

Сплоченность морского льда в Карском море по данным микроволнового радиометра МТВЗА-ГЯ

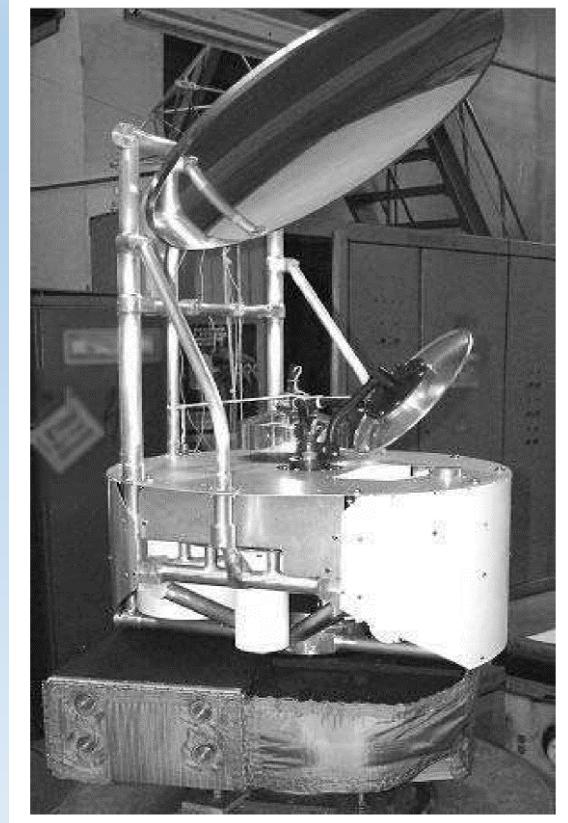
*Рубакина В.А., Федоров С.В., Кубряков А.А.
(Морской гидрофизический институт РАН)*

Г. Москва 10–14 ноября 2025 г.

МТВЗА-ГЯ. Краткие сведения

МТВЗА-ГЯ (модуль температурного и влажностного зондирования атмосферы) – микроволновый сканер-зондировщик, устанавливаемый на космических аппаратах метеорологического назначения “Метеор-М”. МТВЗА-ГЯ имеет частотные каналы близкие радиометрам AMSU и SSMIS, его данные могут быть использованы для решения широкого круга задач гидрометеорологии, климатологии и океанологии.

Важным элементом процесса восстановления геофизических параметров по данным микроволновых радиометров является их внешняя калибровка. Она заключается в пересчете температур антенны в радиояркостную температуру. Эта калибровка может быть выполнена на основе математического моделирования радиационного переноса или интеркалибровки по измерениям западных микроволновых радиометров, для которых внешняя калибровка выполнена с достаточно высокой точностью. Подобные результаты внешней калибровки для каналов сканера и зондировщика МТВЗА-ГЯ приведены в работах (Чернявский Г. М. и др., 2018; Заболотских Е. В. и др., 2021; Успенский А.Б. и др., 2016).



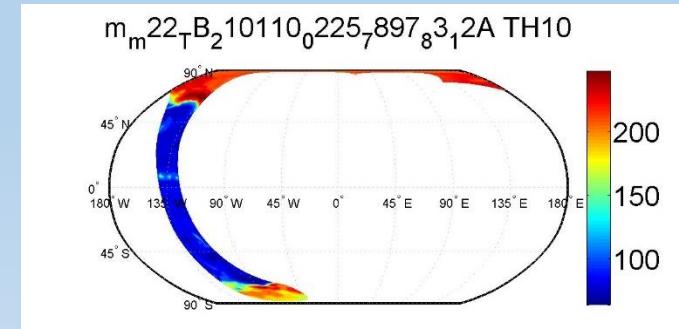
Микроволновый
сканер/зондировщик МТВЗА-ГЯ*

Используемые данные

1. Данные о радиояркостной температуре на различных каналах микроволнового радиометра МТВЗА-ГЯ на спутнике «Метеор-М» № 2-2 за 2021 год.

Источник: <http://planet.rssi.ru/calval/public-mtvza>

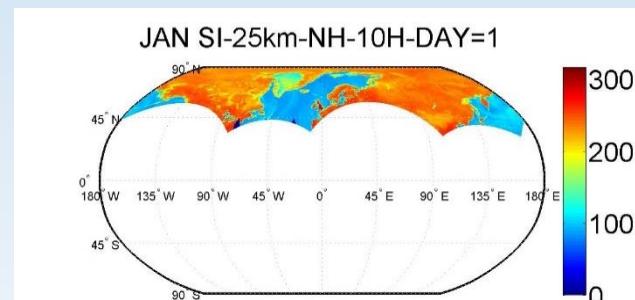
Пример.
Радиояркостная
температура за
10.01.2021 (канал 10,6
ГГц, Н-поляризация,
восходящий виток) по
данным МТВЗА



2. Данные о радиояркостной температуре за 2021 год на различных каналах радиометра AMSR2, установленного на спутнике GCOM-W1.

Источник:
https://nsidc.org/data/au_si25/versions/1

Пример. Радиояркостная
температура за
10.01.2021 (канал 10,6
ГГц, Н-поляризация) по
данным AMSR2

