



# **Обзор ошибок в определении сплоченности ледяного покрова, полученной по данным спутниковой микроволновой радиометрии в летний период, обусловленных природными факторами**

**Докладчик:** Алексеева Татьяна Алексеевна (1,2)

**Соавторы:** Тихонов В.В. (2), Раев М.Д. (2), Соколова Ю.В.(1,2), Фролов С.В.(2), Шарков Е.А.(2), Сероветников С.С. (1)

(1) - Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

(2) – Институт космических исследований РАН

## Данные спутниковой микроволновой радиометрии (далее СМР):

- ежедневные;
- покрывают всю акваторию СЛО;
- являются самым длинным рядом спутниковых данных о ледяном покрове;
- на них не влияют облачность и темное время суток.

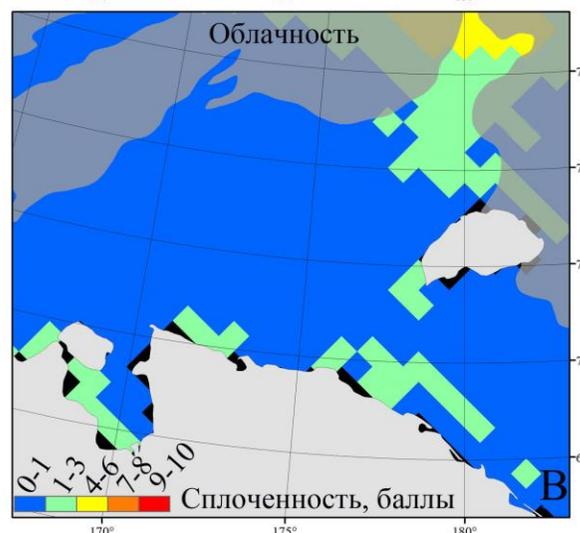
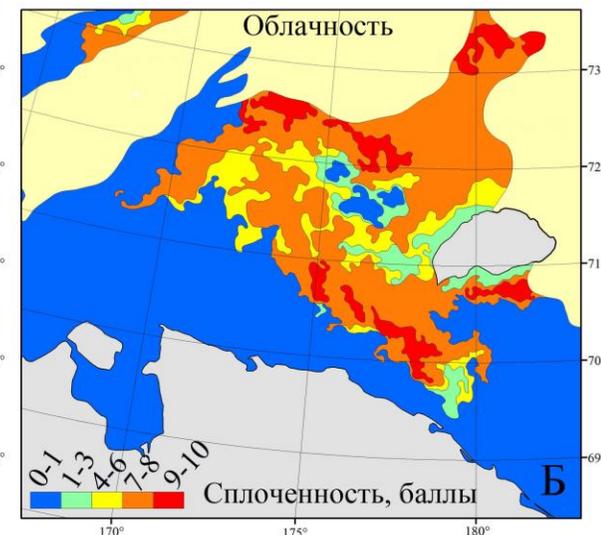
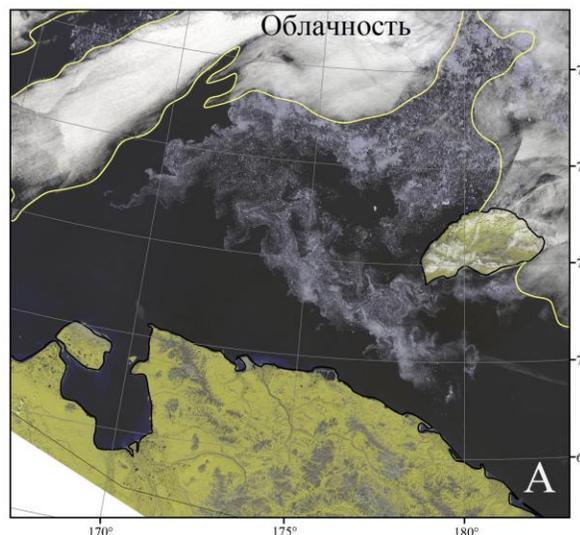
Данные СМР **широко используются** для:

- расчета площади ледяного покрова
- для судоходства и картирования морского льда
- при моделировании изменчивости площади морского льда

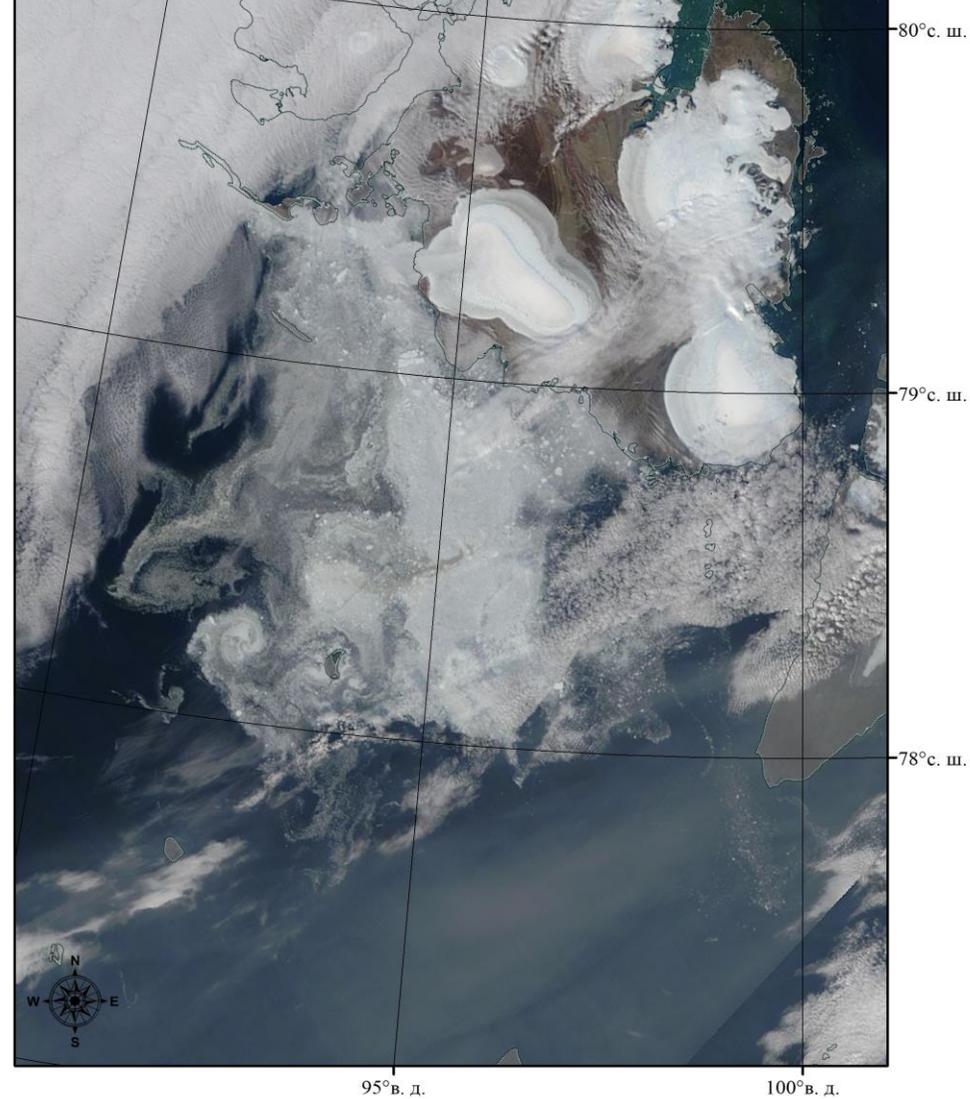
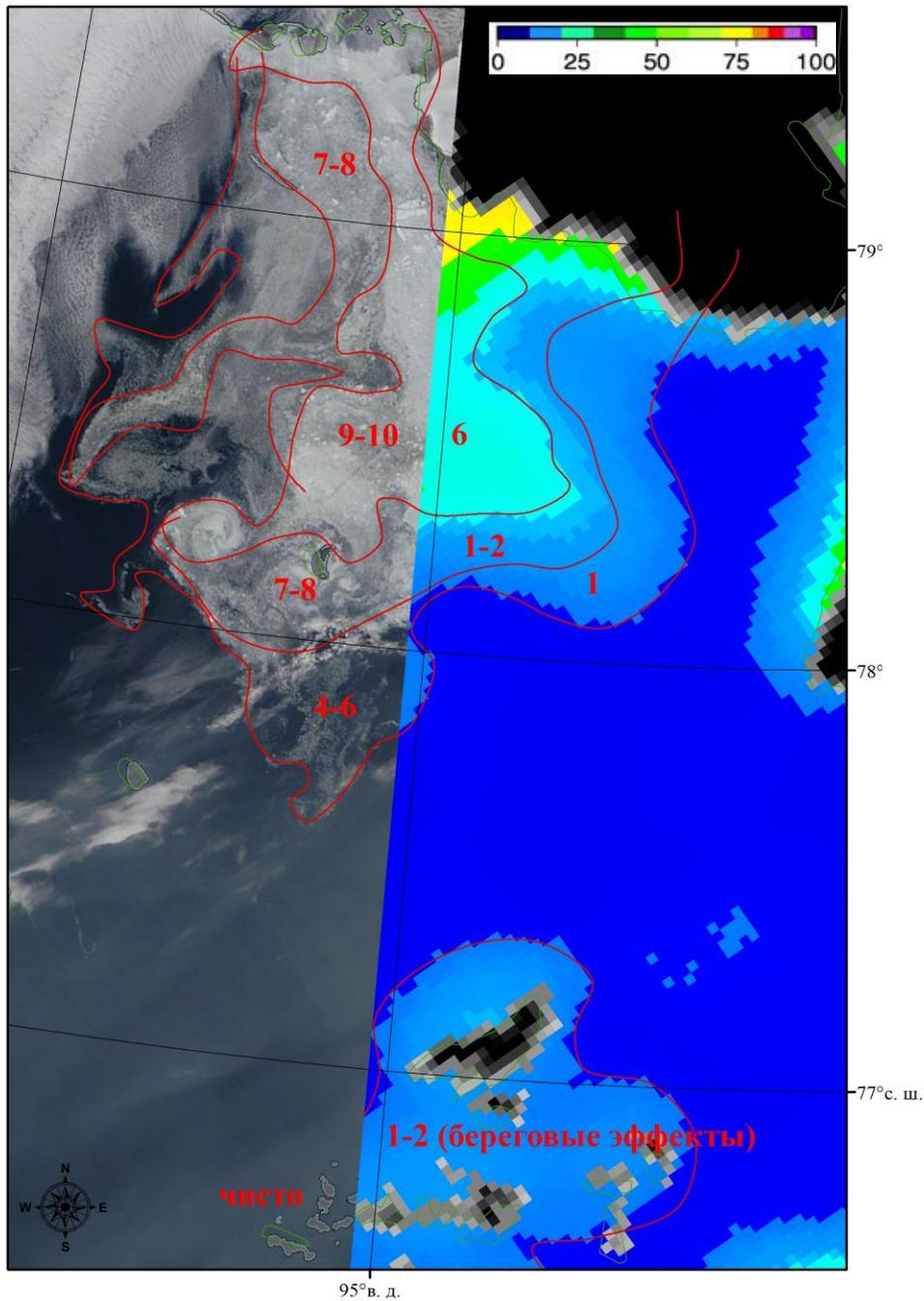
Однако, при картировании морского льда и использовании данных СМР для судоходства выявляются значительные ошибки в сплоченности льда.

