



# Наблюдение полярных мезосферных облаков в утренние часы перед восходом Солнца в Забайкалье летом 2024 года

**Орлов А.О., Козлов А.К.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН*

**lgc255@mail.ru**



# Серебристые облака

В мезосфере на высотах от 80 км и выше при осаждении льда на пылинки космического и вулканического происхождения образуются частицы, формирующие полярные мезосферные облака. Эти ночные светящиеся облака называют «серебристыми». Они были впервые достоверно отмечены летом 1885 г., и с тех пор появлялись практически каждый год (Далин и др., 2005). Наиболее благоприятны для наблюдений серебристых облаков широты  $55\text{--}60^\circ$ . Однако в последние десятилетия их интенсивность возрастает, что даёт возможность наблюдать серебристые облака на широтах ниже  $50^\circ$ . Полярные мезосферные облака обладают необычными физическими свойствами. Помимо отражения и рассеяния излучения Солнца в видимом диапазоне, было обнаружено отражение от мезосферных облаков излучения радаров на частотах от 5 МГц до 1,3 ГГц. Это, несмотря на то, что размеры ледяных частиц, их составляющих, составляют значения порядка десятков нанометров, а плотность в единице объема  $\sim 10$  нг на куб. метр. Причины такой отражательной способности до сих пор дискуссионные, и однозначного мнения нет.



# Некоторые характеристики серебристых облаков

1. Высота появления **80-87** км, давление  **$\sim 10^{-2} \dots 10^{-3}$**  мм рт. ст., температура  **$-60 \dots -120^\circ\text{C}$** , плотность в единице объема  **$\sim 10$**  нг/м<sup>3</sup>.
2. Строение – ледяные частицы (**20-100** нм).
3. Свечение.
4. Отражение радарных сигналов на частотах **5** МГц – **1,3** ГГц!
5. Наиболее благоприятные для наблюдений широты –  **$55-60^\circ$** .



# Причины отражения излучения

В работах (Bordonskiy et al., 2019, Бордонский и др., 2020б) высказывалось предположение, что отражательная способность серебристых облаков обусловлена образованием льда 0. Лед 0 – открытая теоретически методами молекулярной динамики (Russo et al., 2014) и обнаруженная экспериментально (Бордонский, Орлов, 2017, Бордонский и др., 2020а) сегнетоэлектрическая кристаллическая модификация льда. Из-за большой разницы значений статической диэлектрической проницаемости на контакте льда 0 и диэлектрика (пылевой частицы) образуется нанометровый слой с высокой проводимостью (Korobeynikov et al., 2005). Ледяные частицы серебристых облаков благодаря этому слою приобретают свойства близкие к металлическим. Появление у частиц, составляющих мезосферные облака, таких свойств приводит к возникновению плазмонного резонанса (Борен, Хафмен, 1986) и объясняет рассеяние серебристыми облаками электромагнитного излучения в широком интервале частот.

# Причины отражения излучения - металлические свойства

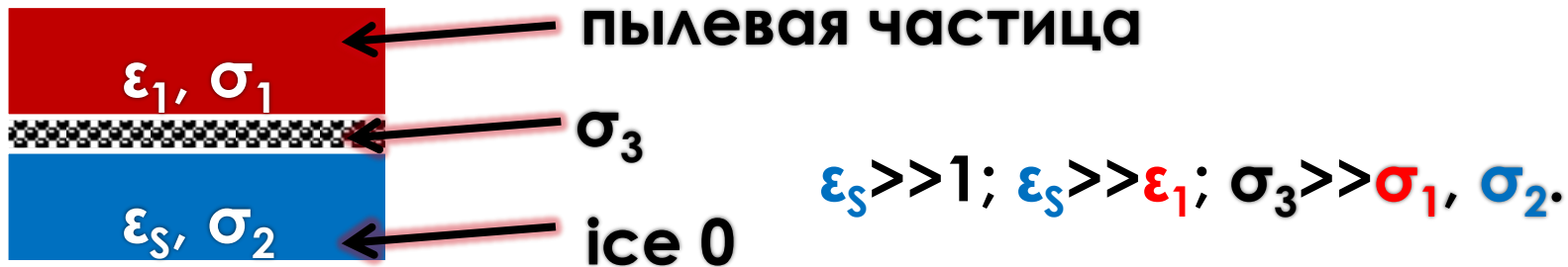
## 1. Лёд 0

a) температура образования из переохлаждённой воды:

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

b) лёд 0 – открытая теоретически методами молекулярной динамики (Russo et al., 2014) и обнаруженная экспериментально (Бордонский, Орлов, 2017, Бордонский и др., 2020a) сегнетоэлектрическая кристаллическая модификация льда.

c) на контакте льда 0 и диэлектрика (пылевой частицы) образуется нанометровый слой с высокой проводимостью (Korobeunikov et al., 2005).

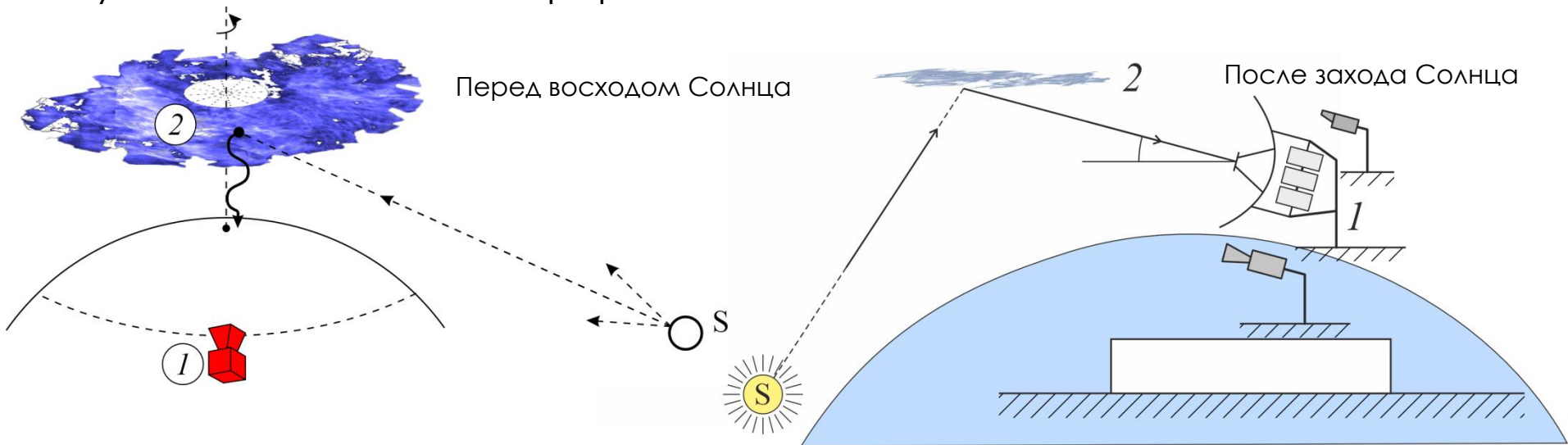


# Эксперимент

Для подтверждения такого механизма отражения электромагнитного излучения от серебристых облаков с 2019 года в весенне-летний период проводятся измерения атмосферы в с. Преображенка на отрогах Яблонового хребта (Забайкальский край). Радиометрические исследования осуществлялись по методике, предложенной в работе (Bordonskiy et al., 2019). В 2024 году комплекс приборов включал в себя радиометр с параболической антенной и приёмниками на длины волн 3 мм, 8,8 мм и 1,4 см, а также радиометр с рупорной антенной на длину волны 3 мм. Радиометрические приемники были направлены практически на Север под углом  $\sim 10^\circ$  к горизонту. Такое расположение позволило в случае появления на небе серебристых облаков зарегистрировать рассеянное излучение Солнца, находящегося ниже горизонта.

# Экспериментальная установка

Экспериментальная установка для наблюдения за рассеянием теплового излучения Солнца мезосферными облаками.



1- Микроволновые радиометры, 2 – мезосферные (серебристые) облака. Метод наблюдения предложен в (Bordonskiy et al., 2019).