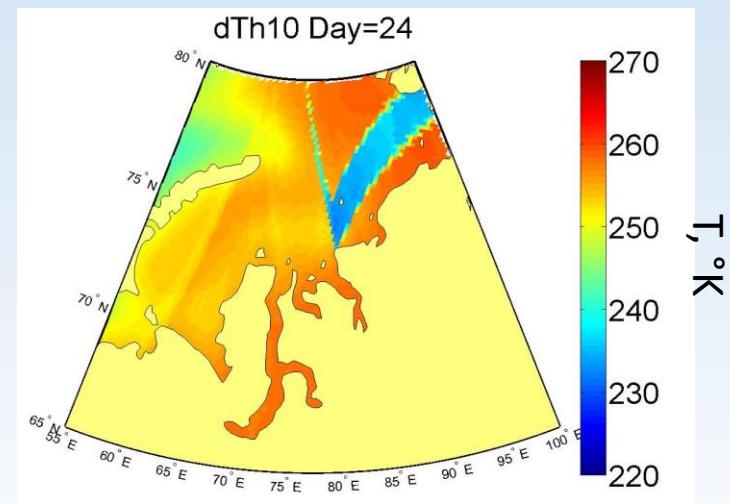
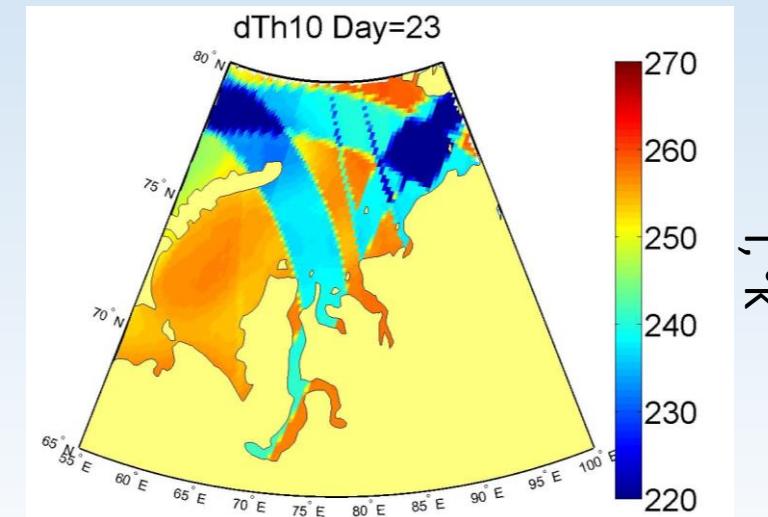
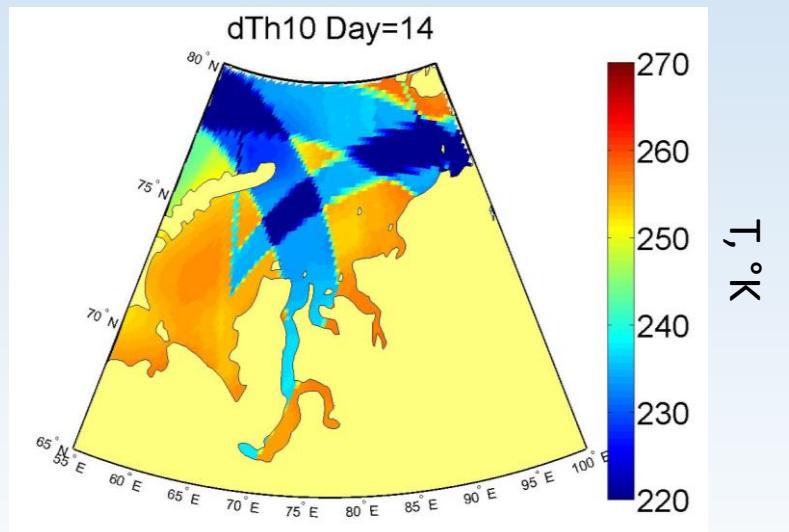


Интеркалибровка данных МТВЗА

Интеркалибровка выполнялась путем сравнения со среднесуточными температурами, полученными по измерениям прибора AMSR2 на спутнике GCOM-W1.

1. Предобработка радиояркостных температур МТВЗА-ГЯ, включала отбраковку некорректных значений и составление среднесуточных композитов.

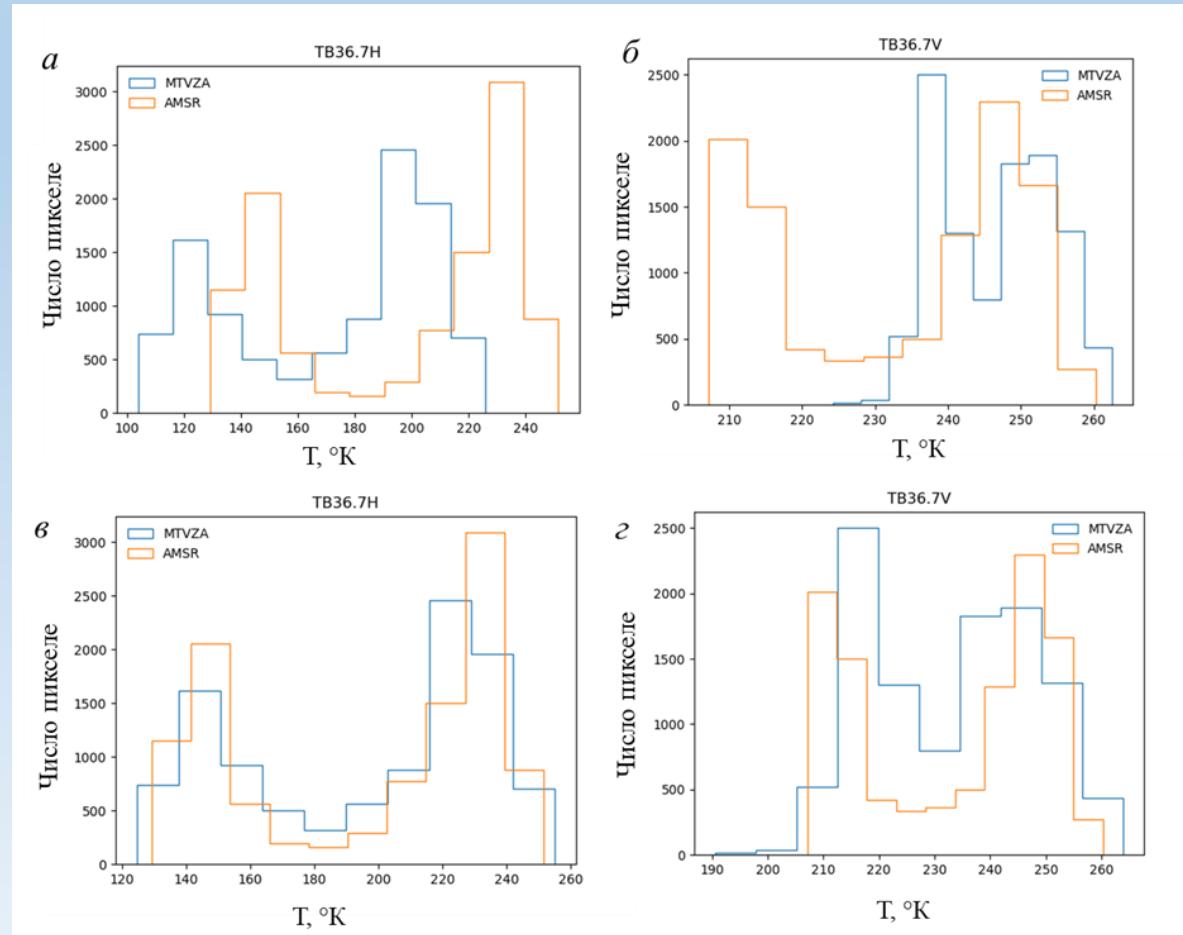
Примеры данных, содержащих некорректные значения и артефакты