А значения площади морского льда в Арктике, определяемой с помощью разных алгоритмов может отличаться в пределах 1 млн. км<sup>2</sup>.

При этом валидация данных СМР затруднена недостатком подходящих натуральных измерений.



**А** – Снимок Terra MODIS в видимом диапазоне (RGB: 2-2-1)  
**Б** – детализированная ледовая карта ААНИИ по снимку А  
**В** – NASA Team (25 км)  
**Г** – ASI (12,5 км)



Северо-восточная часть Карского моря  
моря, 25.08.2020

ограниченный ряд судовых данных (из 1-3 экспедиций) в приблизительно одинаковых ледовых условиях

+

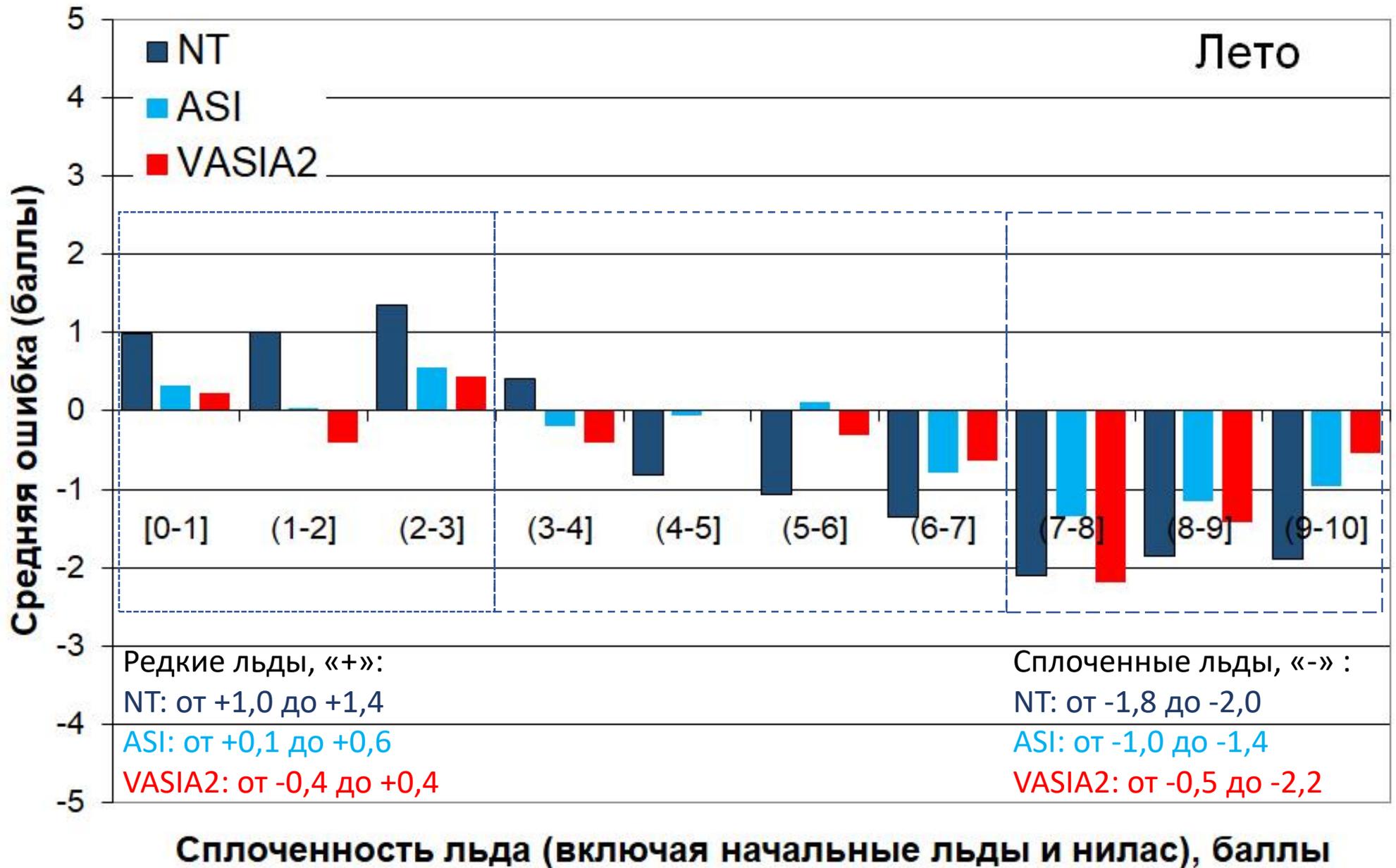
редкие наблюдения (1 раз в 1/3 часа)

=

принципиально отличные друг от друга результаты

Предыдущие исследования (авторы / данные для сравнения)	Лето Ср. ошибка/алгоритм	Примечания
Lubin et al., 1997 / судовые данные	-2 / NT	Только очень сплоченные льды
Spreen et al., 2008 / (судовые данные, ASPECT)	+1,2 / ASI	Преобладало движение по разводьям
Wiebe et al., 2009 [13] (Landsat, Envisat SAR)	+0,3 / ASI	
Wang et al, 2019 [105] (судовая видеокамера)	+2,2 / ASI +1 / NT	Не указана область покрытия камерой – влияние разводий
Kern et. al., 2019 [25] (судовые данные)	-0,4 / ASI, -1,4 / NT	
Alekseeva et al., 2019	-0,4 / NT, -0,3 / ASI, -0,3 / VASIA2	Данные ААНИИ – для всех типов ледовых условий

# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНИХ ОШИБОК ПО ГРАДАЦИЯМ СПЛОЧЕННОСТИ



# ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНЫХ ЛЬДОВ И НИЛАСА

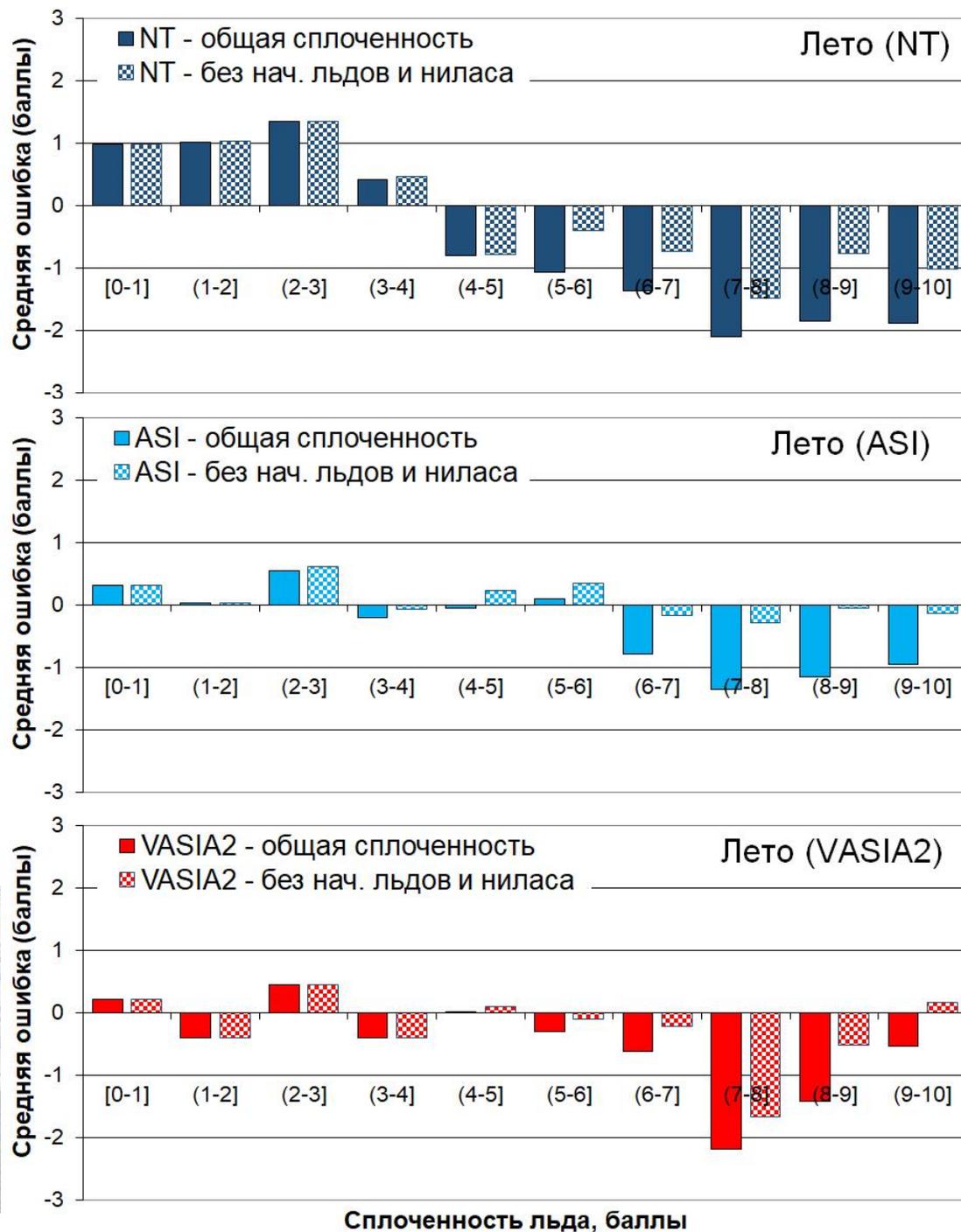
**Летом** – средняя ошибка уменьшается.

## Причины:

- летом в высоких широтах ледообразование нерегулярное, в основном, в ледяных массивах.

- на начальных стадиях ледообразования яркостные температуры льда и воды схожи. Чем более низкую частоту используют алгоритмы, тем выше это влияние, некоторые алгоритмы могут «не видеть» льды толщиной до 30-35 см [Ivanova et al., 2015; Heygster et al., 2014].

Ср. ошибка	NT	ASI	VASIA2
Все льды	-0,4	-0,3	-0,3
Без нач.	0,0	+0,1	+0,1



# РАЗРУШЕННОСТЬ МОРСКОГО ЛЬДА



0 – Видимые признаки таяния отсутствуют (но снег уже влажный, пропитан водой)



1 - На поверхности льда наблюдаются отдельные снежицы в виде темных пятен и луж. Начался распад сморозей.



2 - Поверхность льда потемнела. Снег частично растаял. Повсюду видны большие лужи и отдельные озера.



3 - Озерки распространены по всей поверхности льда. Снег полностью растаял. Местами видны проталины. Лед в стадии обсыхания. Цвет льда белесый.

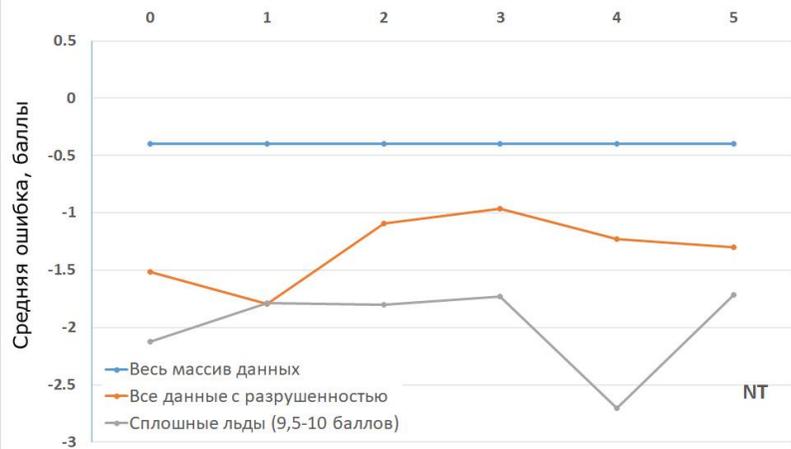


4 - Сильно разрушенный лед. Повсюду видны проталины и промоины, закончен распад сморозей. Среди битого льда появились грибовидные льдины с подводными таранами



5 - Преобладает битый лед в виде сильно обтаявших бесформенных глыб, глубоко сидящих в воде. Лед сильно пропитан водой, имеет темно-серый цвет.

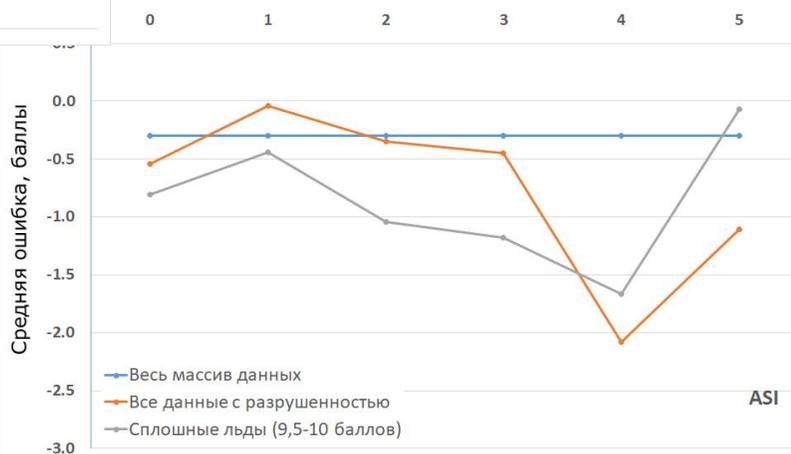
Стадия разрушенности, баллы



NASA Team в среднем недооценивает сплоченность на -0,4 балла. При различных стадиях разрушенности ошибка увеличивается от -1 до -1,8 баллов вследствие ошибочного восприятия снежиц на льду как морской воды.

