



Особенности измерений излучательных характеристик криосферных объектов в микроволновом диапазоне с борта БПЛА

Бордонский Г.С., Гурулев А.А., Казанцев В.А., Козлов А.К.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН

e-mail:lgc255@mail.ru

2025 год

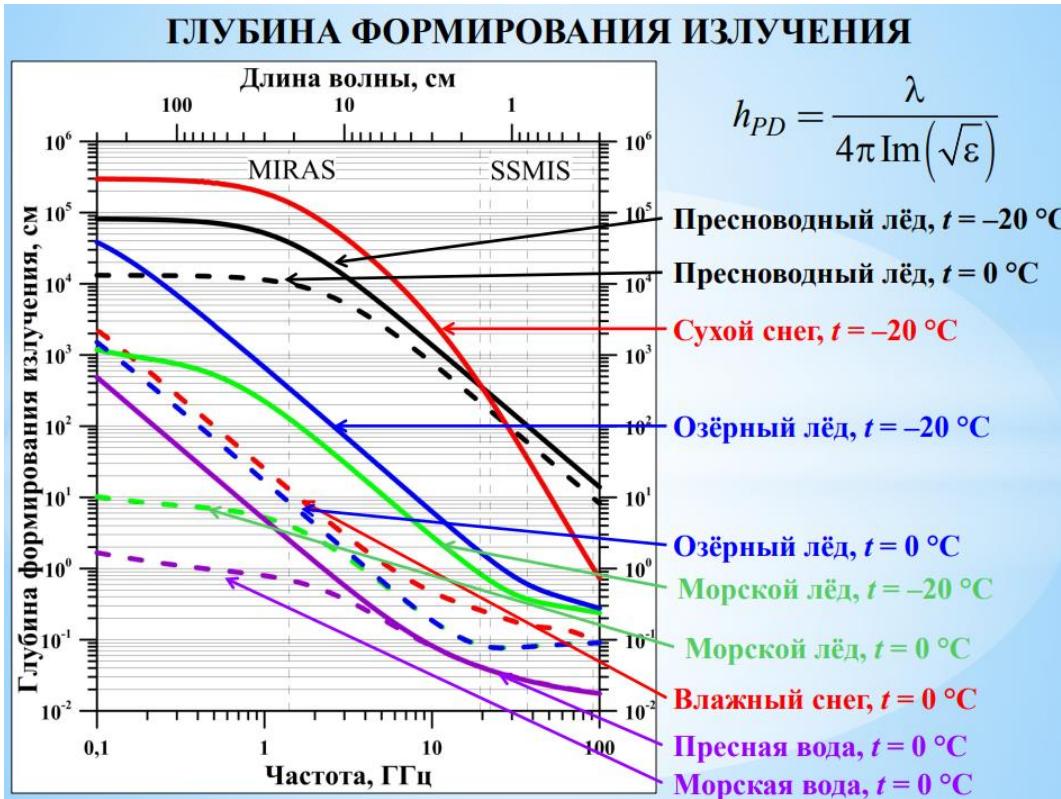
Актуальность исследования с использованием БПЛА



- *Оперативность получения данных.*
- *Всепогодность использования БПЛА.*
- *Высокое пространственное разрешения.*
- *Используется для решения задач:*
 - *сельскохозяйственных,*
 - *мониторинг опасных явлений и чрезвычайных ситуаций,*
 - *мониторинг техногенных объектов,*
 - *для поисковых задач,*
 - *другое*

1. Амирова и др. Перспективы использования беспилотных технологий в сельском хозяйстве // Научно-технический вестник Поволжья. 2023. № 8. С. 41-48.
2. Репина и др. Использование беспилотных летательных аппаратов для исследования атмосферного пограничного слоя // Инноватика и экспертиза: научные труды. 2020. № 2 (30). С. 20-39.
3. Кориненко и др.. Особенности регистрации обрушений ветровых волн с беспилотных летательных аппаратов // Исследование Земли из космоса. 2023. № 3. С. 13-26.
4. <https://www.rbc.ru/industries/news/651fc16d9a79476386445662>

