



К вопросу об обратном рассеянии электромагнитных волн СВЧ- диапазона морским и пресноводным льдом при малых углах падения

**Караев В.Ю., Ковалдов Д.А., Понур К.А., Титченко Ю.А., Мешков Е.М.,
Панфилова М.А. Рябкова М.С., Зуйкова Э.М.**

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Аннотация

Радиолокационное зондирование является эффективным инструментом дистанционного мониторинга ледяного покрова и используется для определения сплоченности ледяного покрова и оценки его площади. Основные усилия существующей орбитальной спутниковой группировки направлены на измерение площади ледяного покрова в Арктике и Антарктике. Внутренние водоемы являются индикаторами климатических изменений на региональном уровне и эта информация также важна. В качестве одного из информационных параметров используют даты формирования и разрушения ледяного покрова, которые можно определять по изменению сечения обратного рассеяния.

В данной работе анализируются данные измерений при малых углах падения (0° - 18°) двухчастотным дождевым радиолокатором, установленным на спутнике GPM. Проведено исследование зависимости сечения обратного рассеяния от угла падения и показано, что зависимости для морского и пресноводного льда существенно различаются. Для морского льда при нулевом угле падения сечение обратного рассеяния больше, т.к. отражение происходит от верхней границы ледяного покрова. Для пресноводного льда уменьшение сечения обратного рассеяния от угла падения происходит медленнее, что вероятно связано с проникновением электромагнитной волны внутрь льда и рассеянием на внутренних неоднородностях.

Введение

Радиолокационное зондирование активно применяется для дистанционного мониторинга ледяного покрова. Получение оперативной и глобальной информации о площади ледяного покрова необходимо для анализа происходящих климатических изменений и совершенствования глобальных моделей климата.

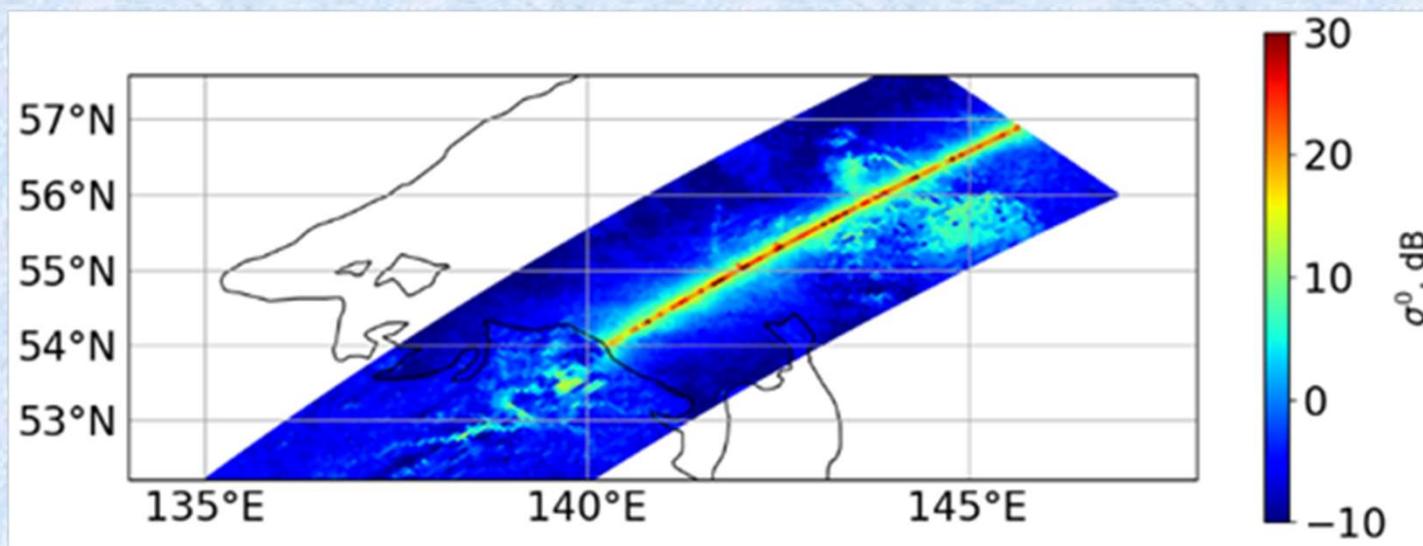
Основные усилия существующей орбитальной спутниковой группировки направлены на измерение площади ледяного покрова в Арктике и Антарктике, которые оказывают глобальное влияние на климат. Однако внутренние водоемы, расположенные внутри материков, могут использоваться для изучения происходящих климатических изменений на региональном уровне. В качестве одного из индикаторов выступают даты формирования и разрушения ледяного покрова на внутренних водоемах. Эта информация позволяет отслеживать многолетние тенденции изменения длительности существования ледяного покрова в разных регионах.



