\circ}\text{C}$  // Радиотехника и электроника. 2014. Т. 59. № 6. С. 587. DOI: 10.7868/S0033849414060060.

# Диэлектрические особенности льда

(видимый диапазон)



Температура льда (штриховая линия) и мощность проходящего линейно поляризованного видимого излучения через образец в зависимости от времени на длине волны 535 нм. Регистрируемая мощность представлена в единицах напряжения фотодетектора (U).

\*Бордонский Г.С. и др. Экспериментальное обнаружение просветления пресного льда в оптическом диапазоне вблизи 0°C // Оптика и спектроскопия. – 2023. – Т. 131, № 10. – С. 1374-1379.

## Задачи исследования

- Установить пределы изменения диэлектрической проницаемости во время эффекта «просветления»;
- Оценить изменения радиояркостной температуры во время просветления на различных поляризациях в зависимости от расположения базисных плоскостей кристаллов льда;
- Установить изменения коэффициента обратного рассеяния во время эффекта.

# Резонаторные измерения (лед)

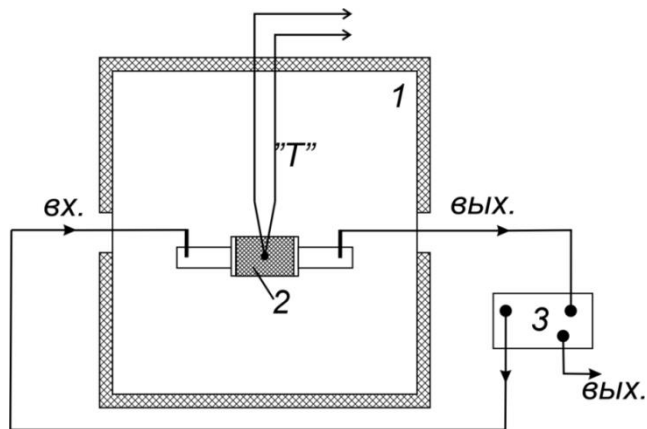
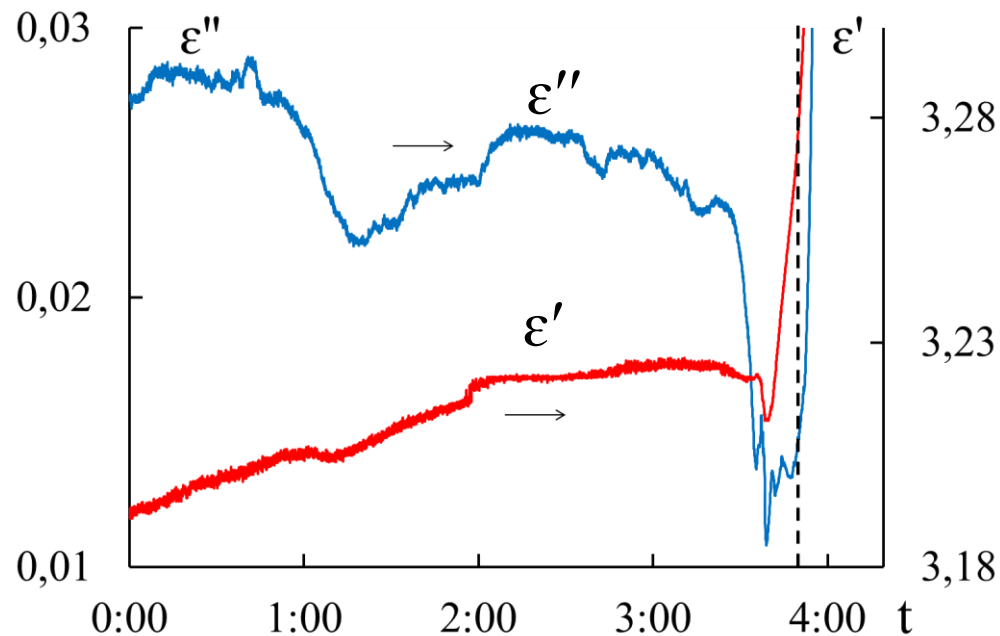
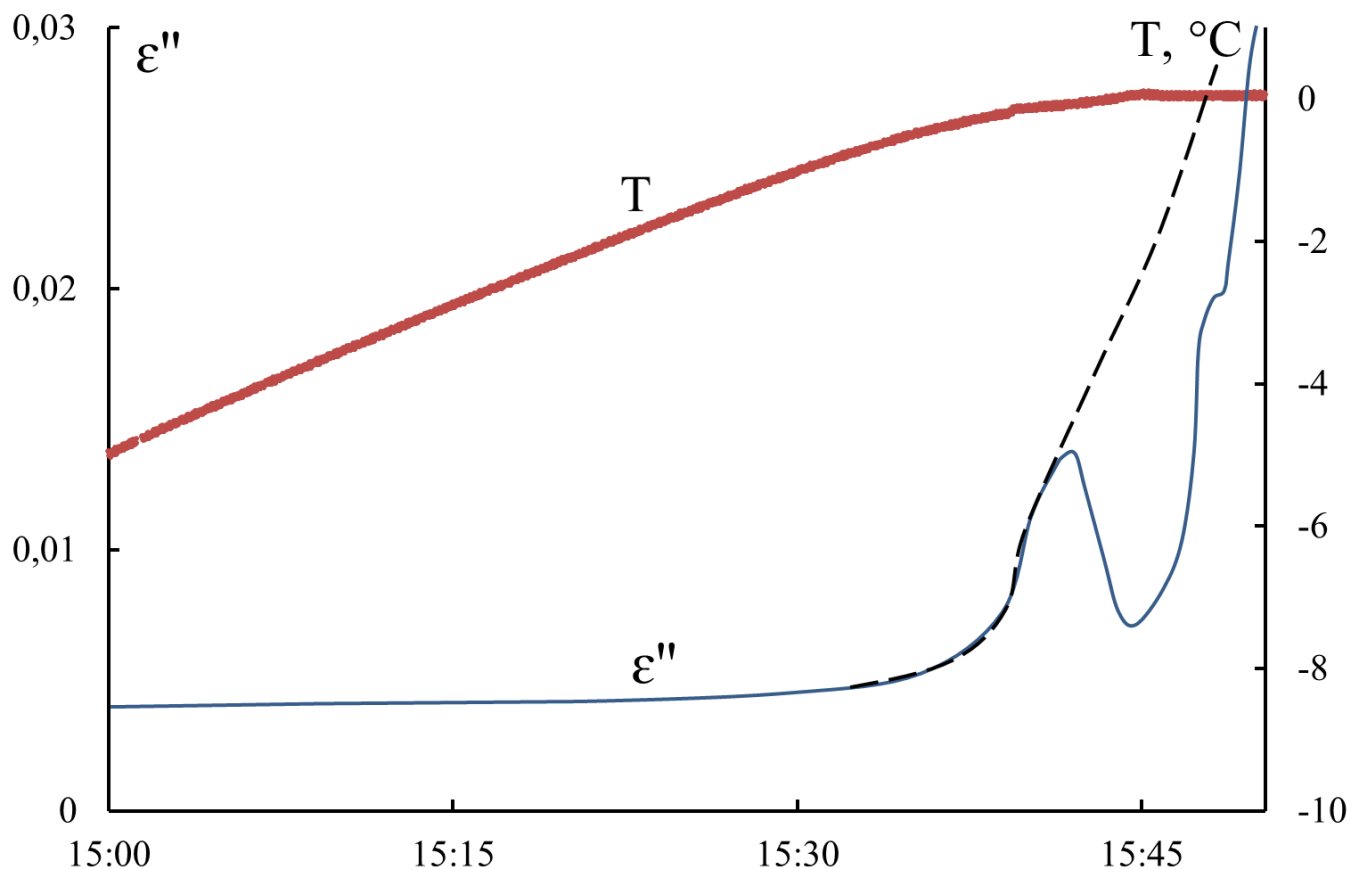


Схема экспериментальной установки для исследования диэлектрических характеристик льда. 1 – климатическая камера, 2 – резонатор типа Н101 с внутренними размерами 58 мм×26 мм×25 мм, 3 – скалярный анализатор, «Т» – датчик температуры.



Зависимость  $\epsilon'$  и  $\epsilon''$  льда при его нагревании от времени ( $t$ ); измерения вблизи 3,4 ГГц; штриховая линия – начало таяния образца при 0 °С. Вектор  $\vec{E}$  направлен перпендикулярно базисным плоскостям кристаллов льда.

# Диэлектрические характеристики снега



Зависимость мнимой части комплексной диэлектрической проницаемости ( $\epsilon''$ ) и температуры ( $T$ ) от времени при нагревании образца от  $-5^{\circ}\text{C}$ . Частота 5,6 ГГц.

