

Сравнение сплочённости льда в Баренцевом и Карском морях по спутниковым данным AMSR2 и реанализам

GLORYS12v1 · ORAS5 · TOPAZ4 | август 2012 – декабрь 2024 г.

А. А. Манько, В. Р. Жук, А. А. Кубряков

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

Доклад по результатам исследования

Почему это важно

- Баренцево и Карское моря — ключевые акватории Северного морского пути и район быстрого сокращения льда.
- Баренцево море — «горячая точка» потепления: зимой лёд на севере, летом сплочённость обычно $< 15\%$.
- Карское море зимой почти полностью покрыто льдом, летом и осенью сплочённость тоже снижается.
- Оценки на масштабе всего СЛО сглаживают локальные ошибки у кромки — нужна региональная проверка.
- Реанализы GLORYS, ORAS5 и TOPAZ4 ассимилируют продукты класса OSI-SAF/CERSAT, а не AMSR2 ASI.
- Сравнение среднемесячных полей этих трёх систем с AMSR2 ASI для двух морей ранее не выполнялось.

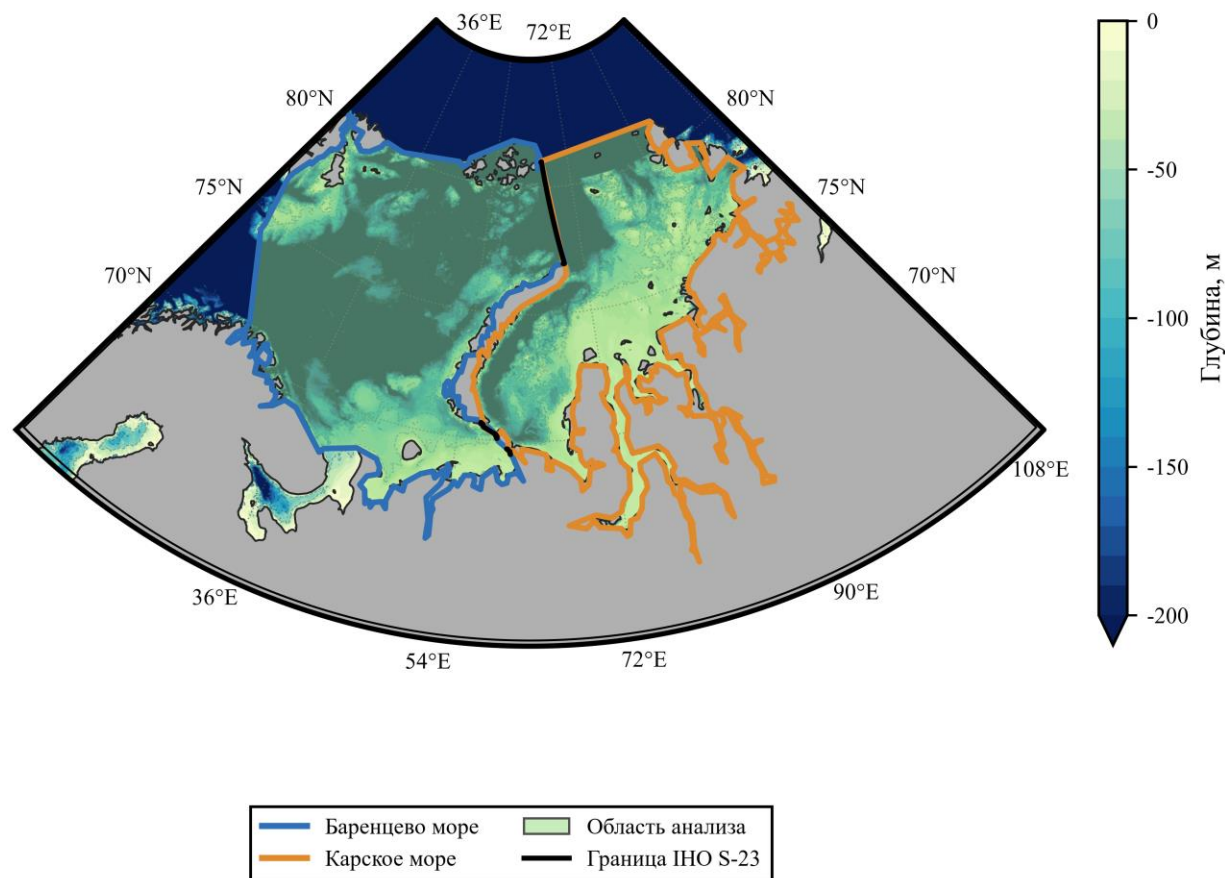
Цель работы

Количественно сопоставить сплочённость морского льда реанализов GLORYS12v1, ORAS5 и TOPAZ4 с данными AMSR2 в Баренцевом и Карском морях за август 2012 – декабрь 2024 г. (149 месяцев).

