

Поиск льда 0 в переохлажденном водном аэрозоле по собственному тепловому излучению в микроволновом диапазоне

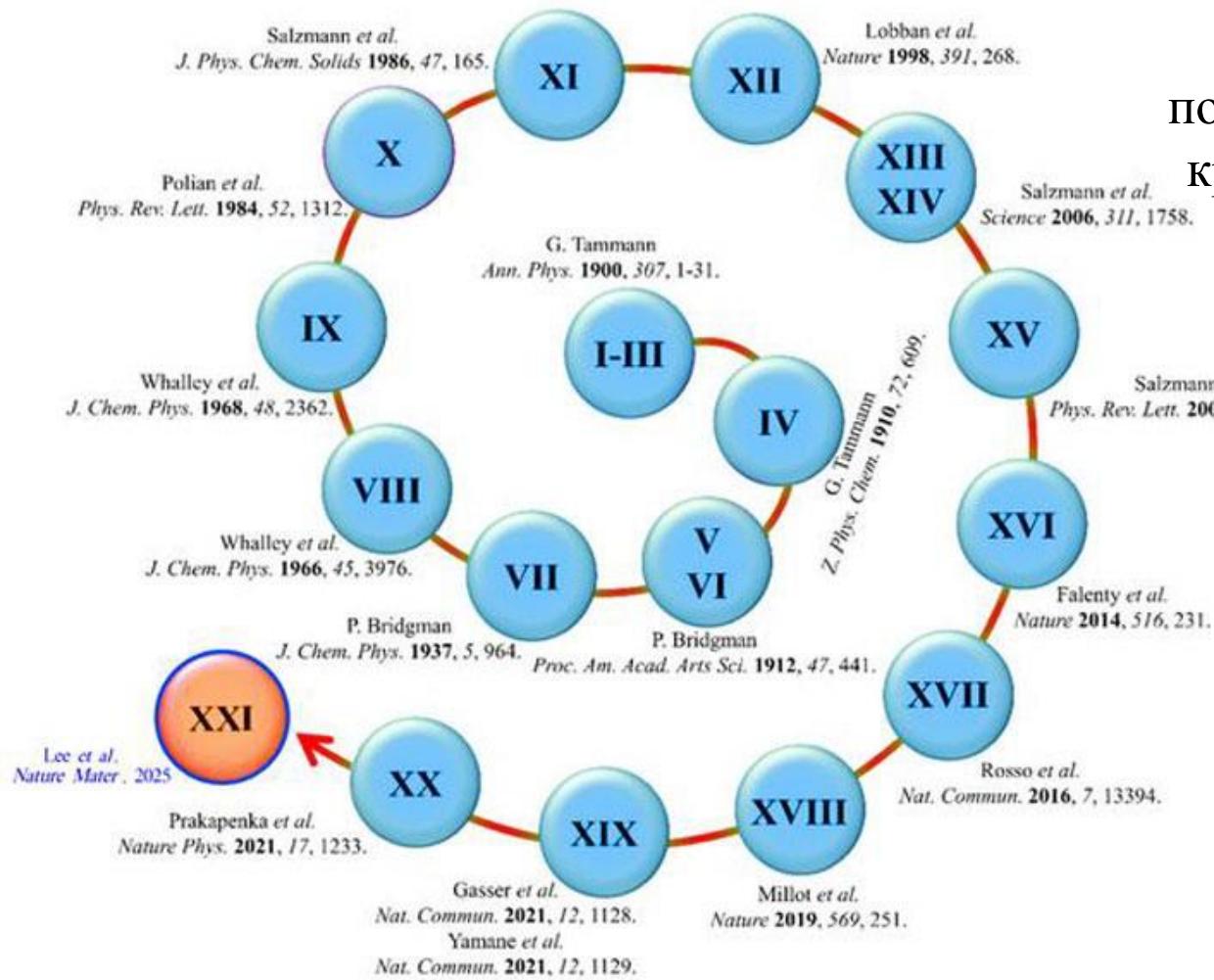
Козлов А.К., Казанцев В.А.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН
e-mail: lgc255@mail.ru

Цель настоящей работы

заключается в исследовании аномалий электромагнитных характеристик поверхностных ледяных структур вблизи земной поверхности, вызванных возможным образованием сегнетоэлектрического льда из переохлажденной воды при нормальном атмосферном давлении.

