Различие картин радарных и радиометрических измерений (на примере ледяного покрова эвтрофированного озера)

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

Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения РАН Чита, Россия E-mail: lgc255@mail.ru

В работе обсуждаются проблемы связи пассивных (радиометрических) микроволновых и активных (радарных) измерений. На примере ледяного покрова пресного эвтрофированного озера показано, что радарные и радиометрические измерения могут выявить в нём различные структуры. Исследование выполнено с использованием результатов спутниковой, самолетной и устанавливаемой на автомобиль аппаратуры при измерениях в сантиметровом диапазоне. Одновременно выполнялось изучение структурных особенностей ледяного покрова, содержащего захваченное органическое вещество (планктон, высшую водную растительность) и газовые включения, минерализации льда и других параметров.

Установлено, что приращения сигналов при радарных и радиометрических измерениях могут дать принципиально различную информацию о структуре ледяного покрова. Основные отличия картин активной и пассивной локации связываются со следующими особенностями: 1 – коэффициент излучения, определяющий значения радиояркостной температуры, более чувствителен к состоянию объекта на границах сред по сравнению с коэффициентом обратного рассеяния; 2 – анизотропия условий зондирования из-за различий фоновой температуры (при радиометрии) и выделенное направление искусственного излучения (при активном зондировании) создает условия различия вариаций сигналов; 3 – неизотермичность реальных сред создает контрасты радиояркости; 4 – определенное различие спектров сигналов в двух способах зондирования приводит к изменению интерференционных особенностей регистрируемых излучений.

Поэтому бытующее иногда мнение о радарных и радиометрических изображениях, как о «негативе» и «позитиве», требует уточнения для определенного класса объектов. Представляется целесообразным развитие микроволновых радиометрических систем с более высоким пространственным разрешением, сопоставимым с SAR.

Ключевые слова: радиоизображение, активная и пассивная радиолокация, ледяной покров, эвтрофированный водоём.

Введение

Активные (радарные) и пассивные (радиометрические) методы радиозондирования широко применяются при изучении природных объектов и прогнозировании геосферных процессов (Ulaby, Moore, Fung, 1986; Sharkov, 2003; Rees, 2005). Коэффициенты собственного теплового излучения (æ) и отражения (R) плоской поверхности связаны между собой линейным соотношением æ=(1-R). Оно, фактически, определяется вторым началом термодинамики, согласно одной из формулировок которого – невозможно черпать энергию из теплового резервуара, если над ним не производится никаких других изменений состояния (Зубарев, 1990).

На этом основании некоторые авторы считают, что активные и пассивные методы радиозондирования поверхностных земных образований соотносятся друг к другу, как «негатив» и «позитив» (Мельник, 1980). Однако данное утверждение справедливо лишь для коэффициентов излучения и отражения, а не для значений регистрируемых приборами сигналов, и требует пояснений для тех или иных случаев. Это связано, с одной стороны, с

использованием внешнего нетеплового источника излучения при радарных измерениях, с другой стороны, различием значений фоновых температур излучения по всей сфере, окружающей объект, при радиометрических измерениях, и особенностями распространения электромагнитных волн в конкретных схемах расположения приборов. В частном случае проведения радарных и радиометрических измерений в надир, изотермических средах и неизменной температуре фонового излучения со всех направлений утверждение о «негативе» и «позитиве» будет справедливым.

На практике основной массив данных микроволновых дистанционных измерений производится при наклонном зондировании, когда при активном методе измеряется не коэффициент отражения, а коэффициент обратного рассеяния. При радиометрическом методе измеряется интенсивность излучения, определяемая как коэффициентом излучения для данного угла и поляризации (случай гладкой поверхности), так и рассеивающими свойствами объекта исследования. При пассивном методе также возможны условия, когда изменяется фоновая температура излучения из верхней и из нижней полусфер на лоцируемом элементе исследуемого объекта. Имеют место и случаи неизотермических сред с объёмными градиентами термодинамической температуры.