- Сравнить поле сплочённости: смещение, СКО, MAE, корреляция.
- Оценить ошибку ледовой кромки при пороге 15 %: IIEE и IEDE.
- Учесть сезонную и межгодовую изменчивость и классы сплочённости AMSR2 (0–15, 15–80, 80–100 %).
- Все расчёты — на общей маске четырёх продуктов, без экстраполяции.

Район исследования

a



- Сетка 0.1°: 6.42–103.25° в.д., 68–86° с.ш.
- Граница морей — ИНО S-23 к северу от Новой Земли.
- Общая маска 4 продуктов: 2730 тыс. км² (~106 тыс. ячеек).
- Белый буфер у берега исключён из сравнения.
- 149 месяцев: VIII.2012 – XII.2024.

AMSR2 ASI

Эталон
Университет Бремена
разрешение ~3 км
каналы 89 ГГц

GLORYS12v1

Copernicus
сетка ~1/12°
лёд: Ifremer/CERSAT

ORAS5

ECMWF, LIM2
сетка 0.25°
лёд: OSTIA

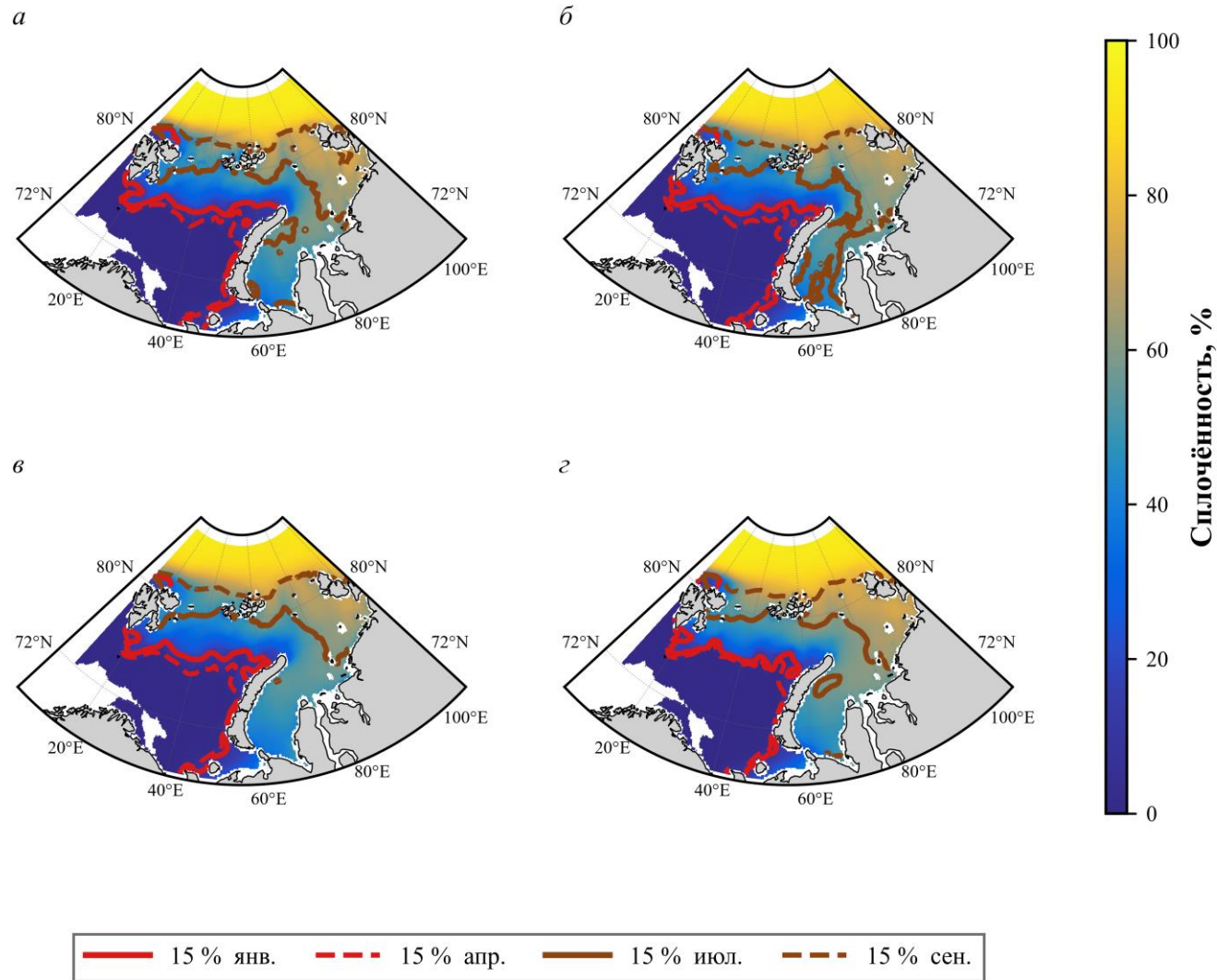
TOPAZ4

Met.no, 12–16 км
Сев. Атлантика и Арктика
лёд: OSI-SAF

Все три реанализа ассимилируют сплочённость класса OSI-SAF / CERSAT — продукт, отличный от AMSR2 ASI. Интерполяция на общую сетку 0.1°: GLORYS и TOPAZ4 — билинейная; AMSR2 и ORAS5 — ближайший сосед.

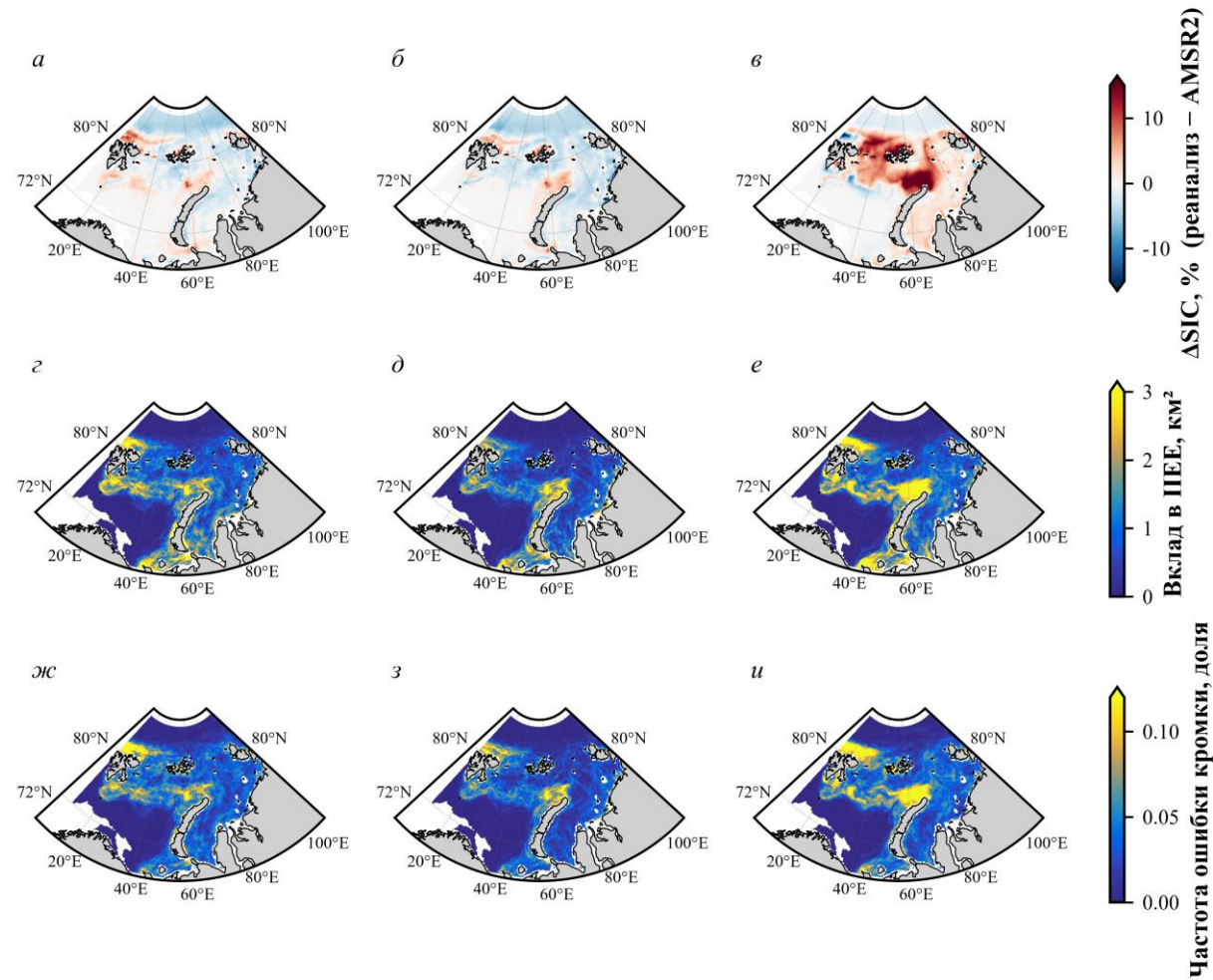
- Порог кромки: сплочённость ≥ 15 %.
- Смещение, СКО (RMSE), MAE, корреляция Пирсона — по общей маске.
- IIEE — интегральная ошибка кромки: сумма площадей завышения и занижения льда, тыс. км².
- IEDE — ошибка смещения кромки, км.
- Классы AMSR2: открытая вода 0–15 %, маргинальная зона 15–80 %, сплошной лёд 80–100 %.
- Площадь ячейки учитывает широту (шаг 0.1°).

