

# Сезонные изменения диаграммы рассеяния пресноводного льда в L- диапазоне

Д.А. Ковалдов

*Институт прикладной физики РАН*

*E-mail: d.kovaldov@ipfran.ru*

# Введение. ГНСС-рефлектометрия и TechDemoSat-1.

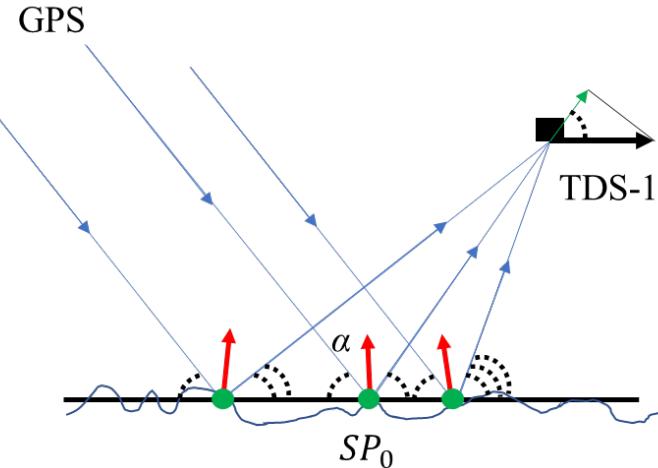


Рис.1 Схема ГНСС-рефлектометрии

TechDemoSat-1

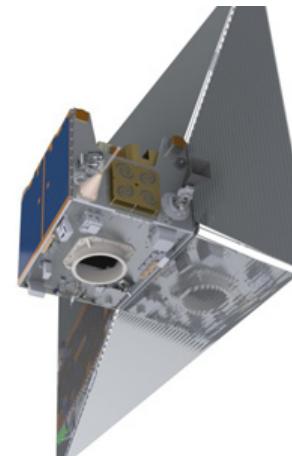


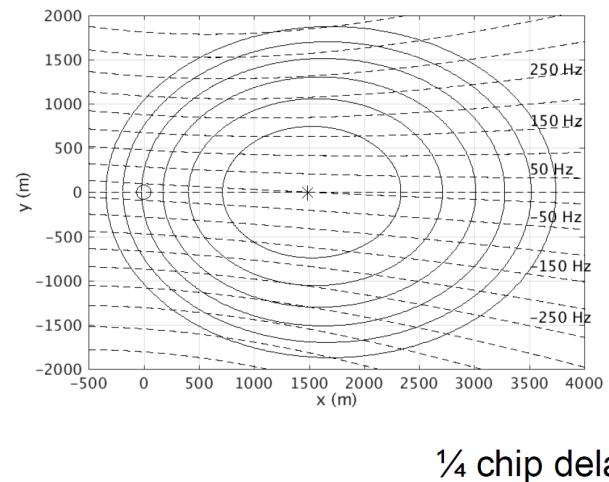
Рис.2 Спутник для демонстрации возможностей ГНСС-Р TechDemoSat-1 (TDS-1)

В настоящее время система GNSS-R активно используется для мониторинга полей приводного ветра и оценке параметров морского волнения. Активно развивается применение GNSS-R для мониторинга ледяного покрова и суши. Показаны возможности использования GNSS-R для оценки толщины снежного покрова, влажности почвы и анализа растительности.

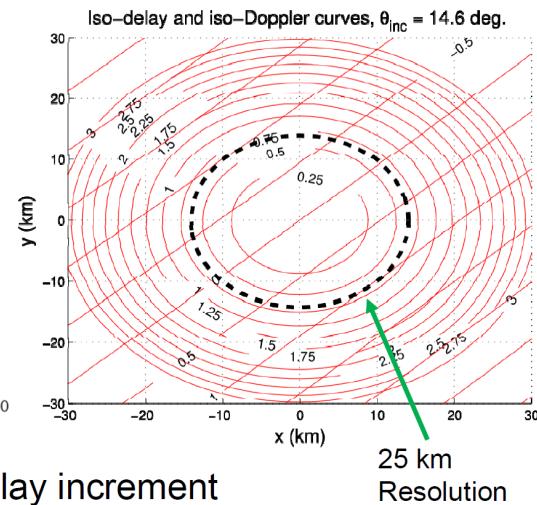
Работа с использованием GNSS-R осуществляется в бистатической конфигурации, то есть спутники, входящие в группировку GNSS-R, являются излучателями, которые находятся на большом удалении от Земли, приёмником выступает спутник, находящийся на околоземной орбите.

# Reflection Geometry

Airborne Receiver 4.6 km altitude  
GNSS elevation: 66.4 deg.



Satellite Receiver 500 km altitude  
GNSS elevation: 75.4 deg.



IGARSS 2017, Tutorial FD-4: Remote Sensing with Reflected Global Navigation Satellite System (GNSS-R) Signals

Forth Worth, TX, USA, July 23<sup>rd</sup>, 2017

© J. L. Garrison, E. Cardellach, and A. Camps

Рис. 3. Карта моделирования линий постоянного Доплеровского смещения и задержки

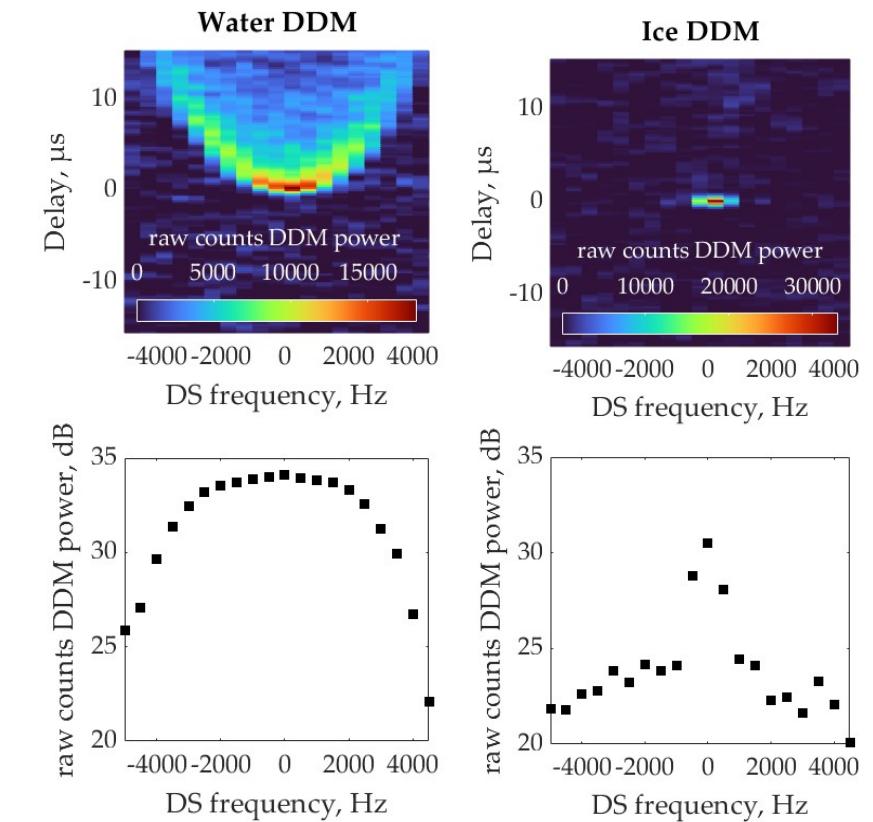


Рис. 4. DDM и доплеровские спектры для взволнованной водной поверхности (слева) и для ледяного покрова (справа).