Приведённые особенности, возникающие при радиозондировании природных объектов почти очевидны, однако в литературе им не уделяется должное внимание и иногда приводятся неточные и, даже, неверные утверждения об особенностях картин радарной и радиометрической съёмки. Например, в (Ломухин, 2013) сделан вывод о том, что «...радиояркостная температура и коэффициент обратного рассеяния линейно связаны между собой. Угловые зависимости данных параметров аналогичны». Такого рода высказывания без определённых комментариев на их ограничения могут привести к неверному представлению о том, что радиометрия может быть заменена радарными измерениями. К примеру, спутниковые радиолокаторы с синтезированной апертурой достигли пространственного разрешения (L) порядка десятков см, в то время как лучшие радиометрические системы – порядка единиц километров в миллиметровом диапазоне (Митник, Митник, Заболотских, 2013). Поэтому может возникнуть мнение об ограниченной перспективности развития радиометрических измерений земной поверхности.

Цель настоящей работы – ещё раз обратить внимание на некоторые существенные различия двух методов, применяемых на практике. Для этого проанализированы результаты экспериментов по активному и пассивному микроволновому зондированию ледяного покрова эвтрофированного пресноводного озера. Данный объект обладает простой геометрией и интересен вариациями структуры из-за захвата в лёд планктона, газовых пузырей, высшей водной растительности. Пресный лёд сам по себе имеет высокую прозрач-

ность в сантиметровом диапазоне, что позволяет регистрировать включения в нём по всей толщине покрова и на его нижней границе до толщин в несколько метров.

Особенности экспериментов

Для сравнения результатов измерений двумя методами необходимо использовать системы с близким пространственным разрешением. Спутниковые радарные измерения можно сопоставлять с самолётными или наземными радиометрическими измерениями. Этот способ не всегда удаётся реализовать из-за некоторого временного смещения съёмки. При другом способе аппаратуру для активных и пассивных измерений с одинаковыми антеннами можно разместить на одном носителе, например, автомобиле.

Нами были использованы оба способа при изучении ледяного покрова пресного эвтрофированного озера Шакшинское, расположенного в Забайкальском крае. Размеры озера около 10 км, глубины достигают 6 м. Были сопоставлены результаты измерений, выполненных с 1987 по 2013 годы. При этом области с обнаруженными радиофизическими особенностями ледяного покрова исследовались прямыми методами для их идентификации. Измеряли минерализацию воды и льда, изучали структуру ледяного покрова.

В экспериментах с совмещённой аппаратурой использовали непрерывные маломощные излучатели и регистрировали относительное изменение мощности рассеянного излучения. Угол наблюдения составлял 30°–45°. Использовалась аппаратура, установленная на автомобиль высокой проходимости «Нива». Измерения проводили на различных линейных поляризациях. Кроме того, для сравнения использовали выполненную ранее самолетную (на АН-2) радиометрическую съёмку на волне 2,3 см при измерениях в надир. Рассматривались также радиолокационные изображения с разрешением 3 м, полученные в 2012 г.

Результаты экспериментов

На *рис.* 1 представлены результаты трассовой записи радиояркостной температуры при проезде автомобиля через оз. Шакшинское в марте 1987 г при пассивных и активных измерениях на длине волны (λ) 2,3 см. Радиометрические измерения проводились в полосе частот около 1 ГГц на вертикальной поляризации.

На *рис.* 2 приведены результаты самолётных радиометрических измерений в 1989 г. Точками 1 и 2 отмечена трасса, по которой выполнены измерения, представленные на *рис.* 1 (1 – начало измерений, 2 – завершение измерений).