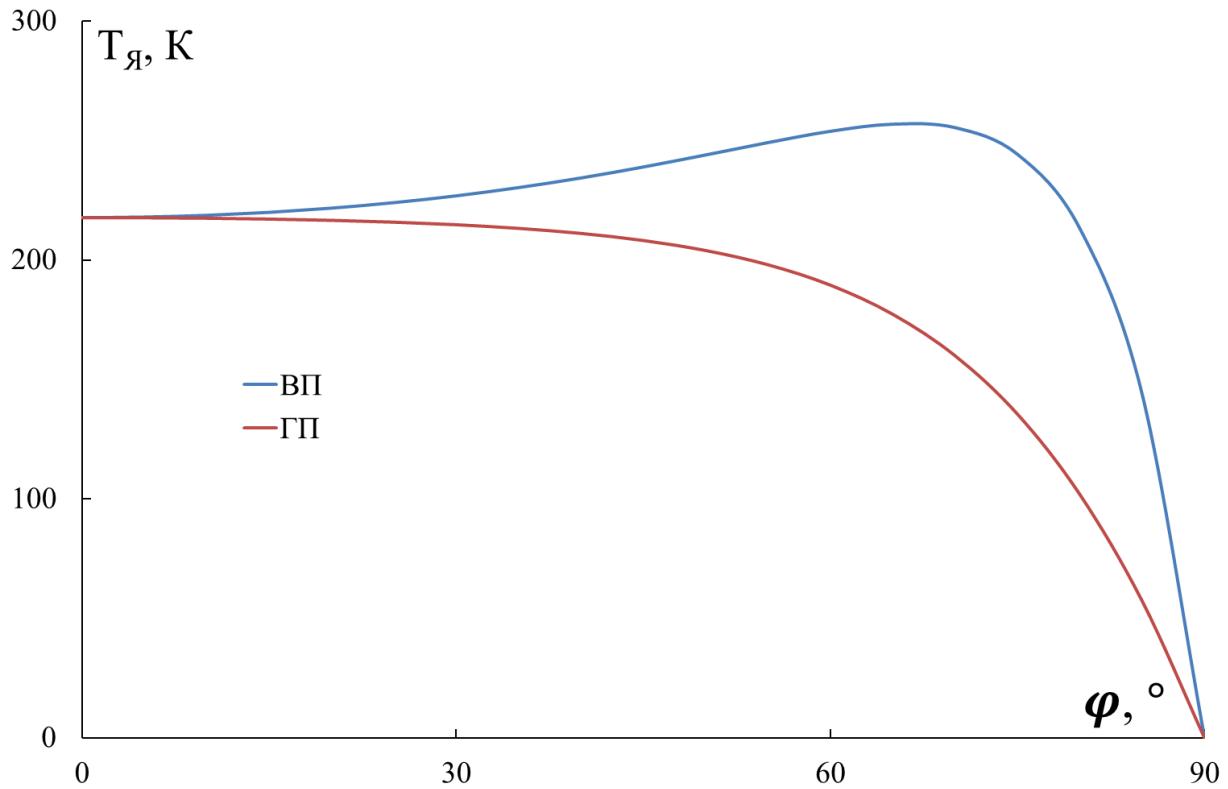
Зависимость величины скин слоя в микроволновом диапазоне для различных водных объектов



$$h_{PD} = \frac{\lambda}{4\pi \operatorname{Im}(\sqrt{\epsilon})}$$

*В миллиметровом и
сантиметровом
диапазонах существует
эффективная возможность
исследовать снег и
пресноводные льды !*

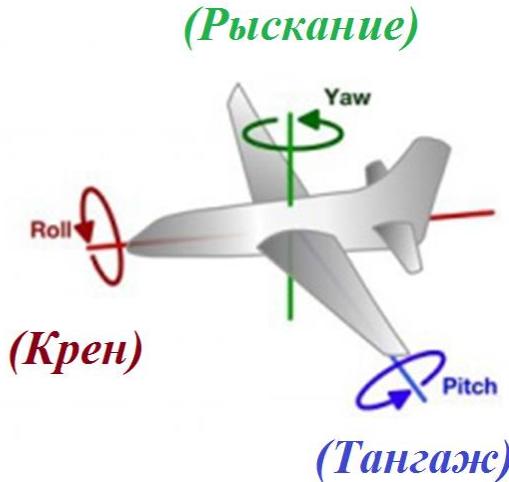
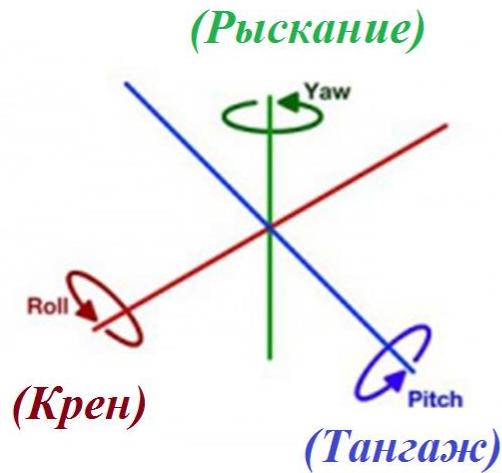
Зависимость радиояркостной температуры T_y ледяного покрова с минерализацией 5 мг/кг от угла для вертикальной (ВП) и горизонтальной (ГП) поляризаций. Толщина льда 20 см.



