Тепловой и солевой баланс океанов по данным измерений Argo

Лебедев Константин Владимирович

Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН

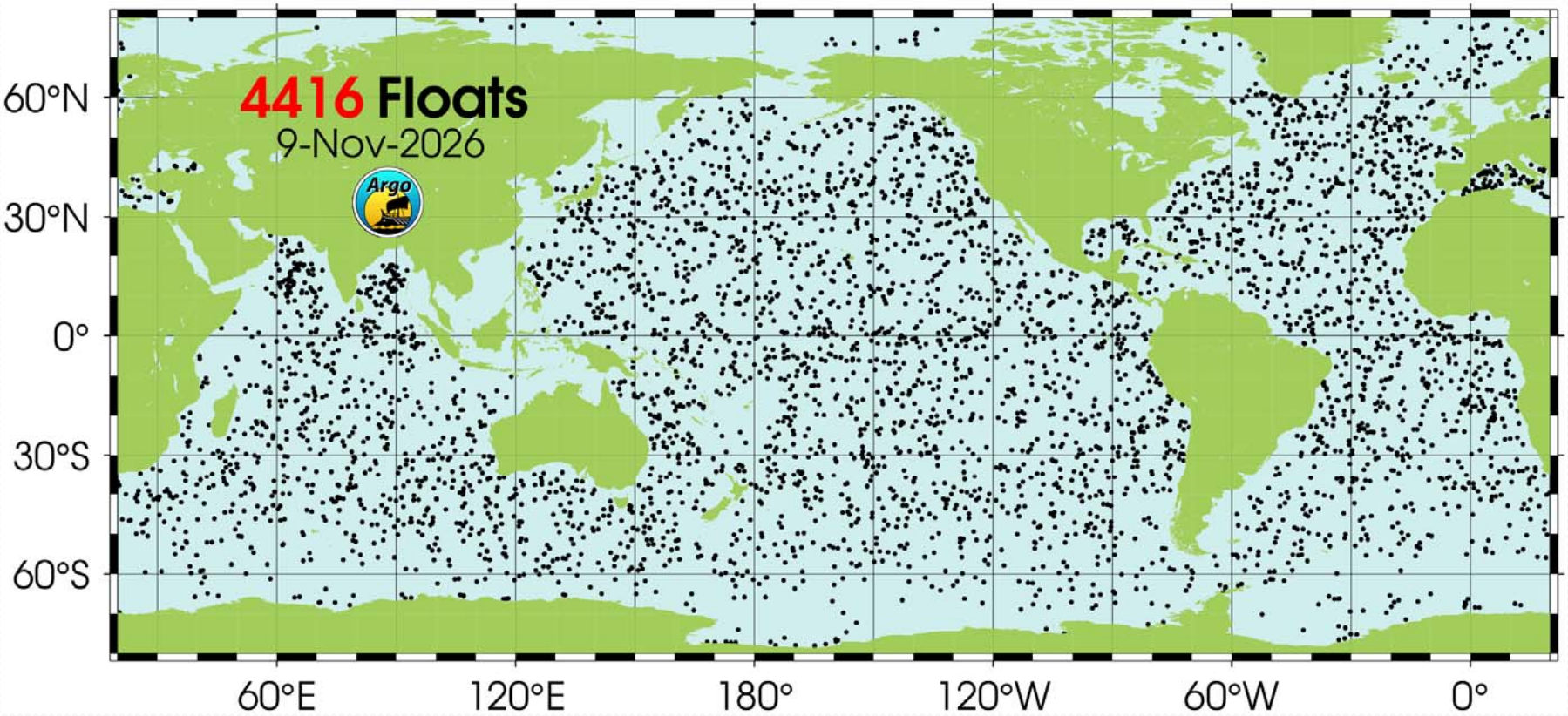
Московский физико-технический институт



Москва, ИКИ РАН
10 ноября 2026

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. Более 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, приближается к трем миллионам.

Argo status

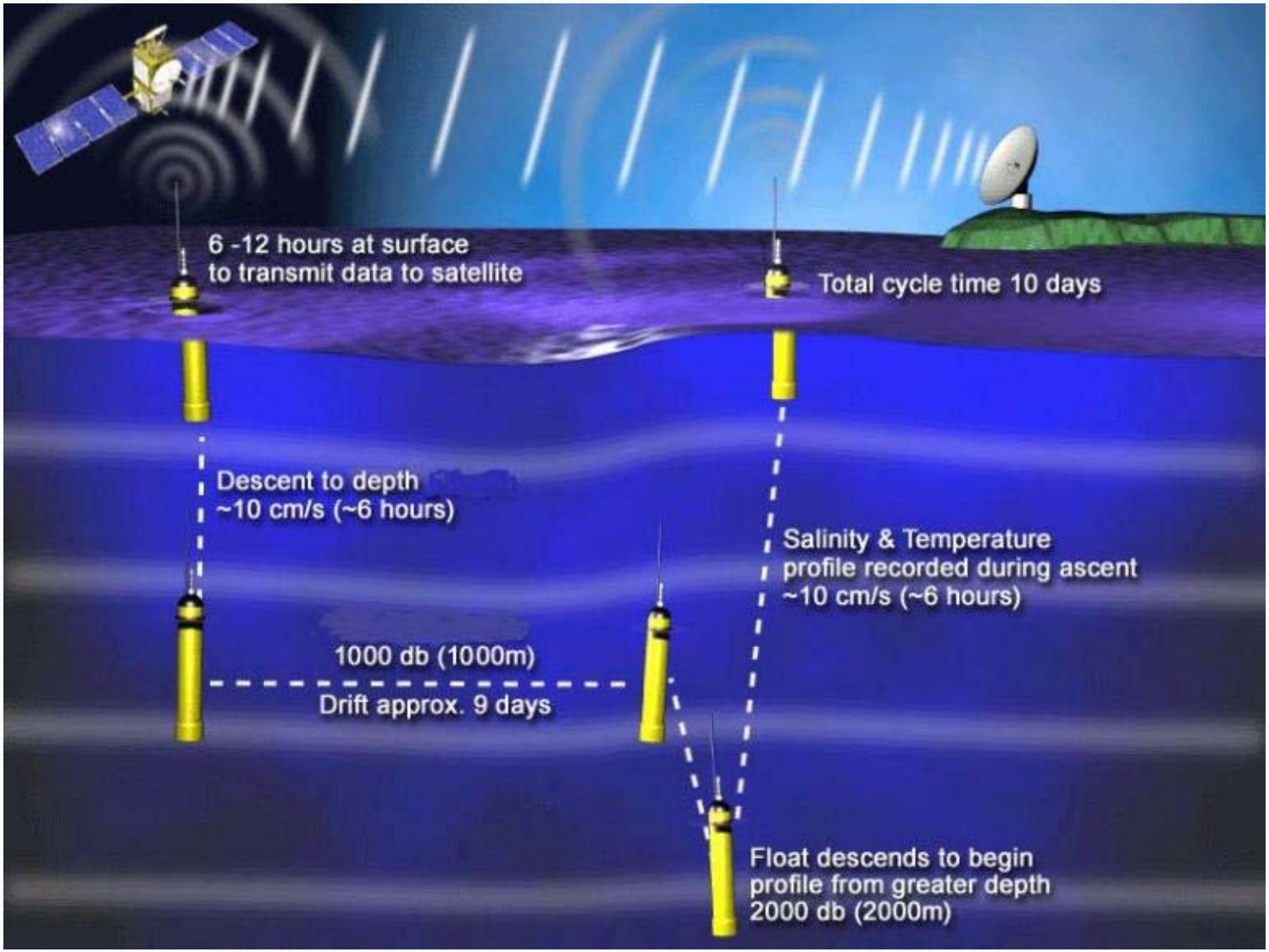


Target of 3000 floats has been reached in Nov 2007
Nominal density of the array - 1 float per 3° x 3° bin

