

Аномалии электромагнитных характеристик холодных образований со льдом 0

Г.С. Бордонский¹, А.А. Гурулев¹, А.О. Орлов¹, В.А. Казанцев¹, А.К. Козлов¹

¹ Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, 672014, г. Чита, ул. Недорезова, 16а.

E-mail: lgc255@mail.ru

Рассмотрено влияние недавно открытой кристаллической модификации воды – льда 0 на электромагнитные характеристики разнообразных природных сред, его содержащих. Образование сегнетоэлектрического льда 0 в наноразмерных структурах приводит к проявлению плазмонного резонанса и возрастанию рассеяния электромагнитных волн в широком интервале частот.

Ключевые слова: лед 0, рассеяние излучения, плазмонный резонанс

Anomalies of electromagnetic characteristics of cold formations with ice 0

G.S. Bordonskiy¹, A.A. Gurulev¹, A.O. Orlov¹, V.A. Kazantsev¹, A.K. Kozlov¹

¹ Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, 16a Nedorezova str., Chita, 672014.

The influence of the recently discovered crystalline modification of water – ice 0 on the electromagnetic characteristics of various natural environments containing it is considered. The formation of ferroelectric ice 0 in nanoscale structures leads to the manifestation of plasmon resonance and increased scattering of electromagnetic waves in a wide frequency range.

Keywords: ice 0, radiation scattering, plasmon resonance

Введение

Среди более 70 тысяч возможных кристаллических модификаций льда известны только несколько льдов низких давлений: лед Ih (гексагональный), лед Ic (кубический), лед XI и лед, состоящий из смеси льдов – лед с нарушением укладки Isd. В 2014 г. с использованием компьютерных методов исследования был обнаружен новый метастабильный лед низкого давления – лед 0, образующийся при температурах ниже – 23 °С (при давлении 0,1 МПа) [1-3].

Интересным для радиофизических исследований этого льда является то, что он сегнетоэлектрик. Данное свойство было использовано нами для экспериментального обнаружения такого льда в условиях, существующих на земной поверхности [4,5]. В экспериментах была использована способность сегнетоэлектрика образовывать при контакте с диэлектриками в тонком поверхностном слое проводящий слой на 5-6 порядков величины больше, чем проводимость контактирующих сред. Такой эффект был обнаружен в работе [6]. Поэтому представлялось, что в случае конденсации воды в лед 0 на поверхность диэлектрических частиц и образовании «металлического» слоя может возникнуть резонанс поверхностных плазмонных мод и резкое возрастание рассеяния и поглощения электромагнитного излучения [7]. В случае малых частиц неправильной формы заметное электромагнитное возмущение будет распространяться до нулевых частот.

Результаты и их обсуждение

Результат одного из экспериментов приведен на рис. 1. В экспериментальной установке осуществляли осаждение водяного пара при температурах от $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ на тонкие пластинки из различных диэлектриков. Полученный результат показал возрастание экстинкции в эксперименте с ее резким уменьшением при нагревании выше $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ в соответствии с ранее выполненными расчетами в [1-3].

Аналогичный эксперимент для увлажненного силикагеля с порами нанометровых размеров, находящегося в волноводе, был проведен в микроволновом диапазоне на частоте 11,4 ГГц. В эксперименте наблюдали возрастание коэффициента отражения от силикагеля, который увеличивался на порядок величины при охлаждении от $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Образование льда 0 должно наблюдаться в природной среде в широком интервале частот. Если в тонких слоях на границе льда 0 с диэлектриками возникает плазмонный резонанс, то он должен возникать на частотах ниже плазменной частоты колебаний

$\omega_{\text{пл}} = \sqrt{\frac{4\pi n e^2}{m}}$, где n – концентрация зарядов, e – заряд частицы плазмы, m – масса

частицы. Экстремум резонанса находится вблизи значения действительной части диэлектрической проницаемости, равной -2 (на частоте Фрёлиха). Одним из объектов, где возможно данное явление, как предполагается, являются мезосферные серебристые облака. Эти облака образуются на высотах 80...90 км, где температура может понижаться до $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже. Данные облака состоят из нанометровых частиц пыли, покрытых льдом, и, как предполагается, связаны с изменением климата на Земле.

Выполненные в настоящем исследовании радиометрические измерения отраженного от серебристых облаков микроволнового теплового солнечного излучения на частотах от 21 ГГц до 125 ГГц показали справедливость высказанной гипотезы. Установлено возрастание радиояркостной температуры ($T_{\text{я}}$) на $\sim 5\text{ K}$ на всех частотах при заходе Солнца и появлении серебристых облаков [8].