\*Казанцев В.А. Козлов А.К. Особенности диэлектрических характеристик свежесвыпавшего снега на частоте 5,6 ГГц вблизи температуры фазового перехода лед-вода // Материалы 21-й Международной конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". 2023. С. 285



# Радиометрические измерения

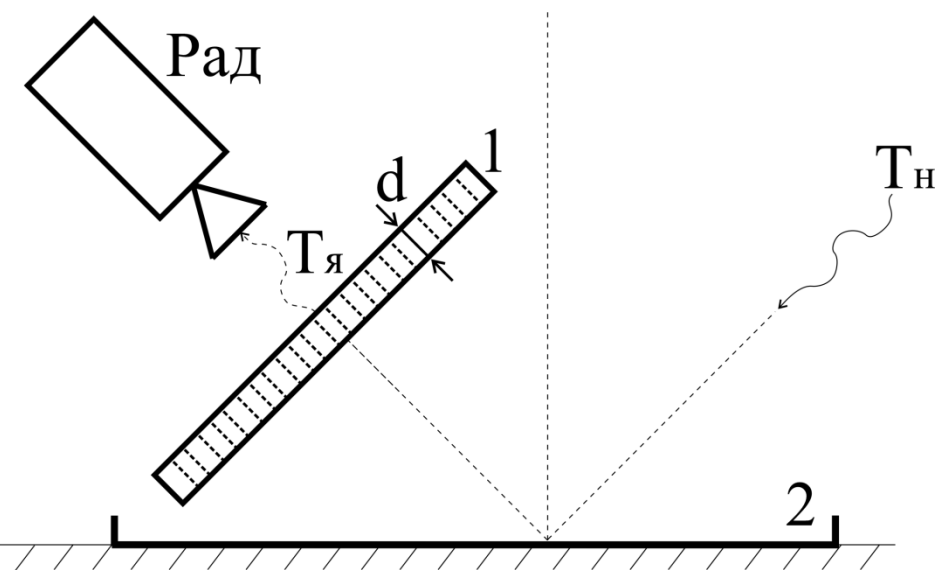
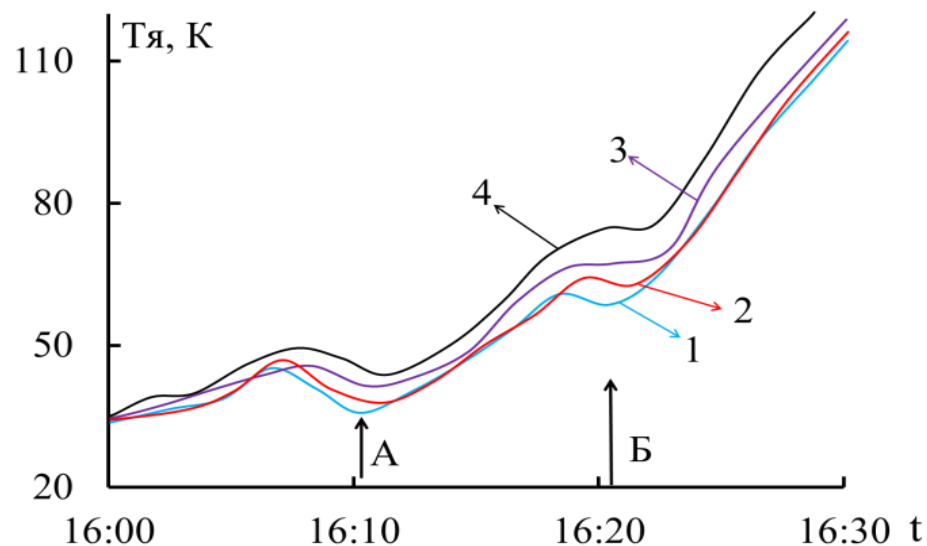


Схема экспериментальной установки для исследования теплового излучения образцов льда на фоне холодного неба. Рад – поляризационный микроволновый радиометр на частоту 34 ГГц, 1 – плоскопараллельная пластина льда размерами 1000мм×400мм×100мм,  $T_{\text{н}}$  – радиояркостная температура неба, 2 – металлический лист.