Рис. 1. Трассовая автомобильная запись (а) радиояркостной температуры Тя на вертикальной поляризации и (б) мощности обратного рассеяния ледяного покрова P₀ (в относительных единицах, в различных поляризационных режимах: VV – излучение и приём на вертикальной поляризации, HV – излучение на горизонтальной, приём на вертикальной поляризациях) эвтрофированного оз. Шакшинское (Забайкальский край). Март 1987 г., α = 45°, L~1 м, λ=2,3 см



Рис. 2. Самолетное радиометрическое изображение эвтрофированного оз. Шакшинское (Забайкальский край). λ=2,3 см. Март 1989. Измерения в надир. L~100 м

В 2007 г. измерения с автомобиля были повторены, их результаты представлены на *рис. 3* для трассы, близкой к представленной на *рис. 1*. Радарное изображение ледяного покрова с разрешением 3 м для исследуемого озера было получено в марте 2012 г. (*рис. 4*), снимок спутникового радиолокатора с синтезированной апертурой COSMO-SkyMed, предоставлен компаниями «Совзонд» и «E-GEOS» по лицензии Итальянского космического агентства (ASI). В 2013 г. были повторены измерения с автомобиля по трассе 3–4 (*рис. 5*).



Рис. 3. Обнаружение областей льда с высшей водной растительностью. λ=5,6 см. α=45°. L~1 м. Март 2007 г. а) – радарные измерения (VV); б) – радиометрические измерения на вертикальной поляризации



Рис. 4. Радарное изображение ледяного покрова оз. Шакшинское. λ=3 см. Март 2012 г. L~3 м (синтезир. HH+VV)



Рис. 5. Трассовая автомобильная запись (а) радиояркостной температуры Тя и (б) мощности обратного рассеяния P₀ ледяного покрова эвтрофированного оз. Шакшинское (Забайкальский край) в относительных единицах. 2013 г. α = 45°, L~1 м, λ=2,3 см и 5,6 см

При исследованиях структуры льда для сопоставления радиофизических и структурных особенностей объекта, было установлено, что область повышенного рассеяния излучения при радиолокационном зондировании при одинаковых поляризациях VV (излучение на вертикальной и приём на вертикальной поляризациях, *рис. 16*) соответствует менее глубокой части водоёма, где преобладает высшая водная растительность. Её фрагменты захватываются в лёд, создавая повышение коэффициента обратного рассеяния. Общая масса захваченного в лёд органического вещества высшей водной растительности (рдестов и харовых) составляла приблизительно 200 г/кг по измерениям в 1987 г. Повышенное рассеяние также видно из радарного изображения *рис. 4*. Рост рассеяния излучения наблюдался в западной части озера для меньших глубин. Захваченное органическое вещество высшей водной растительности также несколько повышает значение радиояркостной температуры, что видно из *рис. 1а* (на участке трассы от 3,5 км до 6 км).

Значительное отличие графиков сигналов мощности обратного рассеяния от интенсивности радиотеплового излучения наблюдали по трассе *рис. 1а* в области с размерами ~ 300 м в средней части озера. Приращение радиояркостной температуры достигало 10 К, что значительно превышало её вариации по трассе. Проведённые исследования показали на данном участке повышенное донное газоотделение. Генезис газов в данной области исследовался ранее для данного озера по его акватории в работе (Тополов, 1999), он связан с деструкцией донных органических отложений. Основную роль в росте радиояркостной температуры, как оказалось, играет тонкий слой ~1 мм газовых пузырьков на границе лёд – вода, являющийся переходным согласующим слоем между двумя средами с различающимися значениями диэлектрической проницаемости. Этот вопрос более подробно рассматривался в работе (Бордонский, 1990). На *рис. 16* приведён также график относительной мощности рассеяния для случая скрещенных поляризаций HV (излучение на горизонтальной, приём на вертикальной поляризациях). Выброс на участке вблизи 5 км соответствовал наличию мелких газовых включений в виде тонких струй во льду, имеющих некоторый уклон от вертикали, что можно объяснить вмерзанием мелких газовых пузырьков при наличии слабого течения. При радиометрических измерениях эта область практически не выделялась.