*Проблемы интерпретации
данных при измерении
радиояркостной
температуры с БПЛА*

1. Излучательные характеристики сред зависят от угла наблюдения.
2. Излучательные характеристики сред зависят от вида поляризации.

Угол тангажа и крена



Необходимо непрерывно осуществлять запись угла тангажа и крена БПЛА при непрерывных измерениях мощности радиотеплового излучения с борта БПЛА.

ИЛИ

Использовать гироплатформу для стабилизации с установленным на ней радиометрическим приемником

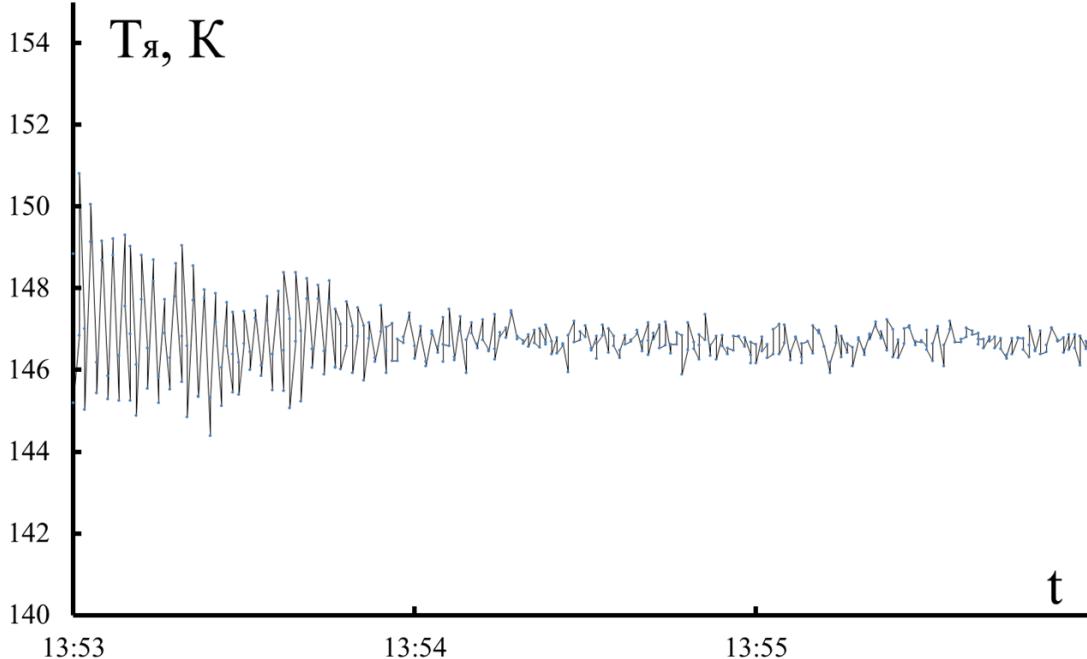
БПЛА с установленным на его борт радиометром



