

Использование данных радиометра MIRAS спутника SMOS для анализа сплоченности ледяного покрова по трассе Северного морского пути

*КАТАМАДЗЕ Д.Р.¹, ТИХОНОВ В.В.^{2,3,4}, АЛЕКСЕЕВА Т.А.^{4,2},
АФАНАСЬЕВА Е.В.^{4,2}, СОКОЛОВА Ю.В.^{4,2}, ХВОСТОВ И.В.³,
РОМАНОВ А.Н.³*

¹МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет космических исследований,
Москва, Россия

²Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

³Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

⁴Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт,
Санкт-Петербург, Россия



Современные спутниковые микроволновые радиометры для исследования Арктики

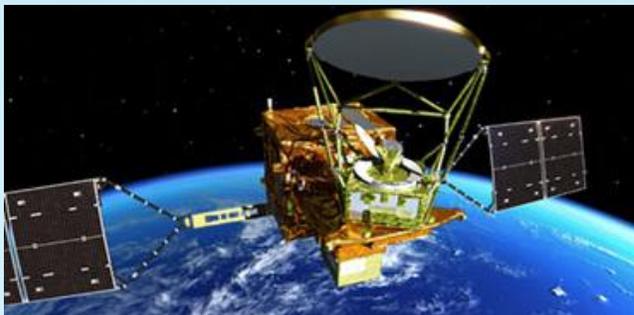
2



Радиометр: MIRAS – Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis
Спутник: SMOS – Soil Moisture and Ocean Salinity
Космическое агентство: ESA, Европа



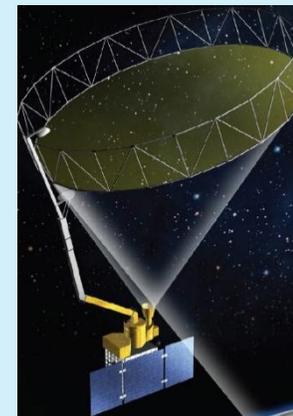
Радиометр: SSMIS – Special Sensor Microwave Imager/Sounder
Спутник: DMSP – Defense Meteorological Satellite Program
Космическое агентство: NOAA, США



Радиометр: AMSR2 – Advanced Microwave Scanning Radiometer 2
Спутник: GCOM-W1 – Global Change Observation Mission – Water 1 «Shizuku»
Космическое агентство: JAXA, Япония



Радиометр: МТВЗА-ГЯ – Микроволновый сканер температурно-влажностного зондирования атмосферы, ГЯ — в память о Геннадии Яковлевиче Гуськове
Спутник: Метеор-М
Космическое агентство: Роскосмос, Россия



Радиометр: SMAP – Soil Moisture Active Passive
Спутник: SMAP
Космическое агентство: NASA, США

Сплоченность морского льда (СМЛ) или сплоченность ледяного покрова (СЛП) это важнейшая характеристика, показывающая отношение площади льда в зоне, где он распределен сравнительно равномерно, к общей площади этой зоны. СМЛ измеряется в процентах, где 100% - сплошной лед, а 0% - водная поверхность, или в баллах: 10 баллов - сплошной лед, 0 баллов сплошная вода

Решение

Использовать радиометры с каналами более низкой частоты



MIRAS = 1.4 ГГц

Алгоритмы для определения сплоченности морского льда по данным СМР

- NASA Team
- Bootstrap
- Bristol
- TUD
- ASI
- SIC CDR
- OSI SAF
- Hybrid
- OSI SAF TUD

> 18 ГГц

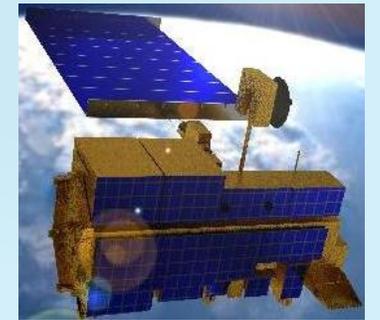
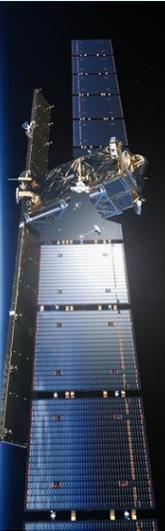
Основные ошибки современных алгоритмов
Использование высокочастотных каналов,
которые не регистрируют излучение из глубин
льда

Регион исследования и данные

Карское море 9 ячеек продукта SMOS L1C

4

Номер ячейки	Широта, ° с.ш.	Долгота, ° в.д.
P1	73,205	73,193
P2	74,007	76,092
P3	75,017	76,081
P4	76,021	76,144
P5	77,016	76,269
P6	77,948	75,902
P7	76,502	88,757
P8	77,583	99,751
P9	77,434	109,861



SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) – 2009 — наст. вр.

MIRAS (Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis)
Продукт SMOS L1C T_h T_v
 $f = 1.4$ ГГц $\theta = 42.5^\circ$

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) Разрешение – 250-500 м Видимый, ИК – диапазоны

Sentinel-1A – SAR (Synthetic Aperture Radar) Разрешение – 300 м C-band (5,405 ГГц)

VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) Разрешение – 375-750 м Видимый, ИК - диапазоны

Методы машинного обучения

5

Атрибуты - x

$$Pr(1.4) = \frac{T_v - T_h}{T_v + T_h}$$



Эффективность моделей



Метрики качества



Коэффициент детерминации (R^2)

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) – Средняя абсолютная ошибка