Обсуждение результатов

Представленные результаты показывают существенную разницу радарных и радиометрических записей выходных сигналов приборов, особенности которых соответствуют специфическим структурным образованиям ледяного покрова эвтрофированного водоёма. Эти особенности возникают из-за различия физики формирования сигналов в двух случаях. Можно выделить следующие основные различия: 1 – изменение коэффициента излучения однородных плоскослоистых сред, определяемое диэлектрической проницаемостью слоёв (при этом радиояркостная температура существенно зависит от угла наблюдения и поляризации, однако рассеянное излучение отсутствует); 2 – существование тонких слоёв на границах сред, обладающих пренебрежимо малым рассеянием, которые, однако, создают значительные вариации яркости из-за согласующего (слои с переходным значением диэлектрической проницаемости) или рассогласующего действия; 3 – наличие рассеивателей при различии фоновой температуры верхней и нижней полусфер (при этом радарный сигнал не зависит от фоновых температур и определяется характером рассеивателей). Данные особенности приведены на схемах формирования излучений на *рис.* 6a, 6 – для радиотеплового излучения ледяного покрова с гладкими границами, 6e – при наличии в нём рассеивателей.

Мощность сигнала, регистрируемая радаром P_0 , при угле зондирования α определяется коэффициентом обратного рассеяния σ_0 : $P_0 \sim \sigma_0$. Радиометрический сигнал для выполнения анализа при слабом рассеянии можно представить в виде суммы отдельных вкладов, определяемых свойствами среды. Для упрощения примем также, что термодинамическая температура слабо изменяется в вертикальном направлении в области, с которой снимается сигнал. Тогда для двумерного случая, представленного на *рис. 6в*, имеем для температуры излучения $T'_{\mathcal{A}}$ в направлении под углом α от вертикали:

$$T'_{\mathcal{H}}(\alpha) = \mathfrak{E}'(\alpha)T_0 + \varDelta T_{\mathcal{H}pac}(\alpha),$$

где T_0 – термодинамическая температура сред; æ' – модифицированный коэффициент излучения, определяемый из условия равенства нулю фоновых температур со всех направлений, кроме направления вдоль оси диаграммы направленности антенны приёмника; $\Delta T_{Apac}(\alpha)$ – приращение радиояркостной температуры, связанное с рассеянием теплового излучения в направлении антенны и приходящего на облучаемую область со всех направлений, кроме направления вдоль оси диаграммы направленности антенны приёмника.



Рис. 6. Схемы потоков радиотеплового излучения при измерениях пресного ледяного покрова: (a) – случай идеальных плоских границ; (б) – случай наличия тонких однородных переходных слоёв на границах сред; (в) – случай с группой рассеивателей внутри ледяного покрова. 1 – воздушная среда; 2 – ледяной покров; 3 – водная среда; 4 – переходные плоские слои на границах сред; N – группа рассеивателей во льду. Т_{ф1}, Т_{ф2}, Т_{ф3} – фоновые температуры, падающего на объект излучения, с различных направлений, Т_Я – радиояркостная температура ледяного покрова; а – угол наблюдения

Из рассмотрения *рис.* 6а, б следует, что в этих случаях гладких границ сигнал, связанный с рассеянием отсутствует, а радиояркостная температура различна для различных линейных поляризаций и зависит от угла α . Для трёхслойной среды с тонкими слоями и невысоким поглощением во льду $\mathfrak{a}(\alpha)$ сильно зависит от состояния границы лёд – вода. Если, например, на этой границе появится слой смеси мелких пузырьков с диаметрами много меньшими длины волны излучения в среде (Бордонский, 1990), то это приведёт к существенному возрастанию радиояркостной температуры. Этот случай представлен на *рис.* 1а и соответствует области с экстремумом T_{α} .