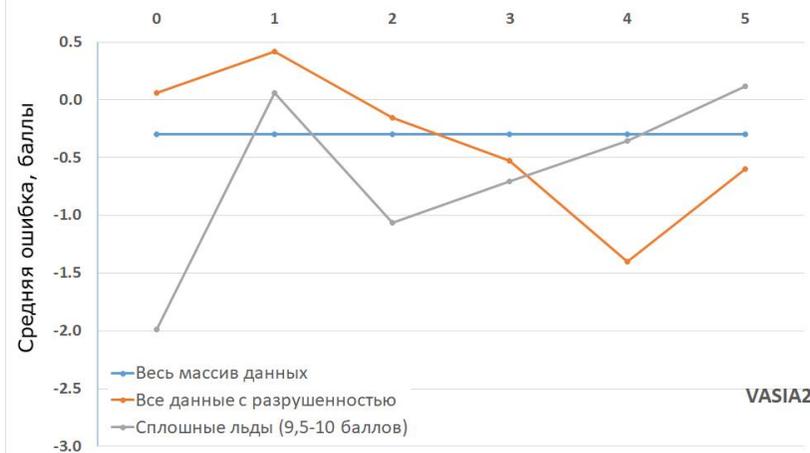
ASI недооценивает сплоченность в среднем на -0,3 балла. Максимальная средняя ошибка при разрушенности 4 балла достигает -2,1 балла.

Стадия разрушенности, баллы

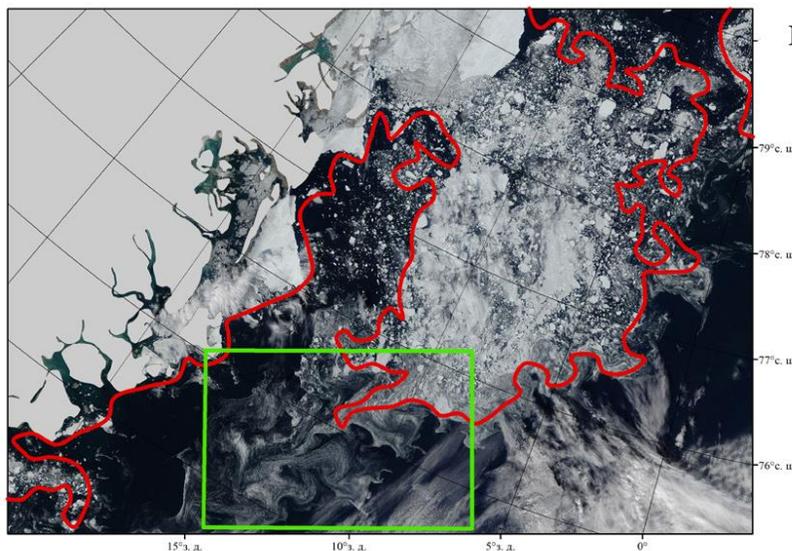
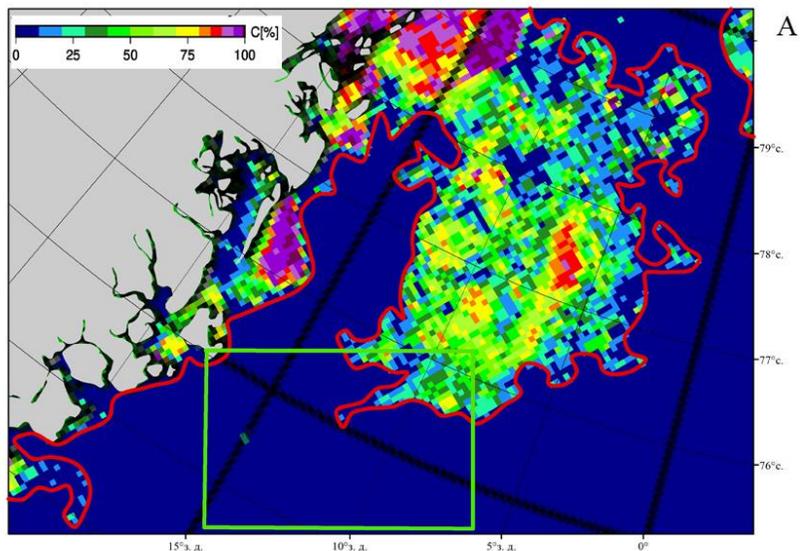


Алгоритм VASIA2 менее других алгоритмов подвержен влиянию разрушенности.

Стадия разрушенности, баллы



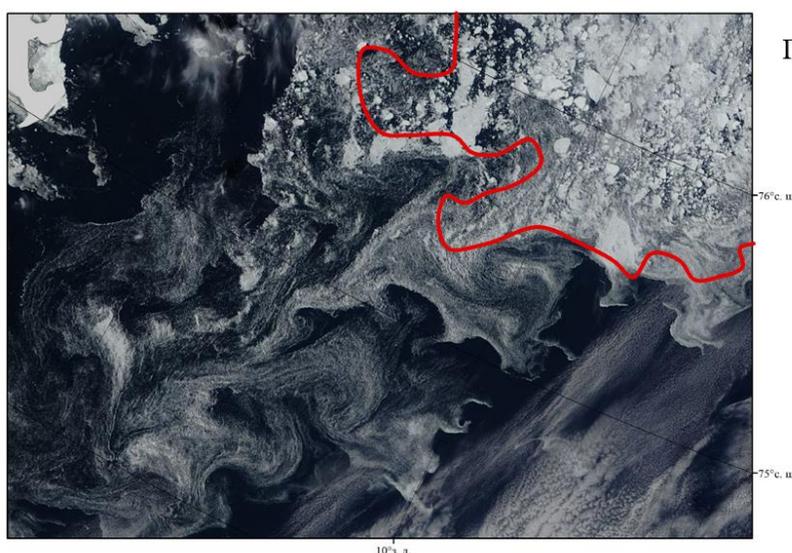
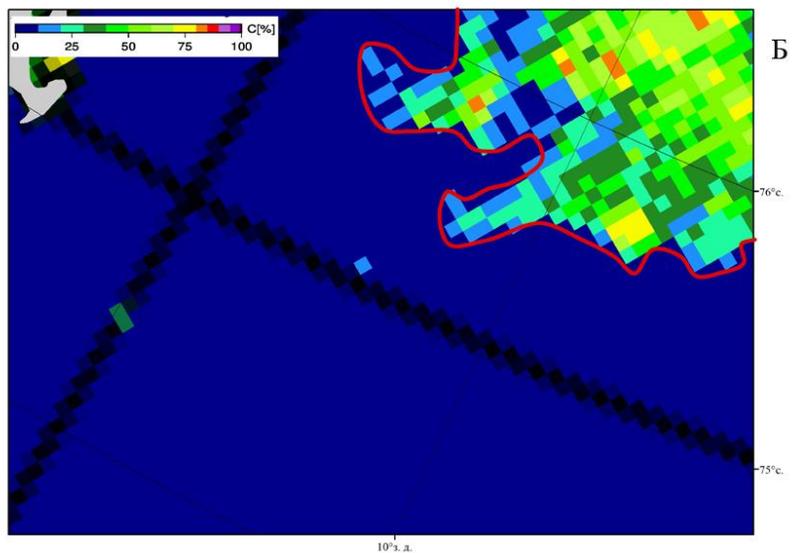
# РАЗМЕРЫ ЛЕДЯНЫХ ПОЛЕЙ И СПЛОЧЕННОСТЬ



