



# Исследование участка наледи на реке Смоленка (Забайкальский край) в микроволновом и ИК диапазонах

Орлов А.О., Гурулев А.А., Казанцев В.А., Козлов А.К.

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

[lgc255@mail.ru](mailto:lgc255@mail.ru)

В различных районах Земли, в которых температура воздуха принимает отрицательные значения, нередко образуются наледи. Наледи распространены в России, Канаде, Японии (Алексеев, 1987). Поскольку наледи возникают при периодическом выходе на поверхность и замерзании грунтовых вод или речной воды, вытесняемой донным льдом, они представляют собой слоистые образования (Скрыльник, 2018). Толщина наледей составляет от нескольких миллиметров, до нескольких сот метров. Они могут оказывать негативное влияние на технические сооружения, дорожные покрытия и инфраструктуру регионов (Стручкова и др., 2020; Turcotte et al., 2023). В связи с этим их исследование и мониторинг являются актуальными задачами.

Исследования наледей осуществляется как прямыми измерениями – взятием проб, так и дистанционными методами мониторинга. Дистанционные исследования помогают решить такие проблемы изучения наледей как труднодоступность, небезопасность (наличие воды под относительно тонким слоем льда), а также повысить частоту измерений динамически изменяющихся объектов по сравнению с контактными методами. Так как наледь представляет собой **слоистую структуру**, то существуют некоторые уникальные ее свойства в микроволновом диапазоне (Козлов, Гурулев, 2023). В настоящей работе рассмотрены возможности микроволновой радиометрии для исследования наледей с небольшого расстояния для повышения разрешения.



Пример слоистой структуры  
наледи в пещере Хээтэй  
(Забайкальский край).  
Длина керна 70 см.  
Дата фото – 29.05.2010.

Для исследования излучательных свойств наледи был выбран участок наледного образования на реке Смоленка (Забайкальский край), свободный от растительности, с размерами  $4 \times 19$  кв. м, расположенный вблизи береговой зоны. Верхний слой льда имел толщину  $\sim 10$  см ниже располагался слой воды толщиной  $\sim 15$  см, а дальше располагался слой льда. Общая толщина наледи составляла около 50 см. Минерализация верхнего слоя льда составляла в момент измерения  $\sim 300$  мг/кг. В момент измерения температура воздуха составляла  $+3^\circ\text{C}$ .



Фото участка наледи на р. Смоленка.  
Фото сделано берега.  
Растительность на переднем плане  
береговая.

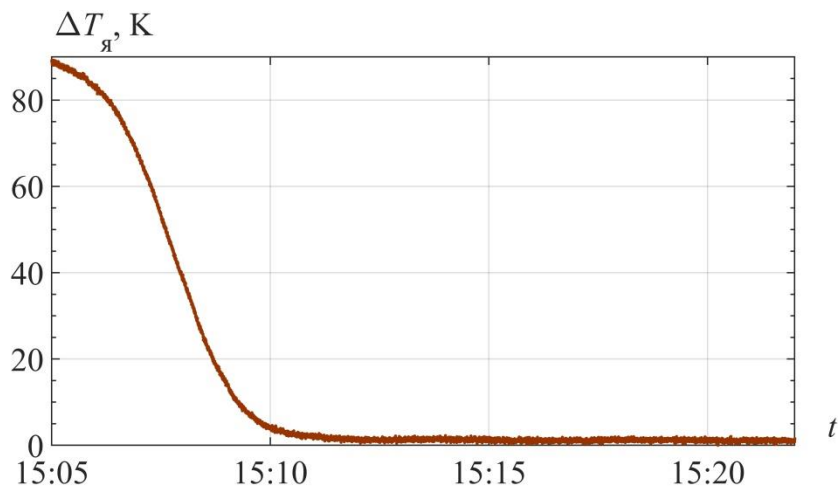


Для измерения радиотеплового излучения исследуемого участка наледи использовались микроволновые радиометры на длины волн 0,88 см и 2,3 см и инфракрасный радиометр с диапазоном длин волн 8...14 мкм, расположенные на санях под углом наблюдения  $45^\circ$ .