В случае картины, создаваемой рассеивателями (*рис. 6в*), радиояркостная температура формируется из рассеянных потоков излучения с фоновыми температурами с трёх направлений: $T_{\phi 1}(\beta)$ – из верхнего полупространства (космическое излучение и излучение атмосферы), $T_{\phi 2}(\beta)$ – для излучения внутри ледяного покрова, температура его равна термодинамической температуре T_0 вблизи β =90°, и $T_{\phi 3}(\beta)$ – для излучения, прошедшего через границу лёд – вода и изменённого при распространении во льду до рассеивателей (поглощение и добавка излучения льда). Здесь угол β характеризует направление падающего теплового излучения на рассеивающую область по отношению к вертикали.

Задача о радиояркости такого объекта в случае, если рассеиватели занимают весь объём, в приближении однократного рассеяния рассматривалась в работе (England, 1975). В зависимости от толщины льда было установлено, что приращение $\Delta T_{\mathcal{A}}$ по отношению к чистому льду ($\Delta T_{\mathcal{A}}=T'_{\mathcal{A}}-T_{\mathcal{A}}$) имеет сложную зависимость: при измерениях в надир и для малых толщин ледяного покрова приращение имеет положительный знак (по нашей схеме преобладает рассеяние излучения с $T_{\phi 2}$); для некоторой толщины $\Delta T_{\mathcal{A}}=0$ и далее при росте толщины $\Delta T_{\mathcal{A}}<0$, что соответствует уменьшению мощности излучения из-за рассеяния части излучения с $T_{\phi 3}$, то есть значительного уменьшения æ'.

В упрощённом анализе опущены некоторые детали, например, влияние полосы частот радиосигналов и их когерентности. Однако даже из рассмотрения простейших структур (*puc. 6*) следует, что радиолокатор и радиометр не регистрируют одни и те же объекты. И в том случае, когда оба сигнала представляются на первый взгляд подобными, наблюдаются их некоторые различия, что следует из *puc. 5*.



Рис. 7. Приращение радиояркостной температуры на длине волны λ=2,3 см при картировании участка ледяного покрова 15×15 м²

В качестве дополнительной иллюстрации на рис. 7 приведены результаты наших экспериментов по получению радиоизображения небольшого участка пресного ледяного покрова с размерами 15 x 15 м² при радиометрических измерениях в двухсантиметровом диапазоне. Для измерений радиометр помещали на санки на высоте приблизительно 1,5 м от поверхности ледяного покрова. Снежный покров имел толщину ~ 0,1 м и практически не влиял на $T_{\mathcal{A}}$ при температуре воздуха -10 °C. Толщина льда равнялась 1,3 м. На полученном псевдоцветном изображении обнаруживаются два объекта повышенной радиояркости. После удаления снежного покрова ими оказались замёрзшие лунки, которые возможно использовались для рыбной ловли. Измерения минерализации льда в лунках и в других частях ледяного покрова дали значение 3 мг/кг и 0,5-1 мг/кг, соответственно. Эта разница возникла из-за различия скорости замерзания воды при различной термодинамической температуре окружающей среды; при более низкой температуре в лёд захватывается больше солей. Разность минерализации привела в эксперименте к приращению $\Delta T_{\mathcal{H}} \sim$ 10 К в соответствии с результатами расчётов, выполненных в (Бордонский, Гурулев, 2008). В структуре обнаруженных объектов наблюдались пузырьки с размерами менее 1 мм; кроме них лёд также содержал незначительные концентрации плёнок незамёрзших растворов солей микронной толщины в соответствии с его минерализацией. Такие неоднородности, существующие в пресном природном льду, не регистрируются при активном методе измерений в сантиметровом диапазоне.