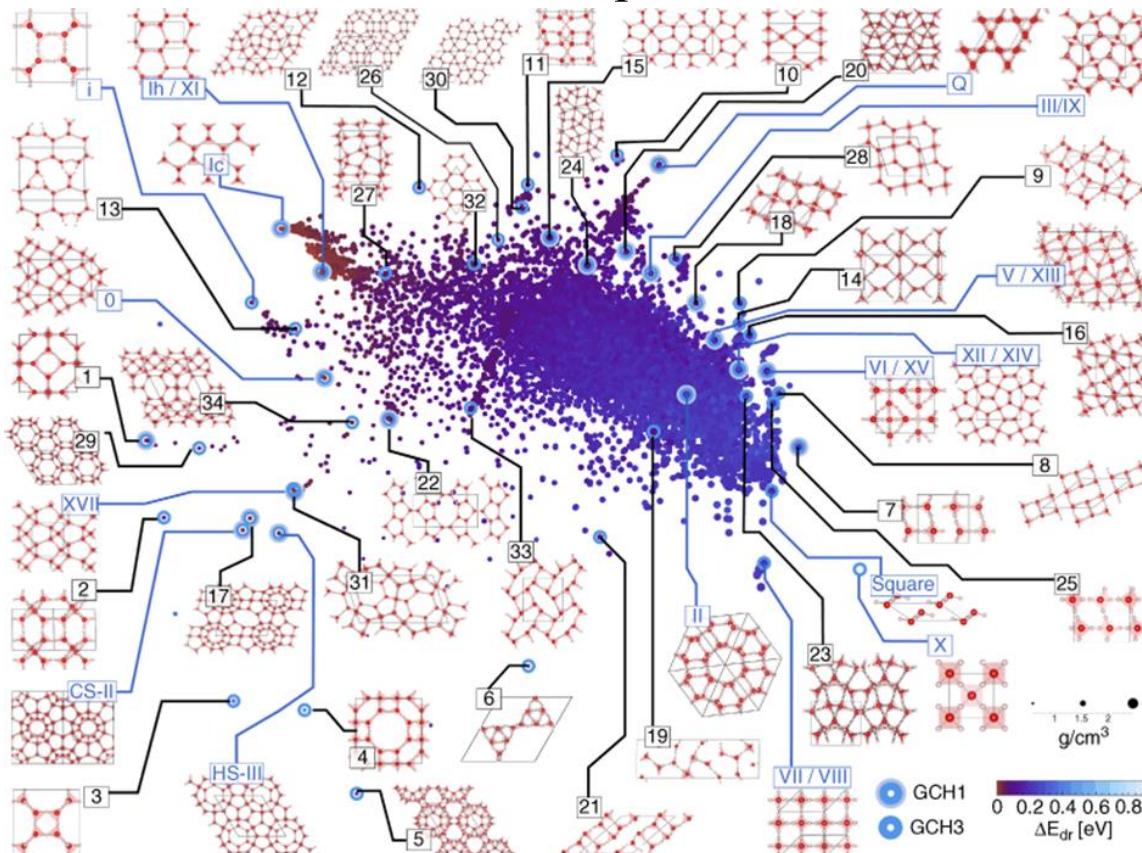
Экспериментально подтвержденные трехмерные кристаллические фазы льда



1. Yuan Liu, Yangyang Pu and Xiao Cheng Zeng Nanoporous ices: an emerging class in the water/ice family // *Nanoscale*, **2023**, 15, 92-100. DOI: 10.1039/D2NR05759J
2. Lee, YH., Kim, J.K., Kim, YJ. et al. Multiple freezing–melting pathways of high-density ice through ice XXI phase at room temperature. *Nat. Mater.* (2025). <https://doi.org/10.1038/s41563-025-02364-x>

