

# Радиометрические и скаттерометрические исследования озер Забайкалья в зимний период времени

А.А. Гурулев, А.О. Орлов, С.В. Цыренжапов

*Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН  
672090 Чита, ул. Бутина, 26  
E-mail: [lgc255@mail.ru](mailto:lgc255@mail.ru)*

Приведены экспериментальные данные дистанционного зондирования пресных ледяных покровов в зимний период времени в сантиметровом диапазоне при активном и пассивном методе радиолокации. Показано, что при совместных методах исследований при одинаковых пространственных разрешениях порядка одного метра можно выделять участки водного объекта, где наблюдается большая эвтрофированность.

**Ключевые слова:** ледяной покров, эвтрофированные озера, электромагнитные свойства.

## Введение

Радиофизические методы исследования, как активные (радарные), так и пассивные (радиометрические) с применением спутниковых систем широко используются для изучения Арктики и Антарктиды. Вместе с тем, в условиях России, существует множество относительно крупных и мелких водоемов, покрытых в зимнее время льдом, для которых существующие методики недостаточно эффективны: во-первых, из-за низкого пространственного разрешения при радиометрических измерениях, во-вторых, из-за малой величины вариаций коэффициента рассеяния ото льда пресных водоемов при радарных исследованиях.

При измерениях объектов совместными активным и пассивным методами при одинаковом пространственном разрешении можно получить более полную информацию о параметрах водных объектов. Используя авиационные или подвижные наземные носители аппаратуры можно осуществить одновременные активные и пассивные измерения ледяных структур с одинаковым и высоким пространственным разрешением. При этом дополнительную информацию можно получить при наложении радиоизображений рассеянного сигнала, излучаемого локатором, и собственного теплового излучения исследуемого объекта.

## Методика измерений и объекты исследований

Нами были выполнены совместные скаттерометрические и радиометрические измерения на ледяных покровах Ивано-Арахлейских озер с минерализацией вод порядка 100 мг/л расположенных в Забайкальском крае, кроме того было исследовано содовое оз. Доронинское с общей минерализацией 35 г/л.

Для исследования пресного ледяного покрова были выбраны два озера, это озеро Арахлей и озеро Шакшинское. Отличия данных водоемов заключается в том, что один из водоемов является относительно неглубоким по сравнению с другим, в связи с этим он является эвтрофированным – это озеро Шакшинское. Толщина снежного покрова в момент измерения не превышала 15 см. Снег был сухим.

Радиометрические измерения были выполнены с помощью СВЧ-радиометров на длины волн 2,3 см, 5,6 см и 12 см, которые устанавливались на автомобиль-лабораторию. Угол наблюдения составлял 30°. При активном радарном методе исследований использовались СВЧ-генераторы на

длины волн 2,3 см и 5,6 см, которые устанавливались также на автомобиль. Рассеянный объектом сигнал регистрировался радиометрическими приемниками. Расстояние от антенн до ледяного покрова составляло 2 метра. Запись сигналов с выхода приборов осуществлялась через систему сбора данных фирмы Agilent на компьютер. Измерения выполнялись в марте 2007-2008 годов. Одновременно осуществляется отбор проб на некоторых участках ледяных покровов. На рис. 1 приведена фотография СВЧ-комплекса, установленного на автомобиль «Нива».

Соленость ледяного покрова в момент измерения для пресных водоемов составляла 3÷5 мг/кг, а соленость льда оз. Доронинского составляла 1000÷2500 мг/кг.



*Рис. 1. Автомобиль-лаборатория с установленным СВЧ-комплексом*

### **Результаты измерений для содового озера**

Нами рассматривалась возможность совместного активно-пассивного радарного измерения ледяного покрова озера Доронинского при высоком пространственном разрешении порядка нескольких метров. Данный водоем имеет большую концентрацию солей, ее концентрация на поверхности водоема составляет 35 г/л. Также на этом озере наблюдается необычное явление, на поверхность ледяного покрова выступает сода (гуджир), которую местные жители используют для хозяйственных нужд.

