



Дистанционное зондирование морского льда при малых углах падения: моделирование и сравнение различных подходов

К. Понур, В. Караев,
М. Панфилова, Ю. Титченко,

14/11/2022

Нижний Новгород

Введение

В настоящее время на орбите находятся два радиолокатора, которые выполняют измерения при малых углах падения и ещё один находится в разработке:

- Двухчастотный дождевой радиолокатор (DPR), установленный на спутнике GPM, и предназначенный для измерения осадков
- Спектрометр SWIM на спутнике CFOSAT измеряет двумерный спектр морского волнения и высоту волнения.
- Для измерения морских течений разработан проект SKIM, где измерения также планируется выполнять при малых углах падения

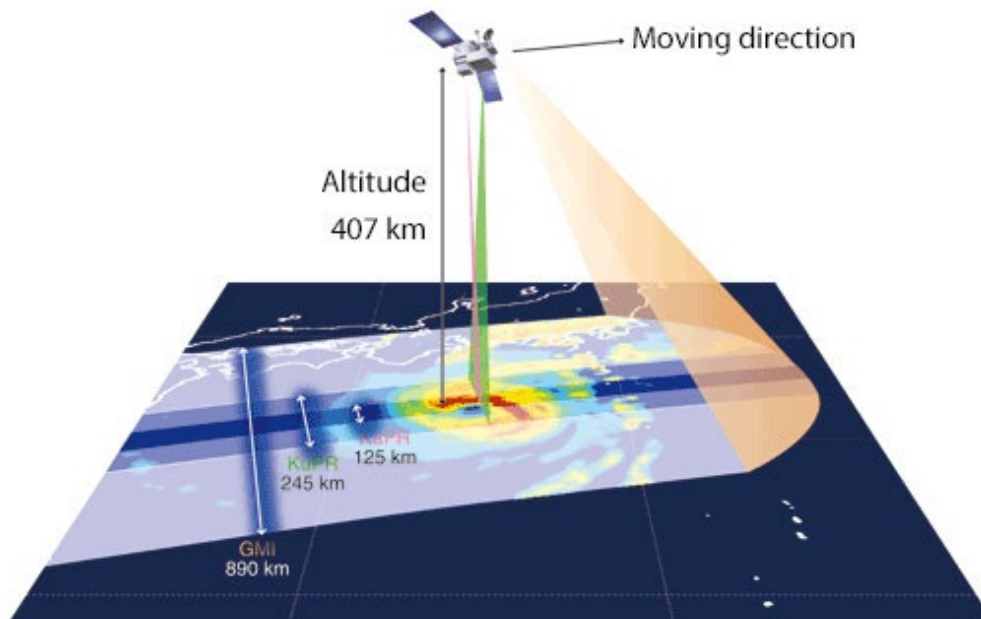
Целью данной работы является

- Моделирование индивидуальной схемы измерения выбранных спутников
- Использование данных с этих радиолокаторов в новой для них области: оценки площади ледяного покрова (сплоченности).