Интеркалибровка данных МТВЗА

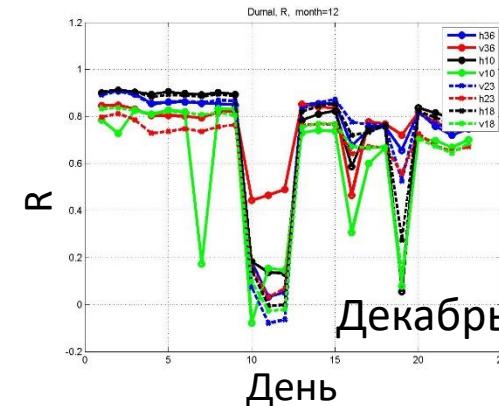
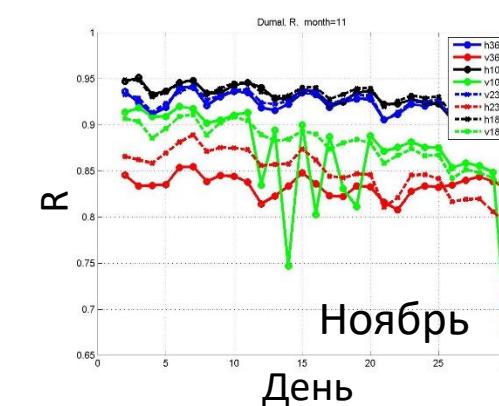
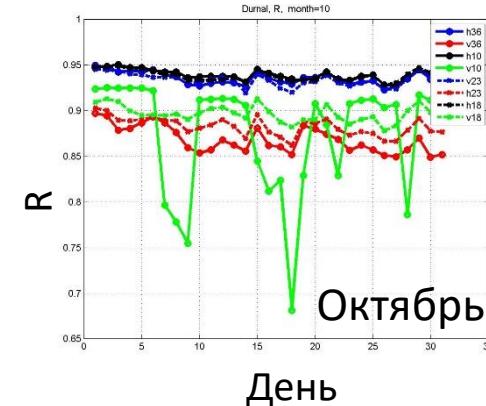
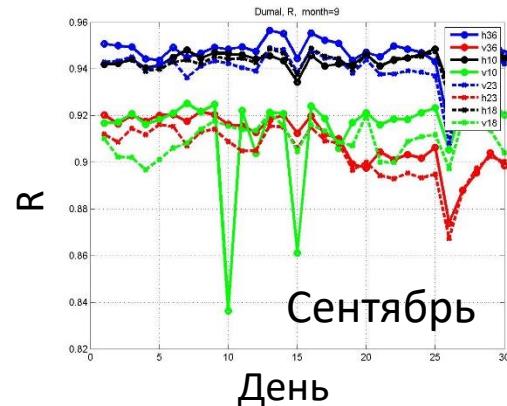
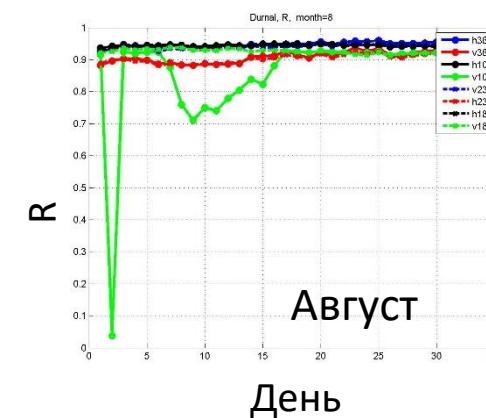
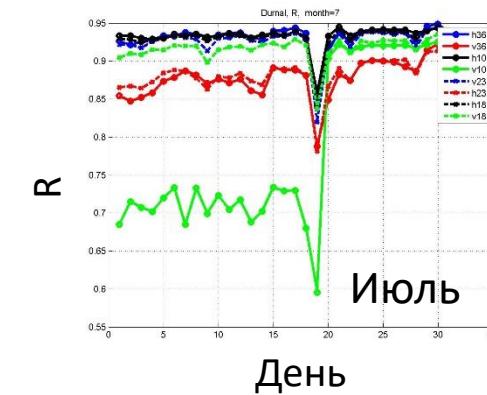
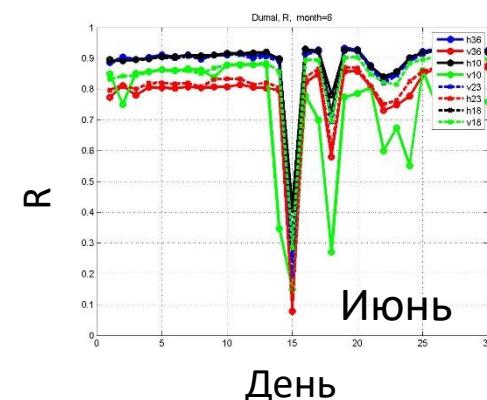
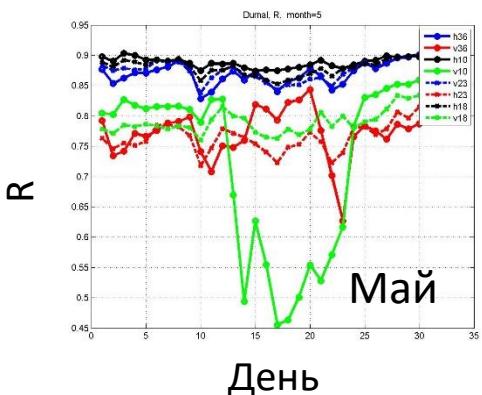
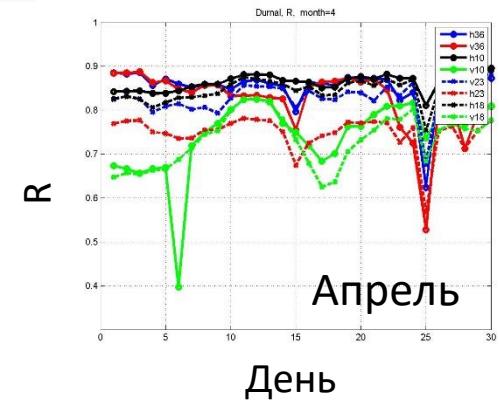
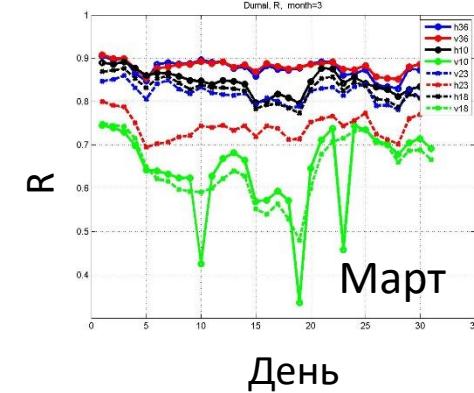
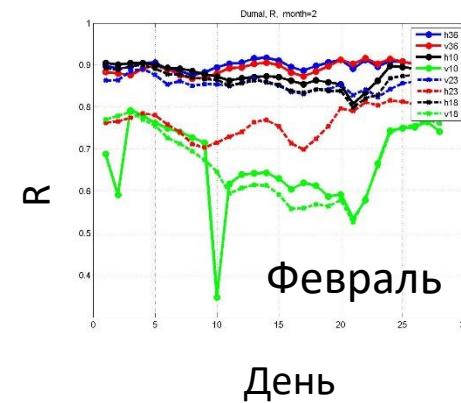
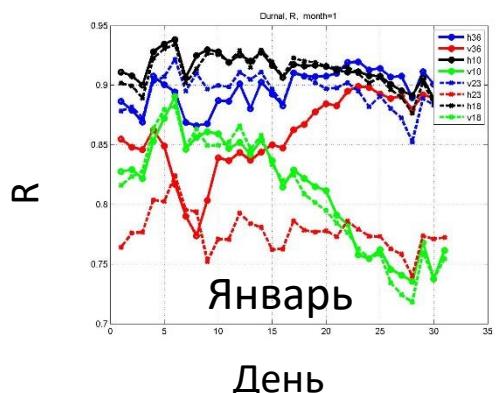
2. По данным МТВЗА и AMSR2 методом наименьших квадратов были вычислены калибровочные коэффициенты (коэффициенты линейной регрессии).