При картировании озера в начале марта 2008 года вырисовалась некоторая структура ледяного покрова. Заметная доля рассеяния СВЧ-сигнала для содового озера, связана с состоянием снежного покрова. Вариации толщины снега по акватории озера составляли от 0 см до 15 см, причем соленость в некоторых точках достигала 150 г/л, что показано на рис. 2. В местах, где наблюдается повышенное значение мощности обратного рассеяния (южная часть водоема), местные жители и собирают гуджир. Таким образом, активный метод радиолокации позволил обнаружить выход солей на поверхность ледяного покрова.

Что касается пассивного метода исследования данного водоема, то он оказался малоэффективным, что связано с тем, что соленость ледяного покрова в среднем составляет 2 г/кг. И по этой причине тепловое излучение данного природного объекта формируется в небольших

толщинах. Однако по данному сигналу можно судить о температуре внутри ледяного покрова по всей акватории озера, что является немаловажным фактором при исследовании процессов происходящих в водоеме. Термальных подтоков на оз. Доронинском нами обнаружено не было. Температура по акватории водоема практически постоянна. Хотя существуют незначительные ее вариации.

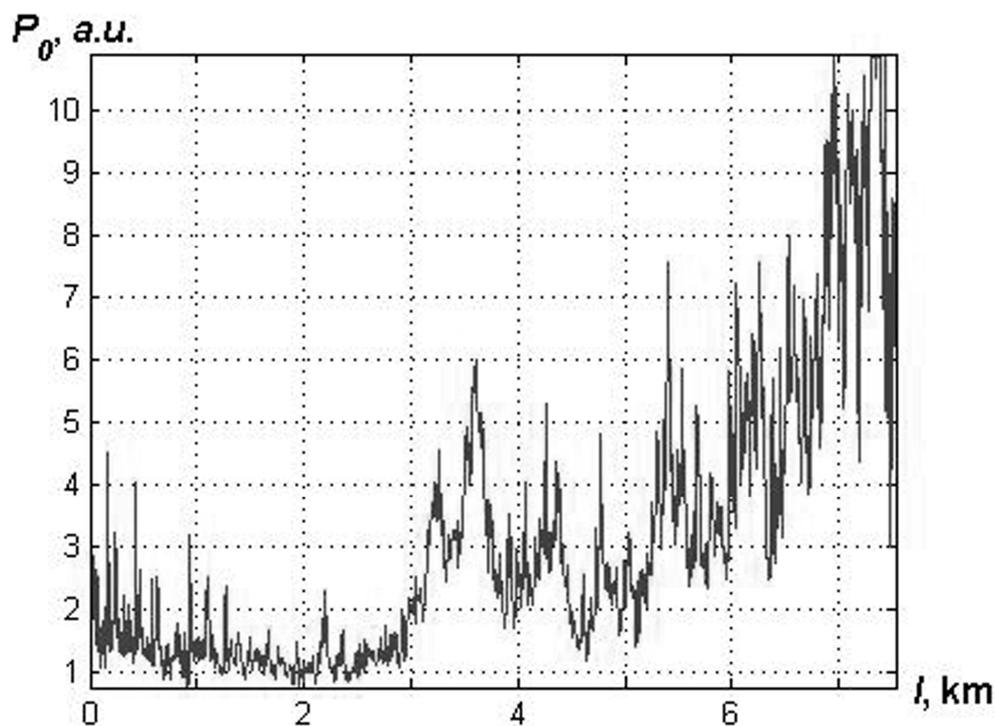


Рис. 2. Коэффициент обратного рассеяния на длине волны 5,6 см (горизонтальная поляризация, угол зондирования  $-45^\circ$ ) оз.Доронинское. Март 2008.

