



Поглощение ИК-излучения тонкой пленкой льда 0

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

Серебристые облака

На высоте 80...90 км над Северным и Южным полюсами Земли образуются полярные мезосферные облака, называемые также серебристыми. Протяженность полярных облаков достигает максимума летом в июне месяце. С каждым годом эти облака увеличиваются в размерах так, что в последние годы их наблюдают и на широтах меньше 50° . Мезосферные облака отражают излучение радаров на частотах от 5 МГц. Причины такой отражательной способности до сих пор дискуссионные. Динамика мезосферных облаков вызывает большой интерес, так как её связывают с изменениями климата.

Фото серебристых облаков



Фото серебристых облаков на станции наблюдения с. Преображенка (слева) и фотография, сделанная в г. Чита (справа).

Дата съемки: 3 июня 2021 года

Причины отражения излучения - металлические свойства

Ранее в наших работах (Bordonskiy et al., 2019, Бордонский и др., 2020б) высказывалось предположение, что отражательная способность мезосферных облаков связана с образованием льда 0. Лед 0 – теоретически предсказанная (Russo et al., 2014, Quigley et al., 2014) и обнаруженная в экспериментах (Бордонский, Орлов, 2017, Бордонский и др., 2020а) сегнетоэлектрическая модификация льда. На контакте двух диэлектриков (льда 0 и пылевой частицы) с большой разницей значений статической диэлектрической проницаемости, и возникновением плазмонного резонанса (Борен, Хафмен, 1986), образуется нанометровый слой с высокой проводимостью (Korobeynikov et al., 2005). Этот слой обеспечивает металлические свойства ледяных частиц мезосферных облаков. Также в работе (Бордонский и др., 2020а) было обнаружено затухание излучения лазера, вызванное образованием льда 0 на диэлектрической подложке.

Причины отражения излучения - металлические свойства

1. Свойства льда 0

а) температура образования из переохлаждённой воды:

$$T < -23^{\circ}\text{C};$$

б) лёд 0 – сегнетоэлектрик, имеет высокое значение статической диэлектрической проницаемости ϵ_s (Russo et al., 2014, Quigley et al., 2014, Бордонский, Орлов, 2017).

2. На контакте сегнетоэлектрика и диэлектрика возникает тонкий слой с высокой электропроводностью (примерно на 6 порядков выше, чем у контактирующих сред) (Korobeunikov et al., 2005).



Поглощение ИК-излучения

В настоящей работе с целью изучения спектральных особенностей поглощения электромагнитного излучения льдом D_2O ставилась задача измерения прохождения через диэлектрическую пластинку с осажденным на ней льдом D_2O излучения в тепловом ИК-диапазоне.



Фото экспериментальной установки.