РСА изображение Sentinel-1

Введение

При зондировании ледяного покрова основным информационным параметром является сечение обратного рассеяния. Мощность отраженного сигнала определяется свойствами отражающей поверхности, поэтому она может меняться при переходе от морского льда к пресноводному.



Типичное
радиолокационное
изображение
ледяного покрова в
Ku-диапазоне,
полученное DPR
20.02.2020

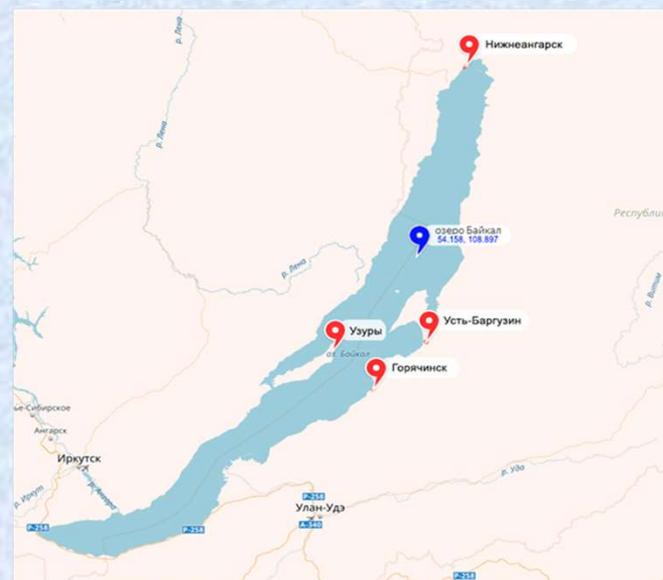
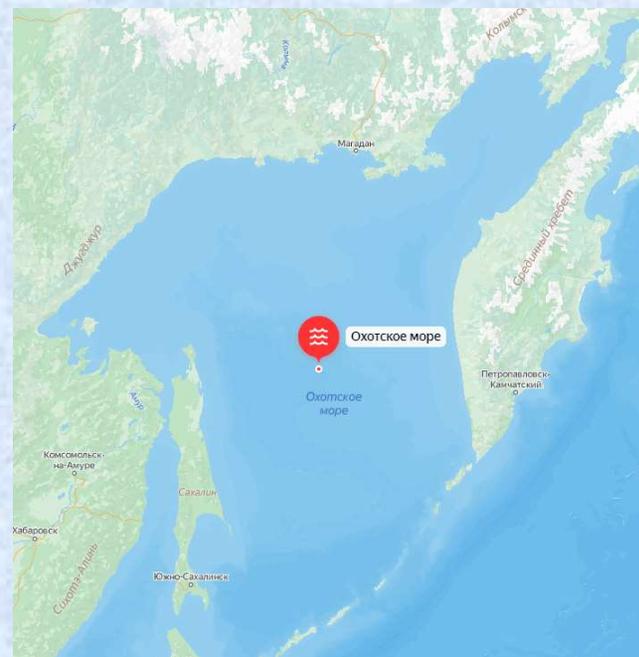
В данном исследовании рассматривается область малых углов падения (0° - 18°). В этом диапазоне выполняет измерения двухчастотный дождевой радиолокатор (Dual-frequency Precipitation Radar), установленный на спутнике GPM (Global Precipitation Measurement). Радиолокатор работает в режиме сканирования по углу падения (± 18 градусов) в направлении перпендикулярном траектории движения.

