

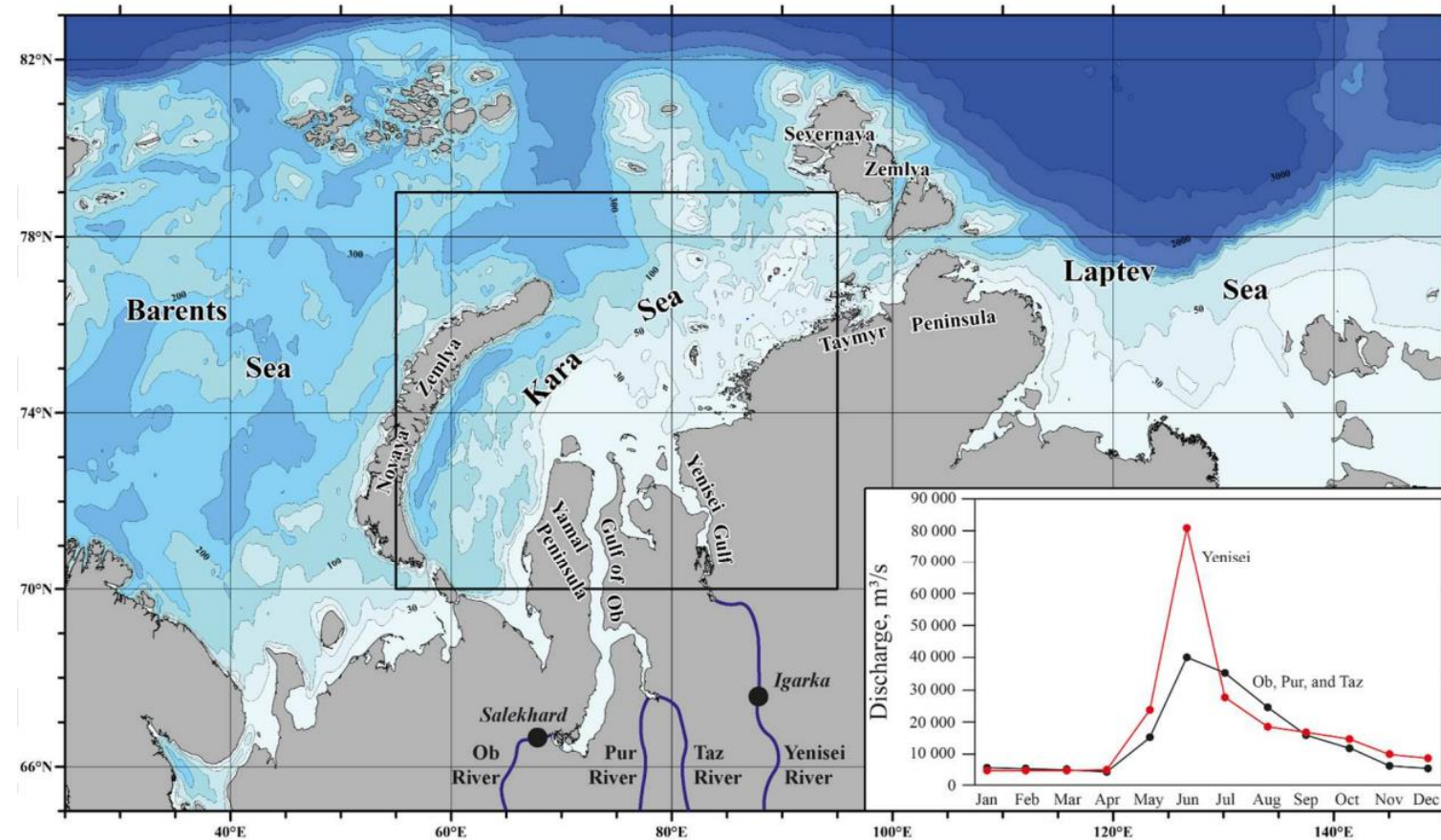
Динамика поверхностного опресненного слоя в Карском море по данным реанализов и спутниковых наблюдений

ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт»

Жихарь Я.М., Жук В. Р., Кубряков А.А.

Введение

- Карское море — зона наибольшего стока пресной воды в Северный Ледовитый океан (СЛО).
- Воды крупных сибирских рек Оби и Енисея формируют в СЛО поверхностный опресненный слой (ПОС) — малосоленый, стратифицированный, формирующийся в начале безлёдного периода.
- ПОС оказывает значительное влияние на экосистему Карского моря.
- Мутные речные воды изменяют химическую и биологическую структуру верхнего слоя моря и ограничивают проникновение света в более глубокие слои.



Исследуемая область, расположение гидрографических станций на реках (черные кружки), а также среднегодовые расходы рек Оби Енисей из работы Osadchiev et al, 2020

Цель работы:

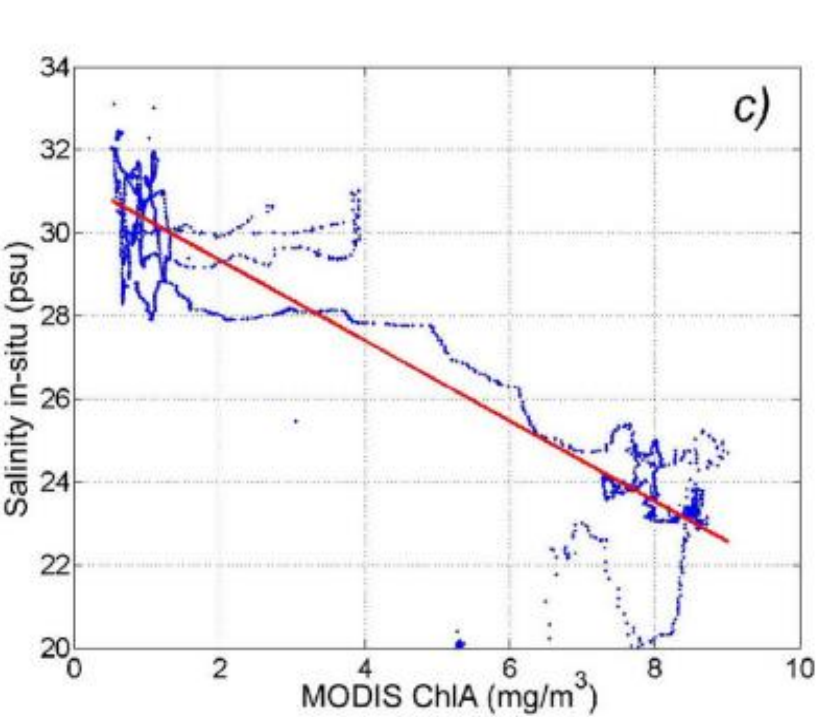
Оценка возможности мониторинга поверхностного опреснённого слоя (ПОС) Карского моря на основе продуктов океанического реанализа GLORYS, ORAS5 и TOPAZ5 путём их валидации со спутниковыми данными SMAP.

