



В.В. Иванов^{1,2}, А.В. Даньшина², А.В. Смирнов²

**Разработка объединенных схем пространственного
распределения гидрофизических характеристик на
основе данных наблюдений, моделирования и
реанализа**

¹Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва

²Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург

СОДЕРЖАНИЕ

- ❑ Методы восстановления пространственного распределения гидрофизических полей в океане
- ❑ Достоинства и недостатки океанского реанализа
- ❑ Сравнение результатов СТД-наблюдений, модельных расчетов и реанализа для Баренцева моря
- ❑ Выводы

Цель: воссоздать целостную картину распределений гидрофизических характеристик, соответствующую реальности

Проблема содержательного анализа данных прямых измерений в океане с целью получения объективного описания гидрофизических процессов связана с их пространственной фрагментарностью и привязкой к фиксированным моментам времени. С другой стороны, результаты расчетов на математических моделях и данные океанского реанализа позволяют воспроизвести целостную картину структуры и изменчивости гидрофизических полей с пространственной дискретностью, равной шагу расчетной сетки на временном масштабе, равном продолжительности расчета. Однако, результаты расчетов на численных моделях и данные реанализа пока не в состоянии полностью заменить данные прямых наблюдений из-за недостаточного разрешения моделей и использования упрощенных параметризаций подсеточных процессов.

Вопрос: насколько корректно использовать результаты численного моделирования и продукты океанского реанализа для исследования структуры и изменчивости гидрофизических полей в океане?

= **Nucleus for European Modelling of the Ocean**

≈ **Основа европейского стандарта моделирования океана**

NEMO представляет собой алгоритмическую структуру, состоящую из взаимосвязанных компонент - вычислительных инструментов ("engine"), каждый из которых обеспечивает математическое описание определенных океанографических процессов. В число этих процессов входят:

- термогидродинамика океана (blue ocean, NEMO-OPA)
- морской лед (white ocean , NEMO-LIM)
- биогеохимия океана (green ocean, NEMO-TOP)

Авторами исходных кодов являются :

NEMO-OPA: Gervan Madec, Laboratoire d'Océanographie et du Climat, France

NEMO-LIM: Thierry Fichefet, Université catholique de Louvain, Belgium

NEMO-TOP:

MERCATOR OCEAN: Ocean monitoring and Forecasting

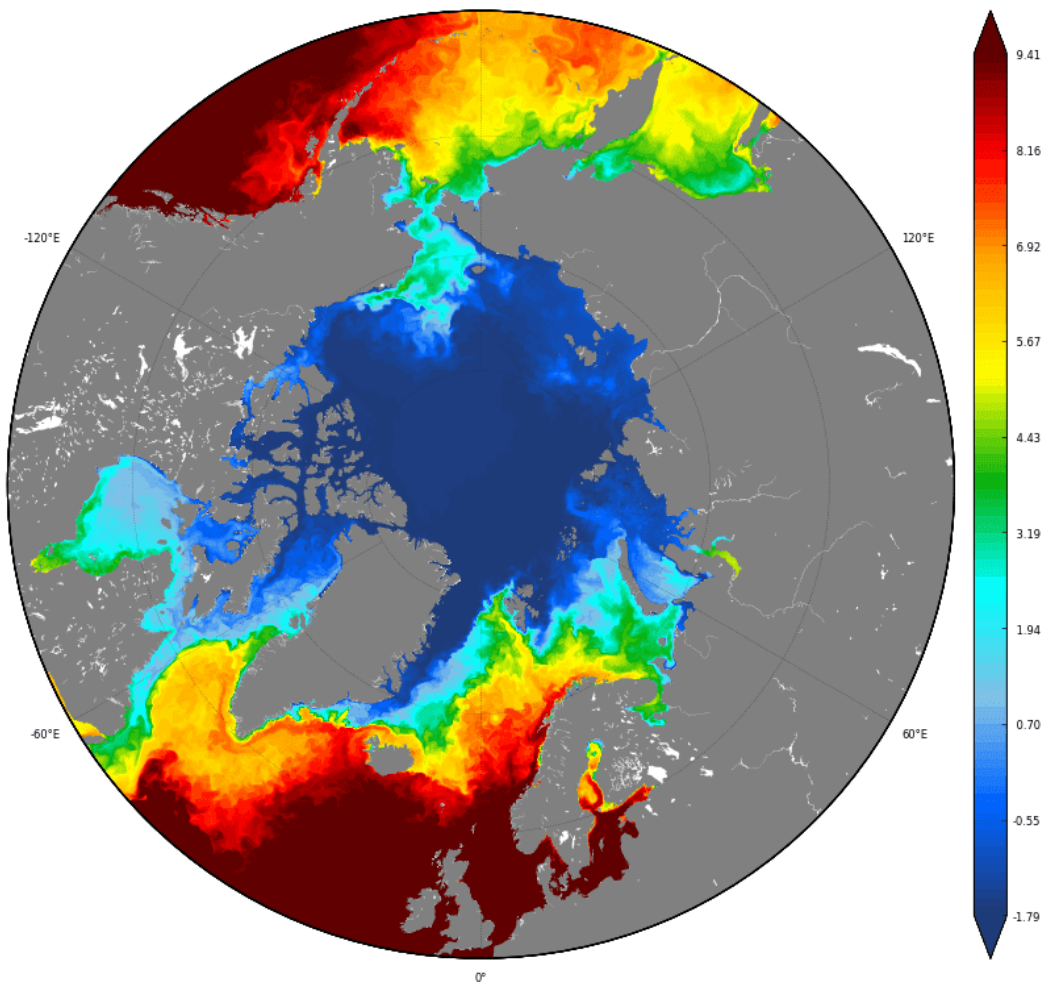
Global Ocean reanalysis and forecast Daily Global Physical Bulletin at 1/12° (GLORYS12V1)



Daily Global Physical Bulletin 1/12° (PSY4QV3R1)
Date: 2019-11-07 (9-day forecast)

Arctic

-180°E



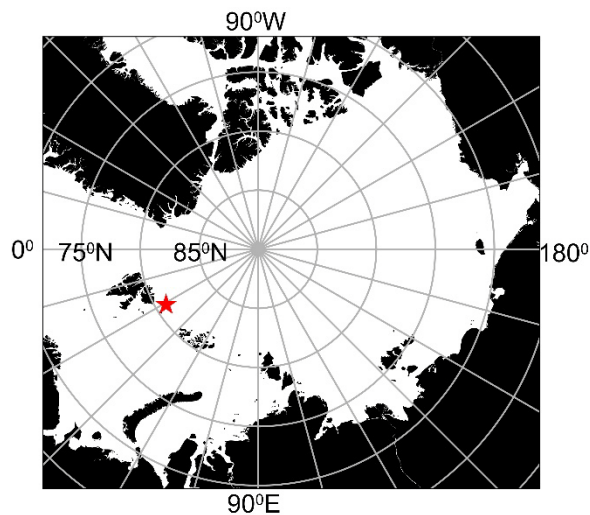
<http://bulletin.mercator-ocean.fr/en/PSY4#3/75.50/-51.33>