В Центральная часть  
Гренландского  
моря, 30.07.2020

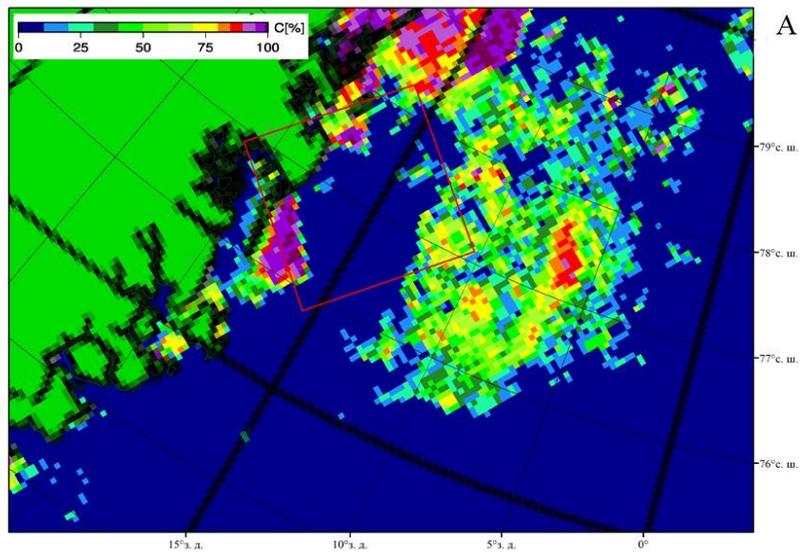
**А и Б** – алгоритм ASI,  
6,25 км

**В и Г** – снимки в  
видимом диапазоне  
Terra MODIS

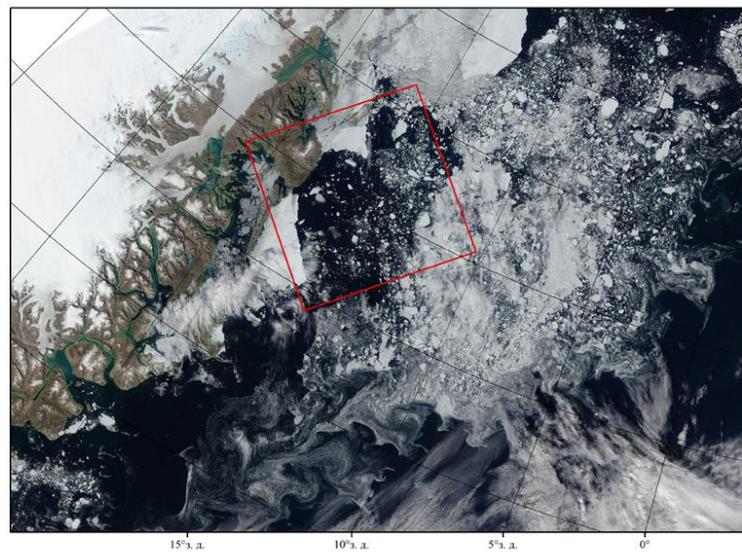


Г

# РАЗМЕРЫ ЛЕДЯНЫХ ПОЛЕЙ И СПЛОЧЕННОСТЬ



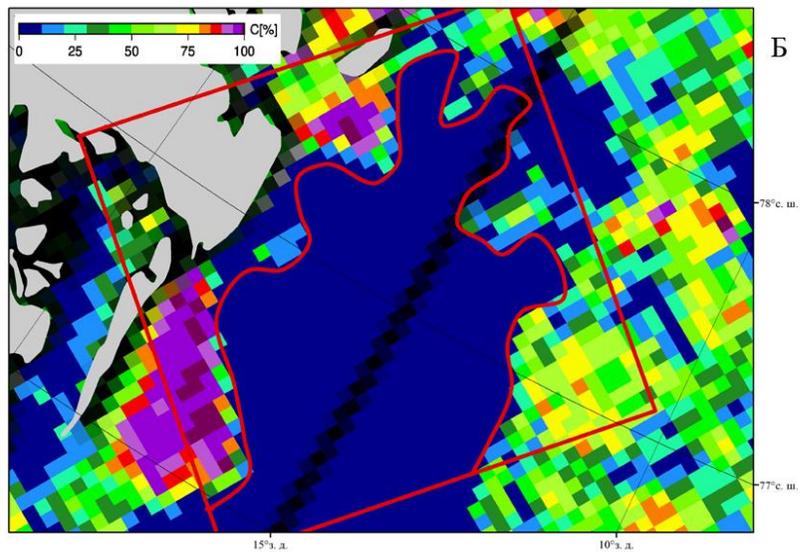
А



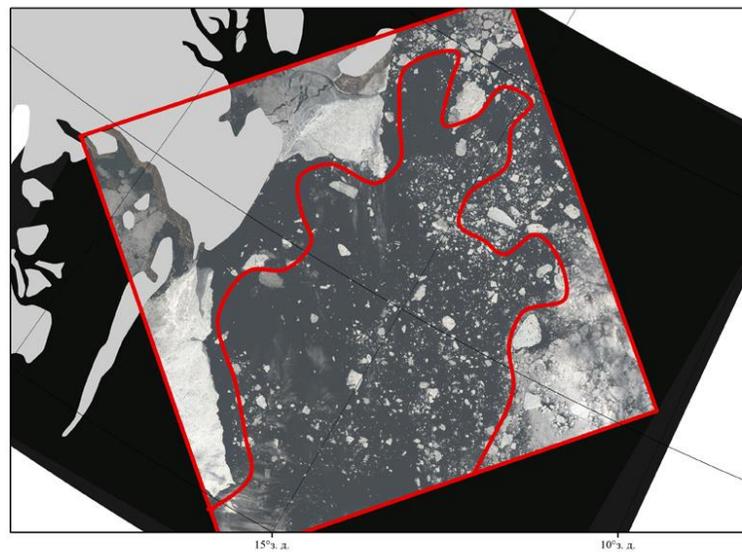
В Центральная часть  
Гренландского  
моря, 30.07.2020

**А и Б** – алгоритм ASI,  
6,25 км

**В и Г** – снимки в  
видимом диапазоне  
Terra MODIS

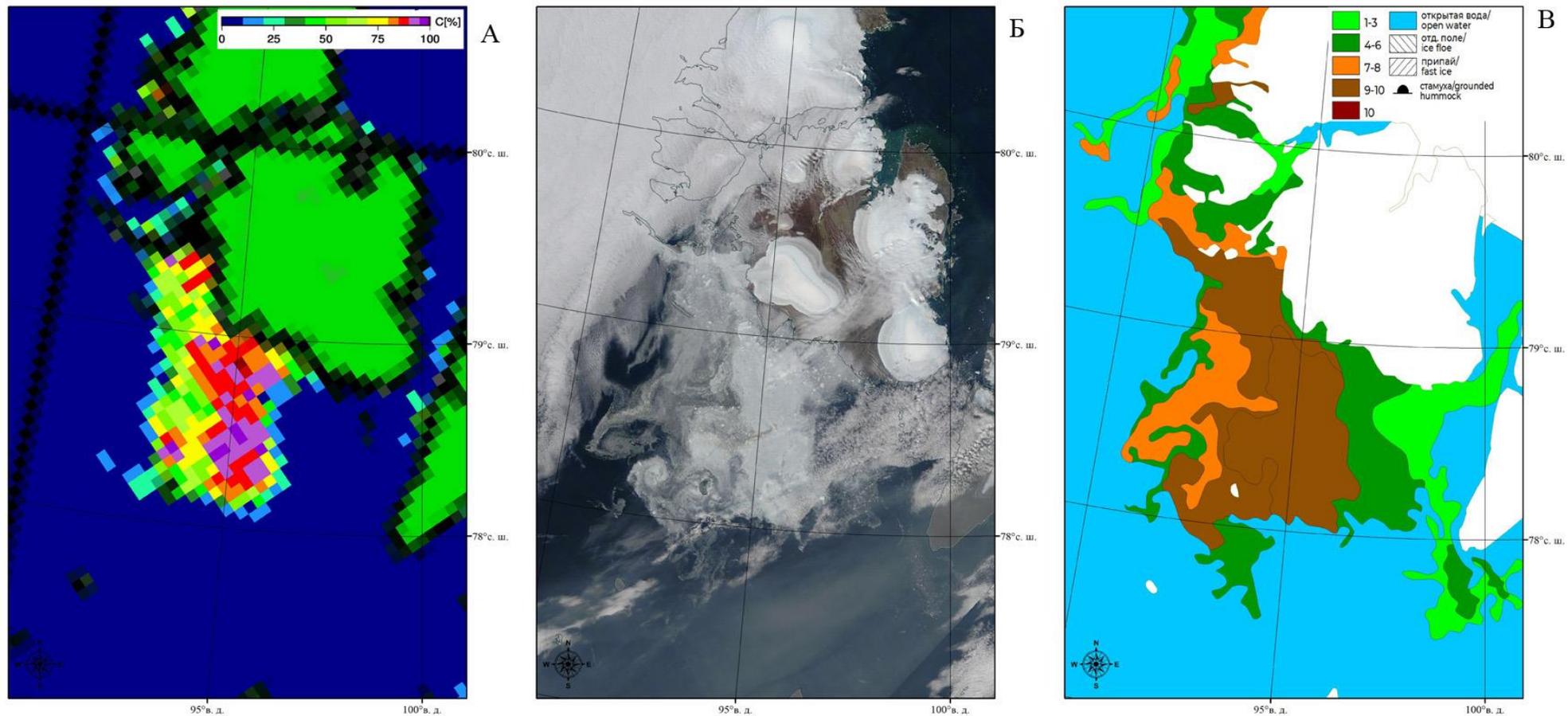


Б



Г

# РАЗМЕРЫ ЛЕДЯНЫХ ПОЛЕЙ И СПЛОЧЕННОСТЬ



Северо-восточная часть Карского моря, 25.08.2020

**А** – алгоритм ASI, 6,25 км

**Б** – снимок в видимом диапазоне Terra MODIS

**В** – ледовая карта ААНИИ

# РАЗМЕРЫ ЛЕДЯНЫХ ПОЛЕЙ И СПЛОЧЕННОСТЬ

Прикромочные области,  
языки, полосы льда,  
отдельно расположенные  
остатки ледяных  
массивов

