

Основные климатические характеристики Мирового океана, полученные по данным измерений Арго за 20-летний период с 2005 по 2024 год

Лебедев Константин Владимирович

Институт океанологии им.

П.П.Ширшова РАН

Московский физико-технический

институт

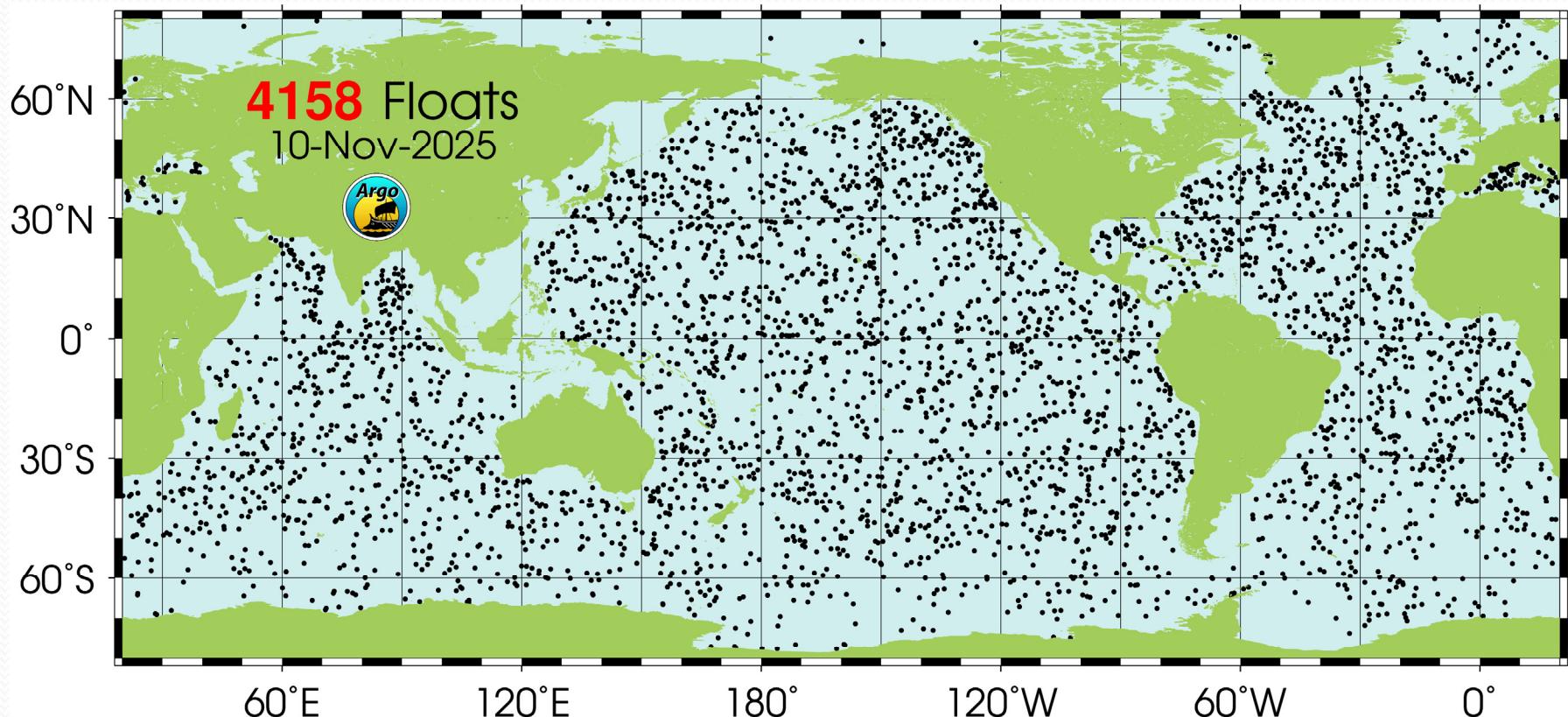
Kalalau Valley

Kauai 2007

Москва, ИКИ РАН
11 ноября 2025

Наступление в конце XX века эры спутниковых наблюдений за поверхностью океана и развитие в первые годы XXI века проекта Арго, направленного на сбор с использованием спутников информации о толще океана, дает уникальные возможности непрерывного мониторинга состояния Мирового океана. На основе данных спутниковых наблюдений оцениваются различные гидрофизические и биологические параметры поверхностного слоя океана (температура, соленость, возмущение уровенной поверхности, волнение, цветность, концентрация хлорофилла и т.д.). В частности, возмущение уровенной поверхности океана, в значительной степени связанное с динамикой всей толщи океана, измеряется со спутников-альтиметров. Около 4000 поплавков Арго осуществляют на сегодняшний день автономное зондирование верхней двухкилометровой толщи океана от Антарктики до Шпицбергена с 10-дневным временным интервалом. Общее число профилей, накопленных в рамках программы Арго, превышает два с половиной миллиона.