Root Mean Squared Error (RMSE) – Кв. к. из среднеквадратичной ошибки

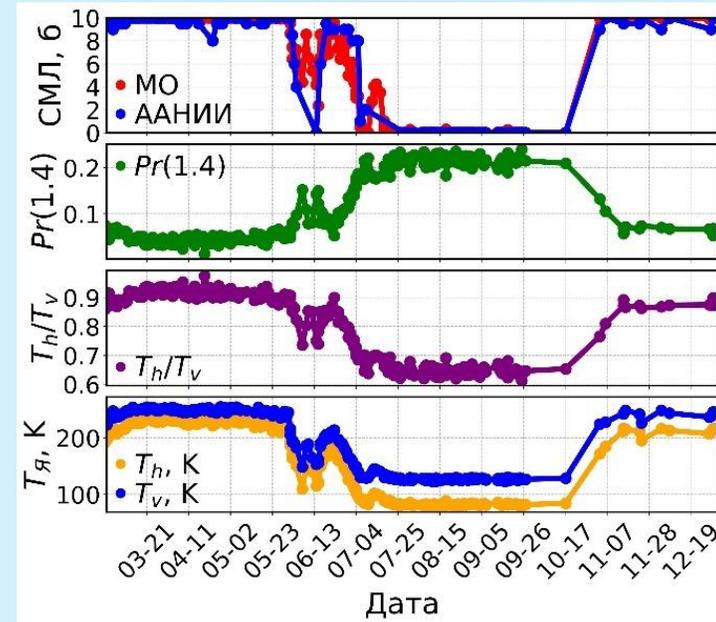
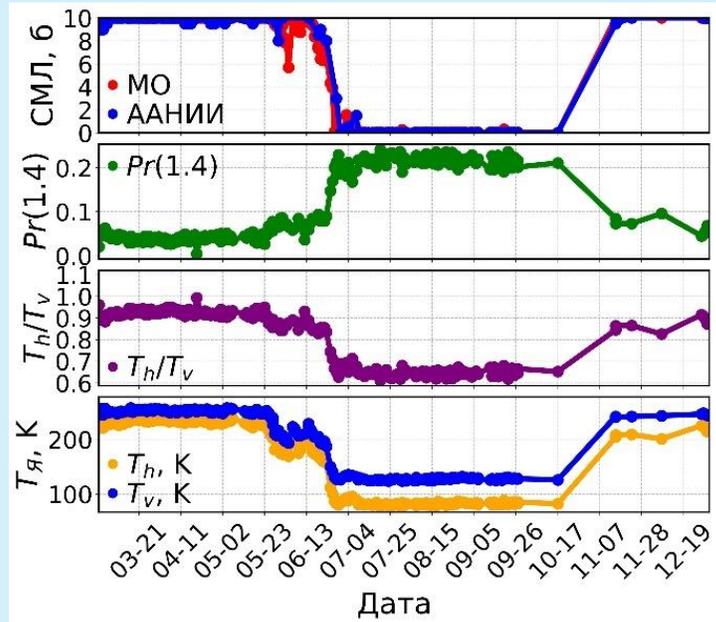
