

Рис. 2. Радиоизображение ледяного покрова оз. Доронинского 23 февраля 2013 г.  
Длина волны 5,6 см, пространственное разрешение 8 м,  
излучение и прием на горизонтальной поляризации

Радиолокационные изображения содового озера в зимнее время определяются состоянием верхнего слоя льда порядка нескольких сантиметров и снежным покровом. На рис. 1 видна пятнистая структура радиоизображения, определяемая геохимическими процессами: миграцией солей в поверхностный слой и их криохимическими превращениями [2]. Эта структура проявляется перед началом таяния льда. В более холодный зимний период времени наблюдали однородное по площади объекта обратное рассеяние (см. рис. 2). По этому параметру ледяной покров меромиктического соленого озера существенно отличается от льда пресных озер, где наблюдается пространственная изменчивость из-за рассеивающих падающее излучение внутренних неоднородностей.

#### Библиографические ссылки

1. Даркин Д. В., Митник Л. М., Митник М. Л. Спектры коэффициентов излучения молодого льда в микроволновом диапазоне по данным измерений со спут-

ника Aqua (на примере Охотского и Японского морей) // Исследования Земли из космоса. 2008. № 1. С. 3–14.

2. Бордонский Г. С., Крылов С. Д. Миграция солевых включений в ледяных покровах озер Забайкалья // Известия РАН. Серия «География». 2000. № 4. С. 98–102.

3. Особенности свойств ледяного покрова содового озера на частоте 13,7 ГГц / А. А. Гурулев, Ю. В. Харин, К. А. Щегрина, П. Ю. Лукьянов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. № 1. С. 289–293.

#### References

1. Darkin D. V., Mitnik L. M., Mitnik M. L. Issledovanie Zemli iz Kosmosa, 2008, no. 1, pp. 3–14.

2. Bordonskiy G. S., Krylov S. D. Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya, 2000, no. 4, pp. 98–102.

3. Gurulev A. A., Kharin Y. V., Lukyanov P. Y., Schegrina K. A. Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa, 2012, no.1, pp. 289–293.

© Бордонский Г. С., Орлов А. О., Гурулев А. А., Щегрина К. А., 2013

УДК 621.396.969

### РАДИОЛОКАЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ПРЕСНЫХ ОЗЕР

А. А. Гурулев, С. Д. Крылов, С. В. Цыренжапов

Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук  
Россия, 672014, Чита, ул. Недорезова, 16а. E-mail: lgc255@mail.ru

*Рассматривается вопрос об определении неоднородностей в ледяном покрове пресных и слабосоленых водоемов с использованием пассивной и активной радиолокации в СВЧ-диапазоне. В работе выполнено обоснование определения солевых неоднородностей во льду. Для определения неоднородностей соизмеримых с длиной волны практическое применение может найти активный радиолокационный метод.*

*Ключевые слова: ледяной покров, радиометрия, коэффициент обратного рассеяния, микроволновый диапазон.*

## RADAR DETECTION OF NON-UNIFORMITIES OF THE ICE COVER OF FRESH WATER LAKES

A. A. Gurulev, S. D. Krylov, S. V. Tsyrenzhapov

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology Russian Academy of Sciences, Siberian Branch  
16a Nedorezova st., Chita, 672014, Russia. E-mail: lgc255@mail.ru

*The authors consider the question of detection of non-uniformities in the ice cover of fresh and light-salted water basins with the use of passive and active radio-detection in the microwave range. The paper contains ground for detection of salt inclusions in the ice. In the process of detection of non-uniformities comparable to the wavelength, practical application can find an active radar method.*

*Keywords: ice cover, radiometry, reflection coefficient, microwave range.*

В момент становления ледяного покрова из исходных вод происходит захват различного рода примесей, таких как соли, пузыри, зоопланктон и фитопланктон, высшая водная растительность и т. п. Данные включения во льду при пассивной радиолокации (радиометрии) в микроволновом диапазоне влияют на мощность теплового излучения. Так в работах [1; 2] приведены расчеты и измерения радиояркостной температуры ( $T_{\text{я}}$ ), которая характеризует мощность теплового излучения, ледяных покровов для водоемов с различной степенью минерализации. Исследования показали, что при увеличении содержания солей во льду происходит повышение  $T_{\text{я}}$ . Наиболее оптимальными для определения концентрации солей во льду являются длины волн от 2 см до 3 см.

Нами выполнены радиометрические и радиолокационные измерения ледяных покровов двух карьеров в г. Балей (Забайкальский край) с минерализацией исходных вод: Балейский карьер – порядка 1 г/дм<sup>3</sup>; Тасеевский карьер – 3,5 г/дм<sup>3</sup>. Измерения в радиометрическом режиме выполнялись на длинах волн 2,3 см и 3 см для двух ортогональных поляризаций – верти-

кальной (ВП) и горизонтальной (ГП). Измерения коэффициентов обратного рассеяния осуществлялись на длине волны 5,6 см, излучение осуществлялось на ГП, прием на ВП и ГП. Вся аппаратура располагалась на автомобиле «Нива» (рис. 1), угол наблюдения составлял 50°.

Измерения были выполнены 19 марта 2013 г. Температура поверхности льда составляла –6 °С, толщина снега составляла 10–15 см, толщина ледяного покрова – 89 см. особенность водоемов в том, что происходит постоянный подток воды по стенкам карьера, что, в свою очередь, приводит к образованию наледей.