- В результате сравнения данных установлено, что радиояркостные температуры российского прибора соответствуют измерениям AMSR2 практически на всех частотных каналах. (Иключение – канал 91,65 ГГц горизонтальной поляризации – измерения МТВЗА-ГЯ сильно зашумлены).
- Имеют место двумодальные распределения температур, у которых первая мода (с меньшими значениями) соответствует свободной от льда воде, а вторая (с большими значениями) – морскому льду. После применения полученных калибровочных коэффициентов радиояркостные температуры МТВЗА-ГЯ становятся более согласованными с температурами AMSR2.



Характерные значения радиояркостных температур микроволновых радиометров МТВЗА-ГЯ и AMSR2 на каналах 36,7 ГГц горизонтальной и вертикальной поляризации: а, б – до калибровки; в, г – после калибровки

Изменчивость коэффициентов корреляции радиояркостных температур на различных каналах



Методики расчета концентрации морского льда

1. Методика на основе поляризационной разницы PD*

- $PD = PD^{SI} \times SIC + (1 - SIC)PD^{OW}$,
- PD^{SI} — точка привязки над сплошным морским льдом;
- PD^{OW} — точка привязки над полностью свободной ото льда морской водой. В качестве точек привязки выбираются следующие значения PD:
- $PD_{10}^{SI} \approx 29K$, $PD_{10}^{OW} \approx 120K$, $PD_{36}^{SI} \approx 17K$, $PD_{36}^{OW} \approx 87K$
- Итоговые формулы расчета:
 - $SIC10 = \frac{120 - PD_{10}}{91}$ или $SIC36 = \frac{87 - PD_{36}}{70}$
- Далее – дополнительное применение погодных фильтров*.

Методики расчета концентрации морского льда

2. Методика на основе поляризационного соотношения PR (методика NASA Team)**

Алгоритм NASA Team (NT-1)** основывается на двух соотношениях – поляризационном соотношении PR(19) и градиентном соотношении GR(37V19V):

$$PR(19) = \frac{T_b(19V) - T_b(19H)}{T_b(19V) + T_b(19H)},$$

$$GR(37V19V) = \frac{T_b(37V) - T_b(19V)}{T_b(37V) + T_b(19V)}$$

Концентрация льда: $C = \frac{A_1 + A_2 \cdot PR}{A_3 + A_4 \cdot PR}$

A_i зависят от температур (точки привязки) чистой воды, однолетнего и многолетнего льда, а также доли многолетнего льда F .

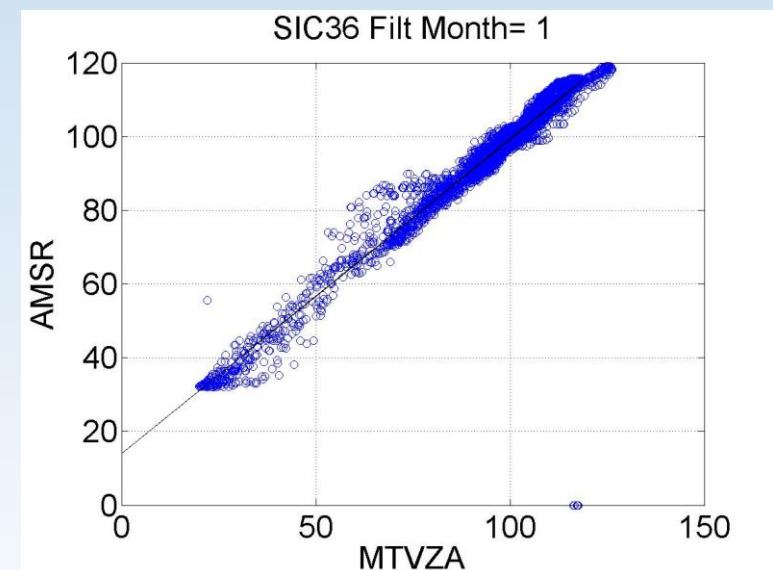
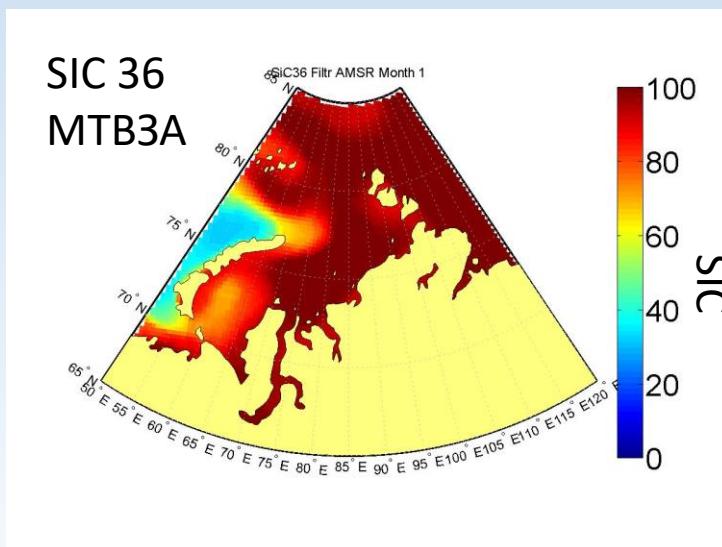
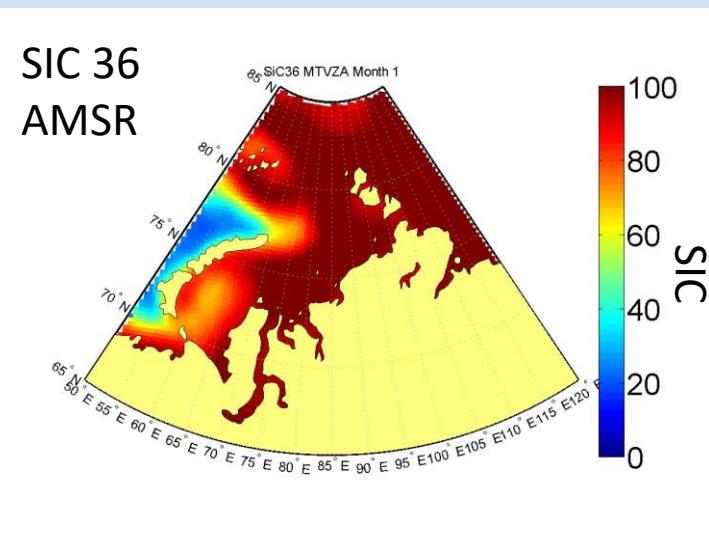
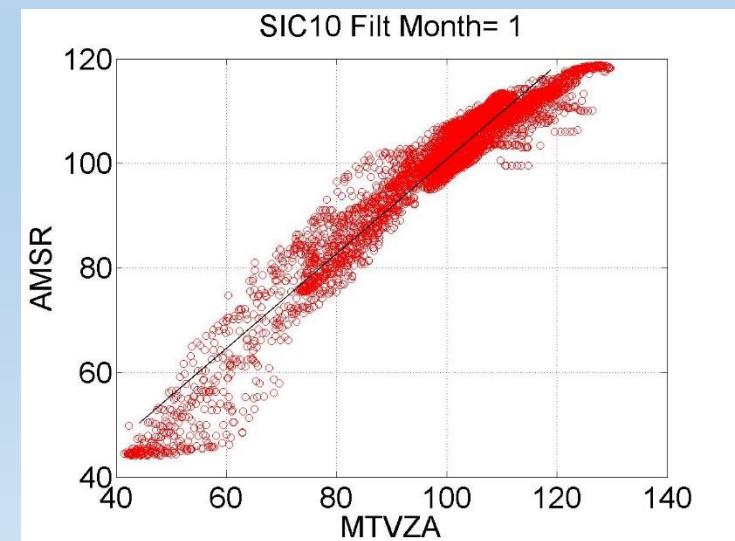
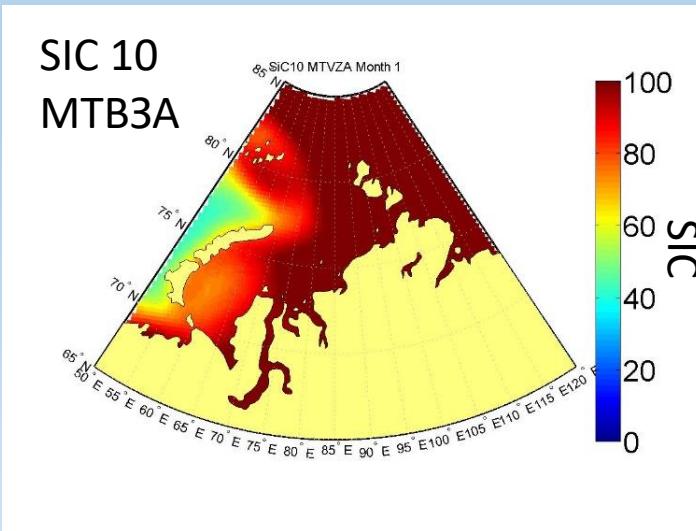
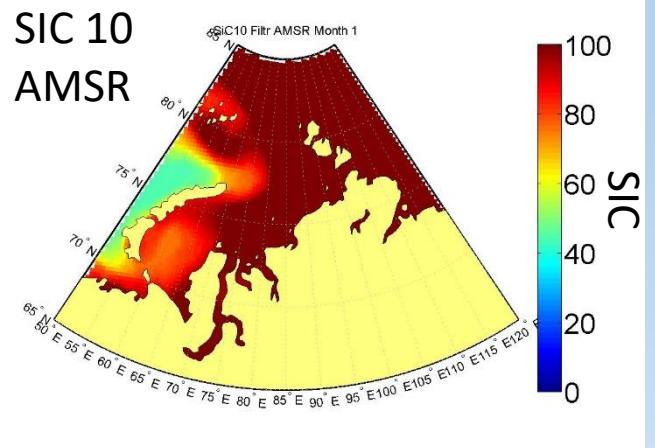
Доля многолетнего льда: $F = \frac{B_1 + B_2 \cdot GR}{B_3 + B_4 \cdot GR}$