Данные

Параметры	Продукт/Спутник	Источник	Период	Пространственное разрешение	Временное разрешение
Скорости течений, поля солёности	GLORYS12v1	Copernicus	1993-2024	1/12°	1 месяц
Концентрация Хлорофилла-а	Спутниковый продукт OCEANCOLOUR_GLO_BGC_L4_MY_009_104	Copernicus	1997-2023	4 км	
Солёность	TOPAZ5	Copernicus	2021-2024	6,25 км	
Солёность	ORAS5	Copernicus	2015-2024	1/4°	
Поверхностная солёность	Спутник SMAP	https://remss.com/missions/smap/	2015-2024	1/4°	

Данные

Используемые в работе данные о концентрации хлорофилла-а связаны с ПОС и могут быть использованы для его отслеживания



Связь концентрации хлорофилла а с солёностью*

Table 1
The plume propagation type in different years.

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2011	2012	2013	2014
Western	X			X		X			X		X		X				X		X	
Central		X	X		X		X	X		X		X	X		X				X	
Eastern																X		X		

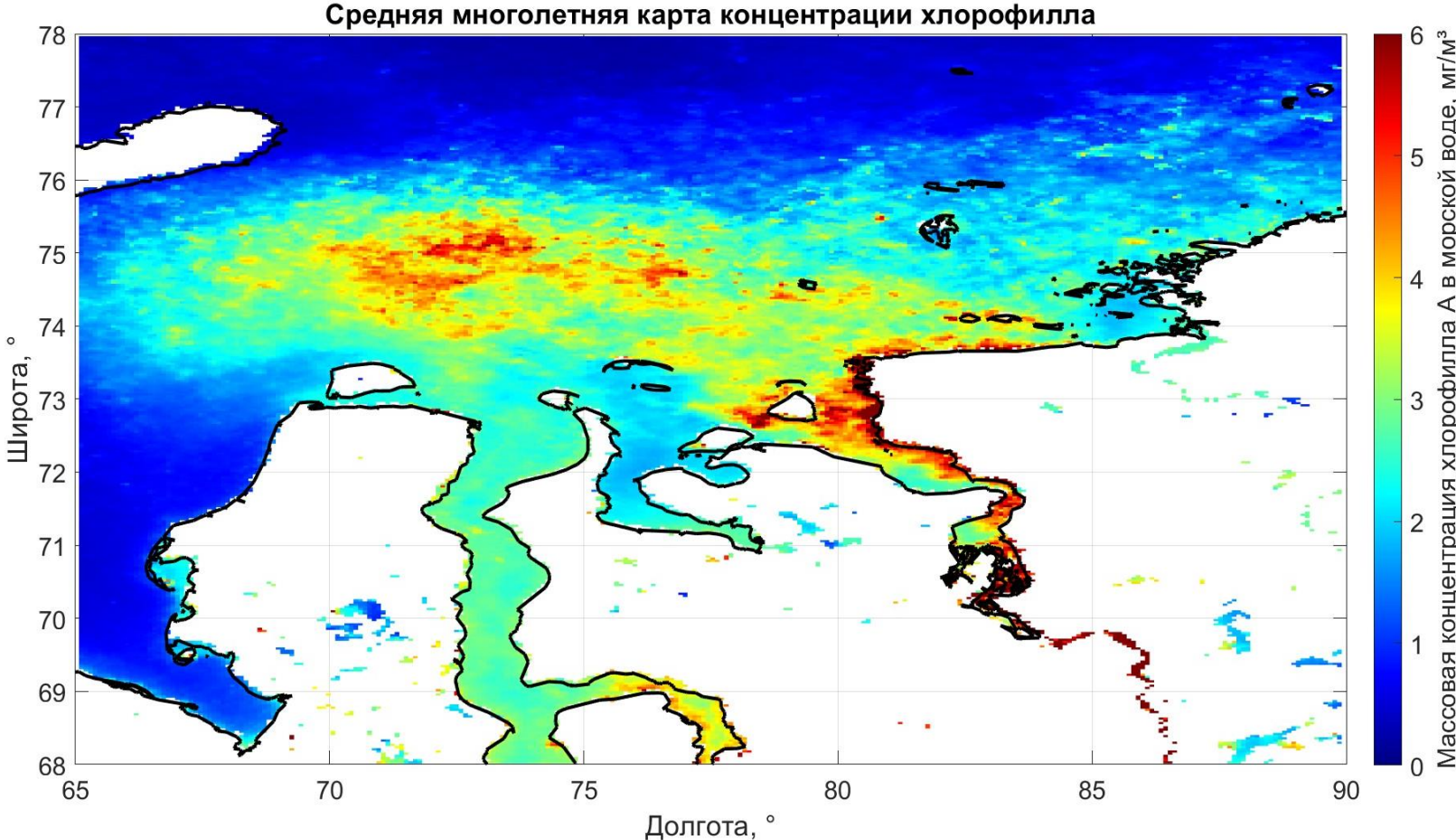


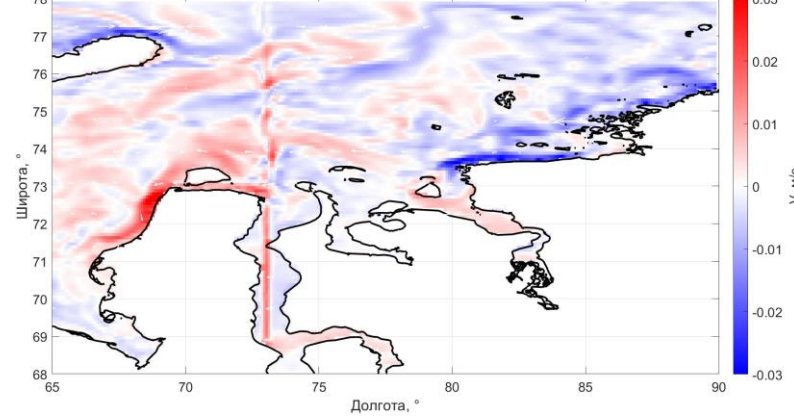