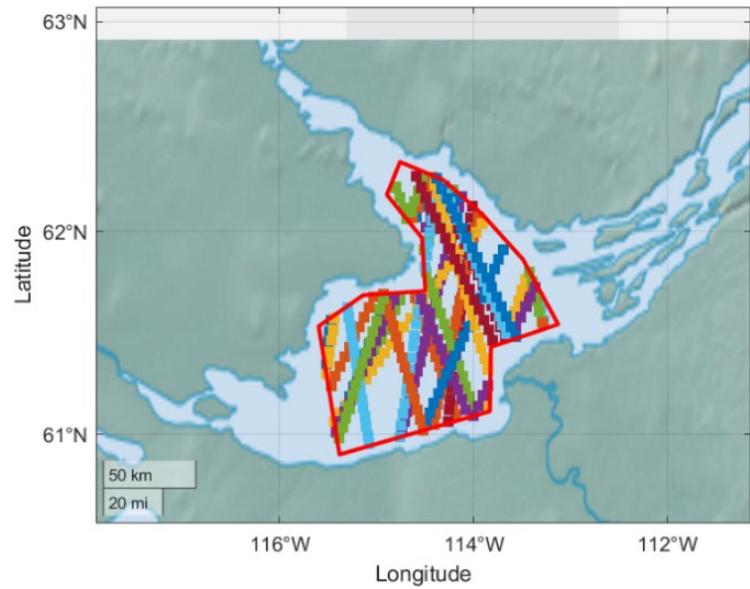


Рис. 5. Красной линией показаны границы полигона, квадраты - точки зеркального отражения на поверхности, разным цветом показаны треки в разное время.

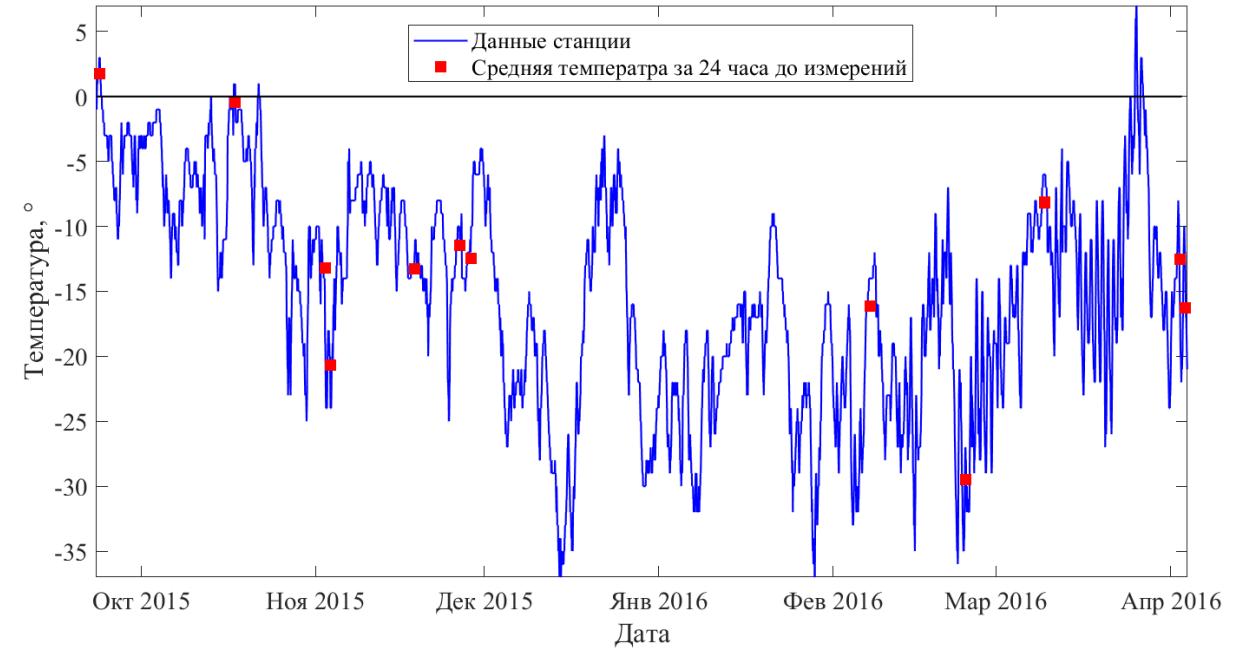


Рис. 6. График температуры в регионе по данным метеостанции в Йеллоунайфе, красными точками показаны температуры в даты пролёта TDS-1 над озером.