Введение

В качестве морского полигона было выбрано Охотское море, а в качестве пресноводного – озеро Байкал.

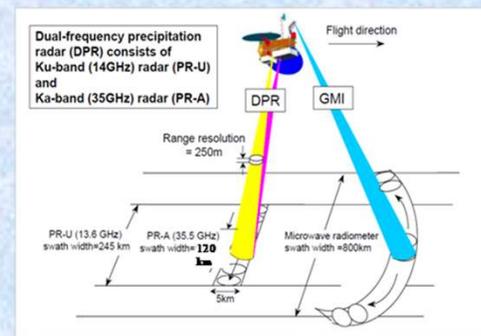
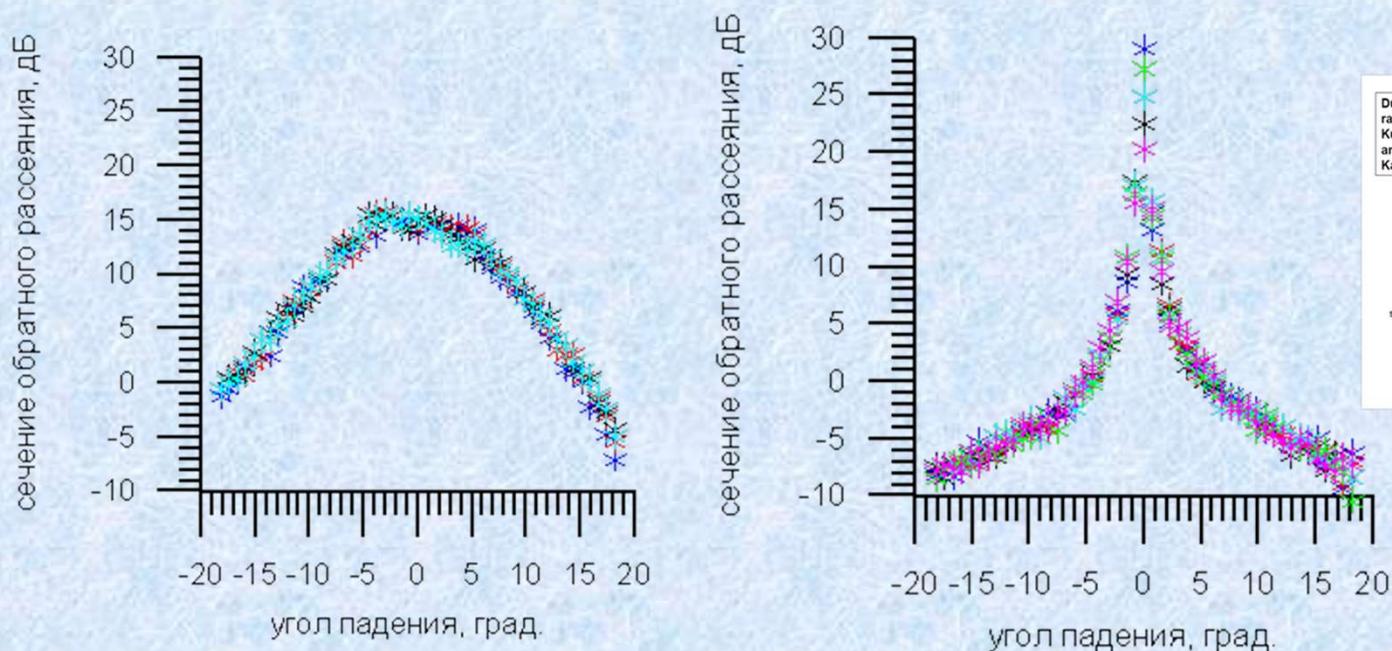
Выбор Охотского моря обусловлен наклоном орбиты спутника - 65° . Более северные моря не попадают в полосу обзора дождевого радиолокатора.

