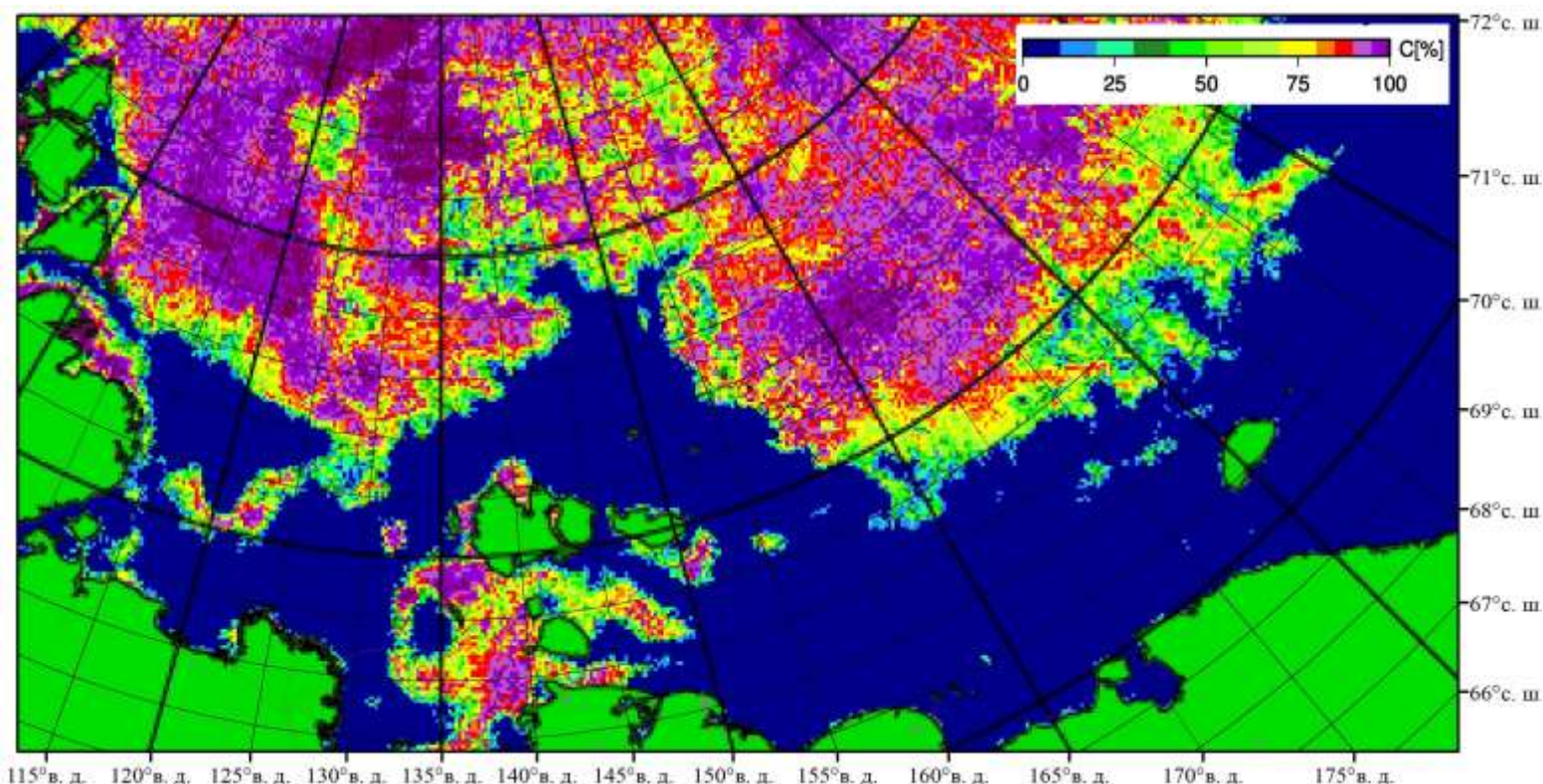


Особенности использования данных спутниковой микроволновой радиометрии при изучении арктического ледяного покрова



Алексеева Т.А. ^{1,2}
Тихонов В.В. ^{2,1,3}
Соколова Ю.В. ^{1,2}
Афанасьева Е.В. ^{1,2}

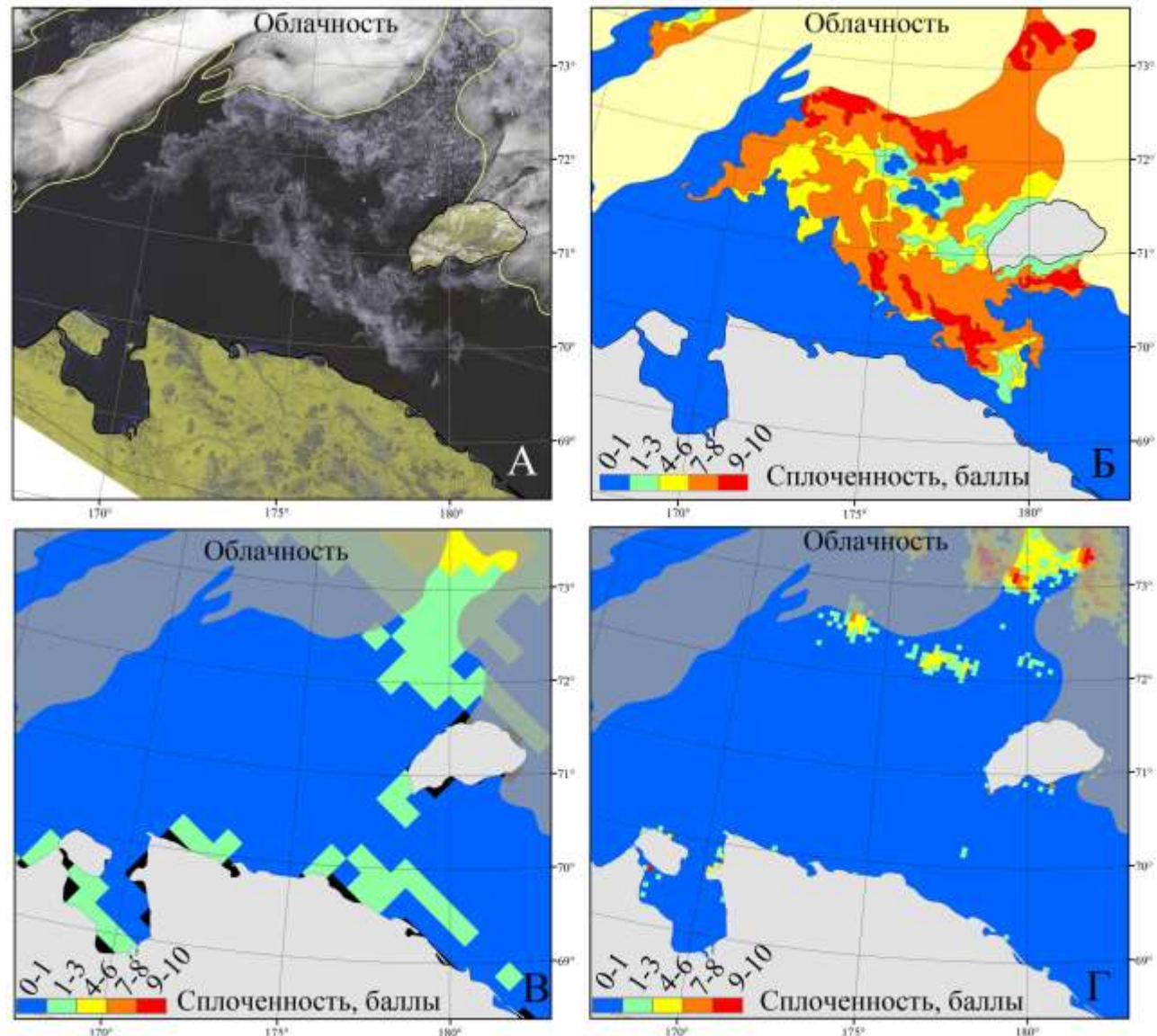
- (1) *Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург*
- (2) *Институт космических исследований РАН, г. Москва*
- (3) *Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН, г. Барнаул, Россия*

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.

Широко используются для:

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



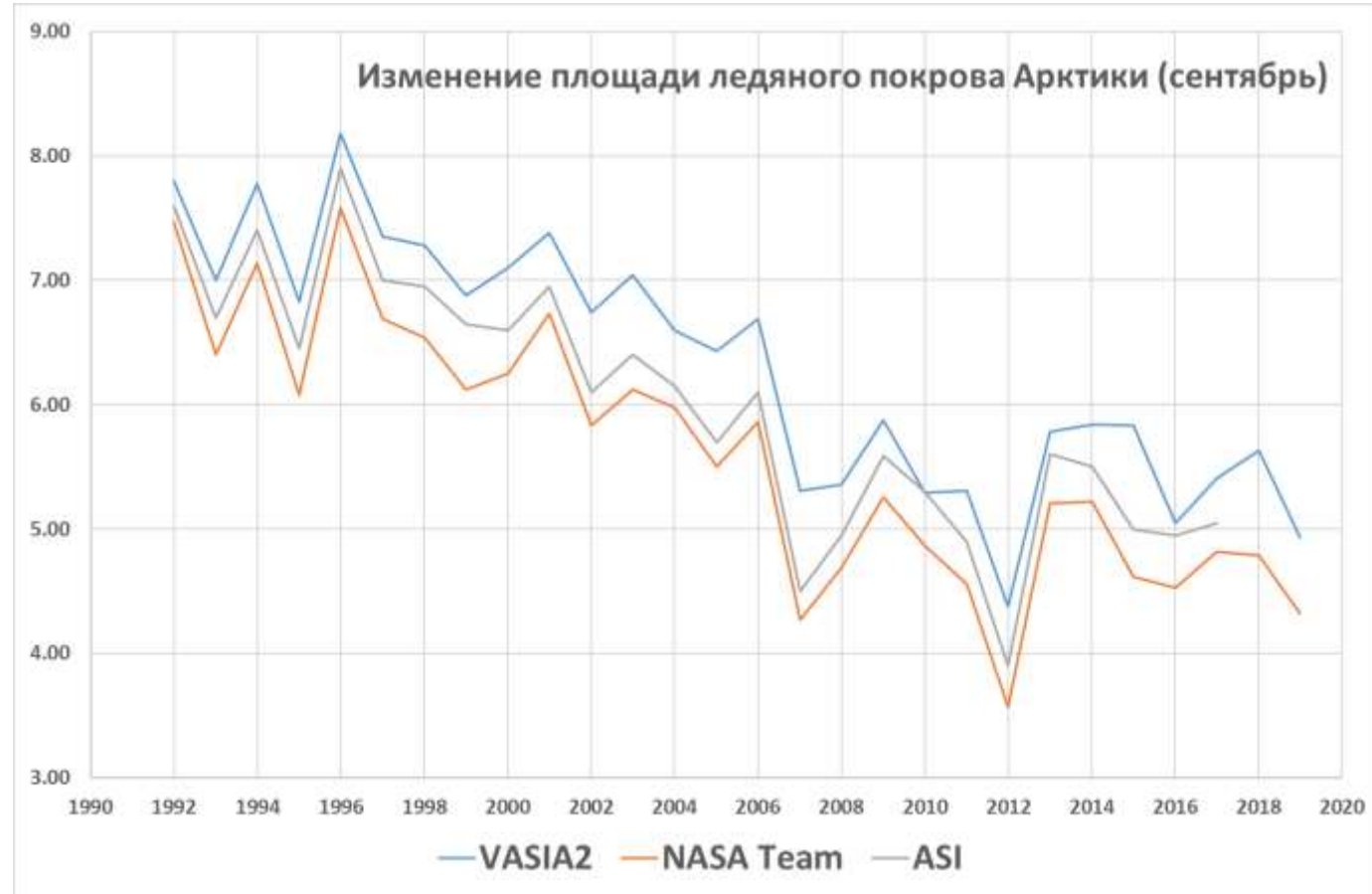
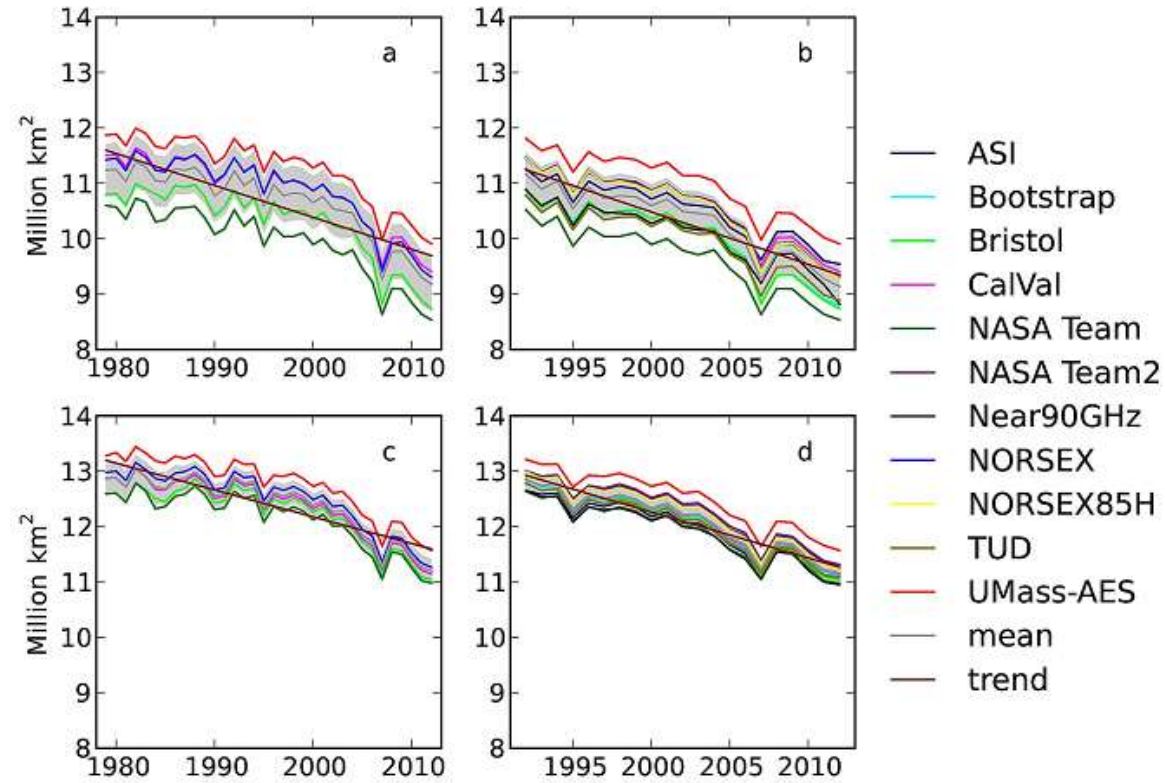
А – Снимок Terra MODIS (26 июля 2017 г.)

Б – детализированная ледовая карта ААНИИ по снимку А

В – NASA Team (25 км)

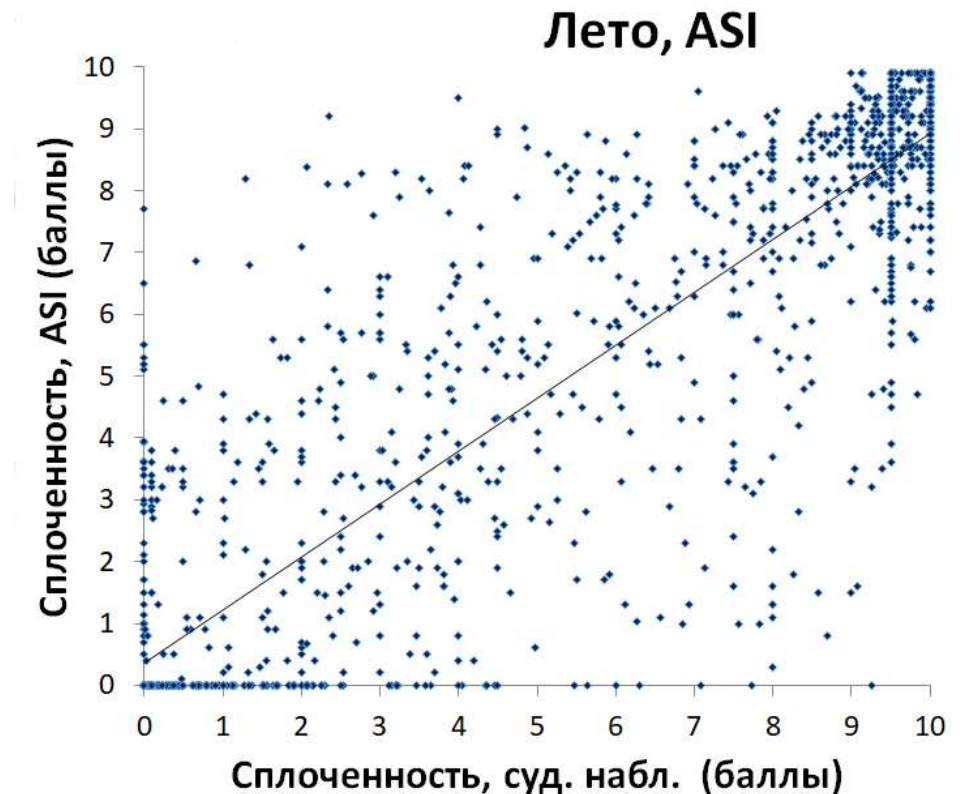
Г – ASI (12,5 км)

ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОЩАДИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА АРКТИКИ ПО ДАННЫМ СМР



ПРИЧИНЫ ОШИБОК В ОПРЕДЕЛЕНИИ СПЛОЧЕННОСТИ:

1. Сезонная изменчивость излучательной способности морского льда и снежного покрова. Из-за изменений климатических условий точки привязки, определенные при разработке алгоритмов, со временем устаревают.
2. Внесезонная региональная изменчивость излучательной способности снежно-ледяной поверхности. Излучательная способность льда меняется в зависимости от сезона и региона его формирования.
3. Влияние поверхностных эффектов:
 - разрушенность,
 - наличие снежного покрова, зависимость от его влажности,
 - размеры ледяных полей;
 - шероховатость поверхности (волны и пенные образования на воде, ледяные торосы и снежные надувы и т.п.)
4. Влияние погодных эффектов (дождь, снег, метель).



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

+

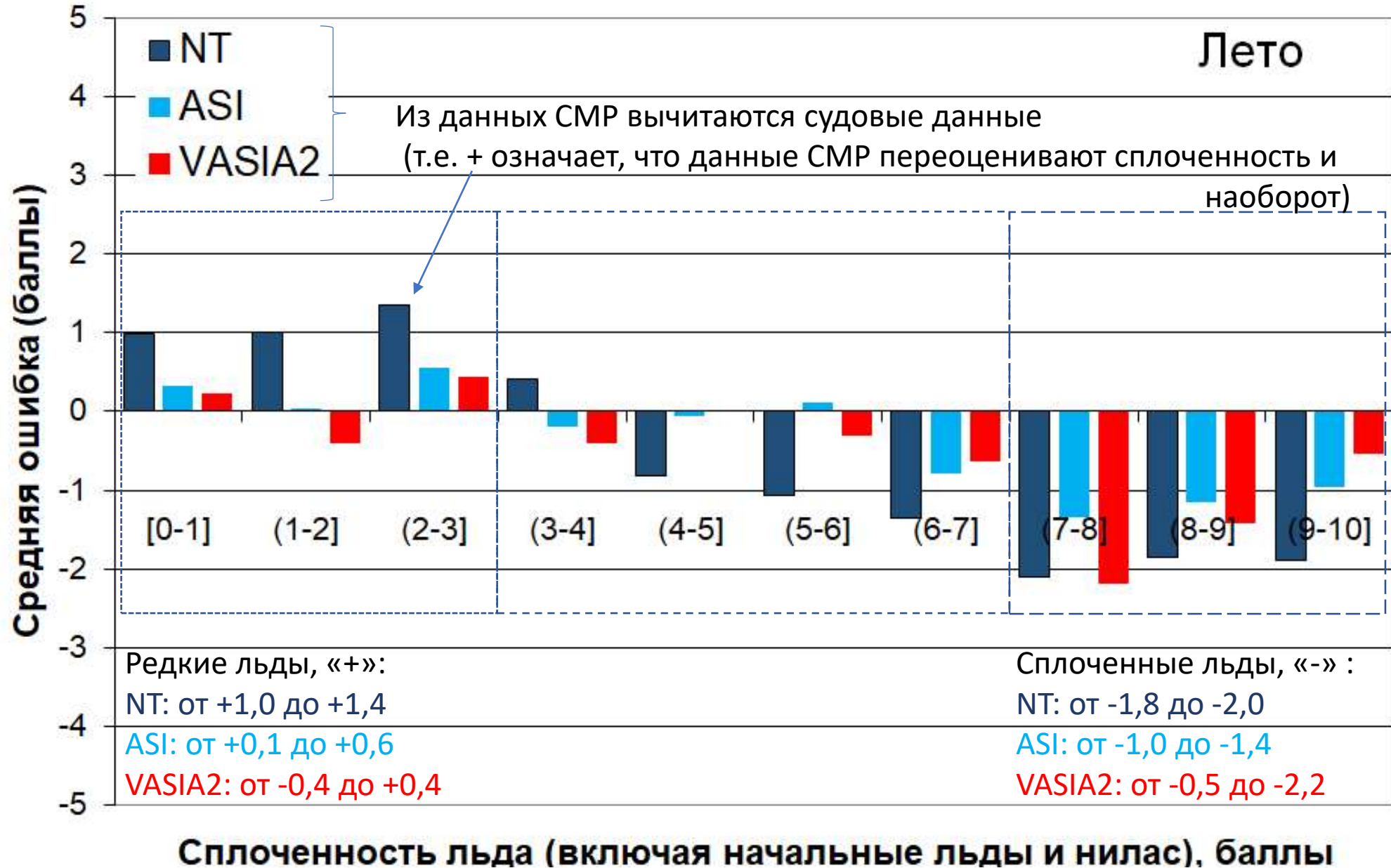
редкие наблюдения (1 раз
в 1/3 часа)