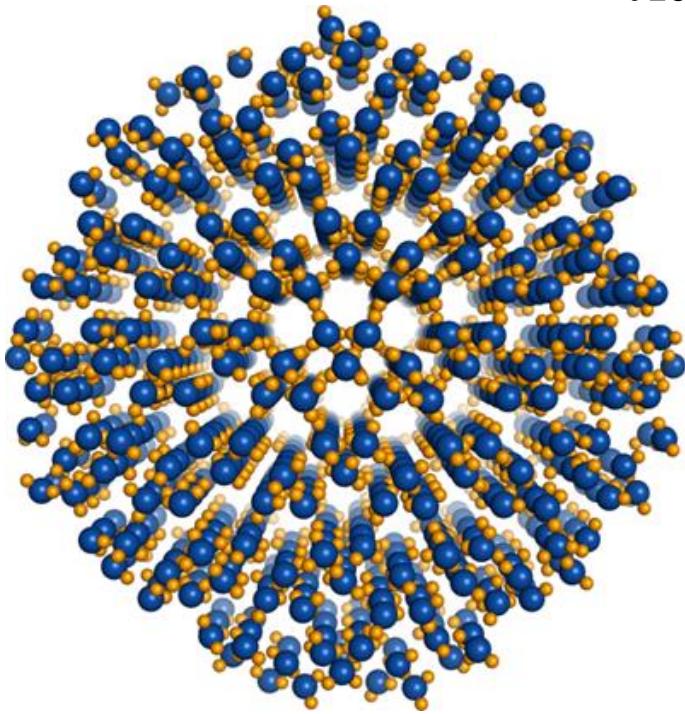
Разновидности модификаций льда, созданные с помощью компьютерного моделирования

!

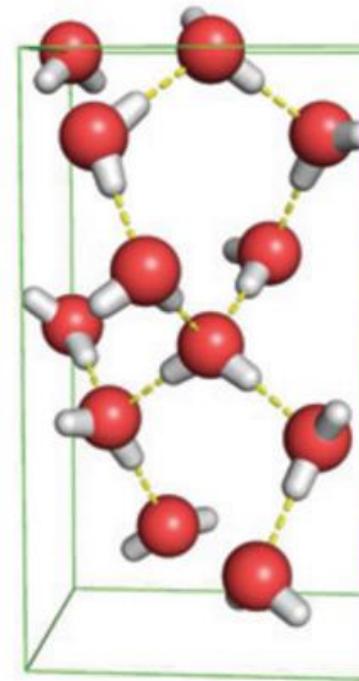


Engel, E.A., Anelli, A., Ceriotti, M. et al. Mapping uncharted territory in ice from zeolite networks to ice structures. *Nat Commun* 9, 2173 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04618-6>

Лед 0 – сегнетоэлектрик



Структура льда 0

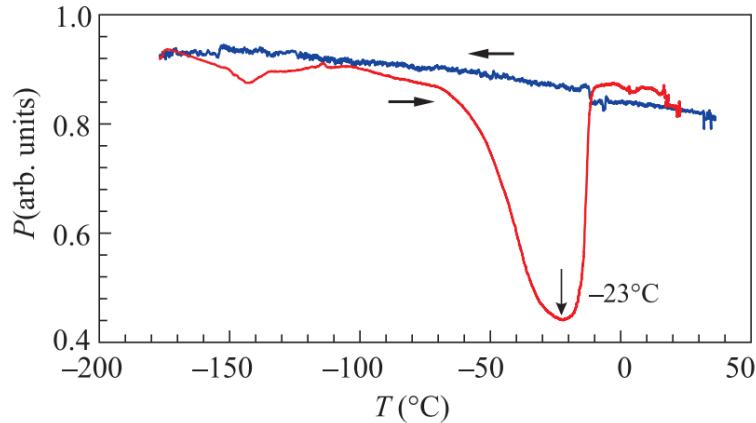


Элементарная ячейка
(12 молекул)

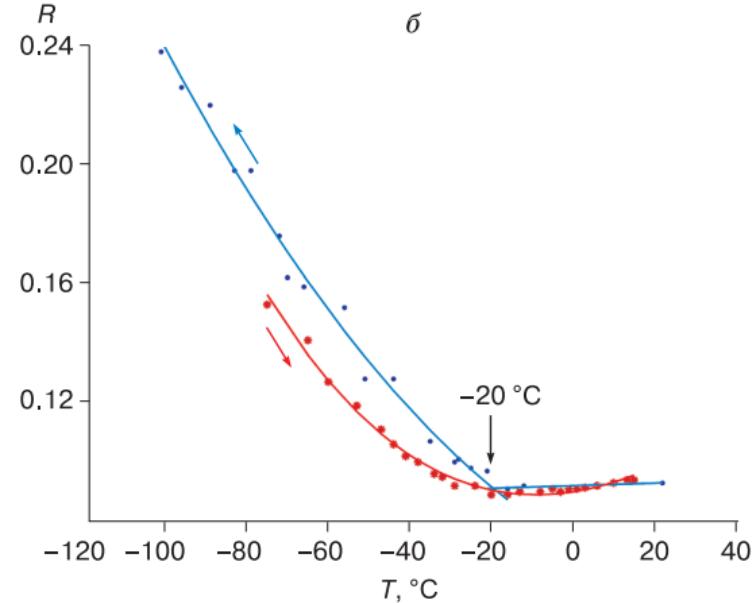
- образуется из переохлажденной воды при температурах ниже -23°C ;
- при нагревании может перейти в лед Ic или лед Ih.