http://www.argo.ucsd.edu

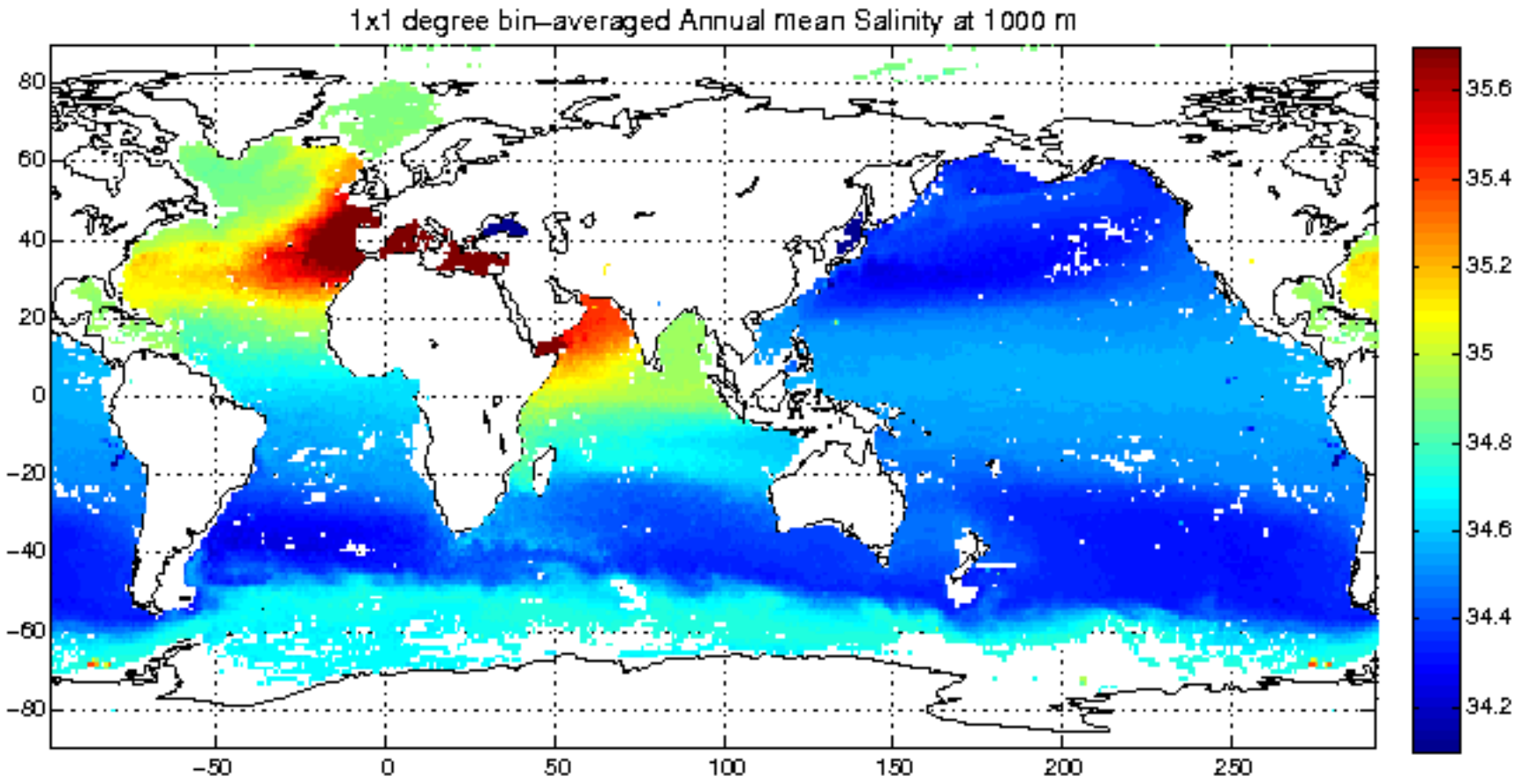


Цикл поплавка Argo

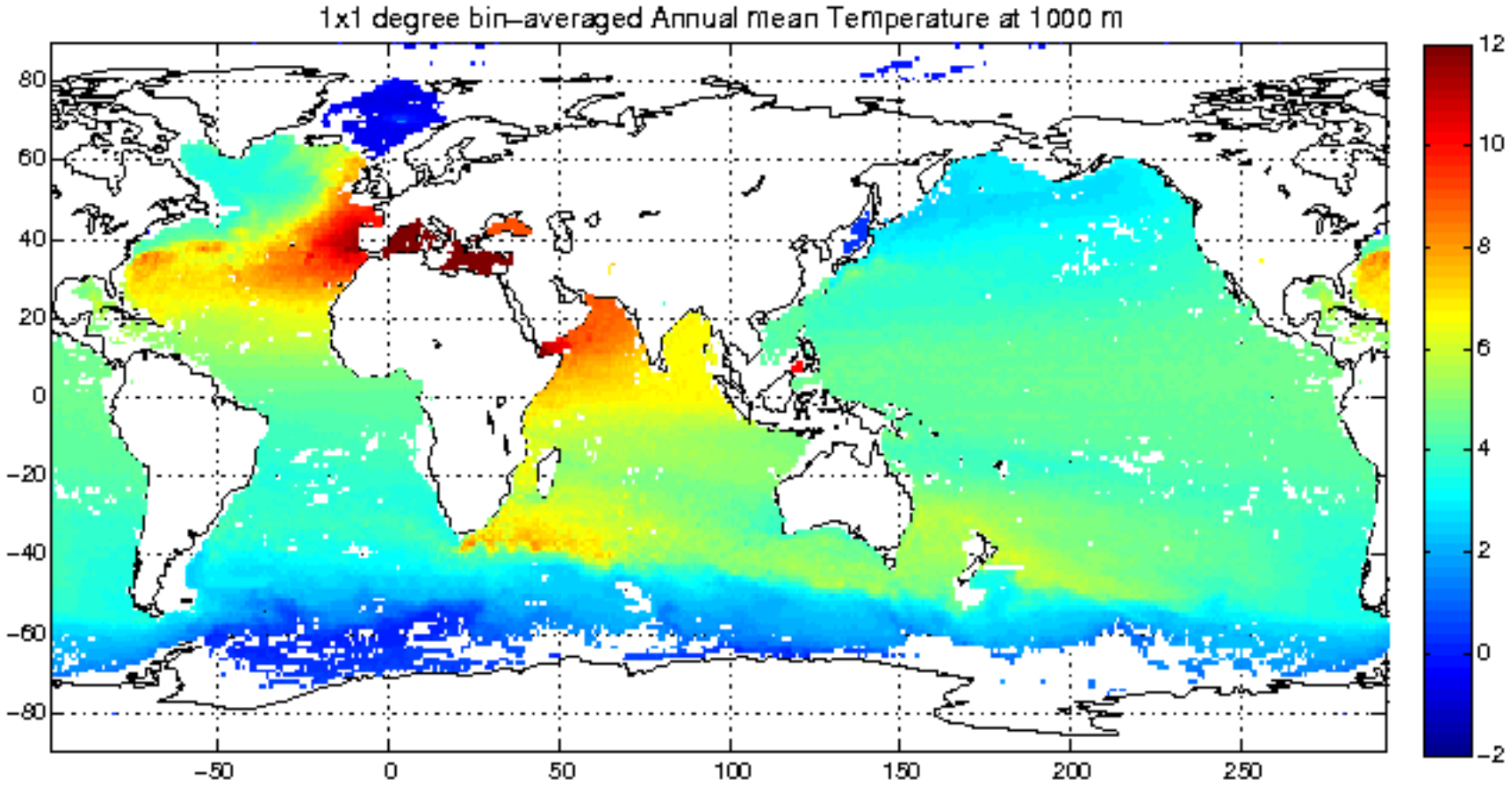


http://www.argo.ucsd.edu

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

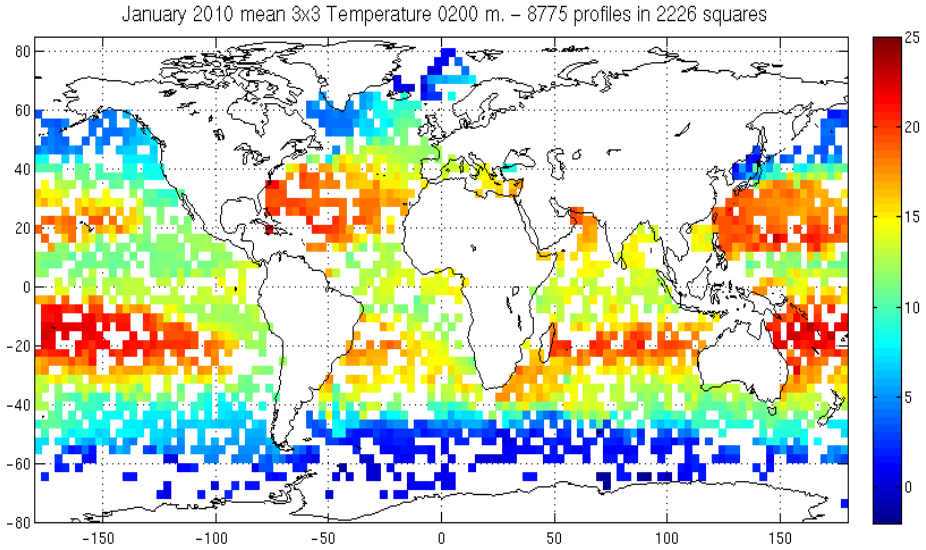
Принцип вариационной интерполяции состоит в минимизации отклонений между проинтерполированными на регулярную сетку полями A_g и данными нерегулярно расположенных измерений