Depth (m) :
Time : 2019-10-29

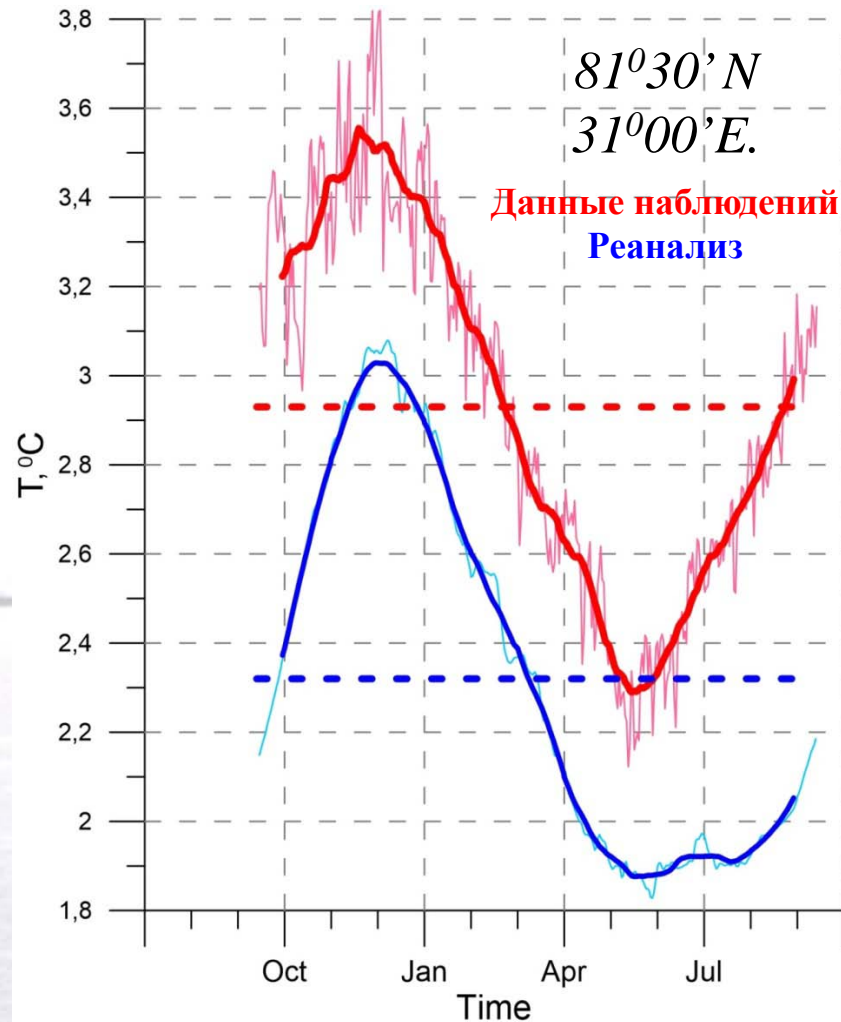
Temperature (degrees_C)

Max: 15.42
Min: -2.05
Average: 1.24

Сравнение данных реанализа GLORYS12V1 с данными наблюдений (температура)



Наблюдается хорошее совпадение фазы сезонного сигнала, но занижение температуры на 1.6°C по данным реанализа

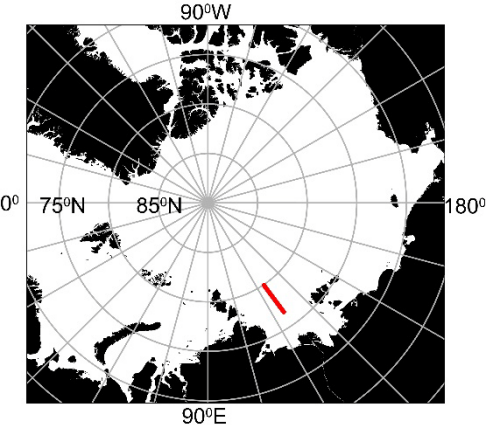


Mean seasonal oscillations of temperature in the AW «kernel» based on NABOS data (<http://nabos.iarc.uaf.edu/>) – red curve: 2004-2009; and MERCATOR reanalysis (<https://www.mercator-ocean.fr/en/>) - blue curve: 2007-2017. Daily data – thin lines; two-month running average - thick lines)

[Ivanov et al., 2018]

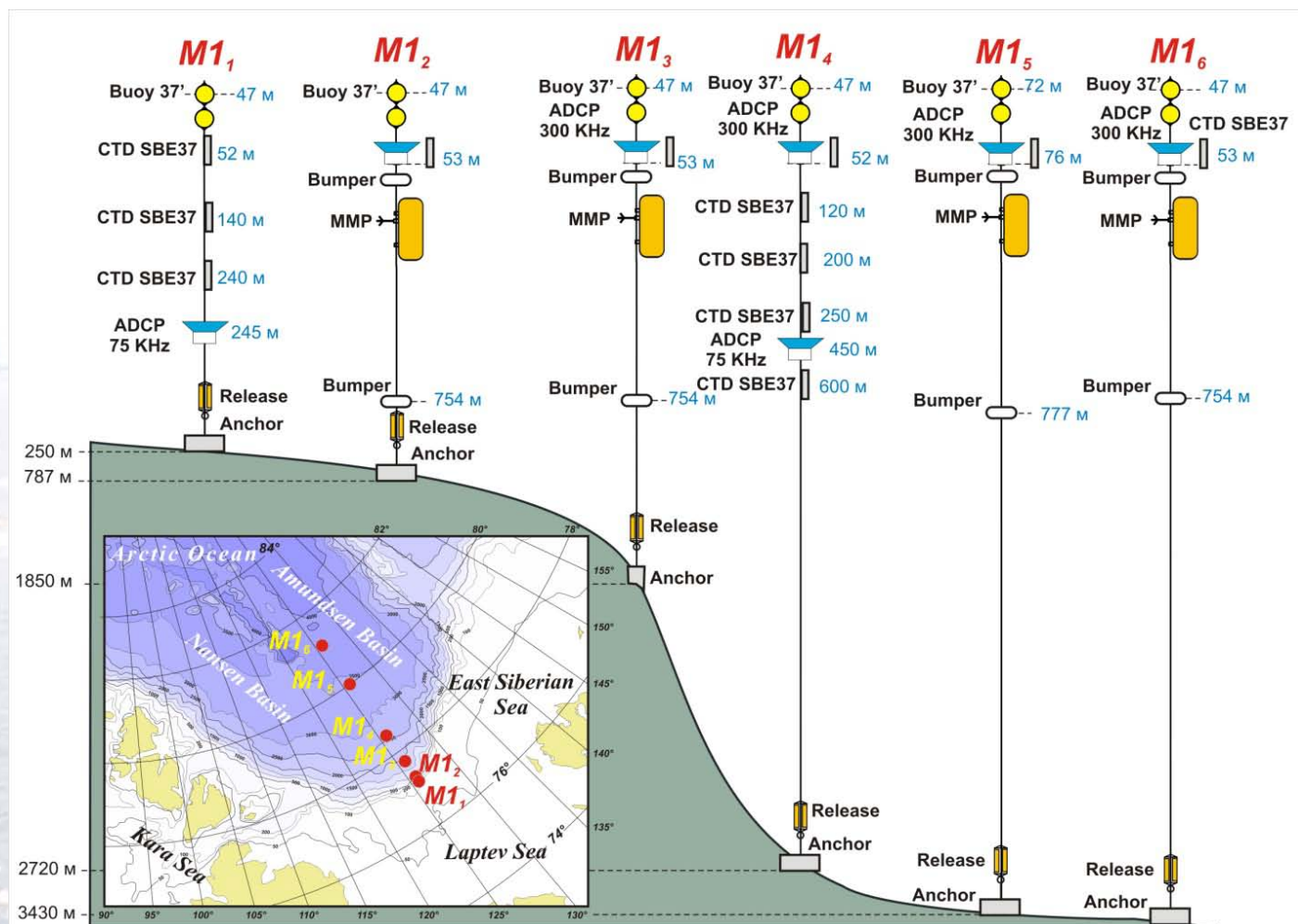
Сравнение данных реанализа GLORYS12V1 с данными наблюдений (течения)

Схема кластера притопленных автономных буйковых станций (ПАБС) в центральной части моря Лаптевых в 2013-2015 гг.

