

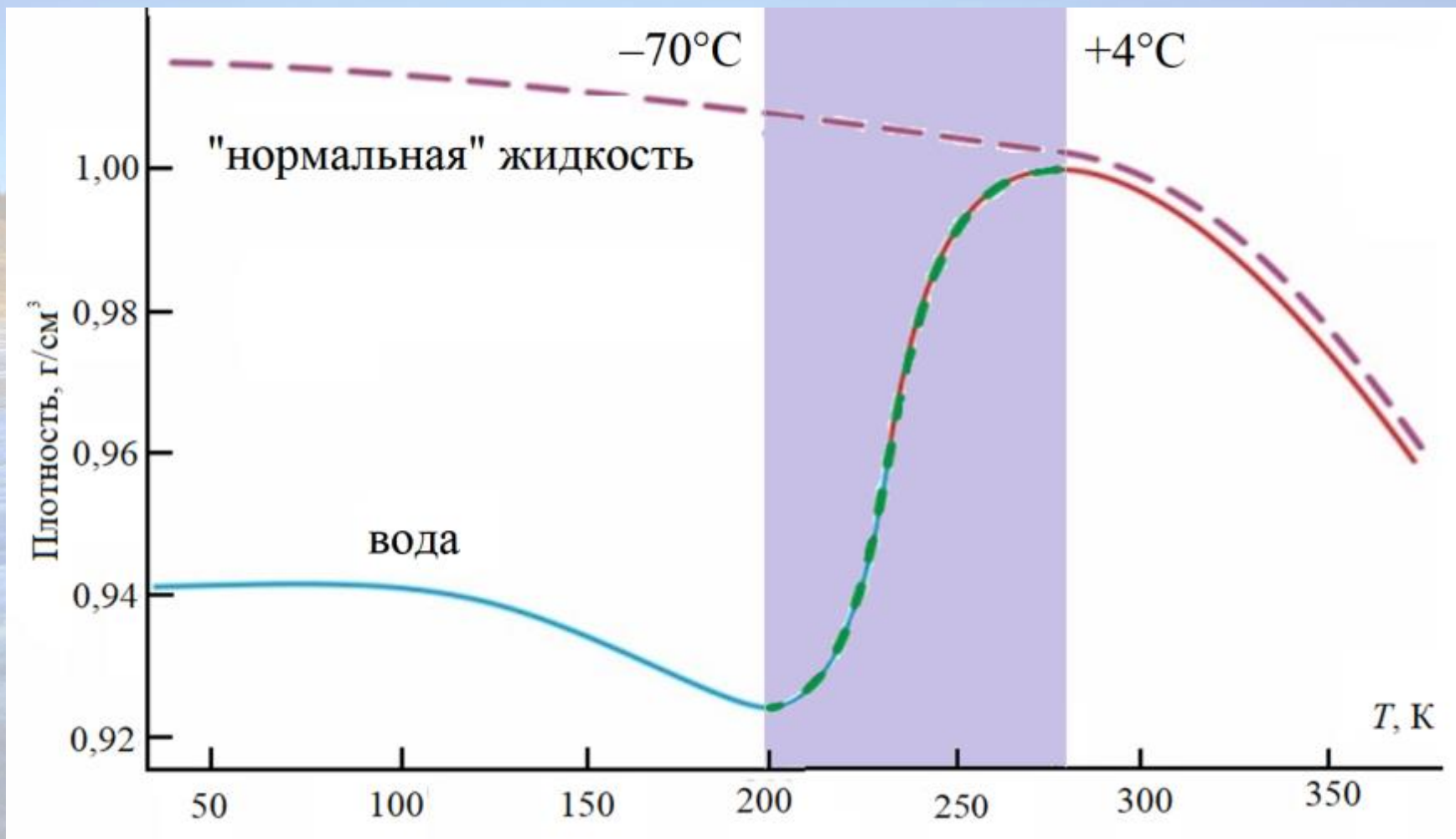
Дистанционное зондирование холодной и переохлажденной воды – особого объекта гидросферы