A_d. Минимизация проводится таким образом, чтобы полученное решение проходило максимально близко к данным измерений.

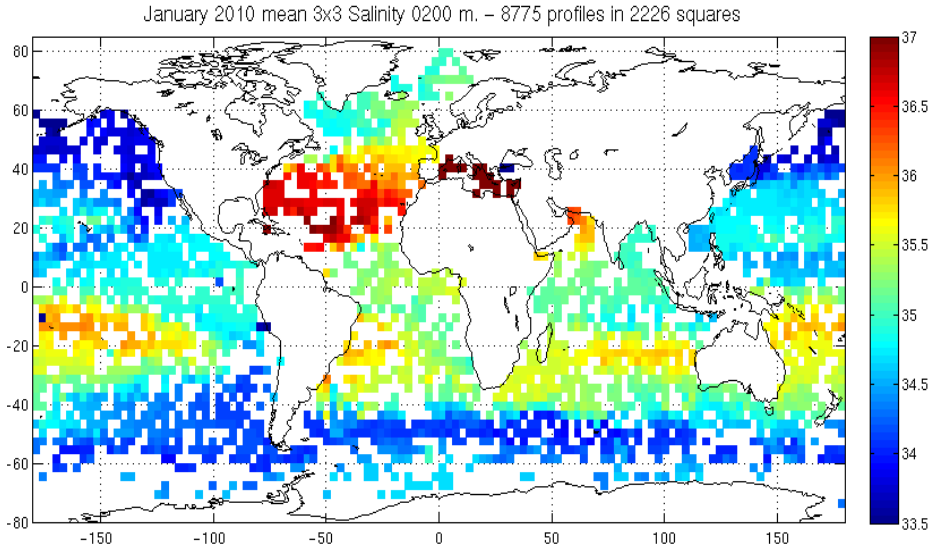
Минимизируемый функционал

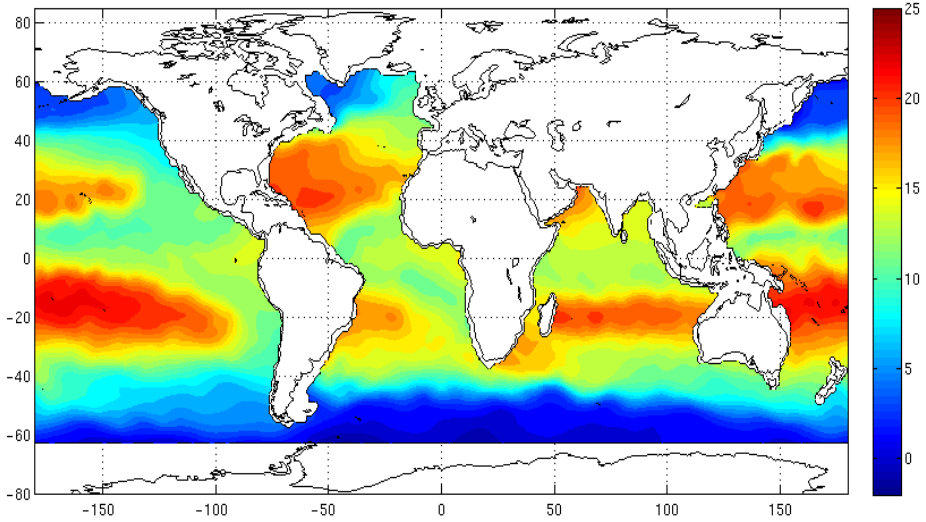
$$F = \sum_{n \in L} \left({A_{g-d}}^n - {A_d}^n \right)^2 + C_1 \sum_{i,j} \left({A_g}^{i,j} - {A_c}^{i,j} \right)^2 + C_2 \sum_{i,j} \left(\left(dX^j \right)^2 \Delta {A_g}^{i,j} \right)^2 ,$$