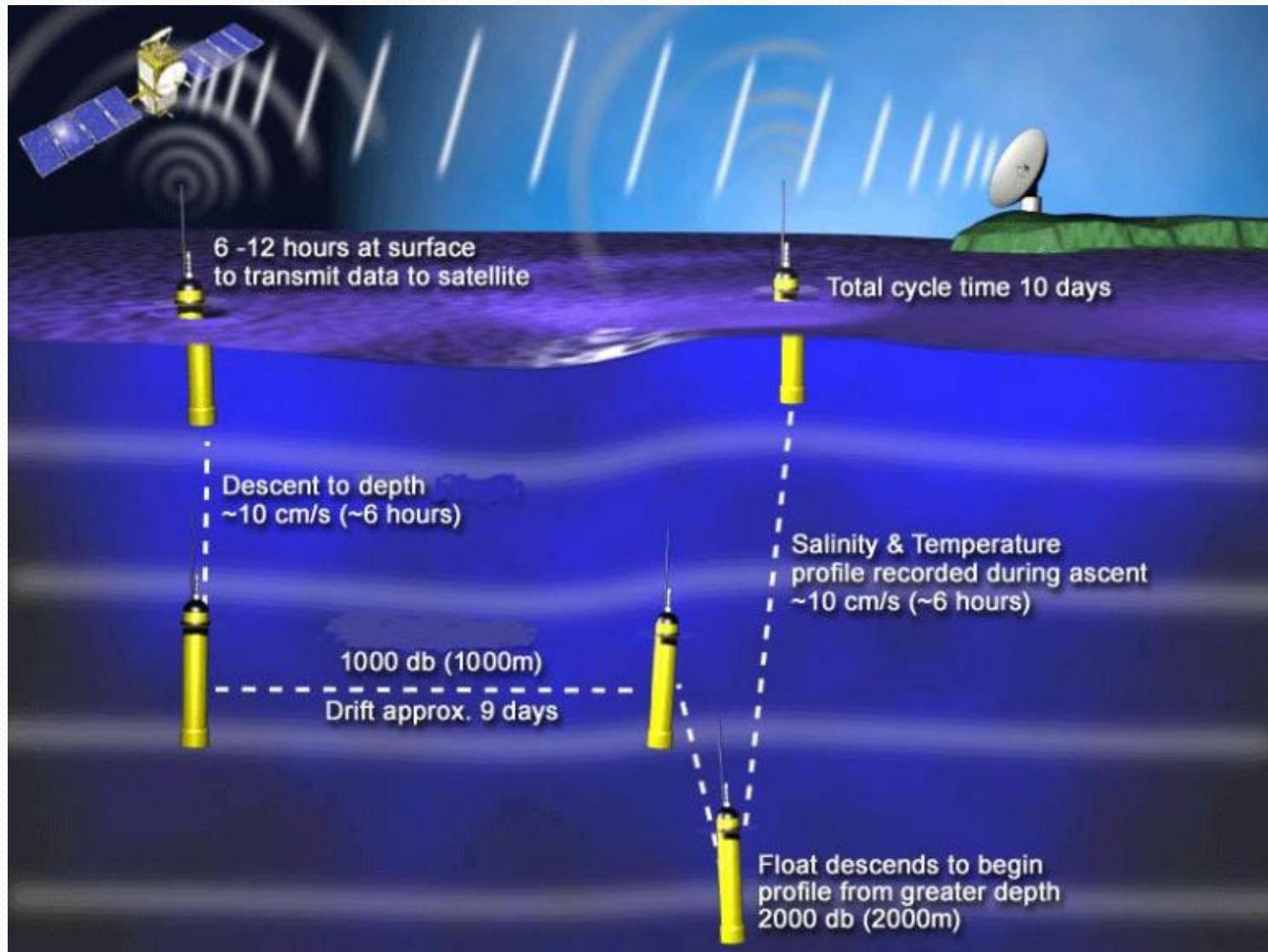
Argo status



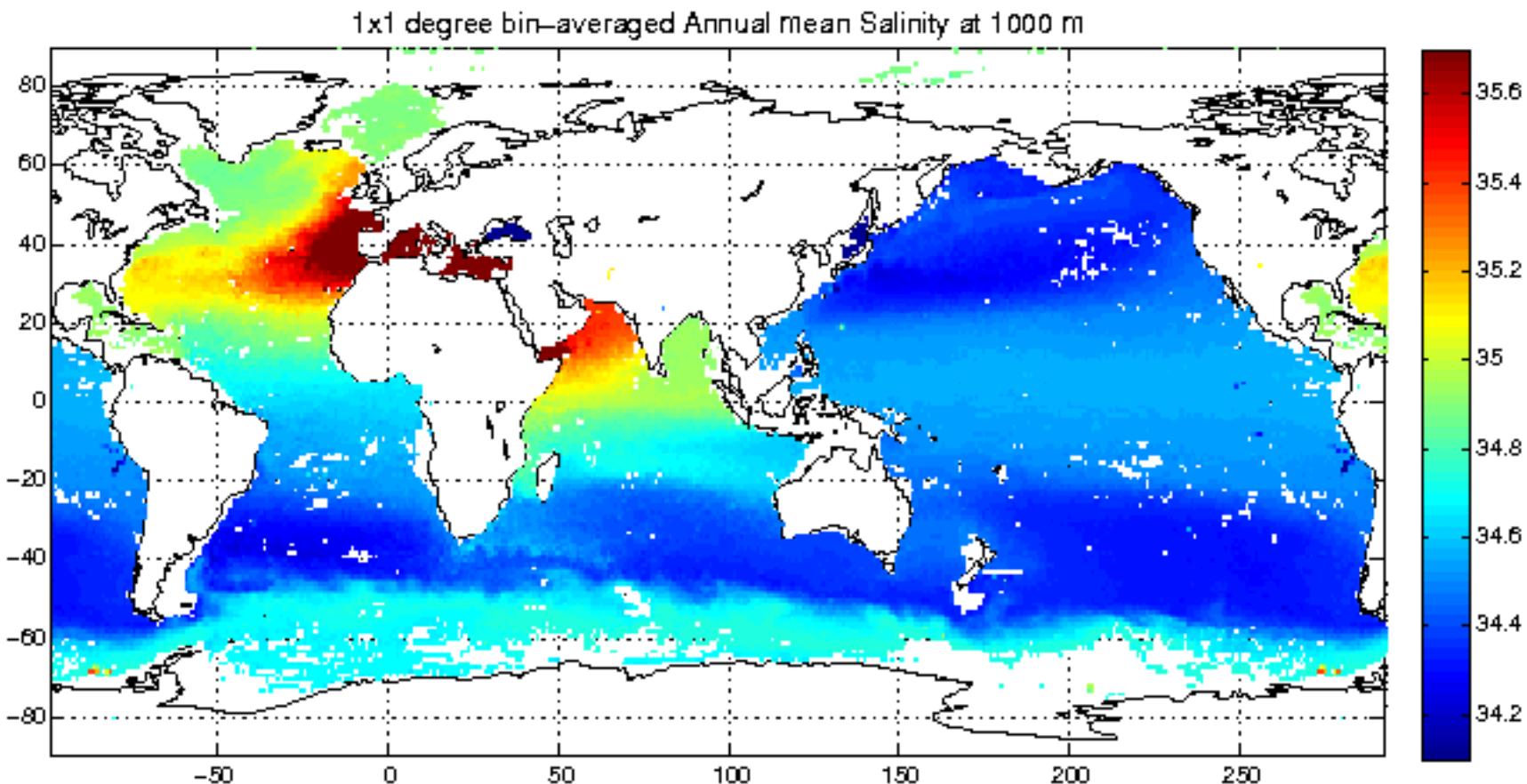
Target of 3000 floats has been reached in Nov 2007
Nominal density of the array - 1 float per $3^\circ \times 3^\circ$ bin