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

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН

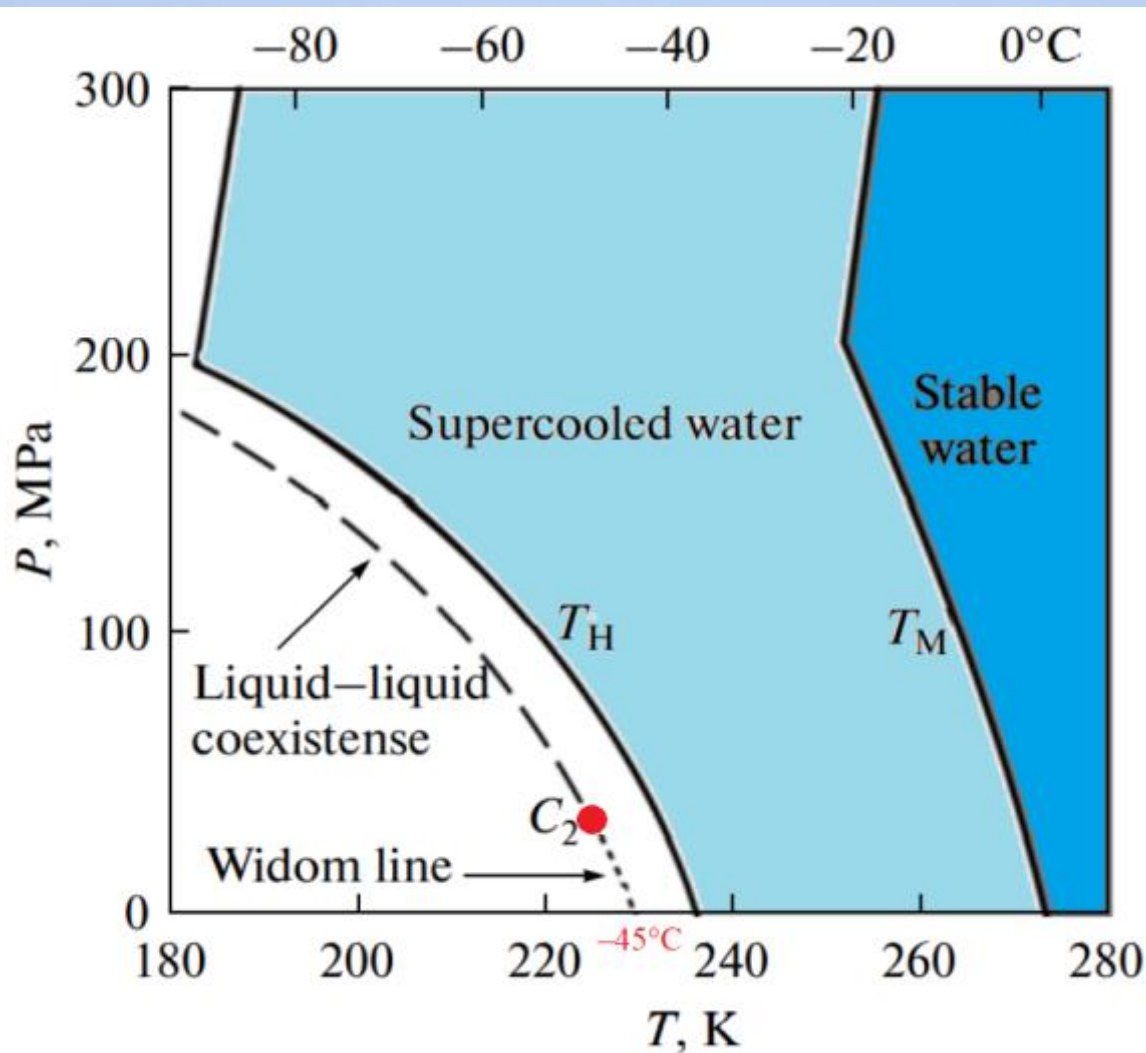
lgc255@mail.ru

Аномалия плотности воды (при давлении 1 бар)



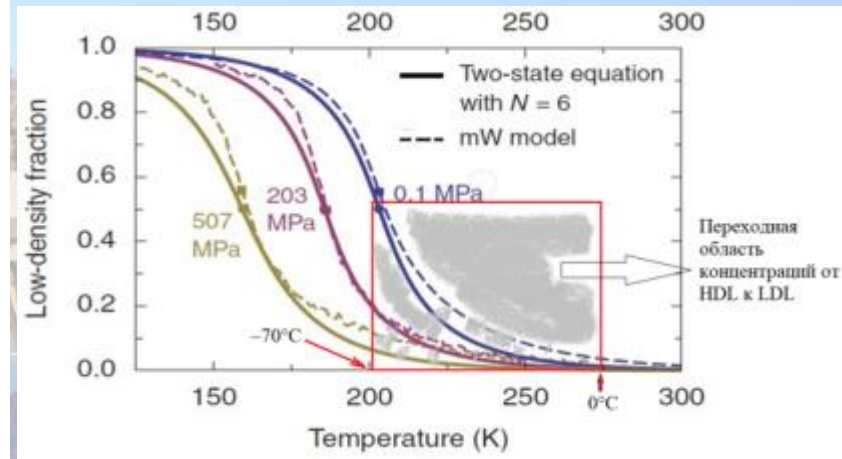
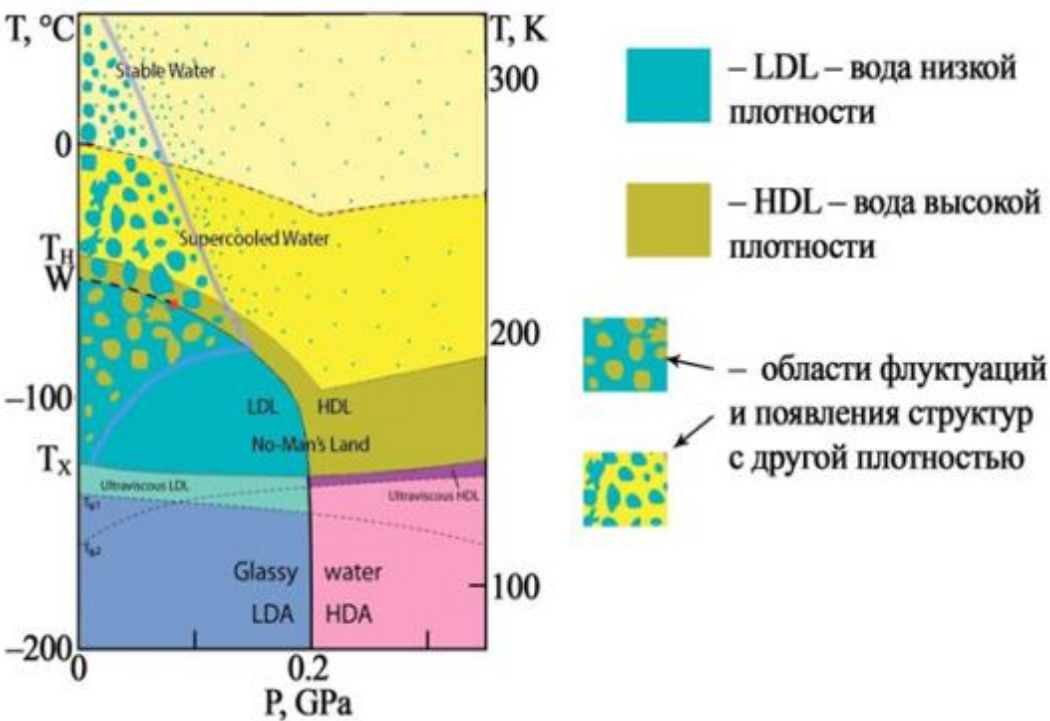
Фазовая диаграмма объемной воды

3



C_2 – положение второй критической точки воды;
 T_H – температура гомогенной нуклеации;
 T_M – температура фазового перехода вода-лед.