Средние поля сплочённости



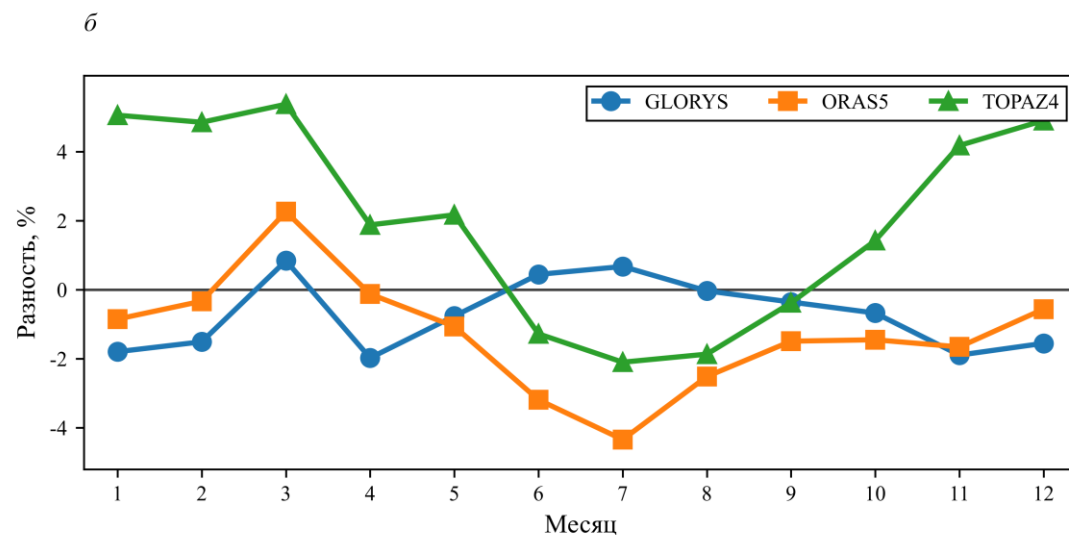
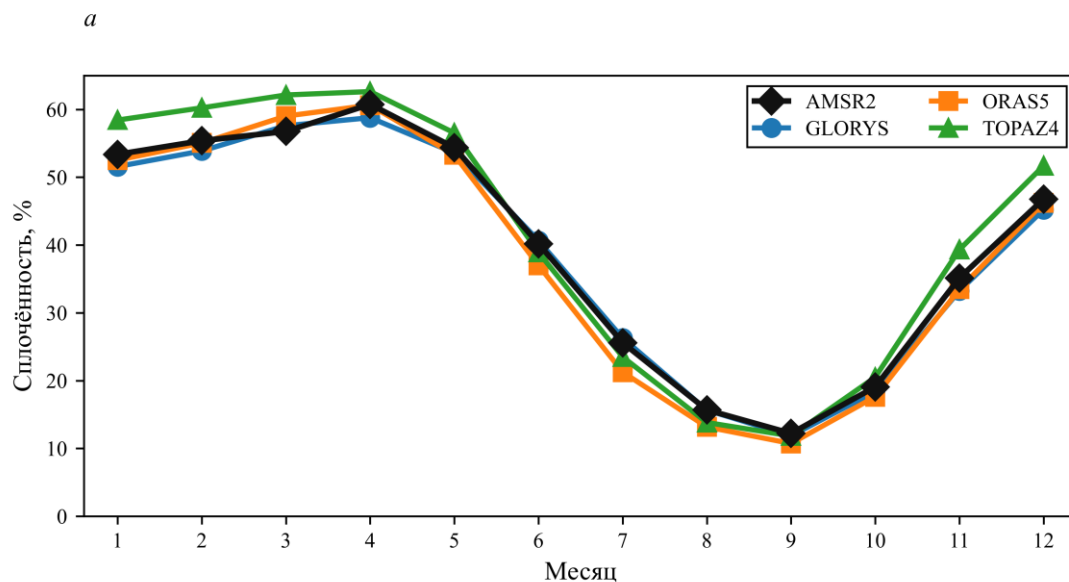
- AMSR2: 49.8 %
- GLORYS: 48.6 %
- ORAS5: 48.1 %
- TOPAZ4: 51.8 %
- Баренцево — открытая вода, Карское — высокая сплочённость на севере.
- TOPAZ4 расширяет зону плотного льда у Новой Земли.
- Изолинии 15 %: янв./апр. (красные), июл./сен. (коричневые).