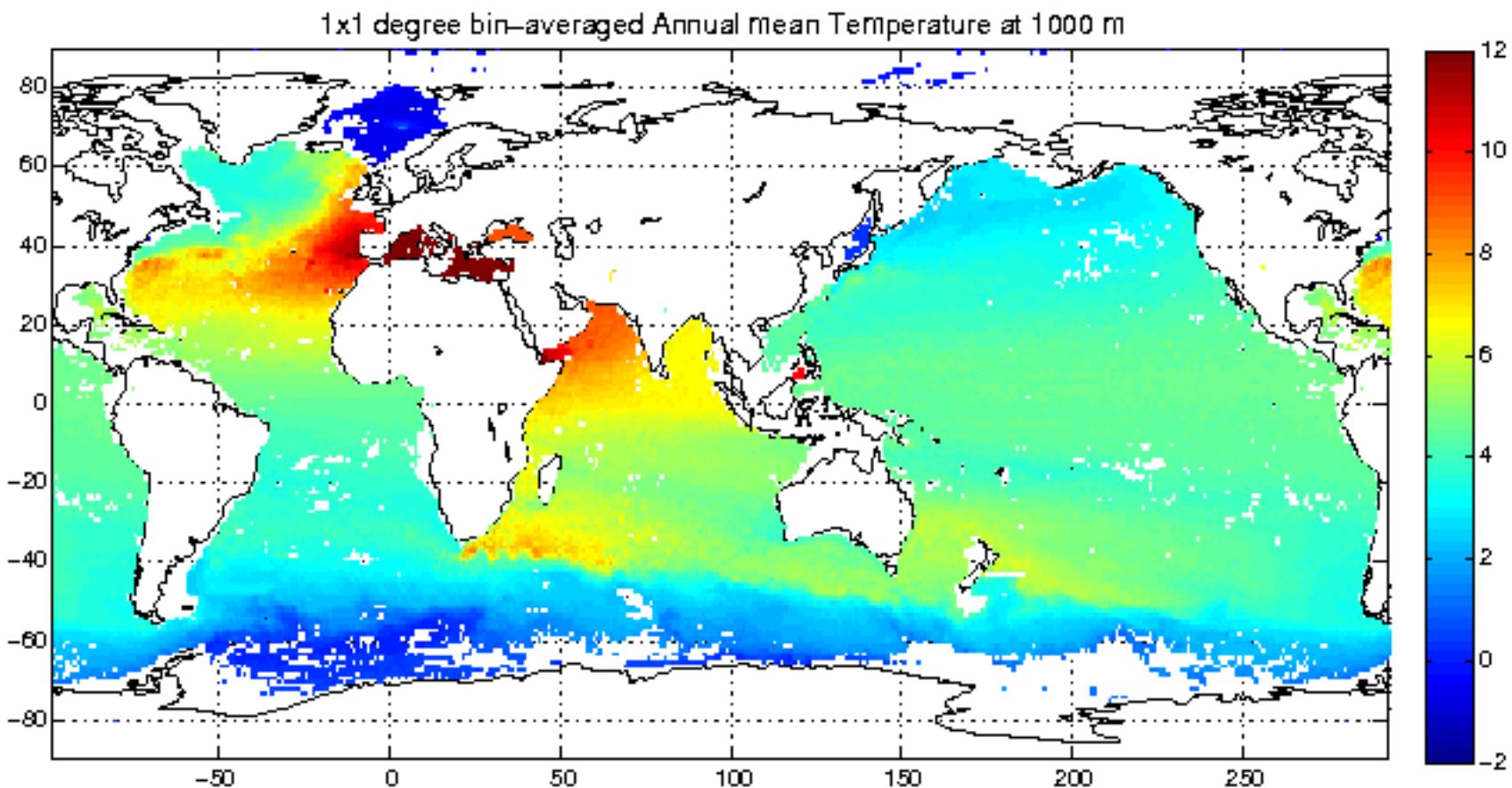
Цикл поплавка Argo



Средняя по 1x1 «квадратам» СОЛЕНОСТЬ на глубине 1000 м



Средняя по 1x1 «квадратам» ТЕМПЕРАТУРА на глубине 1000 м



Вариационная интерполяция данных на регулярную одноградусную сетку

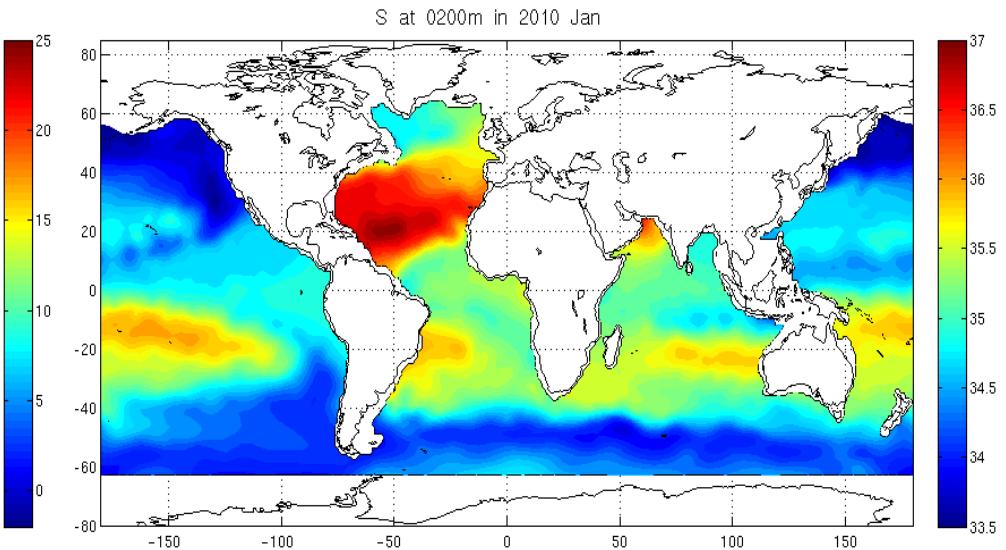
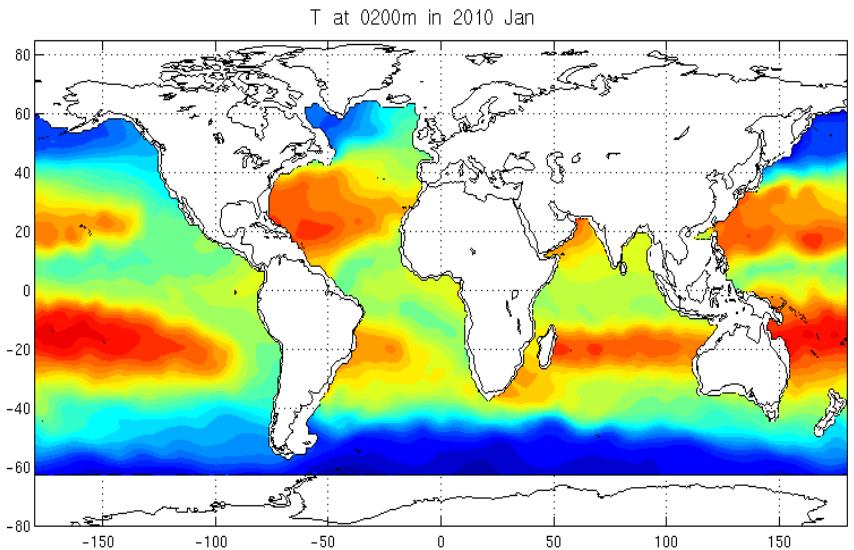
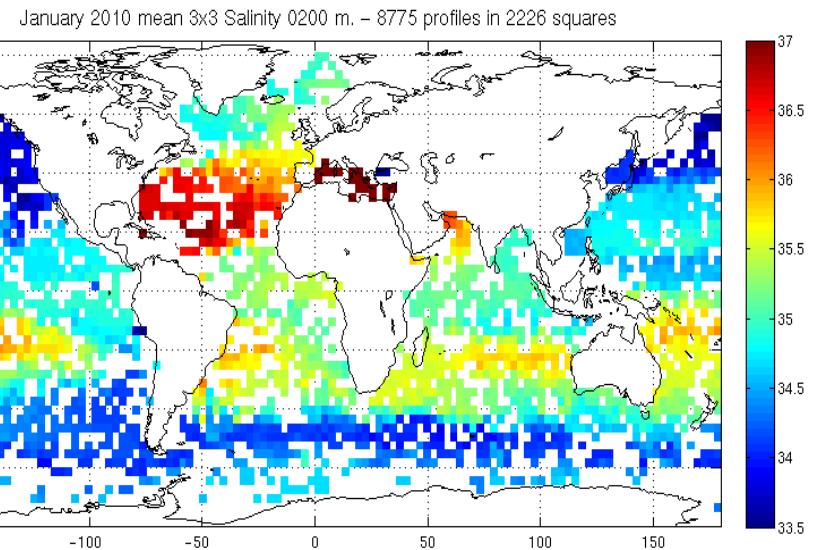
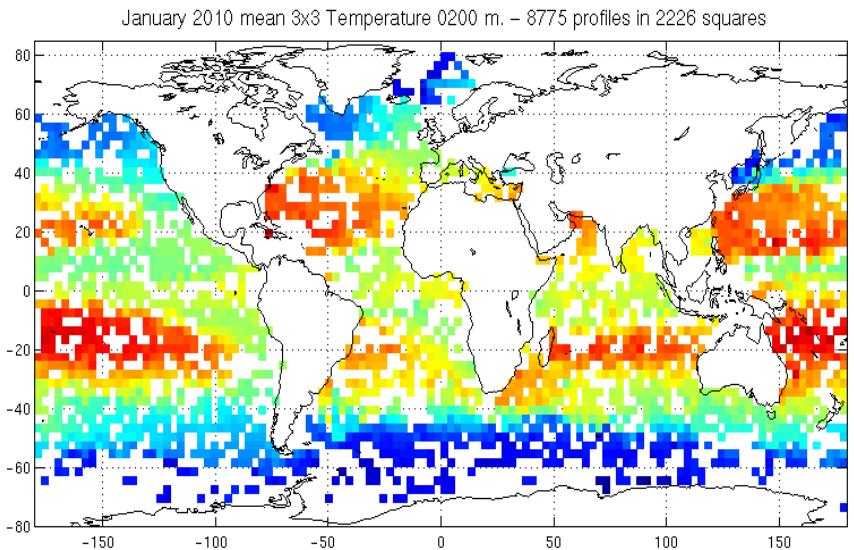
Принцип вариационной интерполяции состоит в минимизации отклонений между проинтерполированными на регулярную сетку полями A_g и данными нерегулярно расположенных измерений A_d . Минимизация проводится таким образом, чтобы полученное решение проходило максимально близко к данным измерений.