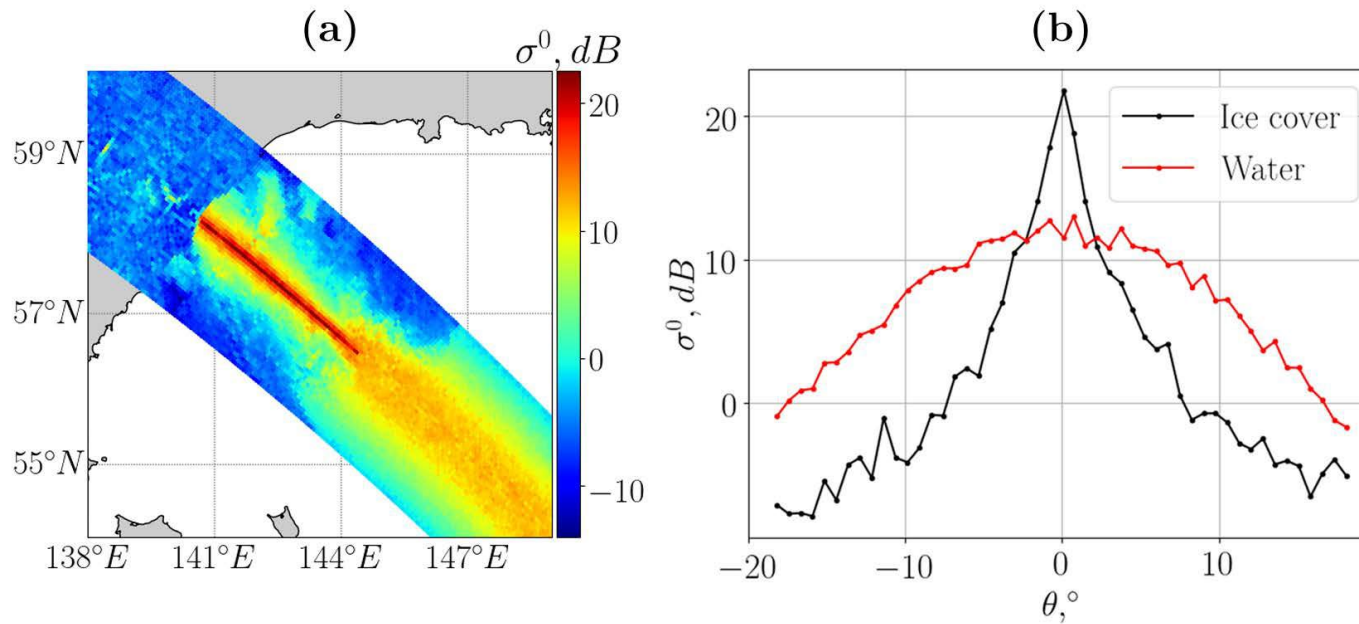
DPR. Схема измерения

Dual-frequency Precipitation Radar

- Ku- и Ka-диапазоны
- Ширина полосы 245 км
- Сканирует перпендикулярно своему движению при углах падения от -18 до +18 градусов с шагом 0.7 градуса.
- Размер пятна 5x5 км
- Измерение распределения осадков



DPR. Схема измерения

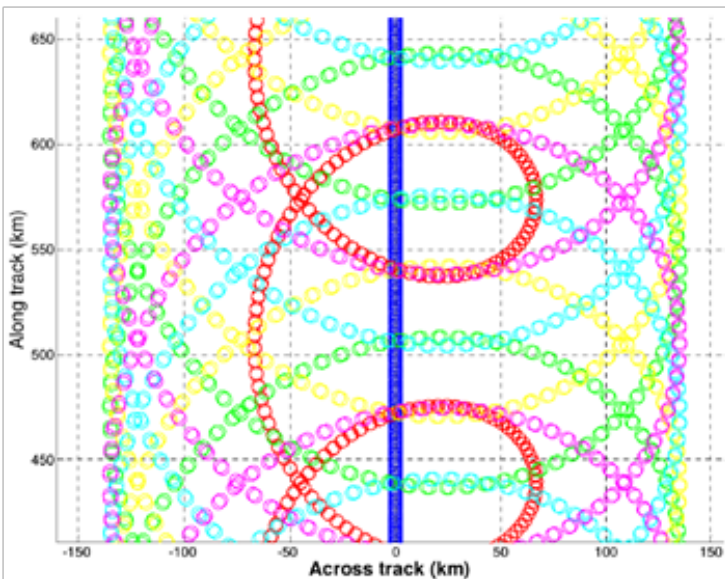
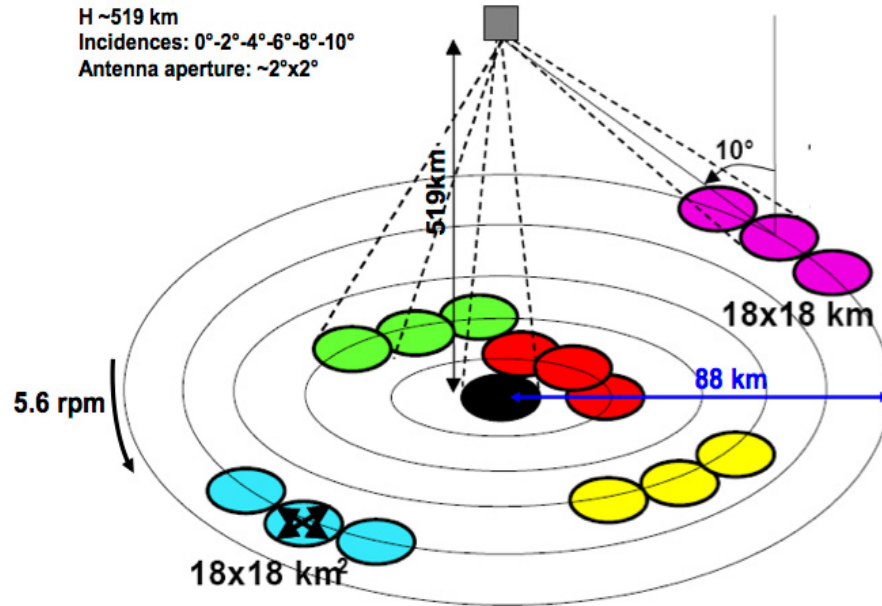


- (a) Данные DPM за 27 декабря 2016-го года вблизи Охотского моря
- (b) УЭПР льда (черная кривая) и воды (красная) на разных участках выбранного трека