1. J. Russo, F. Romano and H. Tanaka, *New metastable form of ice and its role in the homogeneous crystallization of water*, *Nature, Mat.* 13 (2014) 733-739;
2. Quigley D., Alfè D., Slater B. *On the stability of ice 0, ice i, and I-h* // *The Journal of Chemical Physics* V. 141. P.161102. (2014). DOI 10.1063/1.4900772

Лед 0 – сегнетоэлектрик



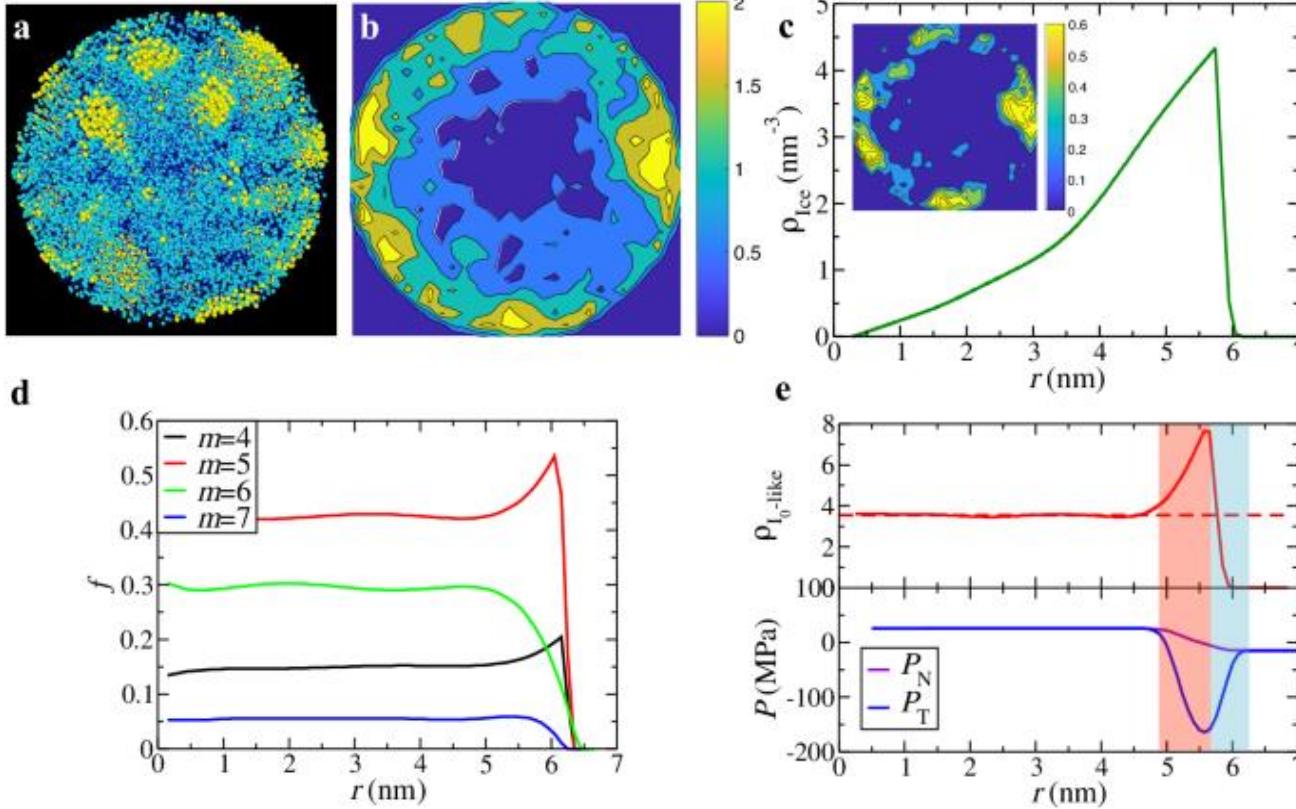
Зависимость проходящей мощности лазерного излучения (P) через слюдяную пластинку с осажденной на ней пленкой льда от ее температуры в цикле охлаждение – нагревание. Мощность регистрируемого излучения приведена в относительных единицах