Таким образом, для содового озера выявлены участки поверхности ледяного покрова с повышенным содержанием солей, которые выступили на поверхность. Обнаружение засоленных мест с использованием активного метода радиолокации требует дальнейшего рассмотрения. Так, например, не ясен вопрос о влиянии температуры на такие участки (из-за нагрева выше температуры эвтектики солей).

### Результаты измерений для пресных озер

Активные и пассивные радарные исследования для пресных водоемов показали следующие результаты.

При исследовании водоемов с повышенным содержанием органики были выделены такие места, где значение коэффициента обратного рассеяния принимало относительно большие значения, что показано на рис. 3а. В этих местах в летнее время нами были взяты пробы на наличие высшей водной растительности и, действительно, в этих местах наблюдается активный их рост. В областях, где значение данного коэффициента небольшое, высшая водная растительность отсутствует. Повышенное значение радиояркой температуры также соответствует местам, где наблюдается активный рост высшей водной растительности. Однако изменение значения коэффициента обратного рассеяния больше, чем приращение радиояркой температуры, что показано на рис. 3б.

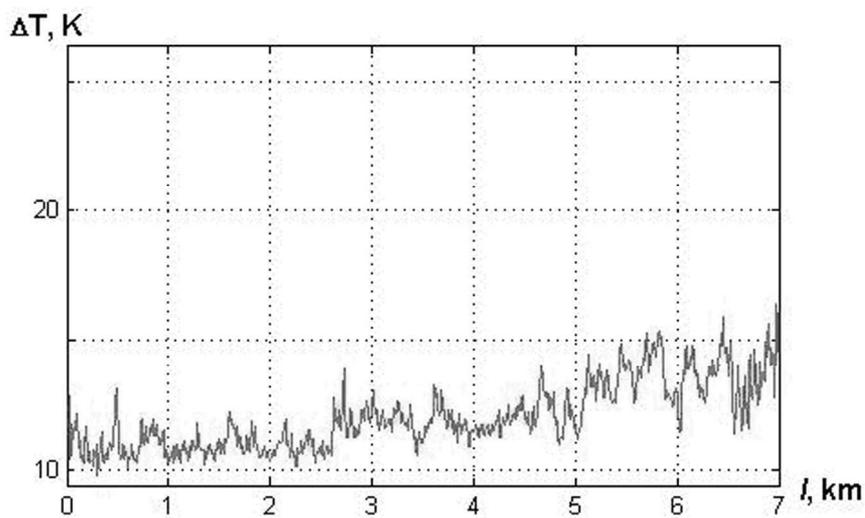


Рис. 3а. Коэффициент обратного рассеяния от дистанции по оз. Шакинское на длине волны 5,6 см. Март 2007 год.

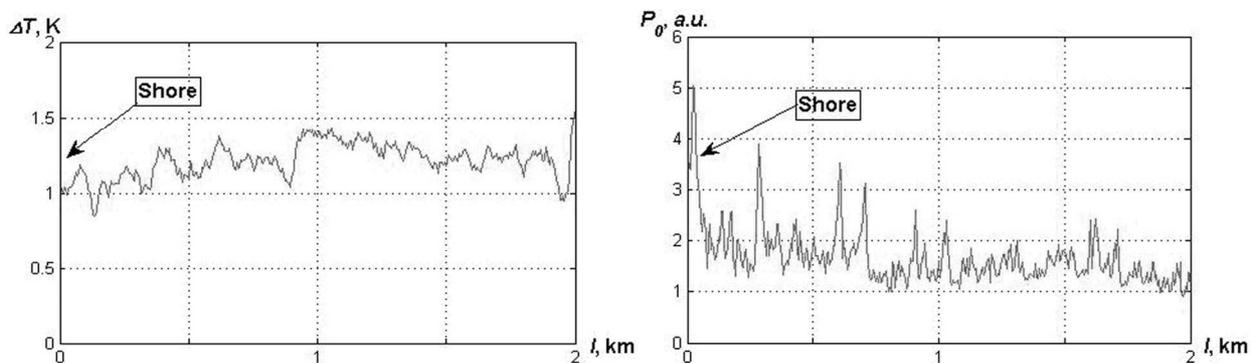


Рис. 3б. Приращение радиояростной температуры ледяного покрова на оз. Шакинское на длине волны 2,3 см. Март 2007 год.

