

Оценка точности алгоритма обнаружения опасных ледовых явлений с помощью спутниковых радиолокаторов

Захваткина Наталья Юрьевна^{1,2} (natalia.piotrovskaya@niersc.spb.ru)

Бычкова Ирина Анатольевна¹ (bychkova@aari.ru)

Смирнов Владимир Григорьевич¹ (vgs@aari.ru)

1) Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт (ААНИИ)

2) Научный фонд Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена (Фонд "Нансен-центр")



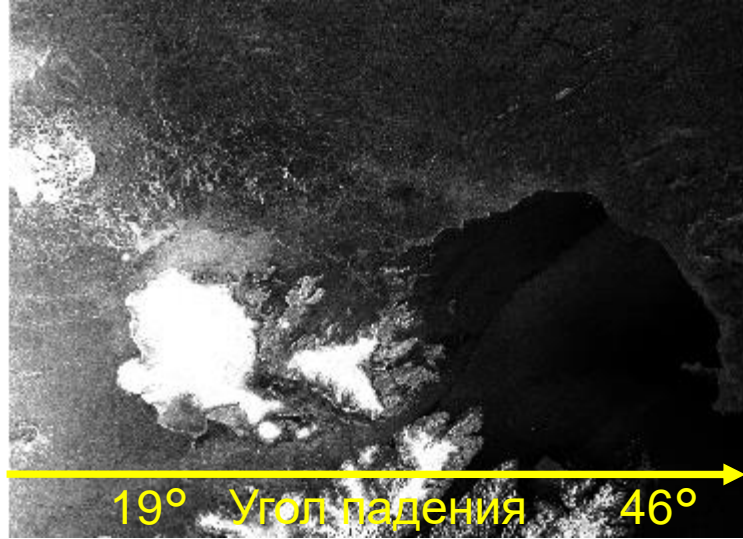
В настоящее время поставлена задача улучшить качество прогнозирования ледообразования на СМП и обнаружения опасных ледовых явлений, в том числе за счет использования алгоритмов машинного обучения по распознаванию деширированию ледяного покрова по радиолокационным снимкам с КА.

К **опасным ледовым явлениям**, которые можно обнаруживать с помощью РСА, относятся: раннее появление льда, вынос старых льдов на судоходные трассы, гряды торосов, сильное сжатие, "ледовые реки", сужение судоходного канала.

Предварительная обработка: SENTINEL-1

Угловая коррекция: компенсация влияния угла падения на значения интенсивности (яркости)

HH



Исходные данные

HV



Скорректированные данные



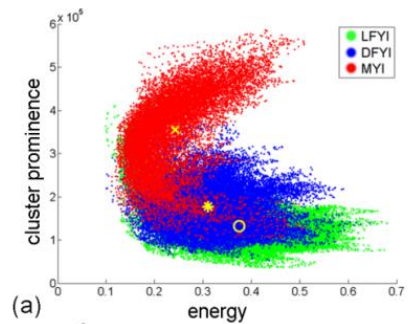
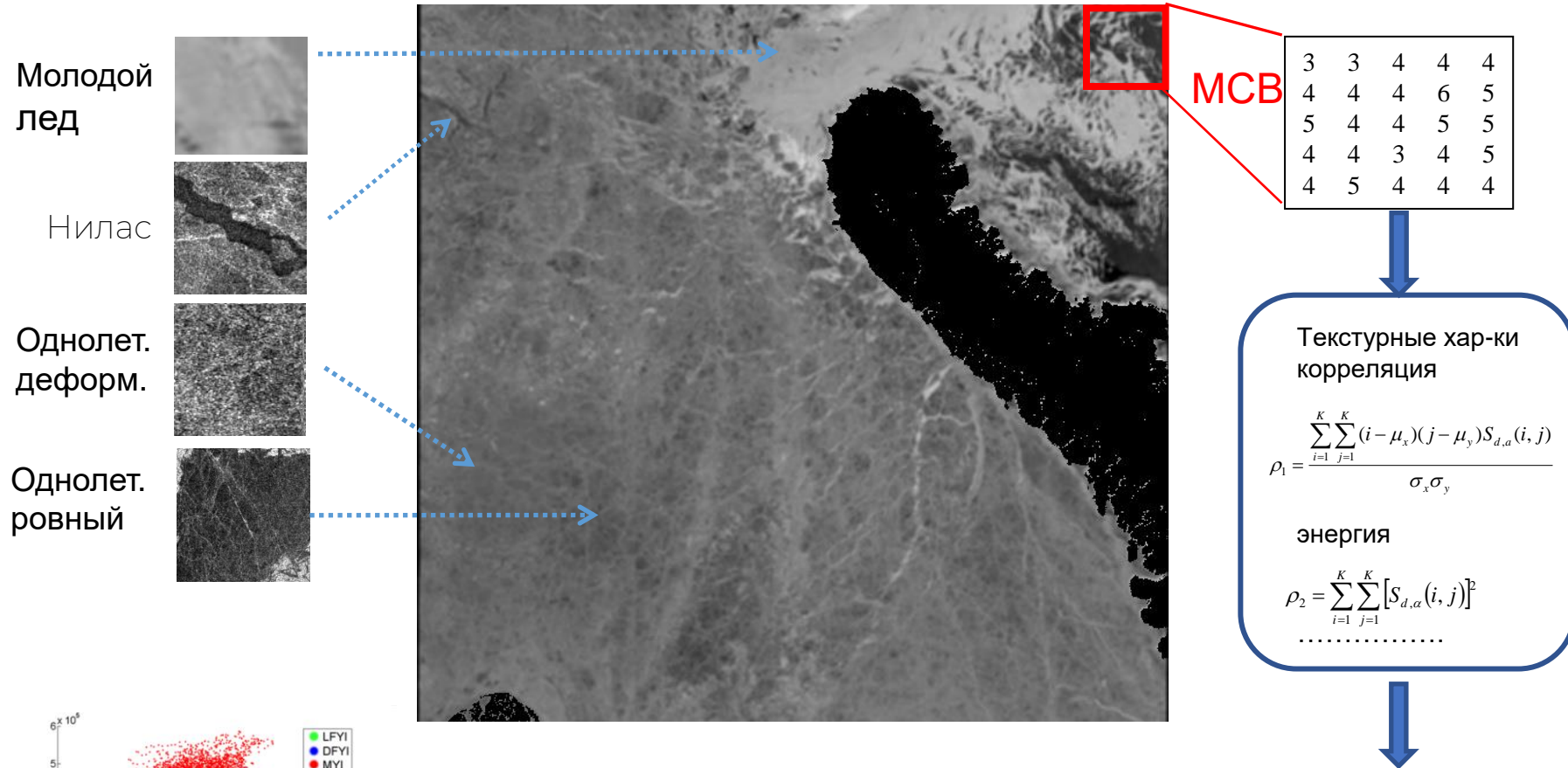
Sentinel-1B,
24/12/2019

Коррекция шума: удаление флуктуаций интенсивности (яркости) в направлении по азимуту и дальности

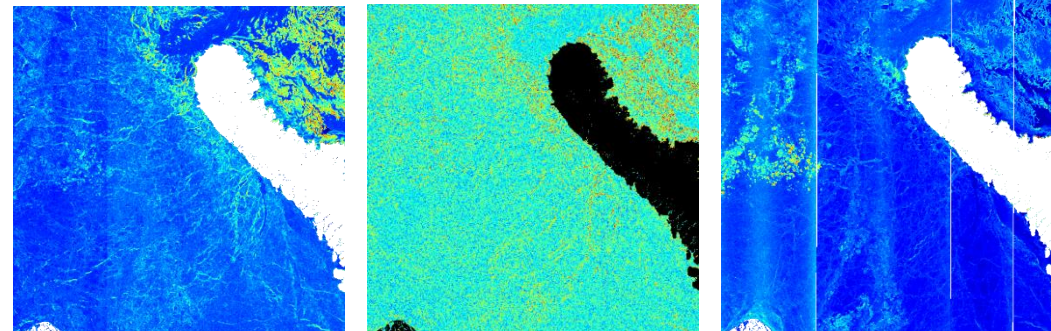


Текстурные характеристики

Матрица совместной встречаемости (МСВ)