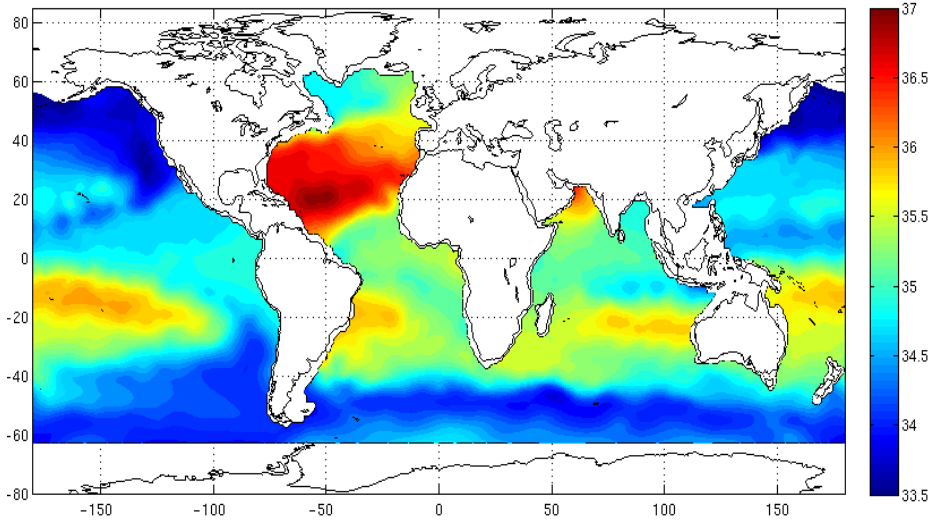
где A_g - интерполируемая переменная Argo (T, S и т.д.) в узлах регулярной сетки, $A_{g\text{-}d}$ – линейная интерполяция в точку измерения A_d значений переменной A_g из четырех окрестных узлов регулярной сетки, A_c - климатические данные в узлах регулярной сетки, dX – зональный шаг сетки , L –временной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

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

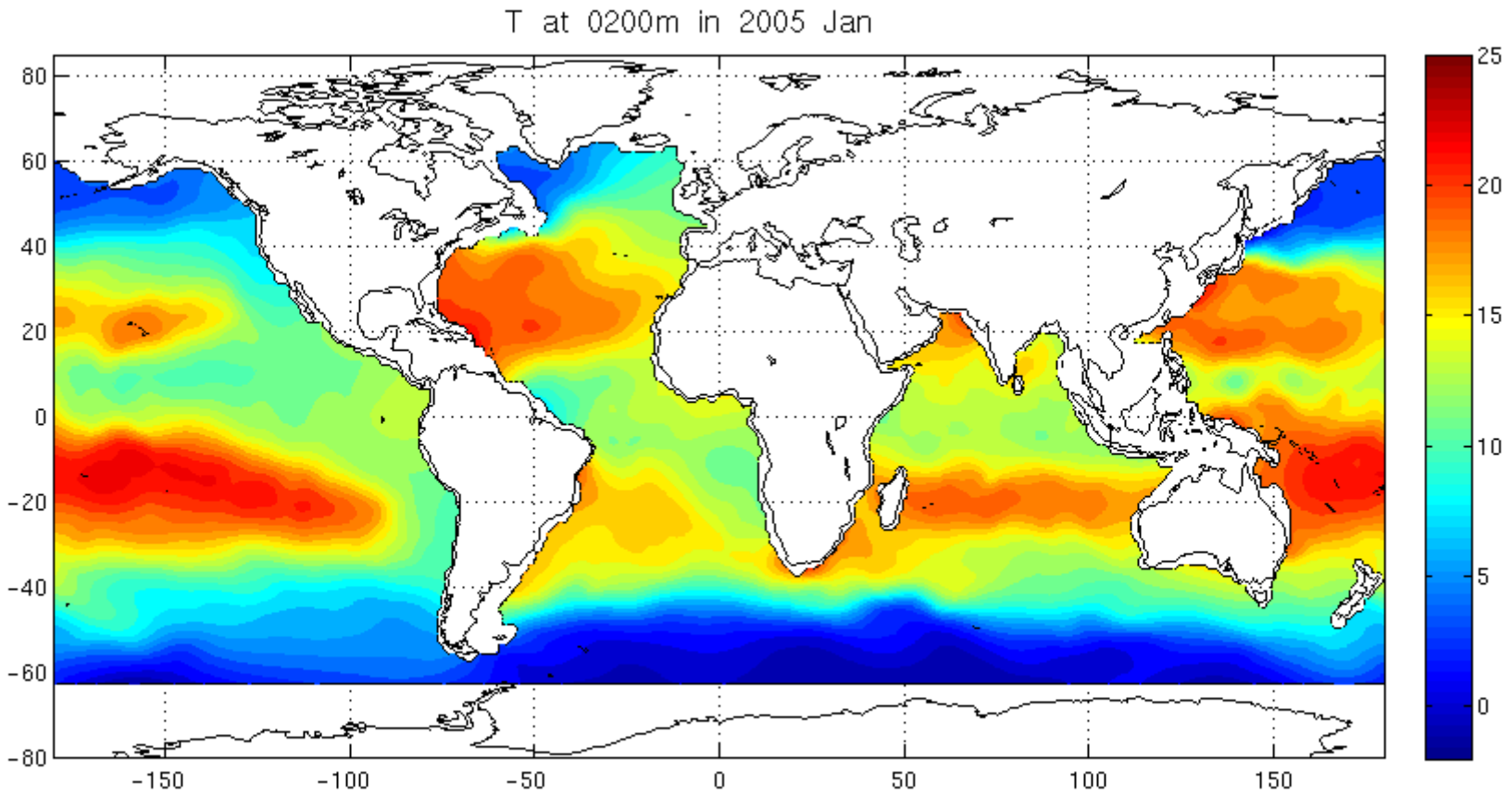








Эволюция поля ТЕМПЕРАТУРЫ на глубине 200 м



AMIGO
ocean climate modeling

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. N. 2. С. 186-196.

Модель общей циркуляции океана (в режиме диагноза и адаптации)

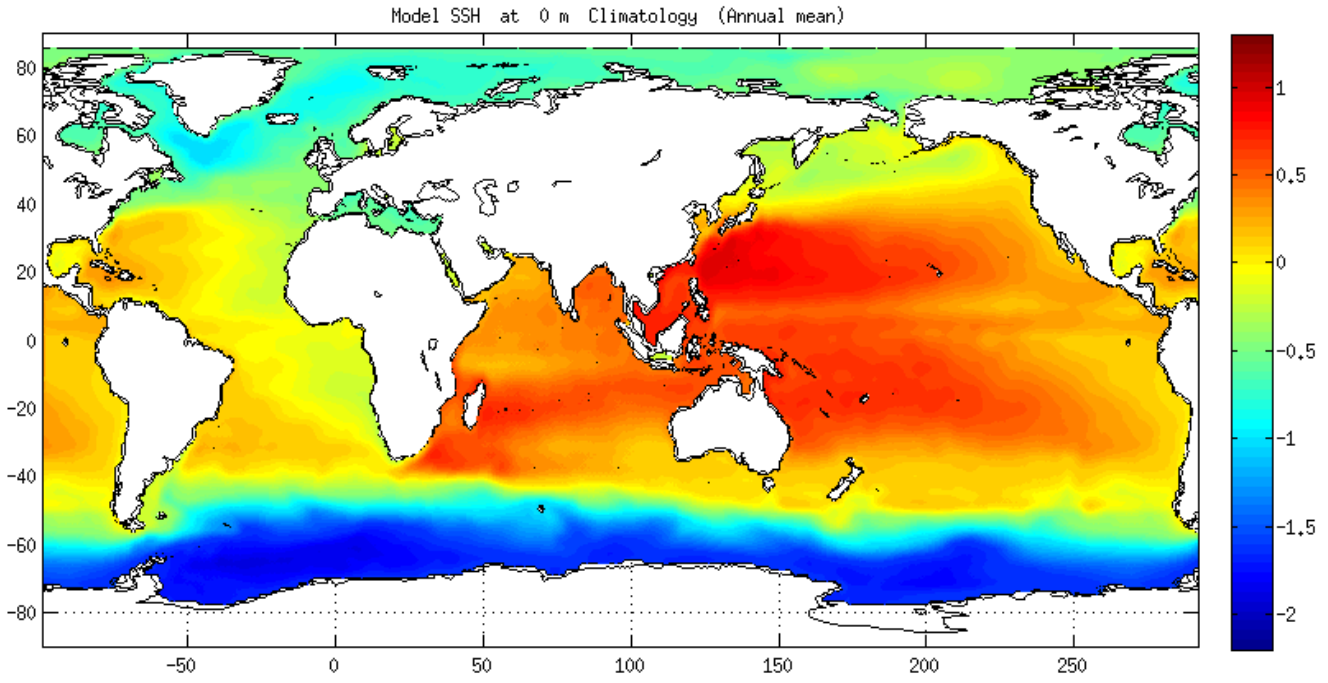
Пространственное разрешение 1° по долготе и широте