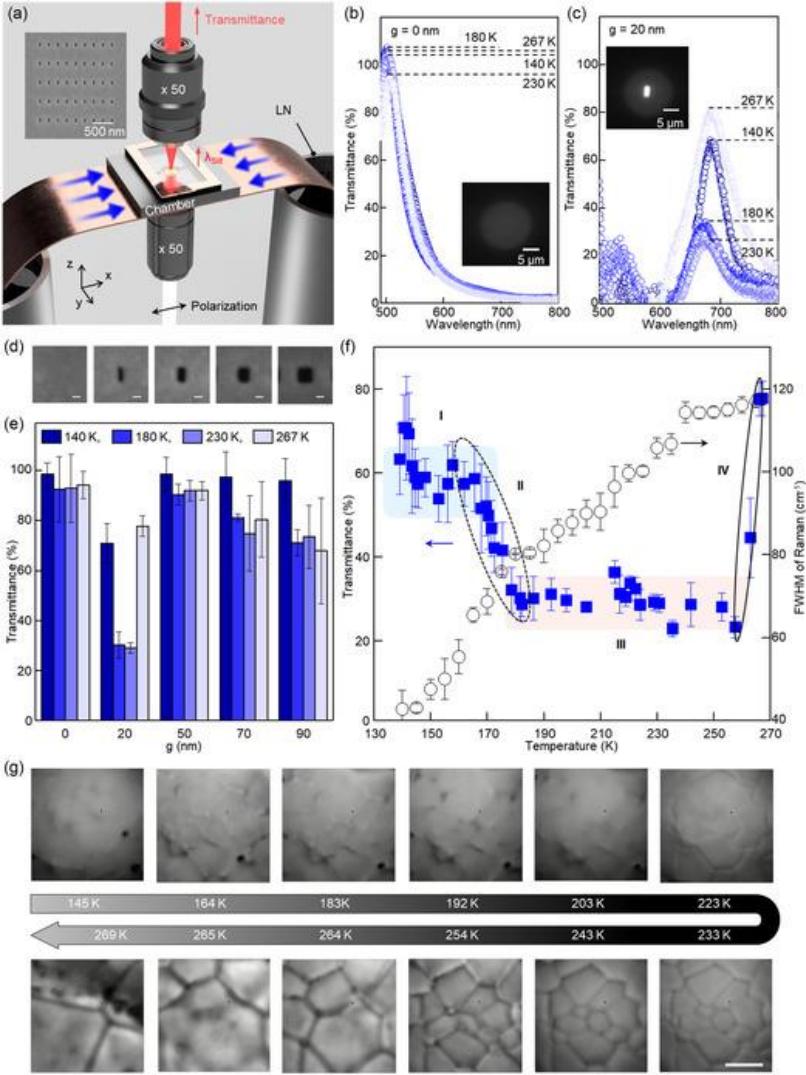
Графики коэффициента отражения R по мощности в зависимости от температуры от силикагеля Acros с размерами пор 6 нм

1. Бордонский Г.С., Орлов А.О. Признаки возникновения льда "0" в увлажненных нанопористых средах при электромагнитных измерениях // Письма в Журн. эксперим. и теорет. физики. 2017. Т. 105. № 7-8. С. 483-488. DOI: 10.7868/S0370274X17080045
2. Бордонский Г.С., Гурулев А.А., Орлов А.О. Пропускание электромагнитного излучения видимого диапазона тонким слоем льда 0, конденсированного на диэлектрическую подложку // Письма в Журн. эксперим. и теорет. физики. 2020. Т. 111, № 5-6(3). С. 311-315. DOI 10.31857/S0370274X20050070.

Механизм нуклеации льда, индуцированный поверхностью



- между переходом от жидкого состояния к гексагональному льду образуется тонкий метастабильный слой;
- основную роль в нуклеации льда, индуцированной поверхностью, играет лед 0



Плазмонное наблюдение высокоплотных нанокластеров воды

□ диапазон 180...260 К (-93...-13°C),
характеризуется низким уровнем
пропускания, что указывает на постоянное
присутствие нано-кластеров воды с высоким
показателем преломления, что **является**
возможным доказательством образования
сегнетоэлектрической модификации – льда 0.