+

Высокая стадия  
разрушенности  
(3, 4, 5 баллов)

+

Преобладающие размеры  
льдин:  
битые льды (до 100 м)

+

Преобладающая  
сплоченность:  
до 7-8 баллов,  
местами до 9-10 баллов



Прикромочные области,  
языки, полосы льда,  
отдельно расположенные  
остатки ледяных  
массивов

+

Высокая стадия  
разрушенности  
(3, 4, 5 баллов)

+

Преобладающие размеры  
льдин:  
битые льды (до 100 м),  
среди них встречаются  
(~ 10-20%) обломки и поля  
до нескольких км  
в диаметре

+

Преобладающая  
сплоченность:  
1-3 и 4-6 баллов



Таким образом, крайне важным фактором, влияющем на определение сплоченности морского льда в летний период, является следующая совокупность характеристик: высокая стадия разрушенности, формы ледяных полей, сплоченность и расположение/конфигурация таких зон.

# ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ МОРСКОГО ЛЬДА



Шкала загрязненности льда	Характеристика поверхности льда
0	Лед чистый, наблюдаются лишь незначительные следы загрязненности.
1	Лед мало загрязнен. Площадь загрязненного льда составляет менее $\frac{1}{3}$ наблюдаемой поверхности льда.
2	Лед средней загрязненности. Площадь загрязненного льда составляет от $\frac{1}{3}$ до $\frac{2}{3}$ наблюдаемой поверхности.
3	Лед сильно загрязнен. Более $\frac{2}{3}$ поверхности льда загрязнено.

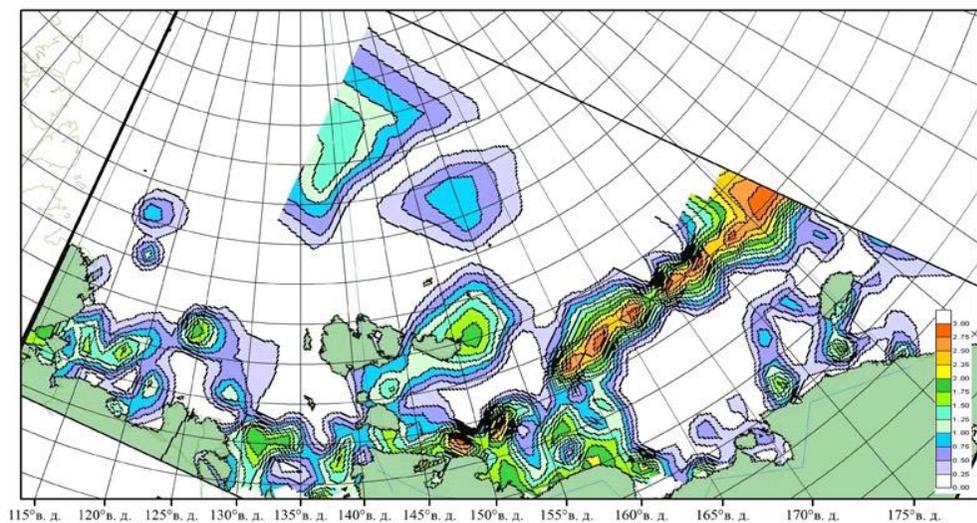
## Влияние на определение сплоченности льда с помощью СМР

### Косвенное

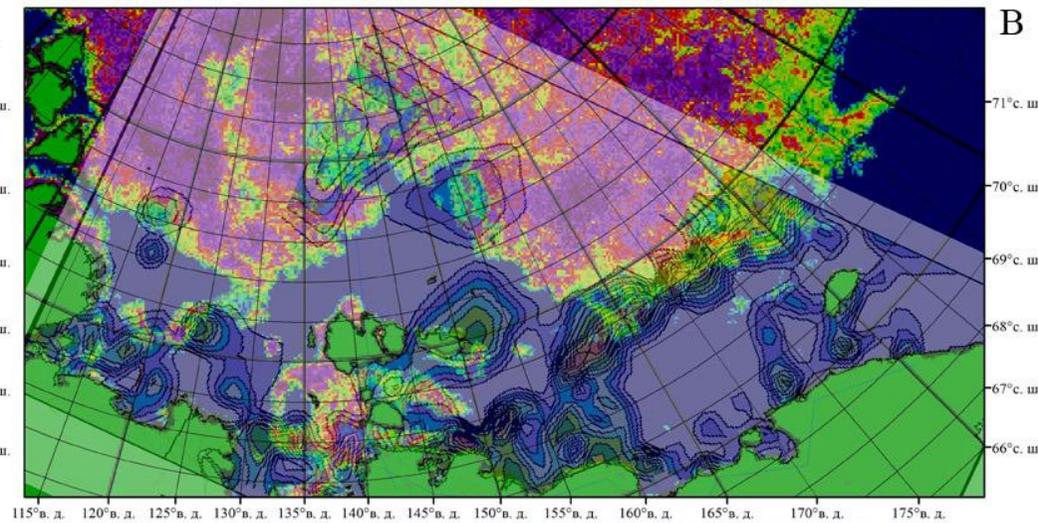
В период интенсивных процессов таяния загрязненные льды разрушаются быстрее и на них образуется большее количество снежиц. А такие льды хуже идентифицируются методами СМР, так как их яркостные температуры схожи с яркостной температурой воды.

### Прямое

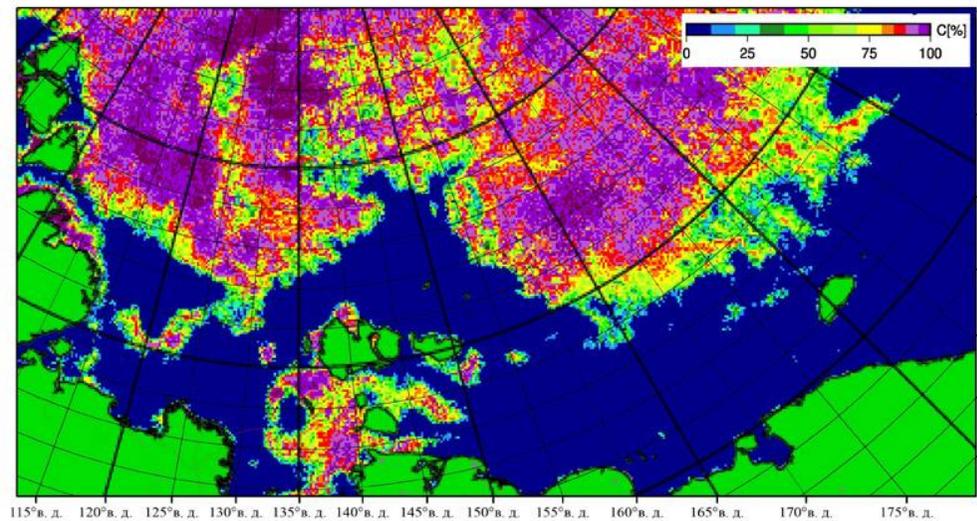
Предположительно: при таянии загрязненного льда его поверхность становится схожей с поверхностью влажной почвы, а с увеличением влажности почвы уменьшается коэффициент микроволнового излучения.