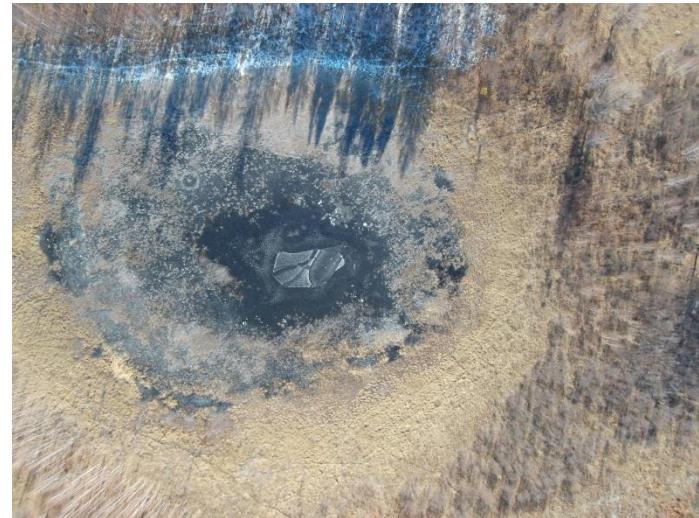
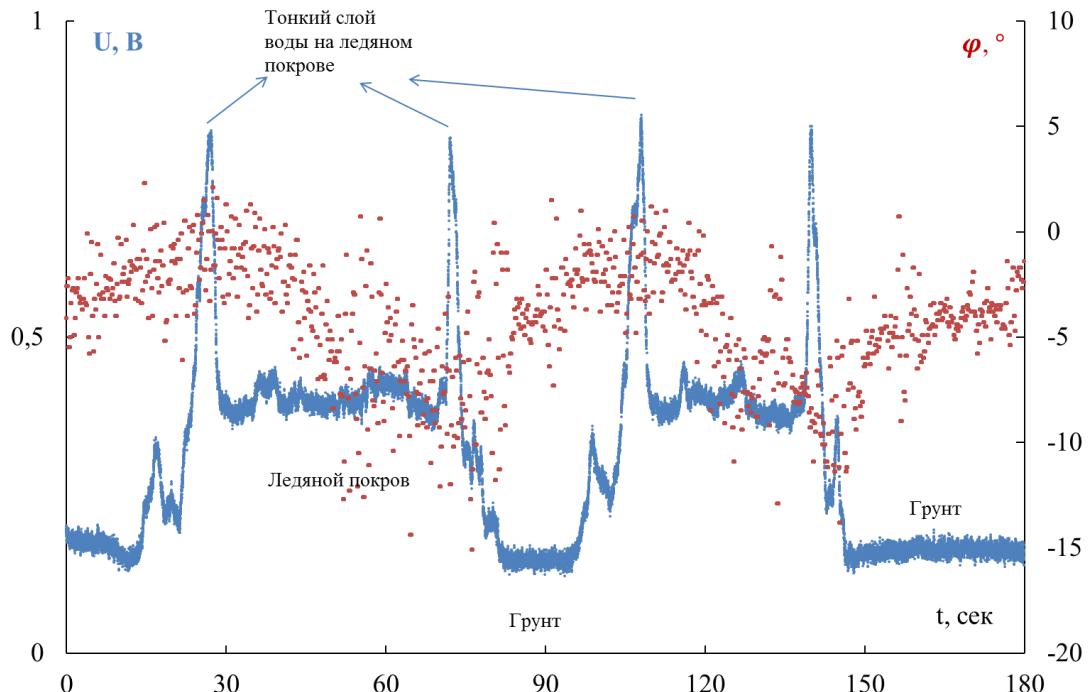
В ИПРЭК СО РАН был
изготовлен
радиометрический
приемник на частоту 34 ГГц
с шириной полосы 2,3 ГГц и
чувствительностью 0,05 К
при постоянной времени 1 с.



Изменение значения радиояркостной температуры пресной воды на частоте 34 ГГц при изменении угла наблюдения от 10° до 20° во время ветрового воздействия на радиометр. Во время измерений радиометр был расположен на тросе.



Выходное напряжение с радиометра на длину волны 0,88 см (синие маркеры) и угол тангажа (красные маркеры) при пролете через пресный водоем диаметром 30 метров. 21 октября 2025 г. Ледяной покров толщиной 3 см.



Решение проблемы:

Можно корректировать значение радиояркостной температуры в зависимости от угла наблюдения или производить отбор измерений под необходимыми углами

Калибровка радиометра, установленного на борт БПЛА



Калибровку радиометров целесообразно производить по эталонам черного тела, имеющие различные термодинамические температуры и по отраженному от металлического листа холодного неба (в случае вымороженной безоблачной атмосферы).

