


# Анализ изменчивости Мирового океана по данным прямых измерений Арго и выполненных на их основе модельных расчетов

Лебедев Константин Владимирович  
Институт океанологии им.  
П.П.Ширшова РАН

Kalahe Valley  
Kauai 2009

Москва, ИКИ РАН  
14 ноября 2023



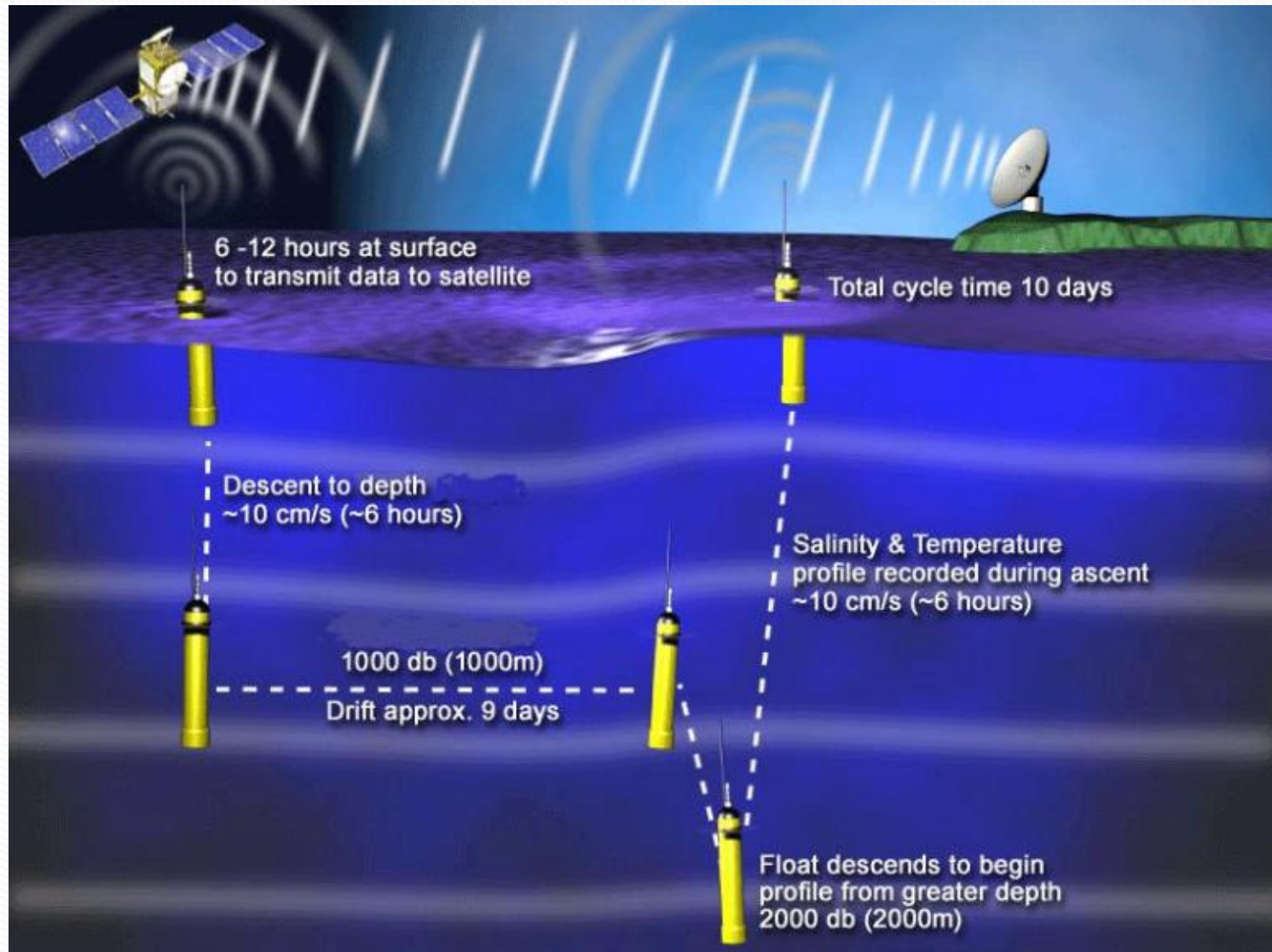


Наступление в конце XX века эры спутниковых наблюдений за поверхностью океана и развитие в первые годы XXI века проекта Арго, направленного на сбор с использованием спутников информации о толще океана, дает уникальные возможности непрерывного мониторинга состояния Мирового океана. На основе данных спутниковых 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 миллиона.