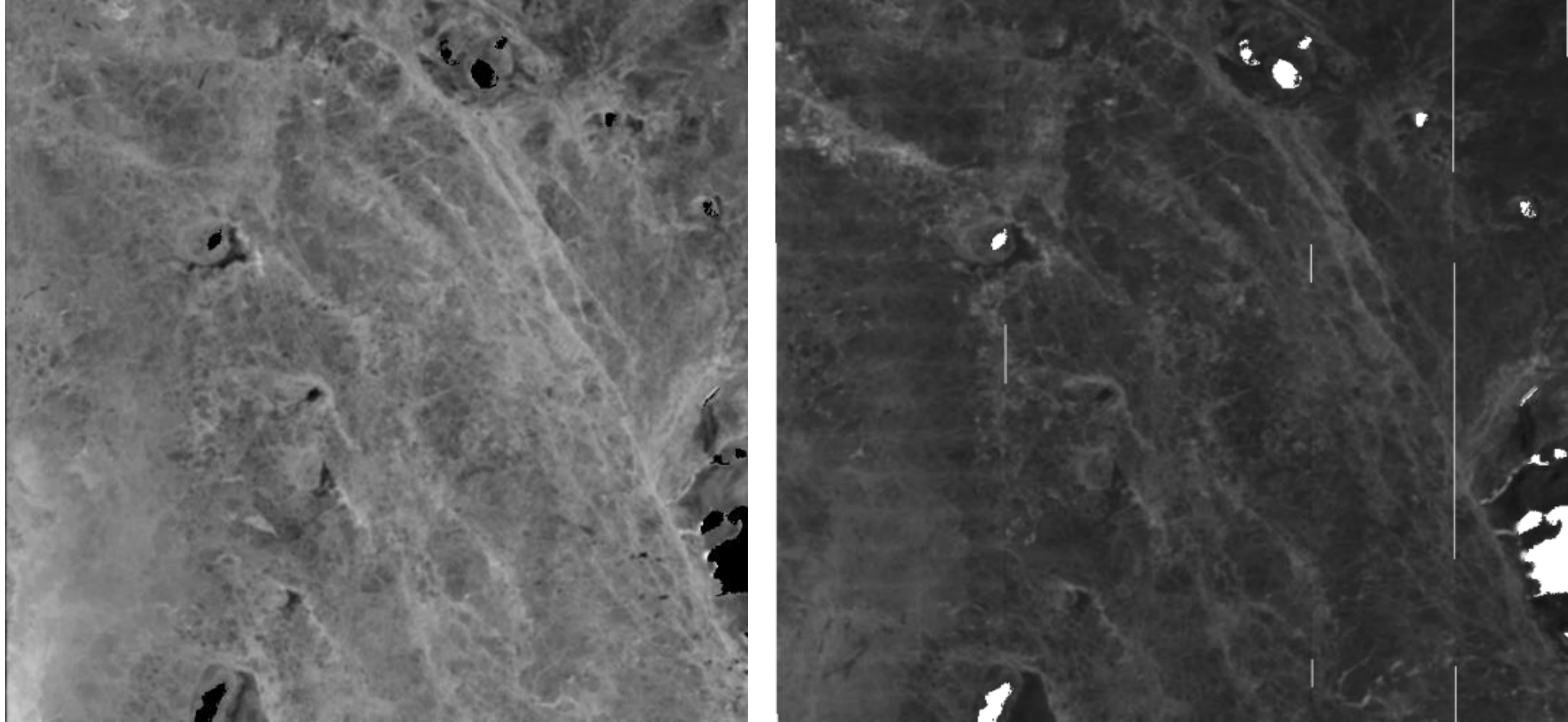
Совместное использование



Обнаружение торосов

В рамках разработанной методики по обнаружению торосов используется алгоритм обработки РСА-снимков Sentinel-1 для зимнего периода. Алгоритм обнаружения торосов состоит из трех частей:

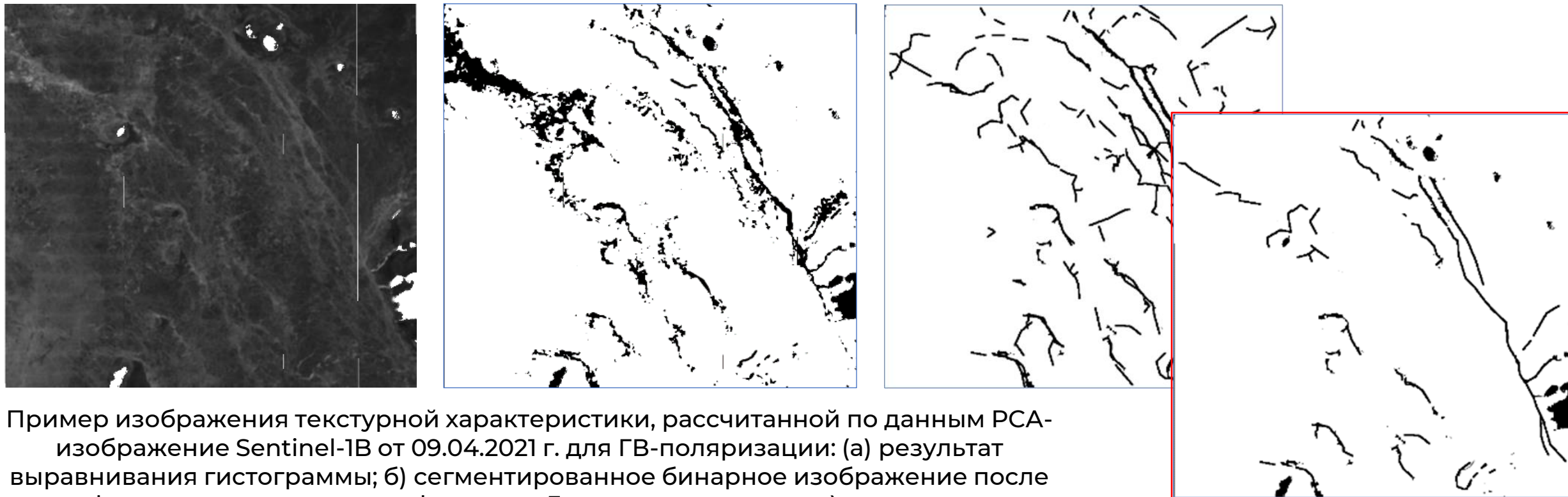
- (1) этап предварительной обработки,
- (2) расчет дополнительных параметров РСА-изображения – текстурных характеристик,
- (3) преобразование полученных данных (ТХ) в двоичную карту пикселей, которые маркируют торосистые образования с помощью различных этапов фильтрации (обнаружение краев - разностный фильтр Гаусса (Difference of Gaussians - DoG)),
- (4) процедура обнаружения и сегментации, которая разбивает сеть пикселей двоичной карты на минимально возможные сегменты,



Пример скорректированного РСА-изображения Sentinel-1A от 09.04.2021 г, ГГ-поляризация

Обнаружение всторошенного льда с помощью РСА определяется контрастом обратного рассеяния от окружающего недеформированного льда. Зоны повышенных значений УЭПР на радиолокационных снимках, как правило, очерчиваются как зоны повышенной торосистости

На этапе *фильтрации и обнаружение краев* видимость более слабых зон деформации усиливается за счет эквализации (выравнивания) гистограммы. Для обнаружения краев в алгоритме используется разностный фильтр Гаусса (Difference of Gaussians — DoG).



Пример изображения текстурной характеристики, рассчитанной по данным РСА-изображение Sentinel-1В от 09.04.2021 г. для ГВ-поляризации: (а) результат выравнивания гистограммы; б) сегментированное бинарное изображение после фильтрации разностным фильтром Гаусса при разных k ; в) результат морфологического прореживания

На этапе *обнаружения объектов* максимальные значения выделяются следующими двумя этапами обработки: 1) сегментированием для получения двоичного представления (0 если значение $f \leq 0$; 1 если значение > 0), 2) морфологическим прореживанием (morphological thinning). Морфологическое прореживание сокращает сегментированные элементы до центральных линий шириной в один пиксель, чтобы получить изображение с окончательным результатом обнаружения краев.