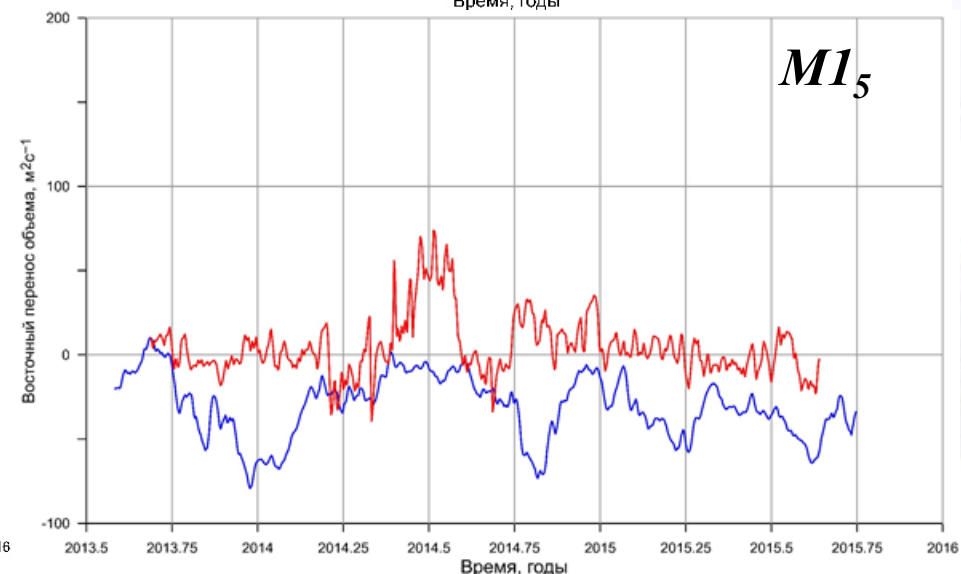
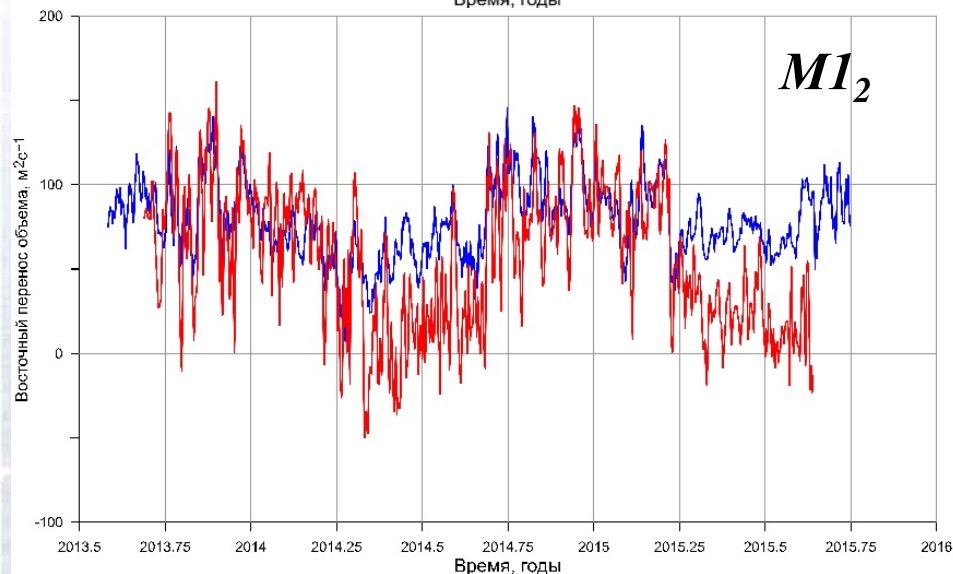
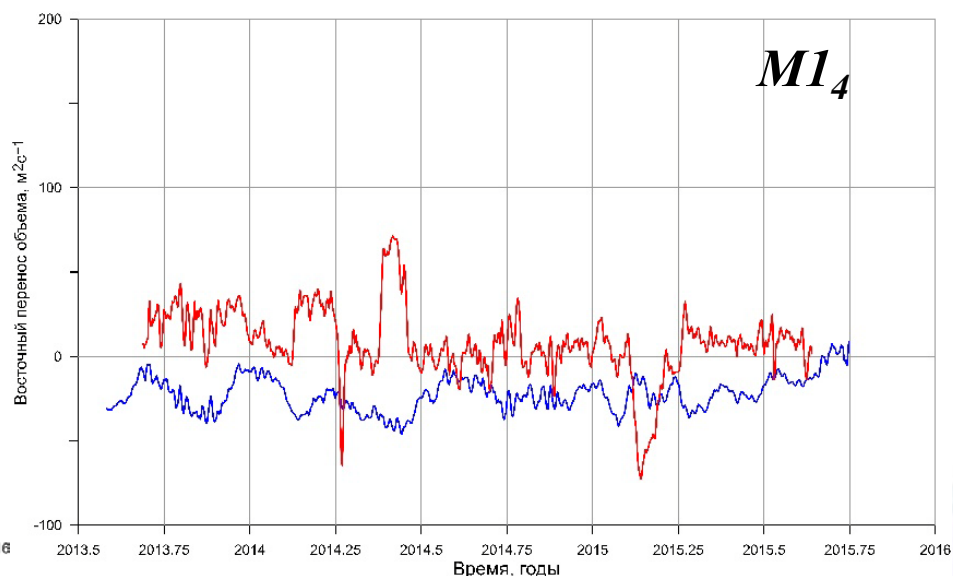
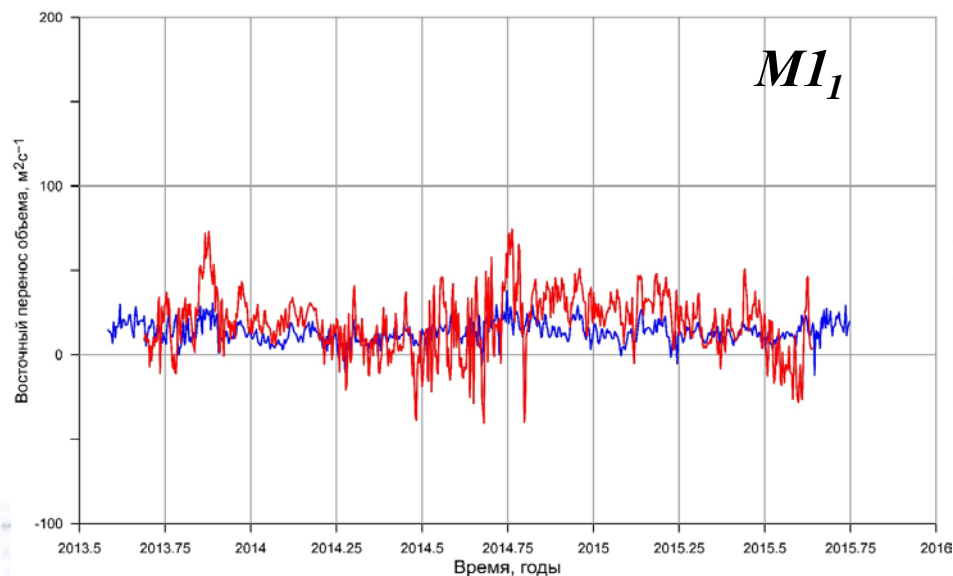


Кластер ПАБС был установлен в сентябре 2013 г. и поднят в сентябре 2015 г.

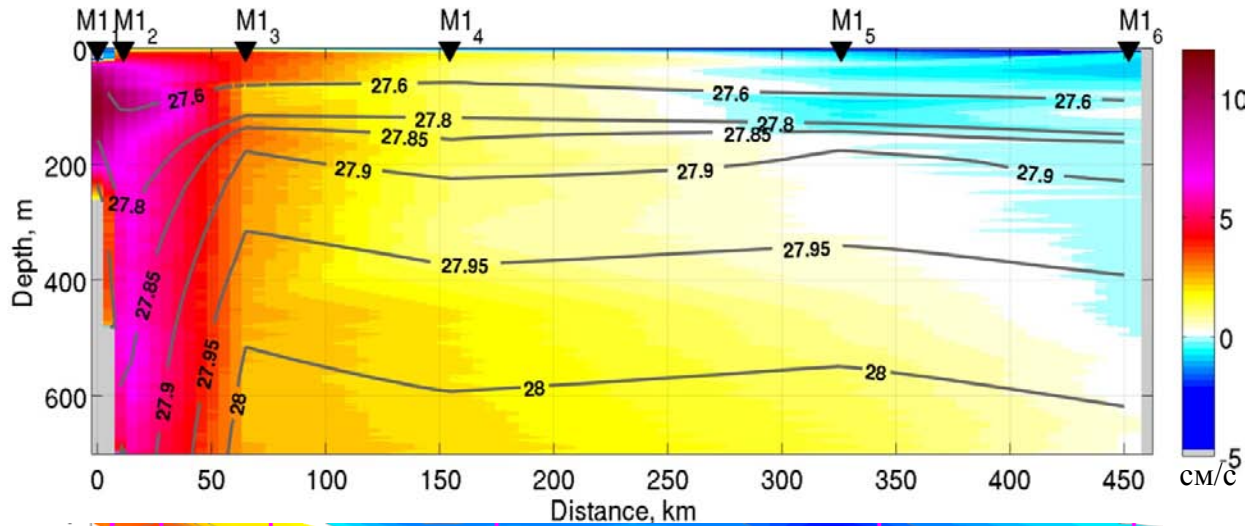
Меридиональная ориентация кластера позволила детально исследовать перенос глубинных вод атлантического происхождения в этом районе.



