

### Библиографические ссылки

1. Бобров П. П., Кондратьева О. В., Репин А. В. Измерение комплексной диэлектрической проницаемости образца в одной ячейке от десятков герц до единиц гигагерц // Известия вузов. Физика. 2012. № 8/3. С. 23–26.

2. Folgero K. Broad-band dielectric spectroscopy of low-permittivity fluids using one measurement cell // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 1998. Vol. 47, № 4. P. 881–885.

3. Sabburg J., Ball J. A. R., Hancock N. H. Dielectric behavior of moist swelling clay soils at microwave frequencies // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 1997. Vol. 35, № 3. P. 784–787.

4. Бобров А. П., Галеев О. В. Исследование метода определения диэлектрической проницаемости почв по модулям коэффициентов отражения и прохождения // Естественные науки и экология. Ежегодник ОмГПУ. 2001. С. 3–10.

5. Curtis J. O., Charles A. W. Jr., Everett J. B. Technical Report EL-95-34. 1995.

6. Бреховских В. Л. Волны в слоистых средах. М.: Наука, 1973.

7. Пат. РФ № 2474830 С1, МПК G01R 27/26 Способ измерения комплексной диэлектрической проницаемости жидких и сыпучих веществ в широком диапазоне частот / Бобров П. П., Кондратьева О. В., Репин А. В.; опубл. 10.02.13, Бюл. № 4.

8. Folgero K. A broad-band and high-sensitivity dielectric spectroscopy measurement system for quality determination of low-permittivity fluids // Measurement Science and Technology. 1995. Vol. 6. P. 995–1008.

9. Создание макросов в Visual Basic с помощью решения Microsoft Excel в Excel 97 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.support.microsoft.com/KB/843304>.

### References

1. Bobrov P. P., Kondrateva O. V., Repin A. V. Izvestiya Vuzov. Fizika. 2012, no. 8/3, pp. 23–26.

2. Folgero K. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 1998, vol. 47, no 4, pp. 881–885.

3. Sabburg J., Ball J. A. R., Hancock N. H. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 1997, vol. 35, no. 3, pp. 784–787.

4. Bobrov A. P., Galeev O. V. Estestvennye nauki i ekologiya. Ezhegodnik OmGPU, 2001, pp. 3–10.

5. Curtis J. O., Charles A. W. Jr., Everett J. B. Technical Report EL-95-34. 1995.

6. Brekhovskikh V. L. Volny v sloistykh sredakh (Waves in Layered Media). Moscow, Nauka, 1973. 343 p.

7. Pat. 2474830 S1 Rossiyskaya Federatsiya, МПК G01R 27/26 Bobrov P. P., Kondrateva O. V., Repin A. V., zayavitel' i patentoobladatel' FBGOU VPO "OmGPU". № 2011134175/28; zayavl. 12.08.11; opubl. 10.02.13; Byul. № 4. 12 p.

8. Folgero K. Measurement Science and Technology. 1995, vol. 6, pp. 995–1008.

9. Sozdanie makrosov Visual Basic s pomoshch'yu resheniya Microsoft Excel v Excel 97 (Create macros in Visual Basic by using Microsoft Excel solutions in Excel 97). Available at: <http://www.support.microsoft.com/KB/843304> (accessed 28 March 2013).

© Репин А. В., Ященко А. С., 2013

УДК 621.396.968

## ИЗУЧЕНИЕ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА СОЛЕННЫХ ОЗЕР РАДИОЛОКАЦИОННЫМ МЕТОДОМ\*

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

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

*Выполнено радиолокационное исследование ледяного покрова содового оз. Доронинского, расположенного в Забайкальском крае. Полученные данные показывают возможность изучения геохимических особенностей водоема после начала процесса таяния, когда возникают заметные пространственные неоднородности электромагнитных свойств снежно-ледяного покрова.*

*Ключевые слова: содовый лед, радиолокационные измерения.*

## INVESTIGATION OF SALINE LAKES ICE COVER BY RADAR METHOD

G. S. Bordonskiy, A. O. Orlov, A. A. Gurulev, K. A. Schegrina

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Russian Academy of Sciences Siberian branch  
16a Nedorezova st., Chita, 672014, Russia. E-mail: [lgc255@mail.ru](mailto:lgc255@mail.ru)

*Radar investigation of ice cover of soda lake Doroninskoe, located in Zabaikalskiy Region, was carried out. The measurement data show the possibility of geochemical peculiarities study after the beginning of melting process, when significant spatial inhomogeneities of electromagnetic properties of snow-ice cover start to appear.*

*Keywords: soda ice, radar measurements.*

\* Работа выполнена при поддержке Интеграционного проекта СО РАН №56 и гранта РФФИ №12-02-31237.

Морские льды широко изучаются с использованием спутниковой радиолокации [1; 2]. Этим методом определяются возрастные градации льда, торосы; льды являются индикаторами морских течений и т. д. Высокая пространственная разрешающая способность современных радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА), порядка одного метра, позволяет изучать объекты небольших размеров, в частности, ледяные покровы соленых озер. Такие объекты представляют определенный интерес в плане определения градаций солености и геохимических процессов, протекающих с участием ледяного покрова.

В настоящей работе выполнено исследование содового оз. Доронинское, расположенного на территории Забайкальского края, с целью определения возможностей радиолокации для определения некоторых параметров неглубоких меромиктических соленых озер.