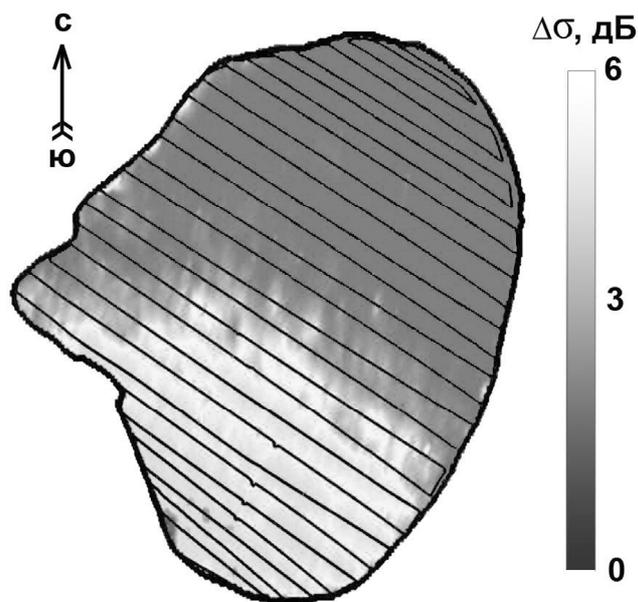


Рис. 4. Трассовая запись а) коэффициента обратного рассеяния на длине волны 5,6 см и б) приращения радиояростной температуры на длине волны 2,3 см для оз. Арахлей. Март 2007 год.

Что же касается более глубокого и, соответственно, менее эвтрофированного оз. Арахлей, то для него существенных вариаций коэффициента обратного рассеяния и радиояростной температуры нет. Так, на рис. 4 приведены трассовые записи по данному водоему.

### Выводы

Как было показано в работе [1], по приращению радиояростной температуры для пресного ледяного покрова можно судить о минерализации исходных вод водоема, но одним из мешающих факторов в данном методе являются включения в ледяном покрове в виде вмороженной в лед высшей водной

растительности и газовых включений. Для обнаружения включений в ледяном покрове соизмеримых с длиной волны эффективным является активный радарный метод, что позволяет выделить области с крупными включениями.

Таким образом, из полученных результатов можно сделать вывод о том, что совместные активные и пассивные радарные методы при одинаковом пространственном разрешении являются взаимодополняющими для мониторинга пресных водоемов в зимний период времени. По вариациям радиотеплового излучения можно судить о включениях во льду намного меньших, чем длина волны (соли и планктоны), а с использованием активного радарного метода, можно судить о включениях соизмеримых с длиной волны (высшая водная растительность).

### Литература

1. Бордонский Г.С., Крылов С.Д., Гурулев А.А. Оценка минерализации пресных водоемов по радиотепловому излучению ледяного покрова // Исследование Земли из космоса, 2002. №4. С.91-96.
2. Бордонский Г.С., Гурулев А.А. Особенности радиотеплового излучения ледяных покровов водоемов с различной степенью минерализации // Водные ресурсы, 2008. Т. 35. №2. С.210-215.

## Radiometric and Radar Scattering Measurements Transbaikalian Lakes in Winter

A.A. Gurulev, A.O. Orlov, S.V. Tsyrendzapov

*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS  
26, Butina, Chita, 672090  
E-mail: [lgc255@mail.ru](mailto:lgc255@mail.ru)*

The experimental data of remote sensing fresh-water ice cover in winter at centimetre band by active and passive radar methods are presented. It was founded that difference in eutrophication of water objects is observed for using joint methods if identical spatial resolution used.

**Keywords:** ice cover, eutrophic lakes, electromagnetic properties.