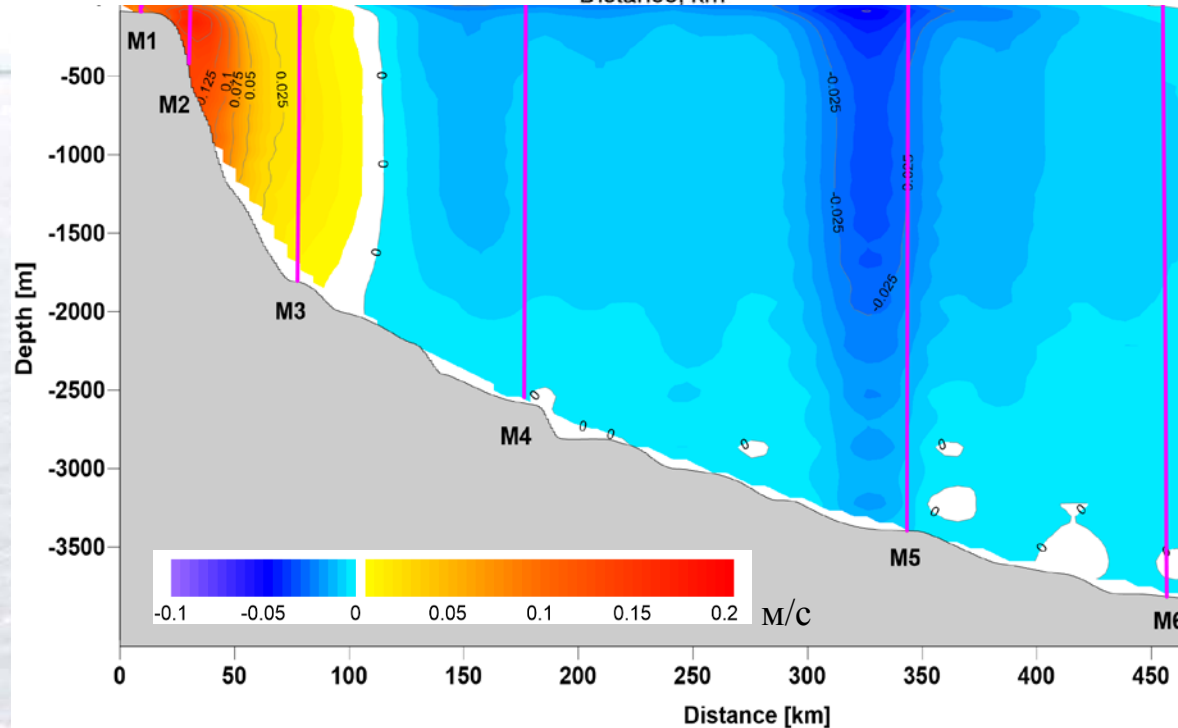
Восточный перенос объема (m^2/c) на отдельных ПАБС в море Лаптевых по в 2013-2015 гг. по данным наблюдений (красный цвет) и реанализа GLORYS12V1 (синий цвет)



Средняя восточная компонента скорости течения в 2013-2015 гг. по данным наблюдений (a) и реанализу GLORYS12V1 (b)



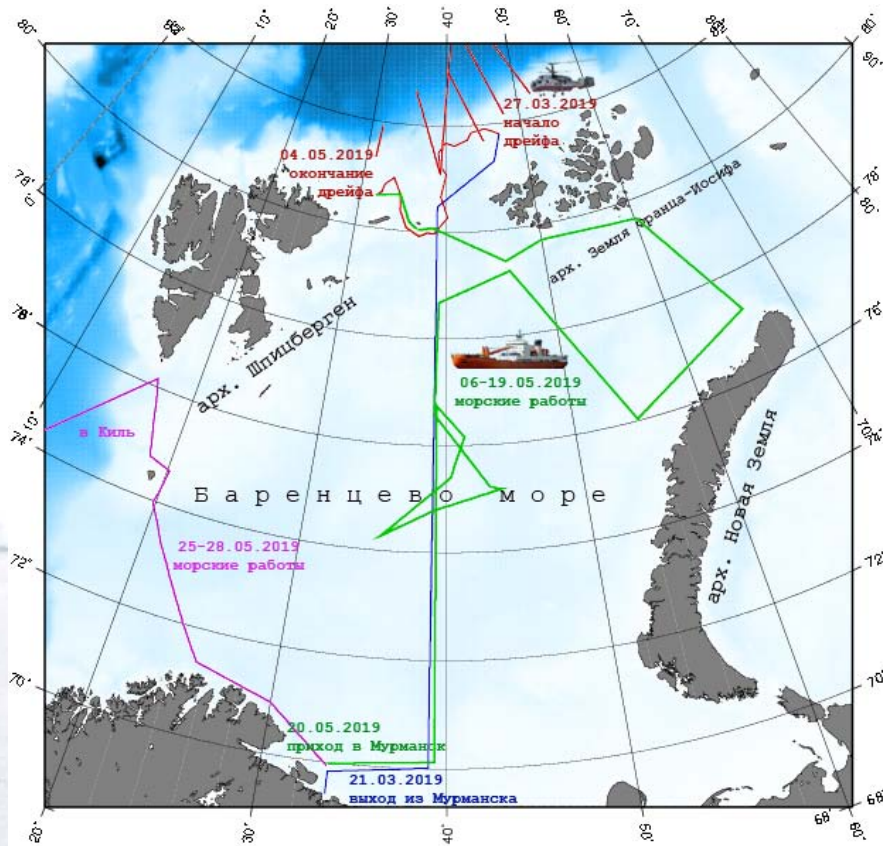
На рисунке (a) также показаны изопикны аномалии потенциальной плотности.



Удовлетворительное совпадение между данными наблюдений и реанализа отмечается в зоне относительно больших скоростей течения (5-15 см/с). При малых скоростях течения направление течения в данных реанализа оказывается противоположным, т.е. относительная ошибка реанализа существенно возрастает.

ЭКСПЕДИЦИЯ «ТРАНСАРКТИКА-2019, I ЭТАП»

Маршрут движения
НЭС «Академик Трёшников»
21.03-08.06.2019



Организации участники:

- ГНЦ РФ ААНИИ Росгидромета
- МГУ им. Ломоносова
- СПбГУ
- ИНГГ СО РАН
- ПГИ КНЦ РАН
- ВНИИОкеангеология МПР
- ГГО Росгидромета
- ИПА РАН
- ФМИ (Финляндия)
- ИОА СО РАН
- ЮНЦ РАН
- ИО РАН
- Геомар (Германия)
- AWI (Германия)
- Университет Бремена (Германия)

Задачи экспедиции:

- Проведение комплексных научных исследований гидрометеорологических, геофизических процессов и явления в Арктике
- Осуществление государственного мониторинга состояния и загрязнения морской природной среды Северного ледовитого океана
- Экспериментальная отработка новых технологий и получение комплексных данных о состоянии природных сред в высокой Арктике с использованием дрейфующей станции нового типа «судно-лёд»

Состав экспедиции:

122 участника
54 человека - экипаж НЭС «Академик Трёшников»
56 человек - экспедиционный состав
12 представителей авиаотряда МЧС

Научные отряды:

- гидрметобеспечения
- метеорологический
- ледоисследовательский
- океанографический
- геофизический
- гидробиологический
- геологический

Основные параметры модели NEMO и реанализа GLORYS12V1, использованные в расчетах для Баренцева моря