SWIM. Схема измерения

Surface Waves Investigation and Monitoring

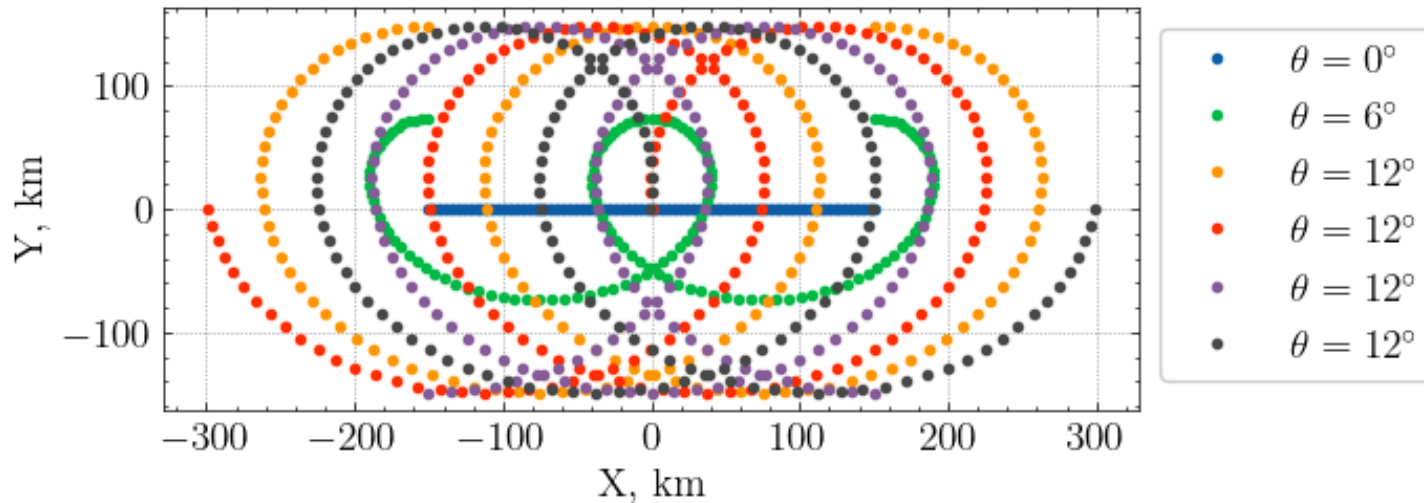
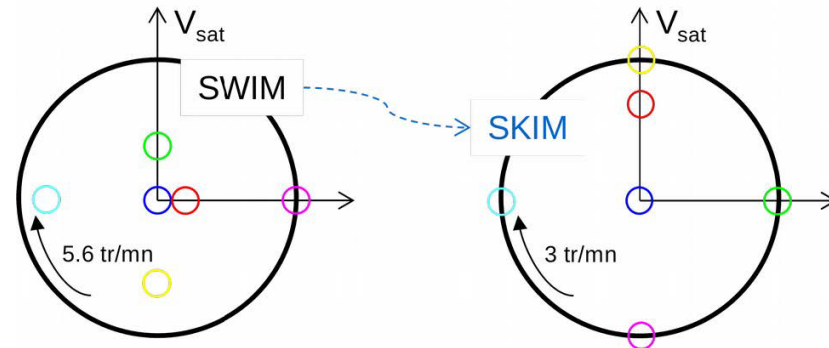
- Ku-диапазон
- Ширина полосы 280 км
- Углы падения: 0, 2, 4, 6, 8, 10
- Азимутальные углы: 0-360 с шагом 15
- Размер пятна 18x18 км
- Измерения спектра морского волнения



D.Hauser, C.Tison, T.Amiot, et al., "SWIM: The First Spaceborne Wave Scatterometer", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2017, Vol. 55, No. 5, pp. 3000-30014.

SKIM. Схема измерения

- Ка-диапазон
- Ширина полосы 320 км
- Углы падения: 0, 6, 12
- Азимутальные углы (только для 12): 0, 90, 180, 270
- Размер пятна 5 x 5 км
- Измерение поля течений



Моделирование волнения

$$\sigma_{ice}(\theta) = a_{ice} + b_{ice}\theta + c_{ice}\theta^2 + d_{ice} \exp(-e_{ice}|\theta|)$$

$$\sigma_{sea}(\theta) = a_{sea} + b_{sea}\theta + c_{sea}\theta^2 + d_{sea}\theta^3 + e_{sea}\theta^4 + f_{sea}\theta^5$$

Эксперимент

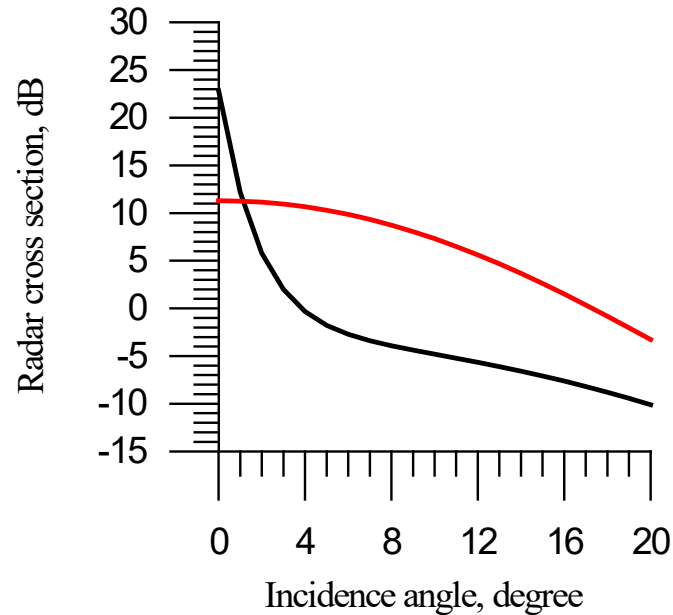
- R_{eff} - коэффициент отражения
- θ - угол падения
- mss_x, mss_y - дисперсии уклонов крупных волн вдоль осей X и Y
- mss_{xy} - корреляция между уклонами

Теория

$$\sigma_0^w(\theta) = \frac{|R_{eff}(0)|^2}{2 \cos^4 \theta \sqrt{mss_{xx}mss_{yy} - mss_{xy}^2}} \times \exp \left[-\frac{\text{tg}^2 \theta}{2(mss_{xx}mss_{yy} - mss_{xy}^2)} \cdot mss_{yy} \right]$$