В данном случае выбран большой пресноводный водоем, чтобы можно было получить зависимость сечения обратного рассеяния от угла падения для всего интервала углов за один пролет.



Двухчастотный дождевой радиолокатор (DPR)

При движении дождевого радиолокатора происходит сканирование по углу падения в направлении перпендикулярном направлению полета. На рисунке приведены типичные зависимости сечения обратного рассеяния в Ku-диапазоне от угла падения для водной поверхности (слева) и сплошного ледяного покрова при отрицательной температуре воздуха (справа). Звездочками разного цвета показаны сечения обратного рассеяния для нескольких последовательных сканов. Расстояние между сканами ≈ 5 км, что примерно равно размеру рассеивающей площадки.



Характерный вид зависимость сечения обратного рассеяния от угла падения для водной поверхности (слева) и ледяного покрова (справа) в Ku-диапазоне.

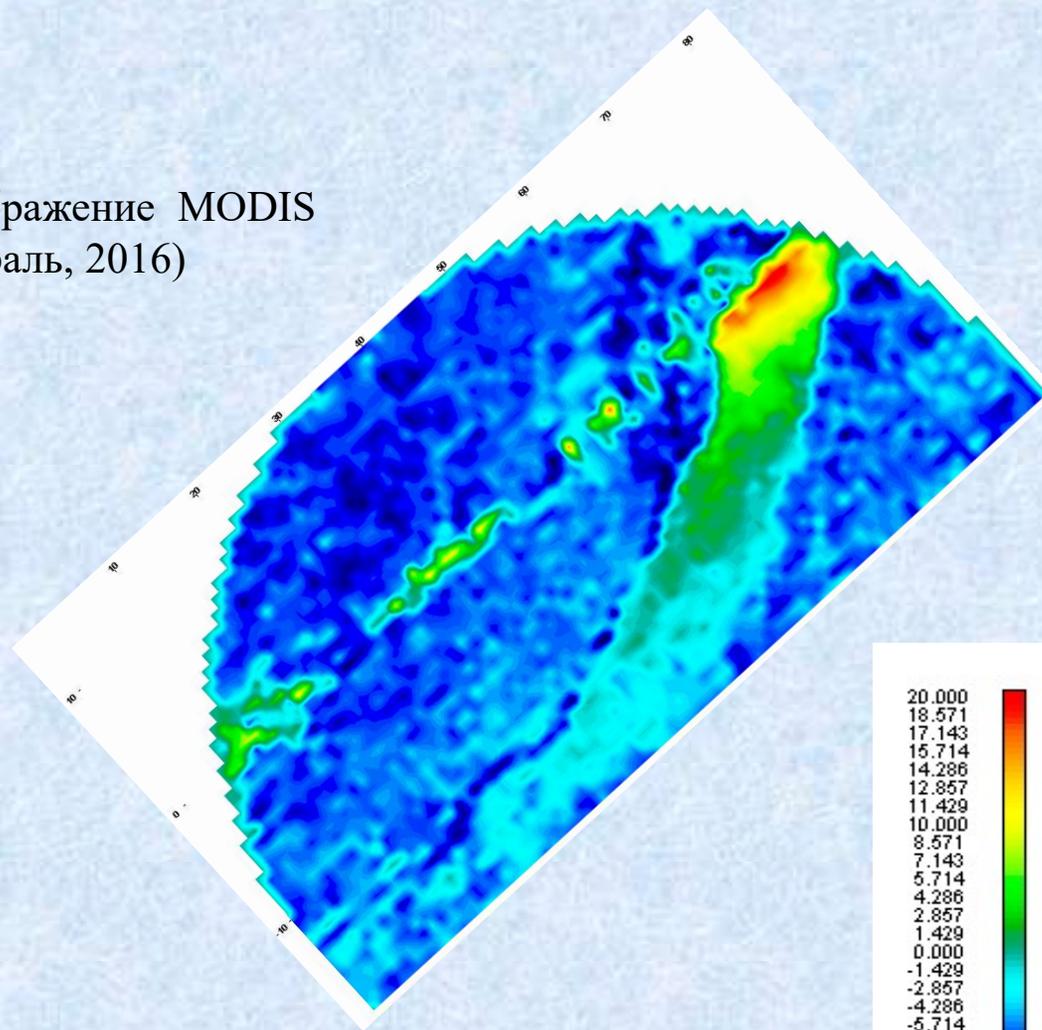
Озеро Байкал



Изображение MODIS
(февраль, 2016)