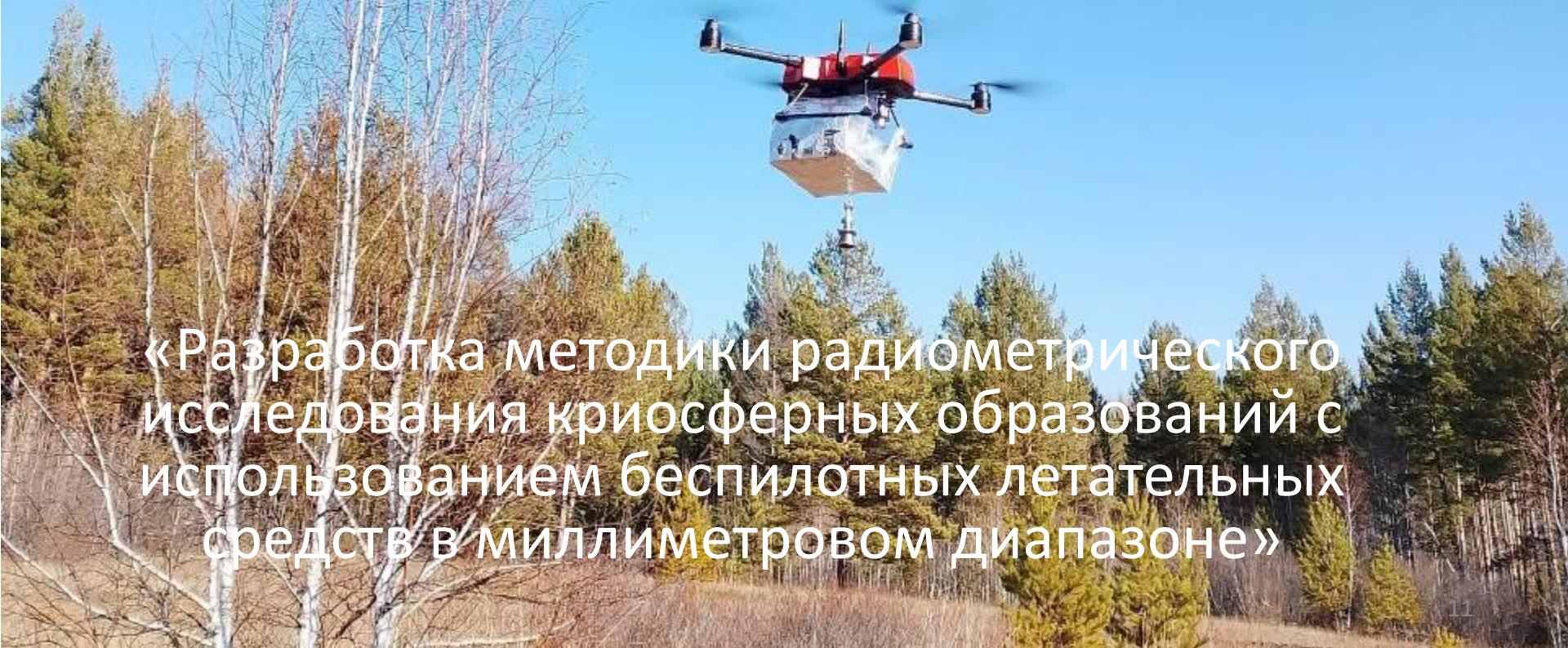
Выводы

1. Показана возможность исследований криосферных объектов в труднодоступных местах с использованием беспилотных летательных аппаратов с установленным на нем микроволновым радиометром, что позволяет исследовать внутреннюю структуру данных объектов.
2. При измерении мощности теплового излучения в микроволновом диапазоне необходимо производить одновременную регистрацию углов тангажа и крена БПЛА (положение радиометра в пространстве). Требуемая стабилизация колебаний оси антенн $\leq 1^\circ$.
3. Калибровку радиометров необходимо проводить по черным телам, имеющим различные термодинамические температуры. Размеры таких тел должны перекрывать главный лепесток диаграммы направленности антенны радиометра. Также можно использовать металлический лист, который будет отражать излучение холодного неба.
4. Необходимо термостабилизировать микроволновый радиометр и во время измерений проводить регистрацию значений температуры внутри измерительного блока.

Работа выполнена при поддержке
гранта РНФ № 24-27-00278



«Разработка методики радиометрического исследования криосферных образований с использованием беспилотных летательных средств в миллиметровом диапазоне»



Спасибо за внимание !