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

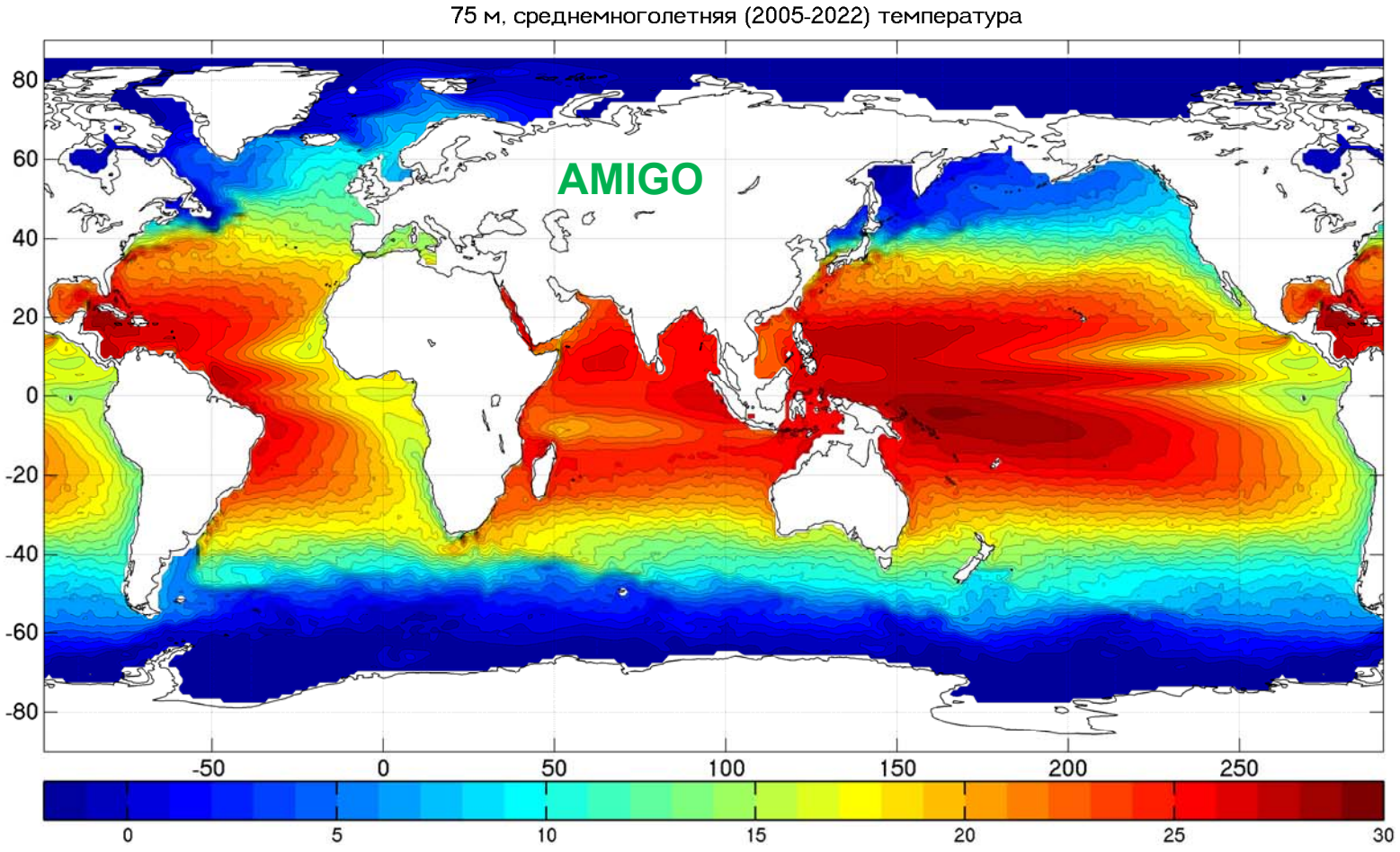
32 горизонта по вертикали, максимальная глубина океана 5750 м