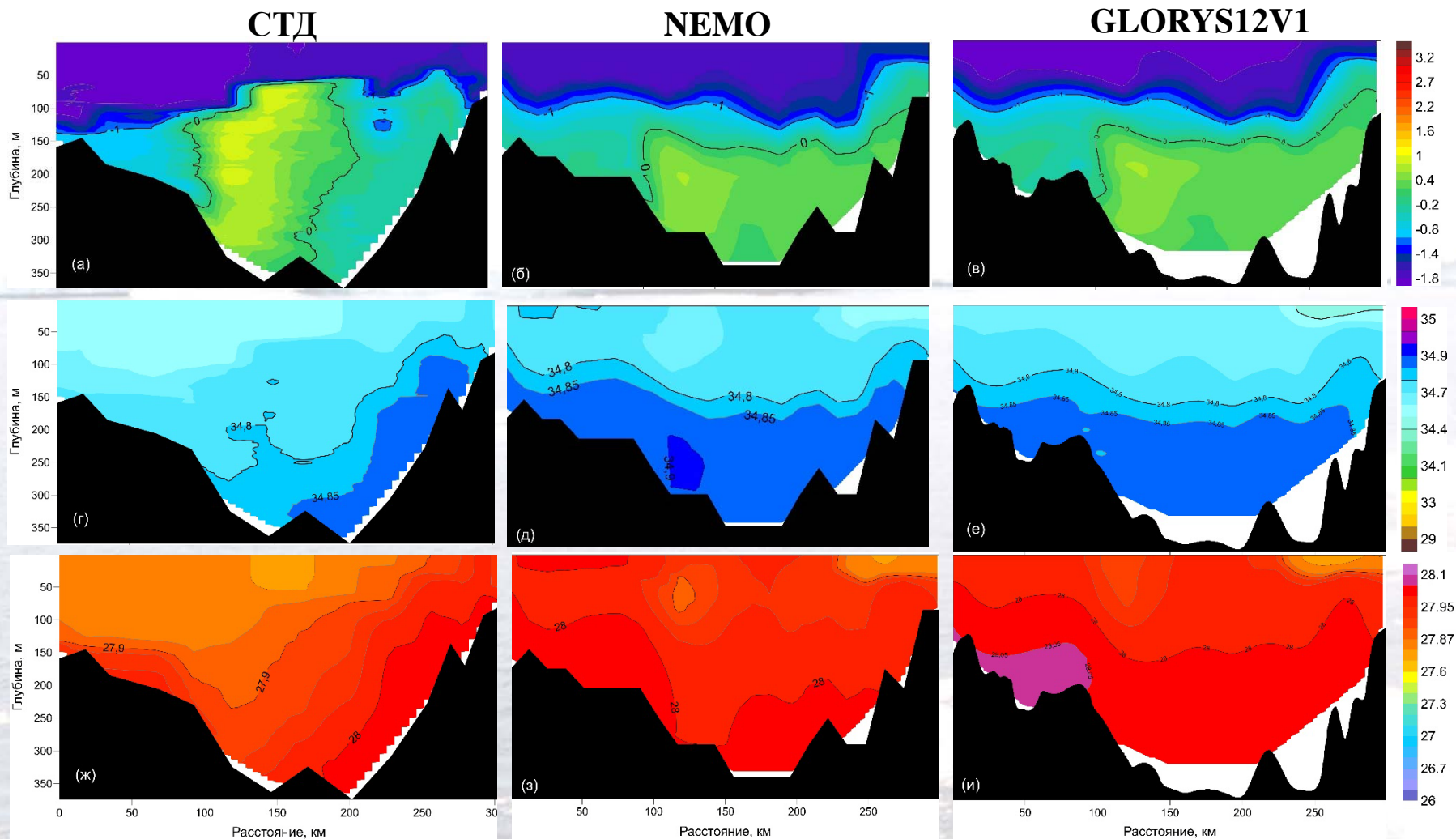
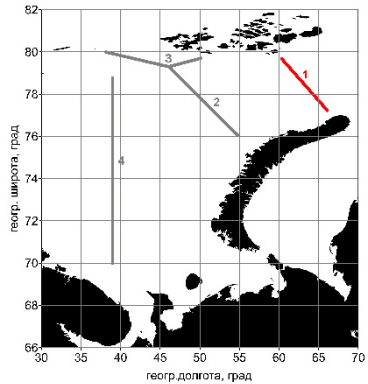
NEMO (v. 3.6)

- Пространственный шаг: 1/16 градуса
- Временной бароклинный шаг: 1.5 мин
- Количество расчетных горизонтов: 50
- Рельеф дна: GEBKO_2014 (0.5 мили)
- Атмосферный форсинг: ERA-Interim
- Граничные условия: GLORYS12V1
- Ледовый блок модели: LIM3

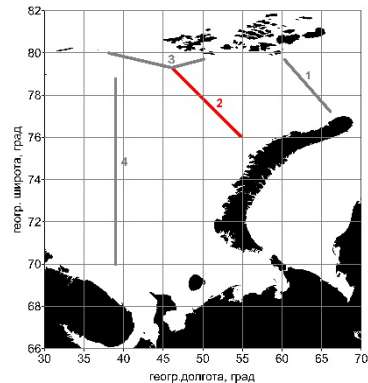
Реанализ GLORYS12V1

- Пространственный шаг: 1/12 градуса
- Количество расчетных горизонтов: 72
- Рельеф дна: GEBKO_2014 (0.5 мили)
- Атмосферный форсинг: ERA-Interim
- Граничные условия: нет (глобальная модель)
- Ледовый блок модели: LIM3
- Метод ассимиляция данных: фильтр Калмана
- Формат выходных данных: netCDF

Вертикальное распределение температуры (а, б, в), солености (г, д, е) и аномалии потенциальной плотности (ж, з, и) на **разрезе-1** в Баренцевом море в мае 2019 г.



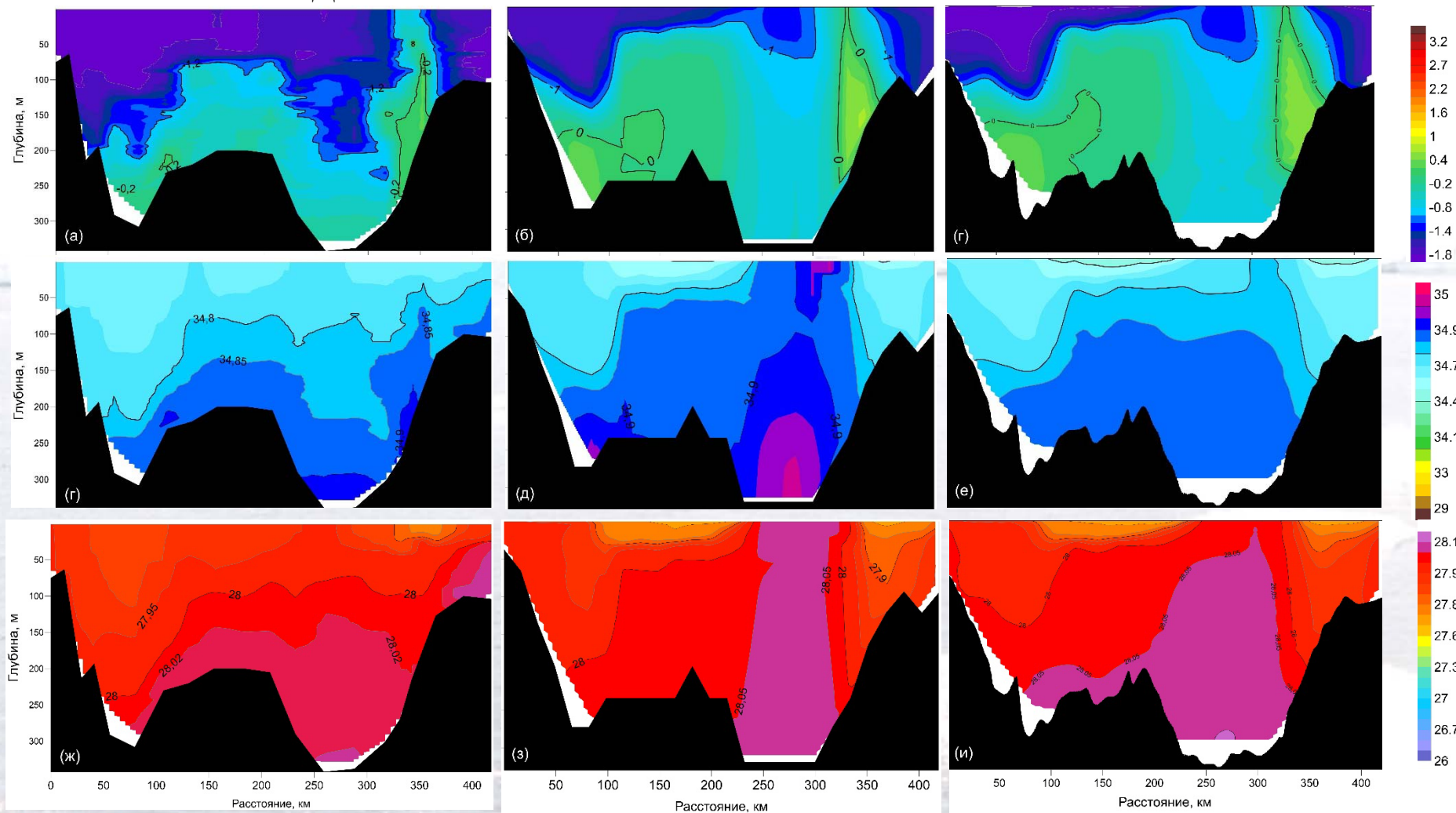
Вертикальное распределение температуры (а, б, в), солености (г, д, е) и аномалии потенциальной плотности (ж, з, и) на **разрезе-2** в Баренцевом море в мае 2019 г.