=

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



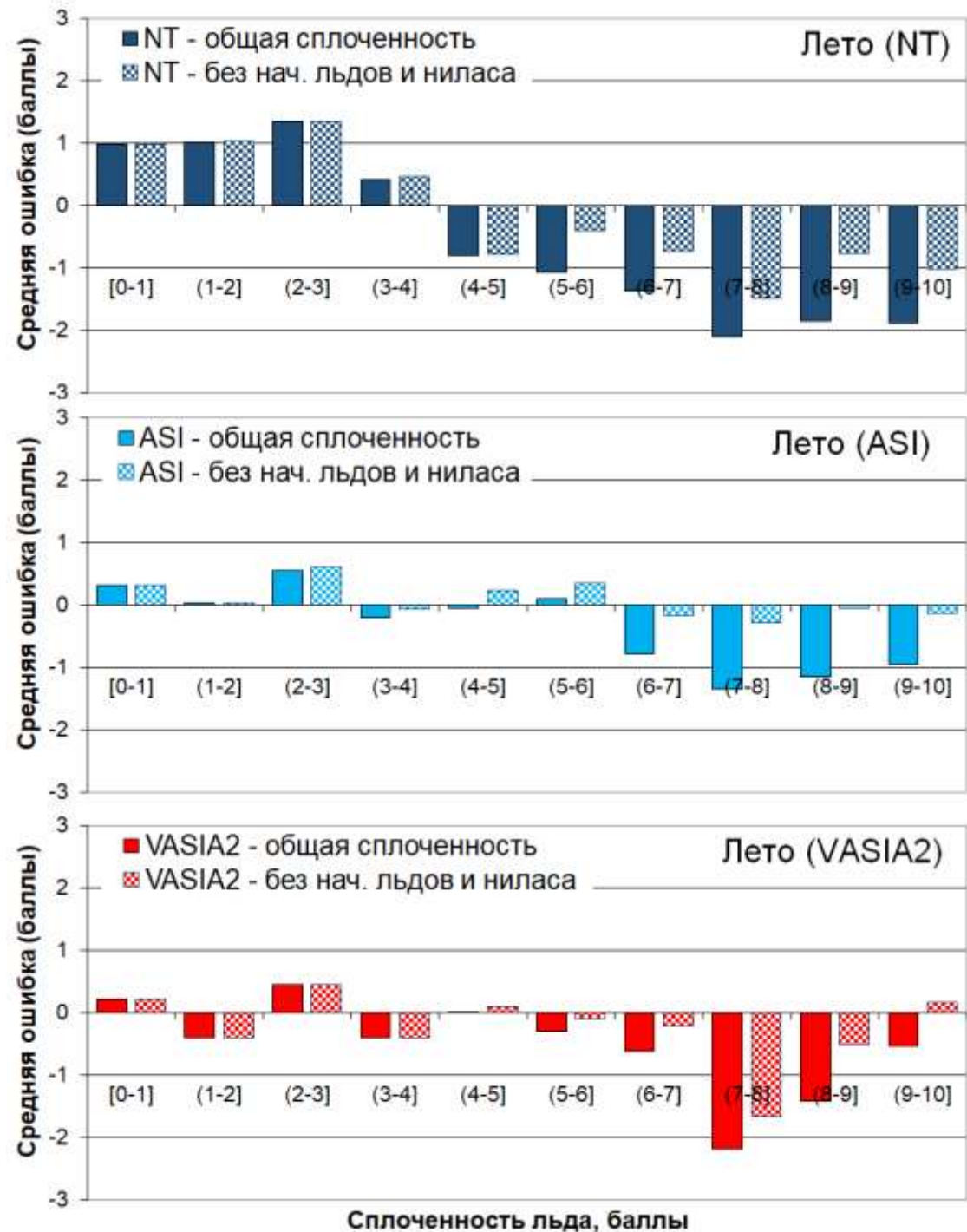
1. ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНЫХ ЛЬДОВ И НИЛАСА

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; Neugster et al., 2014].

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



2. ВЛИЯНИЕ СТАДИИ РАЗРУШЕННОСТИ МОРСКОГО ЛЬДА



0 баллов

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



1 балл

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



2 балла

Поверхность льда потемнела. Снег частично растаял. Повсюду видны большие лужи и отдельные озерки.



3 балла

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



4 балла

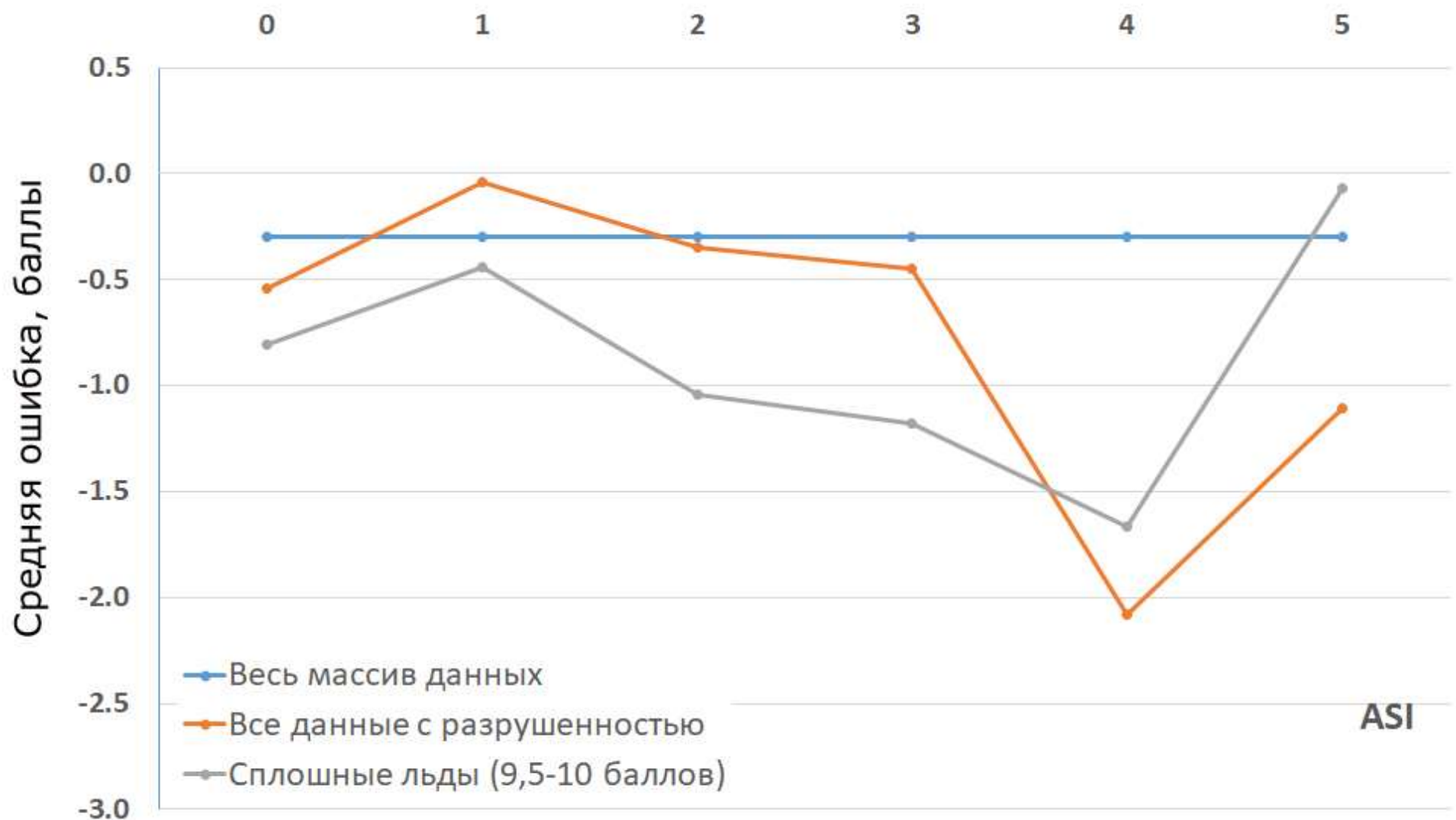
Сильно разрушенный лед. Повсюду видны проталины и промоины, закончен распад сморозей. Среди битого льда появились грибовидные льдины с подводными таранами