Коэфф.	Лед	Вода
a	-3.16	11.29
b	$-8.7 \cdot 10^{-3}$	$6.27 \cdot 10^{-3}$
c	$-1.69 \cdot 10^{-2}$	$-4.07 \cdot 10^{-2}$
d	-26.01	$-1.71 \cdot 10^{-4}$
e	25.032	$1.38 \cdot 10^{-5}$
f	0.53	$7.9 \cdot 10^{-8}$

Зависимость σ_0 для воды (красная кривая) и льда (черная) от угла падения

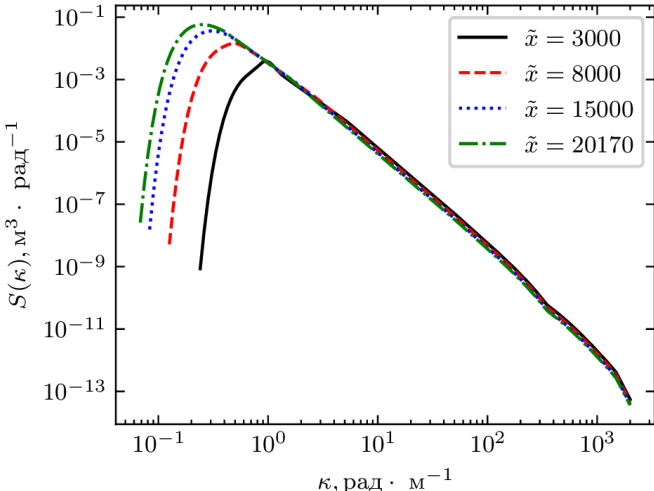


Спектр волнения

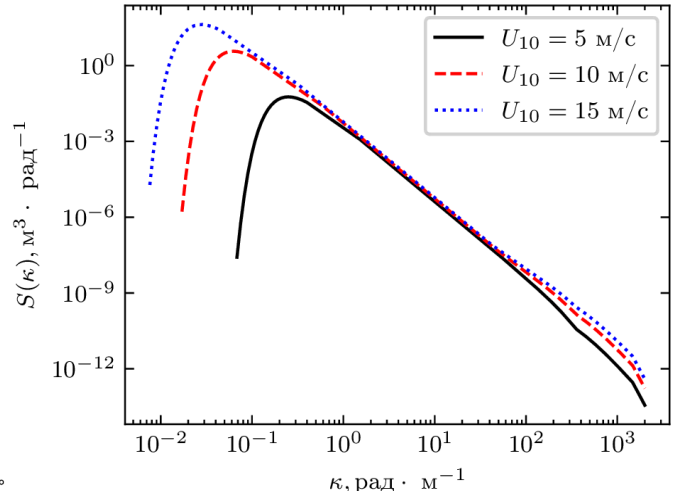
Пределы применимости

- Скорость ветра U_{10} от 3 до 20
- Безразмерный разгон \tilde{x} от 1430 до 20170

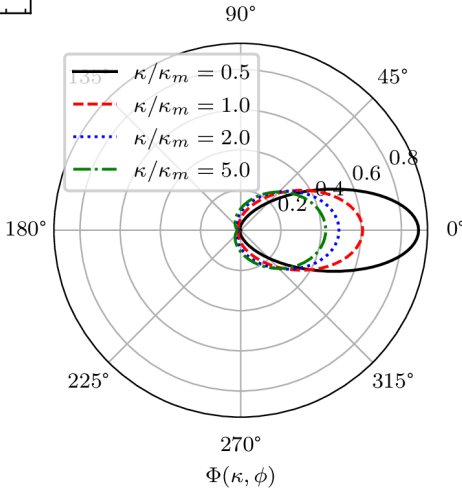
$\tilde{x} = \frac{x \cdot g}{U_{10}}$ - безразмерный разгон,
 x – ветровой разгон в метрах. Если волнение развивается от берега, разгон равен расстоянию от берега до точки наблюдения



Спектр при фиксированной скорости ветра $U_{10}=5$ м/с и меняющимся безразмерном разгоне

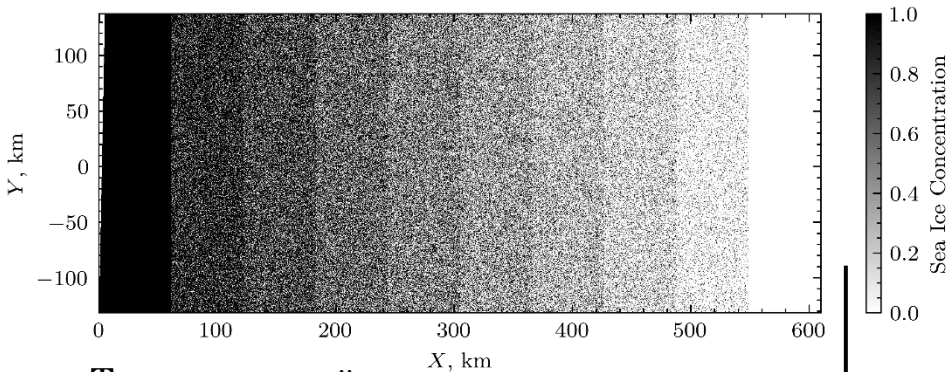


Спектр при фиксированном безразмерном разгоне $\tilde{x} = 20170$ и меняющейся скорости ветра