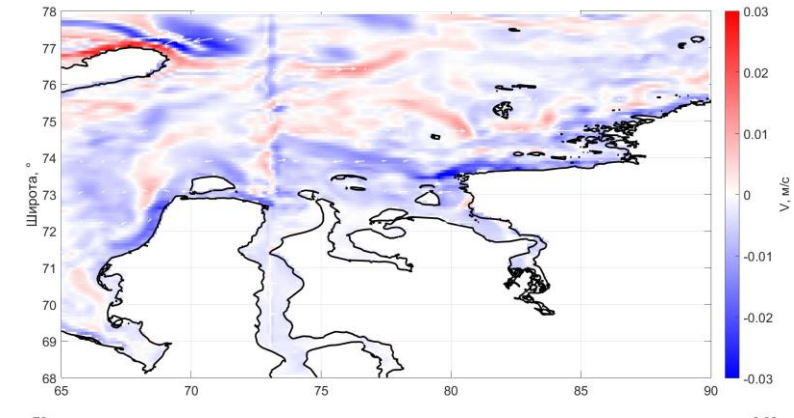
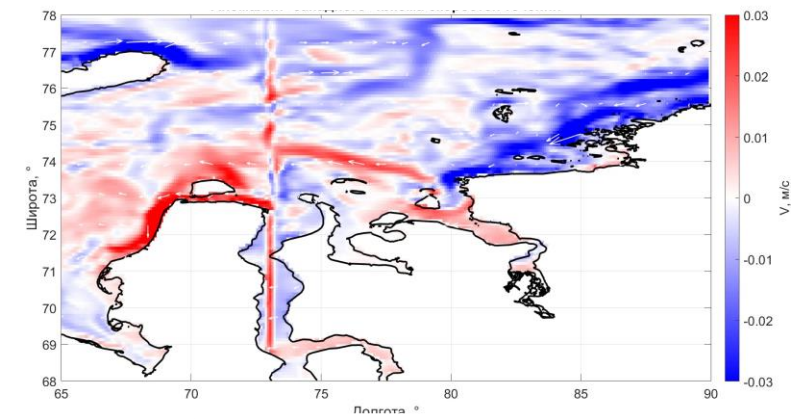
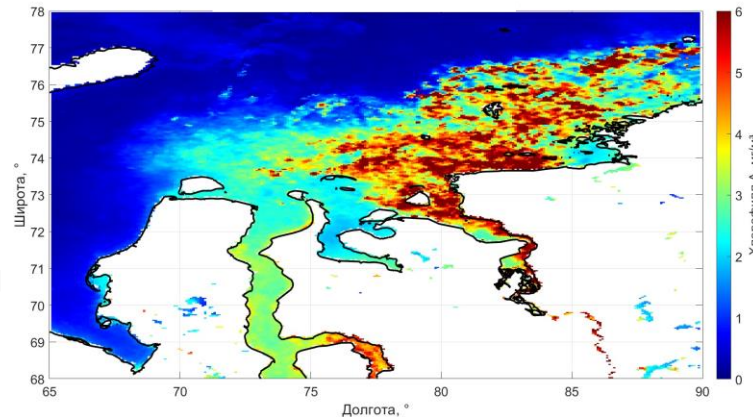
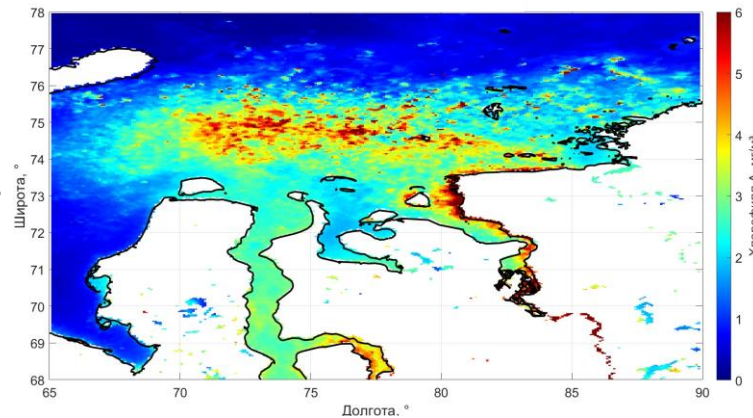
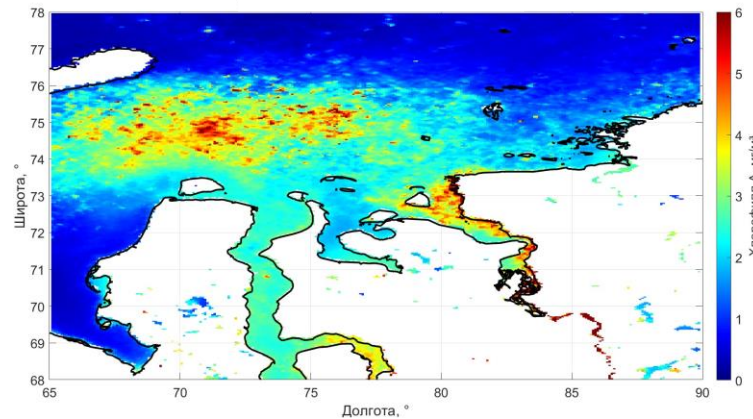
Таблица ранее выделенных типов распространения речного плюма *

*Кубряков и др., 2016

Пространственное распределение chl-a и скорости течений

На основе вышеприведённой таблицы построены композитные карты хлорофилла-а и аномалий скорости течений по данным реанализа GLORYS12v1 для трех основных типов распространения ПОС:

- Западный тип — воды распространяются к западу и северу от устья Обь–Енисея, достигая побережья Новой Земли (63–70° в.д.).
- Восточный тип — опреснённые воды смещаются на восток, прижимаясь к сибирскому побережью; северная граница плюма остаётся в пределах ~100 км от берега.
- Центральный тип — воды распространяются как на восток, так и на запад, простираясь значительно дальше на север от устья.