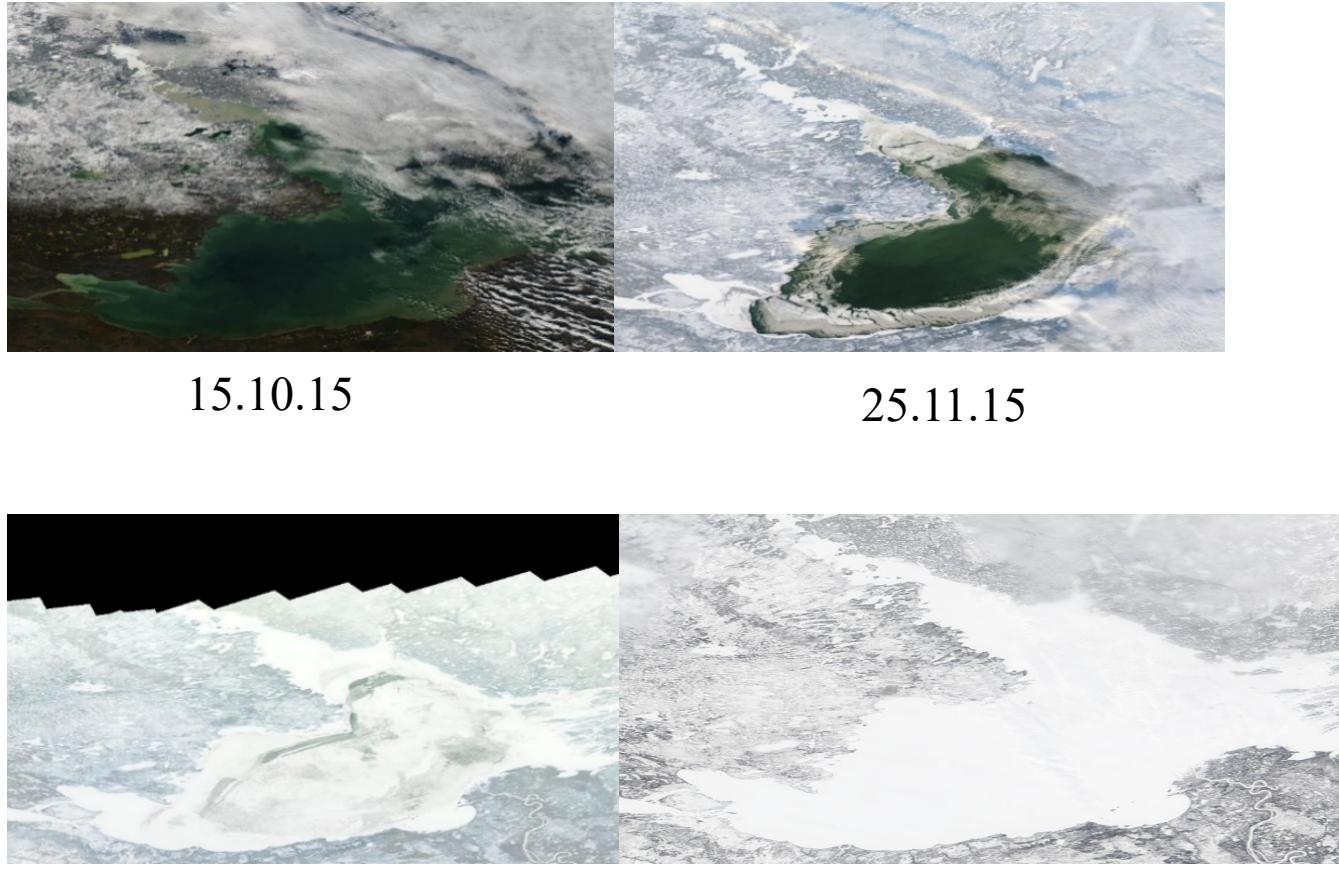


Рис. 7. Изображения полигона в Большом Невольничьем озере по данным MODIS со спутника Aqua.

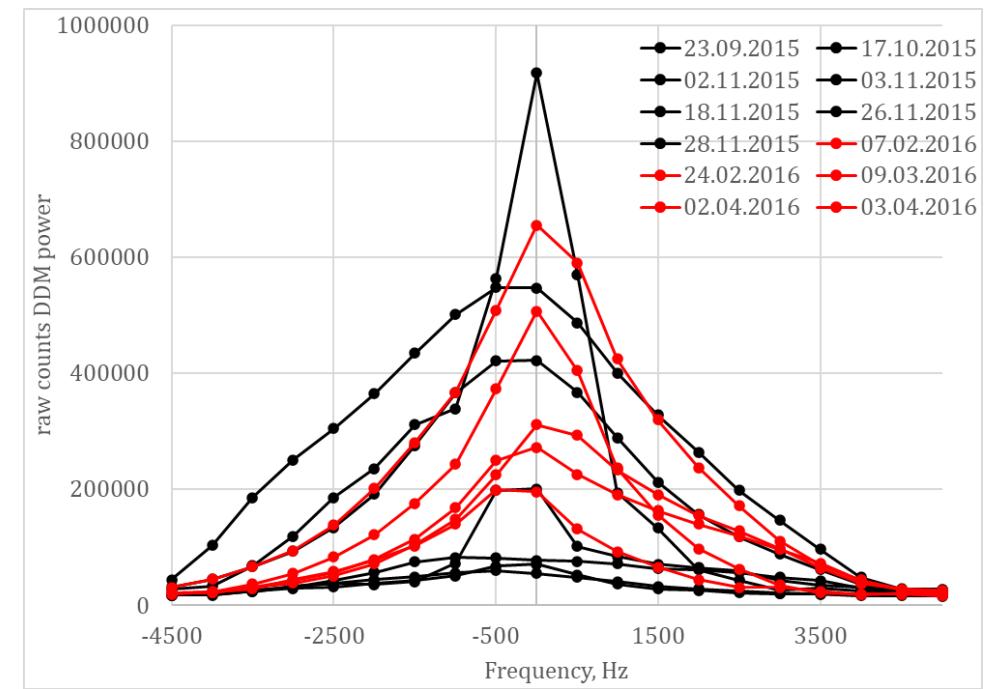


Рис. 8. Сравнение ДС отражённого сигнала для Большого Невольничьего озера за разные дни. Чёрным цветом ДС для сигнала, отражённого подтверждённой по оптическим снимкам водной поверхностью, красным цветом – ледяной поверхностью