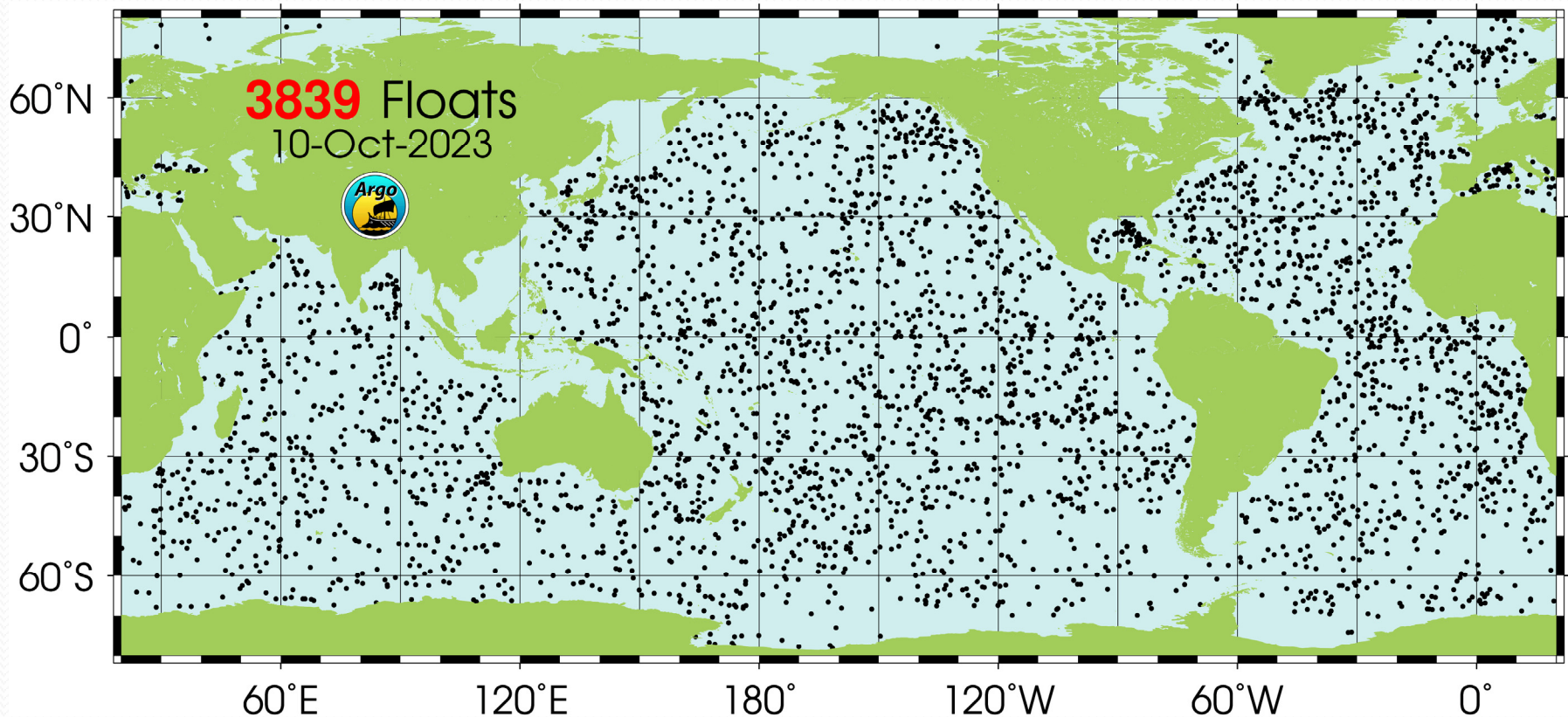




# Цикл поплавка Argo

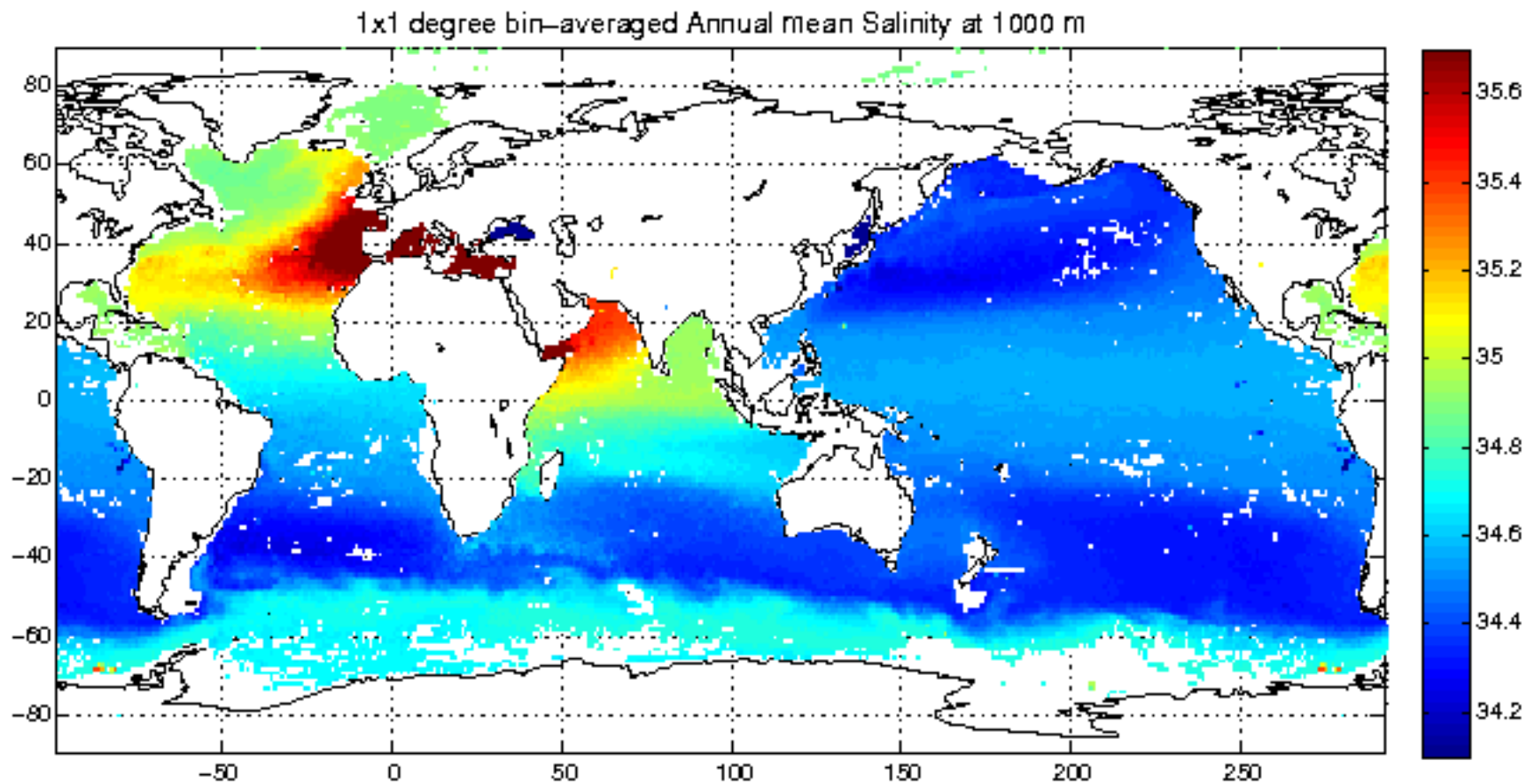


## Argo status

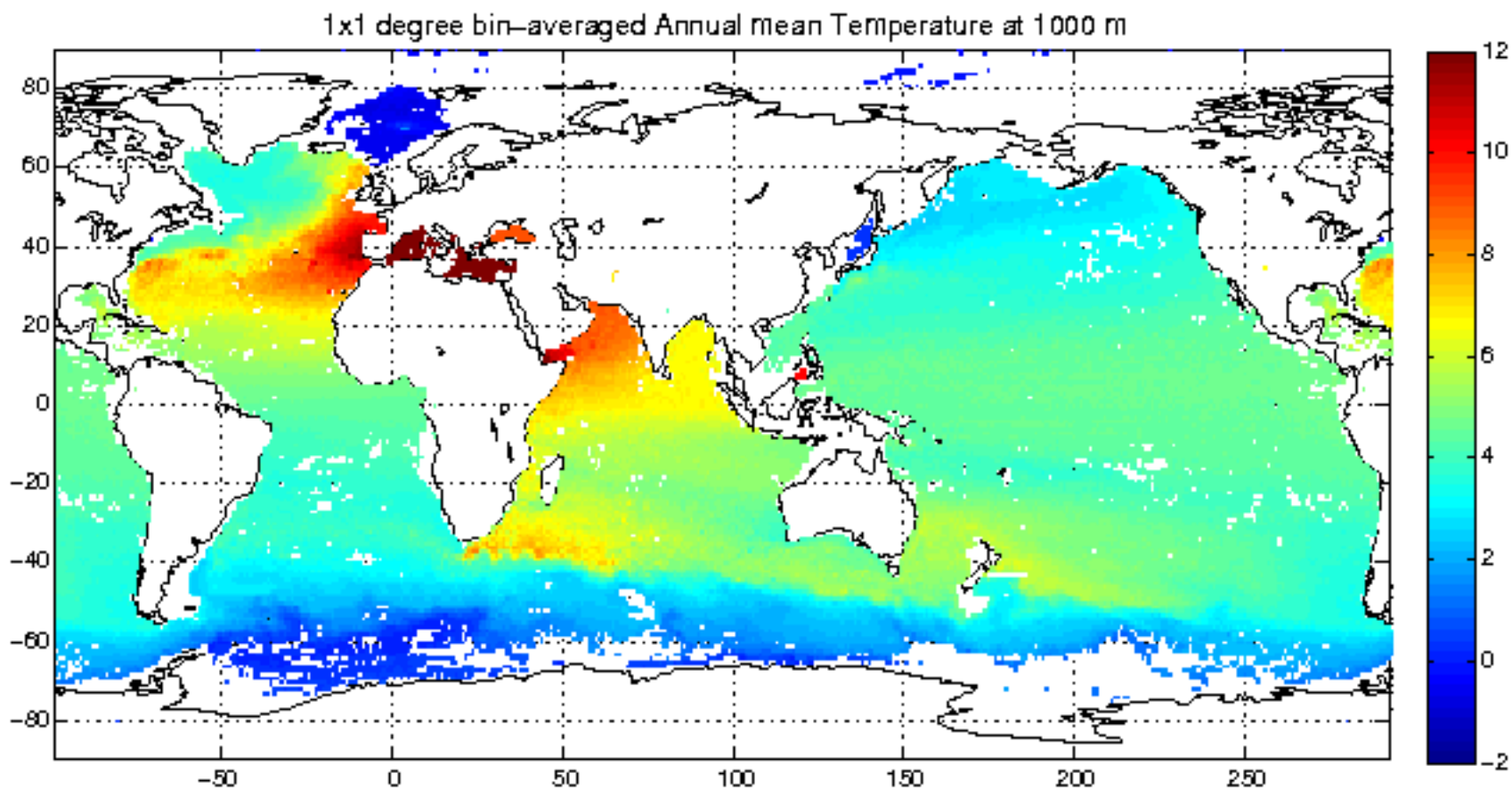