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

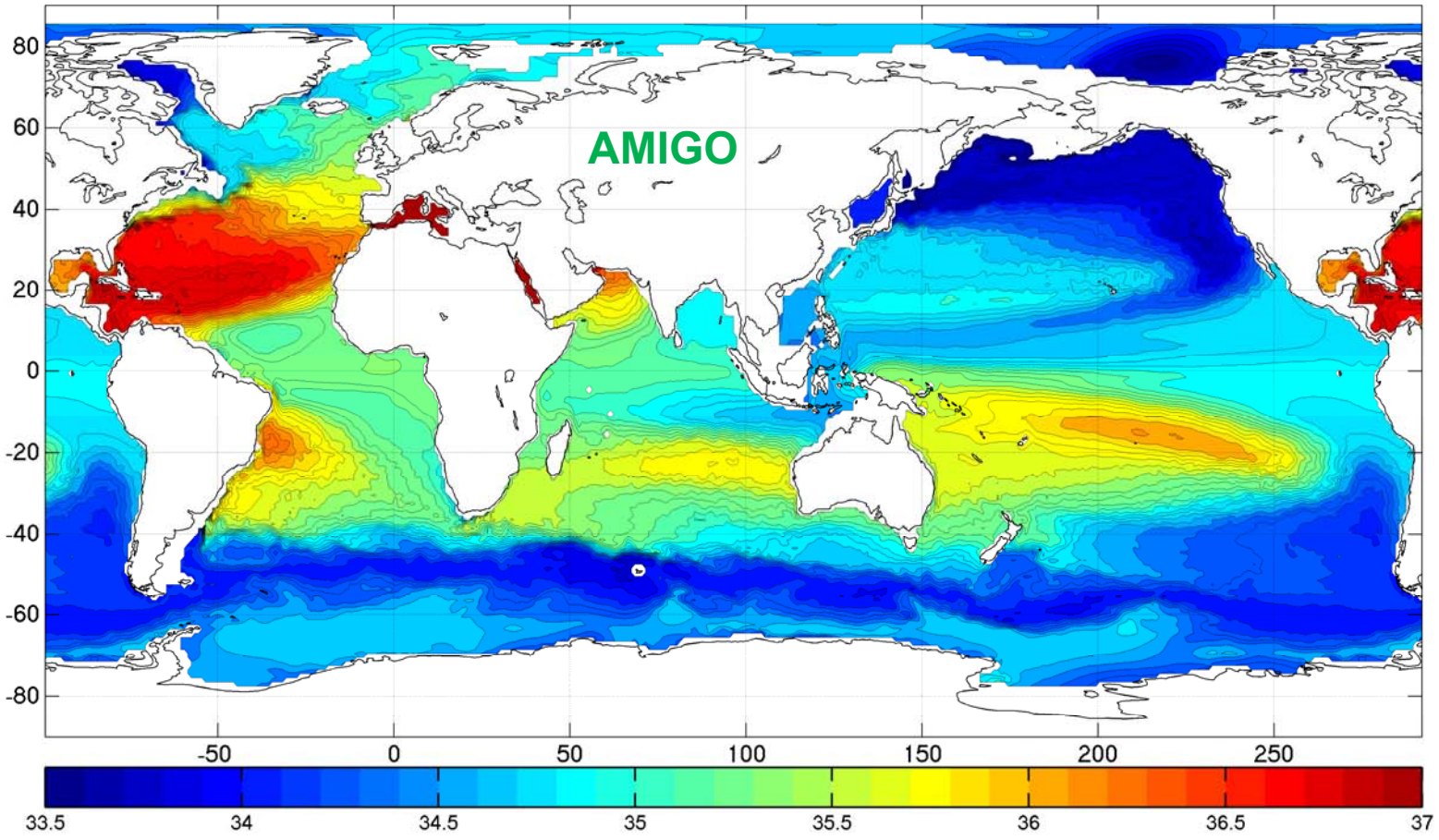


Среднеклиматическая ТЕМПЕРАТУРА на глубине 75 м

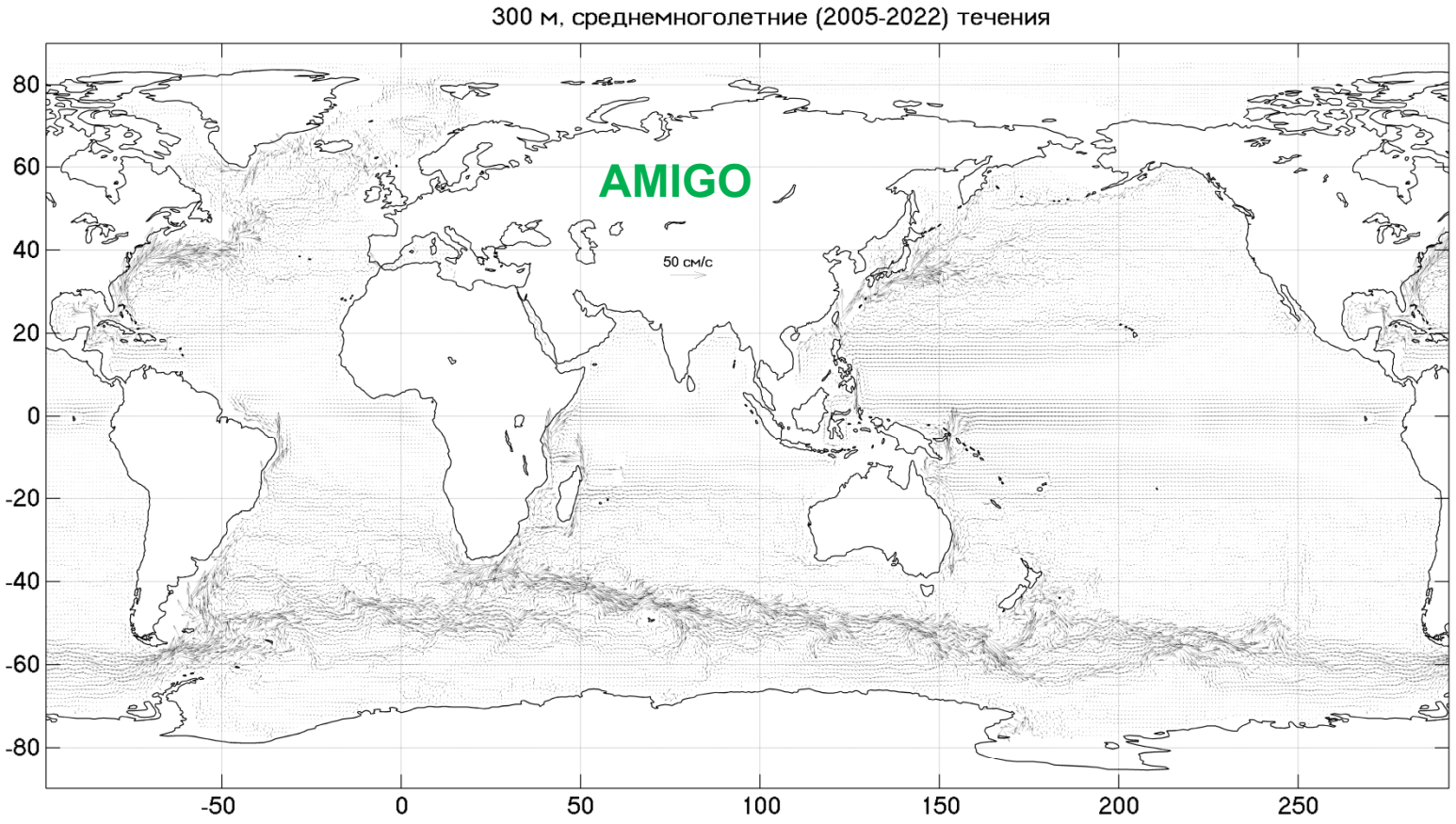


Среднеклиматическая СОЛЕНОСТЬ на глубине 200 м

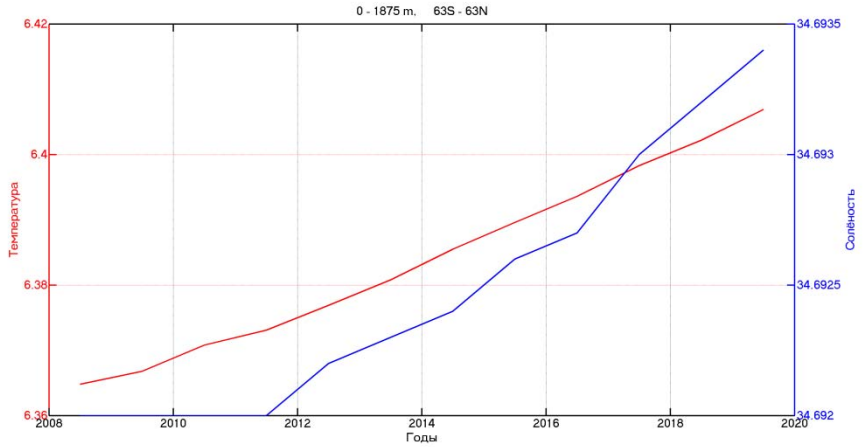
200 м, среднемноголетняя (2005-2022) солёность