Торосы

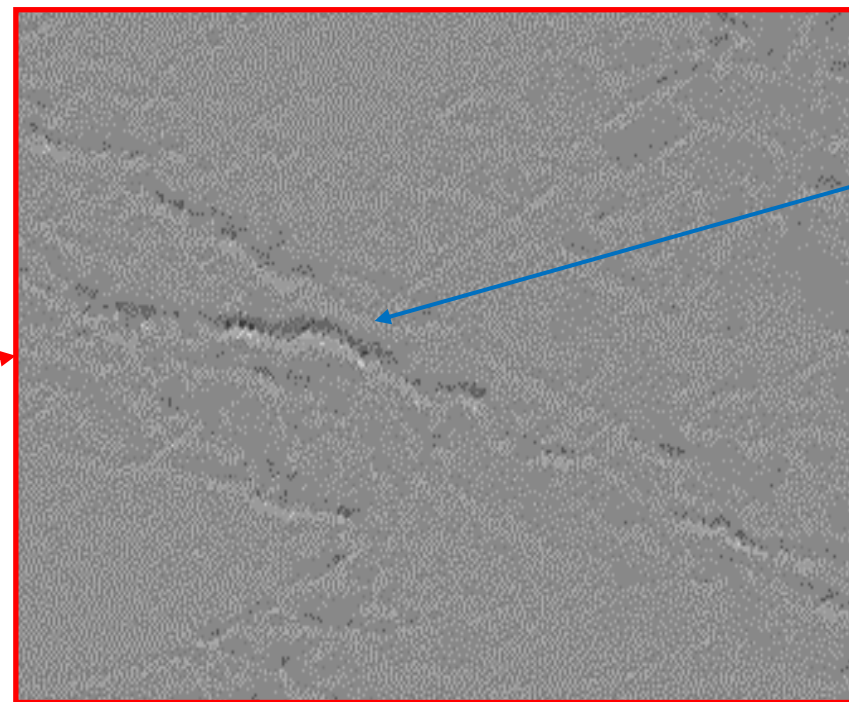
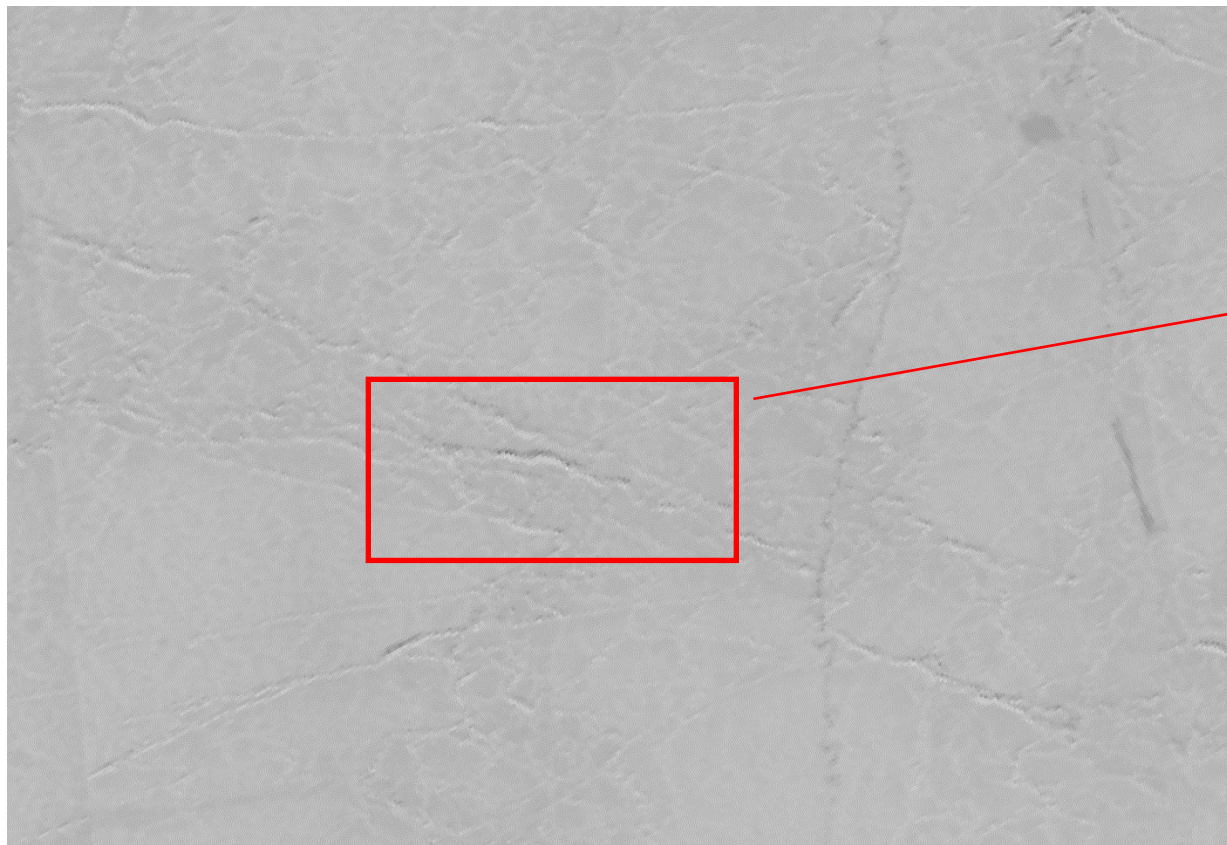
Landsat (15 м разрешение, панхроматический канал 8)

vs

Sentinel1 (40 м)



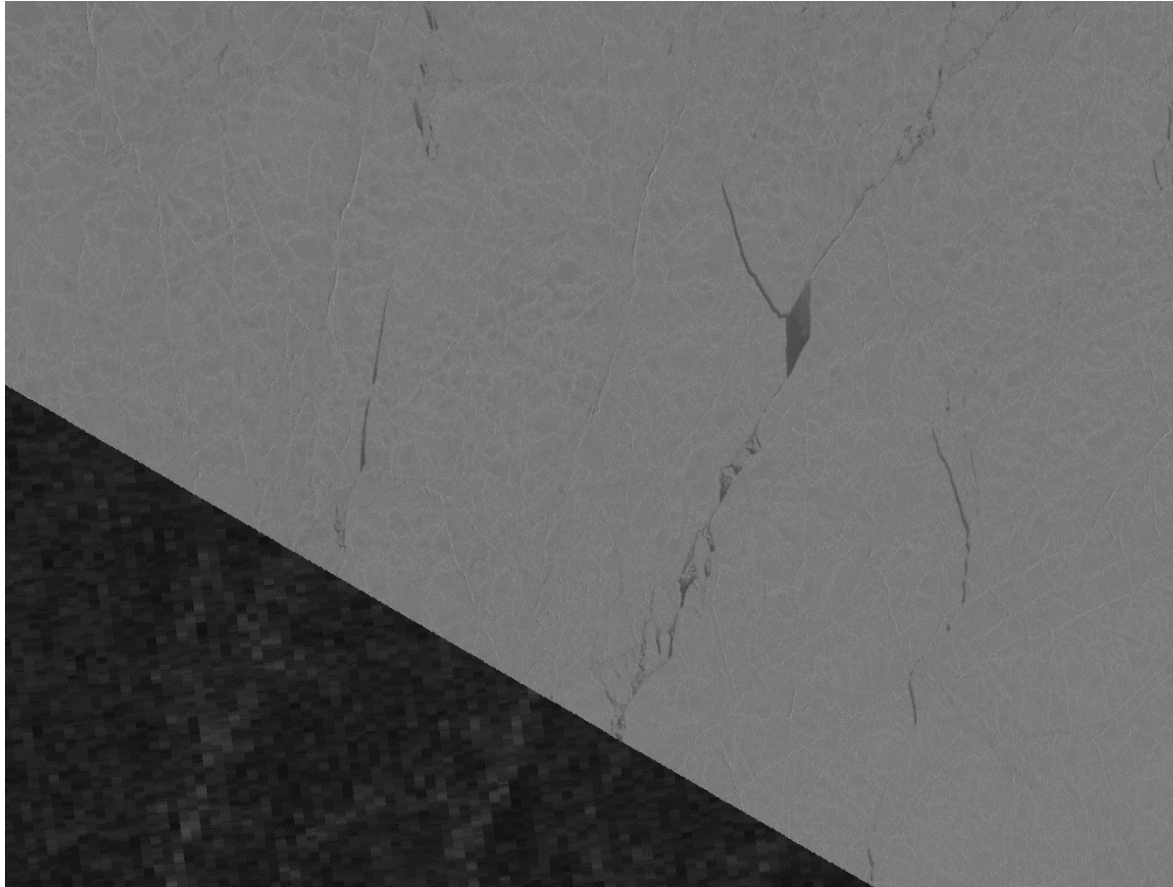
Торос по Landsat (15 м разрешение, панхроматический канал 8)



ТЕНЬ

LC08_L1TP_156005_20210407_20210415_02_T1_B8_part
Start Time: 2021-04-07 06:06:12.264503 UTC

Торос по Landsat (15 м разрешение, панхроматический канал 8) vs Sentinel1 (40 м)