Nu-Ri Park, Yedam Lee, Sang Yup Lee, Han-Na Kim, Myung-Ki Kim, Dong June Ahn Plasmonic Observation of High-Density Nanoclustering in Low-Temperature H₂O Small Science V.4 (12).
<https://doi.org/10.1002/smss.202400427>

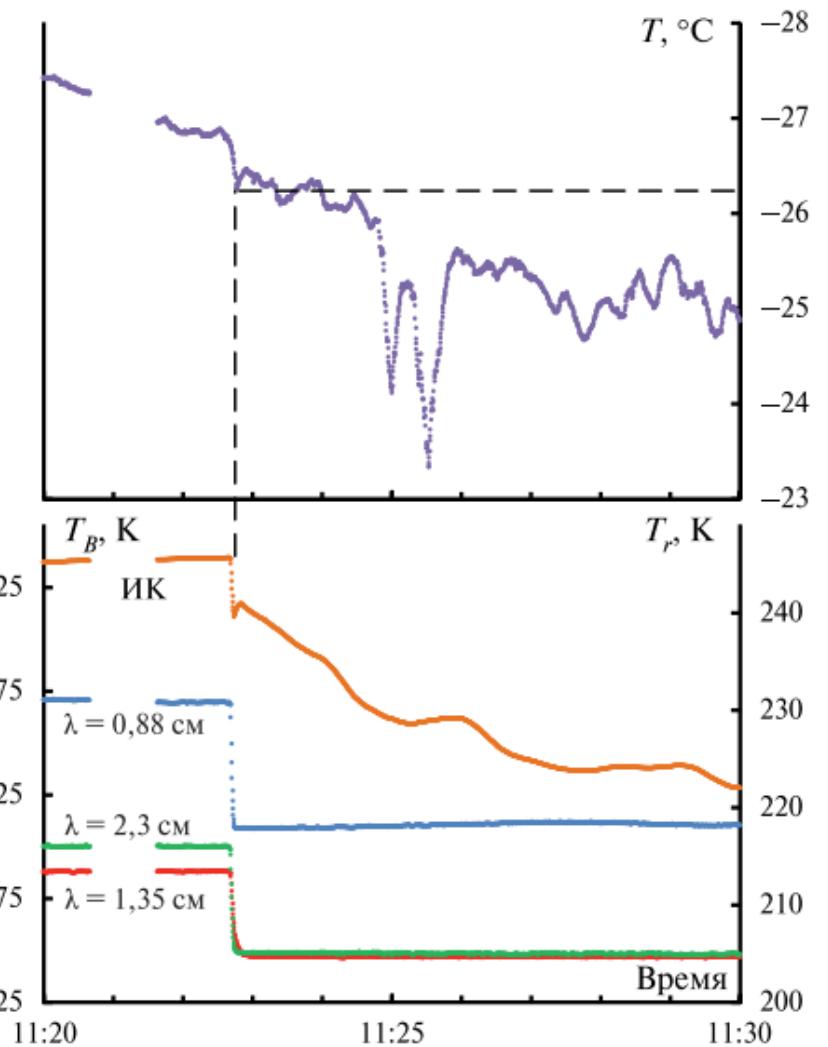
$T, ^\circ\text{C}$

-28
-27
-26
-25
-24
-23

T_B, K

225
175
125
75
25

Время



Аномалии теплового излучения переохлаждённого водного аэрозоля над открытым участком водной поверхности



Бордонский Г.С., Гурулев А.А., Орлов А.О., Козлов А.К., Казанцев В.А.
Аномалии теплового излучения переохлаждённого водного аэрозоля над
открытым участком водной поверхности // Современные проблемы
дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22, № 4. С. 364-
371. DOI 10.21046/2070-7401-2025-22-4-364-371.