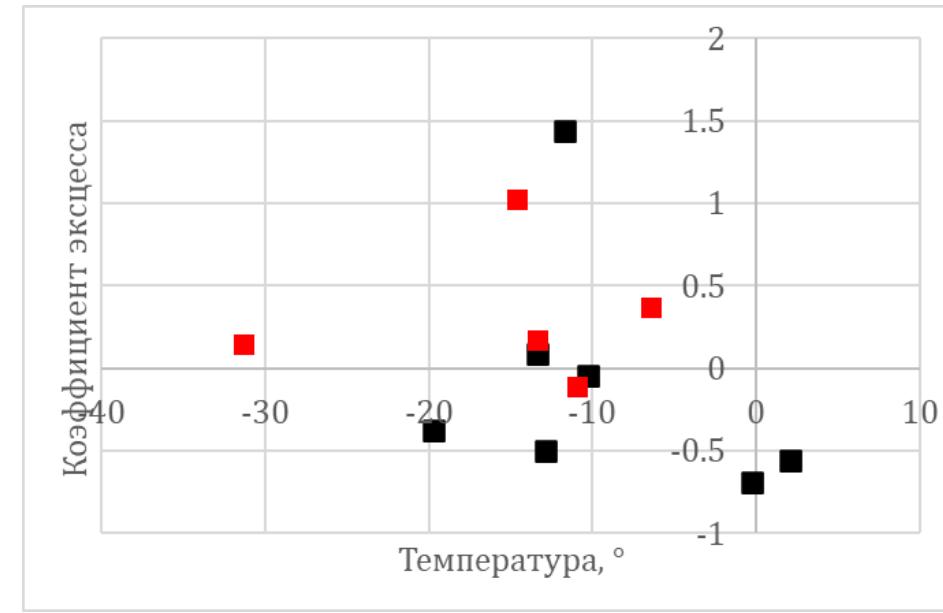
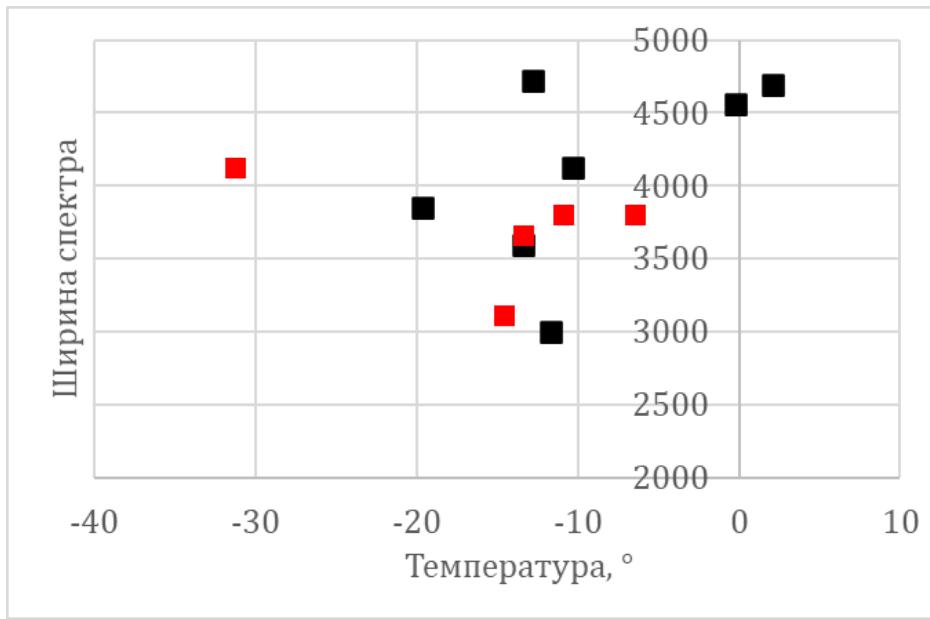


Рис. 9. Зависимость Ширины ДС (слева) и коэффициента эксцесса (справа) от температуры.