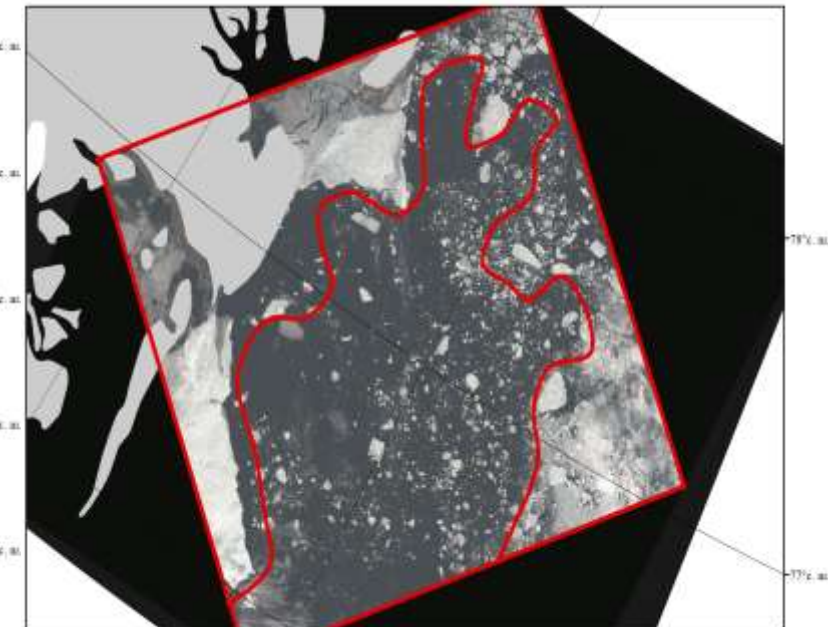
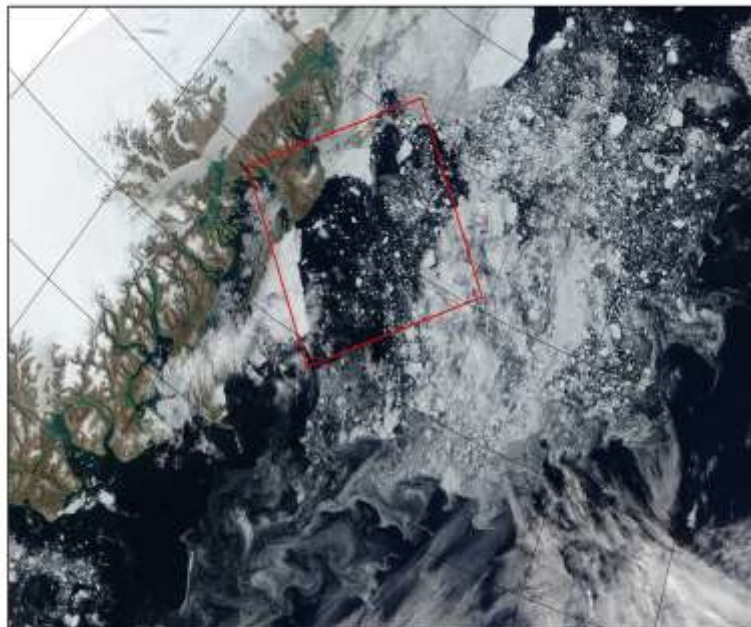
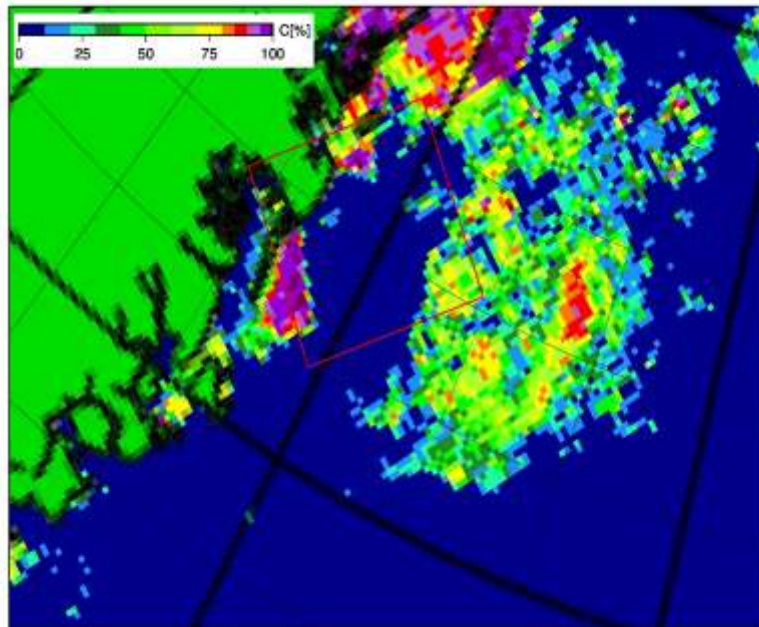
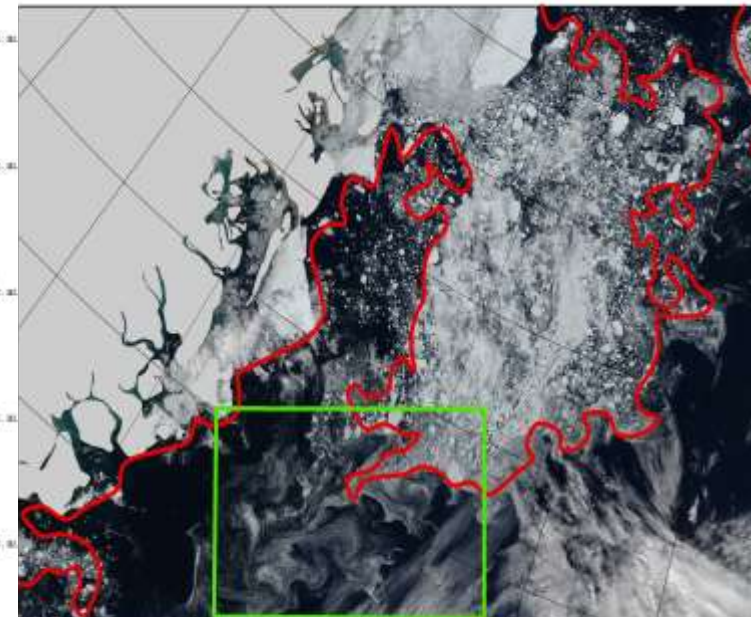
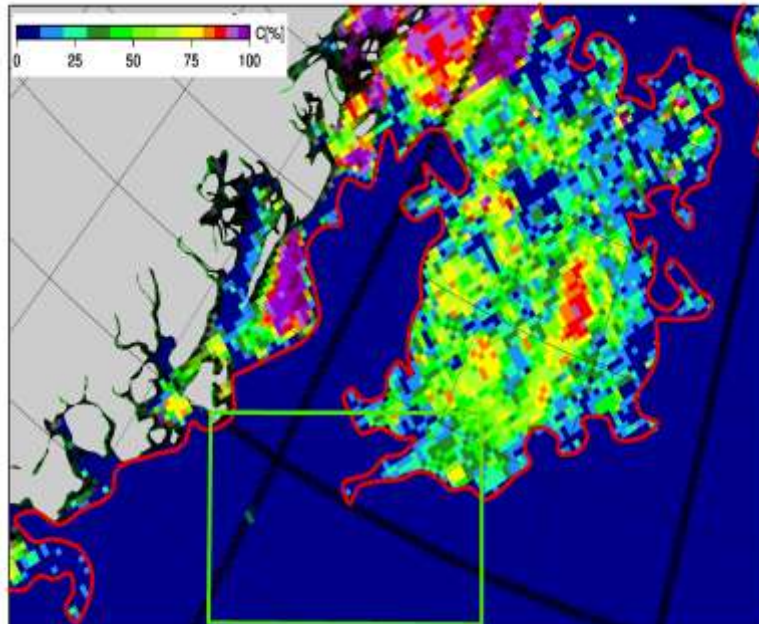
5 баллов

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

Стадия разрушенности, баллы



3. КОМПЛЕКС ПАРАМЕТРОВ: РАЗМЕРЫ ЛЕДЯНЫХ ПОЛЕЙ, СПЛОЧЕННОСТЬ И РАЗРУШЕННОСТЬ



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

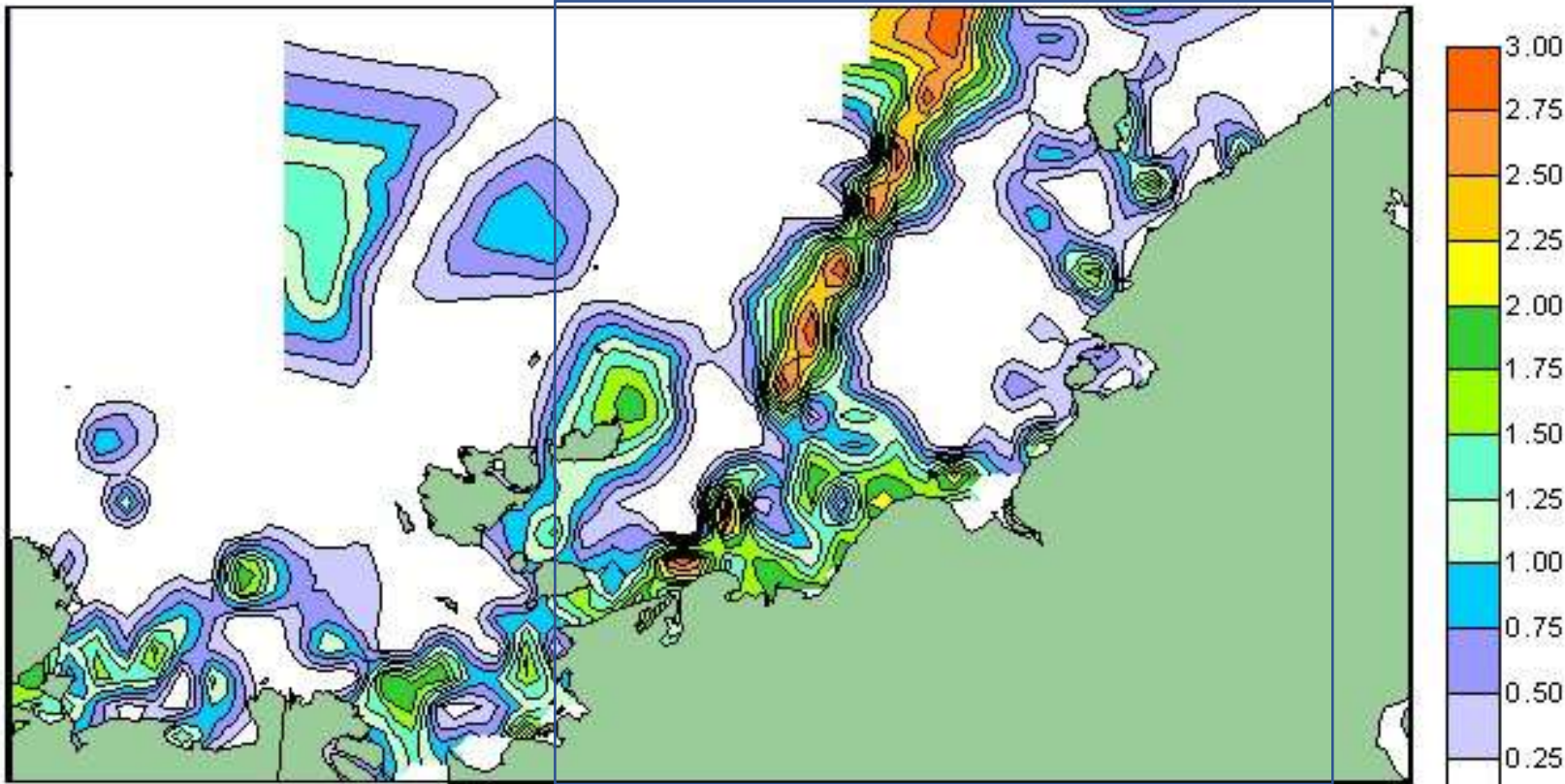
+

Преобладающая
сплоченность:
1-3 и 4-6 баллов



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.

4. ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ И РАЗРУШЕННОСТЬ

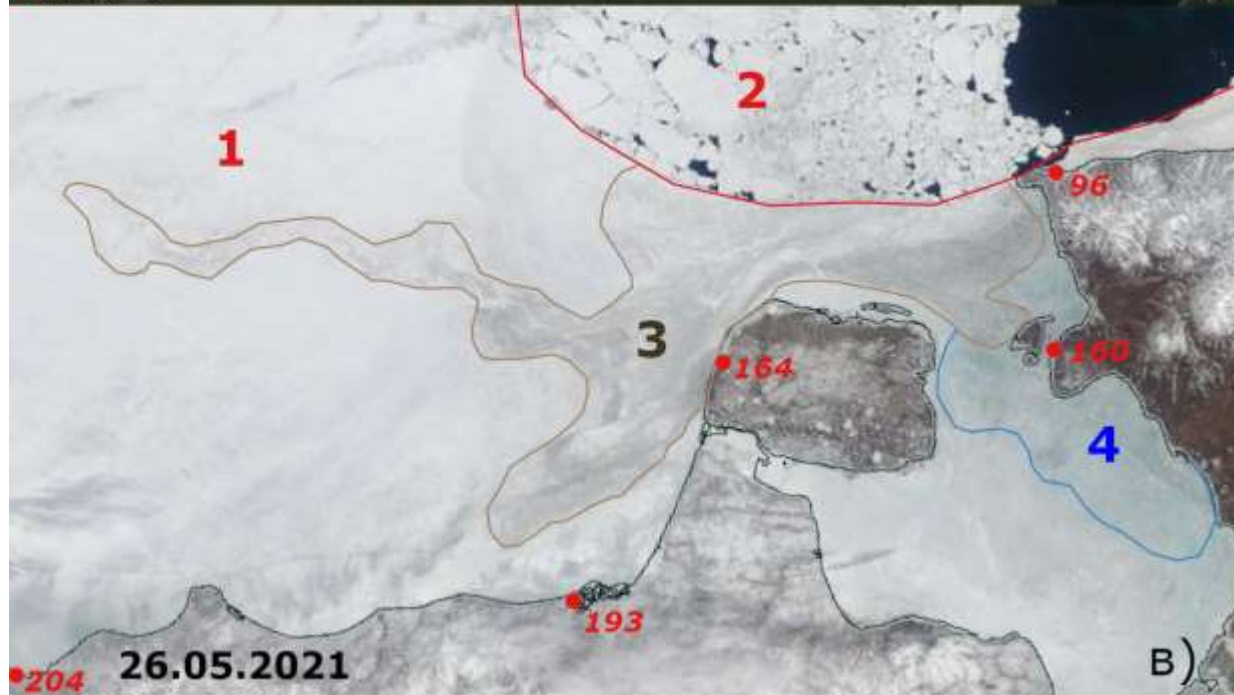
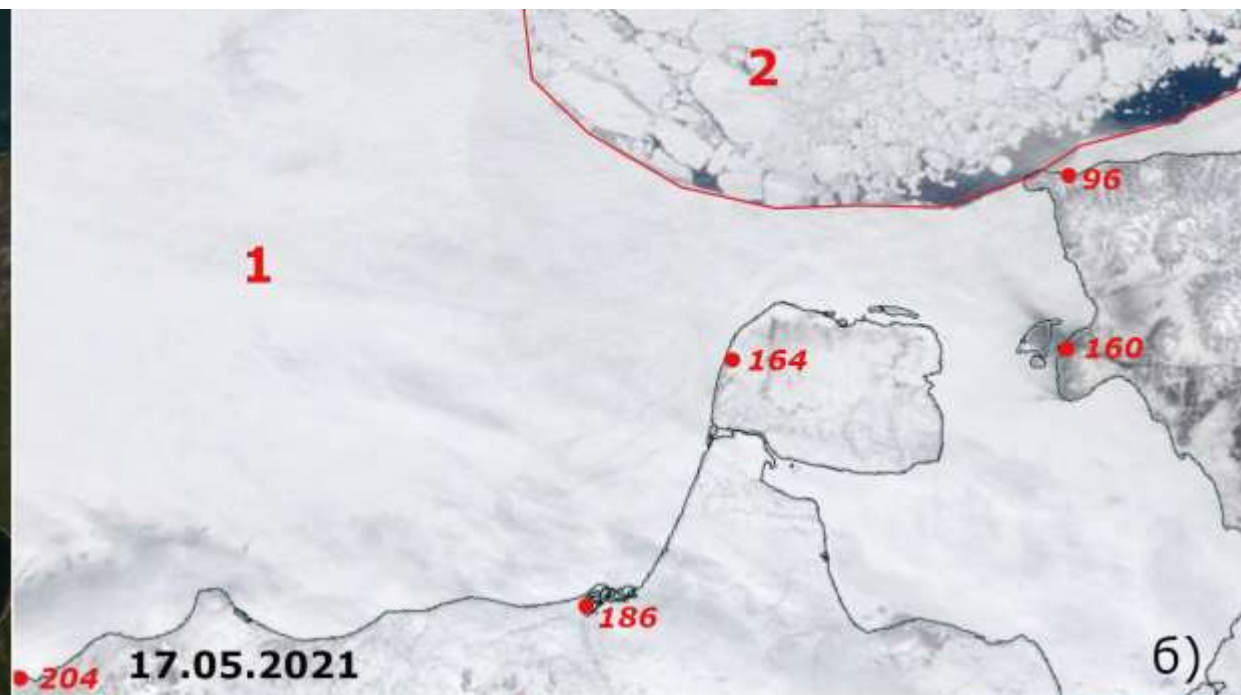


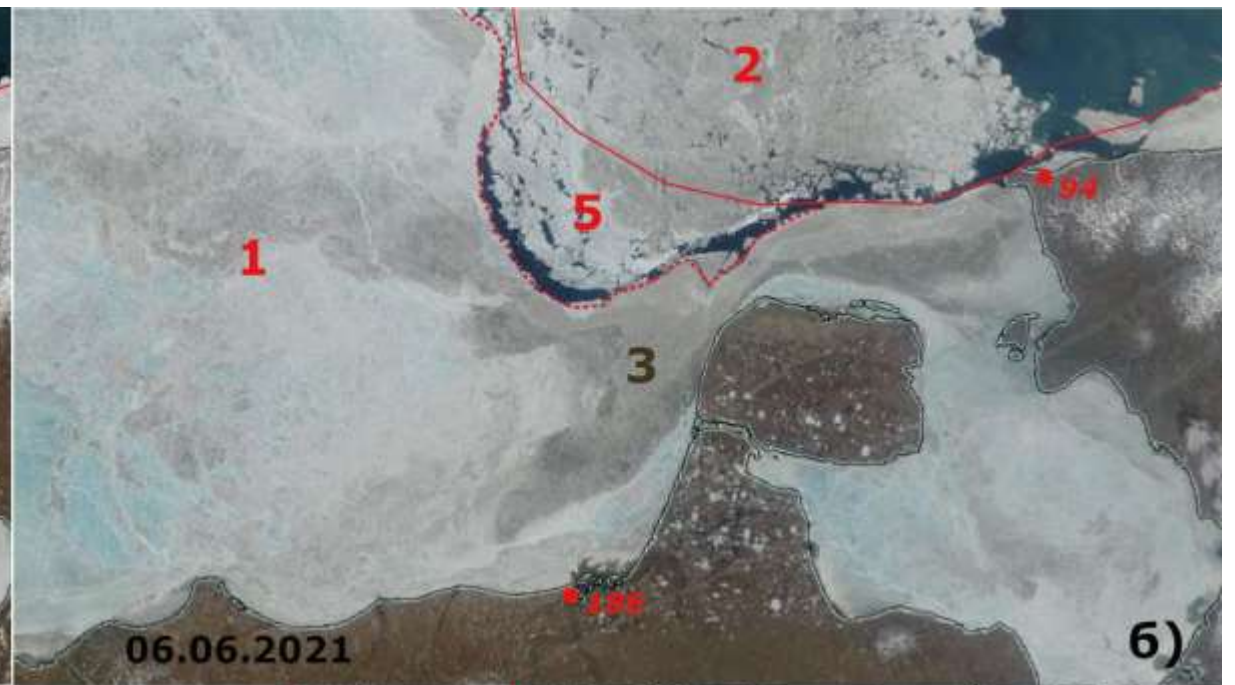
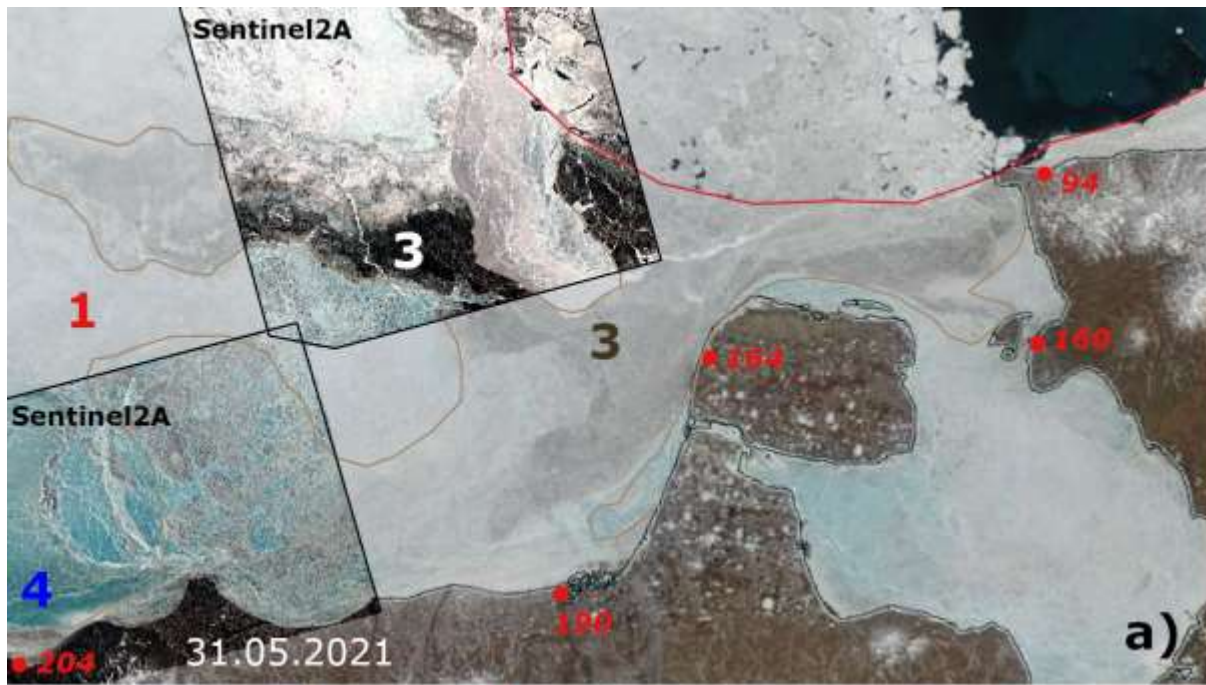
Шкала загрязненности льда	Характеристика поверхности льда
0	Лед чистый, наблюдаются лишь незначительные следы загрязненности.
1	Лед мало загрязнен. Площадь загрязненного льда составляет менее 1/3 от наблюдаемой поверхности льда.
2	Лед средней загрязненности. Площадь загрязненного льда составляет от 1/3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

Загрязненность морского льда в море Лаптевых и Восточно-Сибирском море в июле на основе данных авиаразведок ААНИИ за период 1953-1976 гг. Шкала загрязненности определяется по 3-бальной шкале

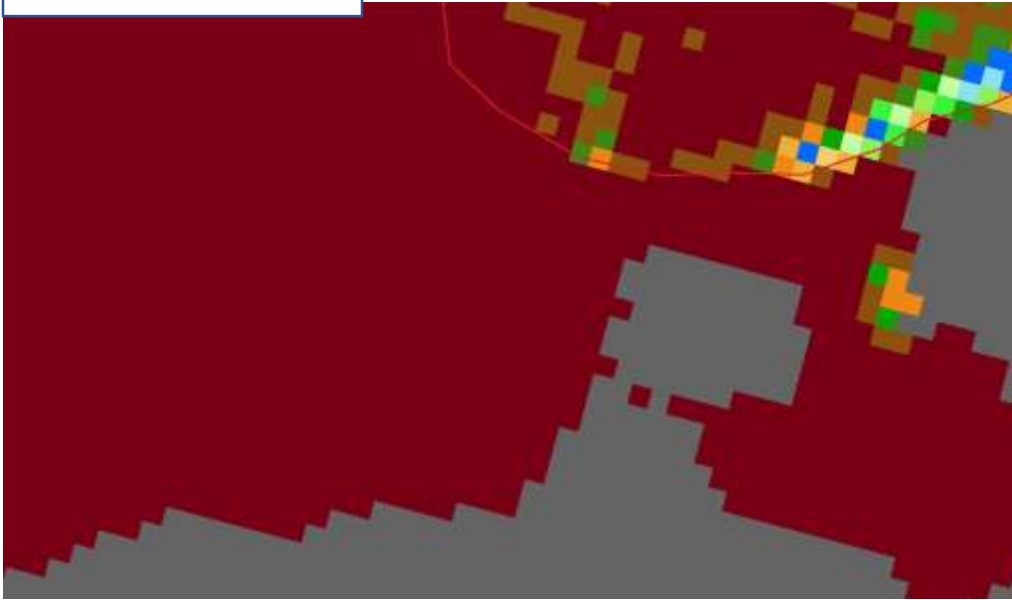


Загрязненность носит слоистый характер, слои с максимальными концентрациями загрязнений чаще расположены ближе к поверхности льда. В начале лета, в процессе таяния на последних стадиях разрушенности, после полного исчезновения с поверхности льда снежного покрова, начинается вытаивание этих слоев. Этот процесс приводит к повышенной концентрации отложений в снежницах и ускорению их сквозного протаивания, а также более высокой концентрации загрязнения на поверхности льда.