Фазовая диаграмма жидкой воды и зависимость концентрации LDL от температуры



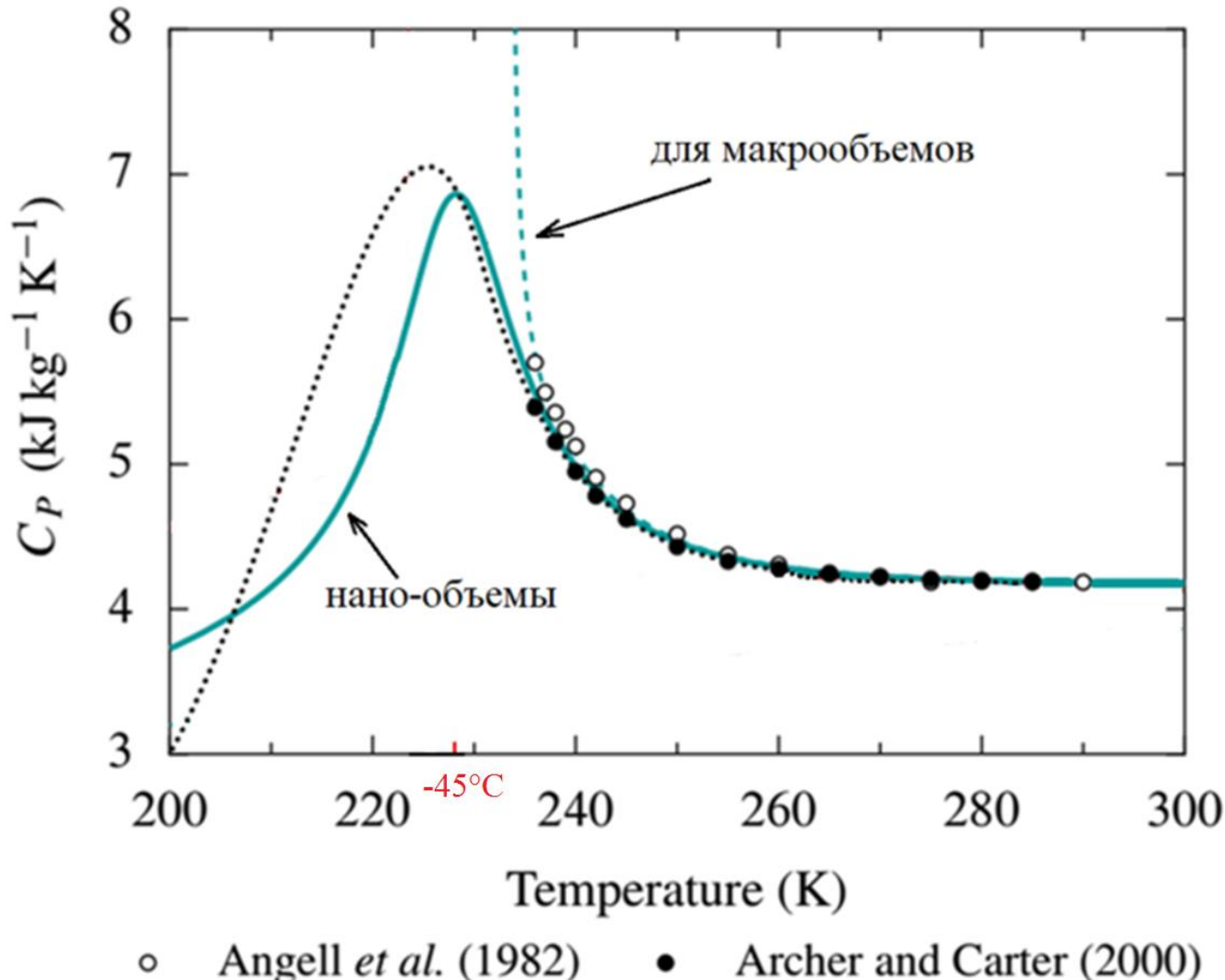
Зависимость концентрации LDL от температуры (Holten et al., 2013)

Фазовая диаграмма жидкой воды.
 T_H – значение температуры гомогенной нуклеации, T_X – температура стеклования, W – линия Видома (Perakis F. et. al., 2017)

Фундаментальные свойства холодной и переохлажденной воды определяются переходной концентрацией LDL–HDL

Термодинамические аномалии

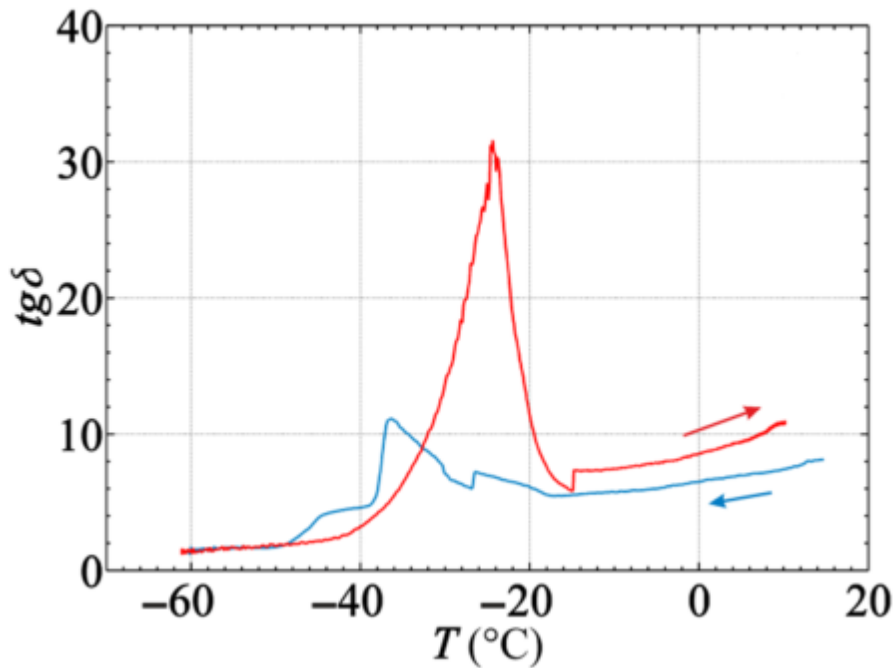
Теплоёмкость при постоянном давлении C_p в функции температуры вблизи давления 1 бар. Сплошная и штриховая линии – расчёты; символы – экспериментальные данные (Angell et al., 1982; Archer, Carter, 2000)



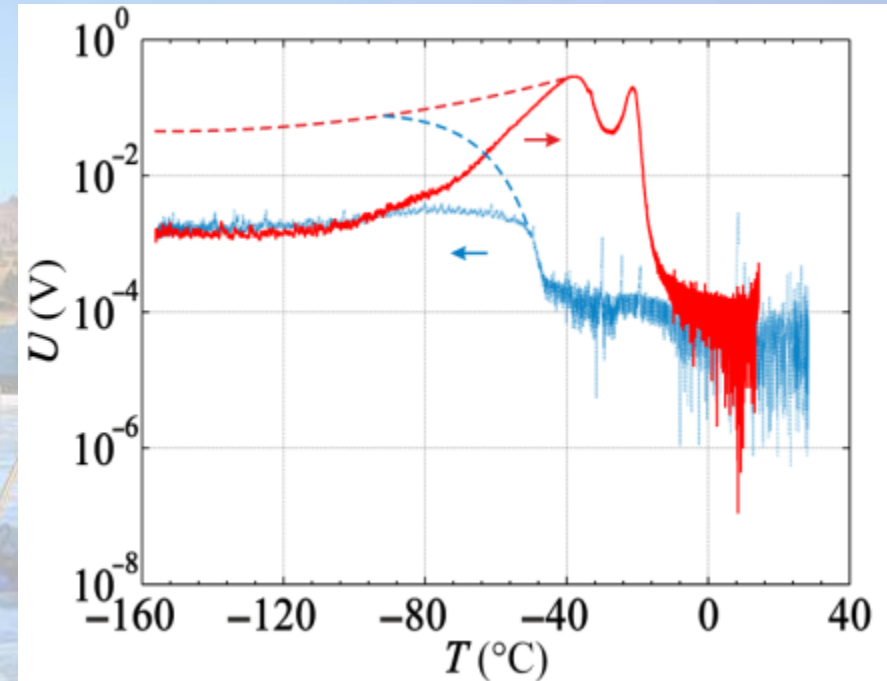
C_p стремится к бесконечности на линии Видома