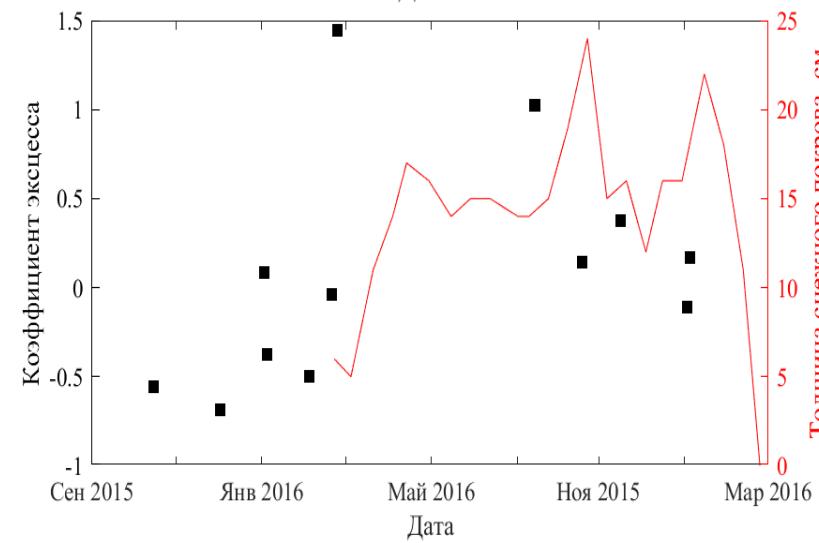
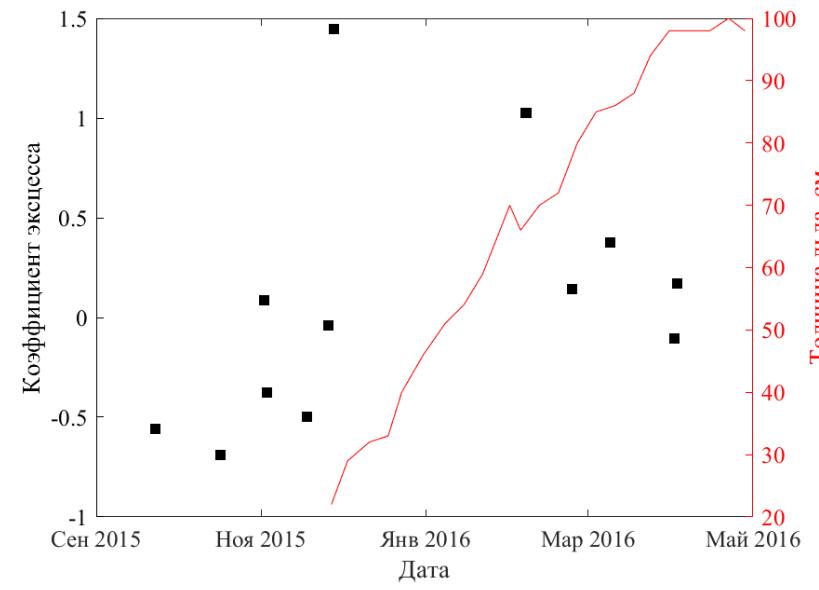
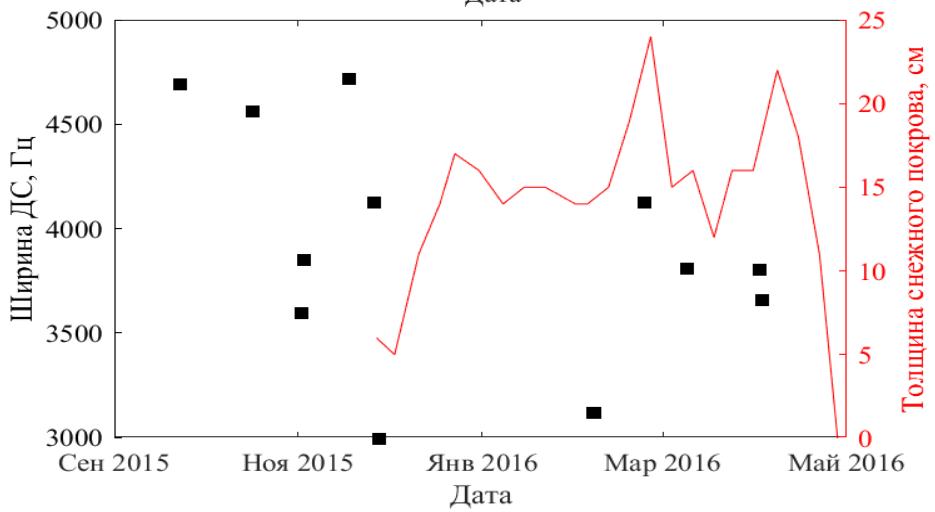
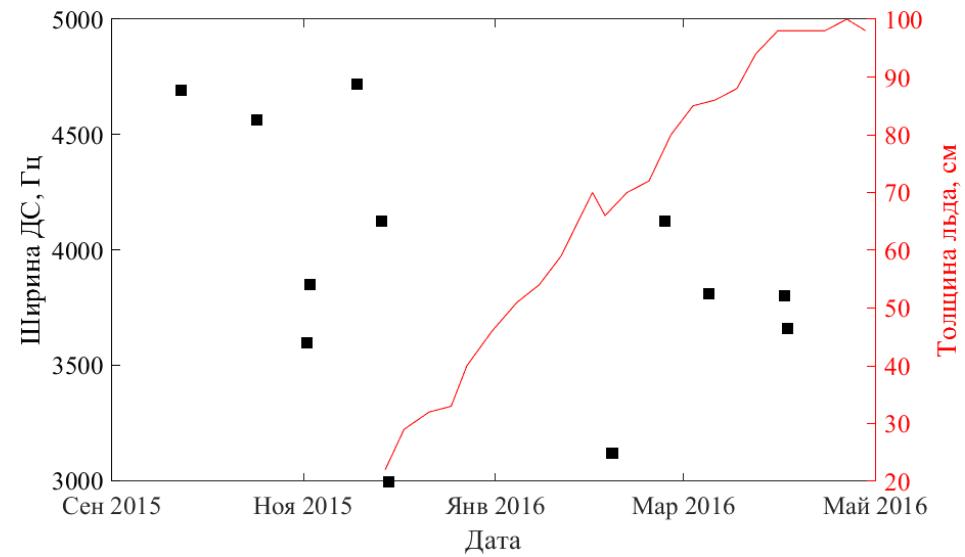
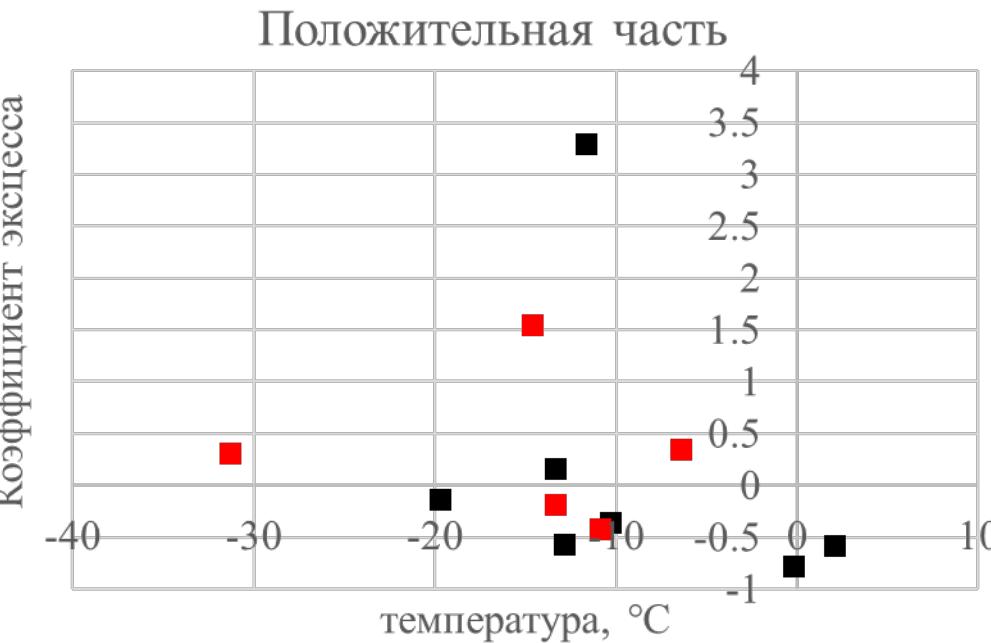
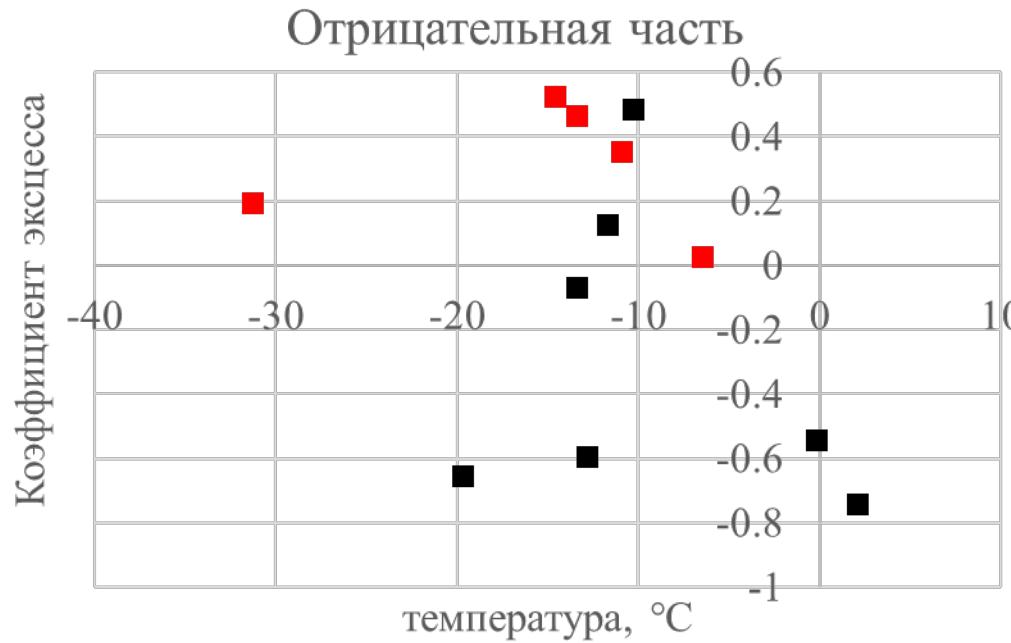
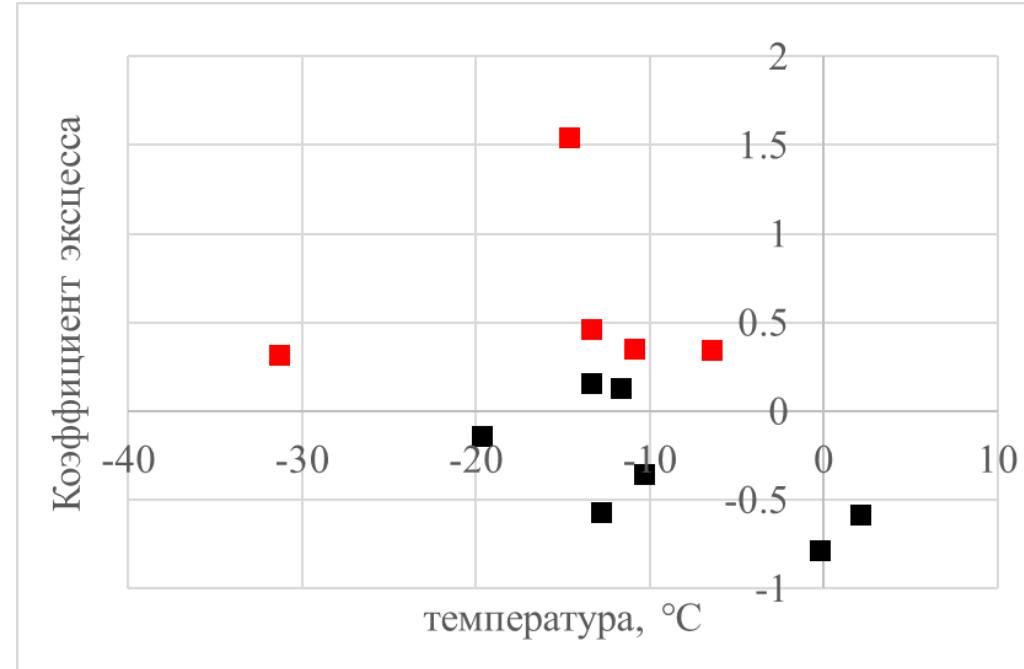
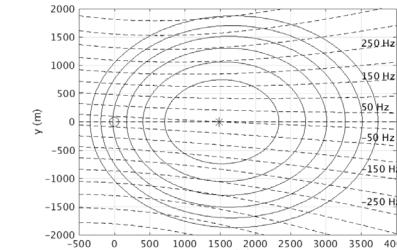