Методика эксперимента

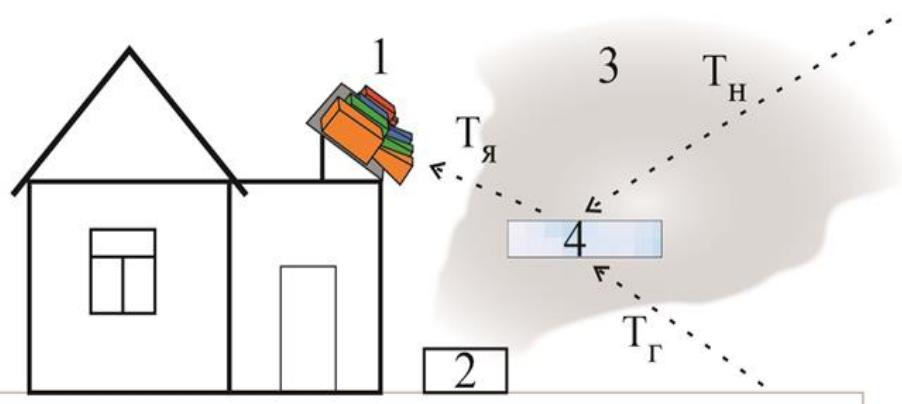


Схема экспериментальной установки для исследования
водного аэрозоля радиометрическим комплексом в
лабораторных условиях.

1 – радиометрический комплекс,

2 – генератор тумана, 3 – водный аэрозоль,

4 – ожидаемый слой частиц со льдом 0,

T_y – измеряемая радиояркостная температура,

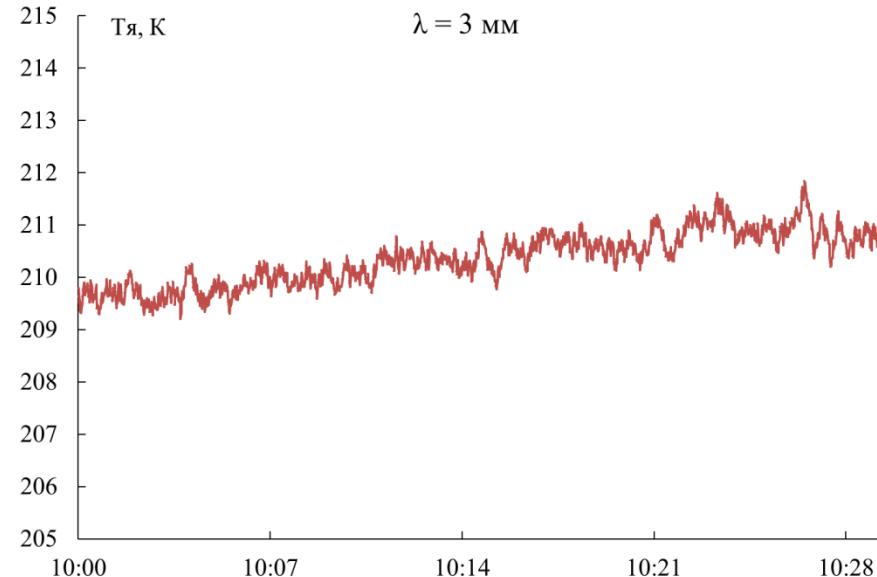
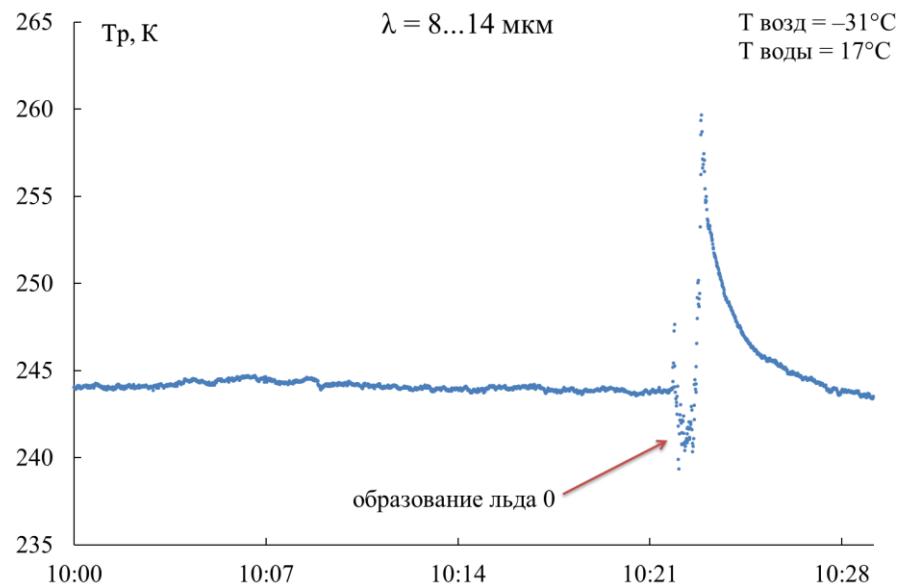
T_h – температура излучения неба,