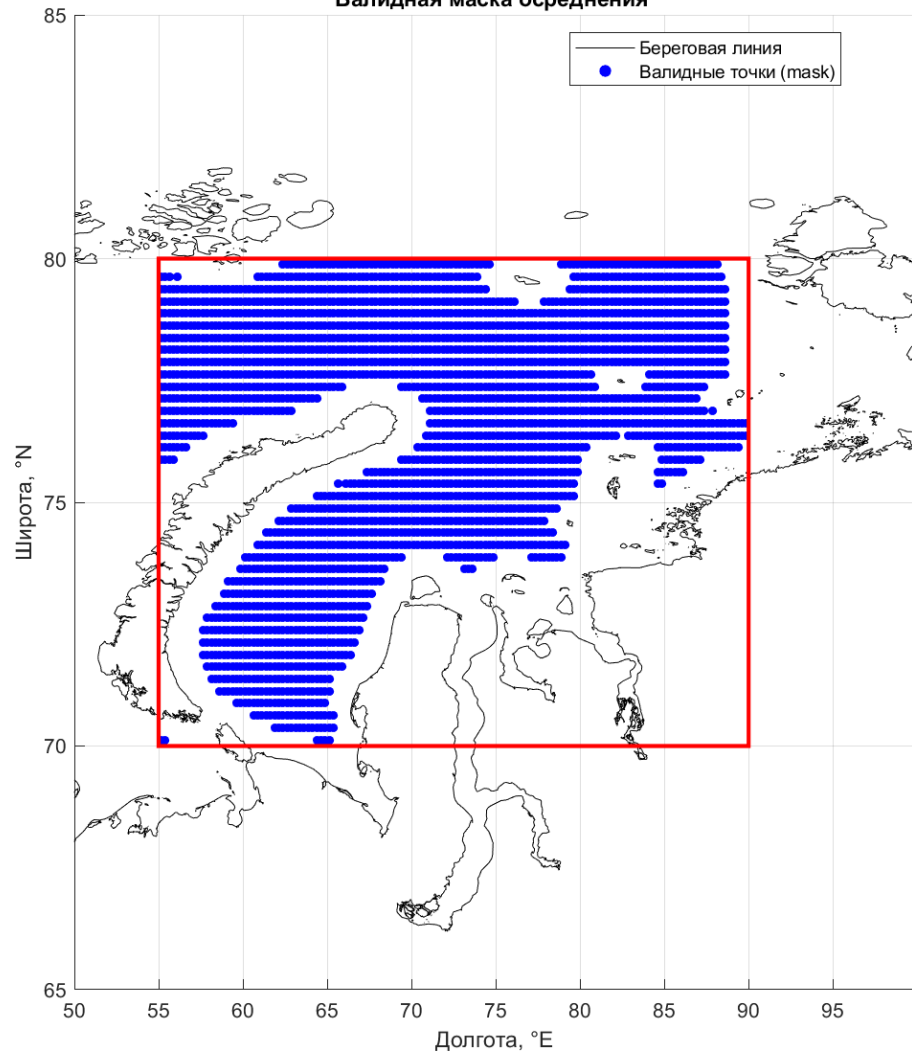


Композитные карты Chl-a (слева) и аномалий скорости течений (справа)

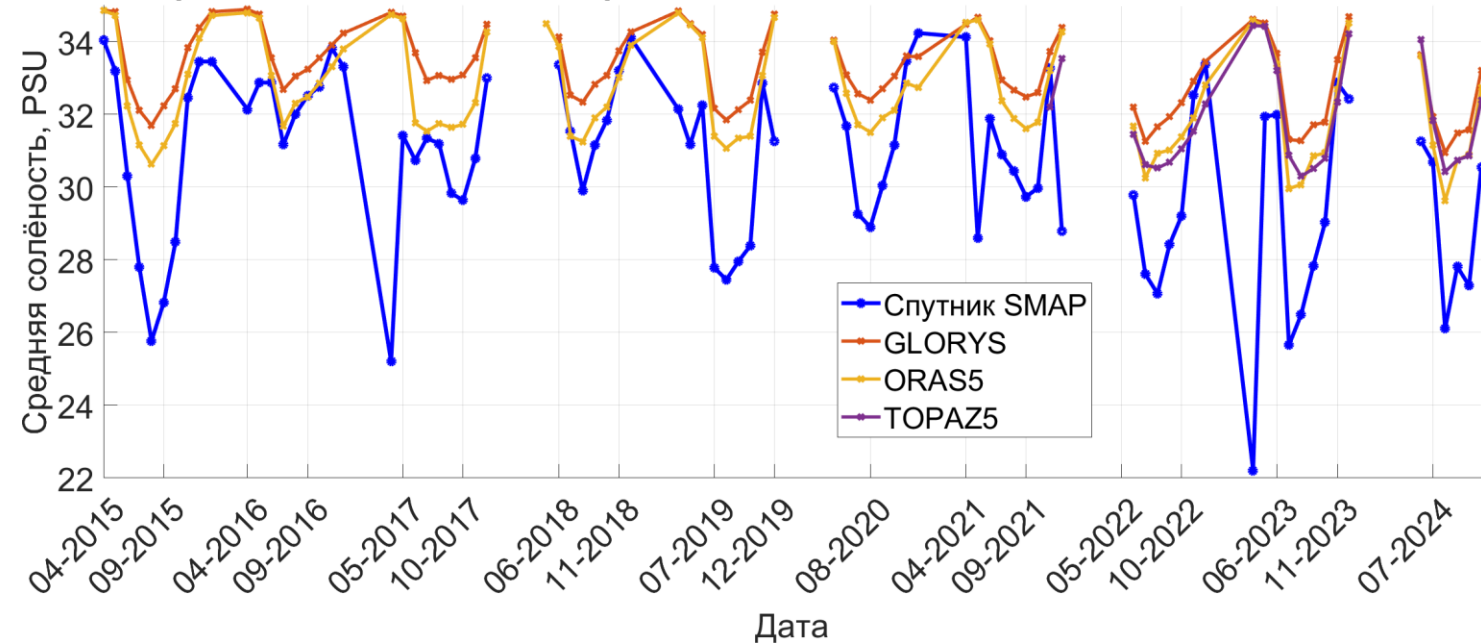
Сопоставление данных солёности

Для сопоставления данные реанализов и спутниковые измерения были усреднены в ячейках $0,25 \times 0,25^\circ$