Карта северной части озера Байкал (15 февраля 2016). Точки показывают положения области засветки (элементарные рассеивающие ячейки) дождевого радиолокатора.



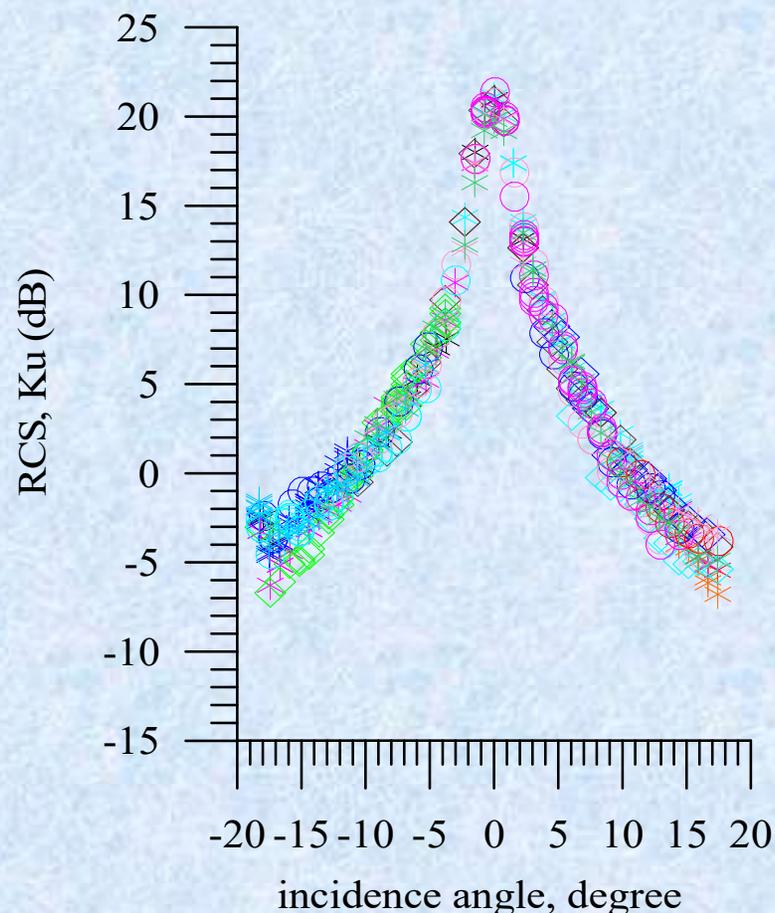
Радиолокационное изображение в
Ku-диапазоне (15 февраля 2016).

20.000
18.571
17.143
15.714
14.286
12.857
11.429
10.000
8.571
7.143
5.714
4.286
2.857
1.429
0.000
-1.429
-2.857
-4.286
-5.714
-7.143
-8.571
-10.000

Озеро Байкал

Были собраны данные DPR за февраль-март 2016 г., полученные при пролете над озером Байкал. В ходе последующей обработки были исключены элементарные ячейки (footprint), попадающие на сушу.

В результате была получена характерная для ледяного покрова зависимость сечения обратного рассеяния от угла падения. Разным цветом показаны измерения, относящиеся к разным дням.