17 мая 2021

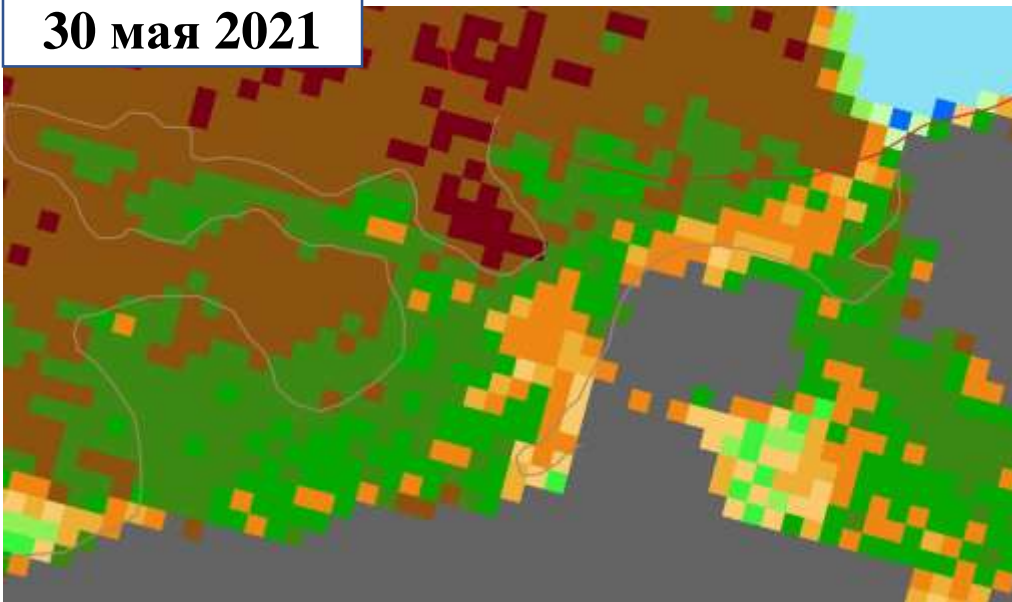


ASI algorithm

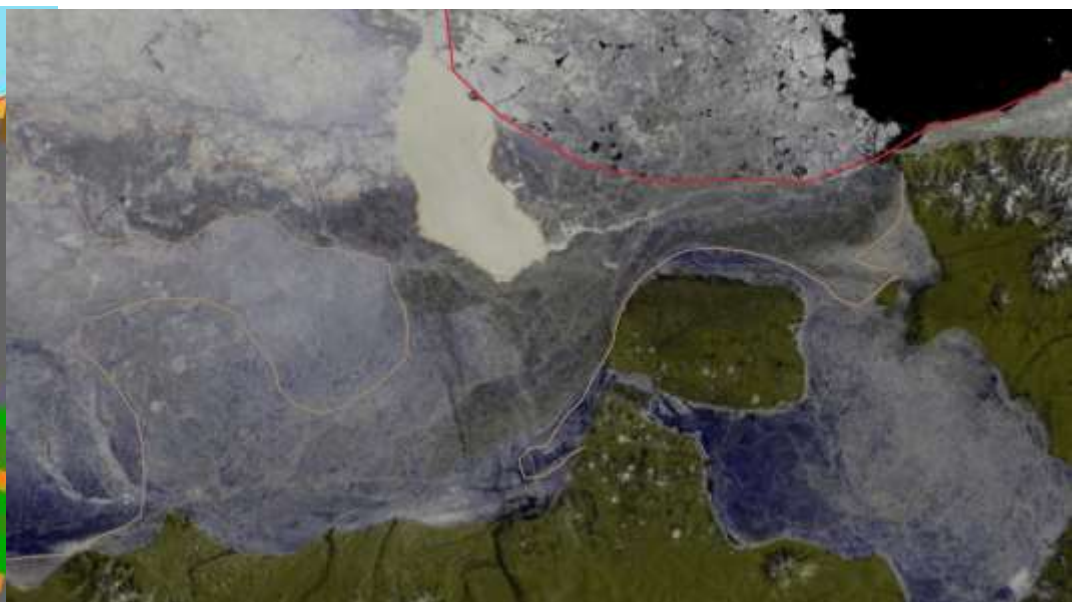


Terra MODIS

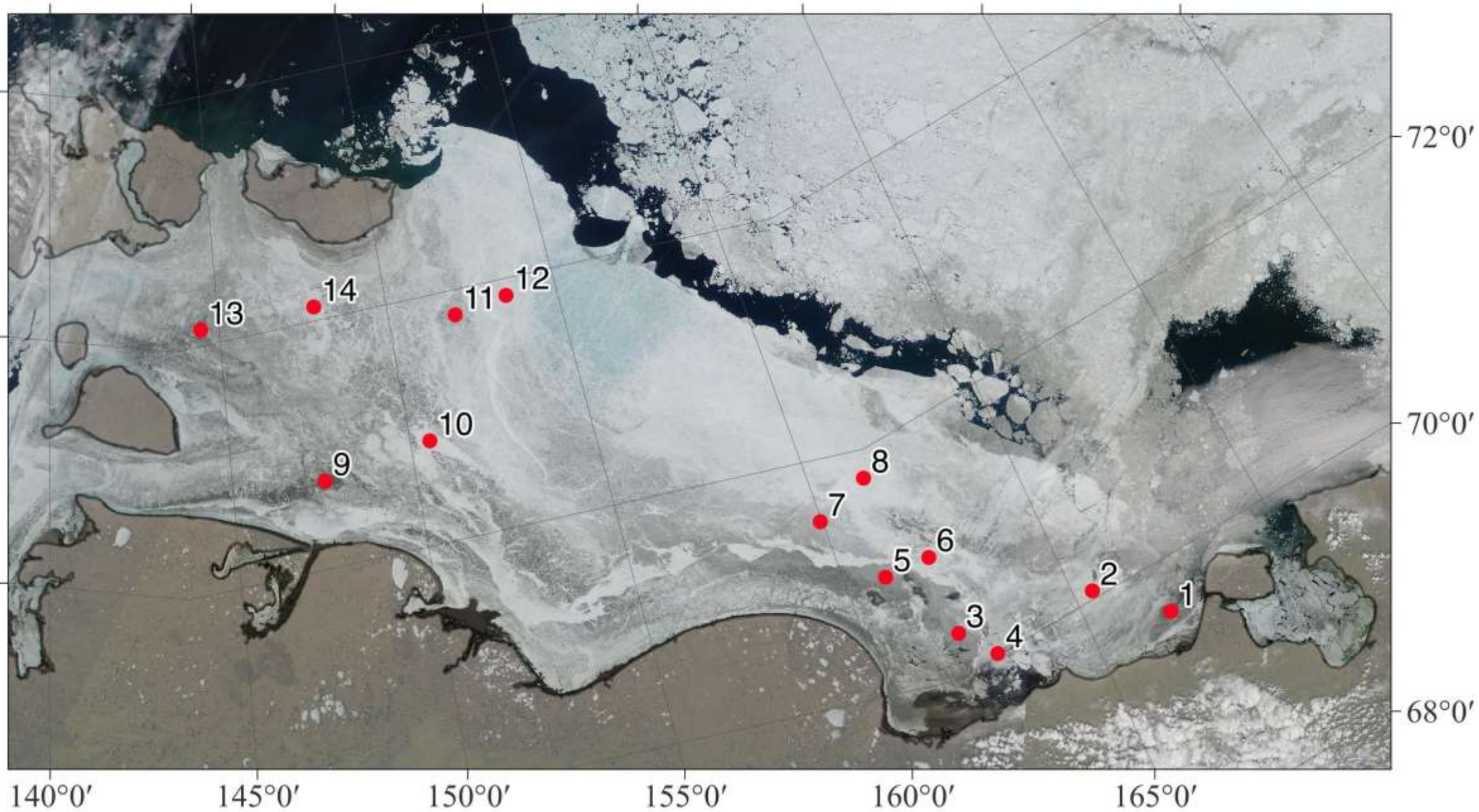
30 мая 2021

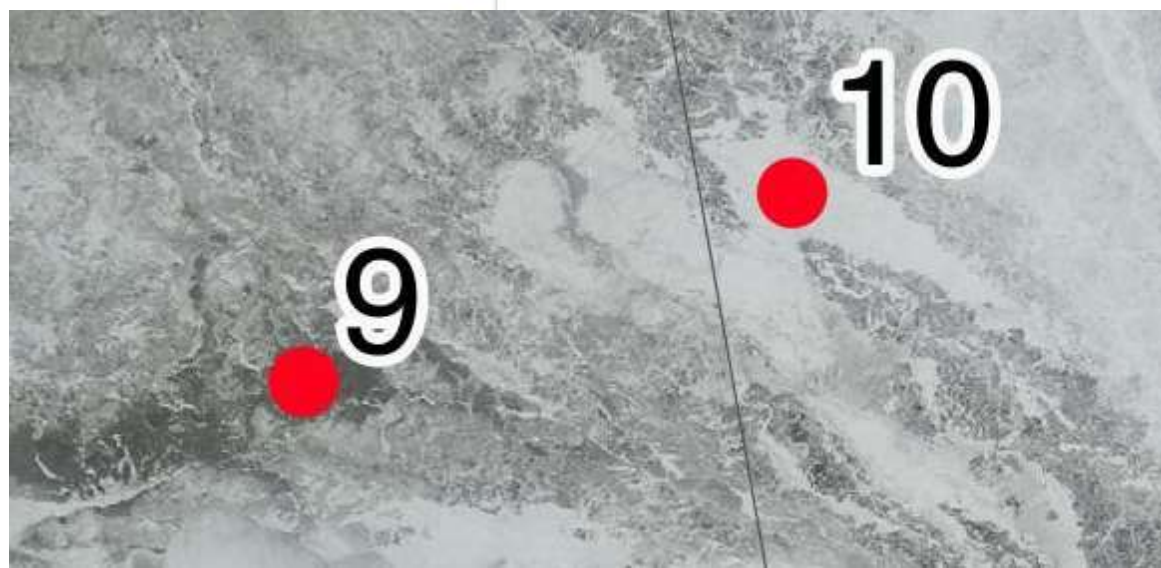