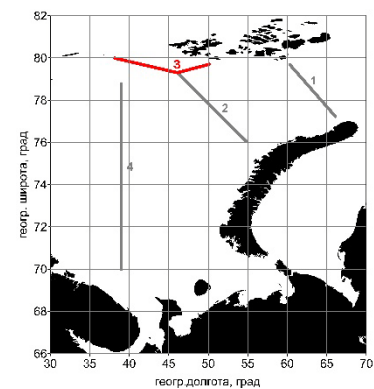
СТД

NEMO

GLORYS12V1



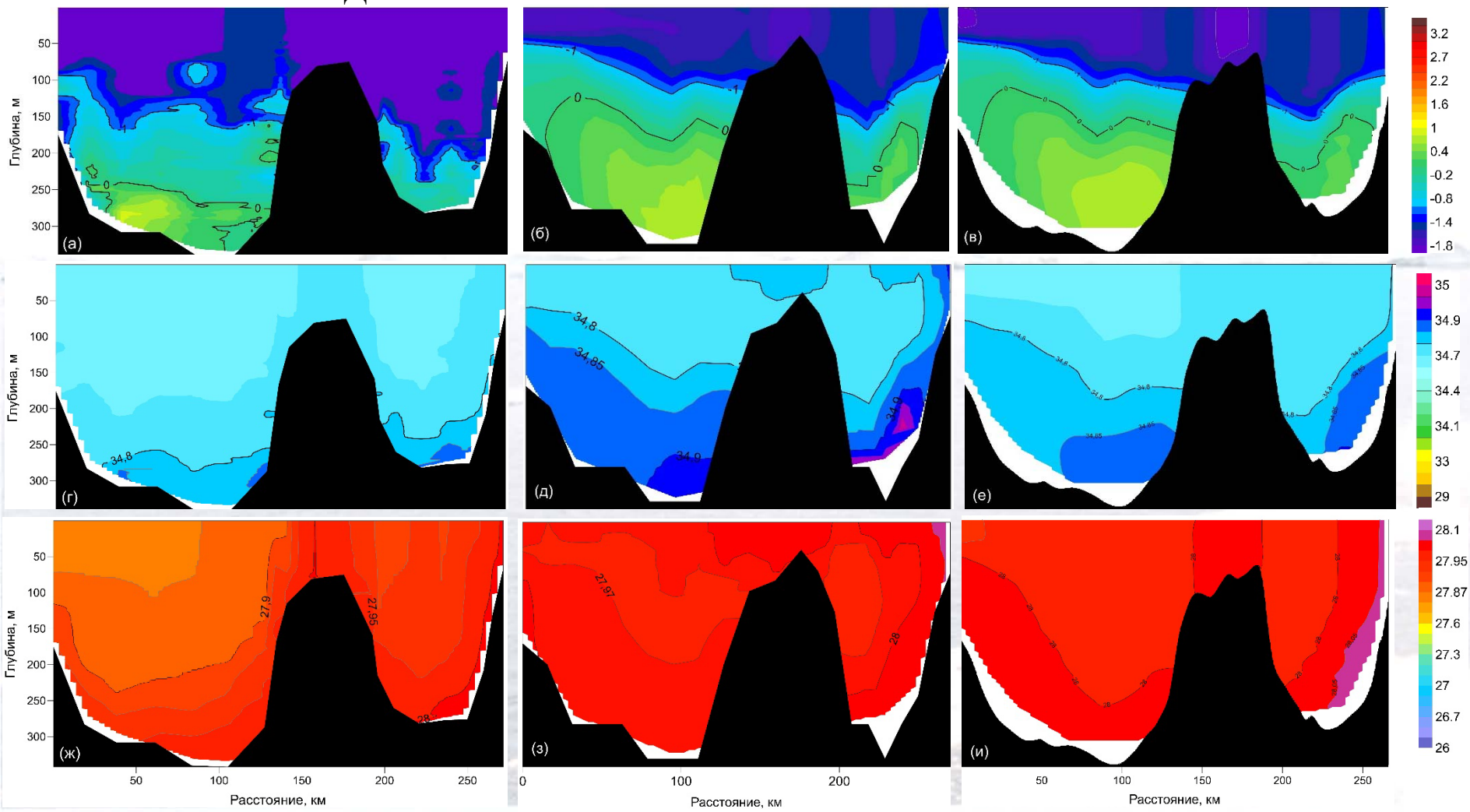
Вертикальное распределение температуры (а, б, в), солености (г, д, е) и аномалии потенциальной плотности (ж, з, и) на **разрезе-3** в Баренцевом море в мае 2019 г.