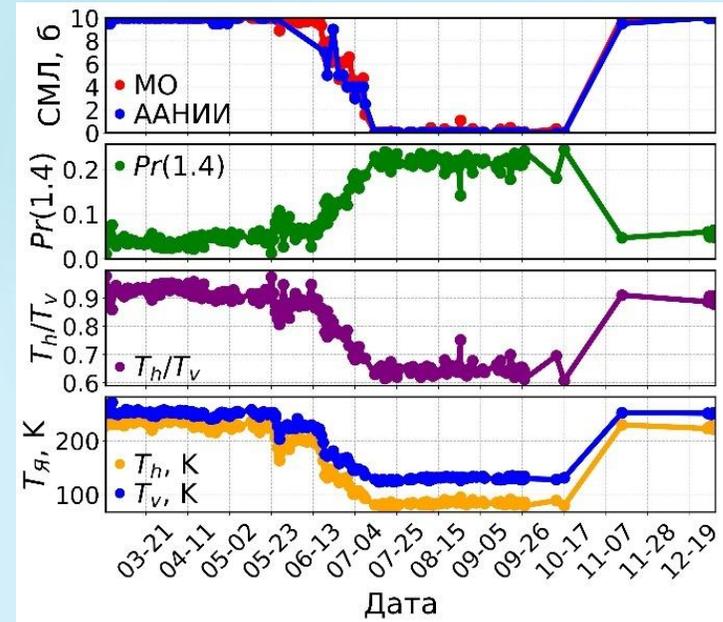
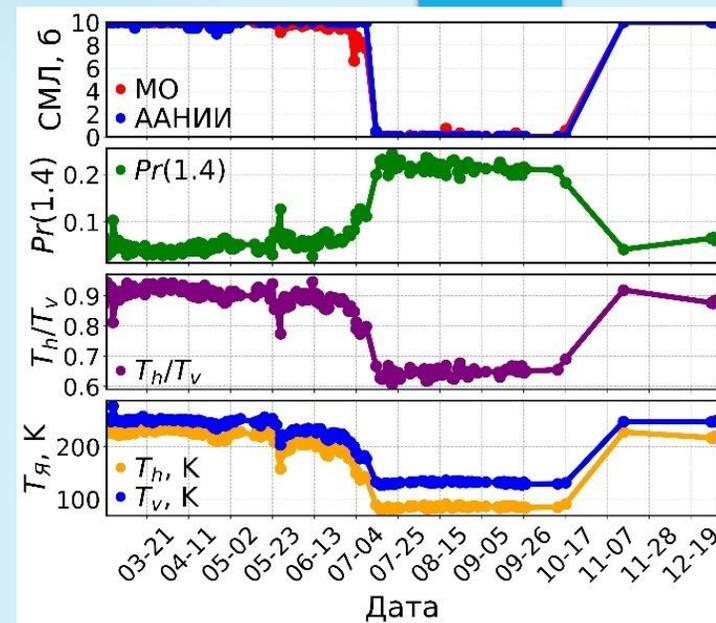
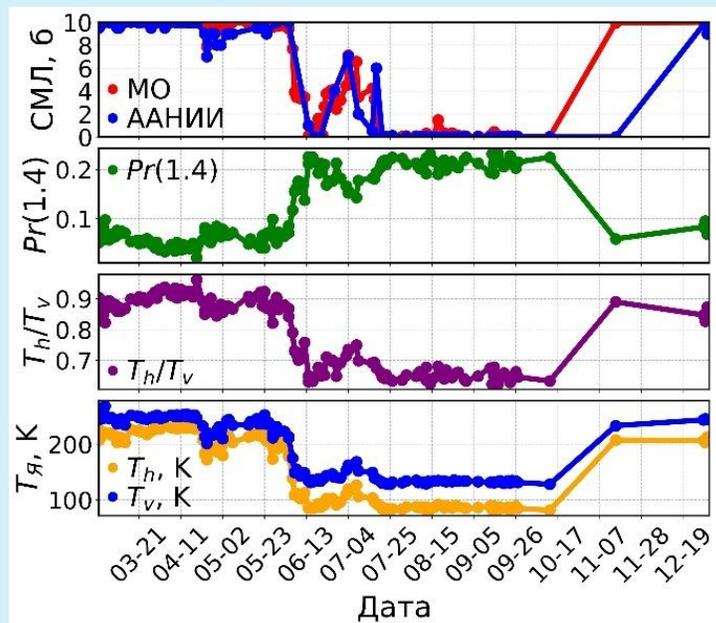
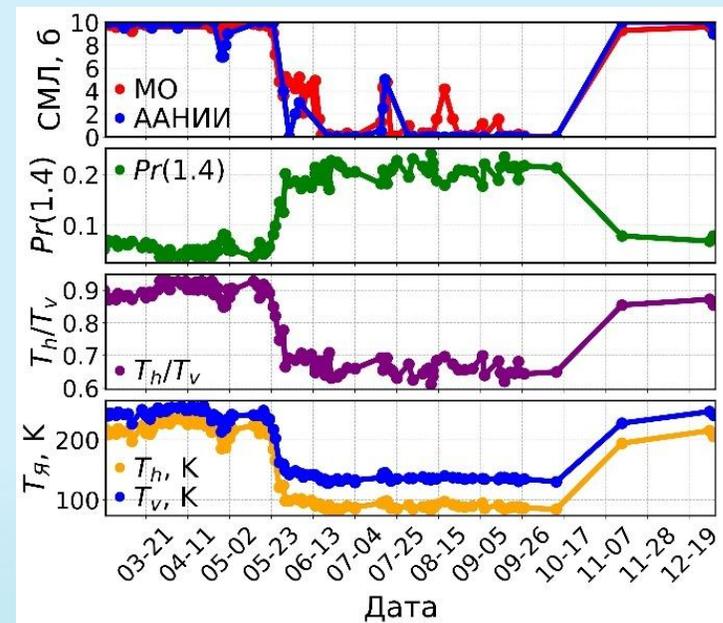
Машинное обучение