**Методика экспериментов.** В эксперименте выполнен анализ радиолокационных изображений в конце зимнего периода времени, а также проведены наземные измерения электромагнитных свойств поверхностного слоя льда и других параметров: минерализации, температуры, структурных особенностей.

Были получены два радиоизображения ледяного покрова озера Доронинское с использованием РСА Cosmo-Sky Med на длине волны 3 см и разрешением 3 м, а также RADARSAT-1 на длине волны 5,6 см с пространственным разрешением 8 м.

При изучении электромагнитных свойств содового льда выполнено измерение погонного затухания излучения на длине волны 3 см с использованием микроволнового радиометра. Измерялось собственное радиотепловое излучение блока льда на фоне холодного неба при этом определена анизотропия электромагнитных потерь в зависимости от пространственной ориентации образца по отношению к вектору

электрического поля, создаваемого излучения на линейных поляризациях.

Использовали блоки льда в виде куба со стороной 23 см. Затухание (потери на прохождение сигнала по мощности  $L$ ) определяли из следующего соотношения:

$$T_{\text{я}} = T_{\text{н}} \cdot 1/L + T_0 \cdot (1 - 1/L),$$

откуда

$$1/L = 1 - T_{\text{я}}/T_{\text{н}},$$

где  $T_{\text{я}}$  – яркостная температура, измеряемая радиометром;  $T_{\text{н}}$  – яркостная температура неба (около 3 К для безоблачной атмосферы). Наземные и спутниковые измерения выполнены одновременно.

**Результаты исследования.** Радиоизображение на длине волны 3 см в марте 2012 г. и на длине волны 5,6 см в феврале 2013 г. представлено на рис. 1 и 2 соответственно. В марте температура воздуха в дневное время повышается до  $-5...-10$  °С, что приводит к появлению во льду некоторого количества жидких включений. Измерение затухания в верхнем слое льда дало высокие значения погонного затухания. Это значение составило 70 дБ/м для вертикальной поляризации и 60 дБ/м для горизонтальной поляризации в случае распространения излучения параллельно поверхностям раздела при температуре льда  $-10$  °С и его минерализации  $\sim 3$  г/кг. Разность потерь равна 10 дБ/м. При измерениях в 2011 г на длине волны 2,3 см эта разность составляла 13 дБ/м [3]. При измерениях для направления волнового вектора перпендикулярно границе «лед–воздух» анизотропия затухания практически отсутствовала. Толщина снежного покрова варьировалась от 5 см для западной части ледяного покрова до 30 см в его восточной части, что связано с ветровым переносом снега. В феврале температура воздуха обычно не превышает  $-20$  °С, поэтому процессы таяния и геохимические процессы в это время ослаблены.

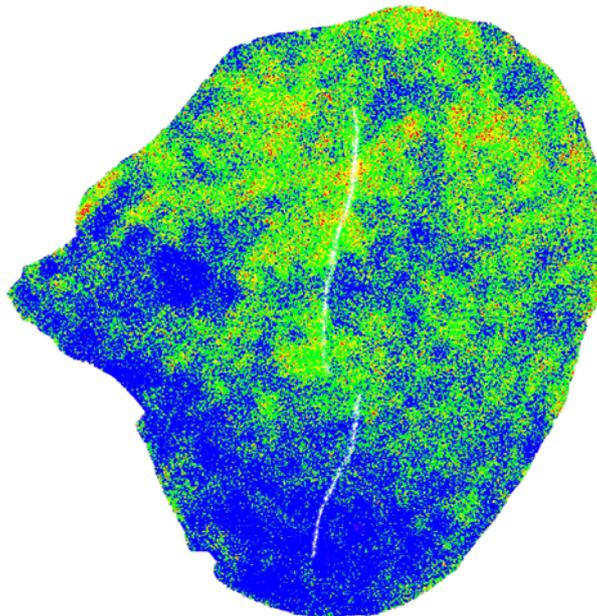


Рис. 1. Радиоизображение ледяного покрова оз. Доронинского, полученное с использованием РСА COSMO-Sky Med 16 марта 2012 г. Длина волны 3 см, пространственное разрешение 3 м, излучение и прием на горизонтальной поляризации

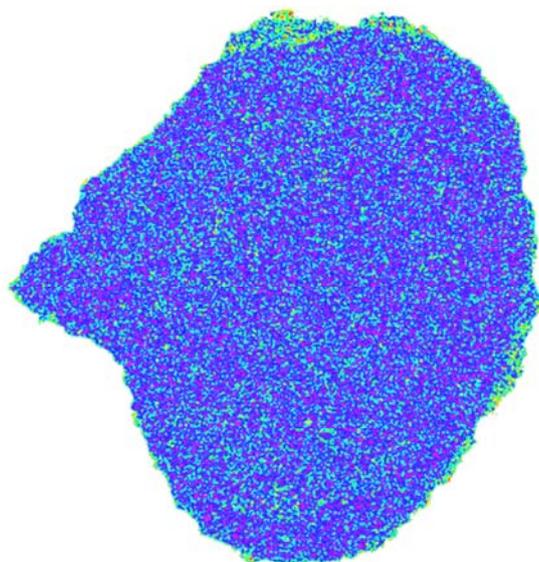


Рис. 2. Радиоизображение ледяного покрова оз. Доронинского 23 февраля 2013 г.  
Длина волны 5,6 см, пространственное разрешение 8 м,  
излучение и прием на горизонтальной поляризации

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.*