Target of 3000 floats has been reached in Nov 2007  
Nominal density of the array - 1 float per  $3^\circ \times 3^\circ$  bin

## Средняя по 1x1 «квадратам» СОЛЕННОСТЬ 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

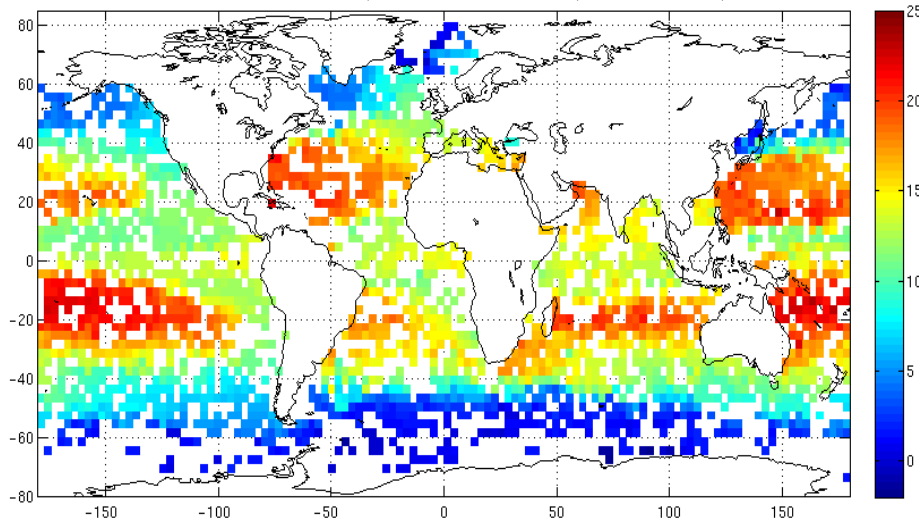
$$F = \sum_{n \in L} (A_{g-d}^n - A_d^n)^2 + C_1 \sum_{i,j} (A_g^{i,j} - A_c^{i,j})^2 + C_2 \sum_{i,j} \left( (dX^j)^2 \Delta A_g^{i,j} \right)^2,$$