Модель	R ²	RMSE	MAPE
Linear Regression	0,9539	1,0112	0,6067
Ridge Regression	0,9517	1,0347	0,6176
Lasso Regression	0,9411	1,1431	0,7217
ElasticNet	0,9412	1,1419	0,7157
DecisionTreeRegressor	0,9214	1,3202	0,4879
RandomForestRegressor	0,9588	0,9561	0,4079
XGBoost	0,9669	0,8566	0,3558
KNeighborsRegressor	0,9627	0,9091	0,3601

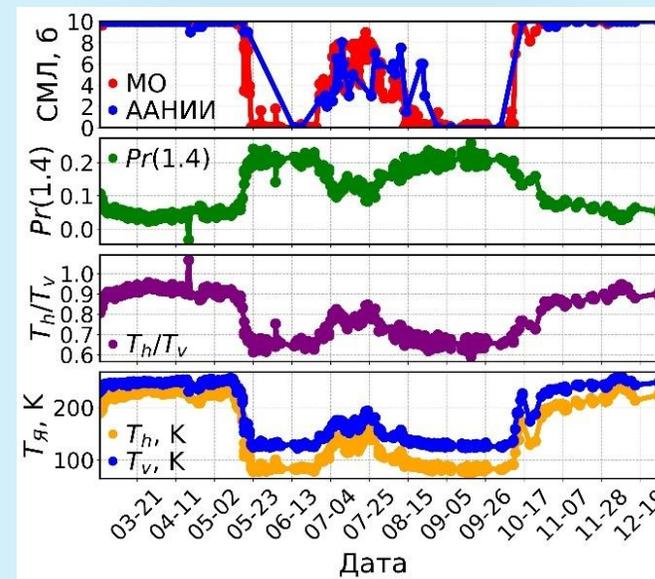
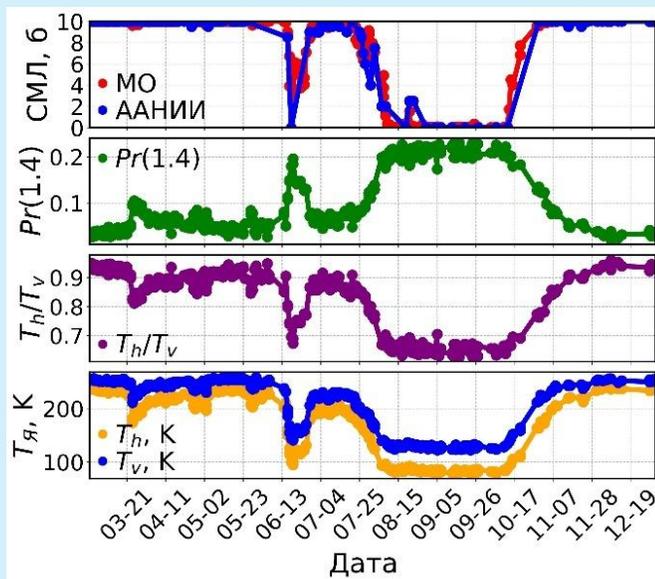
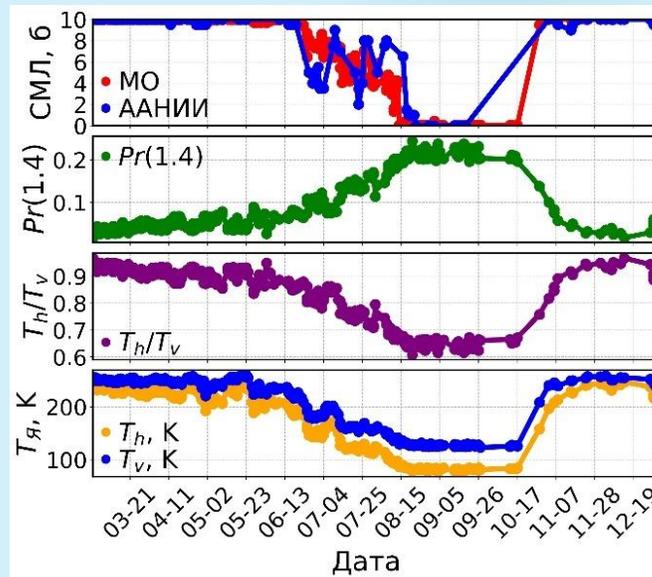
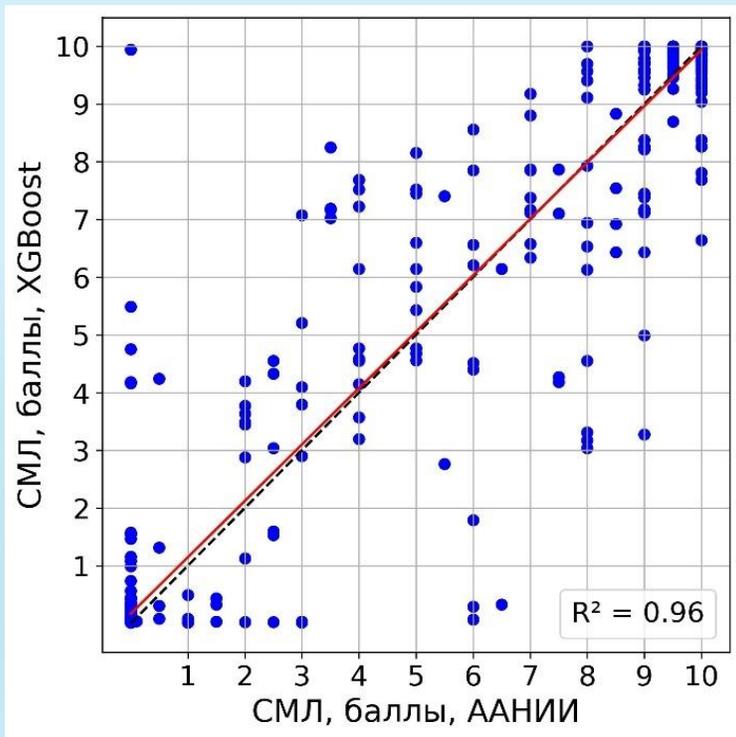