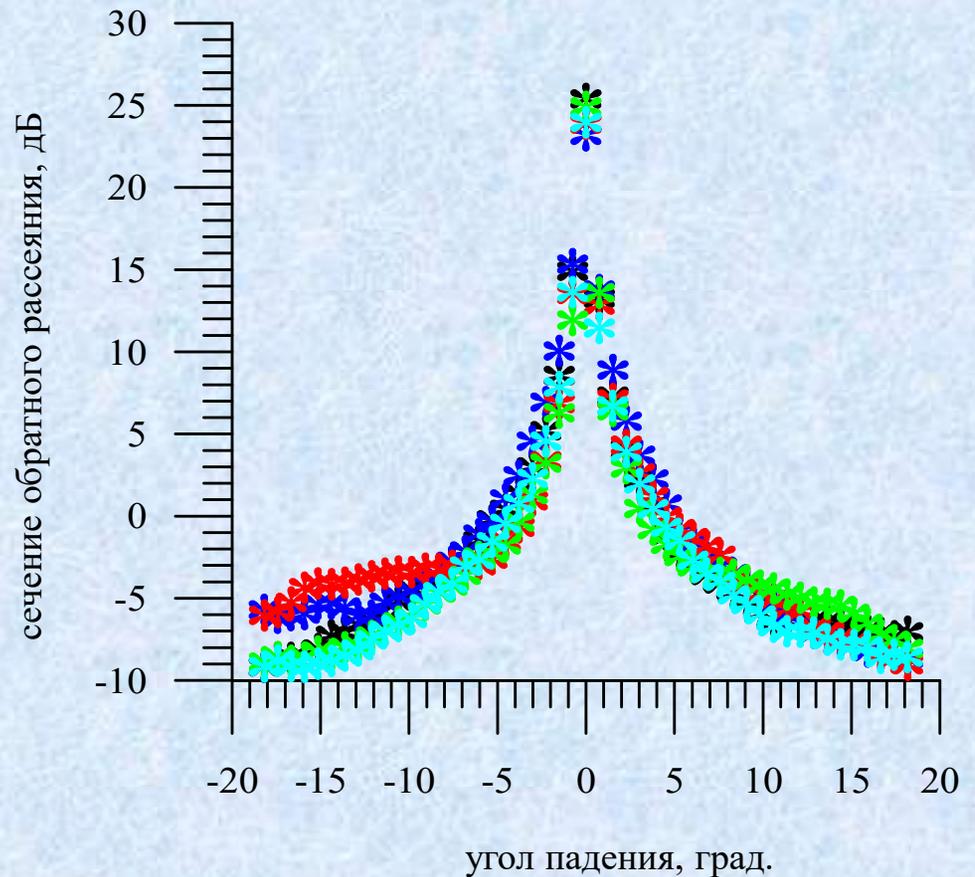


Зависимость сечения обратного рассеяния от угла падения в Ku-диапазоне (оз. Байкал)

Охотское море

Для анализа зависимости сечения обратного рассеяния от угла падения в Охотском море также был выбран зимний месяц (февраль).

На рисунке разным цветом выделены измерения, относящиеся к разным дням.