Электромагнитные аномалии

Доказательство существования фазового перехода при -23°C



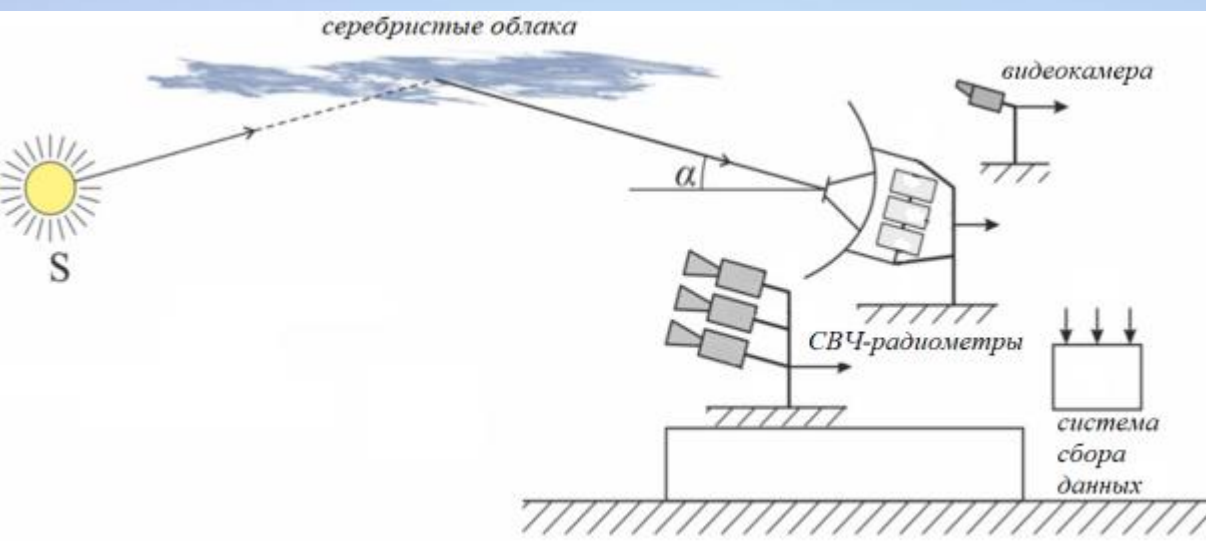
Изменение тангенса угла диэлектрических потерь емкостной ячейки с SBA-15 на частоте 1 кГц в зависимости от температуры среды. Весовая влажность материала 40 %.



Среднее значение амплитуды напряжения шумов образца SBA-15 в полосе частот 1–100 Гц на выходе усилителя в зависимости от температуры в цикле охлаждения–нагревание среды. Весовая влажность образца 110 %.

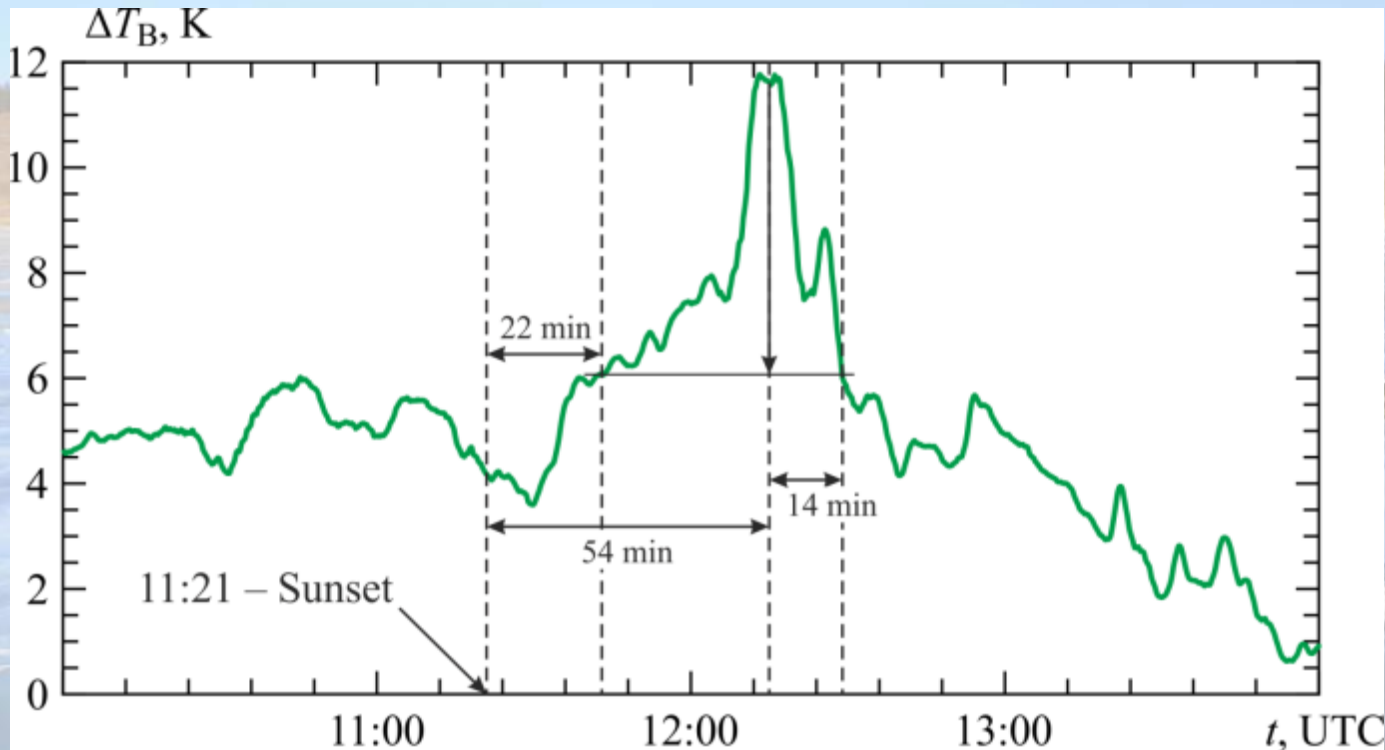
Бордонский Г.С., Орлов А.О. Исследование сегнетоэлектрических фазовых переходов воды в нанопористых силикатах при совместных электрических шумовых и калориметрических измерениях // Физика твердого тела. 2014. Т. 56. № 8. С. 1575-1582.