Рис. 10. Зависимость Ширины ДС (слева) и коэффициента эксцесса (справа) от даты, где одновременно нанесены значения толщина ледяного покрова (сверху) и толщина снежного покрова (снизу).

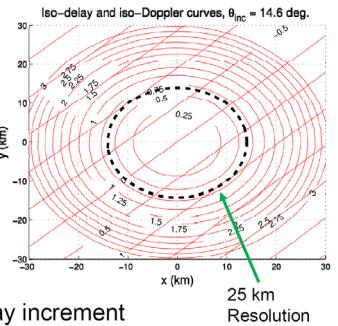
Рис. 11. Коэффициент эксцесса рассчитанный по частям спектра



Airborne Receiver 4.6 km altitude  
GNSS elevation: 66.4 deg.



Satellite Receiver 500 km altitude  
GNSS elevation: 75.4 deg.



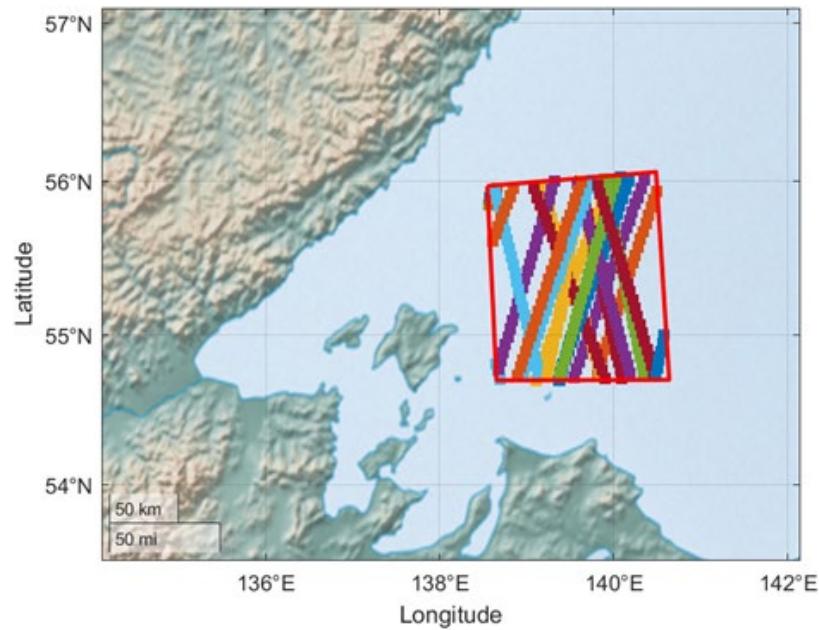


Рис. 12. Красной линией показаны границы полигона, квадраты - точки зеркального отражения на поверхности, разным цветом показаны треки в разное время.



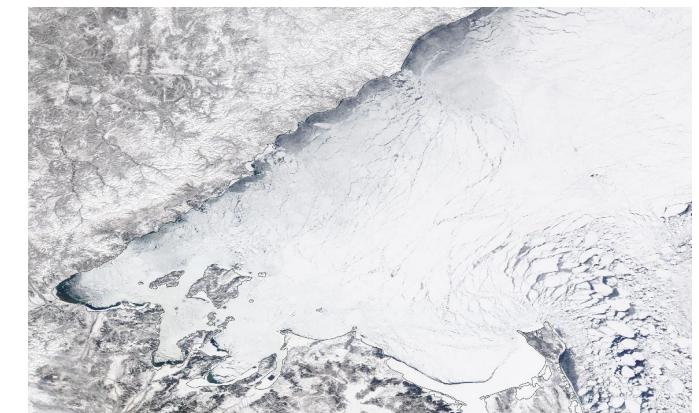
15.09.15



30.12.15



18.02.16



12.03.16

Рис. 13. Изображения полигона в Охотском море по данным MODIS со спутника Aqua.