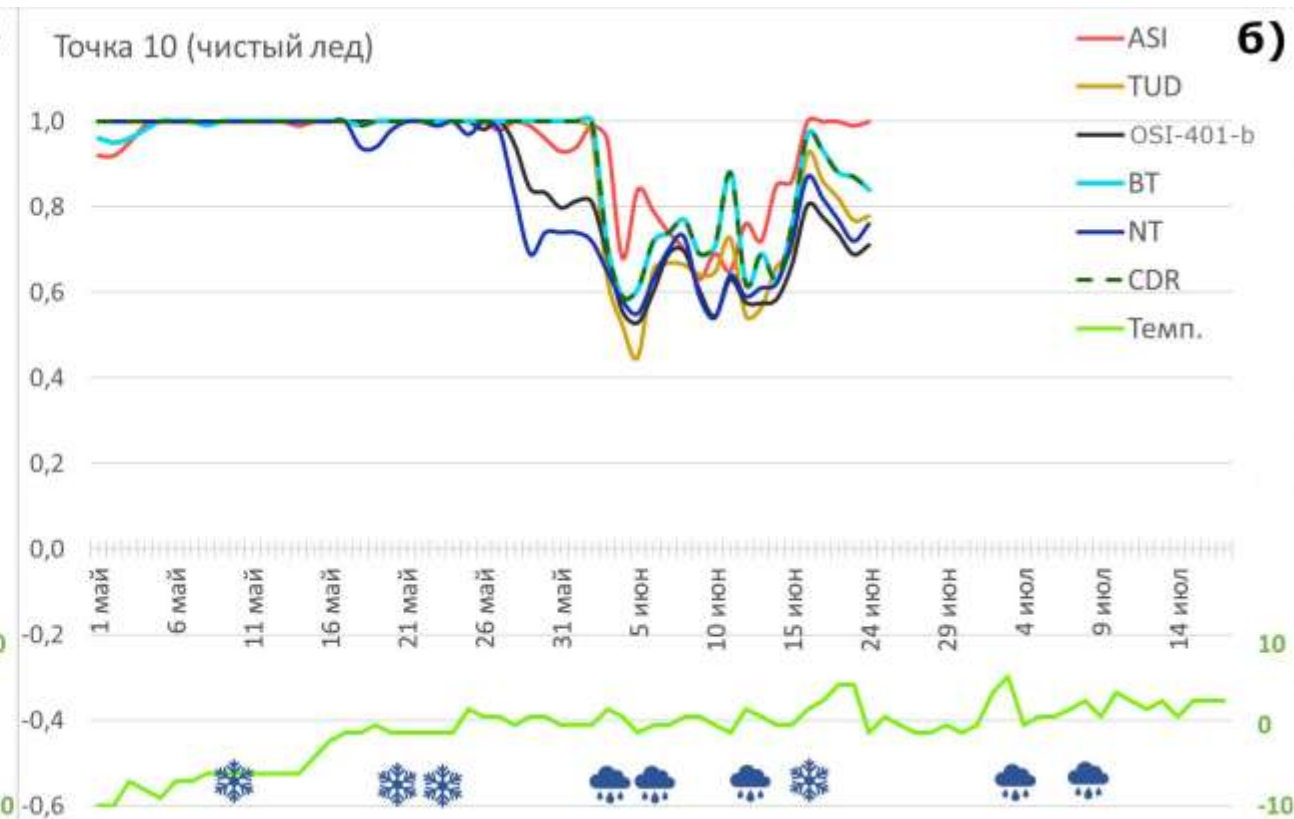
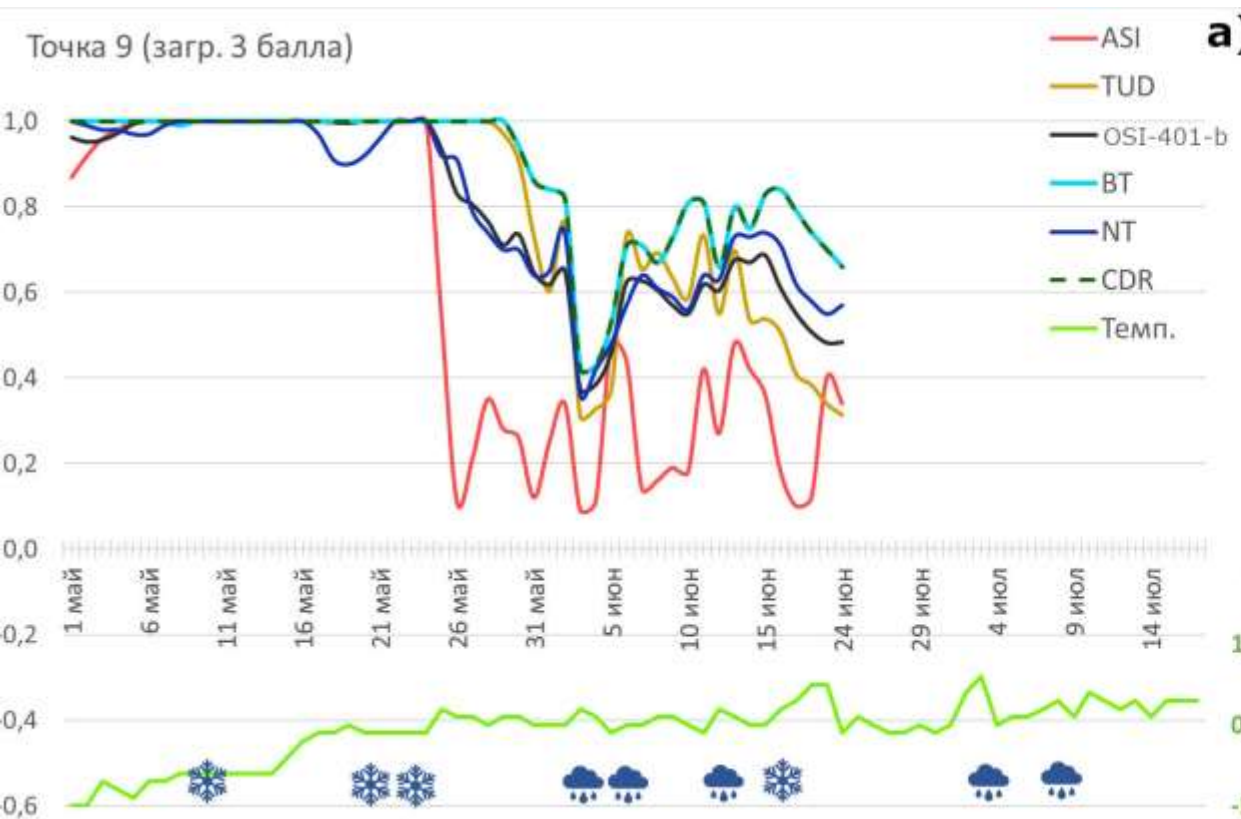


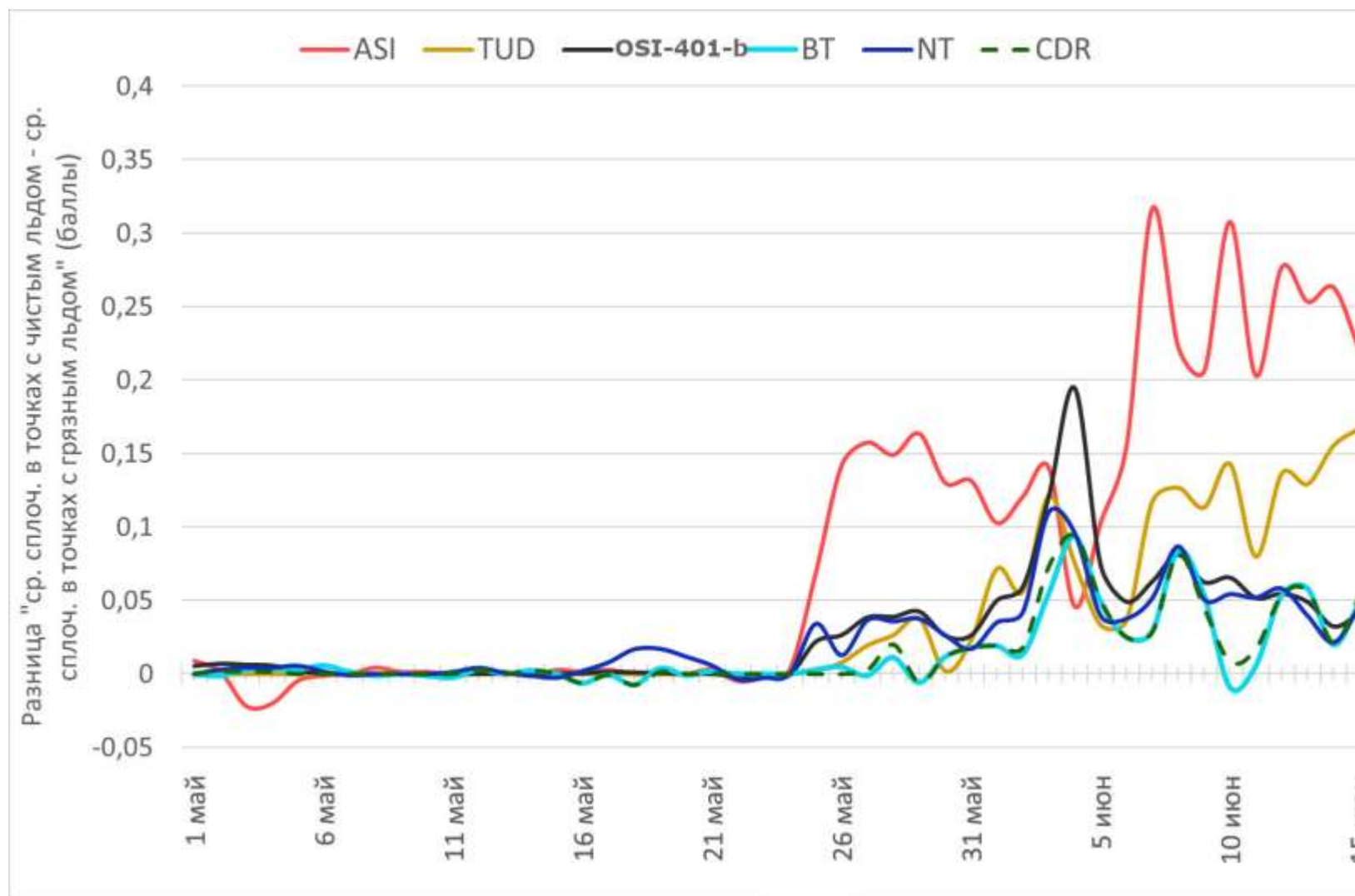
ASI algorithm



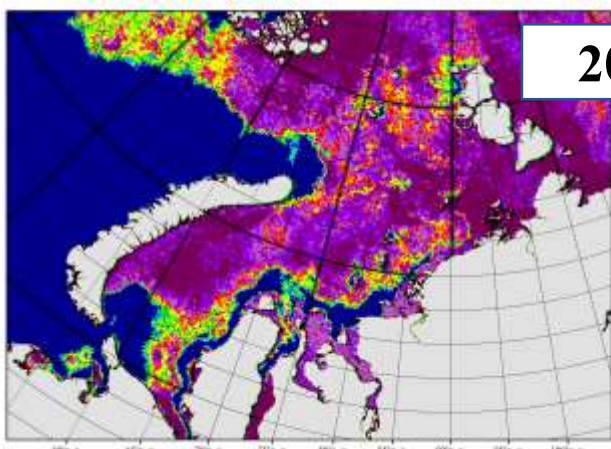
VIIRS (Suomi NPP)