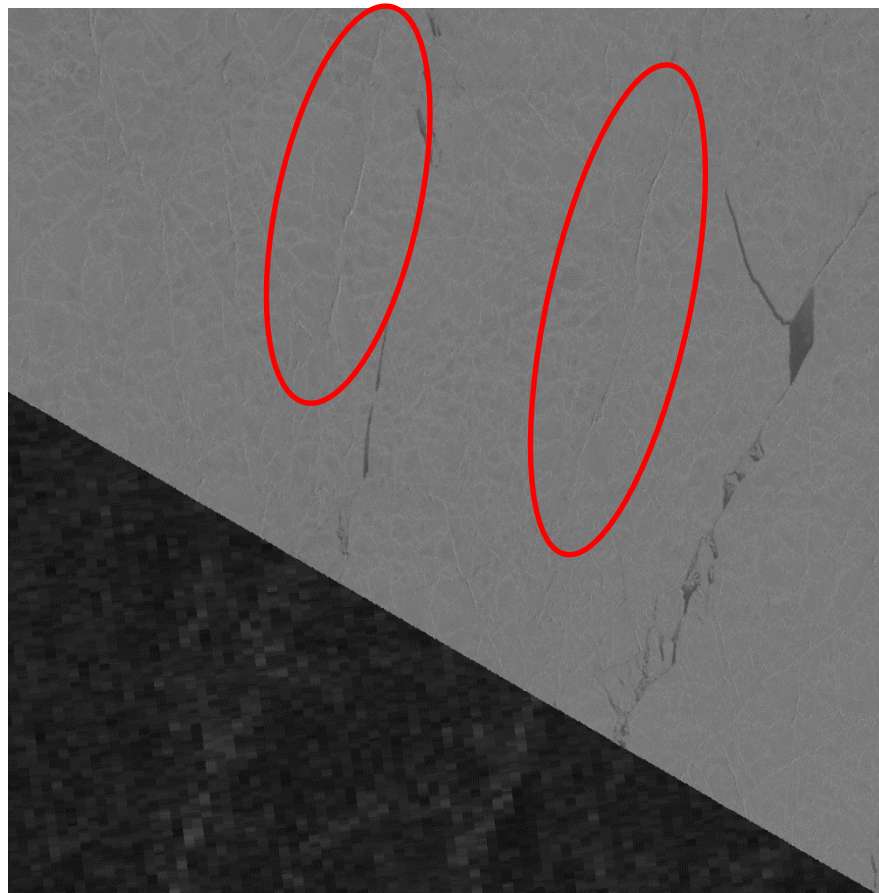


Start Time: 2021-04-07 06:06:12.264503 UTC

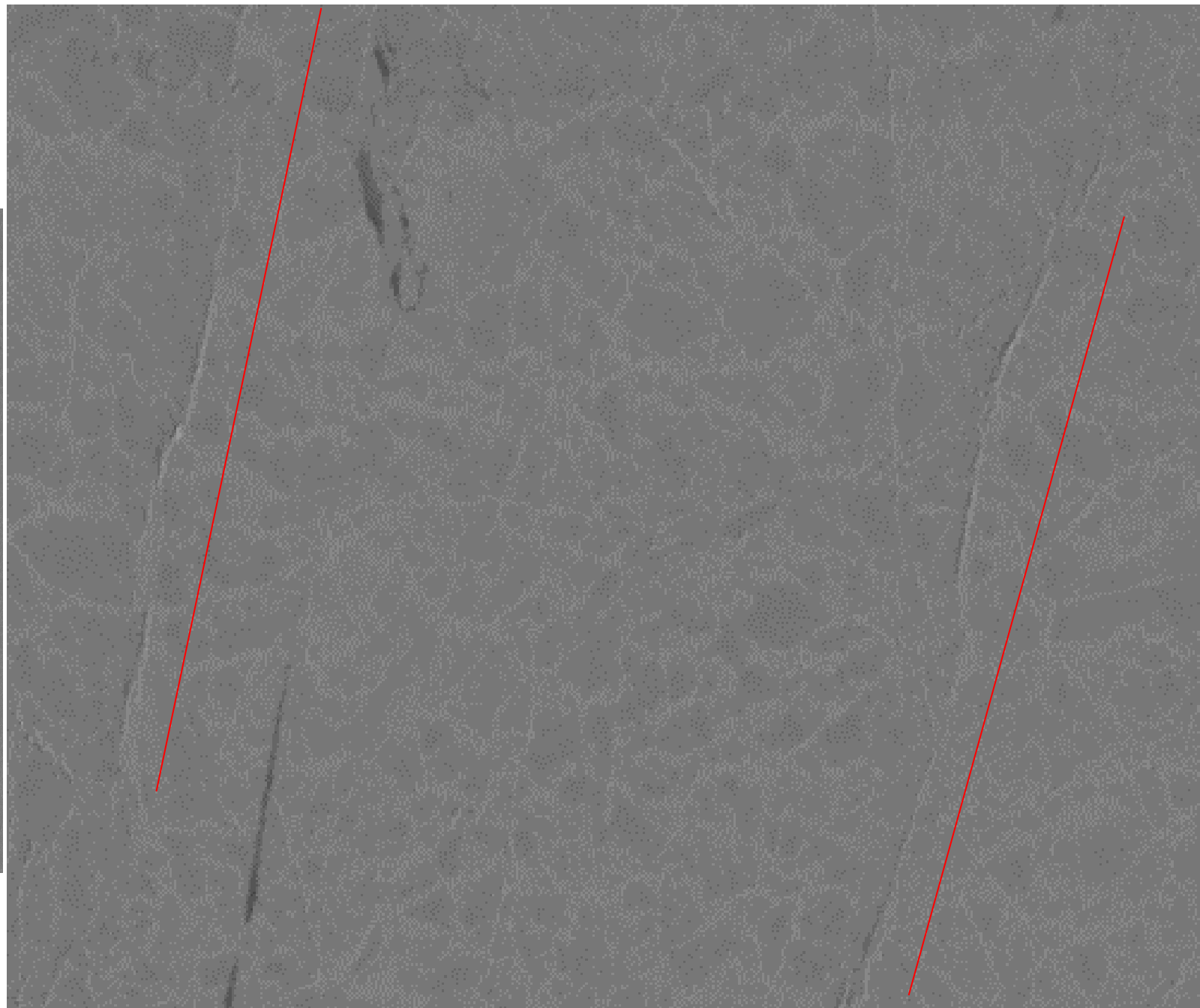


Start Time: 2021-04-07 00:22:13 UTC

Торос по Landsat (15 м разрешение)



Start Time: 2021-04-07
06:06:12.264503 UTC

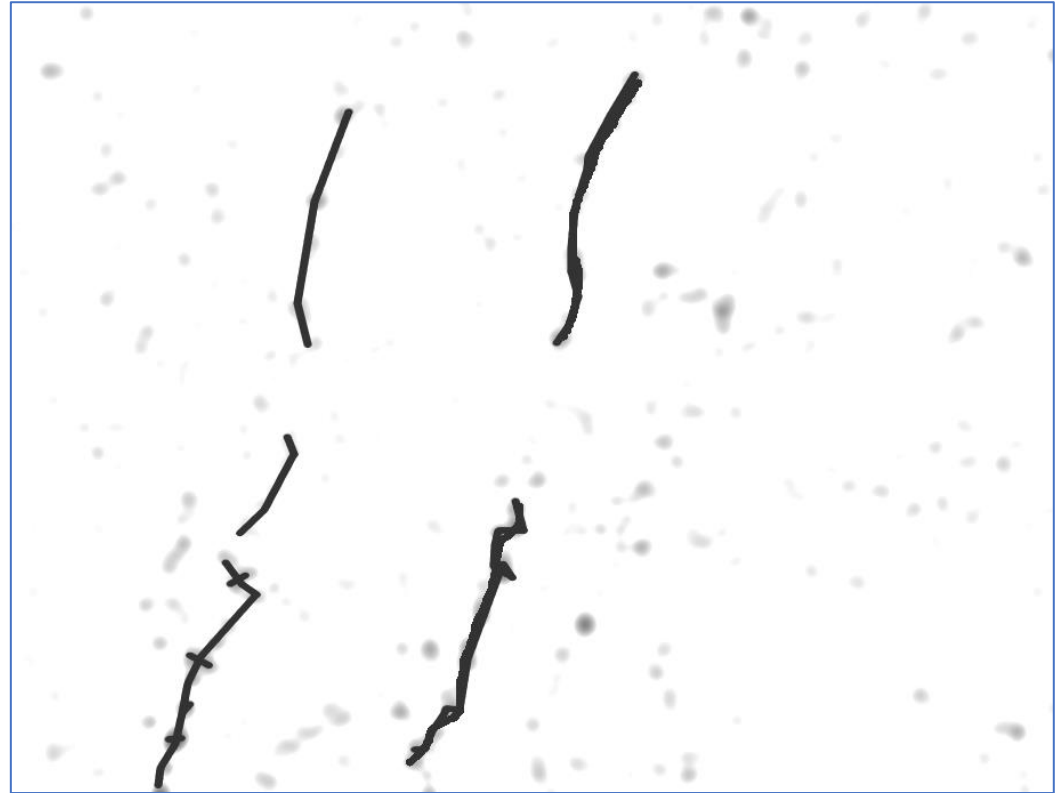


Торос по Sentinel1 (40 m)



Start Time: 2021-04-07 00:22:13 UTC

Обнаружение торосов

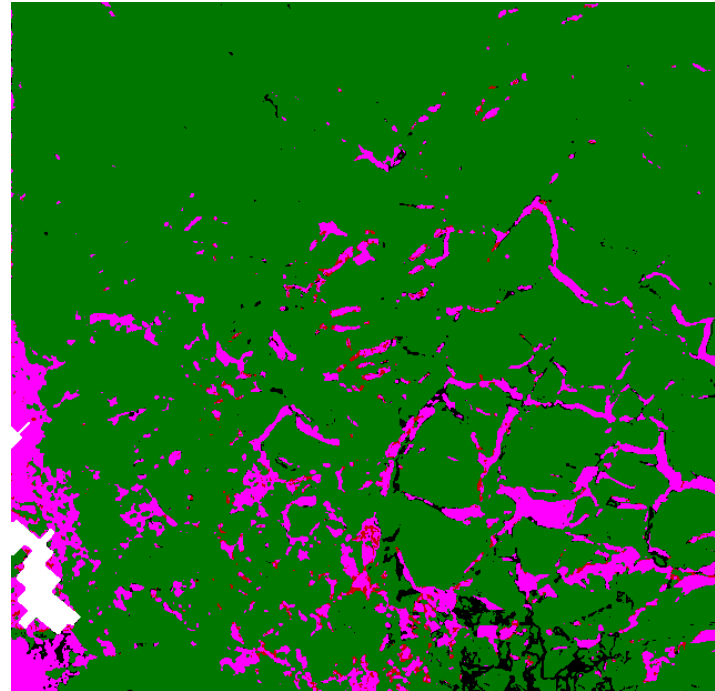
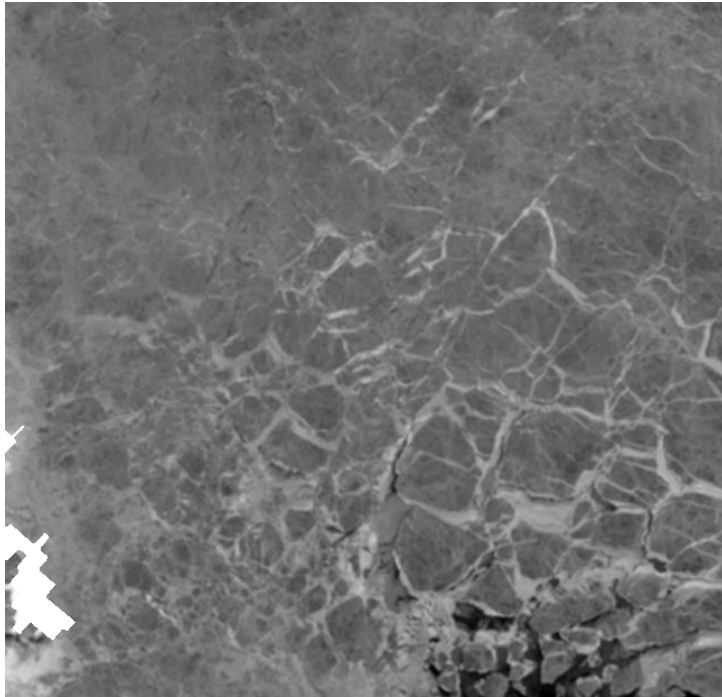


Алгоритм

разработка методики автоматизированной обработки радиолокационных данных локаторов с синтезированной апертурой (РСА) ИСЗ Sentinel-1 для выделения границы старого льда в Арктике, границы лед-вода.