Минимизируемый функционал

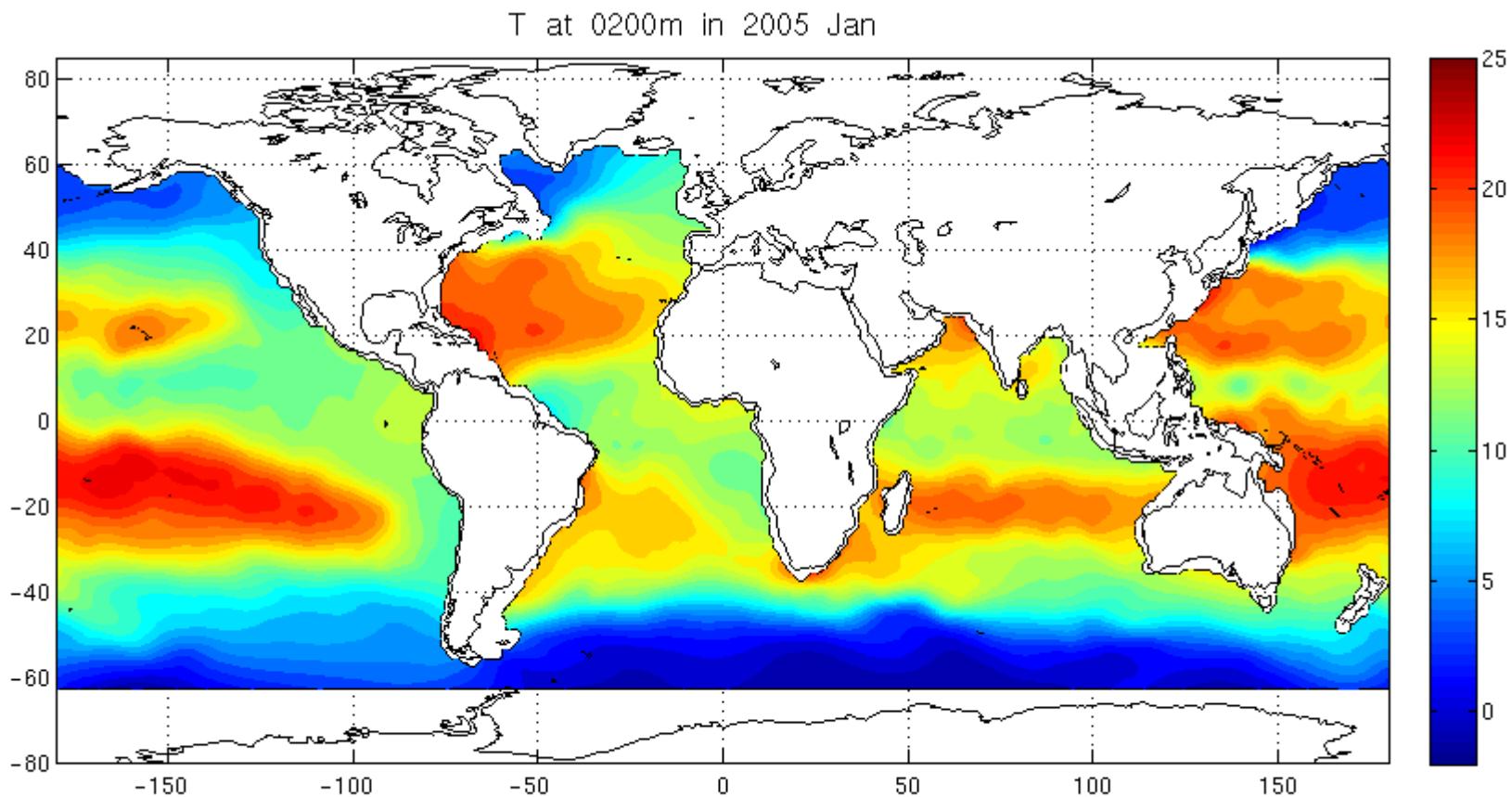
$$F = \sum_{n \in L} (A_{g-d}^n - A_d^n)^2 + C_1 \sum_{i,j} (A_g^{i,j} - A_c^{i,j})^2 + C_2 \sum_{i,j} ((dX^j)^2 \Delta A_g^{i,j})^2,$$

где A_g - интерполируемая переменная Argo (T, S и т.д.) в узлах регулярной сетки, A_{g-d} - линейная интерполяция в точку измерения A_d значений переменной A_g из четырех окрестных узлов регулярной сетки, A_c - климатические данные в узлах регулярной сетки, dX – зональный шаг сетки , L – временной интервал (месяц, сезон, год и т.п.).

Температура и соленость на глубине 200 м, полученная осреднением по 3x3 «квадратам» (верх), и вариационно проинтерполированная (низ)



Эволюция поля ТЕМПЕРАТУРЫ на глубине 200 м





<http://argo.ocean.ru/>

Арго-Модель Исследования Глобального Океана (**АМИГО**), состоит из блока вариационной интерполяции на регулярную сетку данных профилирования дрейфующих измерителей Argo и блока модельной гидродинамической адаптации вариационно проинтерполированных полей. Такая методика позволяет получать по нерегулярно расположенным данным измерений Argo полный набор океанографических характеристик: температуру, соленость, плотность и скорость течений. Выполненные расчеты представлены ежемесячными, сезонными, годовыми и среднеклиматическими полями. Созданная по результатам проведенных модельных расчетов в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН база океанографических данных АМИГО охватывает 10-летний период с 2005 по 2014 гг.

Лебедев К.В. Арго-Модель Исследования Глобального Океана (**АМИГО**)
Океанология. 2016. Т. 56. № 2. С. 186-196.

Модель общей циркуляции океана (в режиме диагноза и адаптации)

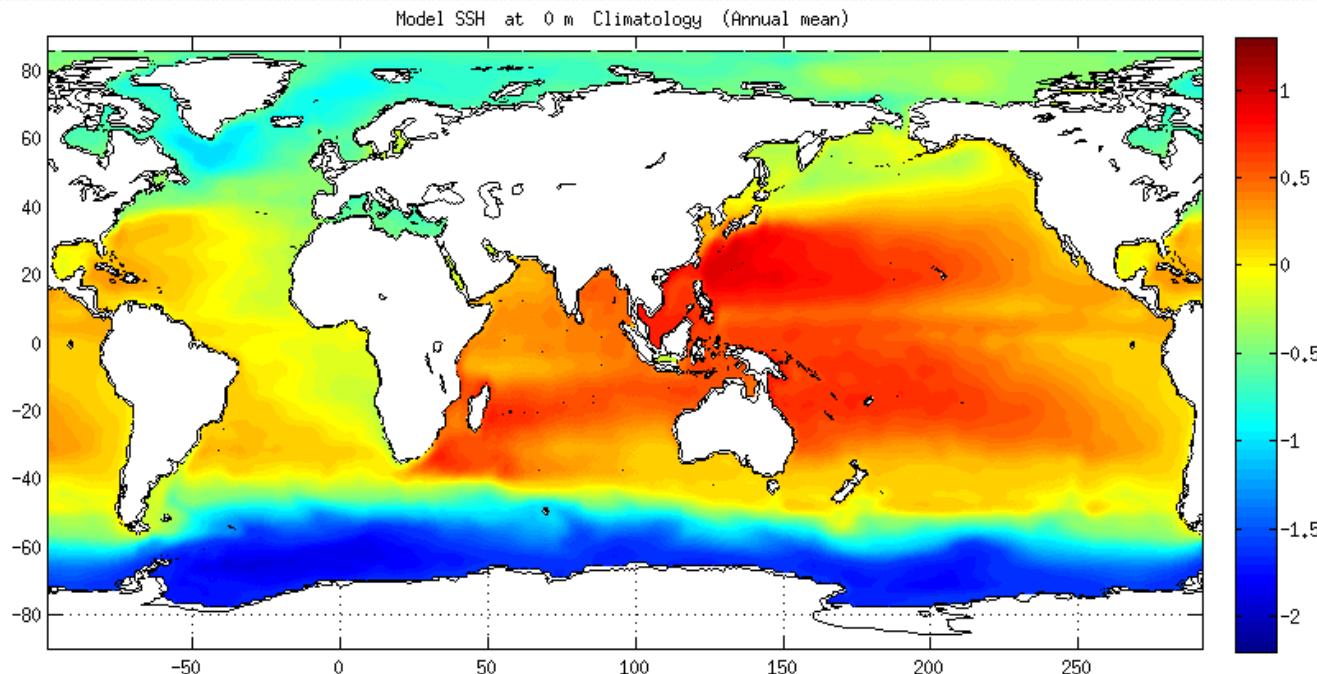
Пространственное разрешение 1° по долготе и широте

Северная граница области расчетов 85,5° с.ш.