Смещения и вклад в ошибку кромки



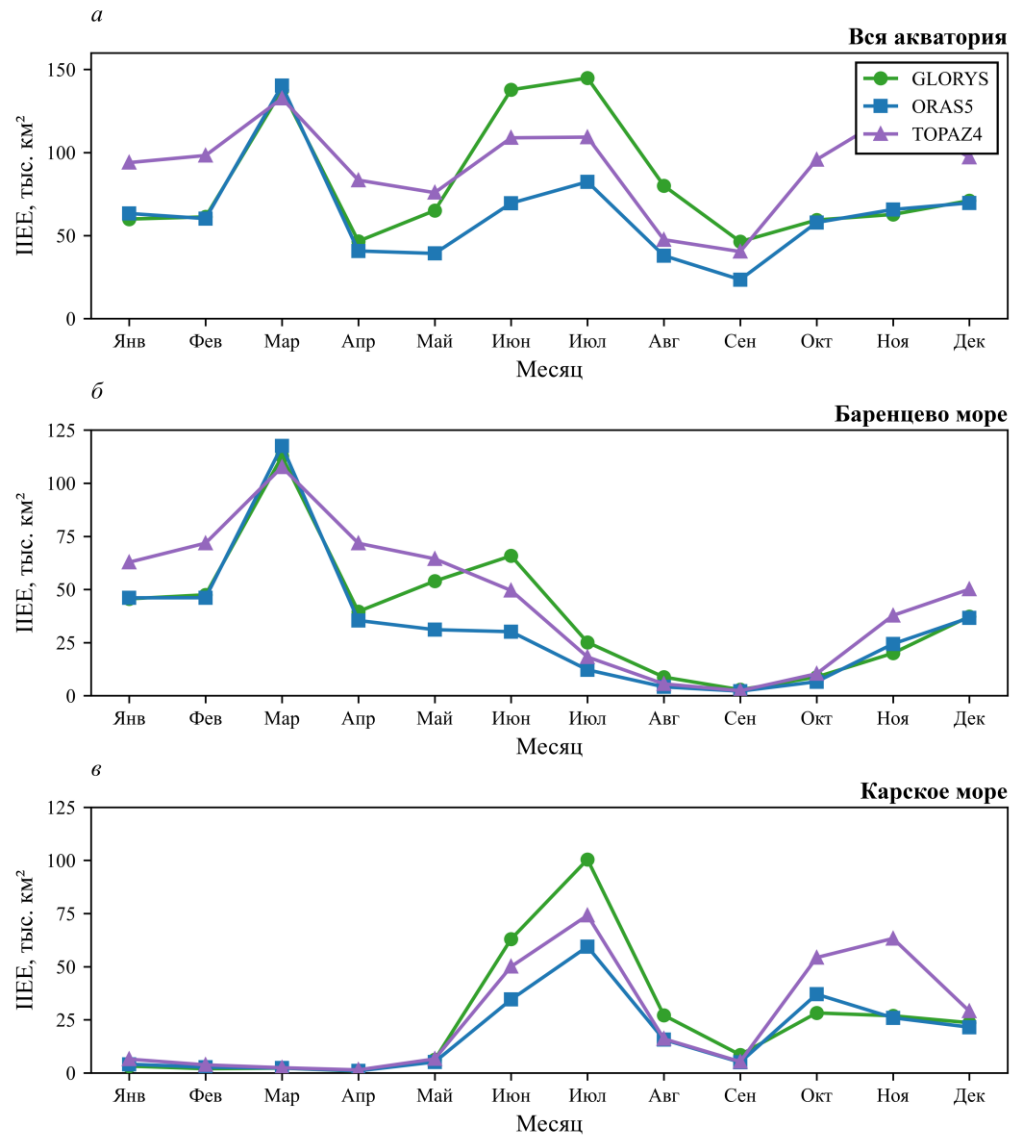
Слева направо: GLORYS, ORAS5, TOPAZ4. Сверху — смещение сплочённости, в середине — вклад ячейки в ПЕЕ, снизу — частота ошибки кромки. ORAS5 ближе к AMSR2, TOPAZ4 чаще завышает лёд.