Методика радиометрического обнаружения серебристых облаков в миллиметровом диапазоне

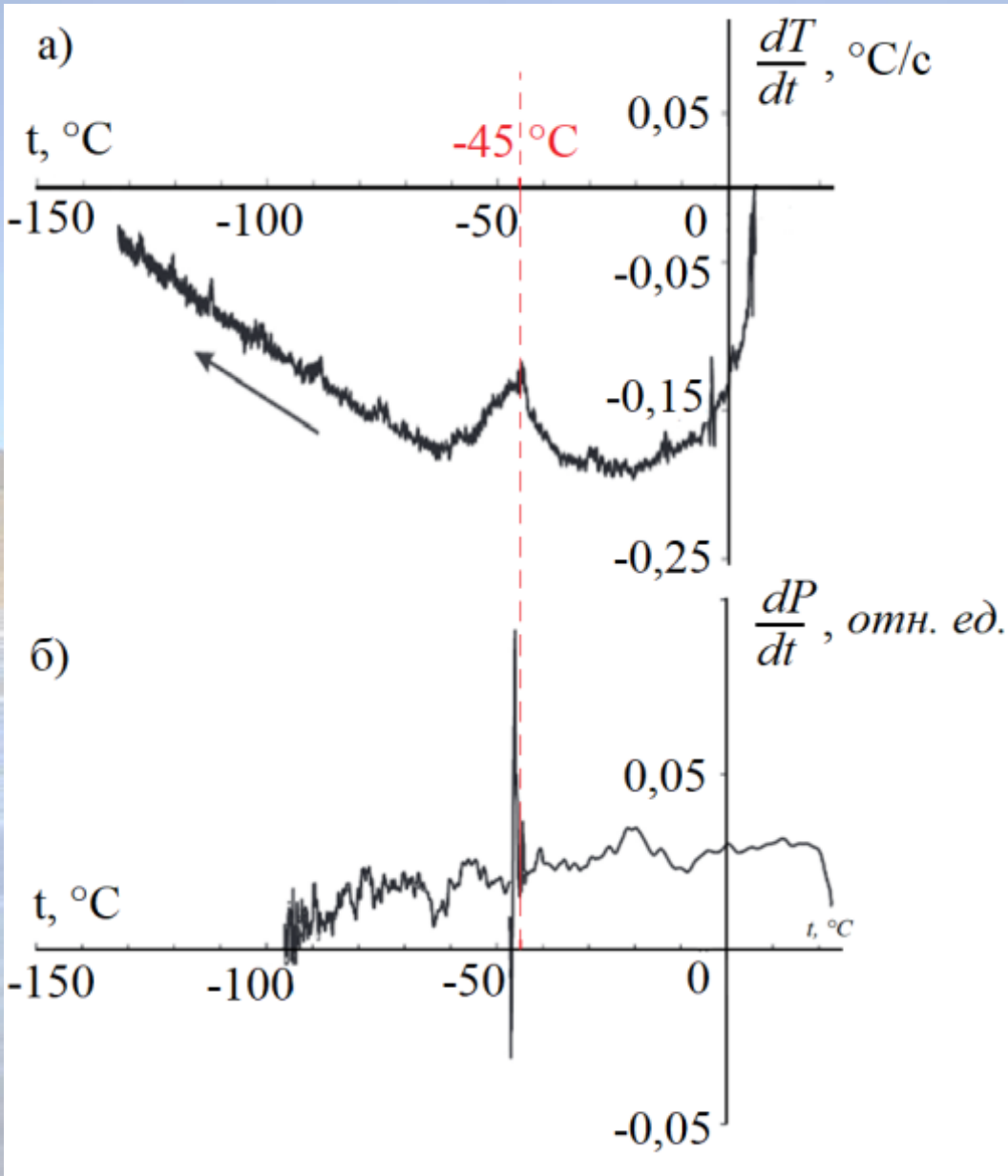


Бордонский Г.С., Крылов С.Д., Гурулев А.А. Лёд θ в природной среде. экспериментальные данные и предполагаемые области его существования // Лёд и снег. 2020. Т. 60. № 2. С. 263-273.

Высказана гипотеза о том, что серебристые облака образуются при конденсации пара на пылевых частицах с образованием глубоко переохлажденной воды и последующим образованием ледяных частиц из льда 0



Среднее значение повышения яркостной температуры на четырех длин волн от 1,4 см до 0,24 см.



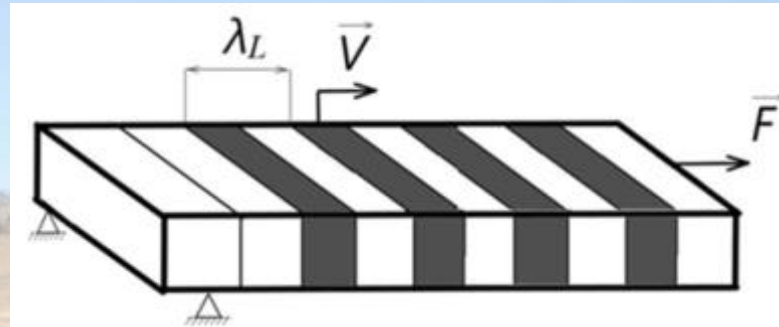
Экспериментальное доказательство существования линии Видома по особенностям поведения водорода в нанопористом силикате при -45°C и атмосферном давлении на частоте 34 ГГц.

а) термометрия: производная температуры по времени

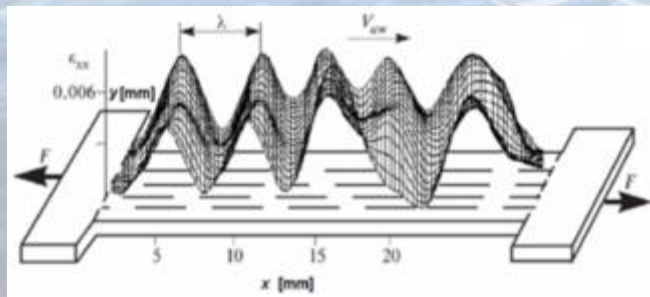
б) измерение проходящей мощности

Бордонский Г.С., Гурулев А.А. Экспериментальное доказательство существования линии видома по особенностям поведения водорода в нанопористом силикате при -45°C и атмосферном давлении // Письма в Журнал технической физики. 2017. Т. 43. № 8. С. 34-40.

Автоволны локализованного пластического течения пресного льда

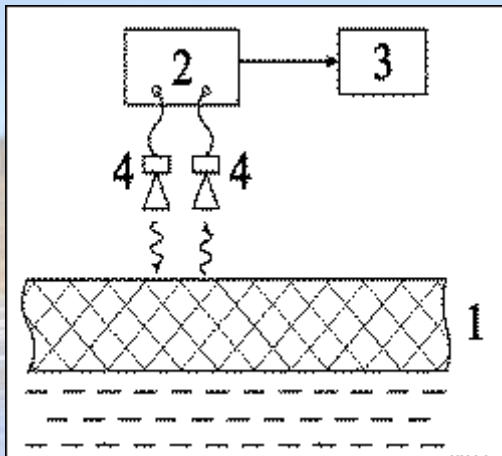


Тонкая пластина, выделенная из объема кристаллического тела с чередованием областей отсутствия пластического течения (кристаллическое состояние – светлые полосы) и подвергающейся пластическому течению (среда с нарушенными водородными связями – темные полосы). λ_L – длина волны, V – скорость распространения волны течения, F – растягивающая сила.