Установка смонтирована в с. Преображенка (Забайкальский край).



# Результаты измерений

Ранее, летом 2021 года, были проведены радиометрические исследования области неба по методике, предложенной в работе (Bordonskiy et al., 2019), на длинах волн 8,8 мм, 1,4 см и 2,3 см. Радиометрические приемники располагались на крыше здания в с. Преображенка (Забайкальский край), и были направлены на северо-северо-запад под углом  $\sim 10^\circ$  к горизонту.

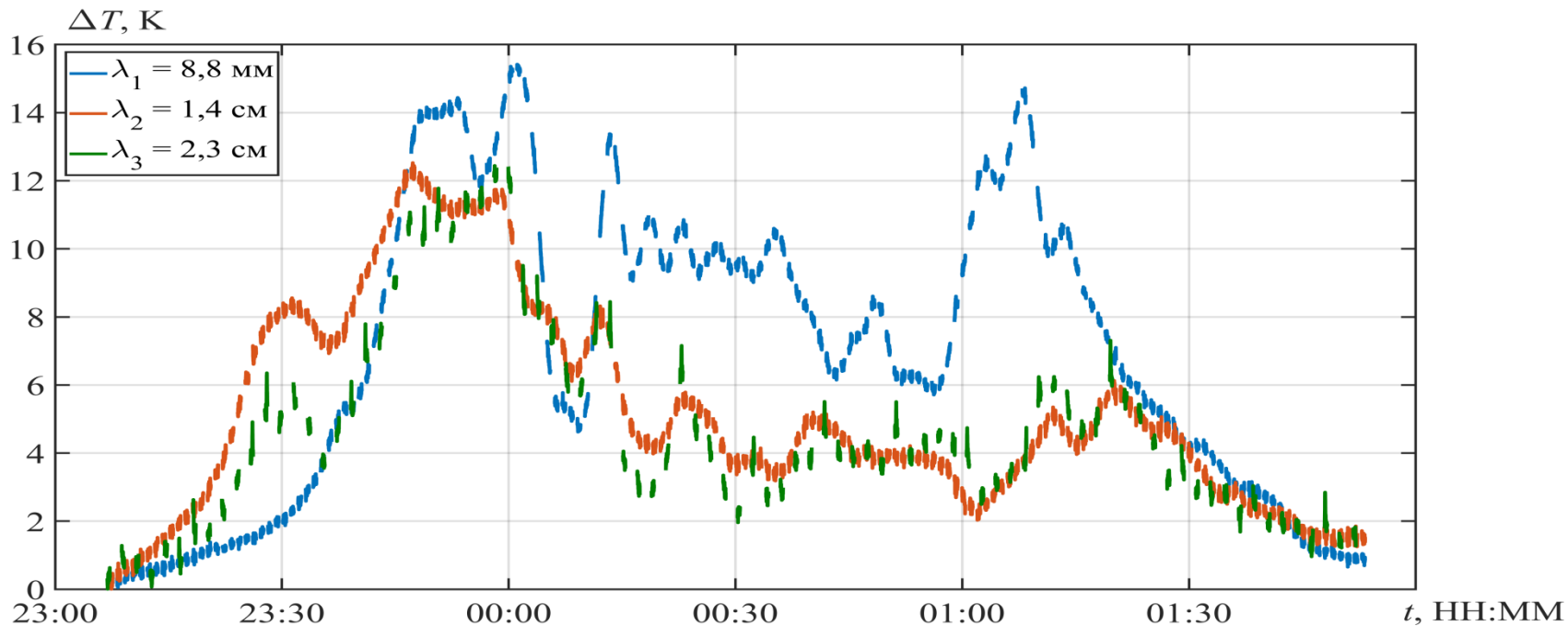


# Фото серебристых облаков



Фото серебристых облаков на станции наблюдения с. Преображенка (слева) и фотография, сделанная в г. Чита (справа).  
Дата съемки: 3 июня 2021 года

# Результаты измерений



Зависимости приращений радиояркой температуры на трех длинах волн (8,8 мм, 1,4 см и 2,3 см), возможно вызванных отражением излучения Солнца от серебристых облаков, состоящих из частиц с слоем высокой электропроводности на контакте лед 0 - диэлектрик.