Фото радиометрических приёмников на санях.

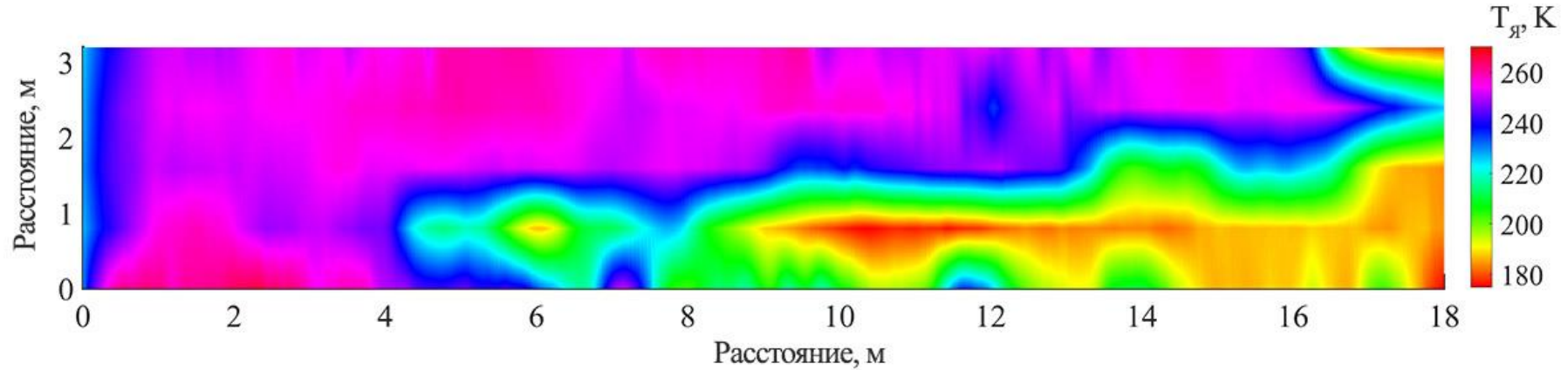
Были выполнены измерения участка наледи по параллельным профилям, в результате чего получена карта распределения радиояркостных температур. Дополнительно на том же исследуемом участке р. Смоленка были выполнены непрерывные измерения быстро изменяющейся структуры наледи при выходе воды на ледяной покров. С появлением воды радиояростная температура в микроволновом диапазоне в течение ~3 минут (время попадания воды в область

направленности антенн радиометров) уменьшилась на ~90 К, что связано с отличающимися излучательными характеристиками воды и льда.