Результаты

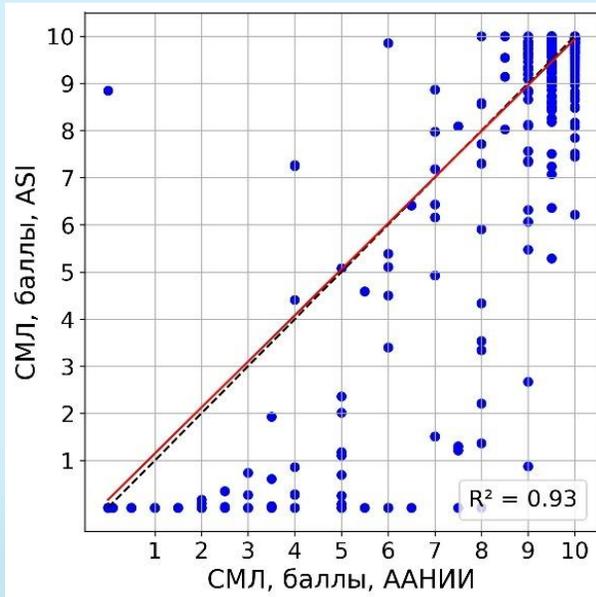
7



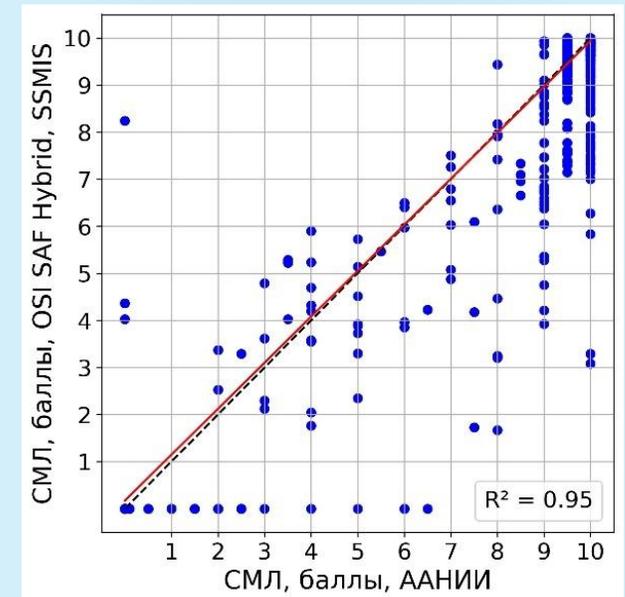
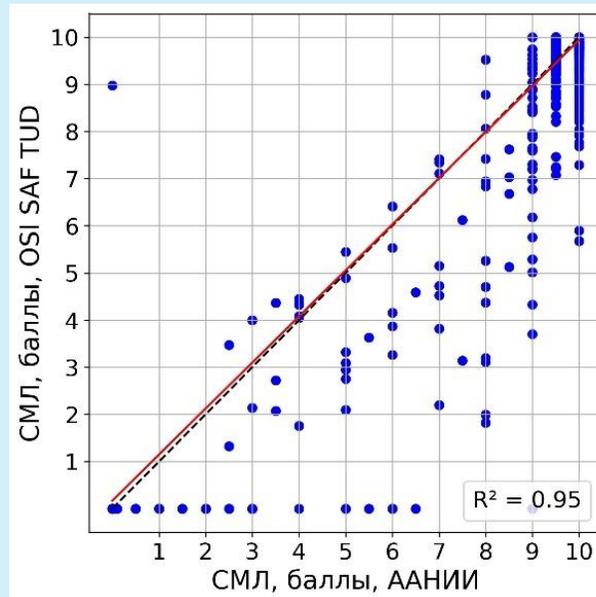
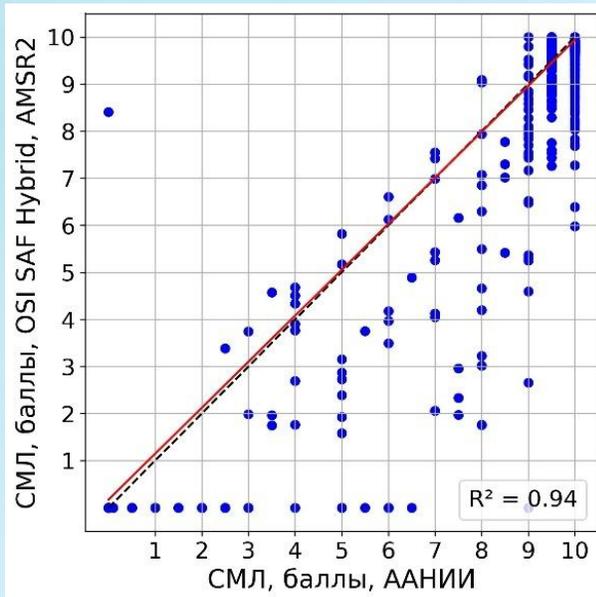
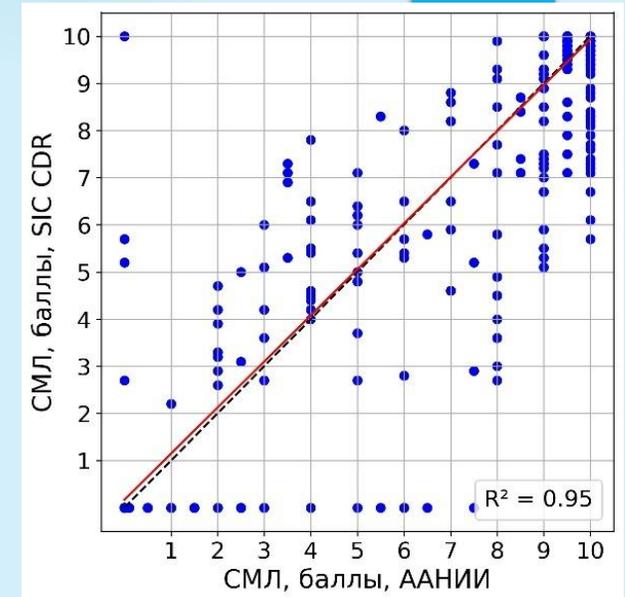
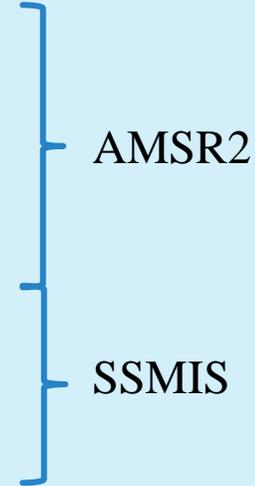
Результаты