# Результаты измерений

В середине июля 2024 года, в ночь с 14 на 15 число, при безоблачной атмосфере перед восходом Солнца наблюдали появление серебристых облаков. Приращения радиояркостной температуры, вызванные рассеянием солнечного излучения серебристыми облаками, составили 5...15 К в зависимости от длины волны. Вариации безоблачной атмосферы при отсутствии серебристых облаков (в другой день) за аналогичный временной промежуток составили 1–2 К.

# Фото серебристых облаков

FPS: 11.56 15.07.2024 4:00:43

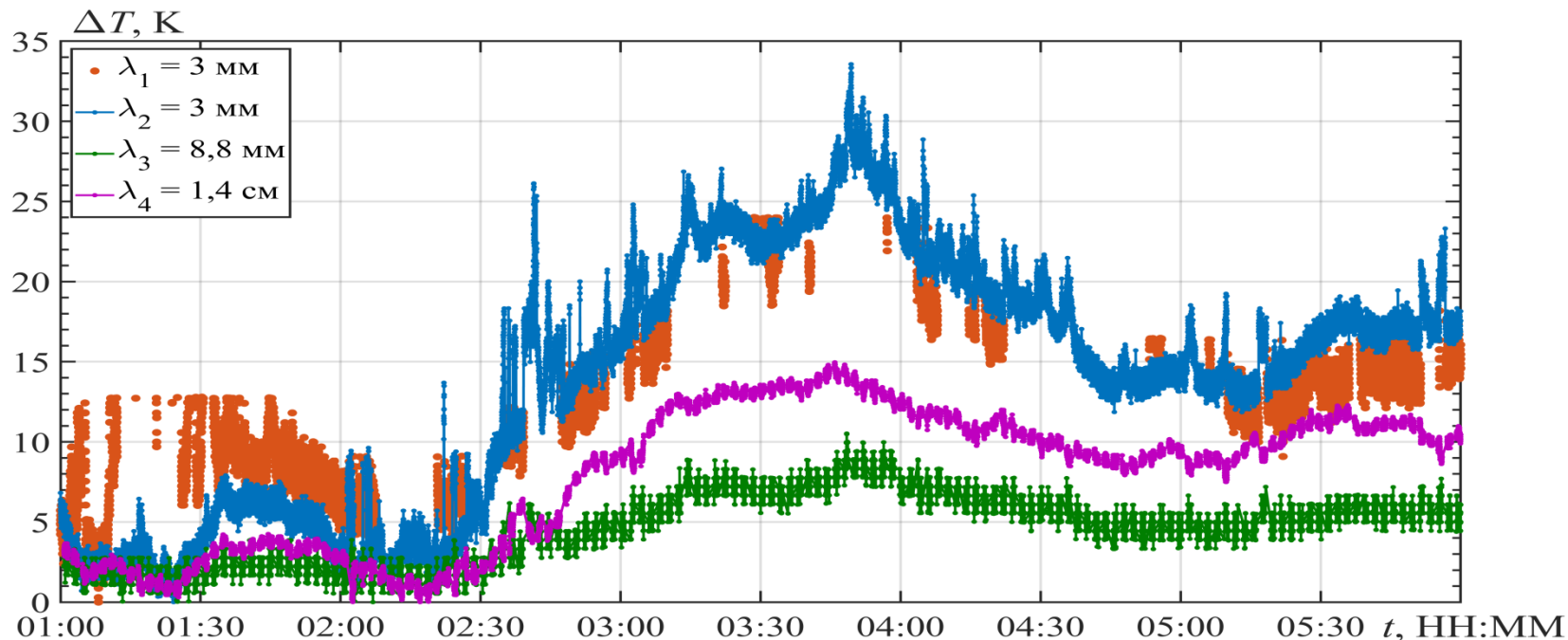
2024-07-15 04:00:41

Фото серебристых облаков на станции наблюдения с. Преображенка.  
Дата съемки: 15 июля 2024 года

САМО1

[www.iprecmsd.com](http://www.iprecmsd.com)

# Результаты измерений



Зависимости приращений радиояростной температуры, вызванных рассеянием излучения Солнца серебристыми облаками, на трех длинах волн по данным 4-х радиометров.