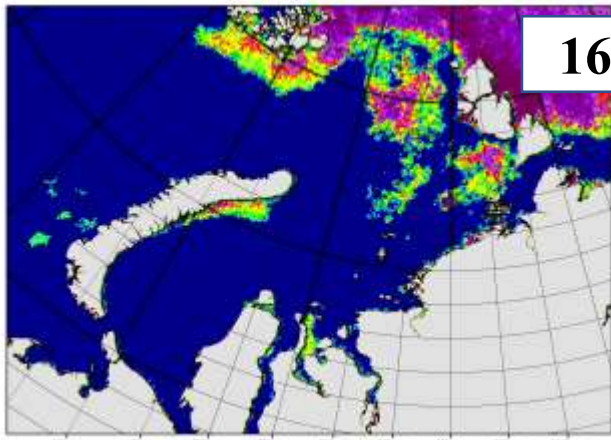
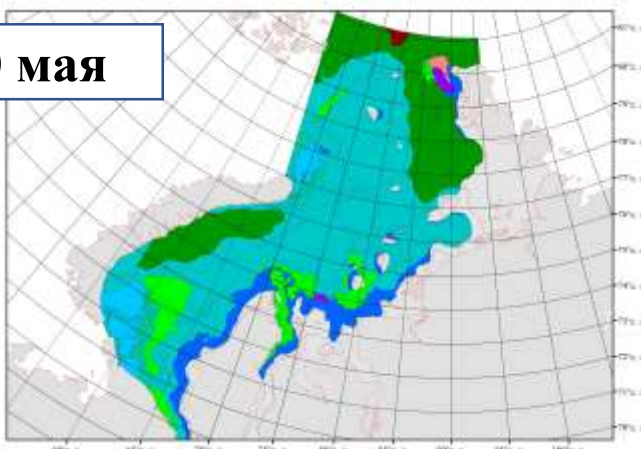




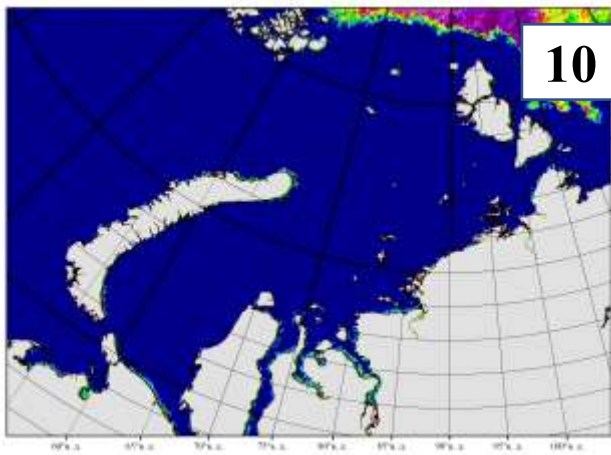
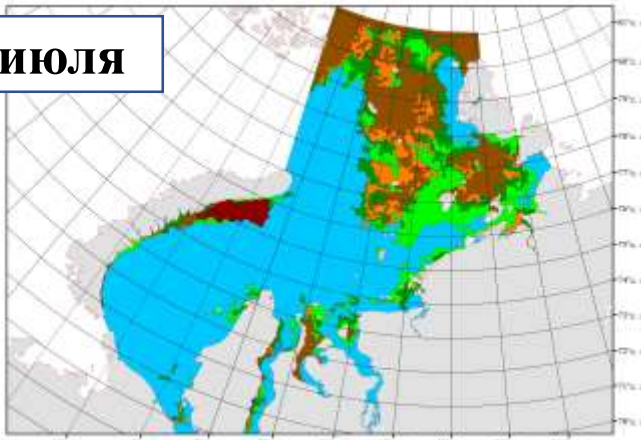
Наиболее чувствителен к загрязненным льдам алгоритм ASI, а на втором месте по чувствительности – алгоритм TUD. Оба алгоритма используют высокочастотный канал 85-91 ГГц. Алгоритмы OSI-401-b, BT, NT и CDR, использующие низкочастотные каналы 19 и 37 ГГц, менее чувствительны к загрязненности. Причины такого явления требуют дальнейшего углубленного изучения и экспериментальных измерений в полевых условиях.



20 мая



16 июля



10 сентября



Сезонность изменения площади «невидимых» данными СМР ледовых зон на примере Карского моря в 2020 г:

Дата	Площадь «невидимых» зон	% от площади Карского моря
20 мая	48 906	5%
18 июня	48 803	5%
16 июля	170 096	17%
20 авг.	29 377	3%
10 сент.	3 233	0,3%

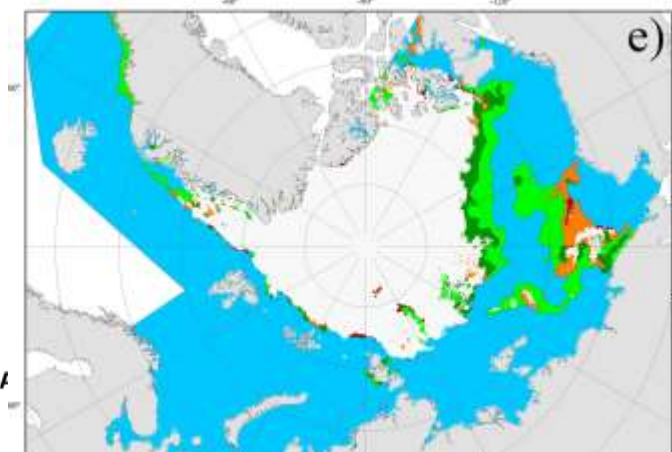
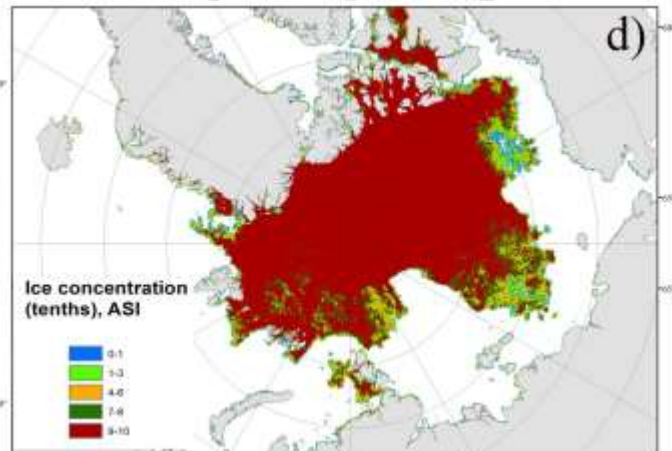
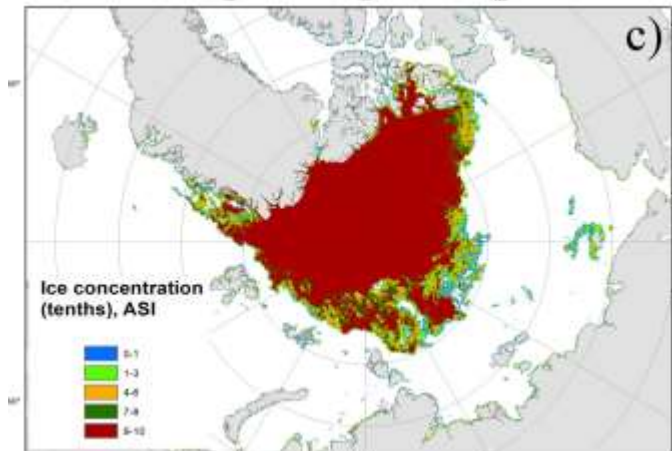
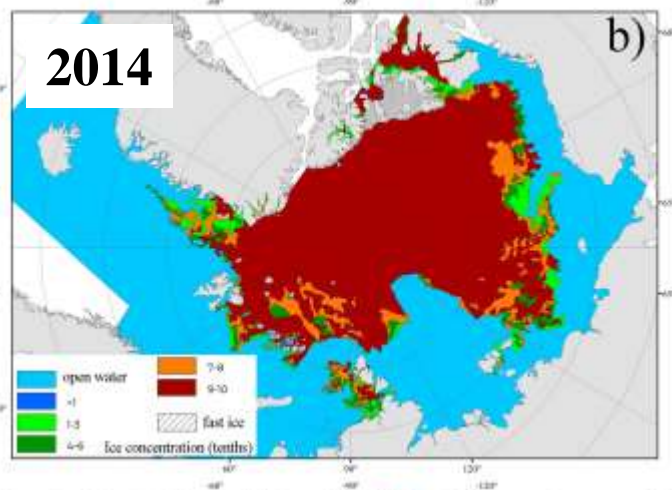
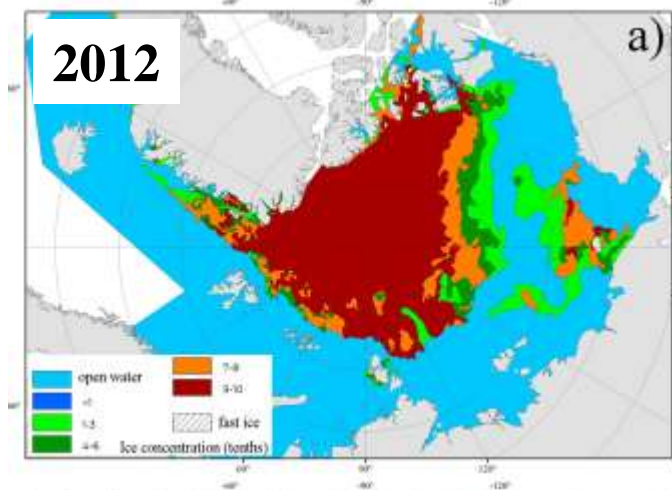
ПЛОЩАДЬ ЛЬДОВ ПО ЛЕДОВЫМ КАРТАМ ААНИИ

Ледовая карта ААНИИ (даты)	Общая площадь льда в СЛО (млн. км ²)	Площадь льдов сплоченностью 1-6 баллов (в % от общей площади)
28.08.2012	4.8	27%
27.08.2013	5.8	14%
26.08.2014	5.6	11%
25.08.2015	5.6	21%
30.08.2016	5.3	24%
29.08.2017	5.4	15%
28.08.2018	5.4	17%
27.08.2019	5.0	18%
25.08.2020	5.0	20%

Максимальное количество разреженных льдов в Северном Ледовитом океане по ледовым картам ААНИИ наблюдалось в 2012 году, а минимальное – в 2014 г.

В 2012 году к концу августа зоны редких и разреженных льдов сохранились в Гренландском, Восточно-Сибирском, Чукотском морях и море Бофорта и составляли **27%** от всей площади океана, покрытой льдами.

В 2014 году разреженные льды сохранялись лишь узкими зонами вдоль сплоченных льдов Арктического бассейна, редких и разреженных льдов было меньше, чем в 2012 году **11%** от всей площади льда



Площадь льда по картам ААНИИ:
2012 г. - 4 755 041 км²
2014 г. - 5 610 218 км²

Площадь льда по алгоритму ASI:
2012 г. - 3 646 103 км²
2014 г. - 5 289 490 км²

Процент площади «невидимых» зон алгоритмом ASI от общей площади, рассчитанной по ледовым картам ААНИИ:
2012 г. – 23,3%
2014 г. – 5,7%



Спасибо за внимание!

Алексеева Татьяна Алексеевна
Зав. лабораторией
изучения ледового плавания
ААНИИ
taa@aari.ru