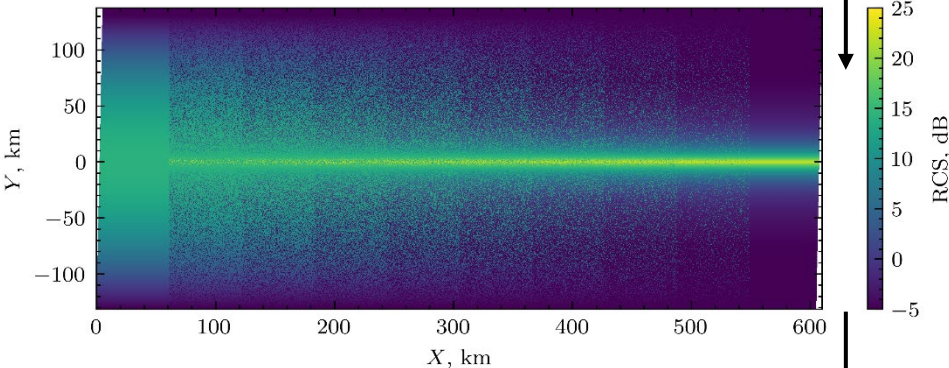
Моделирование УЭПР на примере DPR

Распределение льда (белые точки) и воды (черные)



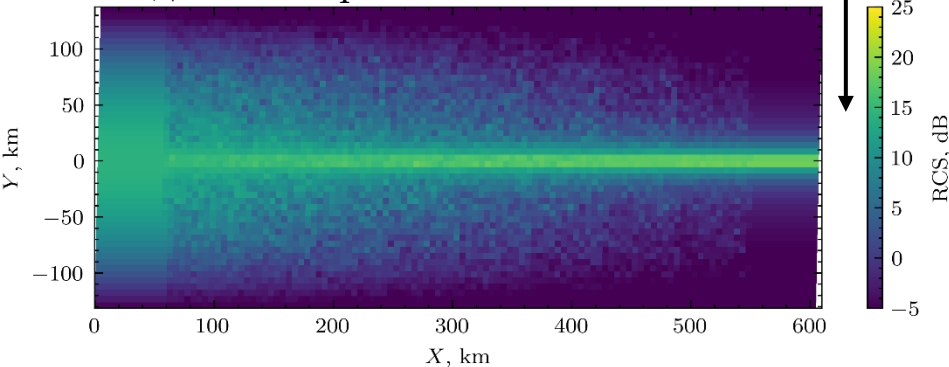
1. Выбирается модельное распределение льда и воды.

Теоретический трек



2. Вычисляется УЭПР для необходимых углов падения по формулам $\sigma_{sea}(\theta)$ и $\sigma_{ice}(\theta)$.

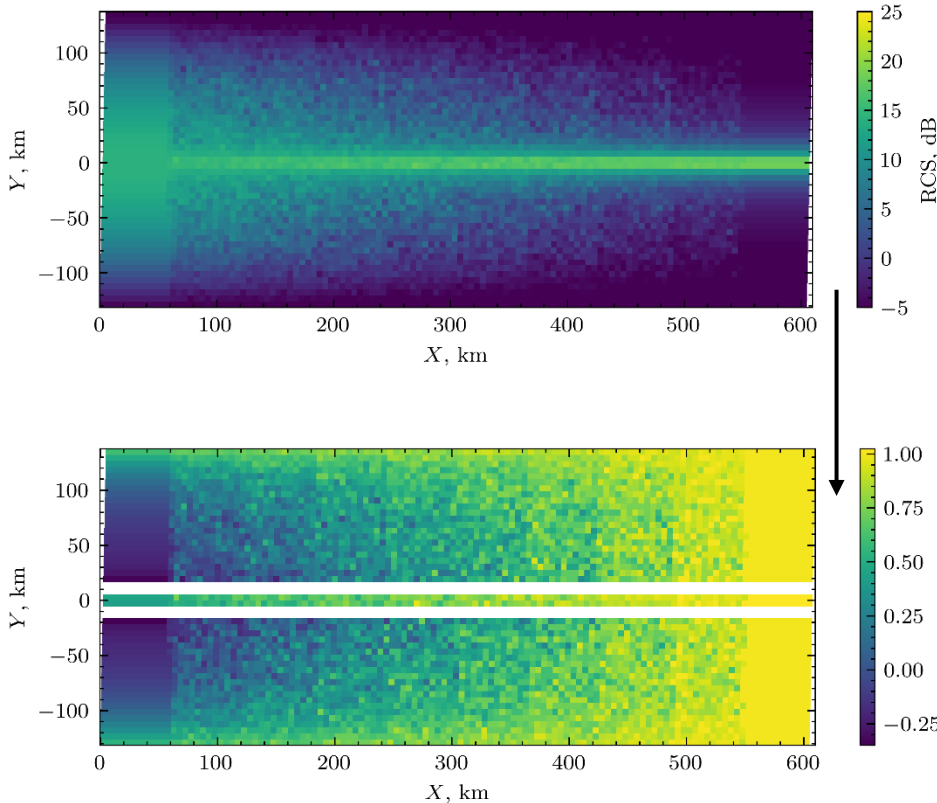
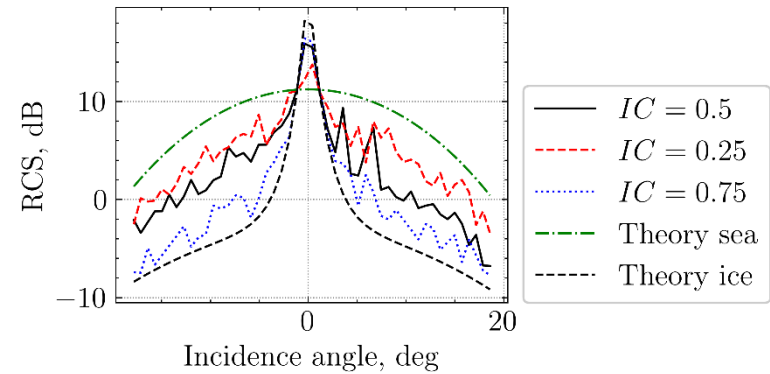
Модельный трек