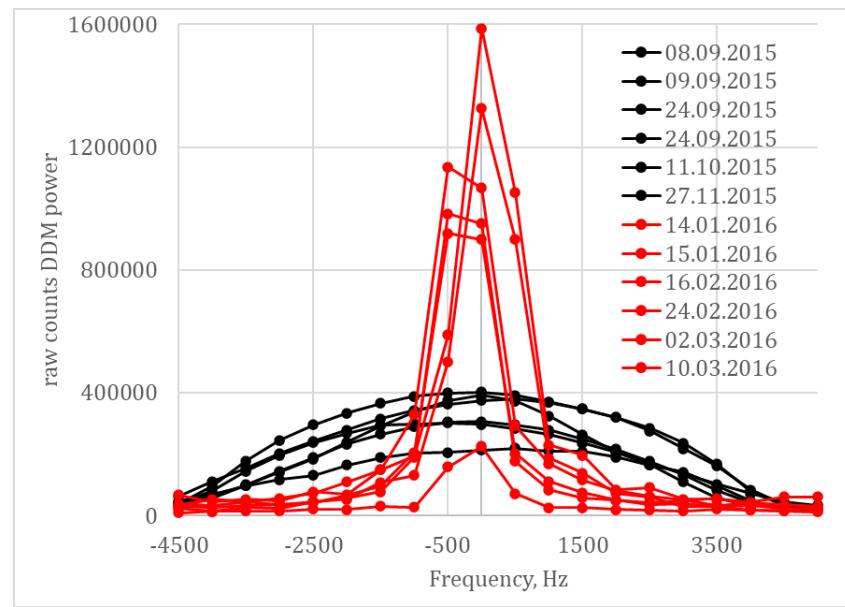


Рис. 14. Сравнение ДС отражённого сигнала для полигона в Охотском море за разные дни. Чёрным цветом ДС для сигнала, отражённого подтверждённой по оптическим снимкам

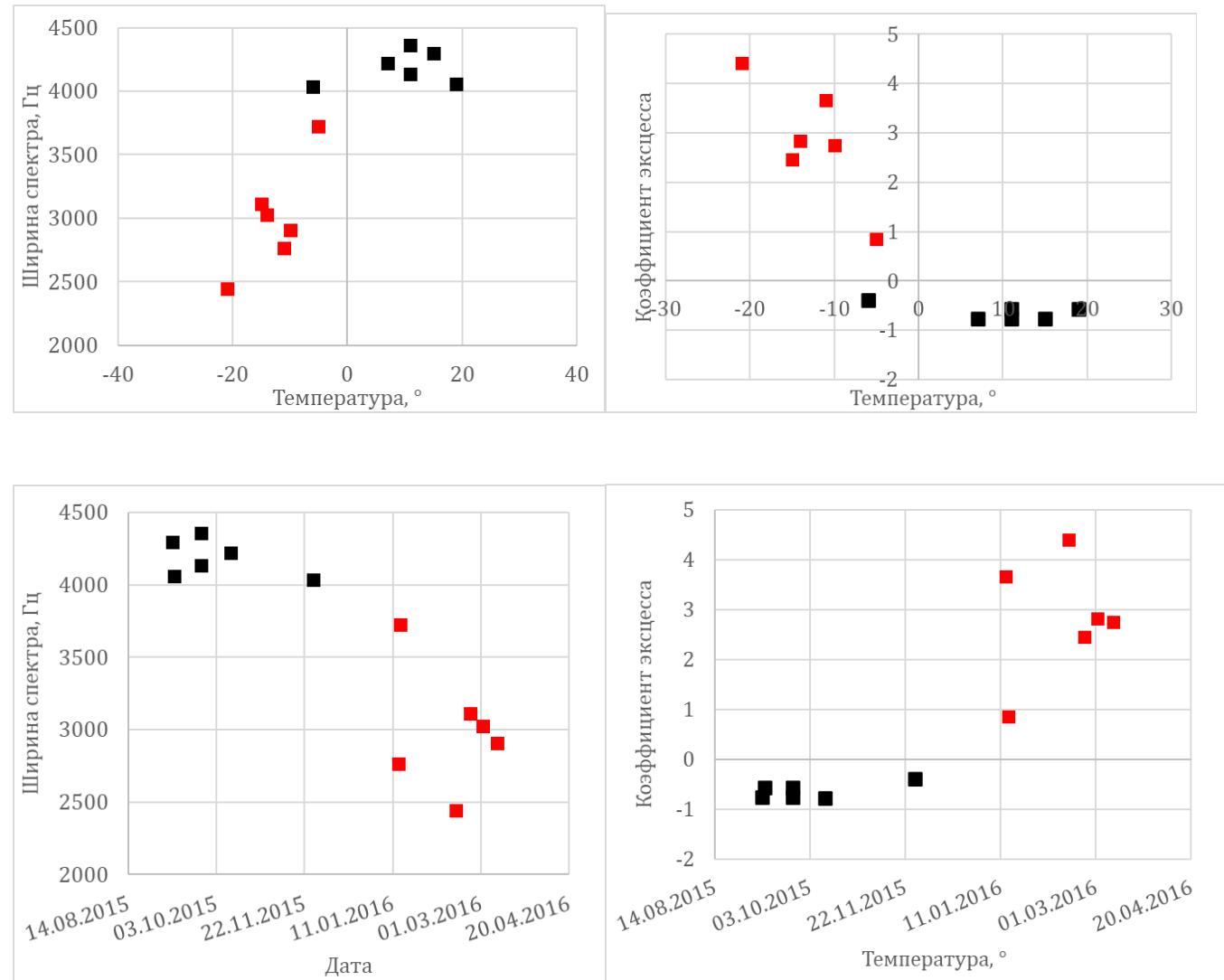


Рис. 15. Зависимость Ширины ДС (слева) и коэффициента эксцесса (справа) от температуры.