Для более сложных плоскослоистых структур, к которым можно отнести морской лёд, в (Voss, Heygster, Ezraty, 2003) эмпирически было установлено, что при определении относительных площадей арктического ледяного покрова, соответствующих однолетнему и многолетнему льдам, с использованием только радиометрических измерений SSM/I возникали существенные ошибки. Предполагалось, что это связано с процессом таяния-замерзания поверхности ледяного покрова. Точность измерений удалось улучшить при использовании дополнительно скаттерометрических данных. 12% площади многолетнего льда после коррекции была представлена соответствующей однолетнему льду, для состояния в мае 2000 года. Отмеченное исследование также подтверждает различие картин, получаемых при пассивных и активных микроволновых измерениях, и необходимость в ряде случаев совмещения методов для получения более адекватной информации о состоянии исследуемых объектов.

Следует отметить, что в последние годы были обнаружены особые свойства пресного льда, связанные с его текучестью под действием механических напряжений (Бордонский, Гурулев, 2007; Бордонский, Гурулев, Крылов, 2009). Если ледяной объект обладает пространственным упорядочением главной оптической оси кристаллов, что наблюдается в ледяных покровах и ледниках, то в определённых направлениях может происходить его пластическая деформация из-за облегчения скольжения по базисным плоскостям кристаллов. При этом, как предполагается в (Бордонский, Гурулев, Крылов, 2009), из-за проявления отрицательной дифференциальной вязкости для поляризации волн с электрическим вектором поля, совпадающим с базисной плоскостью, наблюдается уменьшение электромагнитных потерь или даже некоторое усиление интенсивности излучения. Данный эффект из-за его анизотропии также может привести к различию картин зондирования в условиях резких изменений температур ледяных структур и вблизи точки таяния льда из-за возникновения пластической деформации, определяемой течением среды. Микроволновые свойства льда при текучести требуют дальнейшего исследования для понимания особенностей микроволнового дистанционного зондирования мёрзлых структур (Бордонский и др., 2013). Ясно, что не только для льда, но и других объектов необходимо более глубокое изучение электрофизики составляющих их сред для выяснения как различий сигнатур, так и новых возможностей активного и пассивного методов радиозондирования.

Заключение

Сопоставление приращений сигналов при радарных и радиометрических измерениях на примере ледяного покрова пресного эвтрофированного водоёма может дать принципиально различную информацию о структуре объекта. Основные причины отличий картин активной и пассивной локации для данного конкретного объекта заключаются в следующем.

1. Значения радиояркостной температуры для случая слоистых структур определяются коэффициентом излучения, который чувствителен к состоянию объекта на границах сред, в то время как коэффициент обратного рассеяния для них незначителен.

2. Асимметрия условий зондирования: при радиометрии рассеянное элементом объёма объекта излучение создаётся излучением с различной фоновой температурой (с разных направлений); при радарных измерениях искусственное излучение поступает на лоцируемый элемент с одного направления.

3. Неизотермичность реальных сред, создаваемая локальными источниками тепла, тепловыми неоднородностями среды и фазовыми переходами в увлажнённых слоях.

4. Различия спектров сигналов – при регистрации теплового излучения используются, как правило, широкополосные сигналы; при радарных измерениях используются существенно более узкополосные сигналы, что может приводить к выраженным интерференционным явлениям.

В природной среде возможны широкие вариации геометрических и электрофизических параметров сред, поэтому можно ожидать, во многих случаях, несовпадение картин пространственного изменения мощности обратного рассеяния и собственного теплового излучения. Представляется целесообразным развитие систем радиометрии с более высоким пространственным разрешением, сопоставимым с SAR, при изучении земных покровов.