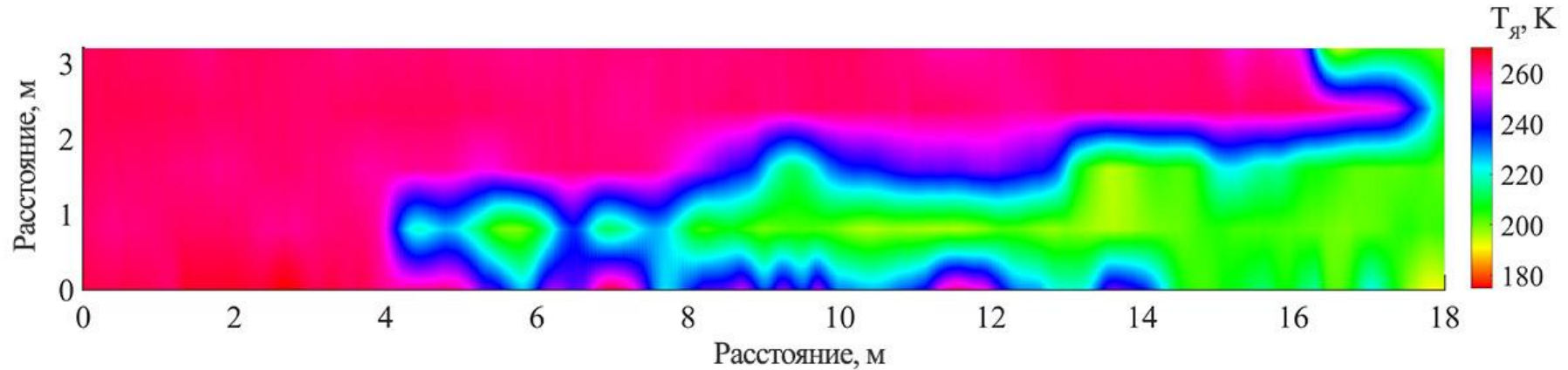


Временной ход поведения радиояростной температуры для длины волны 0,88 см





**Радиоизображение отсканированного участка наледи.**  
Псевдоцветом показана радиояркая температура наледи, характеризующая мощность теплового излучения, для длины волны **0,88 см**.



**Радиоизображение отсканированного участка наледи.**  
Псевдоцветом показана радиояркая температура наледи, характеризующая мощность теплового излучения, для длины волны **2,3 см**.



- ☞ Наблюдается различие в пространственном распределении радиоярких температур в миллиметровом и сантиметровом диапазонах. Данные различия связаны с тем, что слой формирующий излучение для данных длин волн существенно отличается. Соответственно, меньшее значение данного слоя наблюдается для длины волны 0,88 см.
- ☞ С учетом большого значения минерализации льда наледи дециметровый слой льда является практически полубесконечной средой для миллиметрового диапазона, так как скин-слой данной среды составляет всего несколько сантиметров. Для льда без слоя воды на поверхности обнаружены различия  $T_g$  на длине волны 2,3 см. Они достигают значений 15 К на данной длине волны. Данные вариации обусловлены различием толщины верхнего слоя ледяного покрова, а также пространственными вариациями минерализации льда.

- ✎ Показано, что для наледи характерно проникновение жидкой воды во внутренние слои образования. Это существенно усложняет определение структуры при дистанционных измерениях. Использование микроволнового диапазона позволяет оценить структурные особенности данного объекта.
- ✎ Наледь является относительно быстро изменяющейся во времени структурой, содержащей жидкую и замерзающую воду, что отражается на ее излучательных свойствах в микроволновом диапазоне.
- ✎ Пространственное распределение радиоярких температур в миллиметровом и сантиметровом диапазонах является взаимодополняющими друг друга характеристиками наледи, позволяющими определять внутреннюю приповерхностную структуру таких образований (минерализация, наличие воды подо льдом и т.п.).

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПРЭК СО РАН по теме: «Электромагнитные характеристики холодной воды, мерзлых сред и совершенствование микроволновых методов дистанционного зондирования вод суши», Рег. № НИОКТР 121032200069-6.

- ✎ Алексеев В.Р. Нале́ди. Новосибирск: Наука, 1987. 160 с.
- ✎ Козлов А.К., Гурулев А.А. Особенности радиотеплового изучения наледей в микроволновом диапазоне // Арктика и Антарктика. 2023. № 3. С. 73-85. DOI: 10.7256/2453-8922.2023.3.43976.
- ✎ Скрыльник Г.П. Нале́ди как особая форма малого оледенения и их роль в развитии геосистем Чукотки и Приморья // Успехи современного естествознания. 2018. № 9. С. 83-92. DOI: 10.17513/use.36871.
- ✎ Стручкова Г.П., Шеин Н.С., Капитонова Т.А. Применение методов нечеткого моделирования для оценки влияния наледей на функционирование магистральных трубопроводов // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2020. № 4. С. 21-31. DOI: 10.36535/0869-4176-2020-04-2.
- ✎ Turcotte B., Dubnick A., McKillop R. Icing and aufeis in cold regions II: consequences and mitigation // Canadian Journal of Civil Engineering. 2023. V. 51. Iss. 2. P. 125-139. DOI: 10.1139/cjce-2023-0119.

**Благодарю за внимание!**