Сезонный ход сплочённости



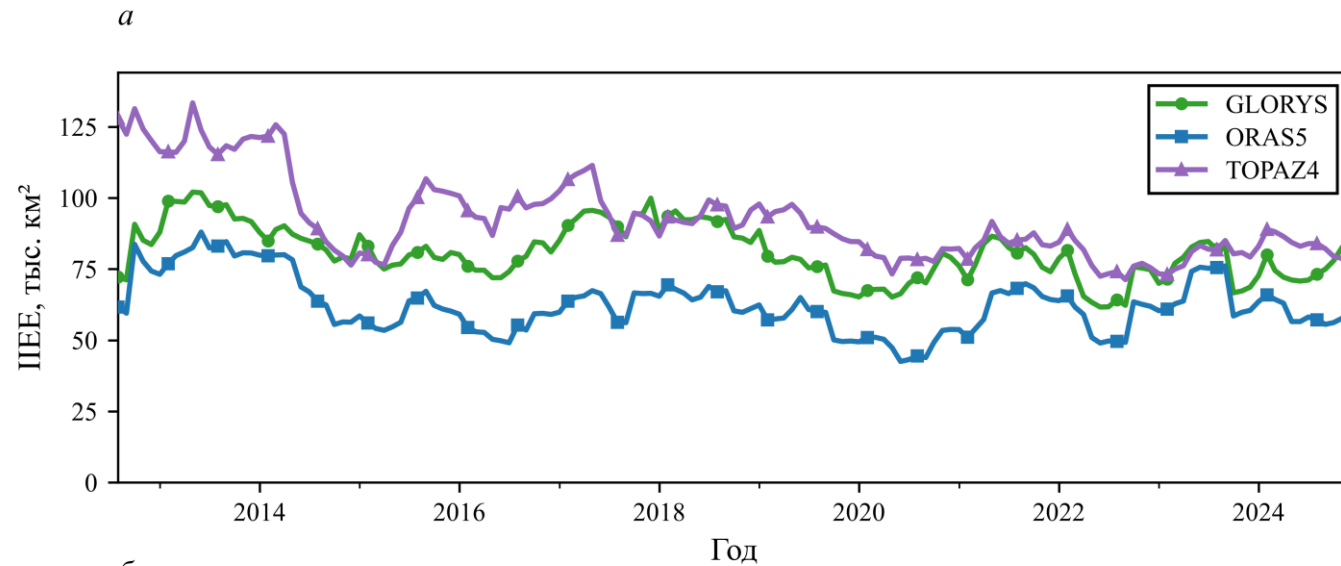
- Зимой и весной все продукты близки по уровню сплочённости.
- ORAS5 устойчиво недооценивает лёд в июне–июле.
- TOPAZ4 завышает сплочённость почти весь год, особенно осенью и зимой.
- Летний минимум — сентябрь, ~12–14 %.