Валидная маска осреднения



Временная изменчивость средней по области солёности



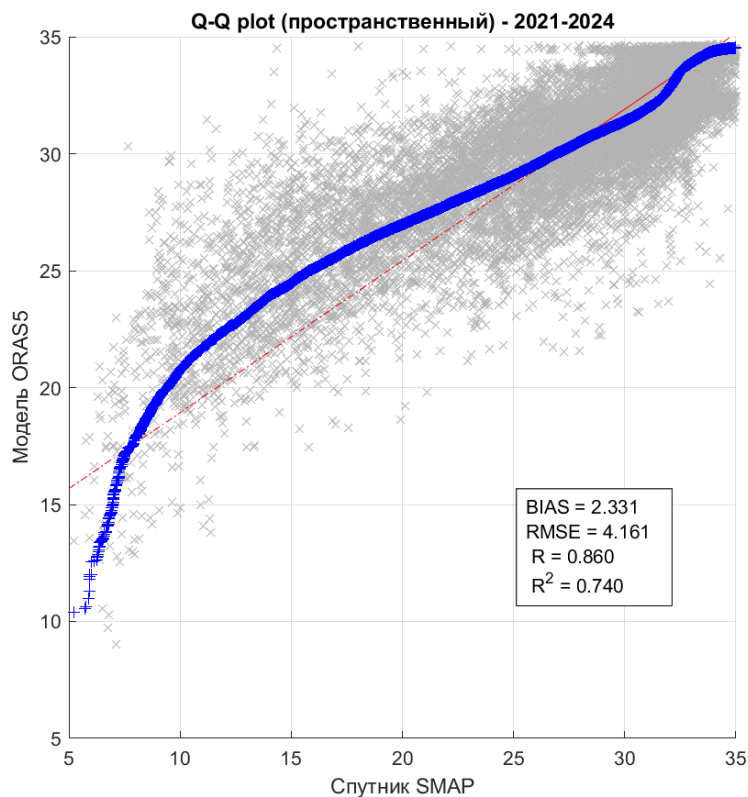
Распределение области с доступными спутниковыми данными солёности SMAP

Сопоставление данных солёности

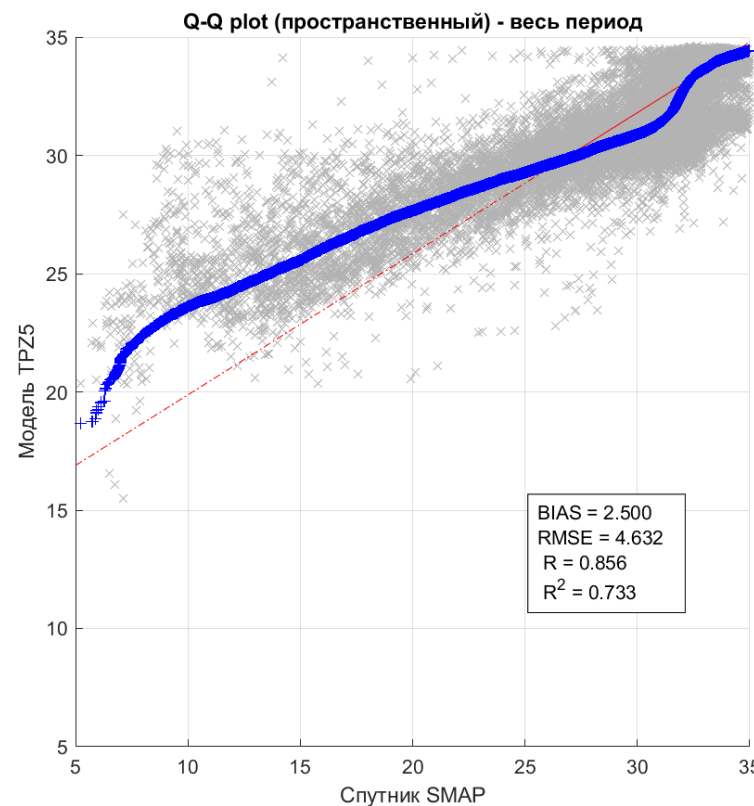
Все данные реализов показывают высокие значения корреляции ($R > 0,85$). Наблюдаются существенные различия по показателю смещения (BIAS).

Лучшим себя показал реанализ ORAS5.