32 горизонта по вертикали, максимальная глубина океана 5750 м

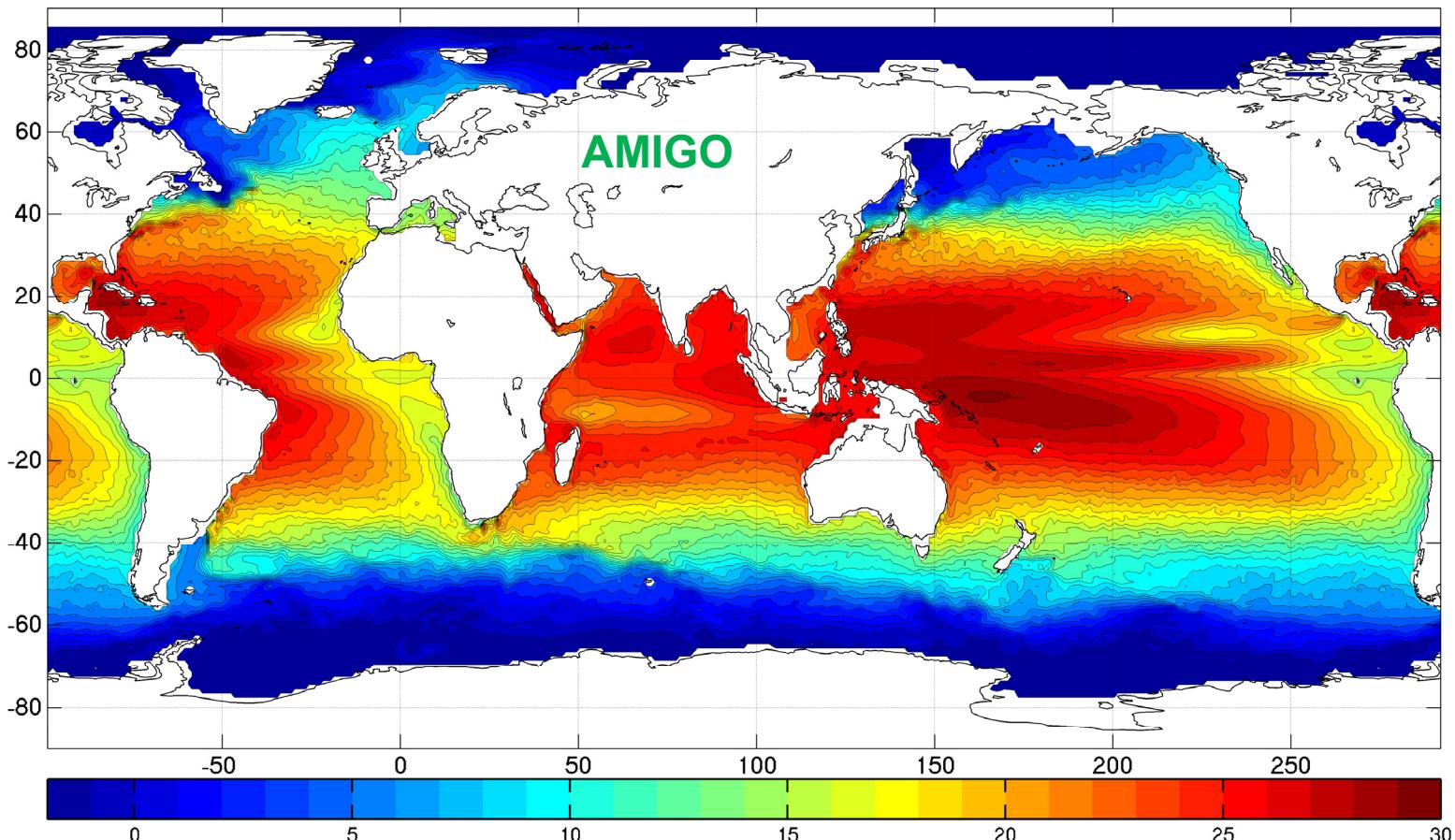
Корректировка рельефа дна в ряде ключевых районов Мирового океана (Флоридский пролив, западная граница Гольфстрима, пролив Нэрса, Берингов пролив, Индонезийские проливы и других)

Ветер ECMWF ERA5



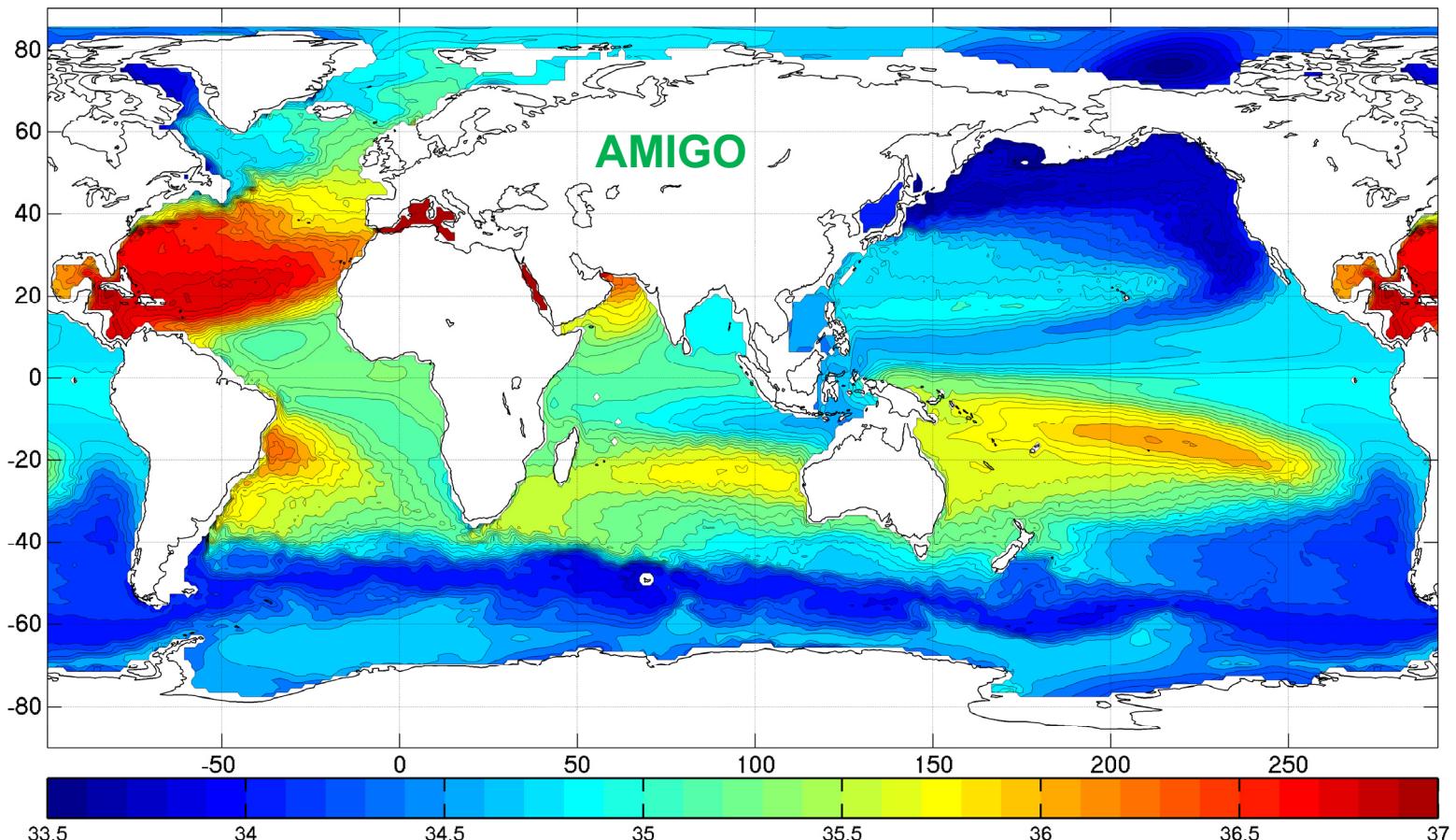
Среднеклиматическая ТЕМПЕРАТУРА на глубине 75 м