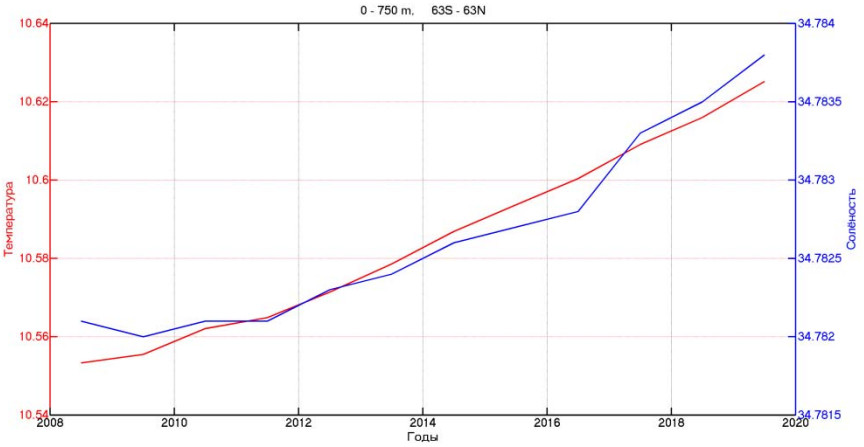


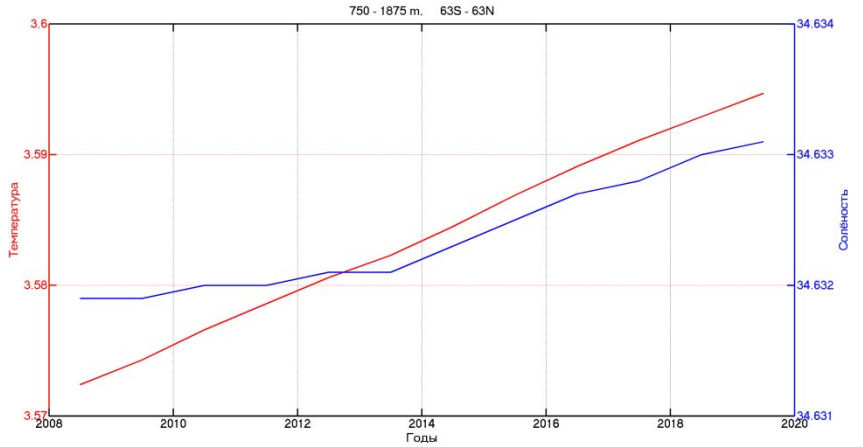
Среднеклиматическая СКОРОСТЬ на глубине 300 м