Литература

- 1. Бордонский Г.С. Тепловое излучение ледяного покрова пресных водоемов. Новосибирск: Наука, 1990. 104 с.
- 2. Бордонский Г.С., Гурулев А.А. Возможные ошибки при интерпретации данных радиозондирования ледяных покровов // Исследование Земли из космоса. 2007. № 4. С. 3-7.
- 3. Бордонский Г.С., Гурулев А.А. Особенности радиотеплового излучения ледяных покровов водоёмов с различной степенью минерализации // Водные ресурсы. 2008. Т. 35. № 2. С. 210-215.
- 4. Бордонский Г.С., Гурулев А.А., Крылов С.Д. «Просветление» льда в микроволновом диапазоне при текучести // ПЖТФ. 2009. Т. 35. № 22. С. 46-54.
- 5. Бордонский Г.С., Гурулев А.А., Орлов А.О., Цыренжапов С.В. Изучение механизма образования добавочных электромагнитных волн в ледяных структурах и возможные задачи дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2013. Т. 10. № 4. С. 289-297.
- 6. Зубарев Д.Н. Второе начало термодинамики // Физическая энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1990. Т. 1. С. 359-360.
- 7. Ломухин Ю.Л. Радиояркостная температура и коэффициент обратного рассеяния // Вестник Сиб. гос. аэрокосм. университета. 2013. № 5(51). С. 141-143.
- 8. Мельник Ю.А. Радиолокационные методы исследования Земли. М.: Сов. радио, 1980. 262 с.
- 9. Митник Л.М., Митник М.Л., Заболотских Е.В. Спутник Японии GCOM-W1: моделирование, калибровка и первые результаты восстановления параметров океана и атмосферы // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2013. Т. 10. № 3. С. 135-141.
- 10. Тополов А.А. Донное газообразование в озёрах Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1999. 77 с.
- England A.W. Thermal microwave emission from a scattering layer // J. of Geophys. Res. 1975. V. 80. No 32. P. 4484-4496.
- 12. Rees W.G. Remote Sensing of Snow and Ice. Taylor and Francis / CRC Press Inc, 2005. 312 p.
- 13. Sharkov E.A. Passive Microwave Remote Sensing of the Earth: Physical Foundations. Berlin: Springer/PRAXIS, 2003. 613 p.
- 14. Ulaby F.T., Moore R.K., Fung A.K. Microwave Remote Sensing: Active and Passive. Vol. III. Artech House, Inc., Dedham, Massachusetts, 1986. 1100 p.
- 15. Voss S., Heygster G., Ezraty R. Improving sea ice type discrimination by the simultaneous use of SSM/I and scatterometer data // Polar Research. 2003. Vol. 22. Iss. 1. P. 35–42.

Difference between radar and radiometric signatures (the case of eutrophic lake ice cover)

G.S. Bordonskiy, A.A. Gurulev, A.O. Orlov, S.V. Tsyrenzhapov

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch RAS Chita, Russia E-mail: lgc255@mail.ru

The problems of connection between passive (radiometric) microwave and active (radar) measurements are discussed in the paper. Taking ice cover of fresh eutrophic lake as an example, radar and radiometric measurements were shown to reveal different signatures in it. The research was done using the results of satellite, airplane and car installed equipment in the process of measuring in centimeter band. At the same time, structural features of ice cover containing trapped organic matter (plankton, higher aquatic vegetation) and gas inclusions, ice mineralization and other parameters were studied.

It was determined that increments of signals in the process of radar and radiometric measuring can give different information on the ice cover structure. The main differences between the patterns of active and passive remote sensing are related to the following features: 1 - emissivity determining the values of radio brightness temperature is more sensitive to the object state on the media borders comparing to back-scattering coefficient; 2 - anisotropy of probing conditions due to differences in background temperatures (using radiometry) and preferential direction of artificial emission (using active probing) enable differences in signal variations; 3 - non-isothermality of real media makes radio brightness contrasts; 4 - some difference between the spectrum signals in two probing techniques results in changing interference properties of registered emissions.

Therefore, existing point of view on radar and radiometric image as "a negative" and "a positive" requires some refinement for a definite class of objects. Development of microwave radiometric systems with higher spatial resolution comparable with SAR would be appropriate.

Keywords: radar image, active and passive radiolocation, ice cover, eutrophic water body.