75 м, среднемноголетняя (2005-2022) температура



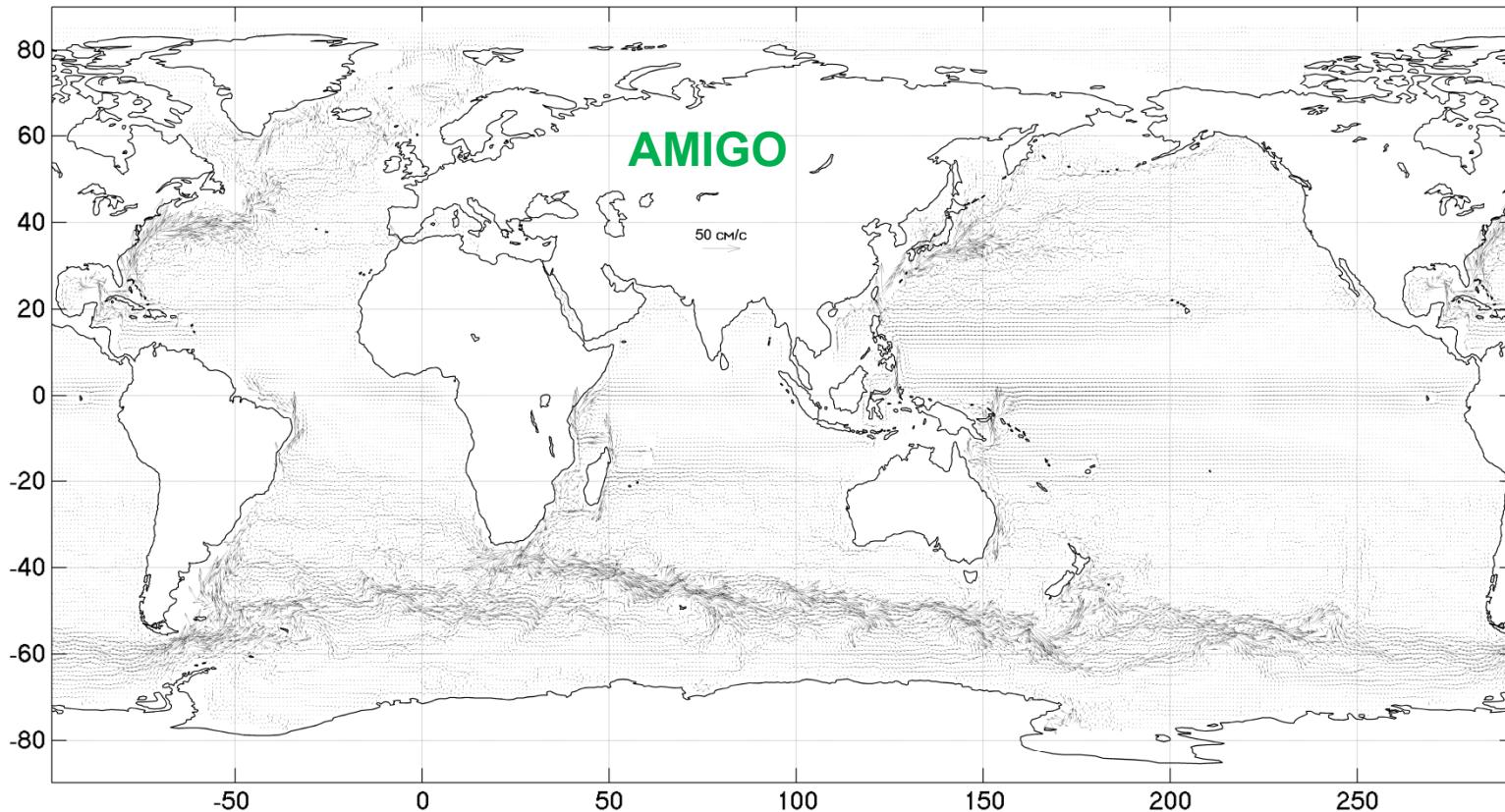
Среднеклиматическая СОЛЕНОСТЬ на глубине 200 м

200 м, среднемноголетняя (2005-2022) солёность

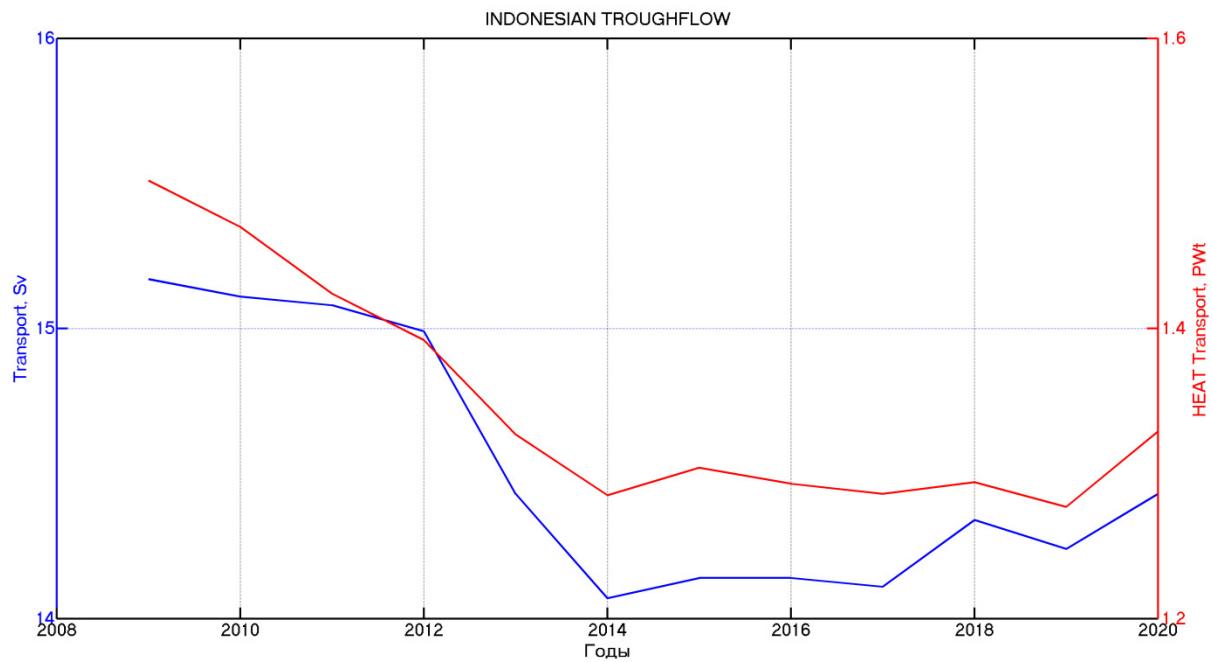


Среднеклиматическая СКОРОСТЬ на глубине 300 м

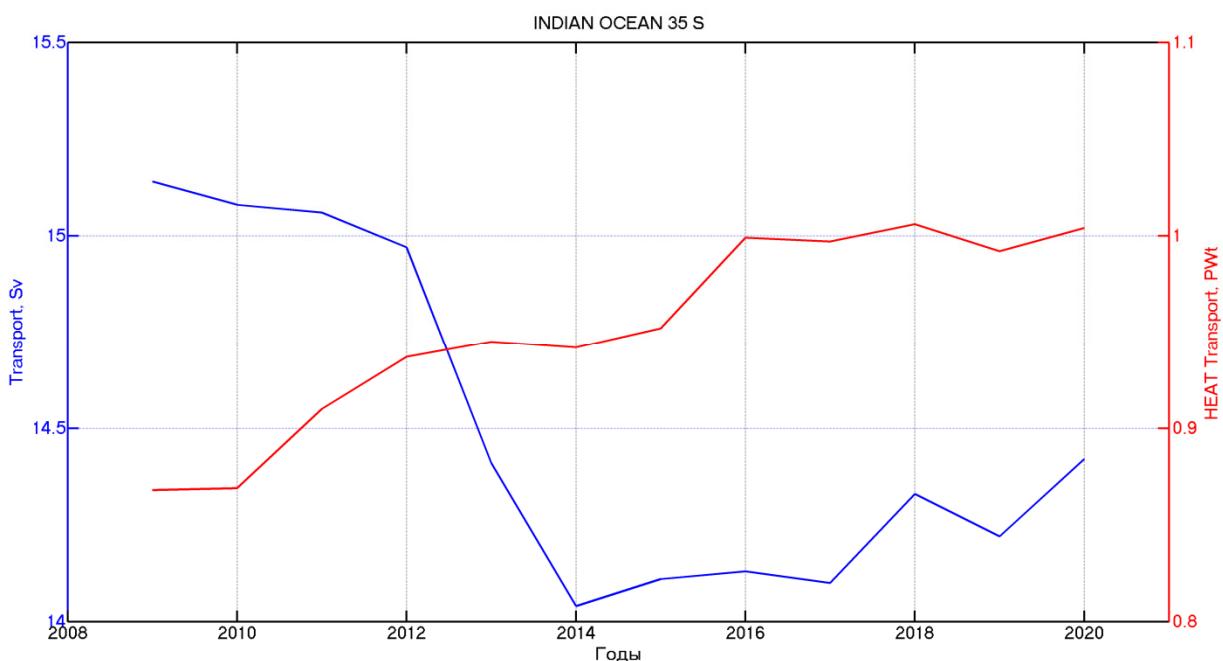
300 м, среднемноголетние (2005-2022) течения