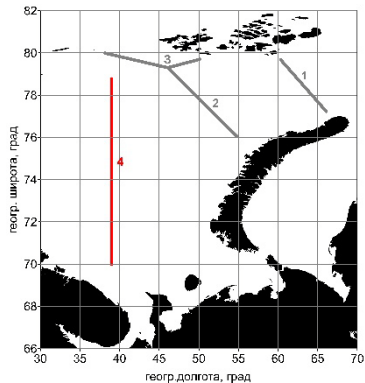
СТД

NEMO

GLORYS12V1



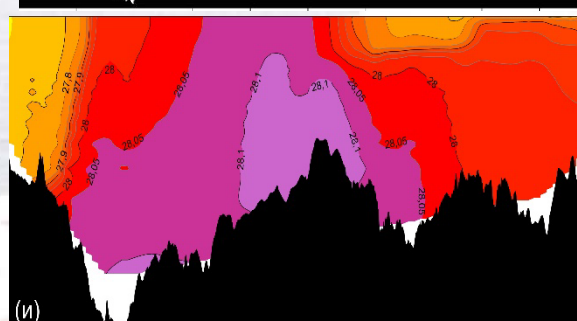
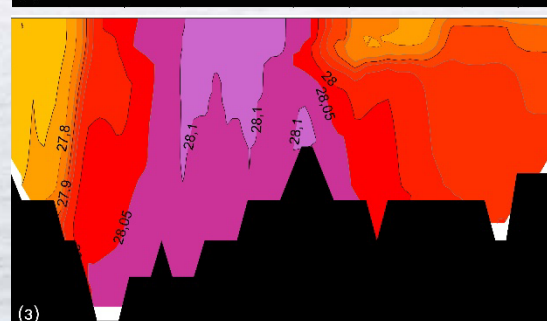
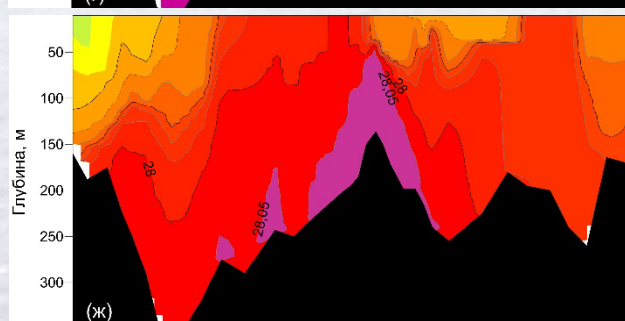
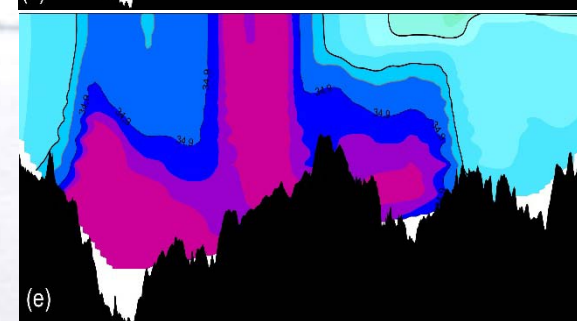
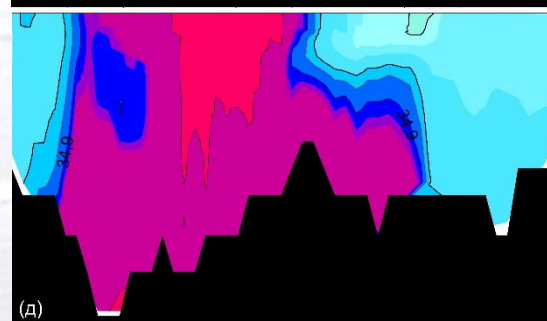
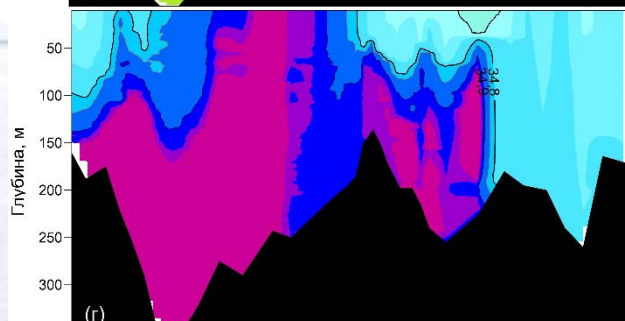
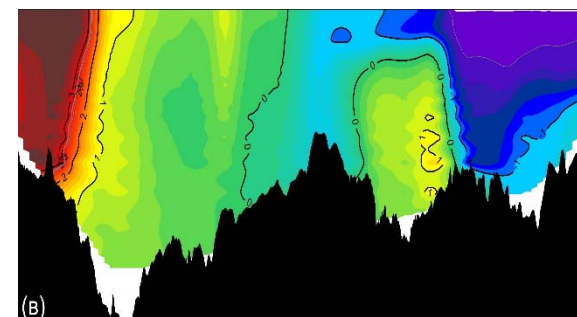
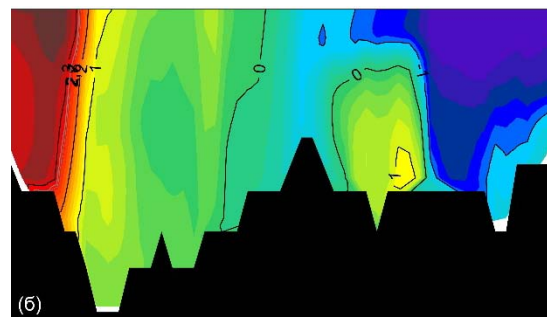
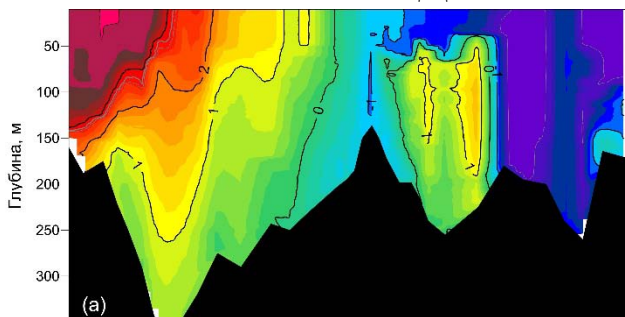
Вертикальное распределение температуры (а, б, в), солености (г, д, е) и аномалии потенциальной плотности (ж, з, и) на **разрезе-4** в Баренцевом море в мае 2019 г.