T_g - яркостная температура излучения грунта

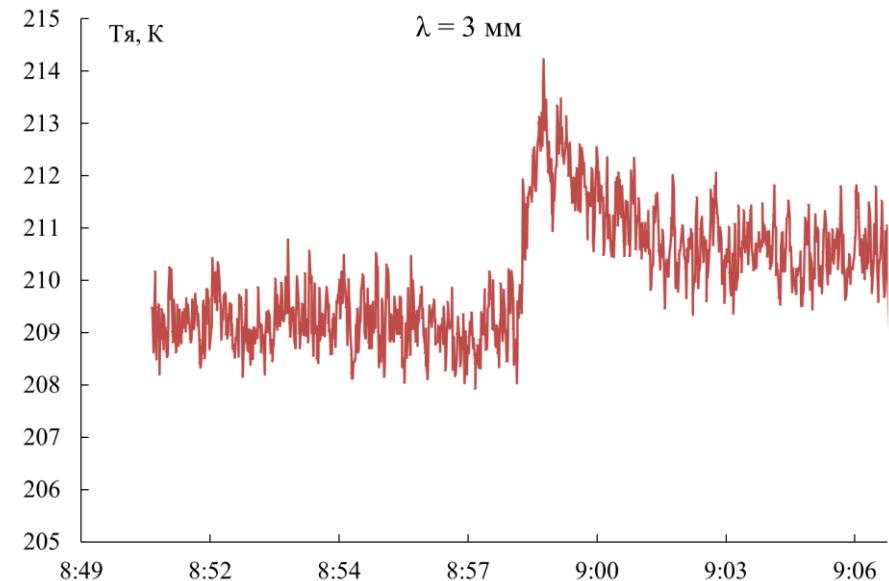
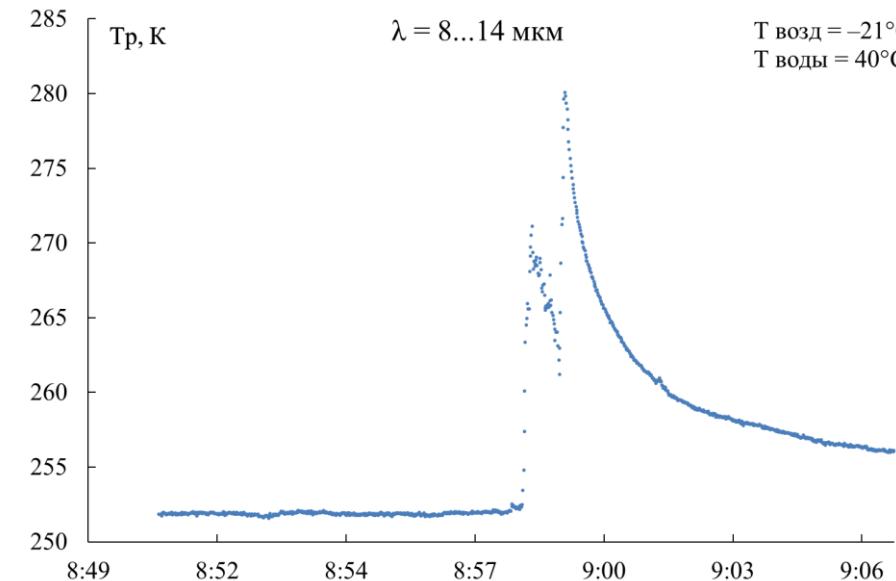


Фотографии проведения
эксперимента

Полученные результаты



Полученные результаты



Выводы

- Экспериментально было зафиксировано уменьшение радиационной температуры (ИК) на 8 К, а затем увеличение на 12 К от начального значения. Такое поведение связано с образованием метастабильного сегнетоэлектрического льда 0, который впоследствии перешел в гексагональный лед на частицах водного аэрозоля.
- Лед 0 может образовываться на поверхности микронных и наноразмерных диэлектрических частиц пыли и льда, в том числе в объеме льдов с нарушением укладки (типа Isd). То же может наблюдаться при охлаждении тумана или воздуха, где имеется холодный водяной пар и образуется лед 0.

A wide, frozen river or lake in a forested area. The foreground is covered in broken, greyish-white ice floes. In the background, there are hills and mountains covered in dense forests. The sky is overcast and grey.

Благодарю за внимание!