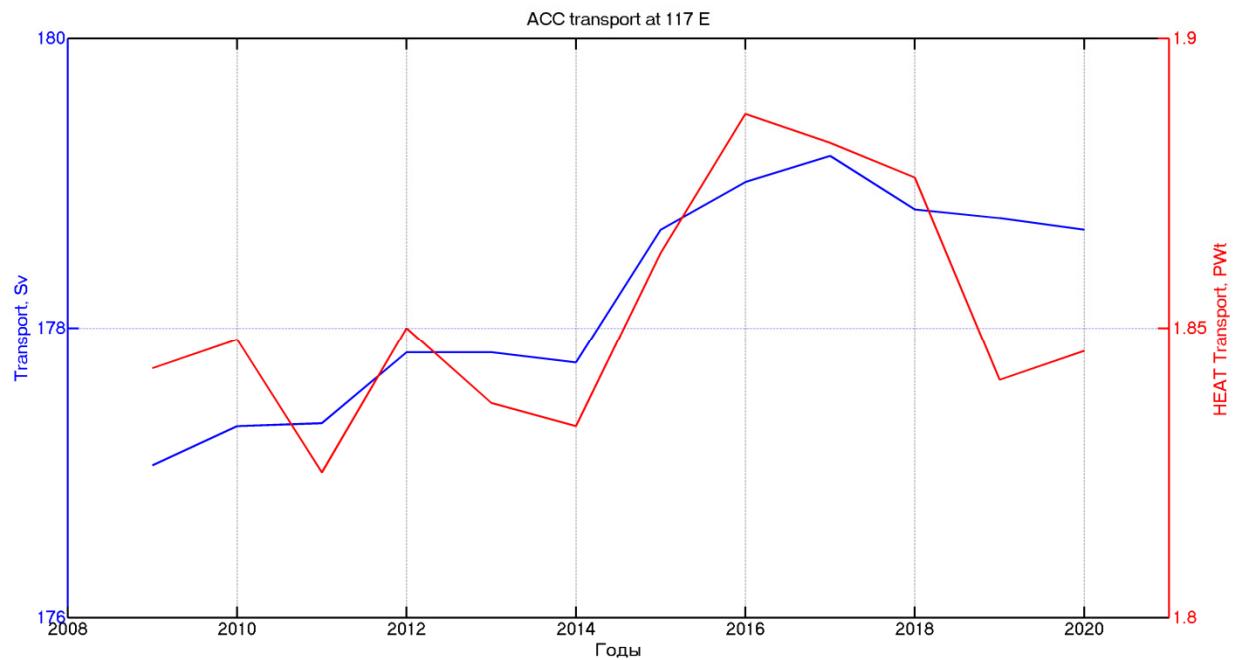
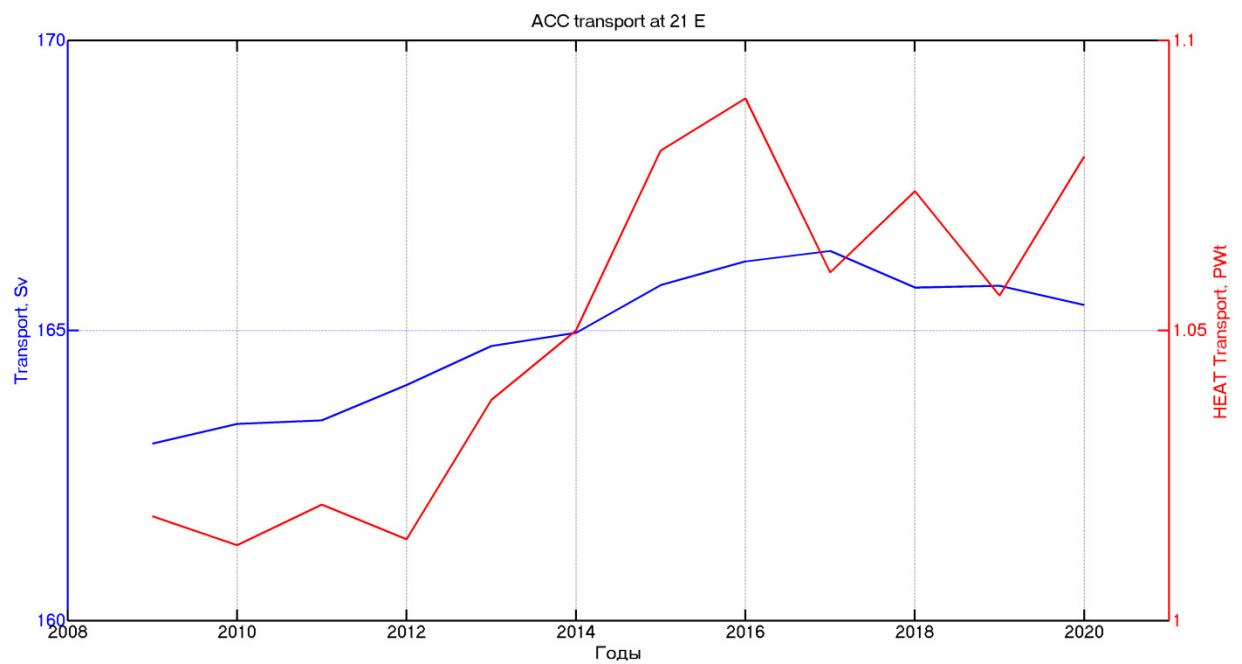