B_i зависят от температур (точки привязки) чистой воды, однолетнего и многолетнего льда, а также от концентрации льда C .

**Подробно представлена в (Cavalieri et al., 1984)

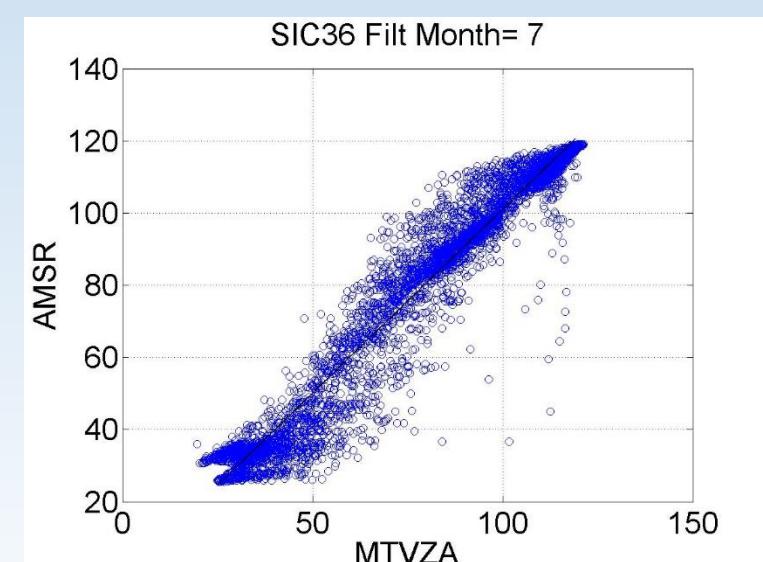
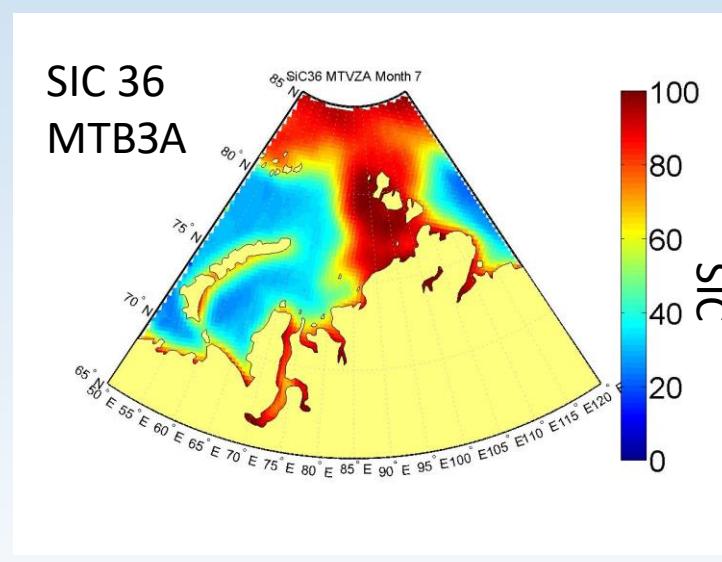
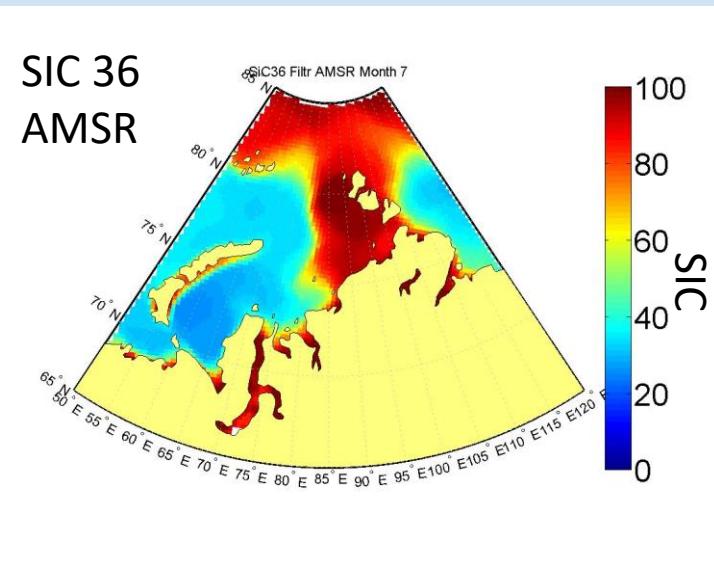