Результат НС классификации



Старый лед



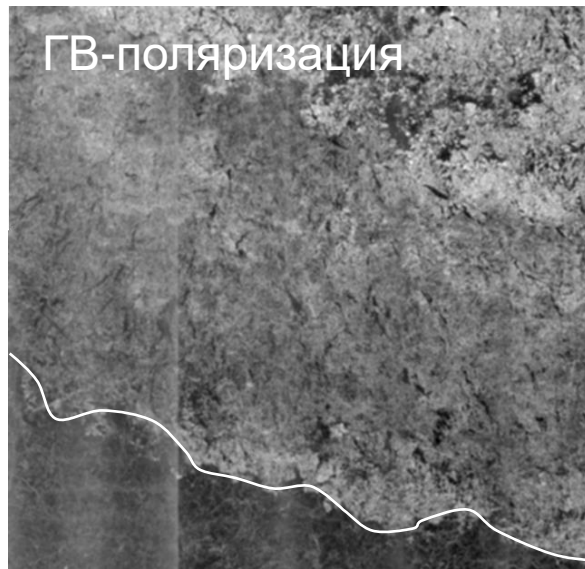
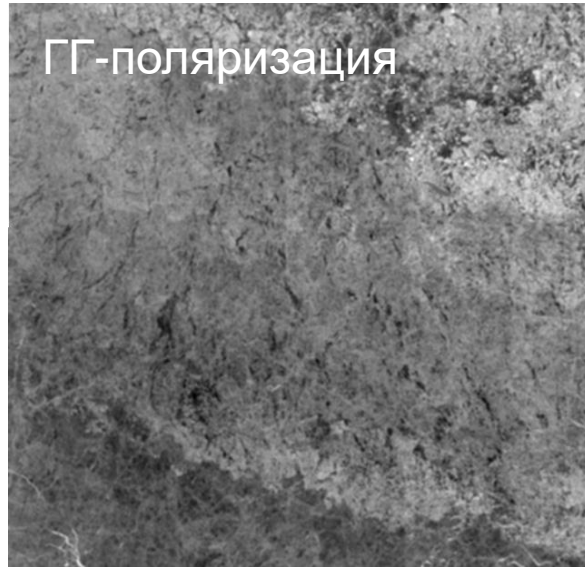
Молодой лед



Не
классифициро
ванные пиксели

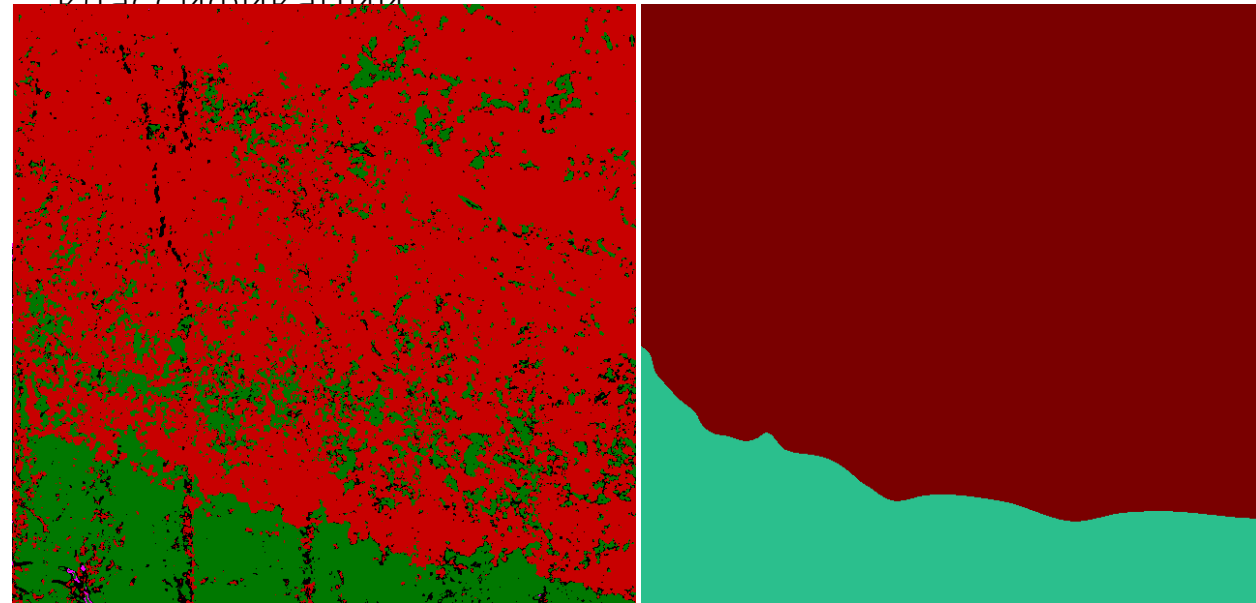
Изображение района Карского моря, полученное со спутника Sentinel-1 (15.04.2018) в режиме двойной поляризации с шириной полосы ~500 км в: а) НН-поляризация, и б) результат классификации.