Климатические тренды







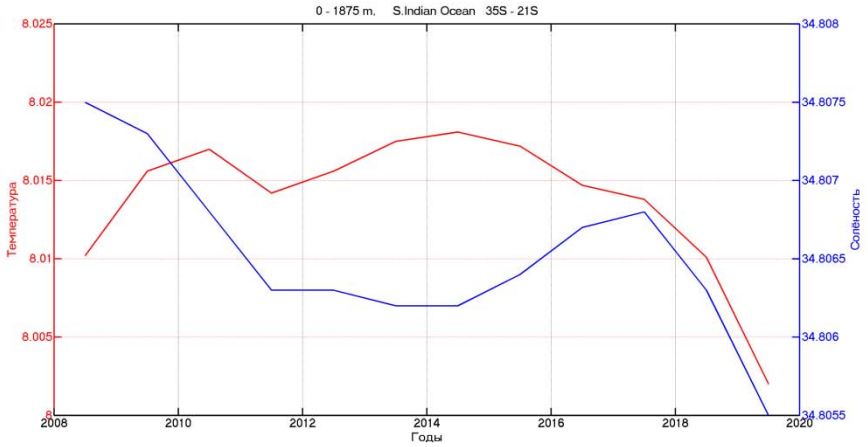


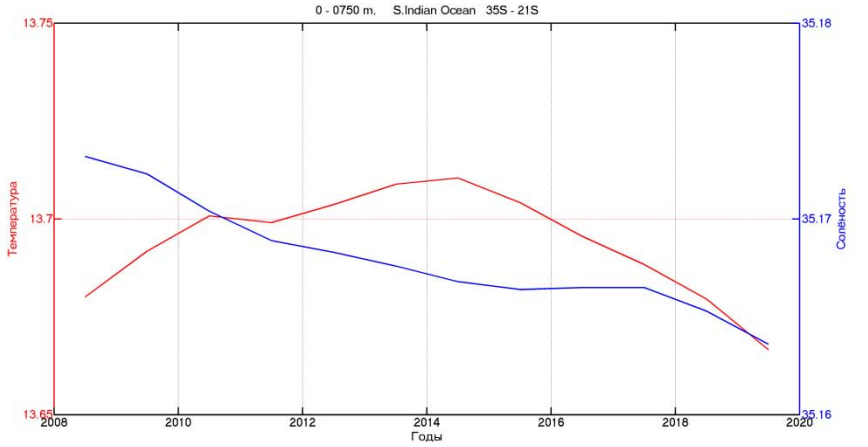
0 – 1875 m

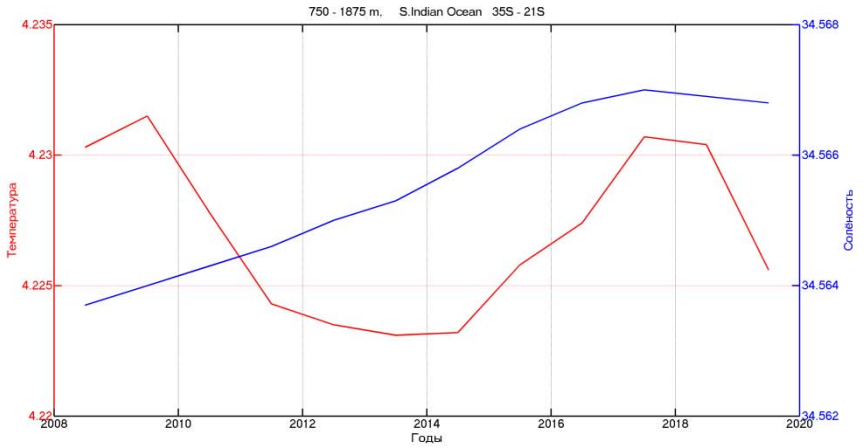
Global Ocean 63S – 63N

0 – 750 m

750 – 1875 m







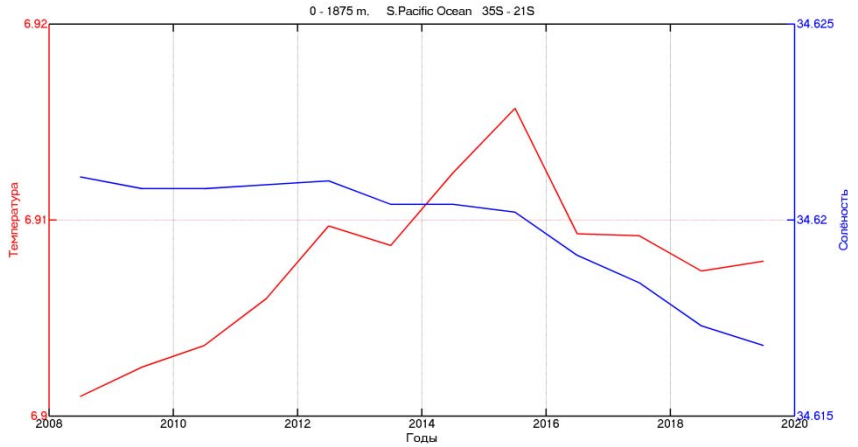


0 – 1875 m

South Indian Ocean 35S – 21S

0 – 750 m

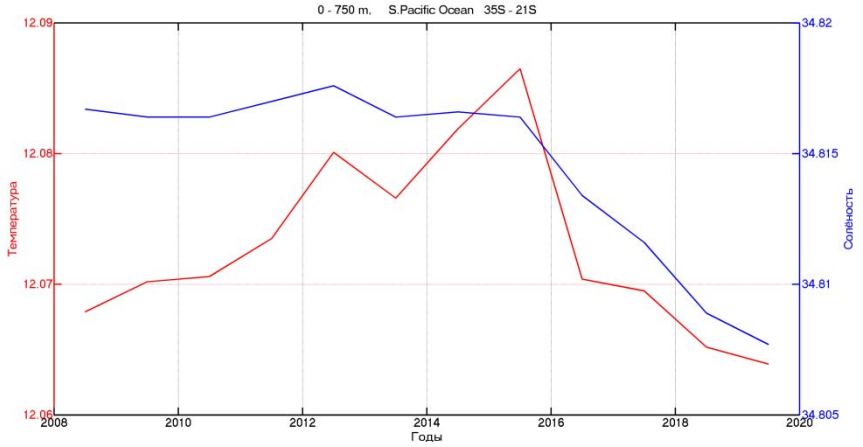
750 – 1875 m



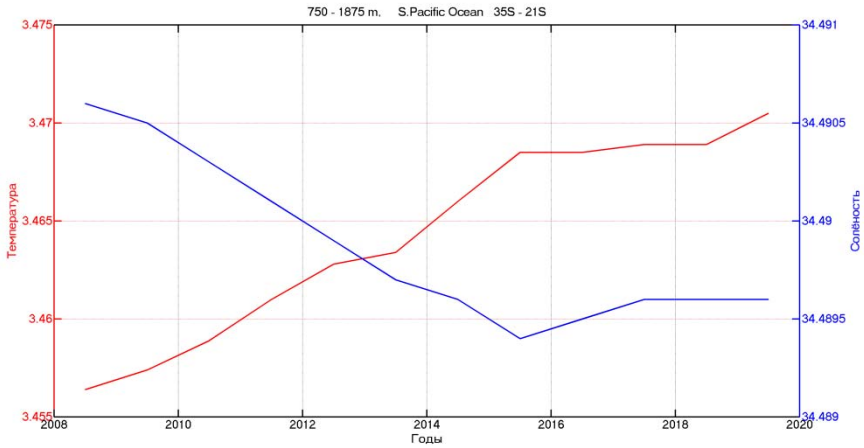


0 – 1875 m

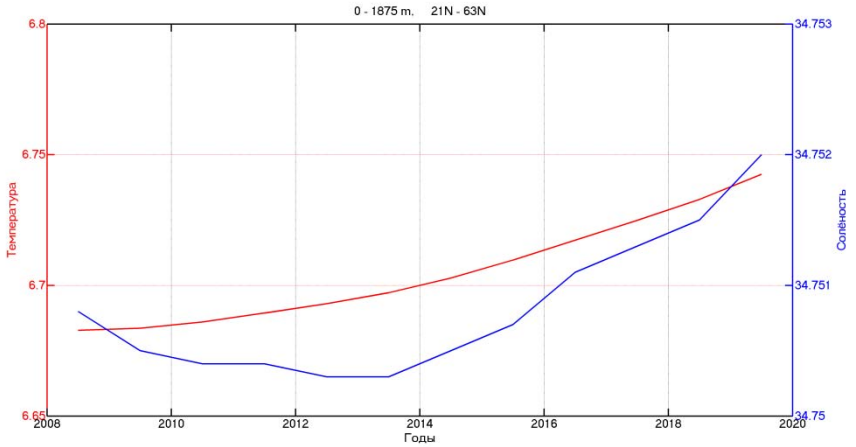
South Pacific Ocean 35S – 21S

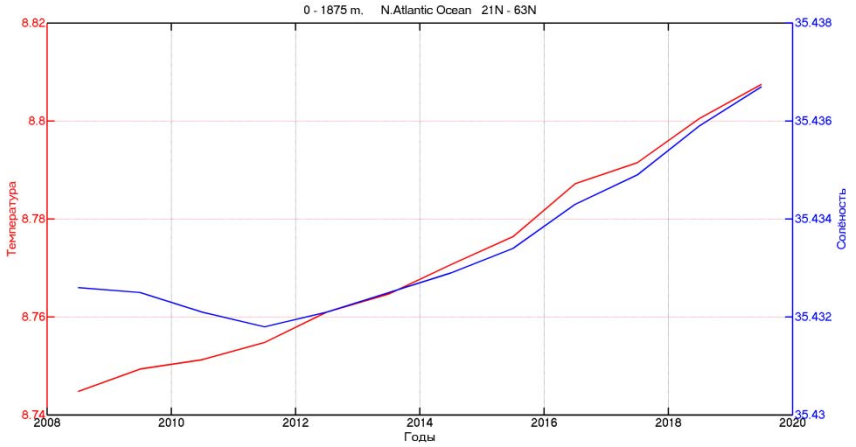


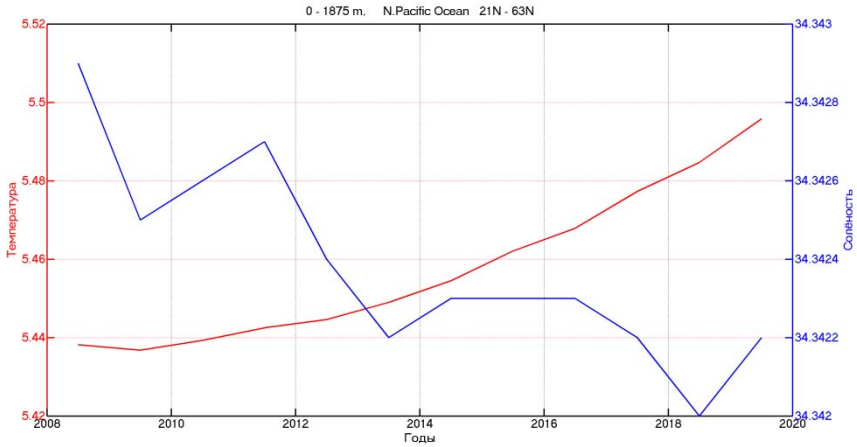
0 – 750 m



750 – 1875 m









Global Ocean 21N – 63N

North Atlantic Ocean 21N – 63N

North Pacific Ocean 21N – 63N

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 изменений тепло- и солесодержания океанов показал наличие разнонаправленных тенденций. В целом, в верхнем 2-х километровом слое акватории Мирового океане, обеспеченной измереннями Argo, имеет место рост запасов тепла и соли. При этом в южной части океанов имеют место разнонапрвленные тенденции: южная часть Индийского океана в целом охлаждается и распресняется, верхний 700-метровый слой южной части Тихого океана также имеет тенденцию к выхолаживанию. Во внеэкваториальных областях как северной, так и южной части Тихого океана наблюдается распреснение.

СПАСИБО ЗА ВАШЕ ВНИМАНИЕ!