3. Производится пространственное усреднение УЭПР в размере пятна радиолокатора.

Алгоритм оценки сплоченности на примере DPR

Зная модельное $\sigma_0(x, y)$ сверяем его по значению с теоретическими σ_{sea} и σ_{ice} и оцениваем сплоченность льда



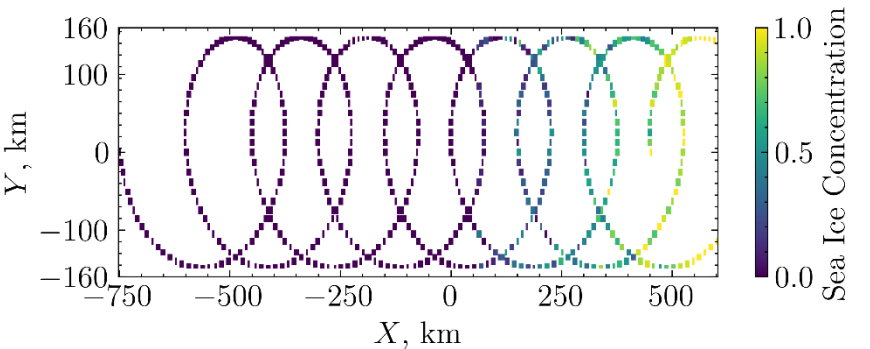
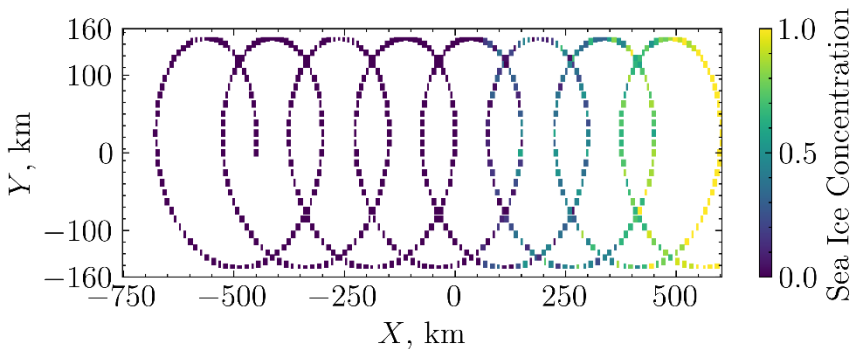
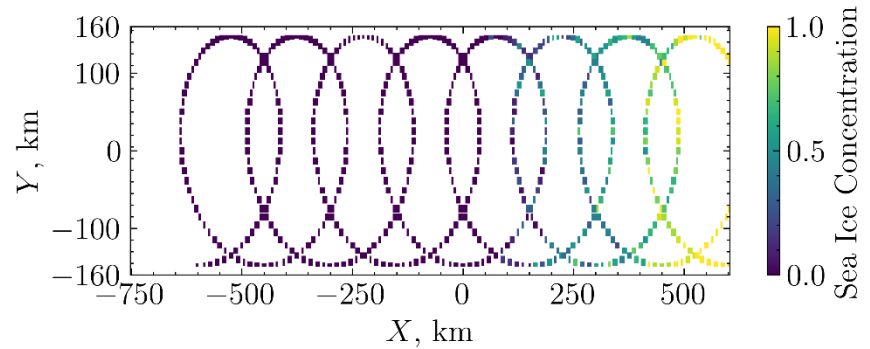
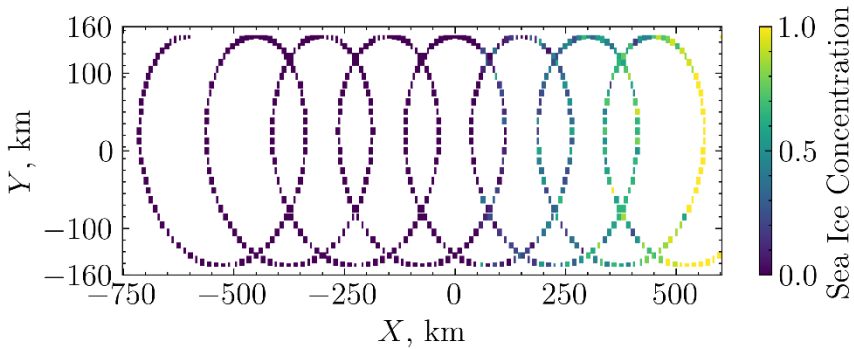
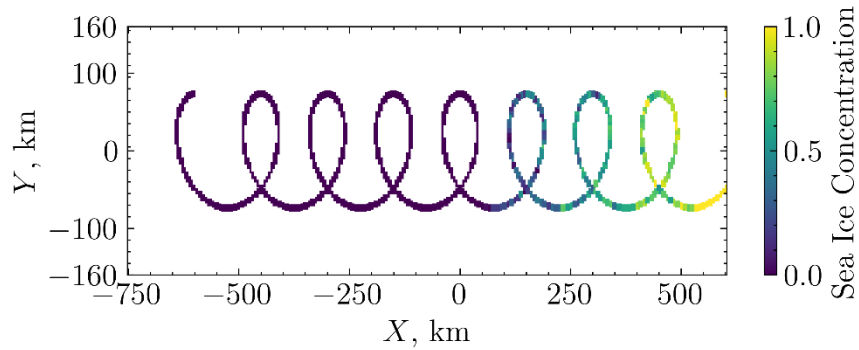
Из моделирования