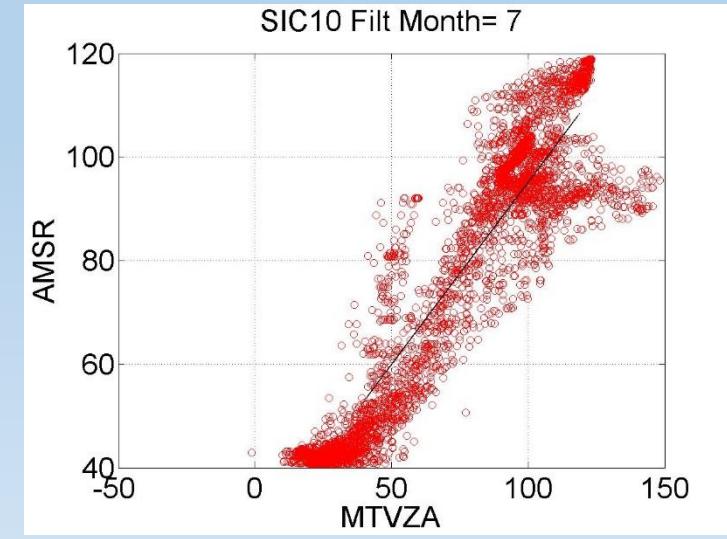
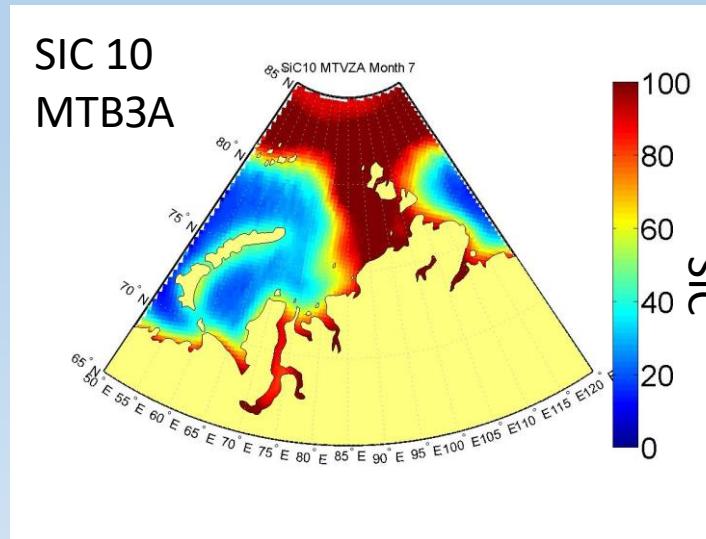
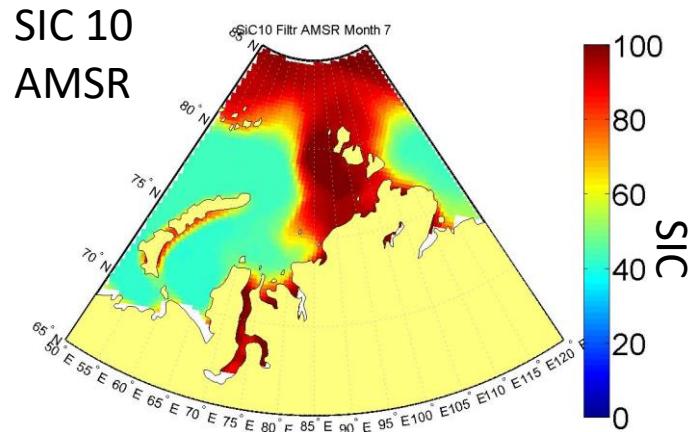
Концентрация морского льда (на примере данных за январь)

1. Методика на основе поляризационной разницы PD*



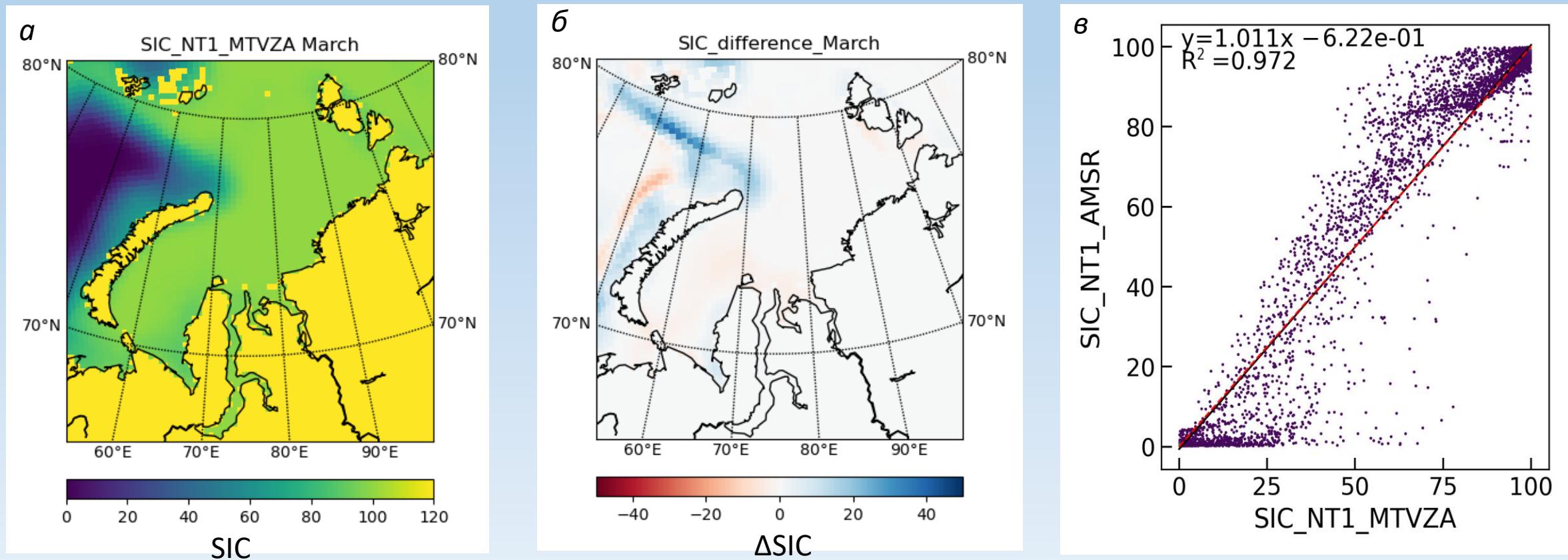
Концентрация морского льда (на примере данных за июль)