Результаты изменение радиояркостной температуры образца льда со временем (для 1 – «ГП», 2 – «+45°», 3 – «-45°», 4 – «ВП»). Стрелками отмечены области просветления льда

# Измерения мощности проходящего и отраженного излучения

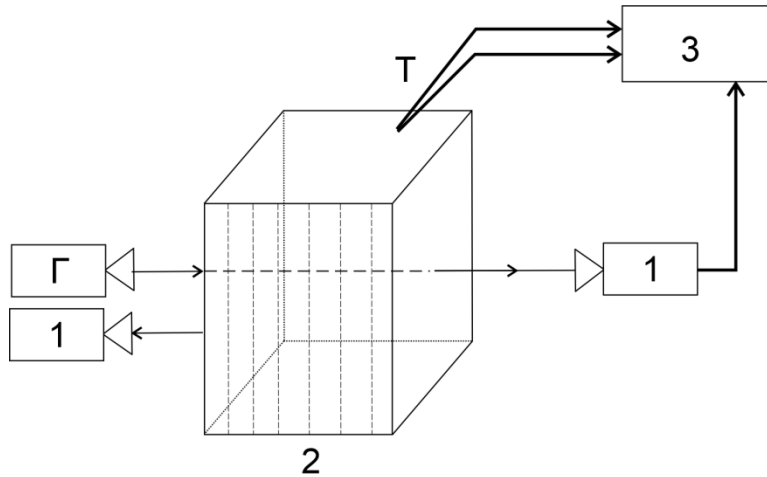


Схема экспериментальной установки для исследования проходящего и отраженного излучения через образец льда.

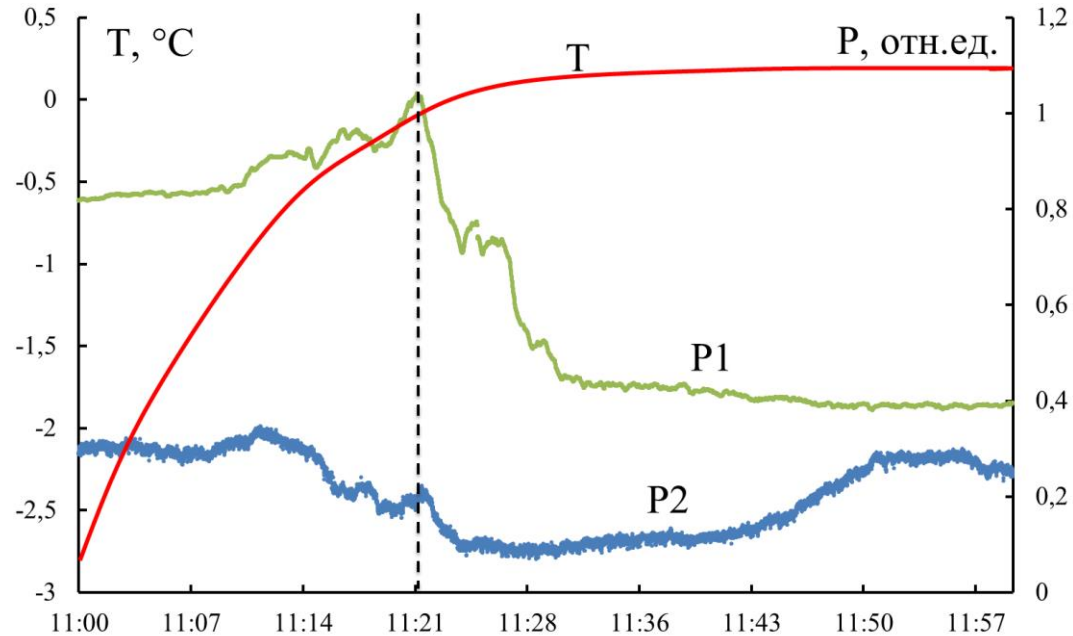
Г – генератор ( $\lambda = 1,4$  см),

1 – приемник,

2 – плоскопараллельная пластина льда размерами 270мм×100мм×260мм,

3 – система сбора данных,

Т - термопара



Мощность проходящего (P1) и отраженного (P2) сигнала через образец льда в относительных единицах

## Выводы

- Обнаружено уменьшение значений действительной и мнимой частей ( $\Delta \epsilon''$ ) относительной комплексной диэлектрической проницаемости льда ( $\Delta \epsilon'' \sim$  в 2...5 раз) и свежеснега ( $\Delta \epsilon'' \sim$  в 1,5 раза) вблизи температуры фазового перехода лед-вода.
- Обнаружено  $\Delta T_g \sim 10...12$  К.
- Необходимо учитывать эффект «просветления» при радиометрических измерениях криогенных образований вблизи температуры  $0^\circ\text{C}$ .
- Необходимы дальнейшие исследования диэлектрических особенностей льда вблизи температуры фазового перехода лед-вода.

***Благодарю за внимание!***

**lgc255@mail.ru**