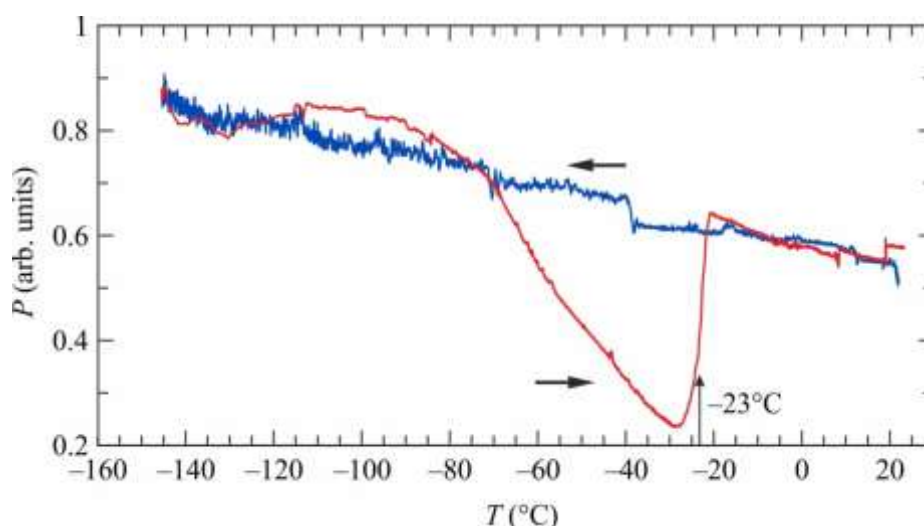


Рис. 1. Пропускание электромагнитного излучения в видимом диапазоне тонким слоем льда 0, конденсированного на диэлектрическую подложку. P – мощность излучения зондирующего лазера в условных единицах

Схема экспериментальной установки и полученные результаты приведены на рис. 2.

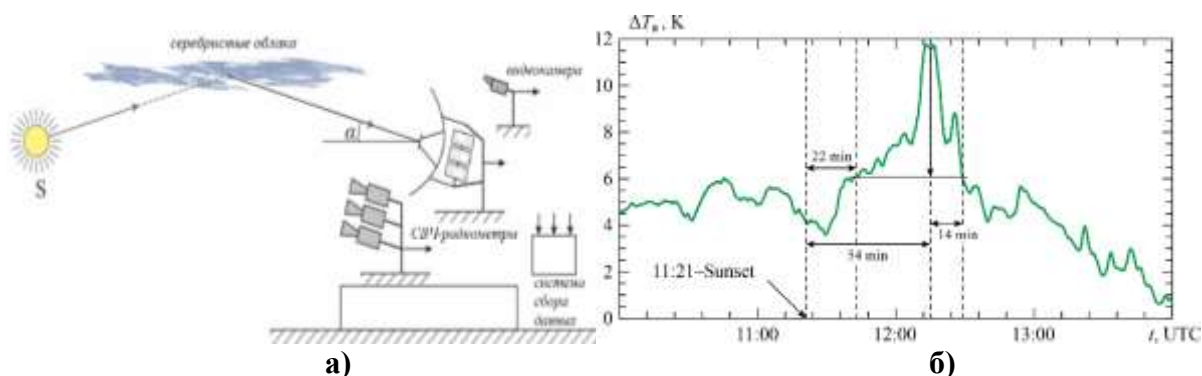


Рис. 2. а) – схема экспериментальной установки, б) – среднее значение повышения яркостной температуры $\Delta T_{я}$ на четырех длин волн от 1,4 см до 0,24 см

Также предприняты поиски эффектов, связанных с проявлением льда 0 в холодных приземных туманах и на поверхности снежного покрова. Результаты микроволновых и ИК измерений, полученные при наблюдениях за туманом, представлены на рис. 3. Измерения выполнялись в зимнее время вблизи выбросов теплой воды от ТЭЦ в г. Чита в озеро Кенон. Схема измерений представлена на рис. 3а., а графики радиационной и радиояркостной температуры на рис. 3б.