1. Методика на основе поляризационной разницы PD*



Концентрация морского льда (на примере данных за март)

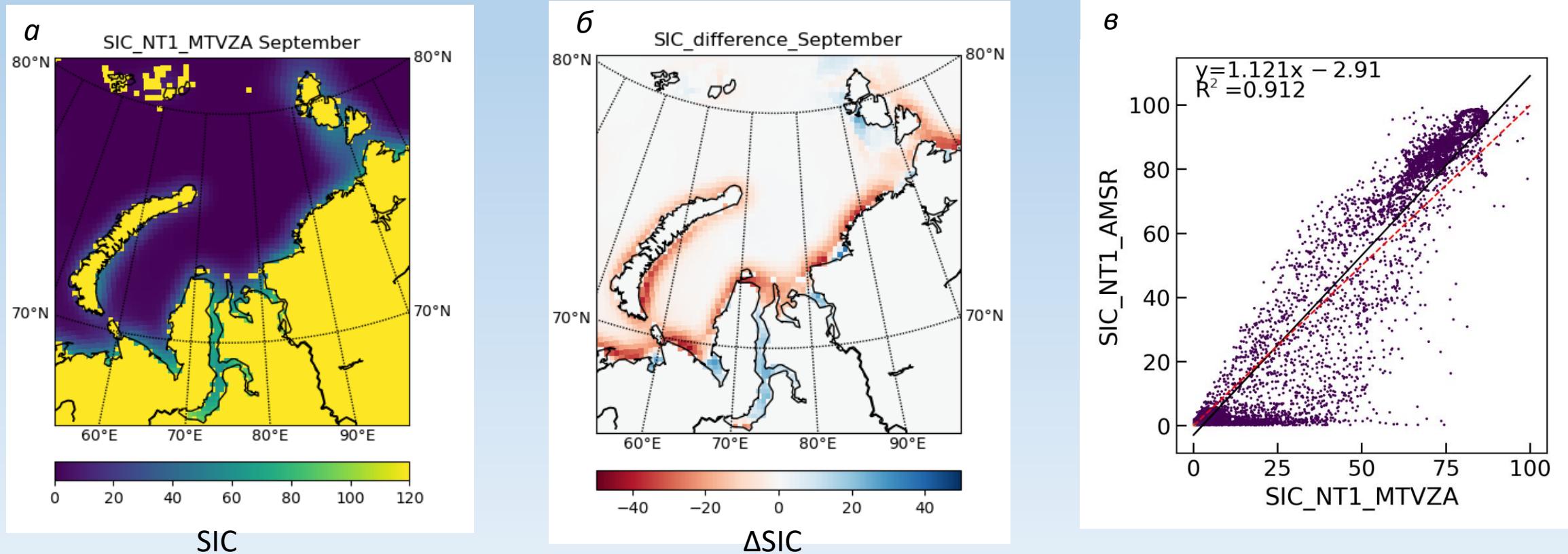
2. Методика на основе поляризационного соотношения PR



а — среднемесячная сплоченность льда в марте 2021; б — разница между оценками сплоченности по данным микрорадиометров МТВЗА-ГЯ и AMSR; в — диаграммы рассеяния оценок сплоченности морского льда

Концентрация морского льда (на примере данных за сентябрь)

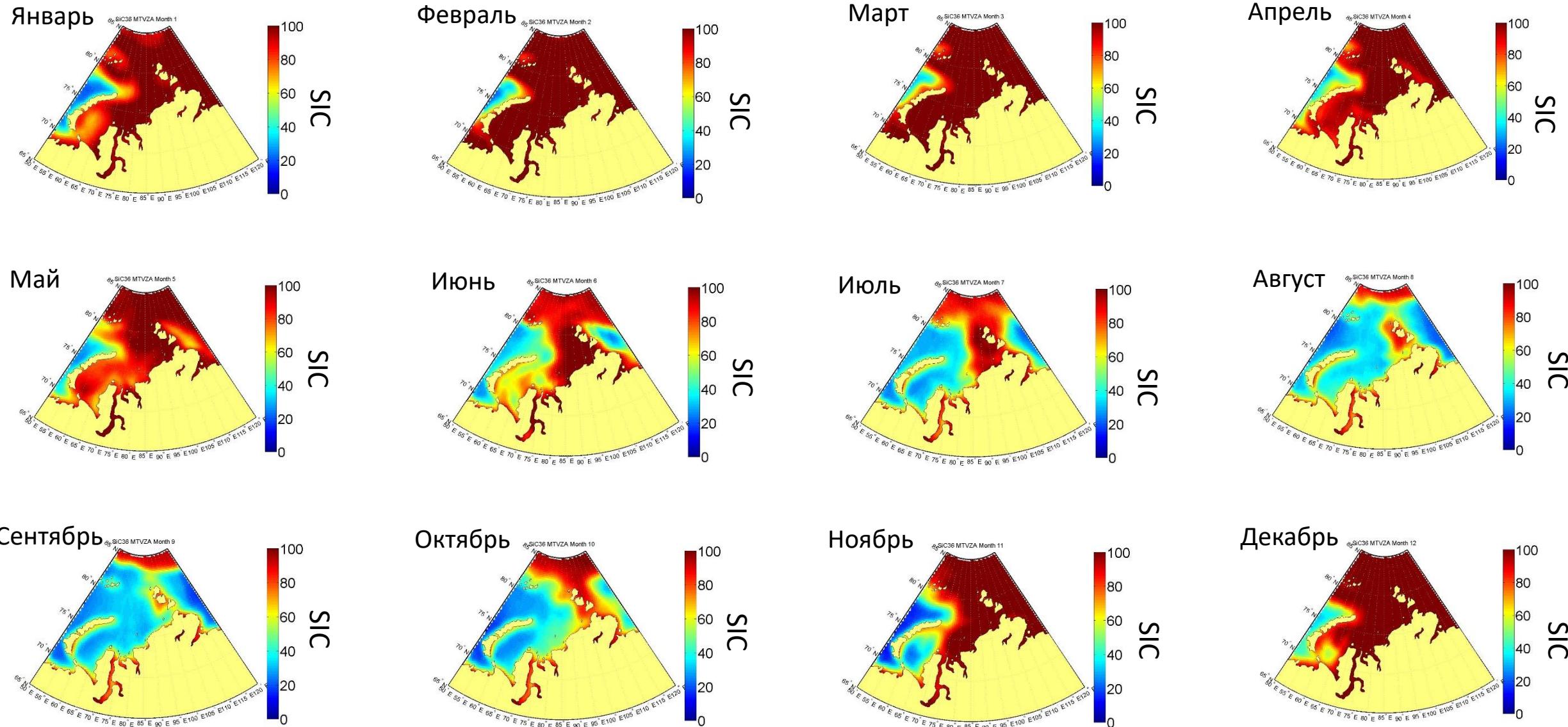
2. Методика на основе поляризационного соотношения PR