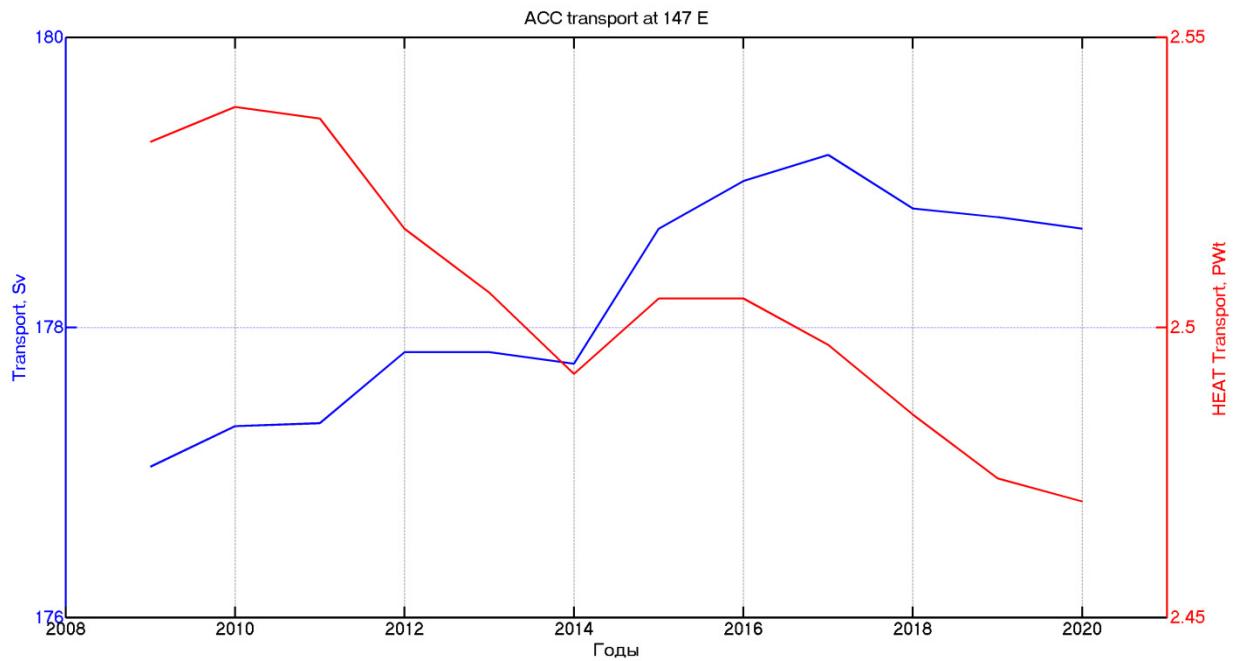
Климатические тренды



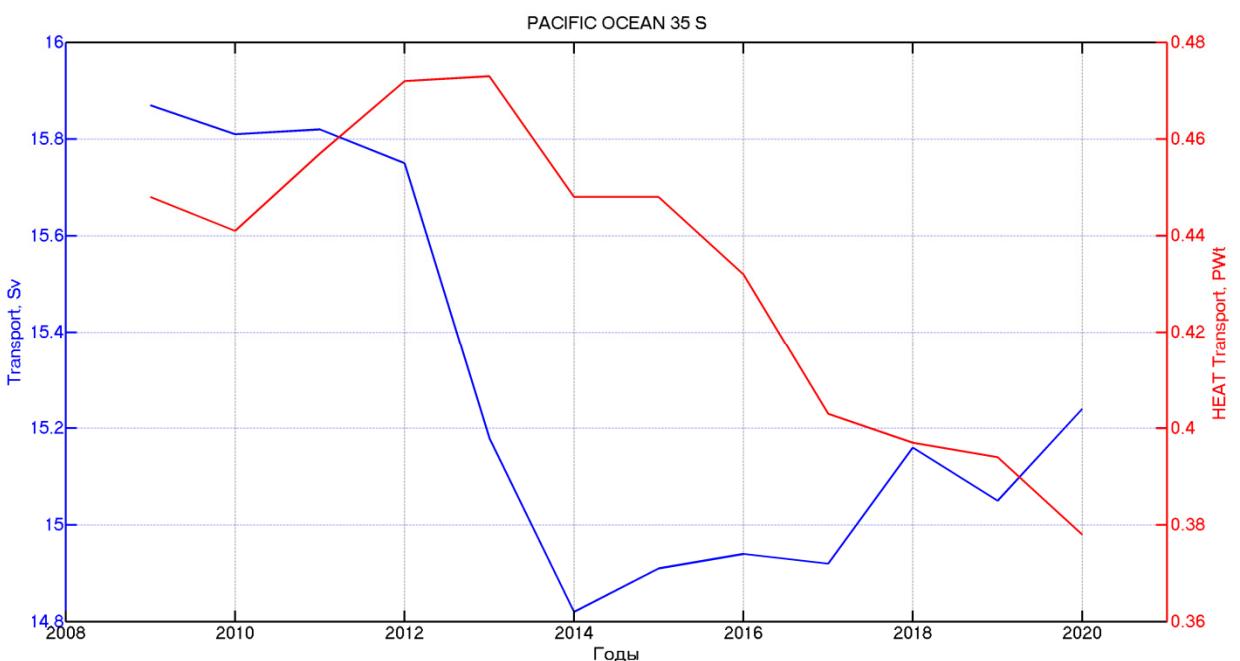
Indian Ocean

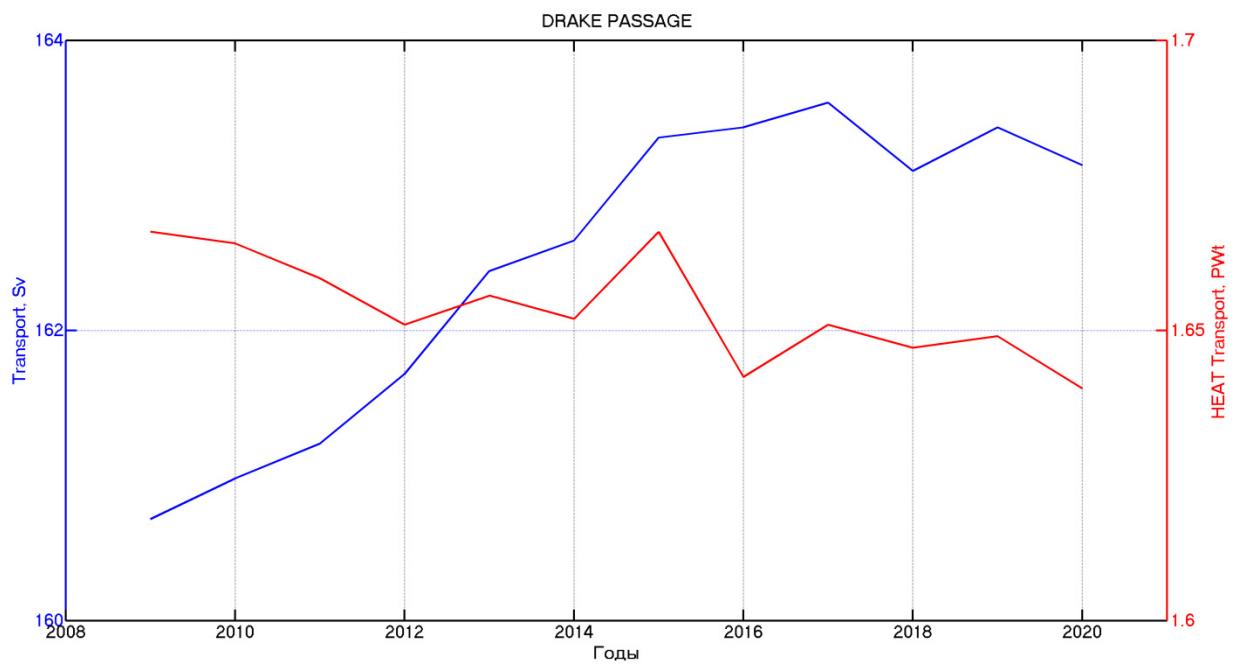




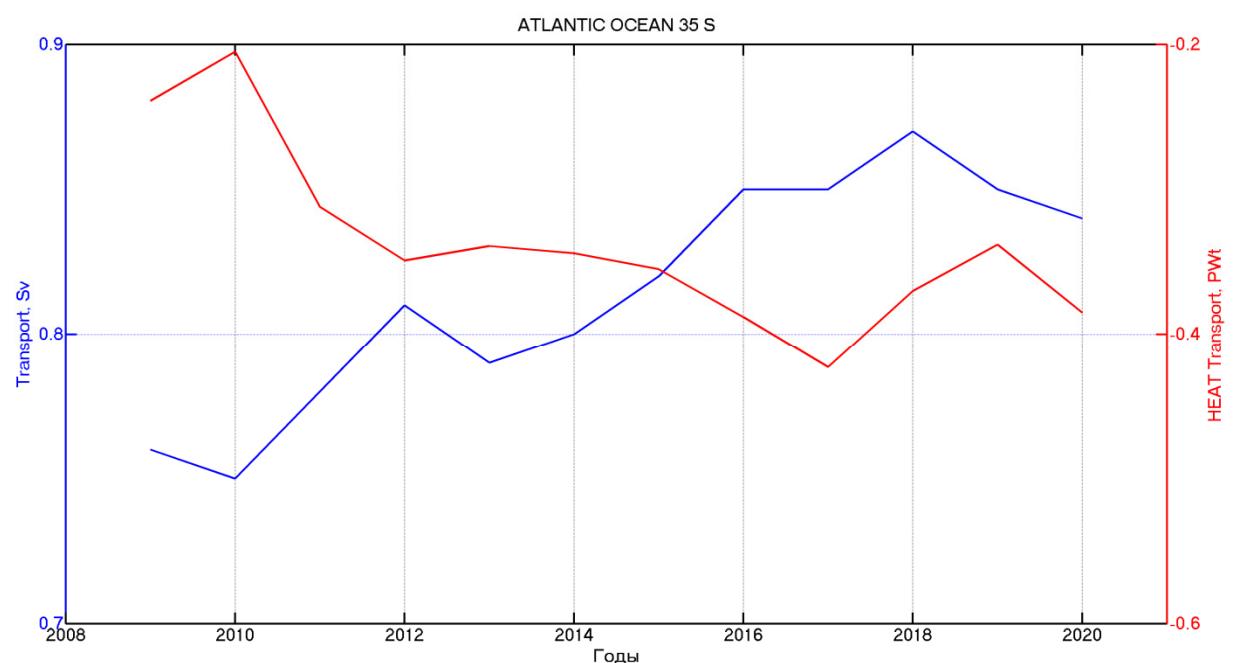


Pacific Ocean





Atlantic Ocean



Основные выводы:

1. Представлены результаты расчетов по разработанной в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН Арго-Модели Исследования Глобального Океана (АМИГО), которая состоит из блока вариационной интерполяции на регулярную сетку данных профилирования дрейфующих измерителей Арго и блока модельной гидродинамической адаптации вариационно проинтерполированных полей. Разработанная методика позволяет получать по нерегулярно расположенным данным измерений Арго полный набор океанографических характеристик: температуру, соленость, плотность и скорость течений. Выполненные расчеты охватывают период 2005-2024 гг. и представлены ежемесячными, сезонными, годовыми и среднеклиматическими полями. Пространственное разрешение данных составляет 1 градус по долготе и широте, временное – 1 месяц.
2. Использование Арго-модели АМИГО позволило, с одной стороны, систематизировать случайные наблюдения свободно дрейфующих поплавков Арго с помощью вариационной методики интерполяции наблюдений на регулярную одноградусную сетку, а, с другой стороны, на этой основе произвести сложные расчеты изменчивости расходов и переносов тепла и соли течениями при крупномасштабном водообмене.
3. Анализ климатических трендов межокеанского водо- тепло- и солеобмена показал наличие разнонаправленных тенденций. Например, рост переноса массы из Индийского в Южный океан сопровождается снижением значений теплопереноса. Аналогичным образом рост поступления вод Южного океана в Атлантику происходит на фоне снижения переносимого этими водами тепла. Анализ водообмена между Тихим и Южным океанами показывает в целом синхронное снижение переносов как массы, так и тепла в направлении Тихого океана.