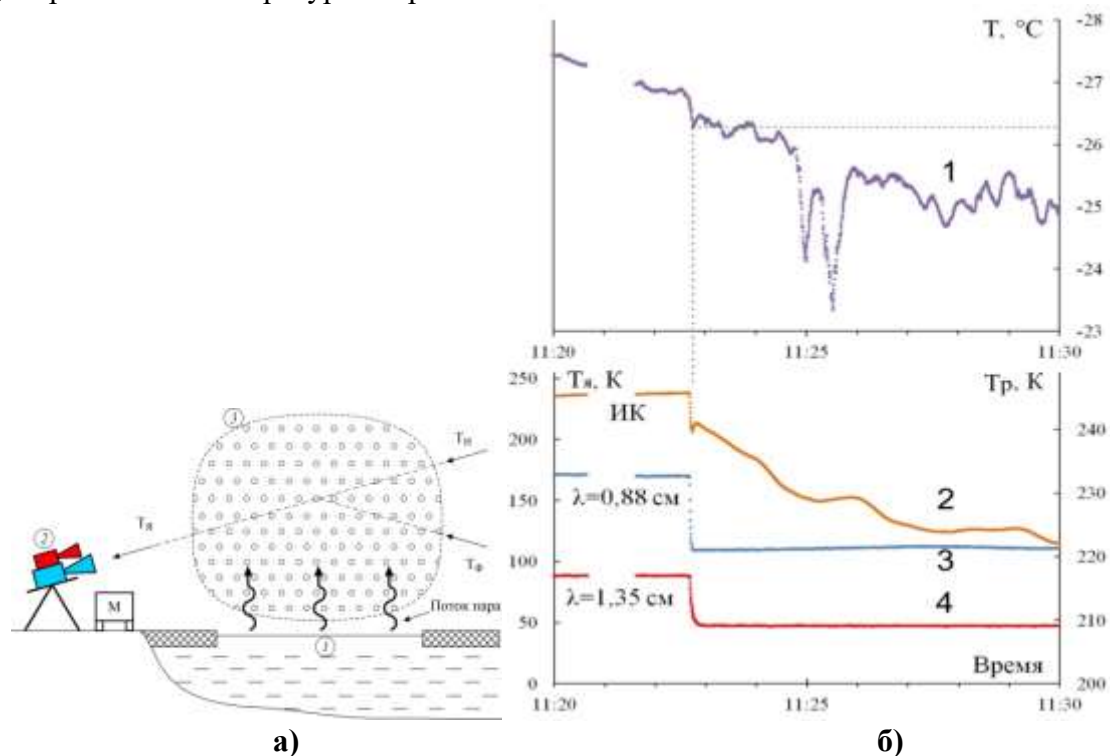


Рис. 3. а) – схема измерения облака тумана над полыньей теплой воды: 1 – полынья в ледяном покрове, 2 – комплекс микроволновых и ИК радиометров, 3 – облако ледяных частиц, $T_{я}$ – измеряемая яркостная температура, $T_{н}$ – температура неба в направлении антенны радиометров, $T_{ф}$ – яркостная температура фонового излучения из нижнего пространства, М – метеостанция, б) – 1 – график температуры воздуха, 2 - радиационная температура в тепловом ИК диапазоне, 3,4 – радиояркостная температуры на частотах 34 ГГц и 21 ГГц в зависимости от времени. Дата 19.01.2024

Выводы

Выполненные эксперименты показали влияние льда 0 в холодных образованиях атмосферы на перенос электромагнитных излучений в микроволновом, ИК и видимом диапазонах. Высказана гипотеза о физическом механизме свечения серебристых облаков, определяемом ледяными частицами, покрытыми льдом 0. Рассеяние теплового излучения на ледяных частицах определяется плазмонным резонансом на частотах ниже плазменной частоты носителей заряда в высоко электропроводящих слоях на границе льда 0 на диэлектрических частицах. Наблюдаемое приращение радиояркостной температуры серебристых облаков на частотах 21...125 ГГц составляло ~ 5 К. В экспериментах с холодными туманами впервые подтверждена возможность появления льда 0 в приземных слоях атмосферы. Исследование недавно открытой кристаллической модификации льда 0 представляется важным развитием для дистанционного зондирования холодных слоев атмосферы и земной поверхности.

Литература

1. Quigley D., Alfe D., Slater B. On the stability of ice 0, ice i, and Ih // *Jorn. Chem. Phys.* 2014. V. 141. № 16. P. 161102 (1-5).
2. 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.
3. Slater B., Quigley D. Zeroing in on ice // *Nature Mater.* 2014. V. 13. P. 670-671.
4. Бордонский Г.С., Гурулев А.А., Орлов А.О. Пропускание электромагнитного излучения видимого диапазона тонким слоем льда 0, конденсированного на диэлектрическую подложку // *Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики*. 2020. Т. 111, № 5-6(3). С. 311-315.
5. Бордонский Г.С., Орлов А.О. Признаки возникновения льда "0" в увлажненных нанопористых средах при электромагнитных измерениях // *Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики*. 2017. Т. 105, № 7-8. С. 483-488.
6. Korobeynikov S.M., Royak M.E., Melekhov A.V. Agoris D.P., Pyrgioti E., Soloveitchik Yu.G. Surface conductivity at the interface between ceramics and transformer oil // *Journal of Physics D: Applied Physics*. 2005. V. 38. № 6. P. 915-921.
7. Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицам. М.: Мир, 1986. 664 с.
8. Бордонский Г.С., Гурулев А.А., Орлов А.О., Казанцев В.А. Предполагаемый механизм свечения мезосферных облаков // *Радиотехника и электроника*. 2024. Т. 69, № 4. С. 307-315.