References

- 1. Bordonskiy G.S. *Teplovoe izluchenie ledyanogo pokrova presnykh vodoemov* (Ice cover thermal radiation of freshwater reservoirs). Novosibirsk: Nauka, 1990, 104 p.
- 2. Bordonskiy G.S., Gurulev A.A. Vozmozhnye oshibki pri interpretatsii dannykh radiozondirovaniya ledyanykh pokrovov (Possible errors in the interpretation of radiosonde data of ice covers), *Issledovanie Zemli iz kosmo-sa*, 2007, No. 4, pp. 3-7.
- Bordonskiy G.S., Gurulev A.A. Osobennosti radioteplovogo izlucheniya ledyanykh pokrovov vodoemov s razlichnoi stepen'yu mineralizatsii (Thermal radiation peculiarities of ice covers of reservoirs of varying degrees of mineralization), *Vodnye resursy*, 2008, Vol. 35, No. 2, pp. 210-215.
- 4. Bordonskiy G.S., Gurulev A.A., Krylov S.D. «Prosvetlenie» l'da v mikrovolnovom diapazone pri tekuchesti (Ice turning translucent in microwave range when creeping), *PZhTF*, 2009, Vol. 35, No. 22, pp. 46-54.
- Bordonskiy G.S., Gurulev A.A., Orlov A.O., Tsyrenzhapov S.V. Izuchenie mekhanizma obrazovaniya dobavochnykh elektromagnitnykh voln v ledyanykh strukturakh i vozmozhnye zadachi distantsionnogo zondirovaniya (Study of the mechanism of formation of additional electromagnetic waves in ice structures and possible problems in remote sensing), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa*, 2013, Vol. 10, No. 4, pp. 289-297.
- 6. Zubarev D.N. Vtoroe nachalo termodinamiki (Second law of thermodynamics), *Fizicheskaya entsiklopediya*, Moskow: Sov. entsiklopediya, 1990, Vol. 1, pp. 359-360.
- 7. Lomukhin Yu.L. Radioyarkostnaya temperatura i koeffitsient obratnogo rasseyaniya (Brightness temperature and backscatter coefficient), *Vestnik SGAU (Siberian State Aerospace University)*, 2013, No. 5(51), pp. 141-143.
- 8. Mel'nik Yu.A. *Radiolokatsionnye metody issledovaniya Zemli* (Radar methods of Earth studies), Moskow: Sov. radio, 1980, 262 p.
- 9. Mitnik L.M., Mitnik M.L., Zabolotskikh E.V. Sputnik Yaponii GCOM-W1: modelirovanie, kalibrovka i pervye rezul'taty vosstanovleniya parametrov okeana i atmosfery (Japan satellite GCOM-W1: simulation, calibration and first results of the retrievals of atmospheric and ocean parameters), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa*, 2013, Vol. 10, No. 3, pp. 135-141.
- 10. Topolov A.A. *Donnoe gazoobrazovanie v ozerakh Zabaikal'ya* (Bottom gas generation in Transbaikalia lakes), Novosibirsk: Nauka, 1999, 77 p.
- 11. England A.W. Thermal microwave emission from a scattering layer, *J. of Geophys. Res.*, 1975, Vol. 80, No. 32, pp. 4484-4496.
- 12. Rees W.G. Remote Sensing of Snow and Ice, Taylor and Francis/CRC Press Inc, 2005, 312 p.
- 13. Sharkov E.A. Passive Microwave Remote Sensing of the Earth: Physical Foundations, Berlin: Springer/PRAXIS, 2003, 613 p.
- 14. Ulaby F.T., Moore R.K., Fung A.K. *Microwave Remote Sensing: Active and Passive. Vol. III*, Artech House, Inc., Dedham, Massachusetts, 1986, 1100 p.
- 15. Voss S., Heygster G., Ezraty R. Improving sea ice type discrimination by the simultaneous use of SSM/I and scatterometer data, *Polar Research*, 2003, Vol. 22, No. 1, pp. 35–42.