Поглощение ИК-излучения

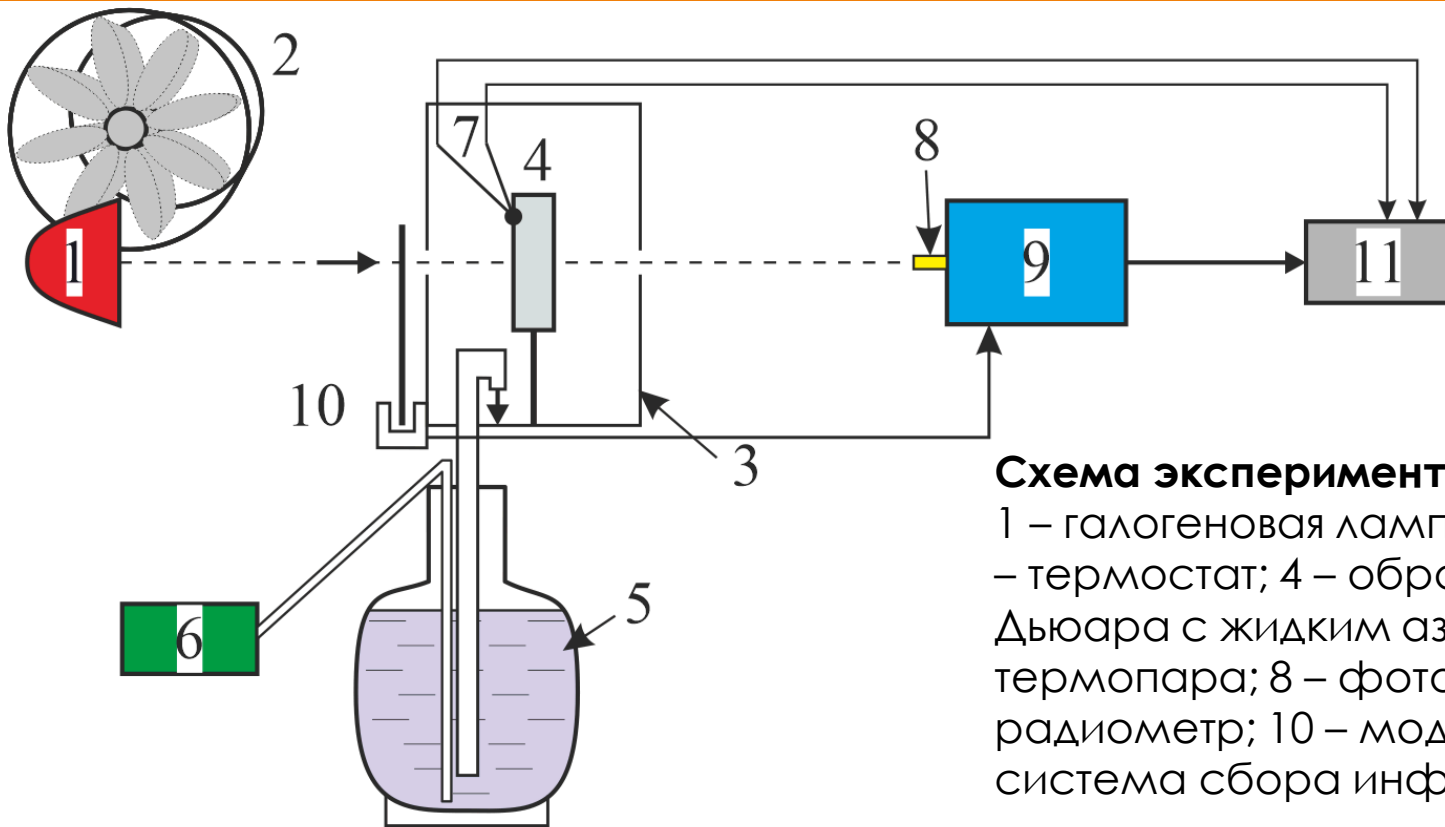
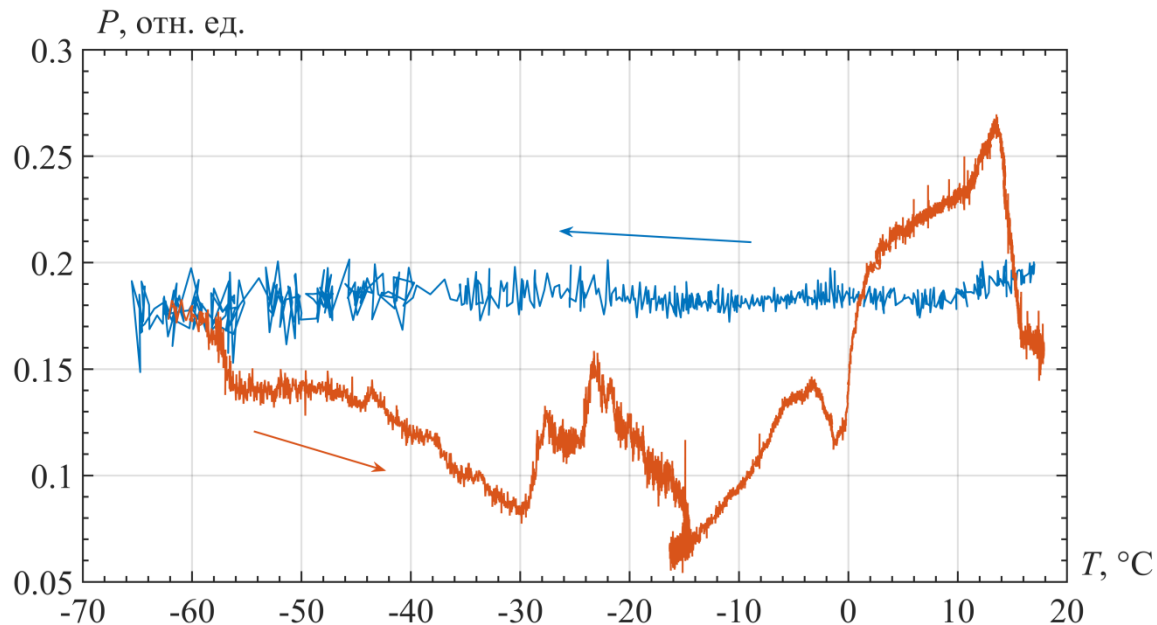


Схема экспериментальной установки.
1 – галогеновая лампа; 2 – вентилятор; 3 – термостат; 4 – образец; 5 – сосуд Дьюара с жидким азотом; 6 – насос; 7 – термопара; 8 – фотодетектор; 9 – ИК-радиометр; 10 – модулятор; 11 – система сбора информации.