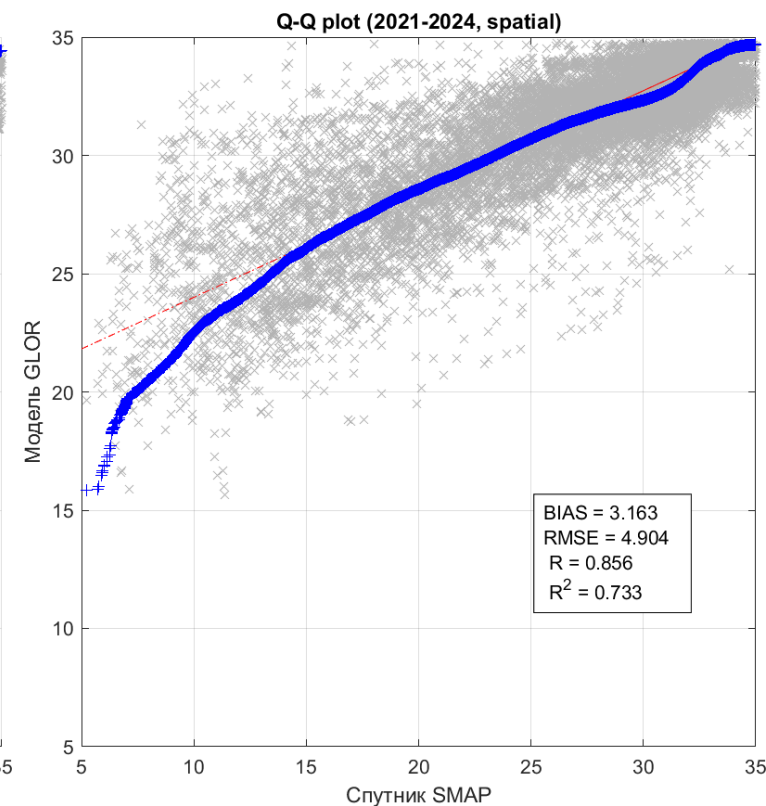
ORAS5



TPZ5



GLORYS12v1



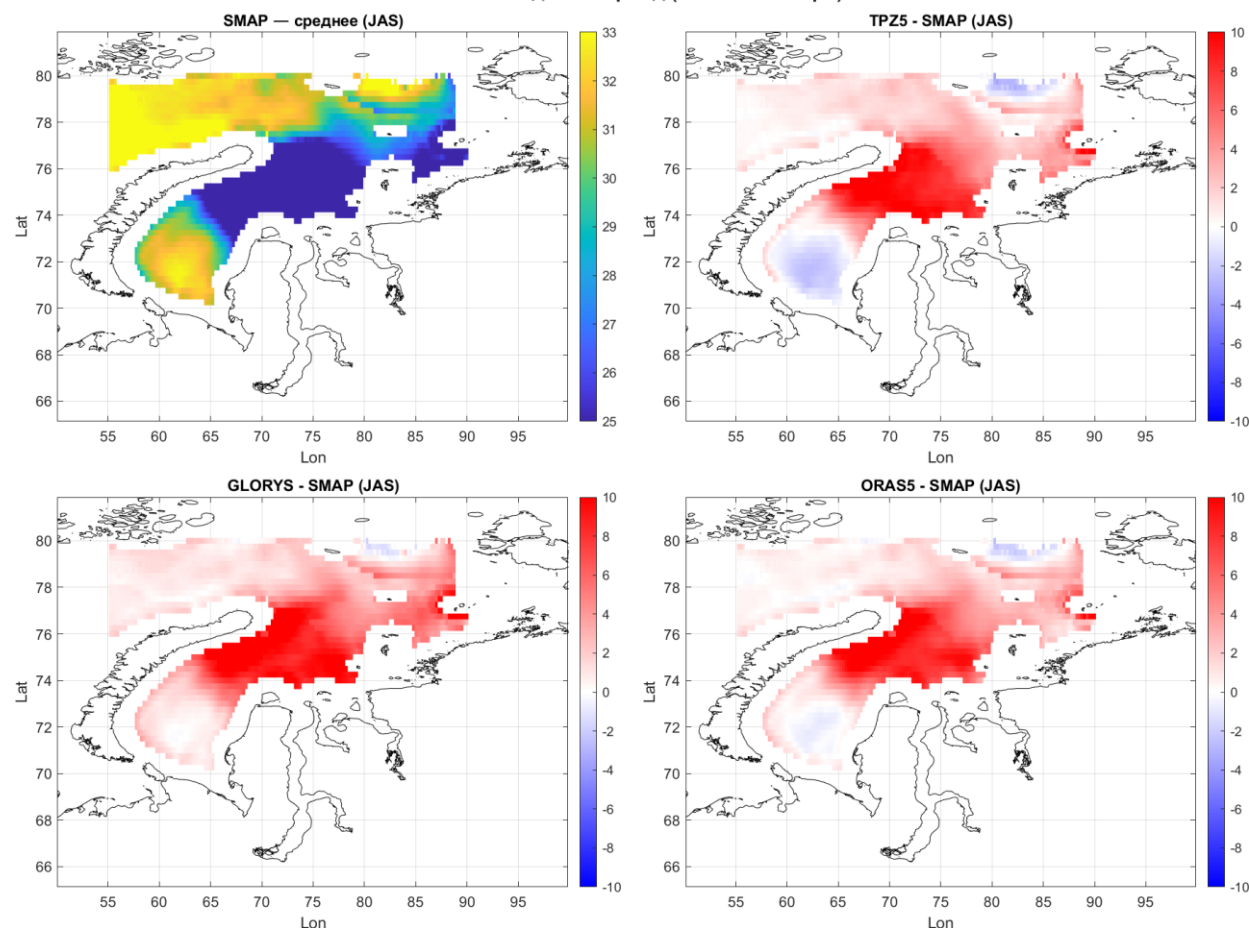
Диаграммы рассеяния между данными реанализов и спутниковыми измерениями солёности для периода с 2021 по 2024 гг. Синей линией – квантиль-квантильный график

Сопоставление данных солёности

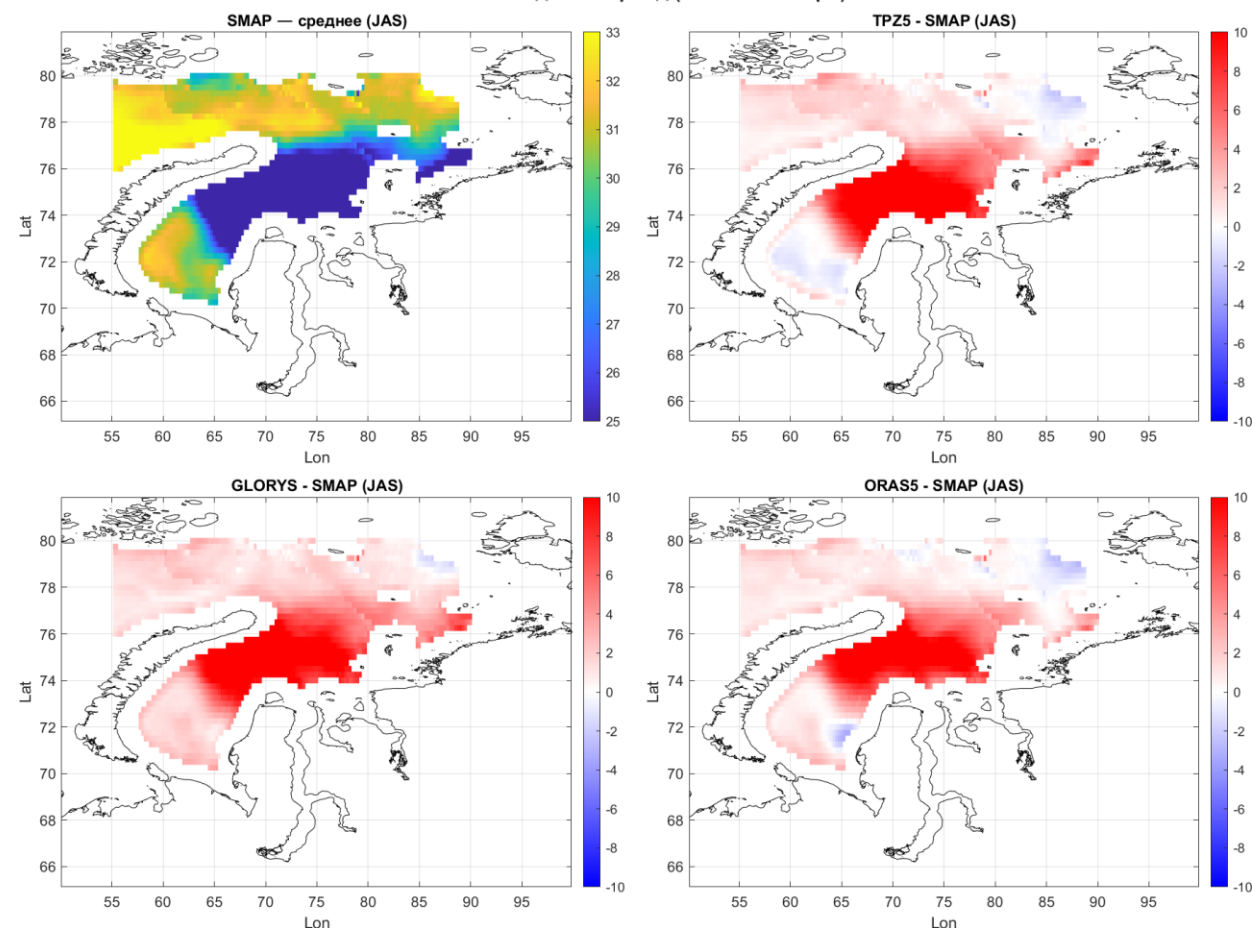
Для всех реанализов характерны пониженные значения солёности по сравнению со спутниковыми измерениями.