Валидация ледовые карты АНИИ в формате SIGRID3



Результат
классификации

АНИИ, 17.04.2018

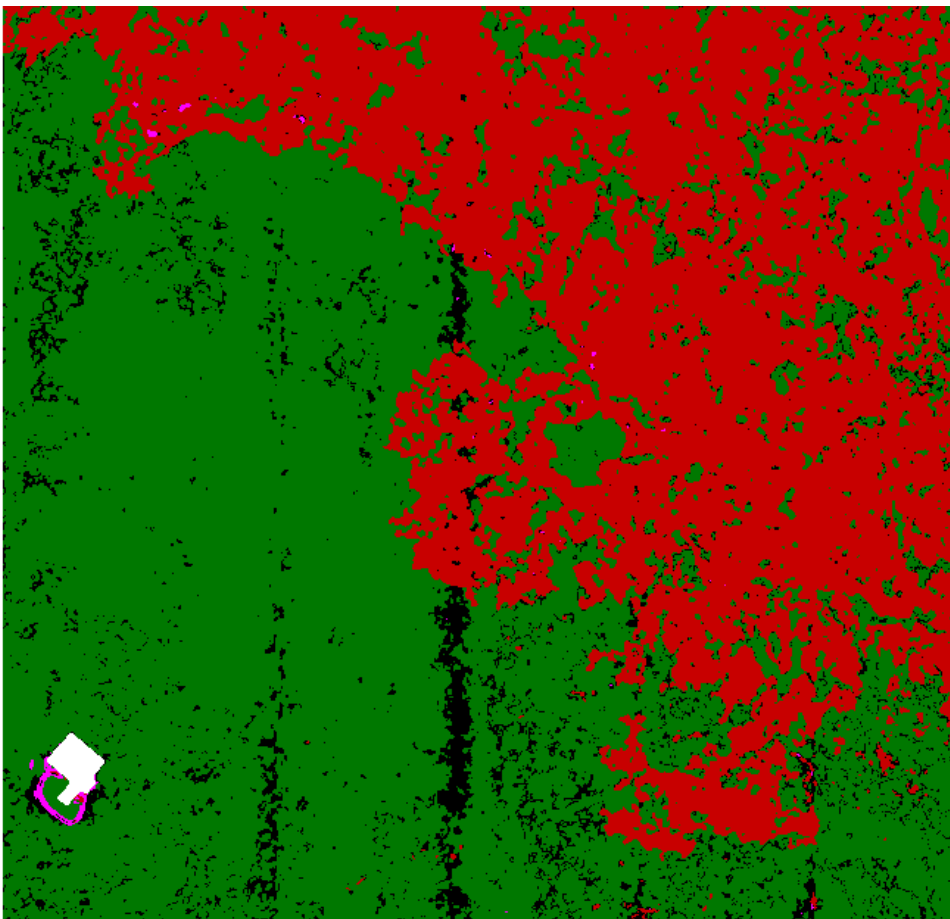


- Однолетний лед
- Старый лед
- Неклассиф пиксели

- Старый лед
- Однолетний лед

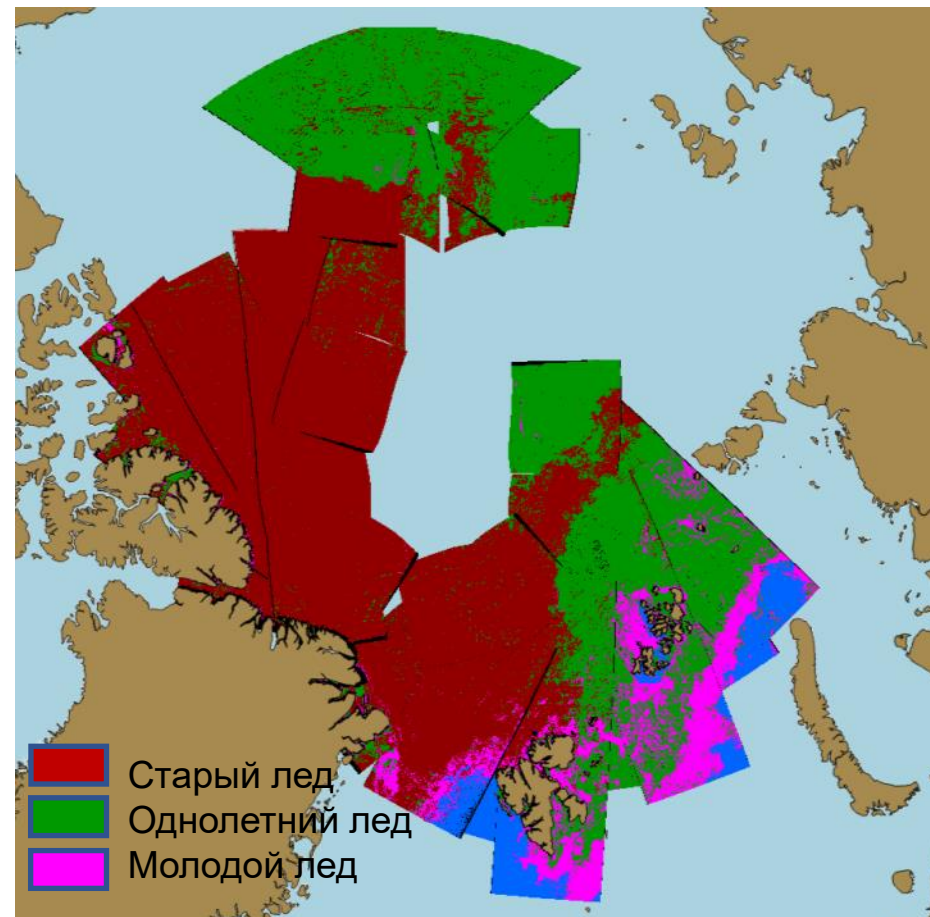
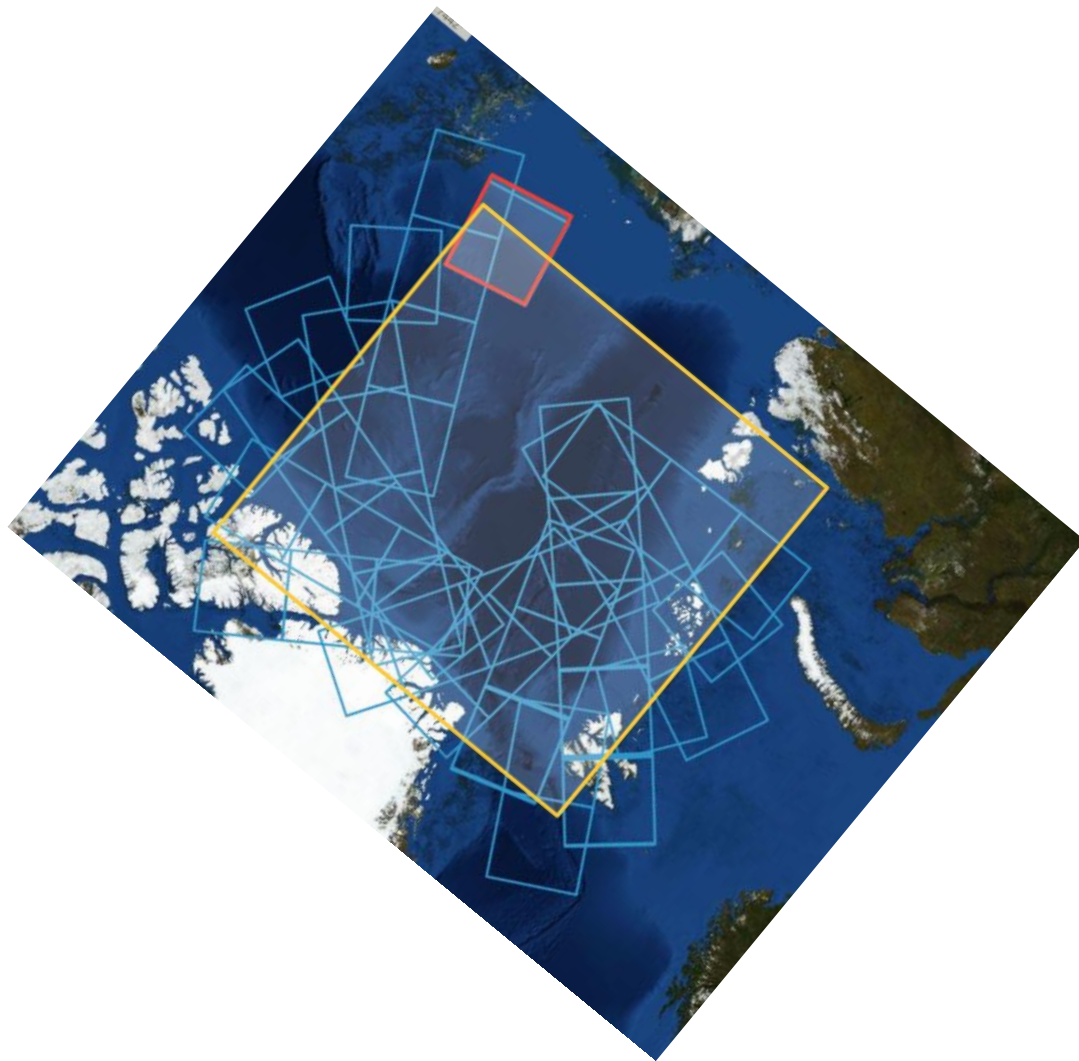
Изображение района Карского моря, полученное со спутника Sentinel-1 (15.04.2018) в режиме двойной поляризации с шириной полосы ~500 км в: а) HH-поляризация, и б) результат классификации.

Валидация ледовые карты ААНИИ, НЛЦ США



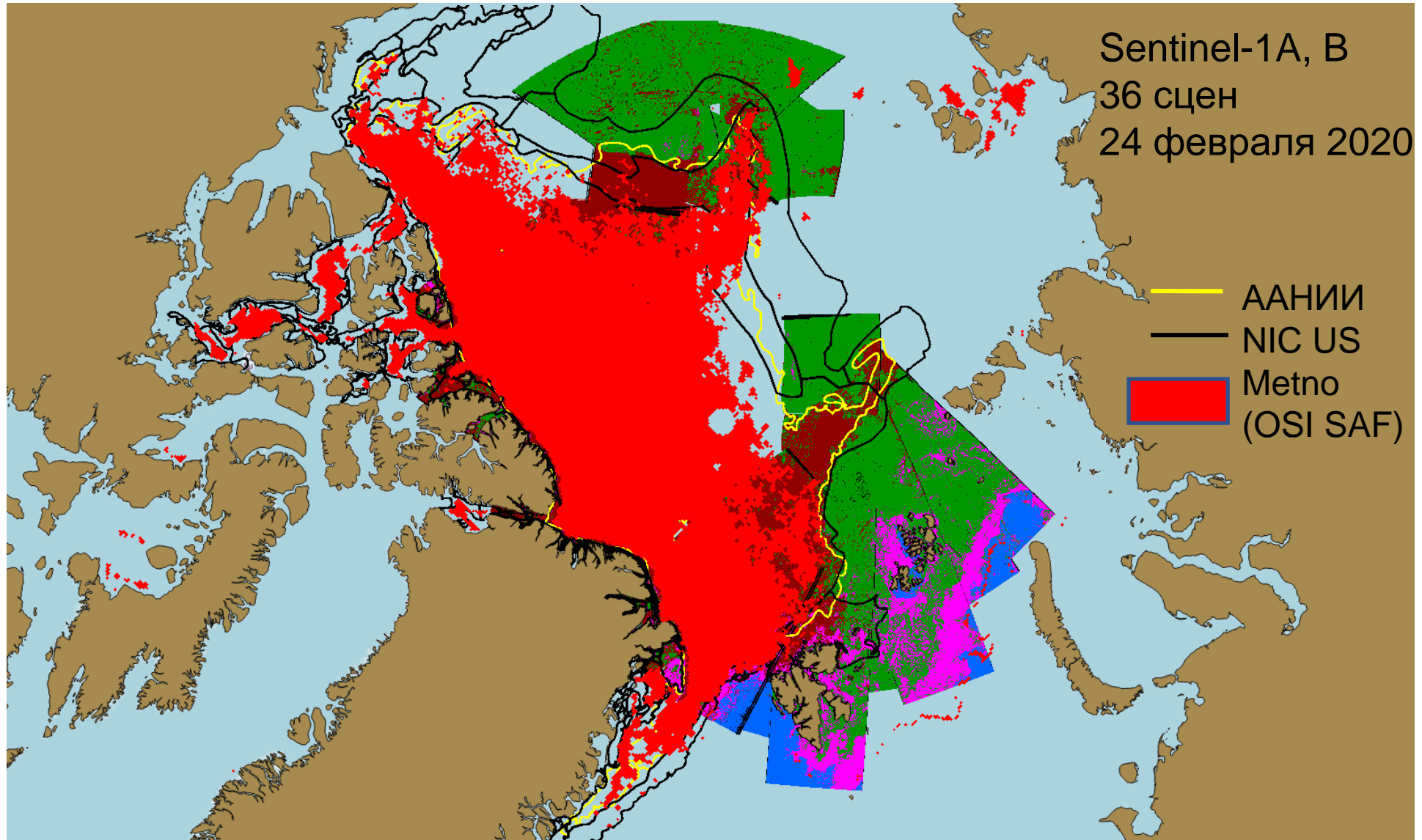
Изображение района Карского моря, полученное со спутника Sentinel-1 (12.02.2019) в режиме двойной поляризации с шириной полосы ~500 км в: а) результат классификации, б) ледовая карта национального ледового центра США (NIC US), и в) ледовая карта ААНИИ.