Сплоченность льда по данным основных алгоритмов

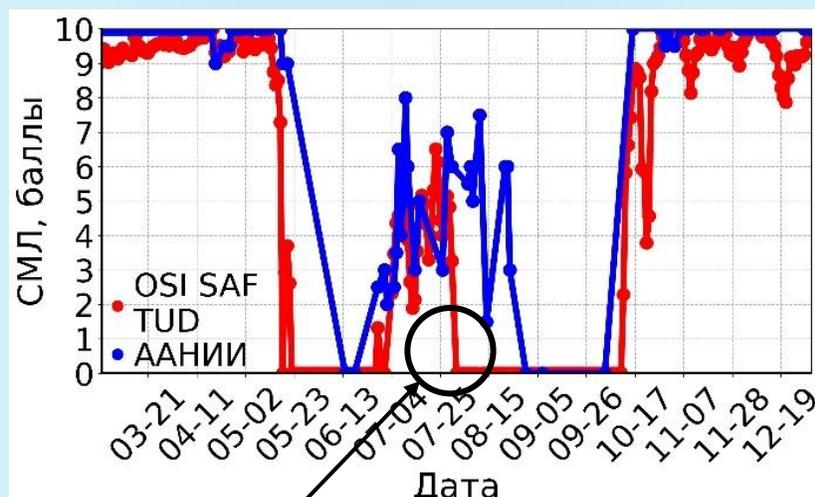
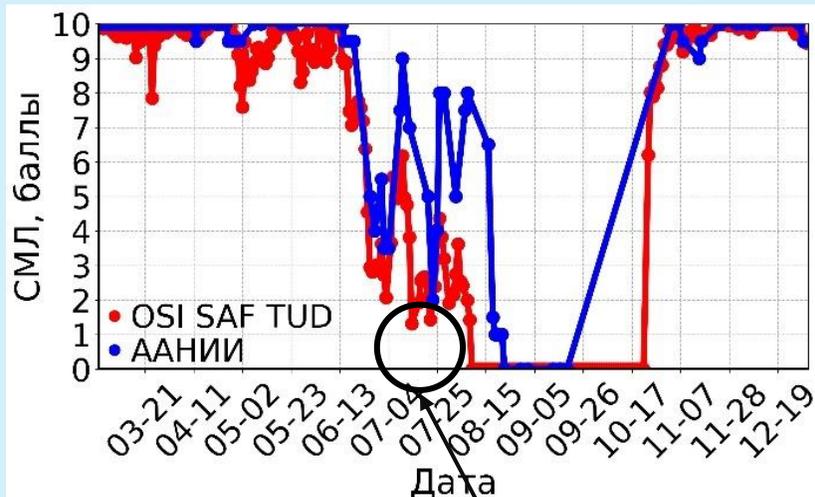
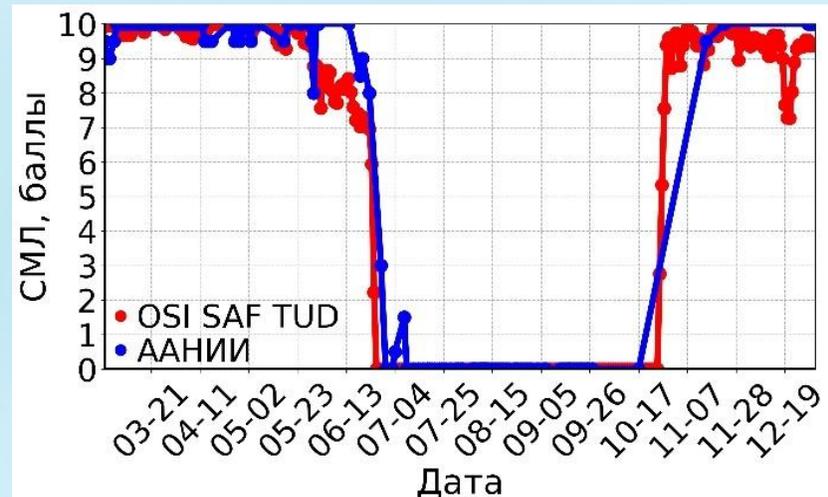
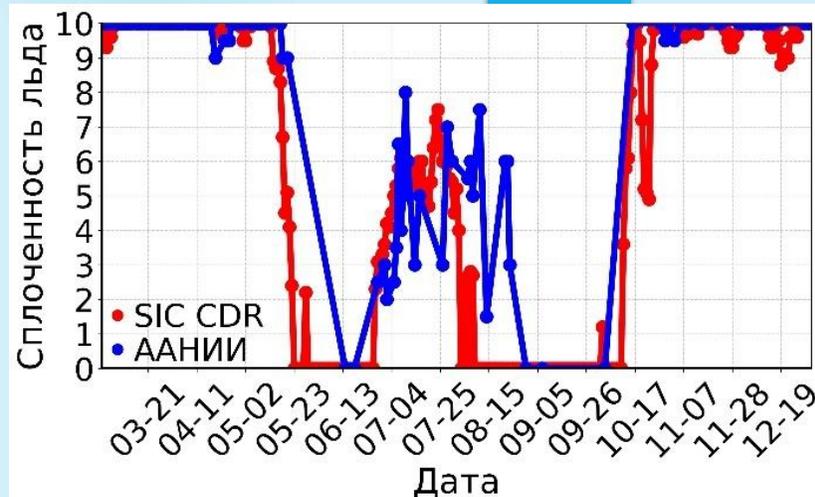
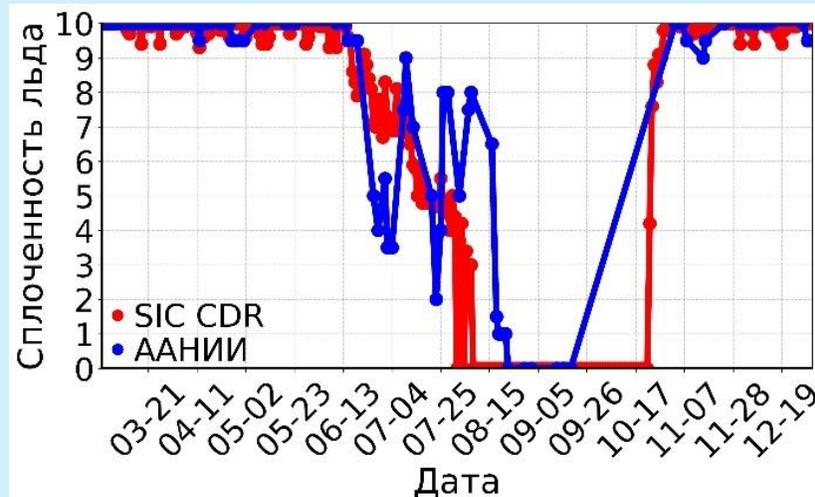
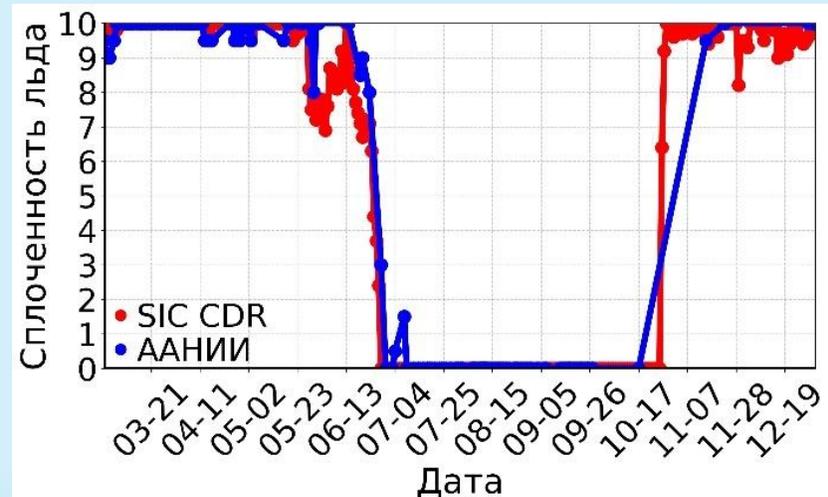


- ASI
- OSI SAF Hybrid, AMSR2
- OSI SAF TUD
- SIC CDR
- OSI SAF Hybrid, SSMIS



Ошибки выбранных алгоритмов

10



Основные ошибки алгоритмов:

- Занижение сплочённости льда в июле–августе
- Периодические ошибки с февраля по июнь

Причины (по метеоданным):

- Повышенная температура ($> 0\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Сильный северный ветер ($> 10\text{ м/с}$)
- Осадки\атмосфера (снег, замерзающий дождь, туман)

Разработка новой методики

Преимущества модели XGBoost (MIRAS):

- Устойчивость к атмосферным помехам
- Глубокое формирование излучения (1.4 ГГц)
- Надёжное определение мокрого/разрушенного льда

Условия применения модели XGBoost:

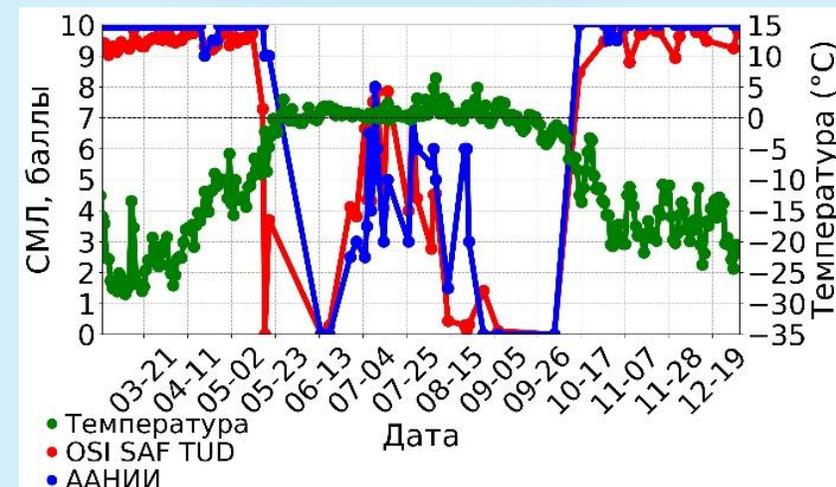
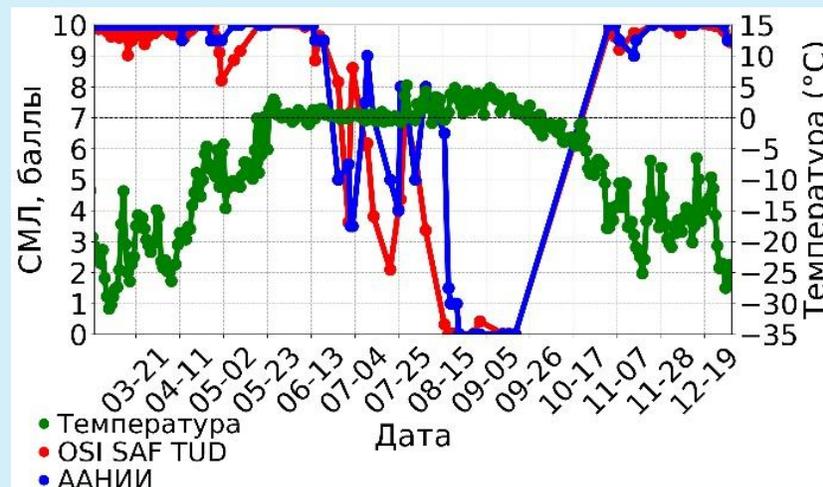
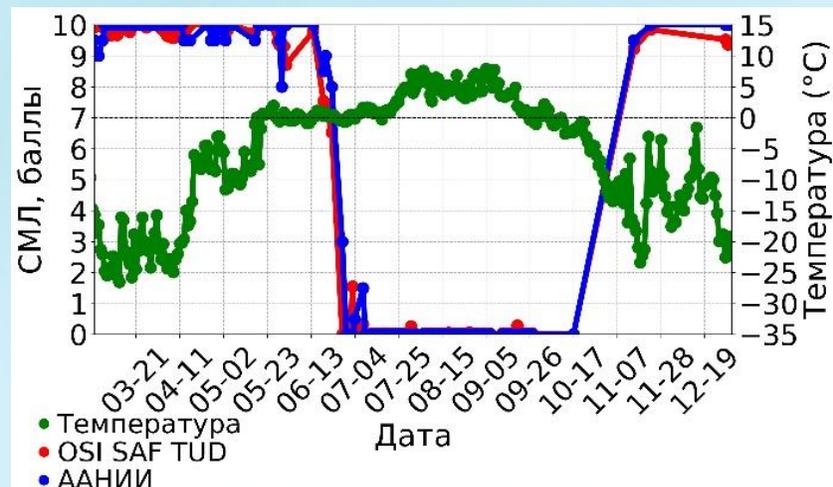
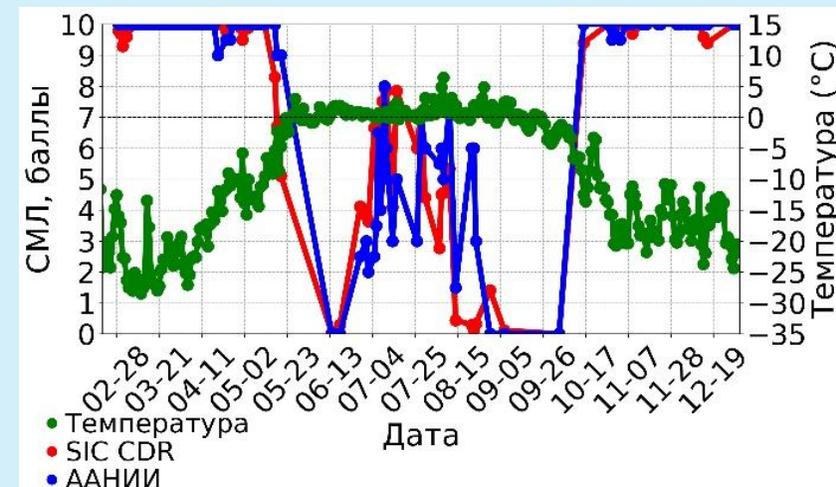
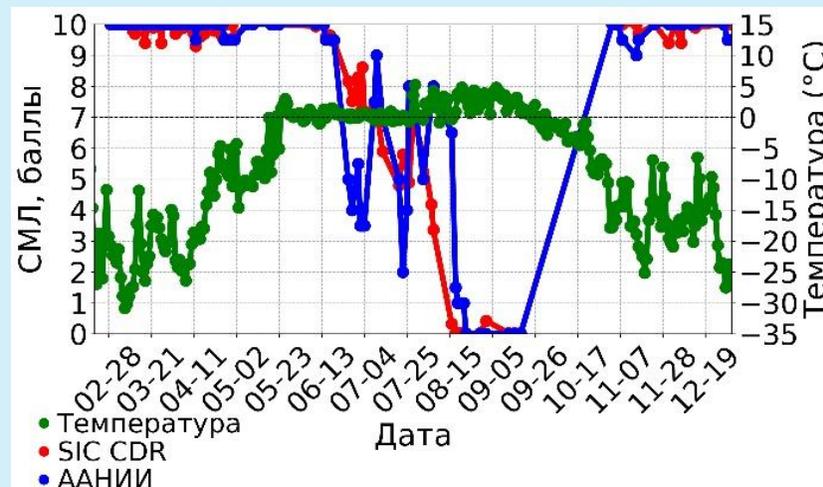
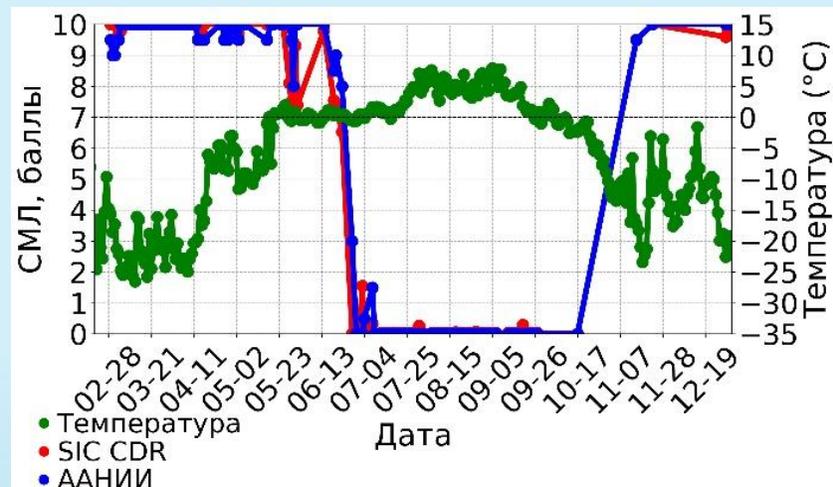
- Август–сентябрь — при температуре > -1.8 °C (температура замерзания морской воды)
- Остальное время — при температуре > 0 °C (температура таяния поверхности снега и льда)
- Ниже порога — использовать данные алгоритма