# Сравнение характеристик рассеяния в L диапазоне озерного и морского ледяных покровов.

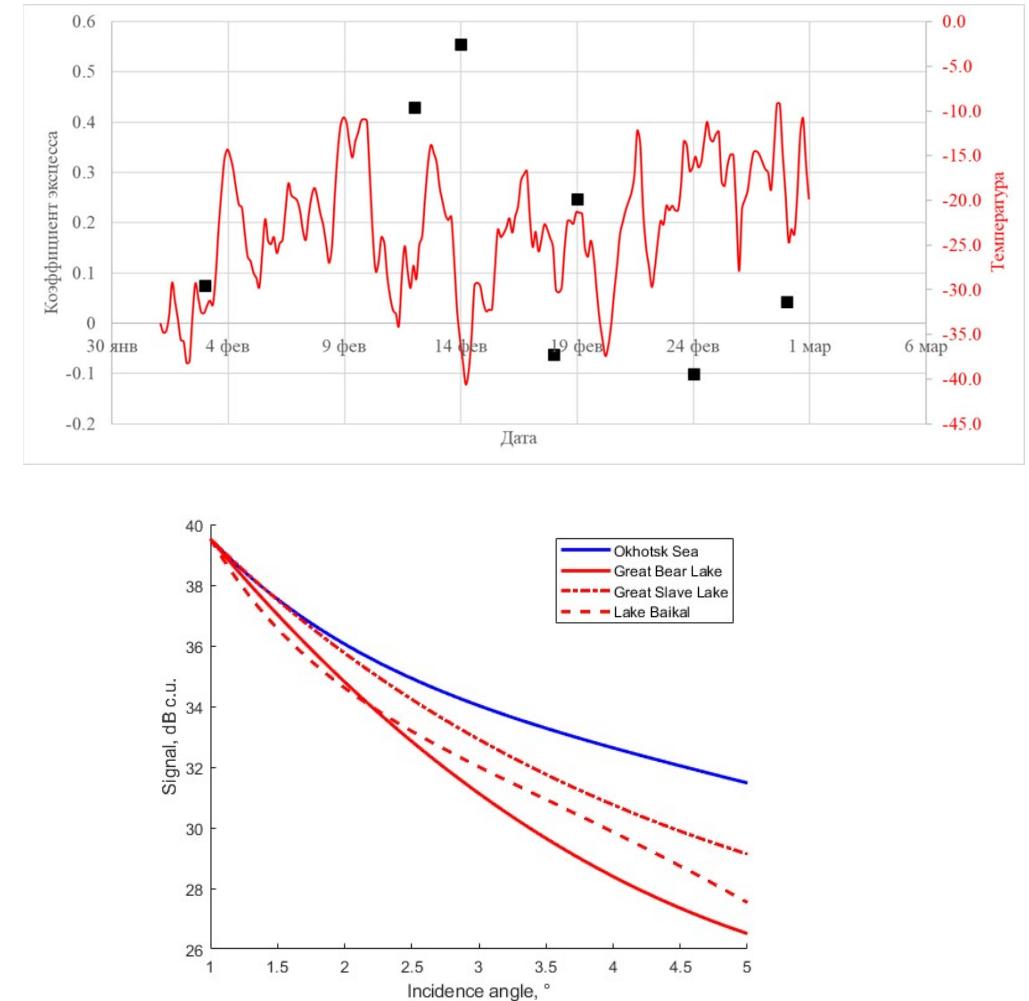
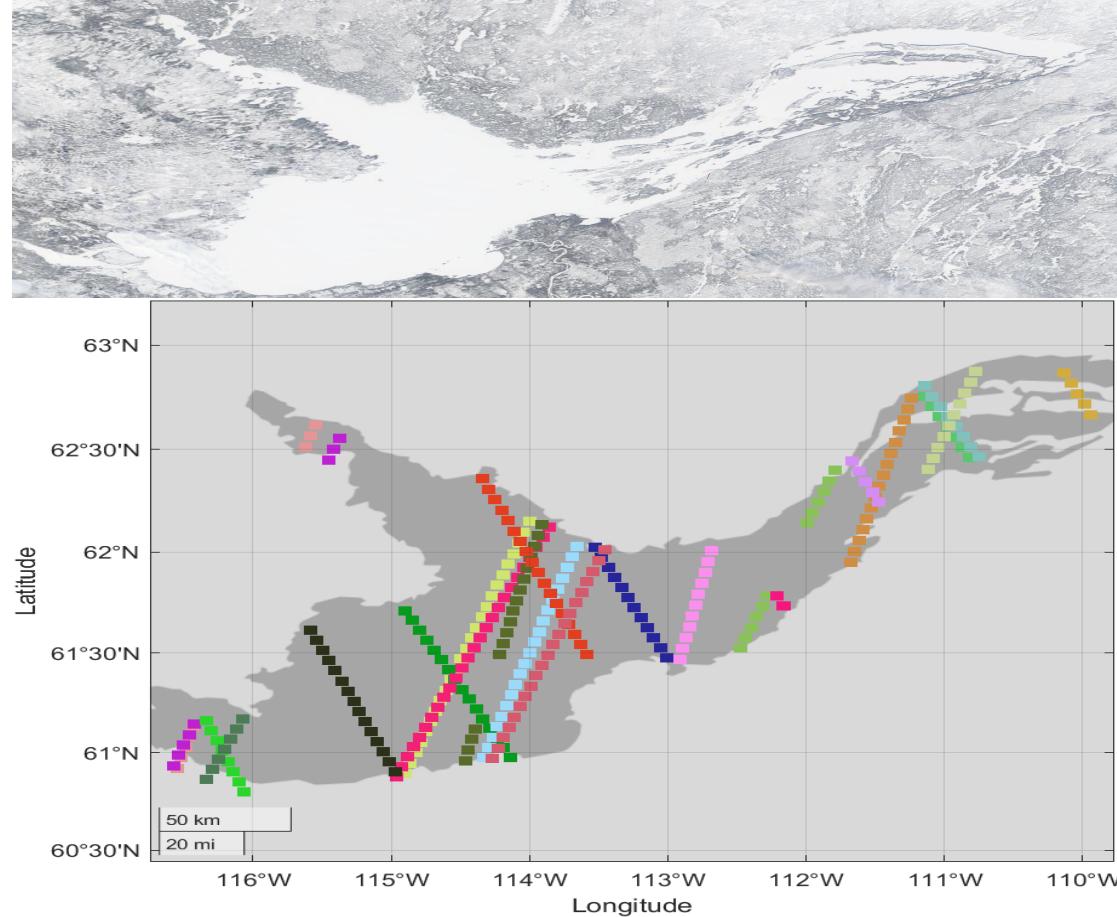


Рис. 16. Сравнение диаграммы рассеяния в L диапазоне для морского и озёрных ледяных покровов, приведённых к одному значению при  $1^\circ$  угла падения.

# ВЫВОДЫ

- Собраны данные по пресноводному ледяному покрову на Большом Невольничем озере за сезон 2015-2016 гг.
- Рассмотрена зависимость параметров доплеровского спектра от температуры и толщины ледяного покрова за период формирования-ледостава-разрушения ледяного покрова
- Выполнен сравнительный анализ характеристик рассеяния пресноводного (Большое Невольниче озеро) и морского (Охотское море) льда в L-диапазоне по данным спутника TDS-1 за период 2015-2016 гг.

Анализ выявил качественно схожее поведение ширины доплеровского спектра для обоих типов льда: наблюдается уменьшение ширины с увеличением толщины ледяного покрова, что интерпретируется как снижение эффективной шероховатости поверхности. Различия проявляются в динамике коэффициента эксцесса: для пресноводного льда значения коэффициента для пресного ледяного покрова меньше чем для солёного ледяного покрова, что может быть обусловлено объёмным рассеянием и затуханием в толще льда, а также наличием снежного покрова; для морского льда наблюдается корреляция коэффициента эксцесса с температурой.