Сезонная ошибка кромки ПЕЕ



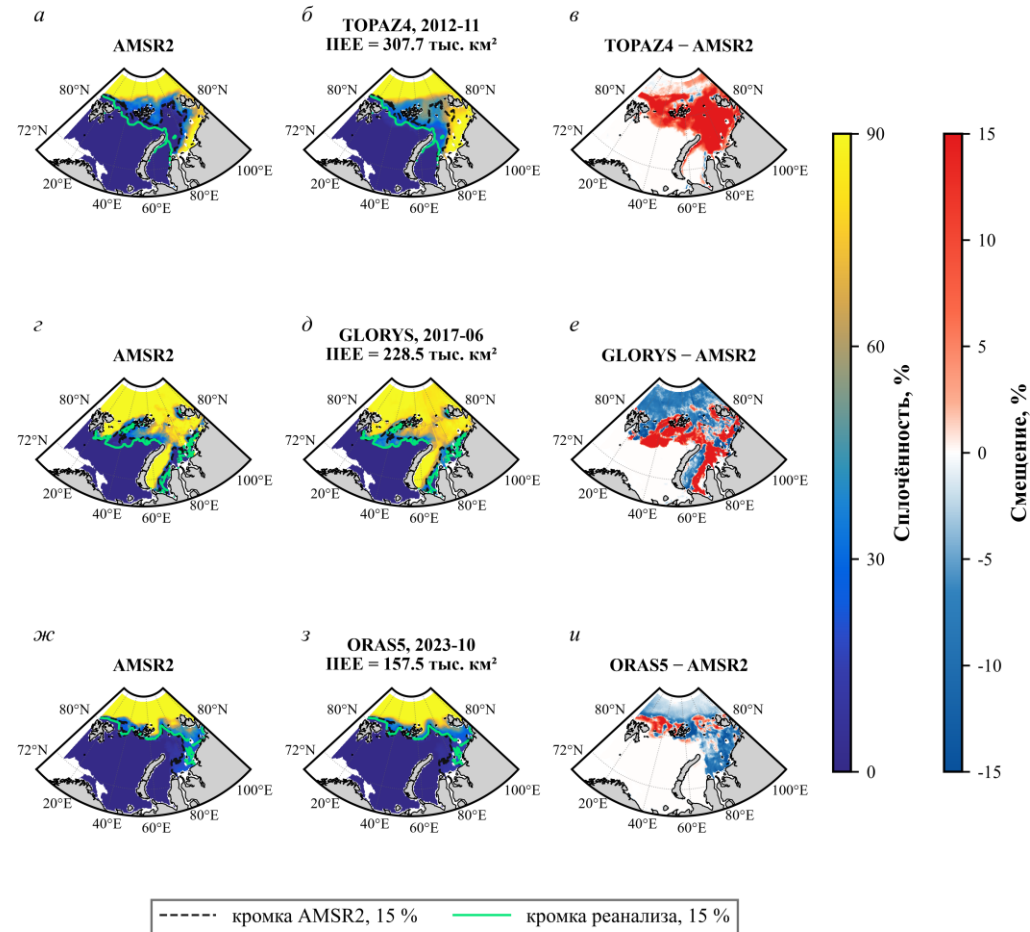
- ORAS5 — наименьшая ПЕЕ на объединённой акватории.
- В Баренцевом море ошибка кромки выше, чем в Карском.
- Пики — переходные сезоны и летний минимум.
- TOPAZ4 стабильно выше остальных.

Межгодовая изменчивость кромки



- Скользящее среднее за 12 месяцев, VIII.2012 – XII.2024.
- ORAS5 почти весь период ближе к AMSR2.
- TOPAZ4 держит повышенные ПЕЕ и IEDE.
- GLORYS — промежуточный уровень, ближе к ORAS5 после 2018 г.