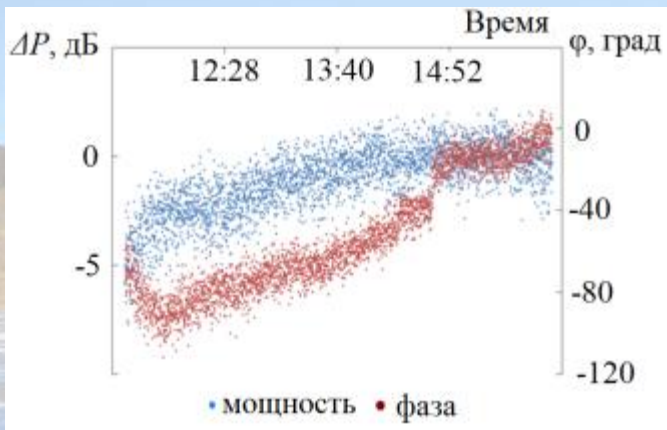
Пример локализации пластического течения на стадии линейного деформированного упрочнения в монокристалле железа. ϵ_{xx} – компонента тензора пластической деформации [Зуев, 2019].

Методика исследований деформаций пресных ледяных покровов с целью поиска волн течений

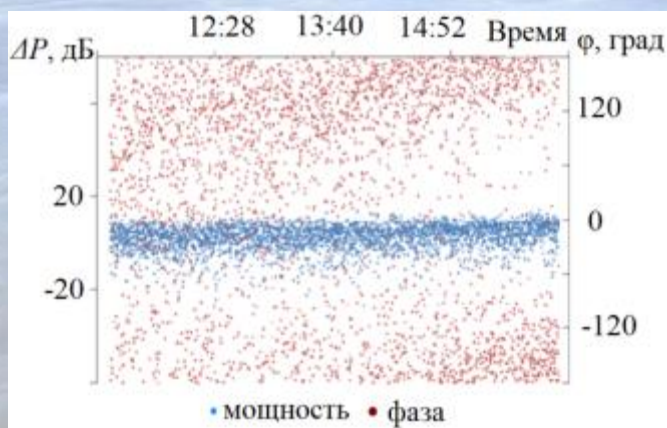


- 1 – ледяной покров;
- 2 – векторный анализатор цепей;
- 3 – система сбора данных;
- 4 – антенны.

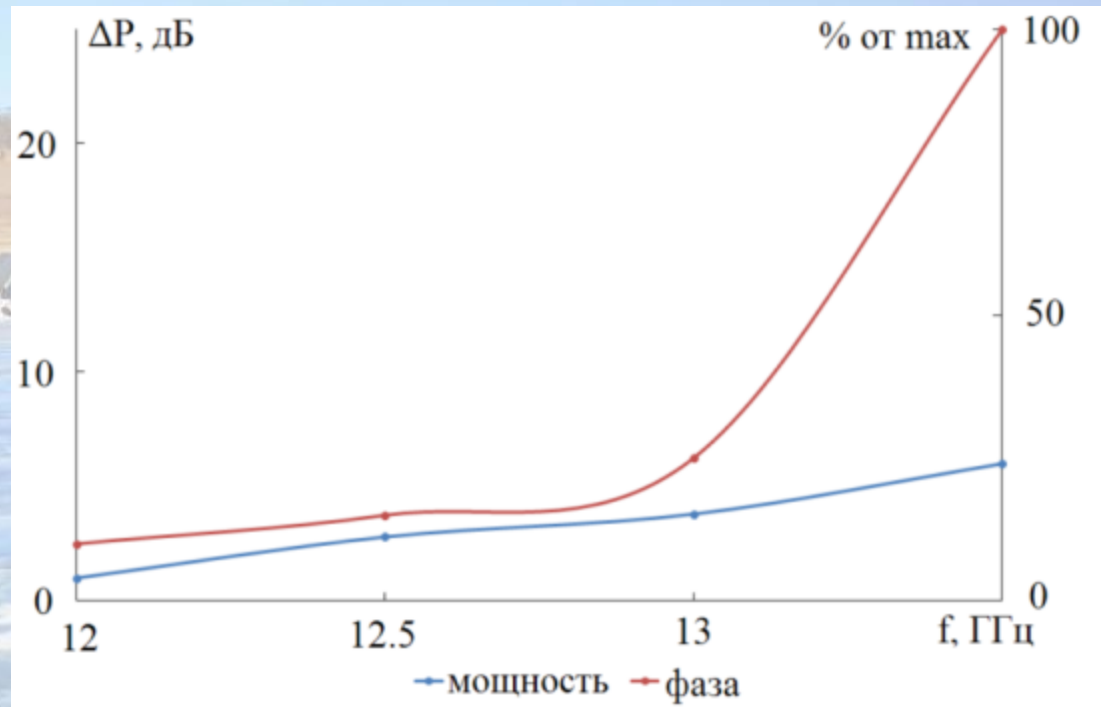
Средние значения флуктуаций фазы и мощности отраженного излучения от частоты для ледяного покрова вблизи температуры фазового перехода лед-вода