СТД

NEMO

GLORYS12V1



Глубина, м

Расстояние, км

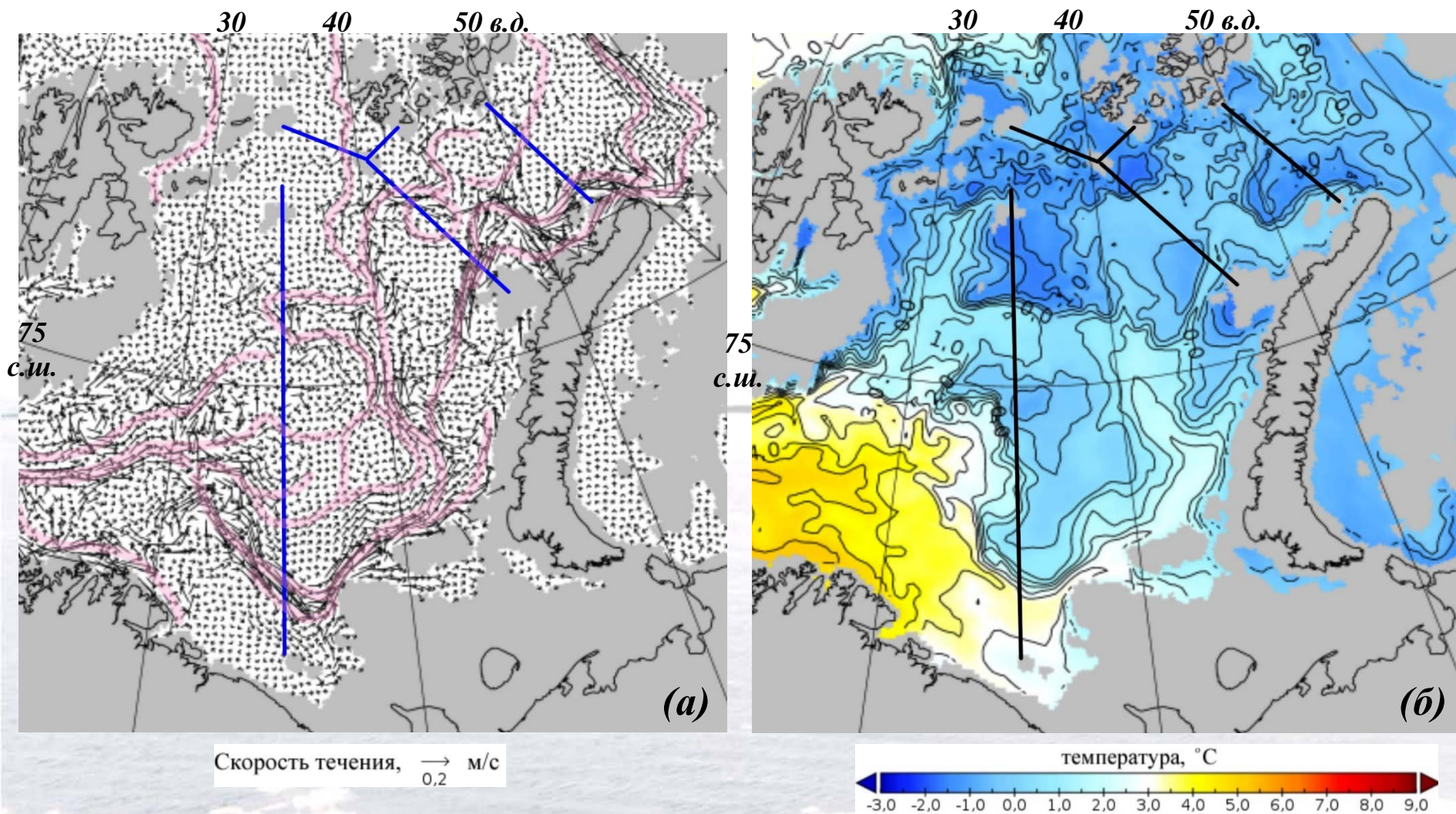
Глубина, м

Расстояние, км

Глубина, м

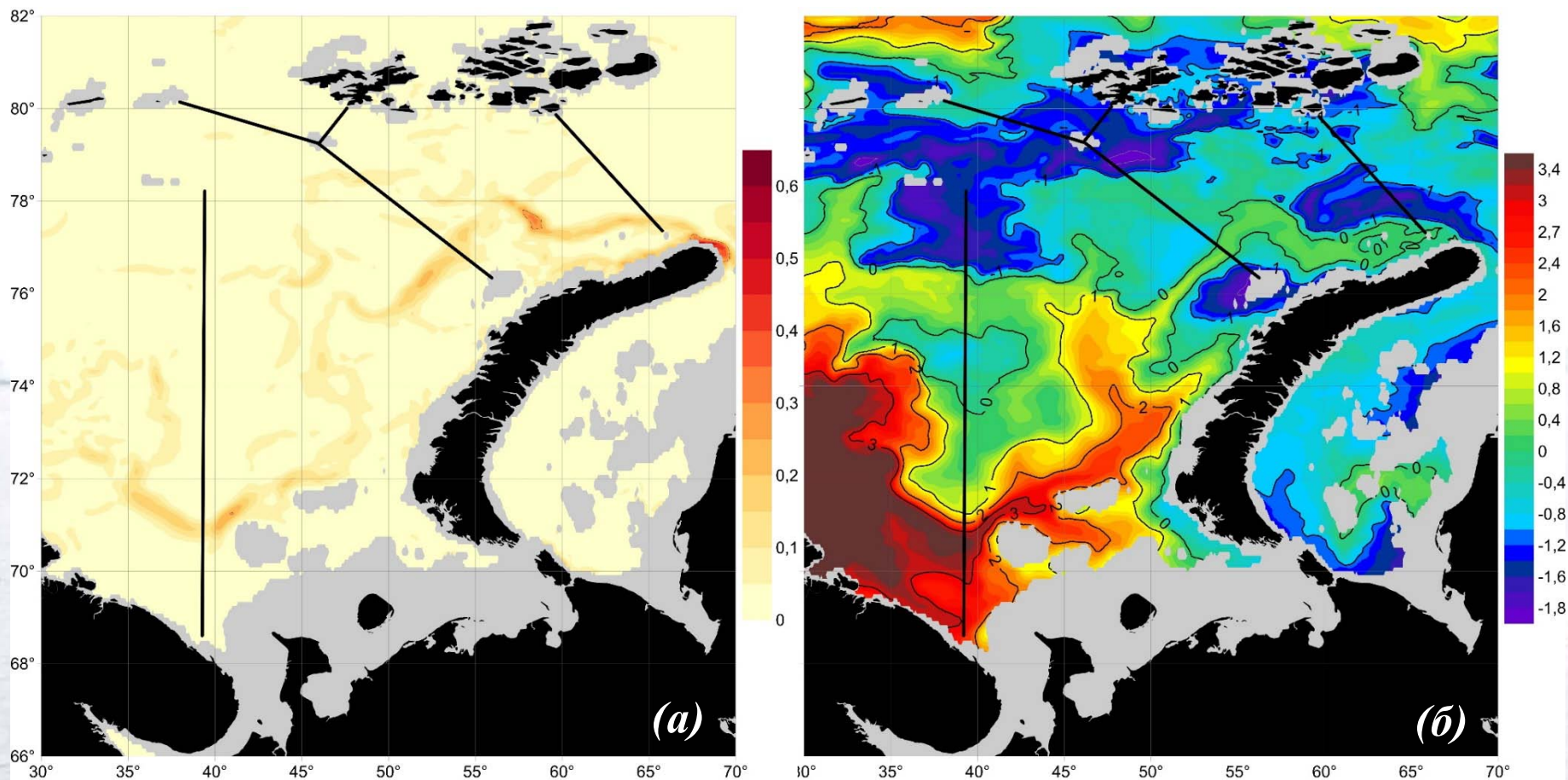
Расстояние, км

Среднее (май 2019 г.) горизонтальное распределений скорости и направления течений (а) и температуры воды (б) в Баренцевом море на горизонте 100 м по модельным данным NEMO



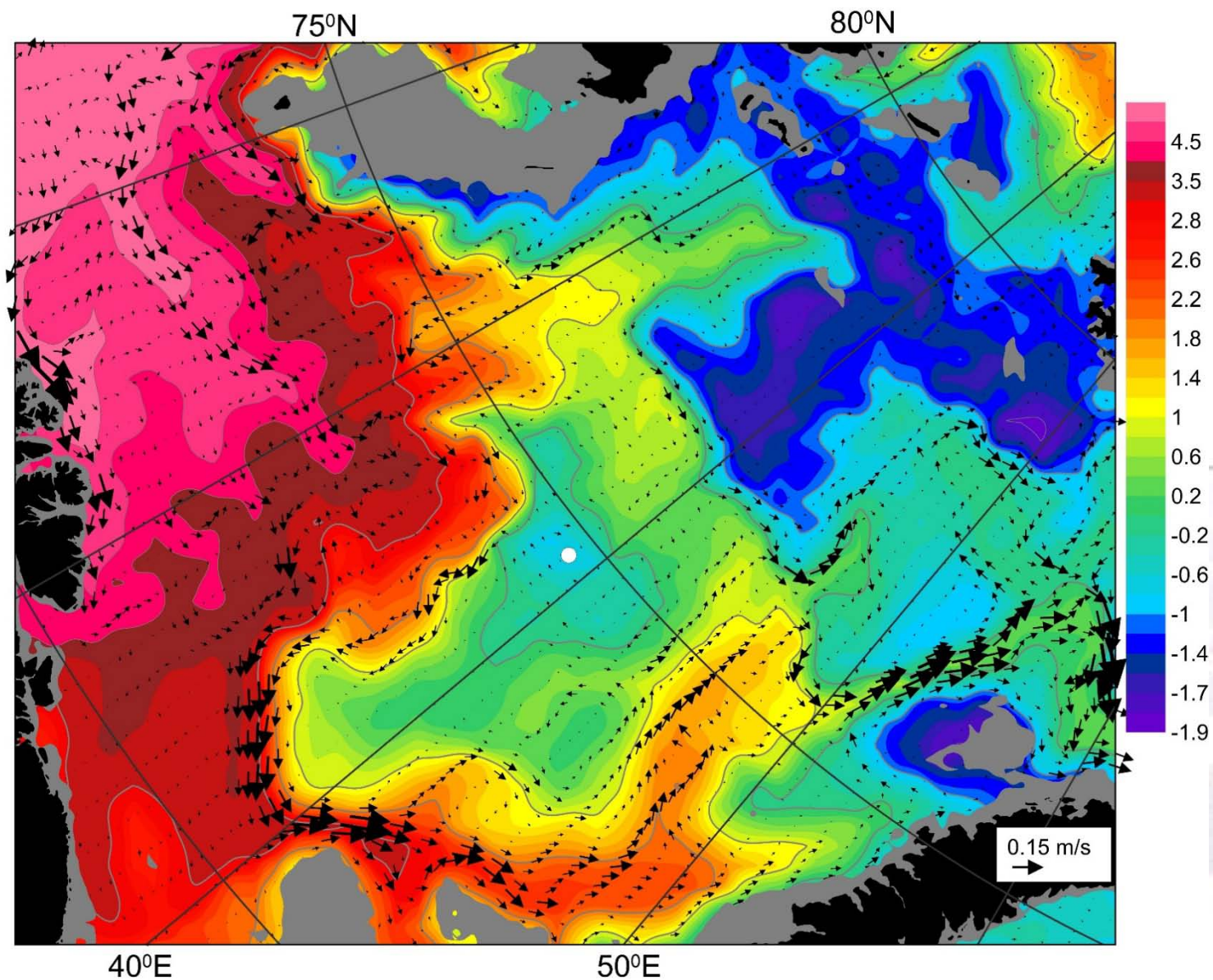
Показаны СТД-разрезы (1-4) в экспедиции «Трансарктика-2019, 1 этап»

Среднее (май 2019 г.) горизонтальное распределений скорости течений (а) и температуры воды (б) в Баренцевом море на горизонте 100 м по данным реанализа GLORYS12V1



Показаны СТД-разрезы (1-4) в экспедиции «Трансарктика-2019, 1 этап»

Объединенная схема средних (за май 2019 г.) течений и температуры воды в Баренцевом море на горизонте 100 м по данным реанализа GLORYS12V1



ВЫВОДЫ

- ❑ Распределения гидрологических параметров на вертикальных разрезах в Баренцевом море, рассчитанные на модели NEMO и восстановленные по реанализу GLORYS12V1 принципиально соответствуют аналогичным распределениям, построенным по данным стандартных измерений в экспедиции «Трансарктика-2019».
- ❑ Модельные данные и данные реанализа также дают близкую к фактической оценку пространственной изменчивости параметров АВ по мере их движения в Баренцевом море, что позволяет использовать эти материалы для анализа пространственно-временной изменчивости гидрофизических характеристик
- ❑ Совместное использование независимых источников данных является принципиально важным для получения целостной картины распределений гидрофизических характеристик, поскольку каждый из рассмотренных источников информации содержит непреодолимые ошибки, связанные с различными объективными причинами. Эти ошибки могут быть наилучшим образом учтены/устранены только в рамках совместного анализа данных.

A sunset over the ocean. The sky is a mix of blue and orange, with wispy clouds. The sun is a bright orange circle on the horizon, partially obscured by a layer of dark clouds. The water is dark blue.

Спасибо за внимание!

Представленные результаты были получены в рамках грантов РФФИ-Арктика 18-05-60083 и
РНФ19-17-00110