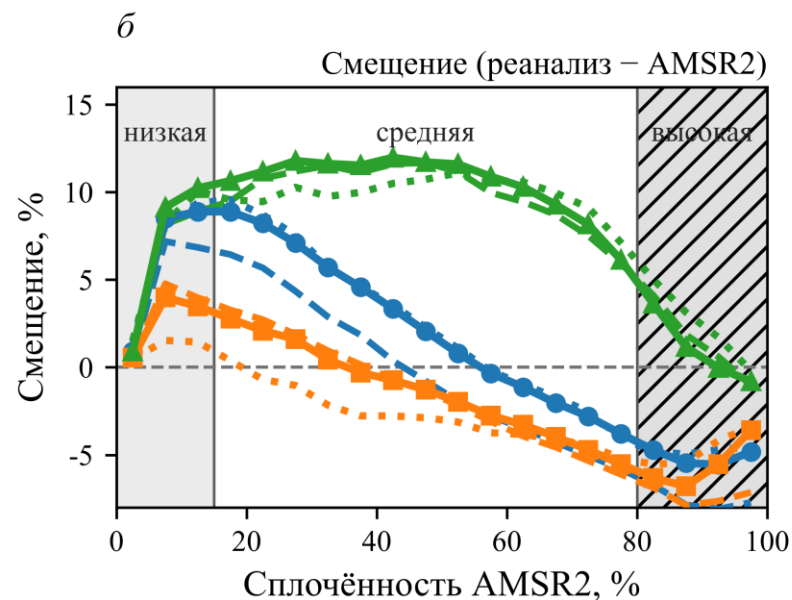
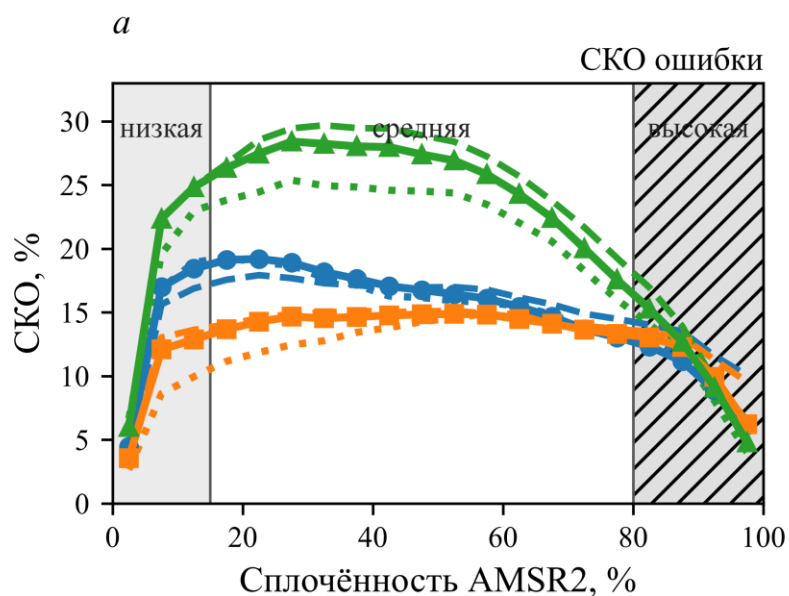
Экстремальные месяцы по ПЕЕ



2012-11 TOPAZ4 — 307.7 тыс. км²; 2017-06 GLORYS — 228.5; 2023-10 ORAS5 — 157.5. На панелях разности изолинии кромки не показаны.

Ошибки по классам сплочённости AMSR2

— GLORYS — TOPAZ4 — Баренцево
— ORAS5 — вся акватория — Карское



- Маргинальная зона 15–80 % — главный источник ошибок.
- СКО там: ORAS5 13.1 %, GLORYS 15.4 %, TOPAZ4 24.8 %.
- TOPAZ4 завышает среднюю сплочённость (+10.3 %).
- При ≥ 80 % TOPAZ4 почти без смещения, GLORYS и ORAS5 занижают сплошной лёд (–5.1 и –4.3 %).

Итоговые метрики за 149 месяцев

Реанализ	Море	Смещение, %	СКО, %	MAE, %	ИЕЕ, тыс. км²	ИЕДЕ, км
GLORYS	Баренцево	-0.65	7.51	3.66	45.1	48.2
GLORYS	Карское	-1.89	9.55	5.79	29.3	29.2
GLORYS	Оба моря	-1.09	8.29	4.42	74.4	41.1
ORAS5	Баренцево	-1.13	6.83	3.27	36.7	37.7
ORAS5	Карское	-2.70	8.07	4.75	20.9	24.4
ORAS5	Оба моря	-1.69	7.29	3.80	57.6	32.0
TOPAZ4	Баренцево	+1.96	12.11	5.00	58.5	56.7
TOPAZ4	Карское	+2.05	10.96	5.64	30.5	26.6
TOPAZ4	Оба моря	+1.99	11.71	5.23	89.0	43.4

Жирным выделены лучшие средние по объединённой акватории: |смещение| — GLORYS; СКО, MAE, ИЕЕ, IEDE — ORAS5.

Основные выводы

1

ORAS5 ближе всего к AMSR2

СКО 7.29 %, ИЕЕ 57.6 тыс. км² на объединённой акватории. GLORYS — промежуточный, TOPAZ4 — наибольшие ошибки.

2

TOPAZ4 завышает лёд

Смещение +1.99 %, ИЕЕ 89.0 тыс. км². Главный провал — маргинальная зона (СКО до 24.8 %). Сплошной лёд TOPAZ4 держит лучше.

3

Моря ведут себя по-разному

Ошибка поля выше в Карском море, ошибка кромки — в Баренцевом: там кромка дольше и протяжённее.

4

Когда расхождения максимальны

Переходные сезоны и летний минимум. Экстремумы ИЕЕ: XI.2012 (TOPAZ4), VI.2017 (GLORYS), X.2023 (ORAS5).

Спасибо за внимание

А. А. Манько · drswen38258@gmail.com

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь
AMSR2 ASI · GLORYS12v1 · ORAS5 · TOPAZ4