$f=12$ ГГц

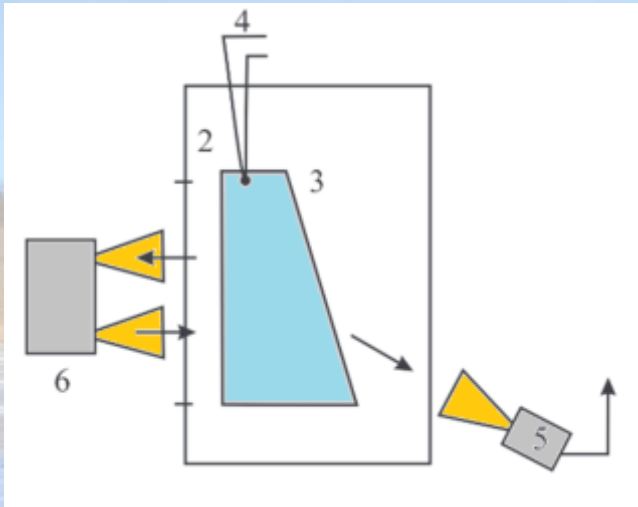


$f=13,5$ ГГц

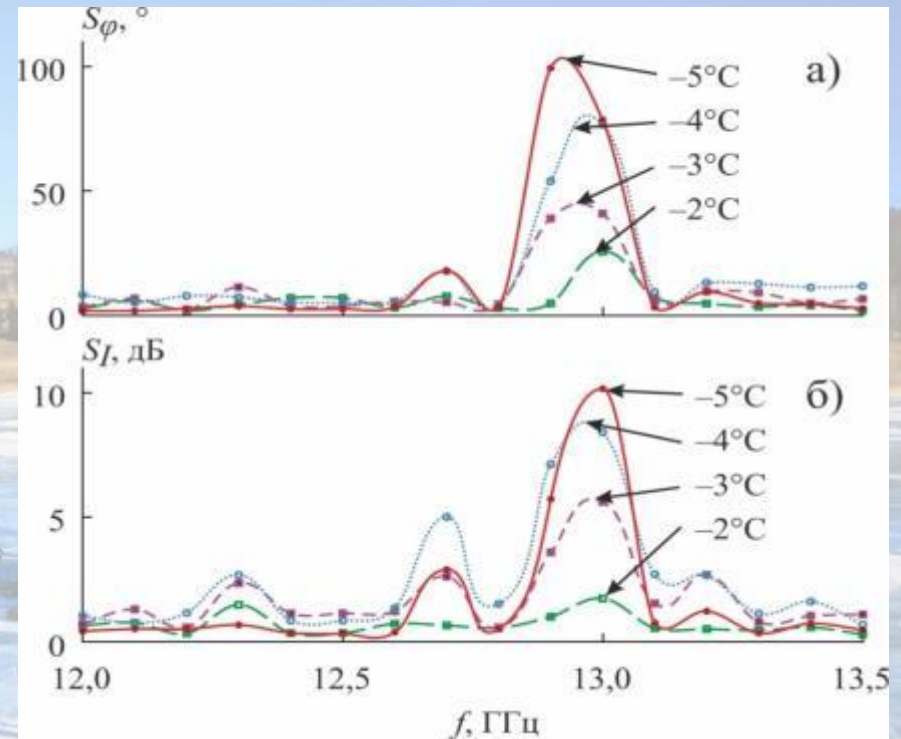


Сильные флуктуации фазы коэффициента отражения, связанные с появлением периодических структур (решетки из льда и воды)

Лабораторные измерения



- 1 – генератор микроволнового излучения;
- 2 – программируемая климатическая камера;
- 3 – образец;
- 4 – термопара для измерения температуры образца;
- 5 – приемник излучения;
- 6 – векторный анализатор сигналов



Зависимости значений:
 а) – стандартного отклонения фазы;
 б) – интенсивности в зависимости от частоты при различных температурах льда

Поиск возможного схода ледников (Патент на изобретение RU 2742051 С1)

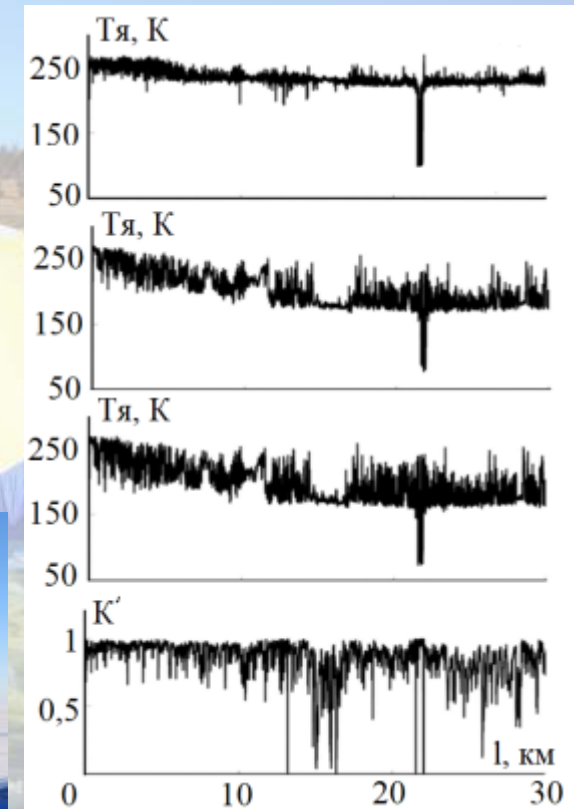
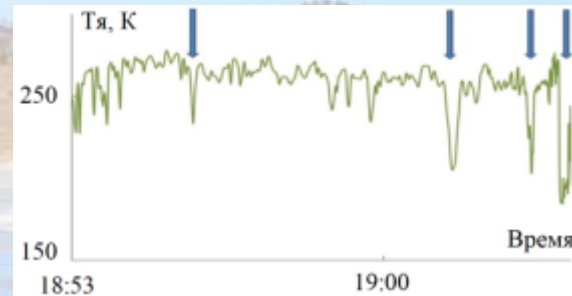


а) предполагаемая схема радиозондирования с использованием радиолокатора с синтезированной апертурой в диапазонах, близких длинам автоволн пластического течения;

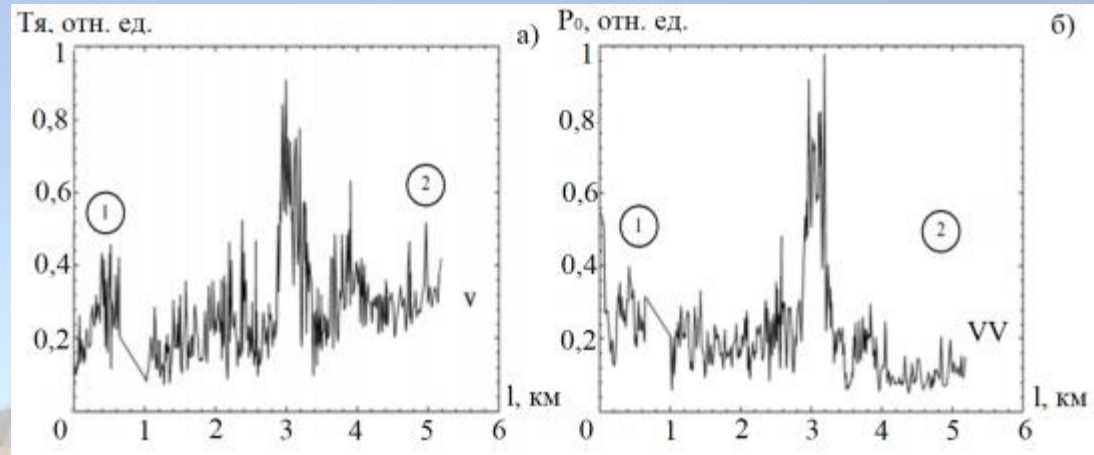
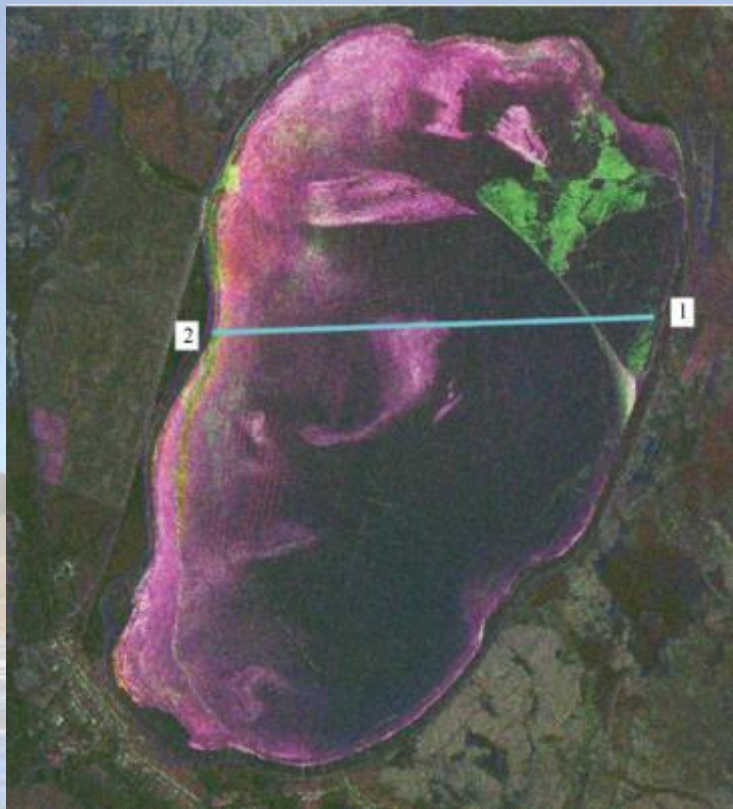
б) ожидаемая более «яркая» область ледника на радиоизображении, где возникают периодические структуры в начальной стадии скольжения ледников, рассеивающие излучение радара