# Выводы

- ☞ Проведены измерения по ранее предложенному методу наблюдения за серебристыми облаками по рассеянию солнечного излучения в микроволновом диапазоне.
- ☞ Приращения радиояркостной температуры, вызванные рассеянием солнечного излучения от серебристых облаков перед восходом Солнца, достигали 5...15 К в зависимости от длины волны.
- ☞ Данный результат подтверждает предположение о появлении у частиц мезосферных облаков свойств близких к металлическим.
- ☞ Полученный результат представляет интерес для изучения динамики мезосферных облаков, а также для изучения особенностей распространения электромагнитного излучения в атмосфере.

# Список литературы

- ✎ Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. М.: Мир, 1986. 664 с.
- ✎ Бордонский Г.С., Гурулев А.А., Орлов А.О. Пропускание электромагнитного излучения видимого диапазона тонким слоем льда 0, конденсированного на диэлектрическую подложку // Письма в ЖЭТФ. 2020а. Т. 111. № 5-6 (3). С. 311-315.
- ✎ Бордонский Г.С., Крылов С.Д., Гурулев А.А. Лёд 0 в природной среде. Экспериментальные данные и предполагаемые области его существования // Лёд и снег. 2020б. 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.
- ✎ Далин П.А., Перцев Н.Н., Ромейко В.А. Серебристым облакам 120 лет? // Природа. 2005. № 6. С. 12-21.
- ✎ 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.



# Список работ коллектива по «серебристым» облакам

16

- ✎ **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. SPIE, 2019. V. 11208. P. 120818. DOI: [10.1117/12.2539769](https://doi.org/10.1117/12.2539769)
- ✎ **Bordonskiy G.S., Gurulev A.A., Orlov A.O., Tsyrenzhapov S.V.** Methods of Microwave Radiometric Studies of Mesospheric Clouds // 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. SPIE, 2020. V. 11560. P. 115601S. DOI: [10.1117/12.2575543](https://doi.org/10.1117/12.2575543)
- ✎ **Бордонский Г.С., Гурулев А.А., Орлов А.О.** О возможности регистрации мезосферных ледяных облаков по отраженному радиотепловому излучению // Материалы 18-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, 2020. С. 137.
- ✎ **Орлов А.О., Гурулев А.А., Бордонский Г.С.** Исследование микроволнового излучения, отраженного от серебристых облаков // Материалы 19-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, 2021. С. 184.
- ✎ Перцев Н.Н., Далин П.А., Перминов В.И., Гусев Н.К., Цимеринов Е.Ю., Солодовник А.А., Задорожный А.М., Коротышкин Д.В., **Бордонский Г.С.** Анализ полей серебристых облаков по данным сетевой наземной и самолетной фотосъемок // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2024. Т. 60. № 2. С. 221-228. DOI: [10.31857/S0002351524020089](https://doi.org/10.31857/S0002351524020089) (пер. Pertsev N.N., Dalin P.A., Perminova V.I., Gusev N.K., Tsimerinov E.Yu., Solodovnik A.A., Zadorozhny A.M., Korotyshkin D.V., **Bordonskiy G.S.** Analysis of noctilucent cloud fields according to ground-based network and airborne photography data // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2024. Vol. 60. No. 2. P. 187–194. DOI: [10.1134/S0001433824700191](https://doi.org/10.1134/S0001433824700191))
- ✎ **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. DOI: [10.31857/S0033849424040013](https://doi.org/10.31857/S0033849424040013)
- ✎ **Бордонский Г.С., Гурулев А.А., Орлов А.О., Казанцев В.А., Козлов А.К.** Причина микроволновых особенностей свечения серебристых мезосферных облаков // Радиофизика, фотоника и исследование свойств вещества: Материалы III Российской научную конференцию, Омск, 08-10 октября 2024 года. – Омск: Омский научный центр СО РАН, 2024.

**Благодарю за внимание!**