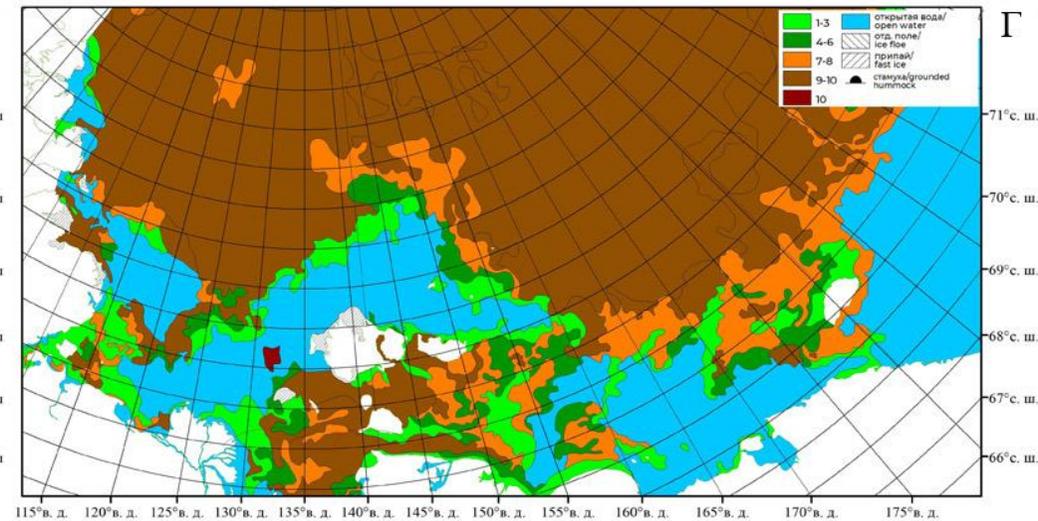
А



В

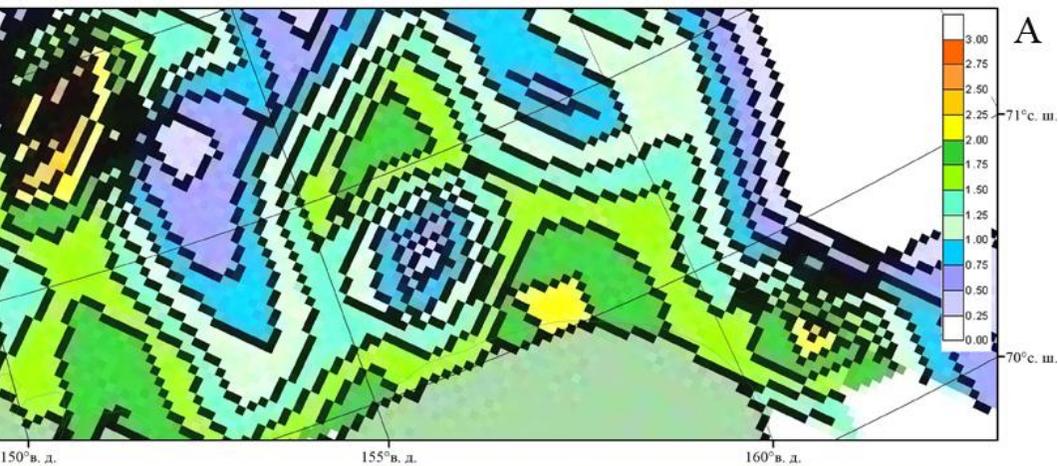


Б



Г

Загрязненность морского льда в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском в июле (А) на основе данных авиаразведок ААНИИ за период 1953-1976 гг. (рисунки предоставлены Смоляницким В.М. из неопубликованных работ). Шкала загрязненности определяется по 3-бальной шкале. Б - сплоченность льда, полученная с помощью алгоритма ASI разрешение 6,25 км (с сайта <https://seaice.uni-bremen.de>) 26 июля 2020 г. В – карта загрязненности (А), наложенная на изображение ASI (Б). Г – обзорная ледовая карта ААНИИ от 24-26 июля 2020 г.



Слева: район рек Индигирка и Колыма, 26.07.2020

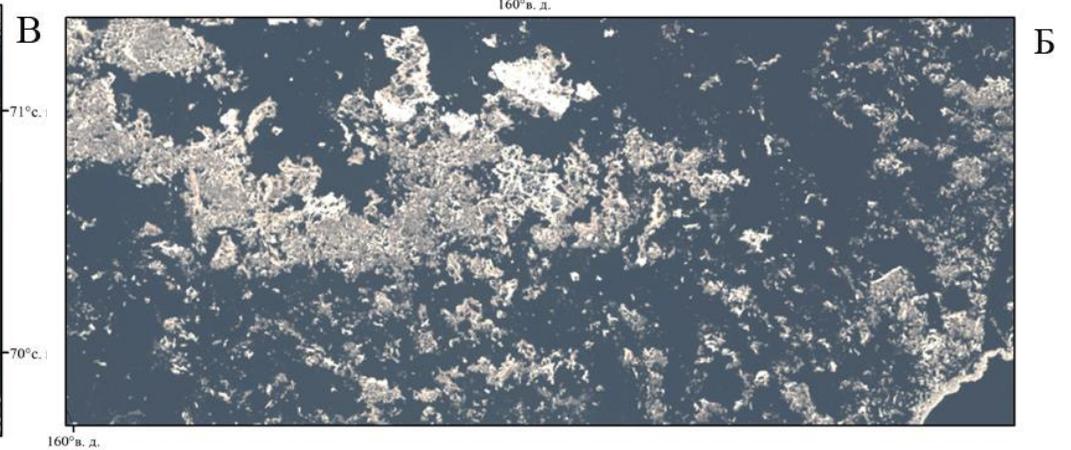
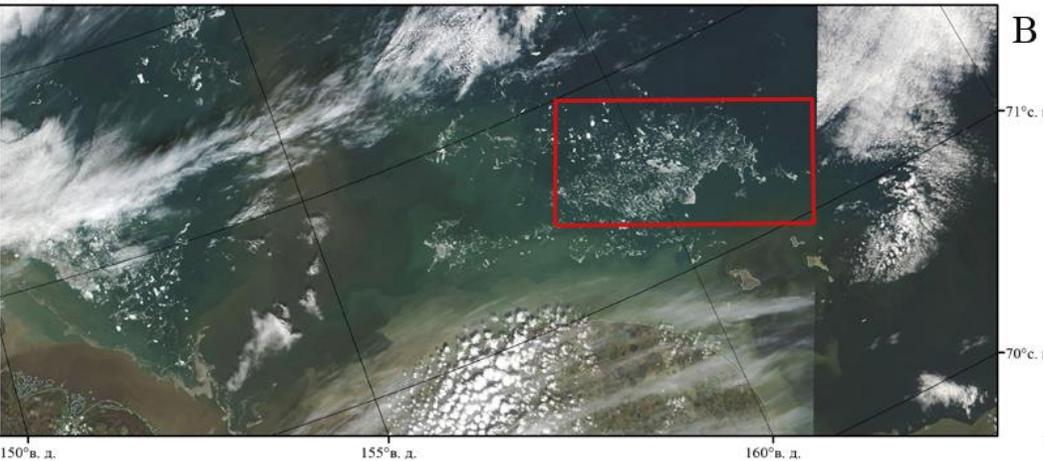
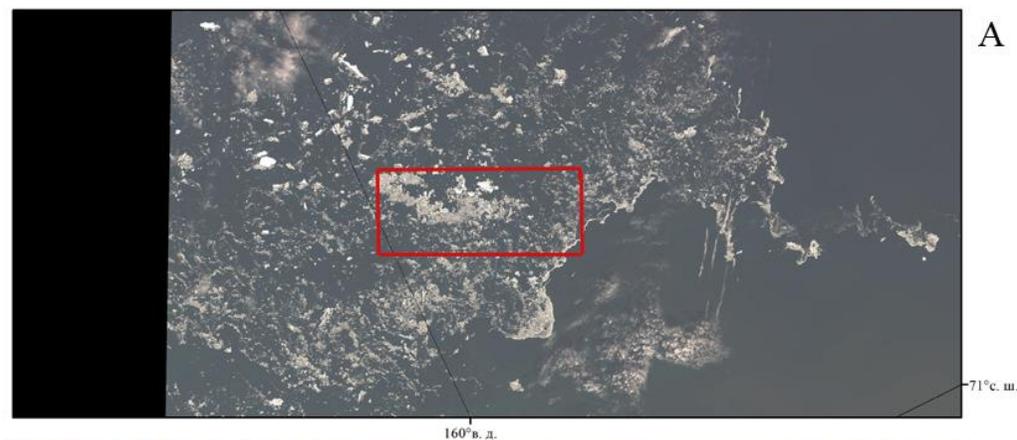
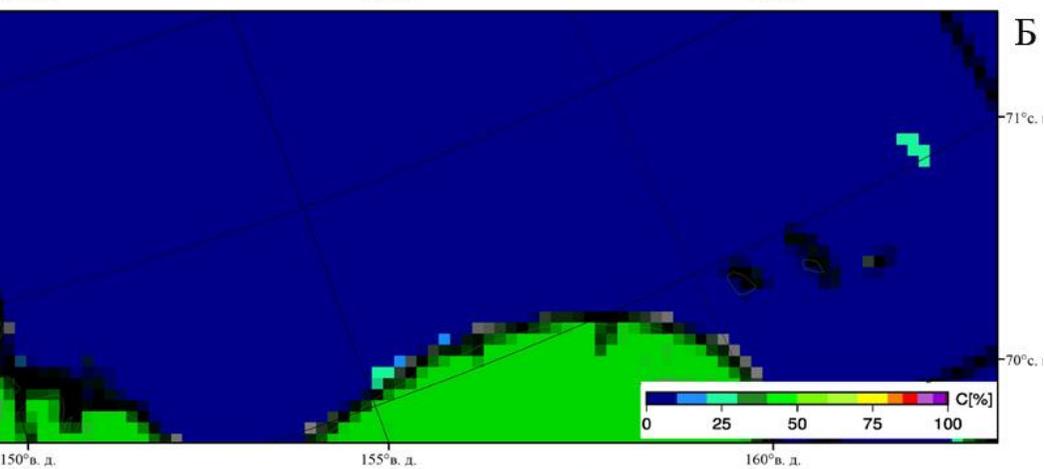
**А** – фрагмент карты загрязненности