Из теории

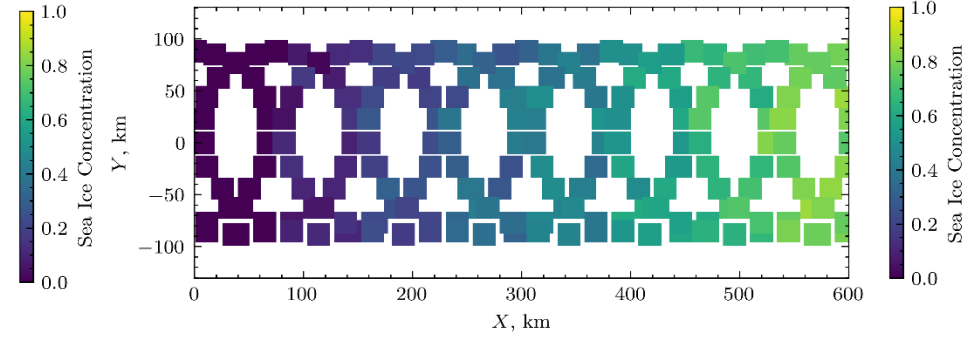
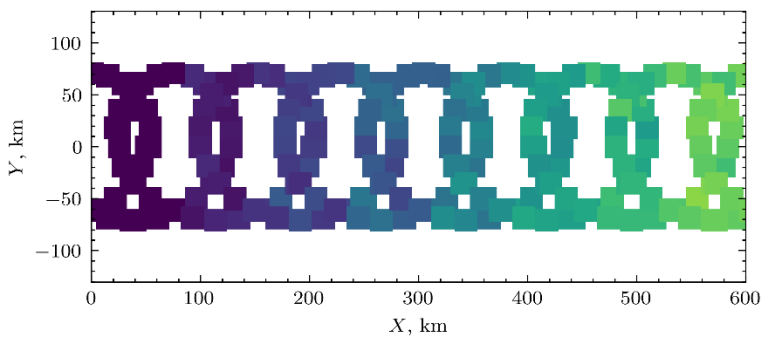
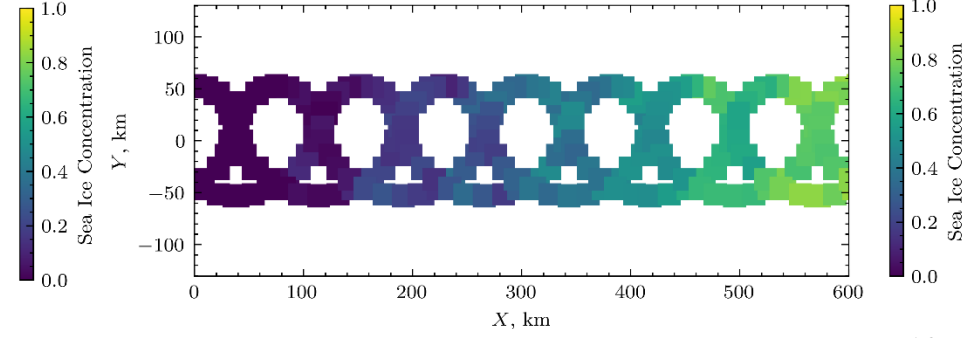
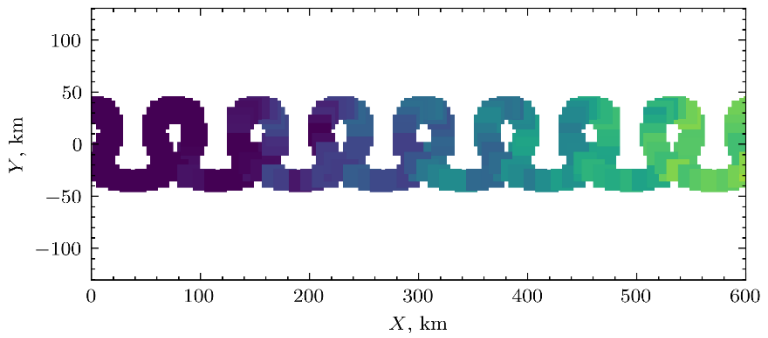
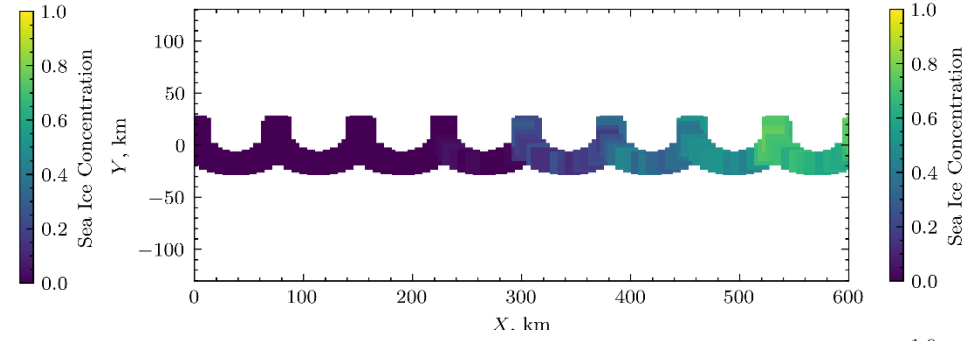
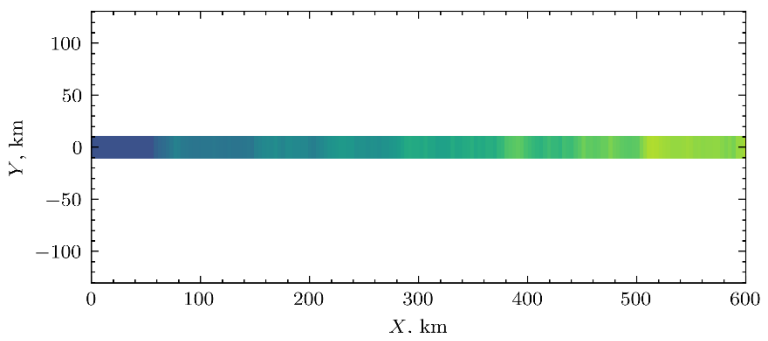
$$\sigma_0(x, y) = \sigma_{ice} S_{ice} + \sigma_{sea} (1 - S_{ice})$$