Результаты радиометрических измерений следующие:  $T_{\text{я}}$  как на вертикальной поляризации, так и на горизонтальной поляризации имеет повышенное значение для Тасеевского карьера. Пример трассовой записи для длины волны 2,3 см на ВП для двух карьеров приведен на рис. 2. Как видно из рисунка, наблюдаются вариации  $T_{\text{я}}$ , что можно связать с неравномерным распределением включений в ледяном покрове по акватории водоемов.



Рис. 1. Радиолокационная аппаратура, установленная на автомобиль. Радиометрические приемники: 1 – длина волны 2,3 см; 2 – длина волны 3 см; 3 – радиолокатор длину волны 5,6 см

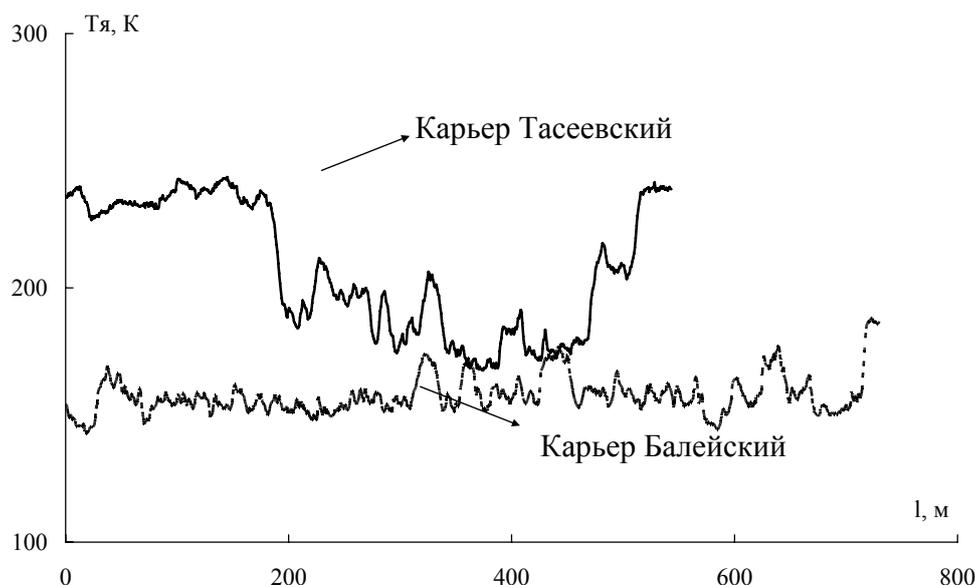


Рис. 2. Трассовая запись радиояркостной температуры ледяного покрова на длине волны 2,3 см. Вертикальная поляризация

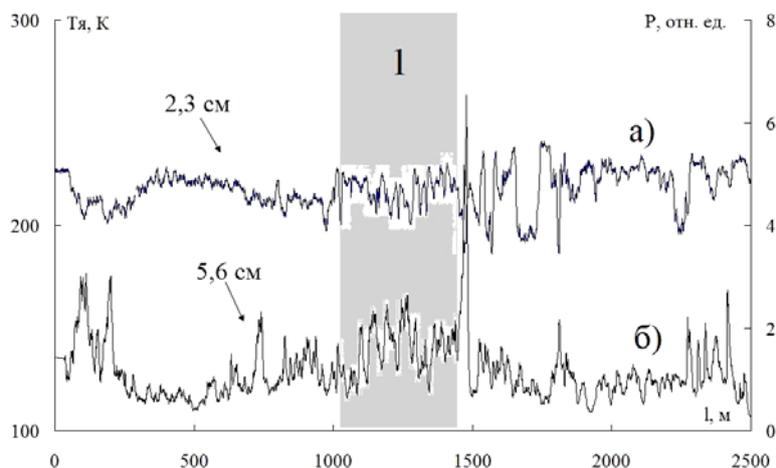


Рис. 3. Трассовая запись по периметру Тасеевского карьера:  
а – радиояркостная температура на длине волны 2,3 см (ВП); б – мощность коэффициента обратного рассеяния на длине волны 5,6 см (в относительных единицах)

При радиолокационных измерениях по периметру водоемов (рис. 3) были обнаружены участки, где происходит подток вод, на графике данный участок выделен цифрой 1. Также по результатам измерений в ледяном покрове были обнаружены неоднородности, соизмеримые с длиной волны, что показала активная радиолокация на длине волны 5,6 см.

Таким образом, в ледяном покрове можно определять наличие неоднородностей радиолокационным способом, причем при пассивной радиолокации существует возможность определять и концентрацию солевых включений, при активной радиолокации можно определять неоднородности, сопоставимые с длиной волны.

#### Библиографические ссылки

1. 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.
2. Бордонский Г. С., Крылов С. Д., Гурулев А. А. Оценка минерализации пресных водоемов по радиотепловому излучению ледяного покрова // Исследования Земли из космоса. 2002. № 4. С. 91–96.

#### References

1. Bordonskiy G. S., Gurulev A. A. Vodnye resursy. 2008, vol. 35, no. 2, pp. 210–215.
2. Bordonskiy G. S., Kryilov S. D., Gurulev A. A. Issled. Zemli iz kosmosa. 2002, no. 4, pp. 91–96.

© Гурулев А. А., Крылов С. Д., Цыренжапов С. В., 2013