Наибольшие отличия фиксируются в области ПОС – до 10 PSU.

Солёность за безледный период (июль–сентябрь) — 2022



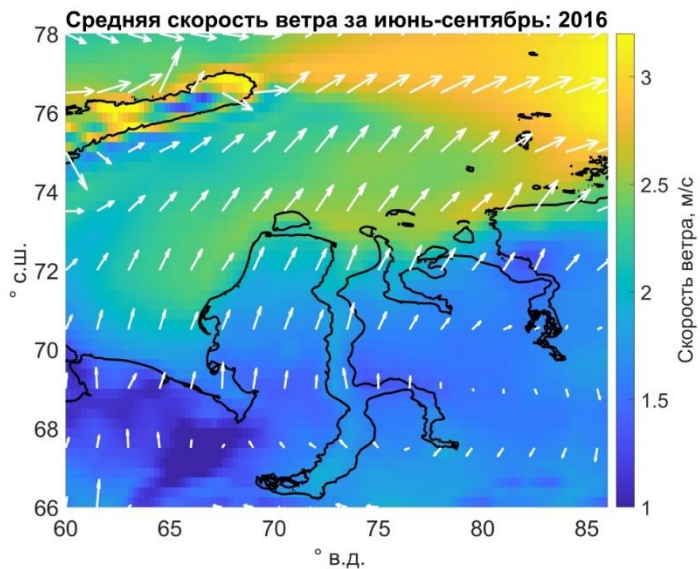
Солёность за безледный период (июль–сентябрь) — 2023



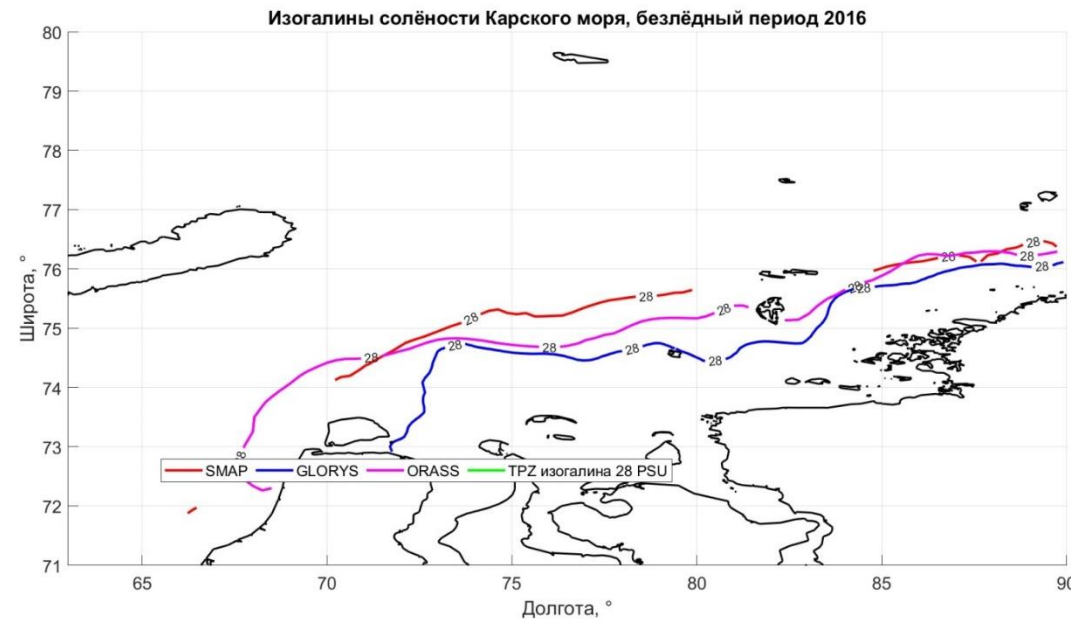
Средние карты солёности по данным SMAP и средняя разница между спутниковыми измерениями и данными реанализов в безледный период в 2022 (слева) и 2023 (справа)

Изогалины для типов распространения ПОС

При анализе положения изогалины 28 PSU, маркирующей границу ПОС, наилучшее соответствие спутниковым данным продемонстрировали ORAS5 и TOPAZ5. Оценка расхождений в положении выявила их зависимость от типа распространения ПОС.



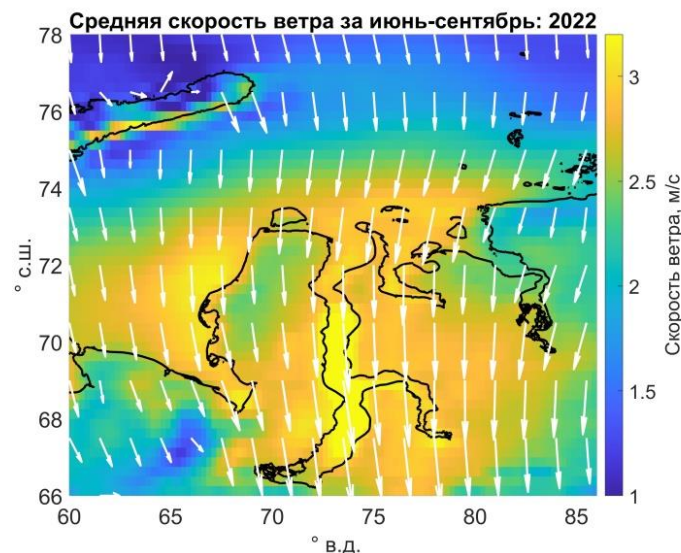
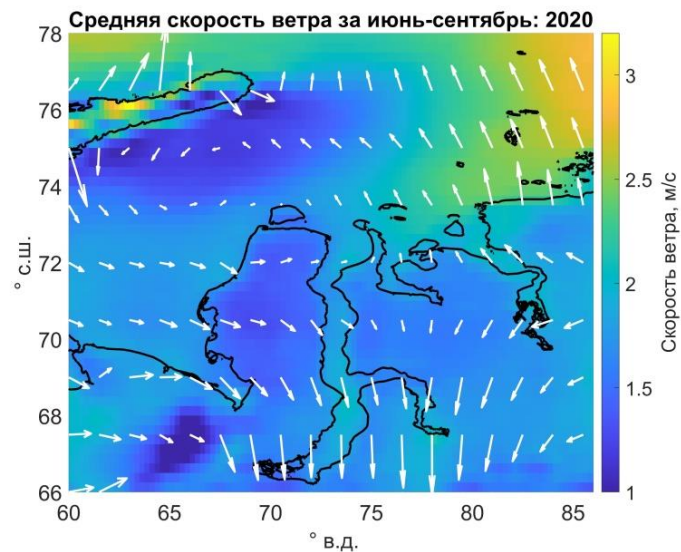
Поле скорости ветра
по данным ERA5