$$S_{ice}(x, y) = \frac{\sigma_0(x, y) - \sigma_{sea}(\theta)}{\sigma_{ice}(\theta) - \sigma_{sea}(\theta)}$$

SKIM. Оценка сплоченности



SWIM. Оценка сплоченности

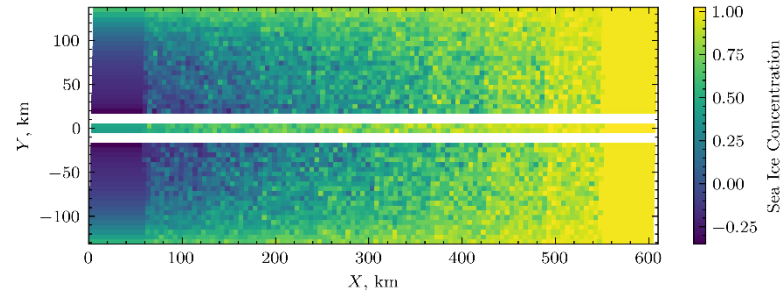


Карта сплоченности

DPR:

- Разрешение совпадает с размером пятна – 5 км.
- При углах падения 2° - 4° зависимости σ_{sea} и σ_{ice} принимают одинаковые значения, поэтому восстановить сплоченность нельзя

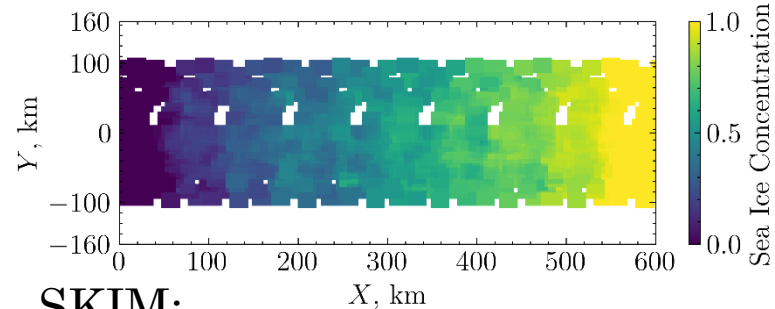
DPR:



SWIM:

- Разрешение меньше размера пятна за счет наложения данных – 10 км.

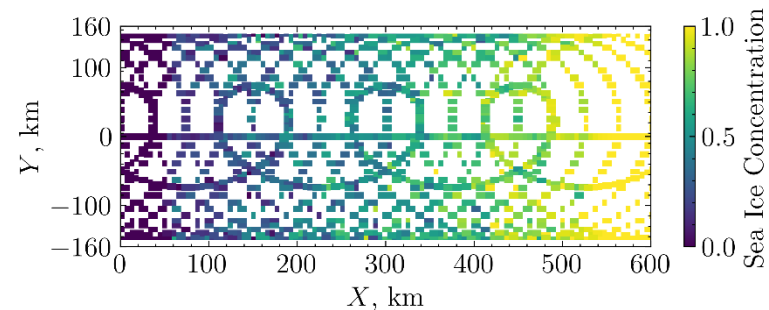
SWIM:



SKIM:

- Разрешение совпадает с размером пятна – 5 км.
- Возможность оценить сплоченность на всем треке

SKIM:



**Спасибо за
внимание!**