**Б** – алгоритм ASI, 6,25 км

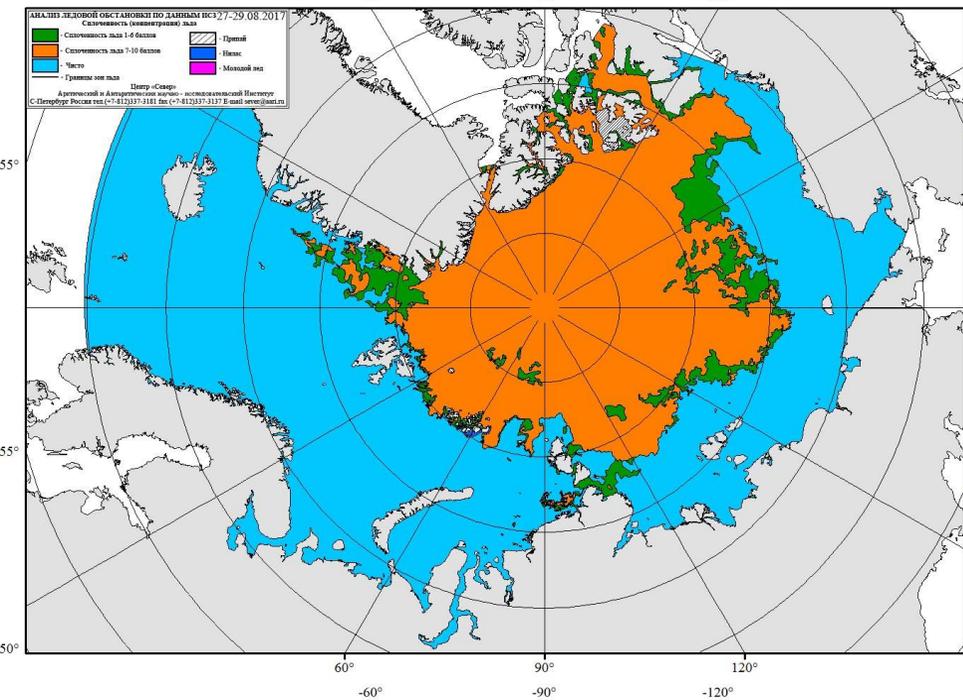
**В** – снимок Terra MODIS

Справа:

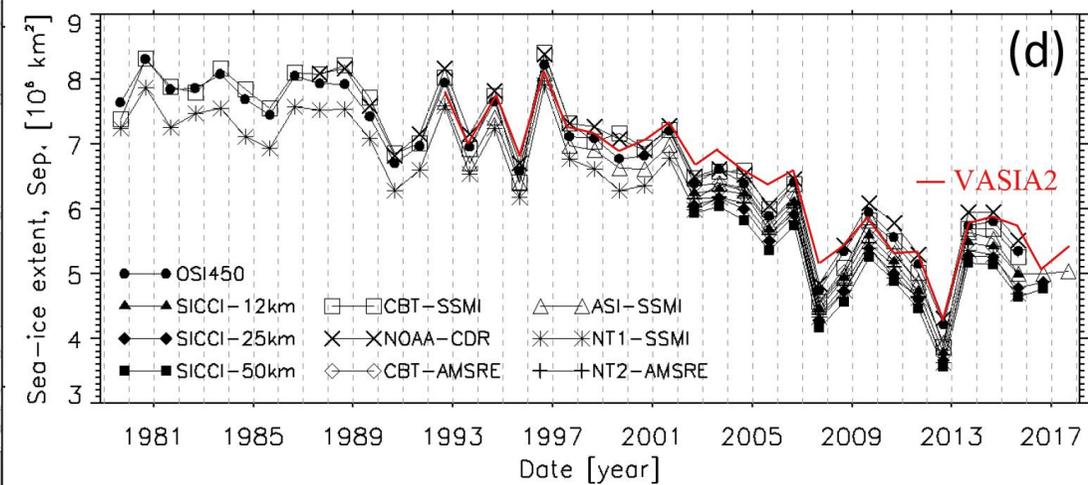
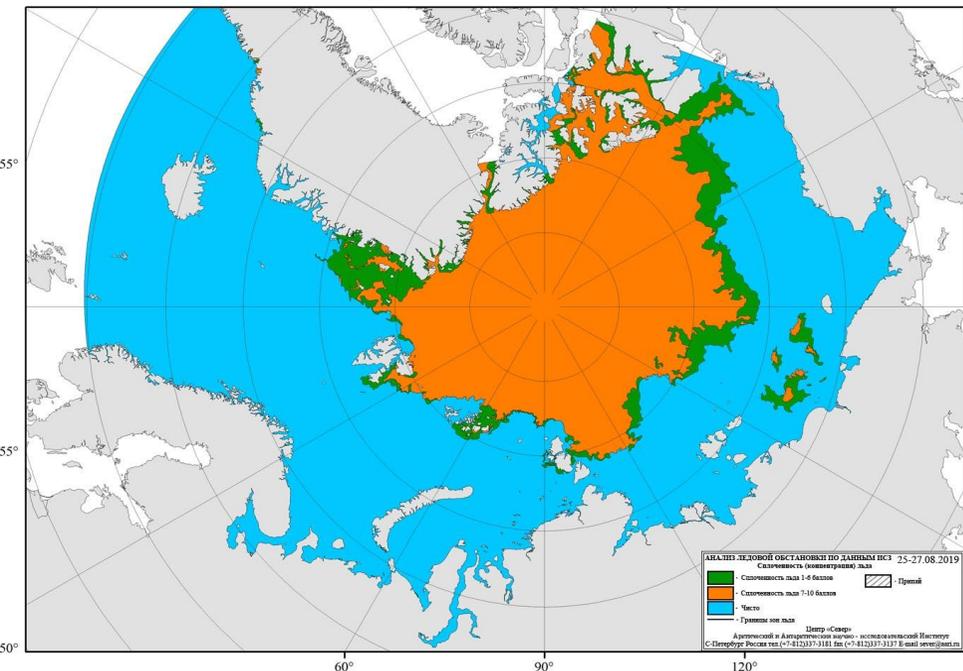
**А и Б** – снимок Landsat



# Оценка площади «невидимых» на снимках СМР ледовых зон (км<sup>2</sup>) в СЛО



	29 августа 2017 г.	27 августа 2019 г.
Площадь «невидимых» данными СМР зон	749 420	548 888
Общая площадь СЛО по картам ААНИИ	4 621 956	4 327 972
Процент площади «невидимых» данными СМР областей от общей площади льда в СЛО, рассчитанной по картам ААНИИ	14%	11%



**Спасибо за  
внимание!**