Измерения

Эксперименты проводились при охлаждении до ~ -100 °С образца монокристалла NaCl. Этот материал подложки был выбран из-за высокой прозрачности в тепловом ИК-диапазоне. При нагревании образца после охлаждения, наблюдали уменьшение интенсивности проходящего через подложку с осаждающимся на ней льдом излучения в ИК-диапазоне почти в четыре раза. 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 выше температуры -23 °С увеличивалась практически до значений без осажденной пленки.

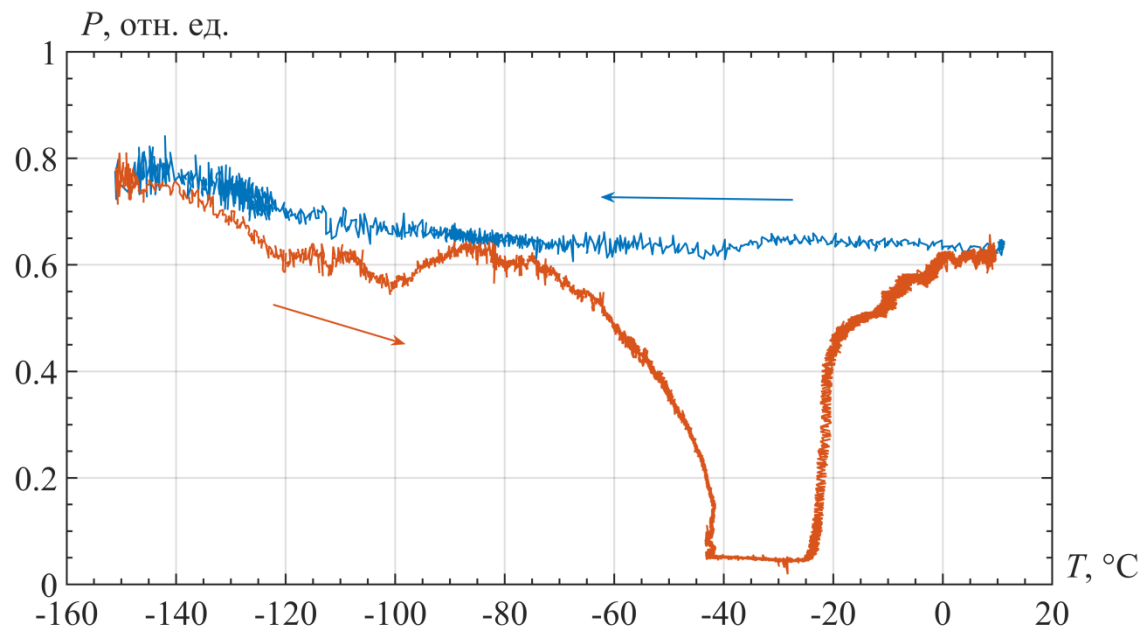
Результаты измерений



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

При температурах выше $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ наблюдалось повторное уменьшение прошедшего сигнала. Это уменьшение связывается с прохождением точки эвтектики NaCl и образованием на поверхности образца жидкой воды при приближении к $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Результаты измерений



Мощность инфракрасного излучения, прошедшего через пластинку слюды при циклическом охлаждении-нагревании образца. Стрелки указывают направление изменения температуры во времени.

Для образца из слюды этот эффект не наблюдался.

Заключение

- ∞ Полученные результаты объясняются эффектами рассеяния и поглощения излучения в островковых пленках льда 0 при конденсации его из газовой среды (холодного водяного пара) на диэлектрические подложки при температурах $-130\text{ }^{\circ}\text{C} \dots -30\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- ∞ Для хлорида натрия наблюдали второй максимум поглощения вблизи $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Предполагается, что он связан с появлением жидкой воды из-за растворения льда и соли выше температуры их эвтектики.
- ∞ Полученный результат может представлять интерес для уточнения радиационного баланса полярной атмосферы.

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.
- ✎ Quigley D., Alfè D., Slater B. Communication: On the stability of ice 0, ice i, and Ih // The Journal of Chemical Physics. 2014. V. 141. P. 161102-1/5.

Благодарю за внимание!