Кромка старых льдов



Мозаика, собранная из результата НС классификации 36 изображений, полученных со спутника Sentinel-1 (24.02.2020) в режиме двойной поляризации с шириной полосы ~500 км.

Кромка старых льдов по разным данным



Матрица ошибок для снимков,
использованных для обучения: визуальная
оценка (зоны, выделенные для обучения)
(ось y), результат классификации НС (ось x)

| | Старый лед | однолетний |
|------------|---------------|------------|
| старый | 0.97 | 0,033 |
| однолетний | 0,06 | 0,891 |
| точность | 0,916 | |

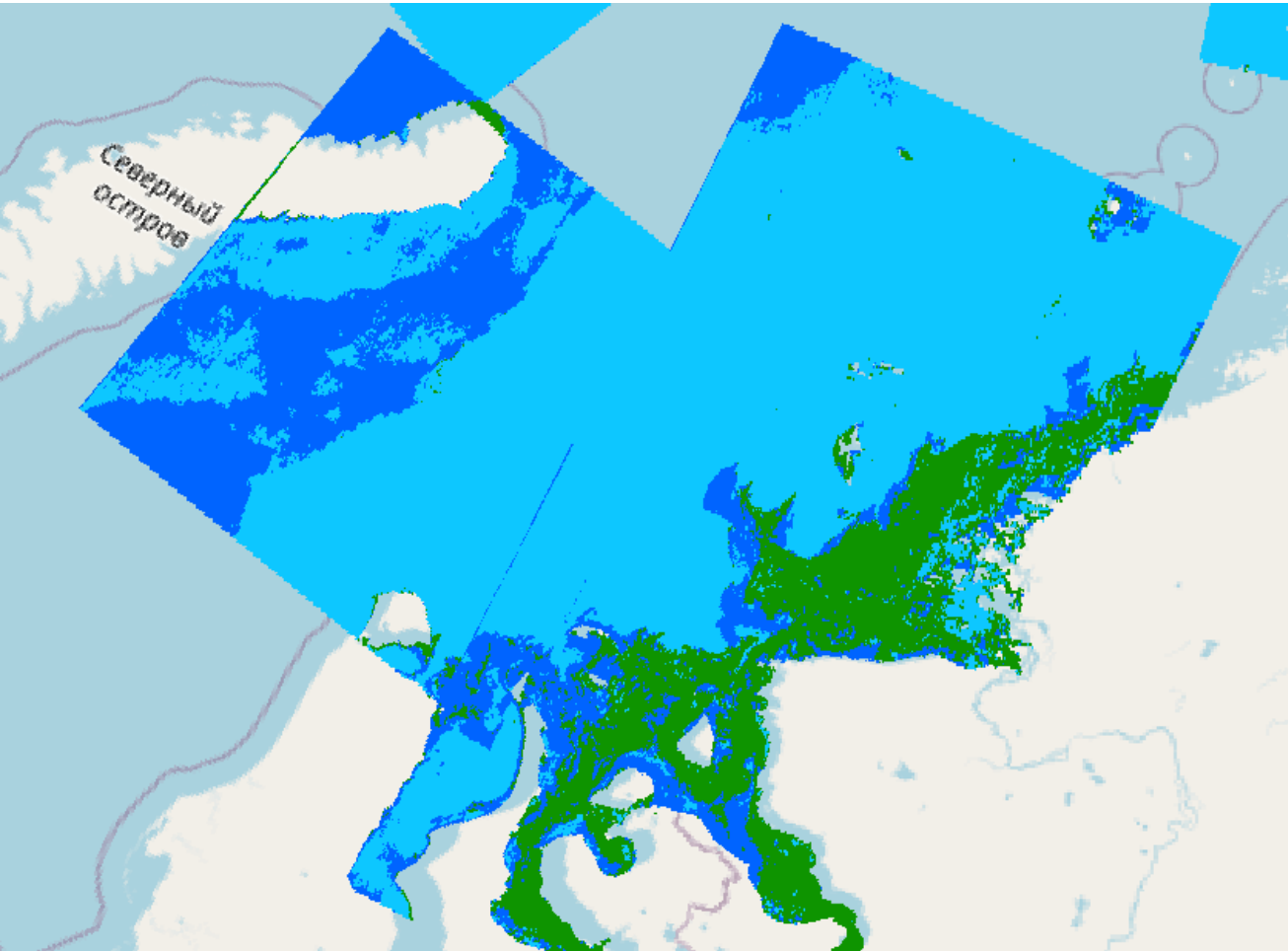
Матрица ошибок: карта MetNo (ось x) vs
результат классификации НС (ось y) (~
100 снимков)

| | Старый лед | однолетний |
|------------|---------------|------------|
| старый | 0.595 | 0,41 |
| однолетний | 0,308 | 0,69 |
| точность | 0,572 | |

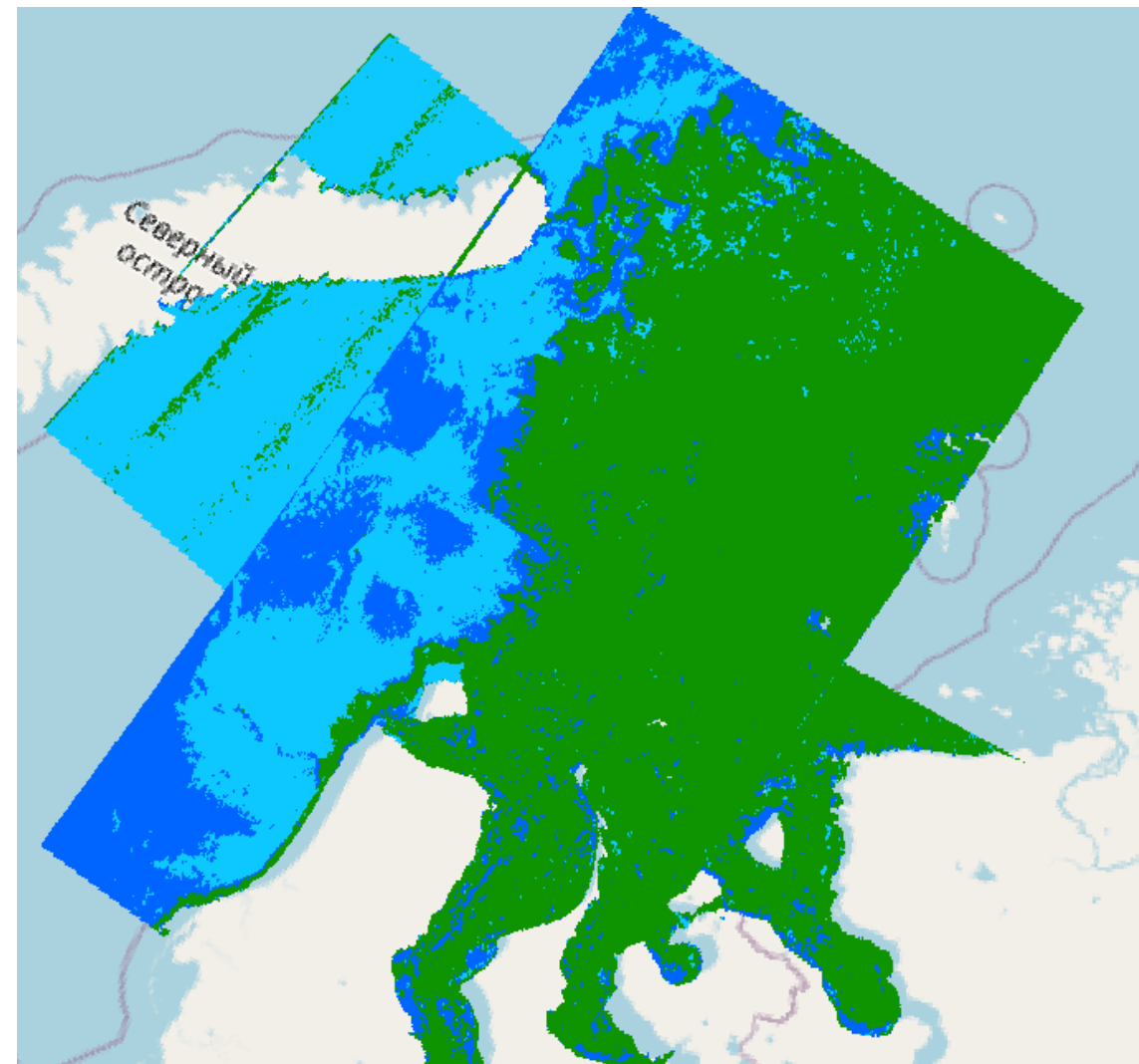
Матрица ошибок: карта ААНИИ (ось x) vs результат
классификации НС (ось y) (~ 100 снимков)

| | Старый лед | однолетний |
|------------|---------------|------------|
| старый | 0.907 | 0,093 |
| однолетний | 0,245 | 0,755 |
| точность | 0,854 | |