Гурулев А.А., Бордонский Г.С., Орлов А.О. Способ определения начальной стадии деформации наблюдаемого с космического аппарата ледника // Патент на изобретение 2742051 С1, 02.02.2021. Заявка № 2020104654 от 31.01.2020.

Трассовые записи радиояркостной температуры на оз. Байкал



1. Для анализа данных необходимо знание ε' и ε'' холодной воды
2. Открытая воды в интервале $0...+4$ °С широко распространена в природной среде



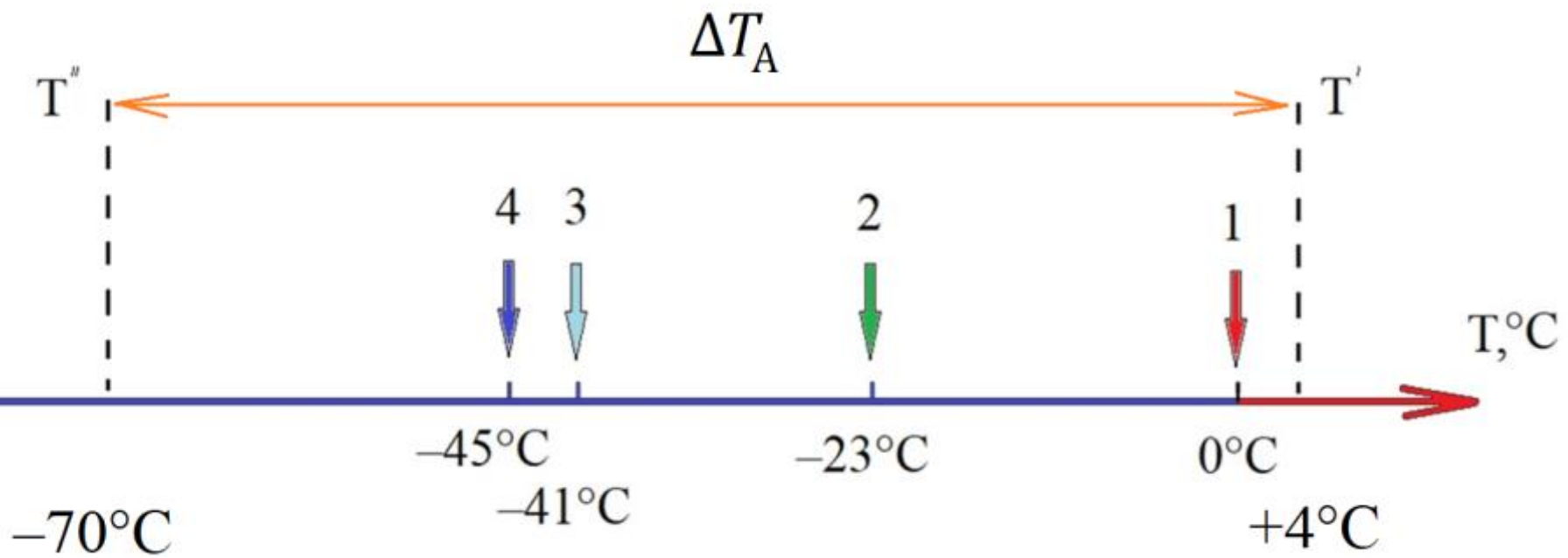
Трассовая автомобильная запись
(а) радиояростной температуры $Tя$ и (б)
мощности обратного рассеяния P_0
ледяного покрова эвтрофированного оз.
Шакшинское (Забайкальский край) в
относительных единицах.

2013 г.

$\alpha = 45^\circ$, $L_0 \sim 1$ м, $\lambda = 2,3$ см и 5,6 см

*Рассеяние создают вмороженные в лед
фрагменты растительности, содержащие
незамёрзшую воду при $t < 0^\circ\text{C}$*

Радарное изображение ледяного
покрова оз. Шакшинское. $\lambda = 3$ см. Март
2012 г. $L_0 \sim 3$ м (синтезир. ГГ+ВВ)



Шкала температур фазовых переходов объемной жидкой воды в области отрицательных температур при давлении 0,1 МПа: 1 – точка перехода жидкость – твердое тело, 2 – граница образования льда 0 из переохлажденной воды, 3 – температура гомогенной нуклеации, 4 – точка на линии Видома, исходящей из второй критической точки, штриховые линии соответствуют T' и T'' – границы областей ΔT_A , где существует холодная и переохлажденная вода с аномалиями физических характеристик. $T' = +4...5^\circ\text{C}$, $T_0 = 0^\circ\text{C}$, $T_x = -23^\circ\text{C}$, $T_\Gamma = -41^\circ\text{C}$, $T_B = -45^\circ\text{C}$, $T'' = -68^\circ\text{C}...-70^\circ\text{C}$

Выводы

В диапазоне температур $-70\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +4\text{ }^{\circ}\text{C}$ для холодной воды существуют электрофизические аномалии, которые проявляются в разнообразных процессах

- при фазовых превращениях (лед 0 ($t = -23\text{ }^{\circ}\text{C}$));
- ускорении химических реакций (линия Видома ($t = -45\text{ }^{\circ}\text{C}$));
- пластическом течении льда (возникновение дифракционных решеток — чередование кристаллической и текучей (жидкой) компонент ($t < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$)).

Благодарю за внимание!