а — среднемесячная сплоченность льда в сентябре 2021; б — разница между оценками сплоченности по данным микрорадиометров МТВЗА-ГЯ и AMSR; в — диаграммы рассеяния оценок сплоченности морского льда

Внутригодовая изменчивость поля концентрации морского льда

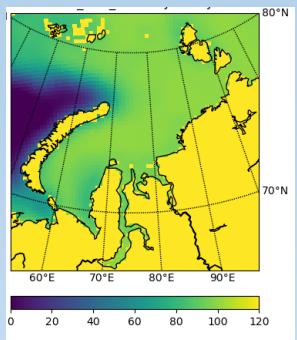
1. Методика на основе поляризационной разницы PD*



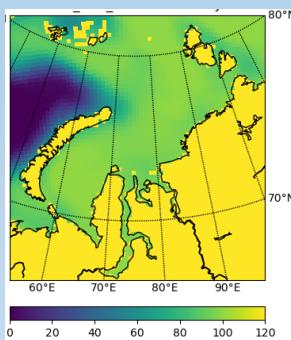
Внутригодовая изменчивость поля концентрации морского льда

2. Методика на основе поляризационного соотношения PR

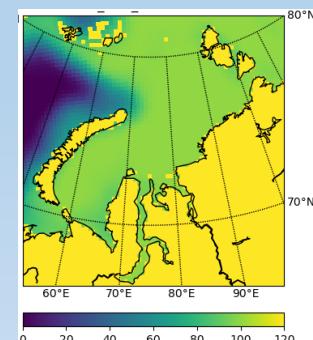
Январь



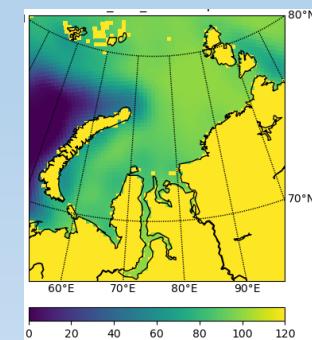
Февраль



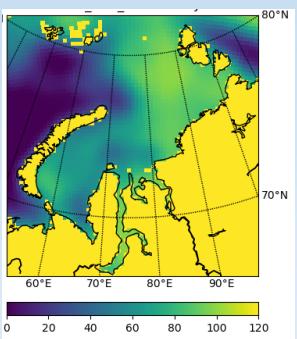
Март



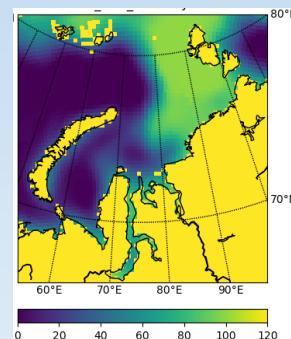
Апрель



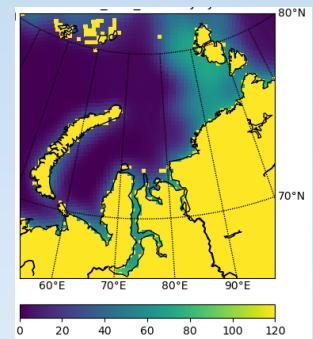
Май



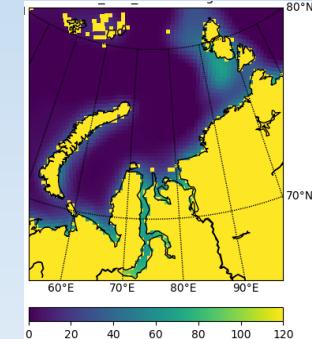
Июнь



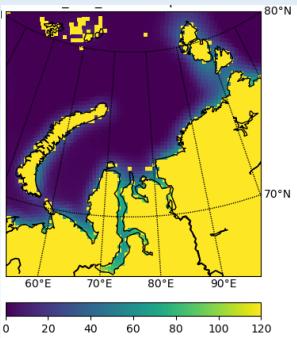
Июль



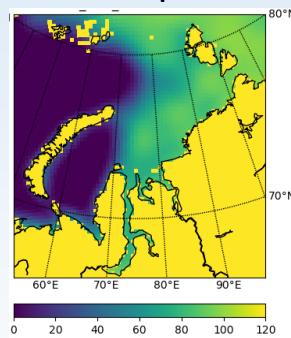
Август



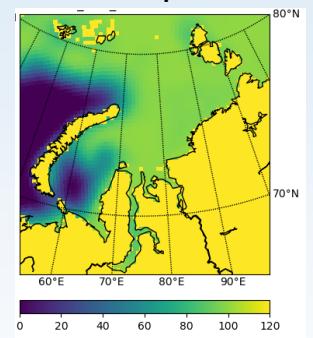
Сентябрь



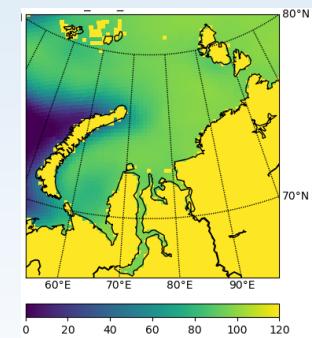
Октябрь



Ноябрь



Декабрь



Обобщения и выводы

1. Выполнена предобработка радиояркостных температур, включающая отбраковку некорректных значений и составление среднесуточных композитов для расчетов концентрации льда.
2. Проведена оценка точности радиояркостных температур российского микроволнового радиометра с данными прибора AMSR2 на спутнике GCOM-W1. В целом измерения МТВЗА соответствуют измерениям AMSR2 практически на всех частотных каналах. Исключение составляет канал 91,65 ГГц горизонтальной поляризации, на котором измерения российского радиометра сильно зашумлены. Кроме того радиояркостные температуры МТВЗА на всех частотах каналах вертикальной поляризации имеют значительно более узкий динамический диапазон, чем радиояркостные температуры AMSR2.
3. Выполнена взаимная калибровка радиояркостных температур прибора МТВЗА по данным AMSR2, что позволило минимизировать погрешности, связанные с внешней калибровкой при пересчете антенной температуры в радиояркостную.
4. Коэффициенты корреляции для рассмотренных в работе данных на всех каналах за весь год достаточно высоки и достигают 0,9 и более. Для данных канала 23,8 ГГц горизонтальной поляризации коэффициенты несколько ниже, но также значимы и варьируются в пределах 0,7 – 0,8. Для данных каналов 10,6 ГГц и 18,7 ГГц вертикальной поляризации данные коррелируют существенно хуже. Отмечено, что в отдельные дни имеют место аномальные «скачки» коэффициентов корреляции для данных всех каналов, что связано с зашумленностью данных и/или их малым покрытием.
5. Выполнены расчеты концентрации льда по двум методикам (Заболотских, 2022 и Cavalieri, 1984) для Карского моря в 2021 году. Проведена оценка точности со стандартным продуктом центра NSIDC по данным AMSR2, которая показала достаточно высокую точность полученных оценок.



Спасибо за внимание!



Исследование выполнено в рамках
государственного задания ФГБУН
ФИЦ МГИ по теме FNNN-2024-0012