Раннее появление льдов

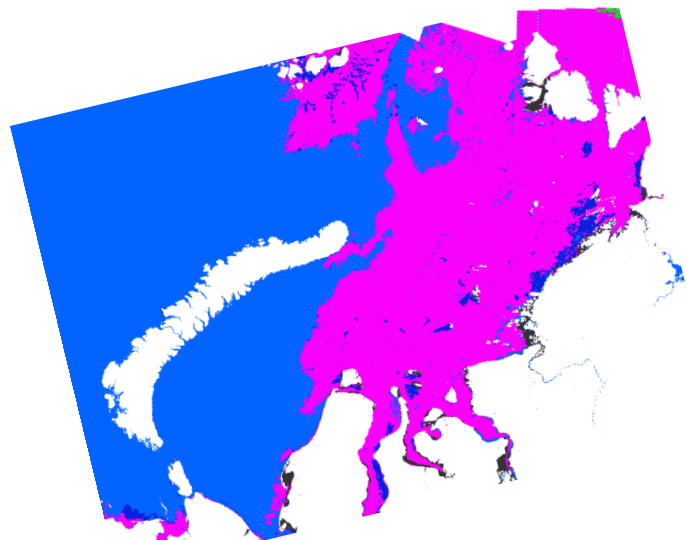


20191024

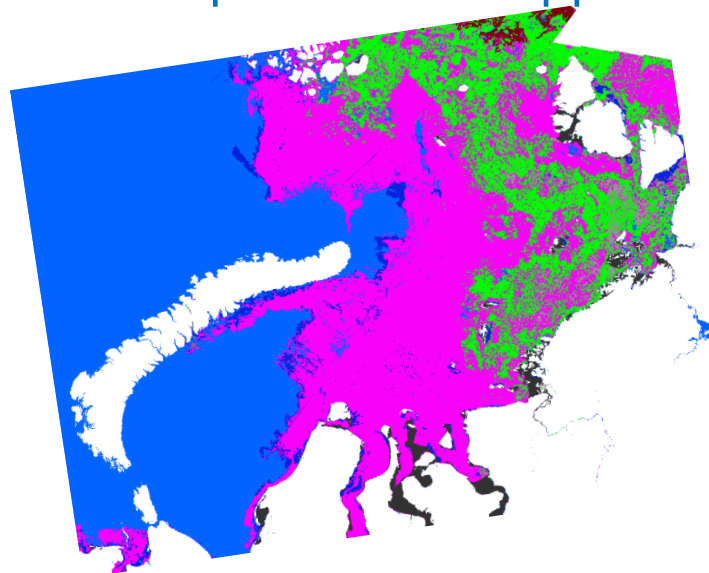


20191101

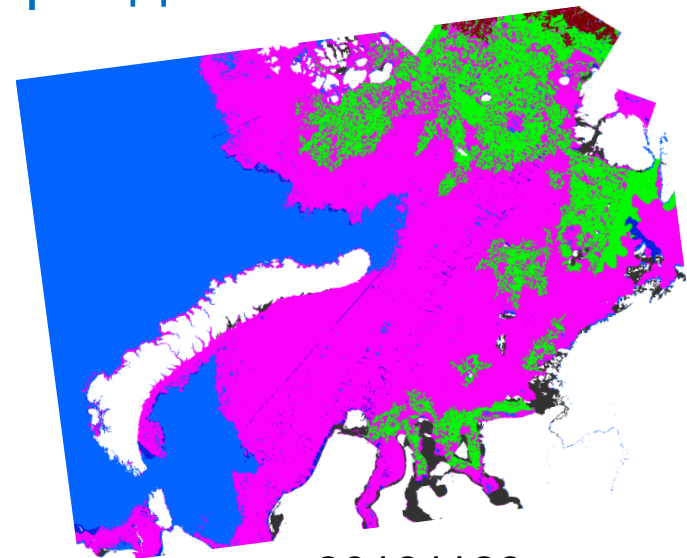
Анализ: оценка безледного периода



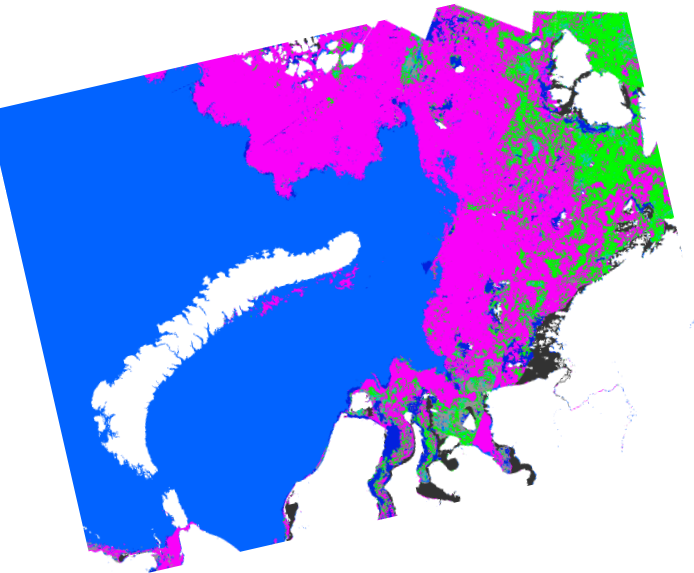
20181109



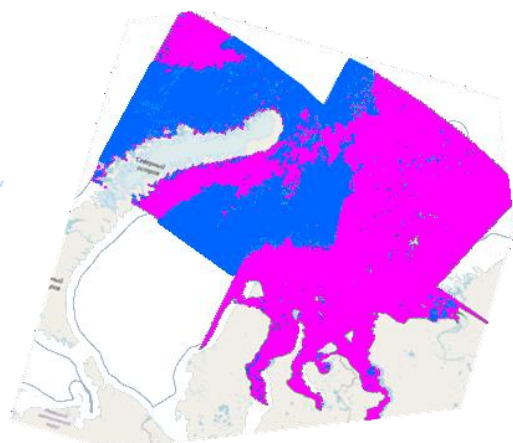
20181119



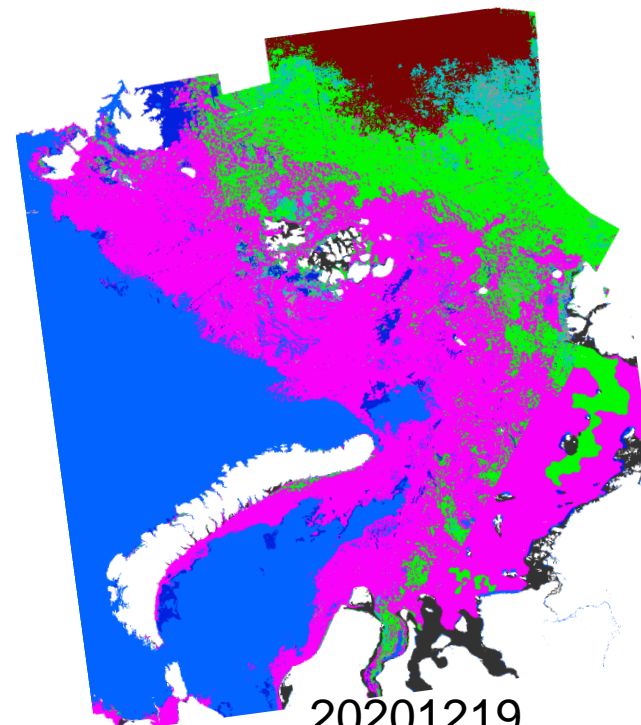
20181129



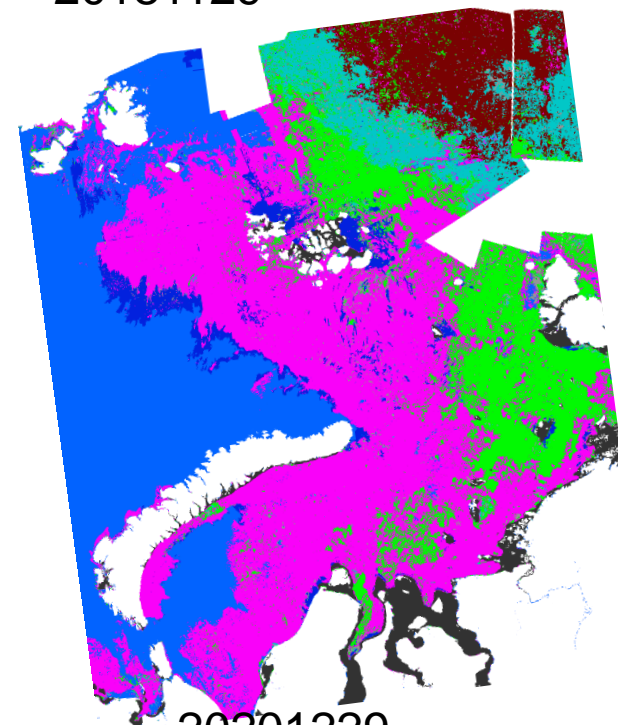
20201209



20201215



20201219



20201229

ВЫВОДЫ

- Построенные в автоматизированном режиме по спутниковым данным детальные ледовые карты с нанесенными опасными ледовыми явлениями (раннее появление льдов, вынос старых льдов, торосы) могут быть задействованы в оперативном режиме, в частности, для прокладки маршрутов судов во время проводок.
- Наличие оперативных спутниковых данных о реальной ледовой обстановке и прогностической информации об опасных ледовых явлениях позволит существенно повысить эффективность плавания по СМП.

Благодарю за внимание!