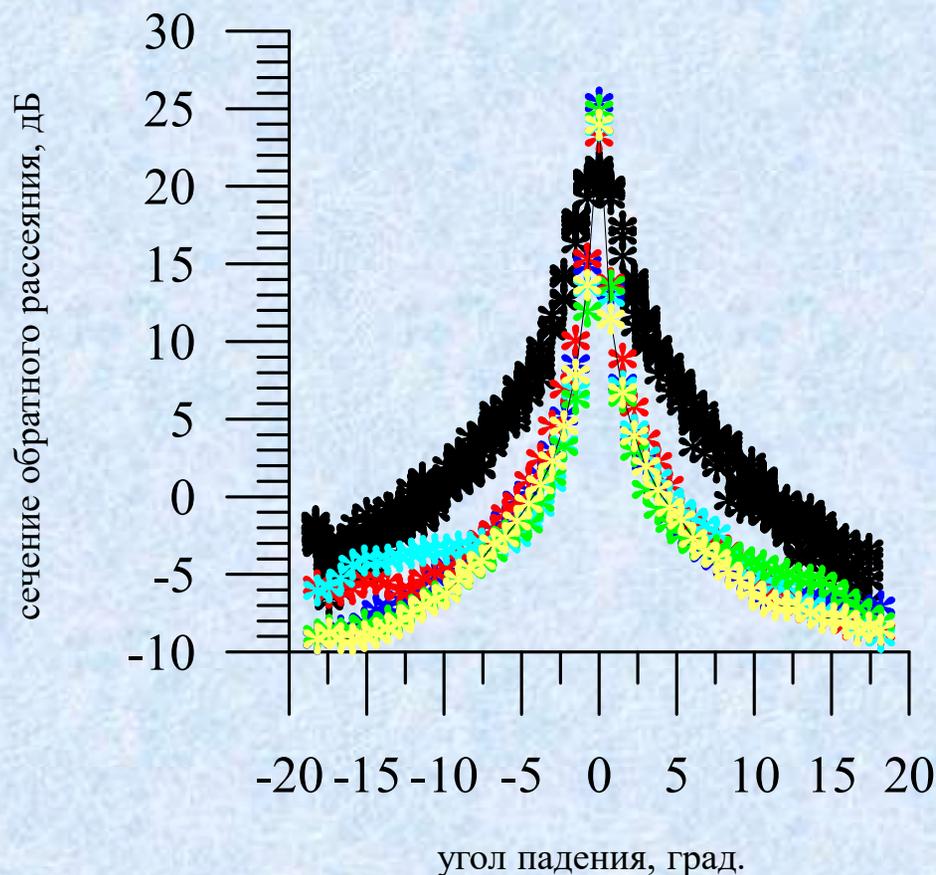


Зависимость сечения обратного рассеяния от угла падения в Ки-диапазоне (Охотское море)

Сечение обратного рассеяния

На рисунке приведено сравнение зависимостей сечения обратного рассеяния от угла падения пресноводного льда (черные звездочки) с морским льдом (цветные звездочки).

Диэлектрические проницаемости пресноводного льда и морского льда существенно отличаются и это может быть основной причиной разных угловых зависимостей.



Зависимость сечения обратного рассеяния от угла падения в Ku-диапазоне: черные звездочки – оз. Байкал и цветные звездочки – Охотское море

Сечение обратного рассеяния

С однолетний морской лед, который наблюдается в Охотском море имеет высокую соленость и глубина проникновения крайне мала (см. таблицу). В этом случае отражение электромагнитной волны происходит от поверхности.

Глубина проникновения в пресноводный лед существенно выше, поэтому объемное рассеяние надо учитывать в отражённом сигнале

Таблица 1. Диэлектрические свойства однолетнего морского льда (Winnebrenner et al., 1992).

частота, ГГц	морская вода	лед	рассол	морской лед
18,7 (1,6 см)	$30 + 34 i$	$3,15 + 0,0025 i$	$14 + 21 i$	$3,44 + 0,187 i$
37,0 (0,81 см)	$10 + 20 i$	$2,92 + 0,003 i$	$9,8 + 12 i$	$3,07 + 0,182 i$
	Глубина проникновения			
18,7	0	0,574 м	0	0,0073 м
37,0	0	0,252 м	0	0.004 м

Наблюдаемые различия в зависимости сечения от угла падения морского и пресноводного льда вероятно обусловлены именно различием в диэлектрических свойствах морского и пресноводного льда.

Выводы

Проведено сравнение зависимостей сечения обратного рассеяния в Ku-диапазоне от угла падения для морского и пресноводного льда при малых углах падения. В качестве тестовых полигонов были выбраны озеро Байкал и Охотское море. Для анализа использовались данные двухчастотного дождевого радиолокатора, установленного на спутнике GPM.

1) Показано, что при нулевом угле падения сечение обратного рассеяния больше для морского однолетнего морского льда.

2) Угловая зависимость менее «круто» для пресноводного льда, что позволяет их различать. Можно предположить, что угловая зависимость для многолетнего морского льда займет промежуточное положение.

Можно предположить, что наблюдаемое различие в отражении электромагнитного излучения морским и пресноводным льдом может быть связано с тем, что в последнем случае в формировании отраженного сигнала участвует объемное рассеяние.