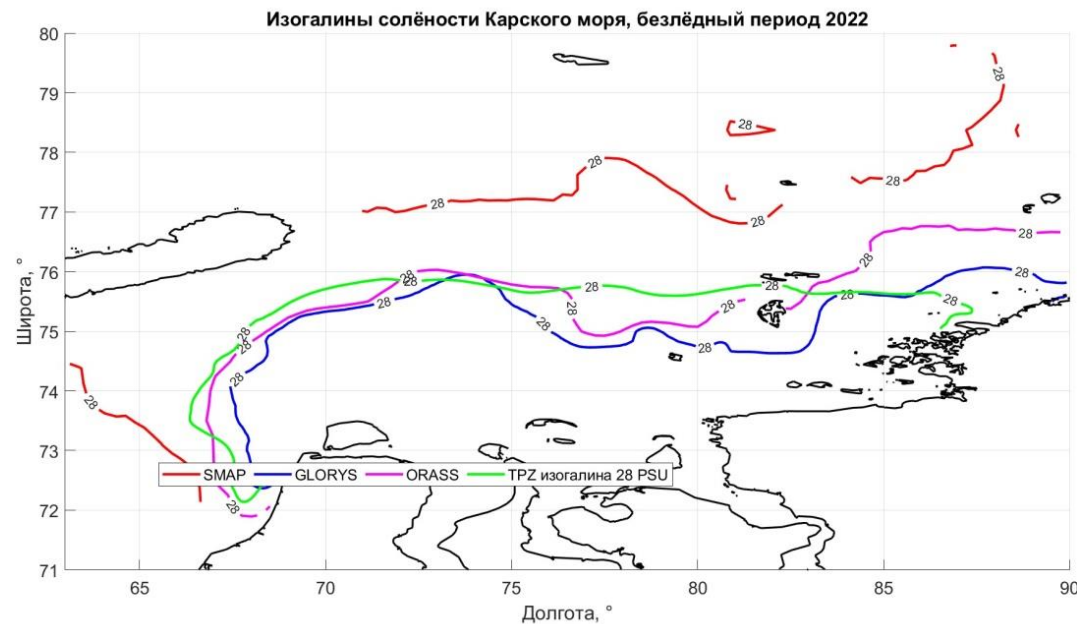
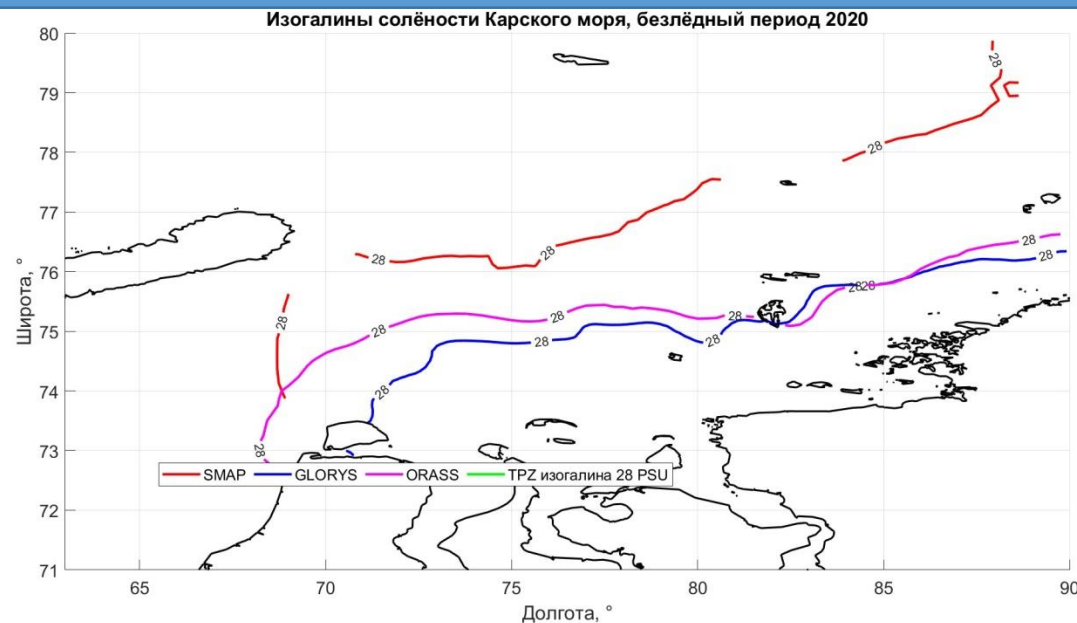
Местоположения изогалин 28 PSU для среднего поля солёности
в безледный период в 2016

Восточный тип:
Разница в местоположении
изогалин до 50 км

Сопоставление изогалин ПОС



Поле скорости ветра
по данным ERA5



Местоположения изогалин 28 PSU для среднего поля солёности
в безледный период в 2020, 2022 гг

Центральный тип:
Разница в местоположении
Изогалин до 100 км

Западный тип:
Разница в местоположении
изогалин
В центральной части до 200 км
В западной до 70 км

Выводы

- Модели ORAS5 и TOPAZ5 показали пригодность для мониторинга направления распространения ПОС. Все модели в целом адекватно воспроизводят пространственное распределение солёности ($R > 0,85$). Модель ORAS5 продемонстрировала наиболее сбалансированные характеристики по точности ($RMSE = 4,16$) и смещению ($BIAS = 2,33$). TOPAZ5 показала сопоставимую точность ($RMSE = 4,63$) и наивысшую корреляцию с данными SMAP ($R = 0,856$). Модель GLORYS12v1 показала наихудшие метрики ($RMSE = 4,90$; $BIAS = 3,16$), что указывает на её ограниченную пригодность для данного региона.
- Анализ положения изогалины 28 PSU подтвердил лидерство ORAS5 и TOPAZ5. При детальном рассмотрении границы опреснённого плюма именно эти две модели наиболее точно соответствовали спутниковой картине, в то время как GLORYS12v1 показывала наиболее отклонение.
- Установлена сильная зависимость точности моделей от динамики распространения плюма. Наибольшие расхождения в положении границы ПОС (до 200 км) характерны для сценариев выноса опреснённых вод в открытую акваторию (центральный и западный типы). Минимальные различия (около 50 км) наблюдаются для восточного типа распространения, когда ветровые условия «прижимают» ПОС к побережью.