Ограничения:

- Низкое пространственное разрешение

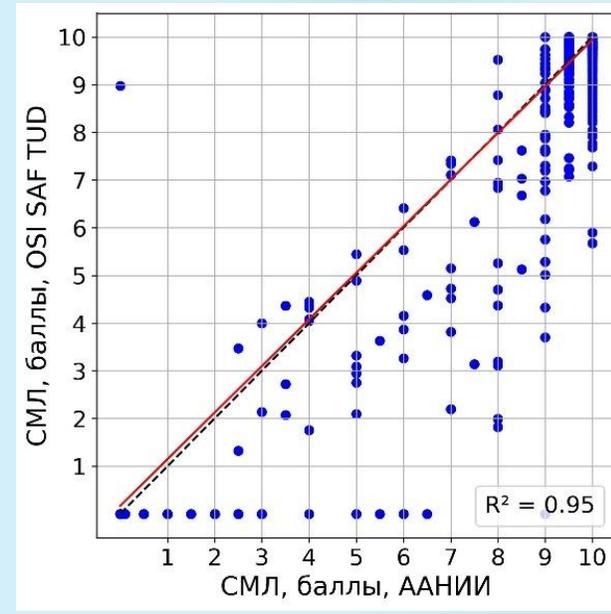
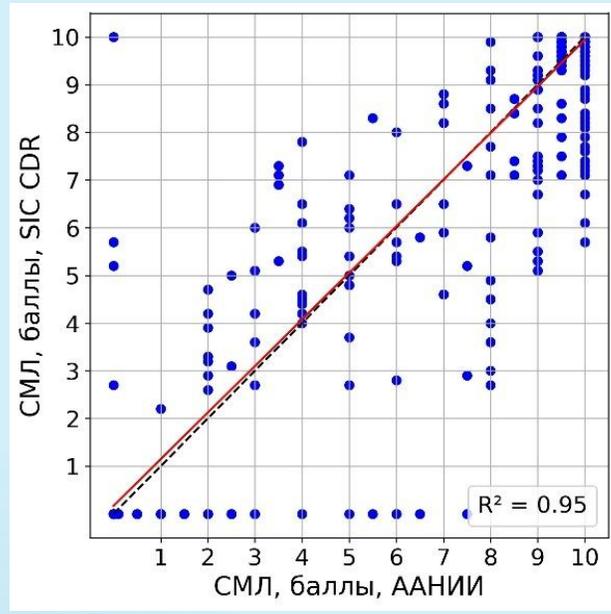
Применение разработанной методики к выбранным областям

12

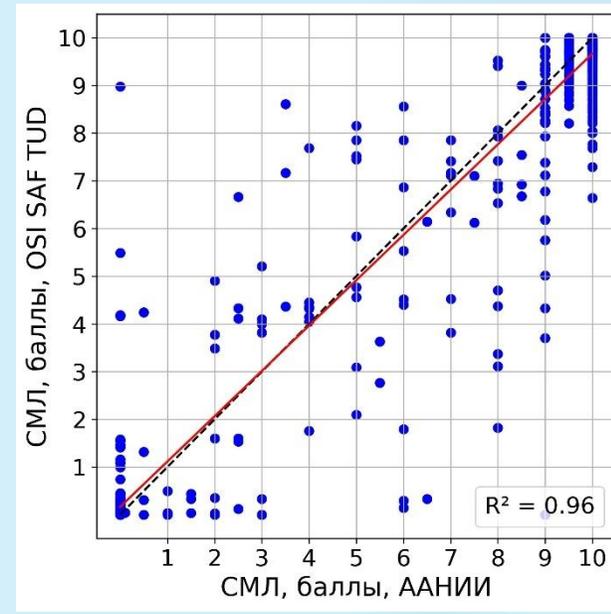
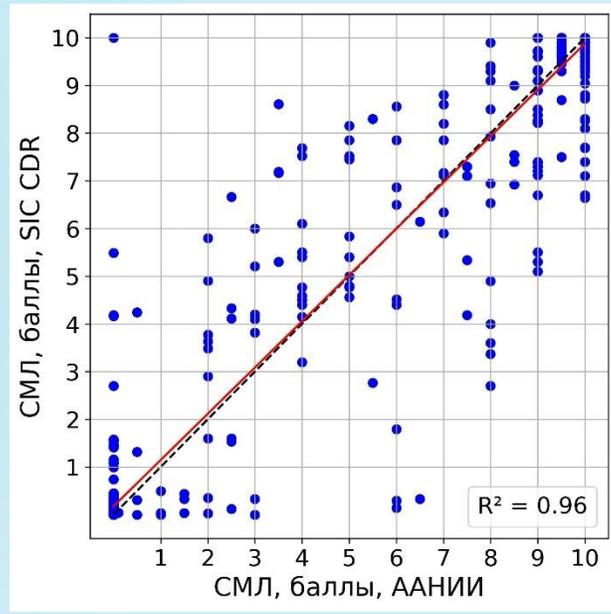


Применение разработанной методики к выбранным областям

Было



Стало



Заключение

- В процессе исследования удалось добиться увеличения точности определения сплоченности льда двумя выбранными алгоритмами, используя новый метод.
- Полученные результаты показывают перспективность дальнейших исследований комбинаций радиометров с низкими частотами (1,4 ГГц) и радиометров с высоким разрешением (AMSR2, SSMIS).
- В будущем необходимо рассмотреть другие временные промежутки и проверить эффективность нового метода на них.
- Для проверки регионального влияния на распределение сплоченности льда важно протестировать новый метод в других акваториях.

Спасибо за внимание