где  $A_g$  - интерполируемая переменная Argo (T, S и т.д.) в узлах регулярной сетки,  $A_{g-d}$  - 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.).

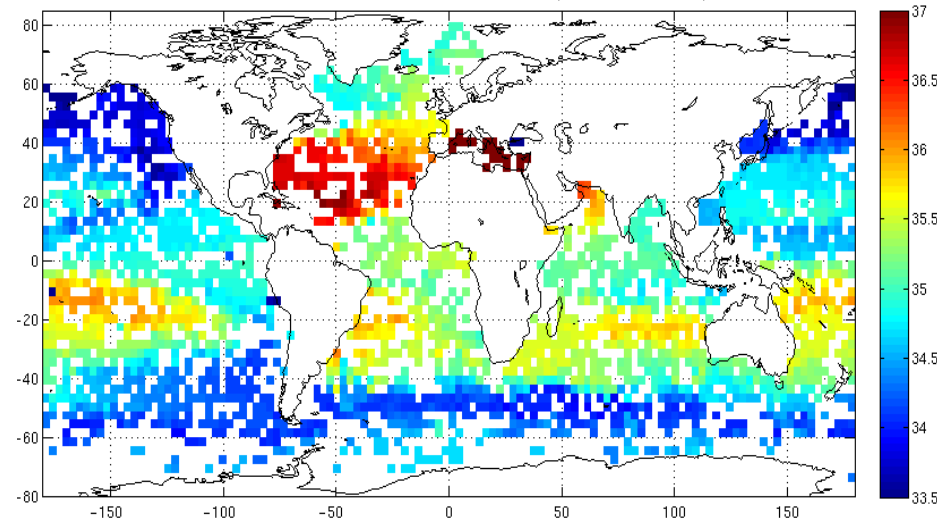


# Температура и соленость на глубине 200 м, полученная осреднением по 3x3 «квадратам» (верх), и вариационно проинтерполированная (низ)

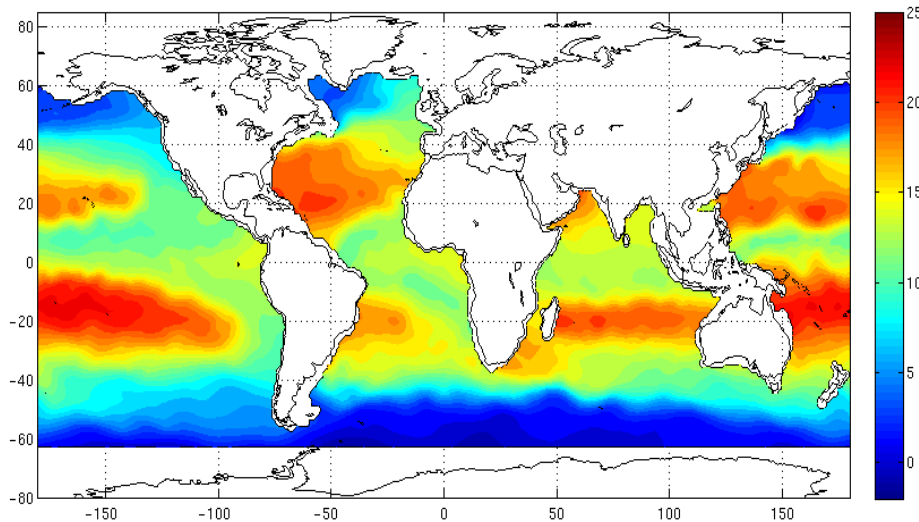
January 2010 mean 3x3 Temperature 0200 m. – 8775 profiles in 2226 squares



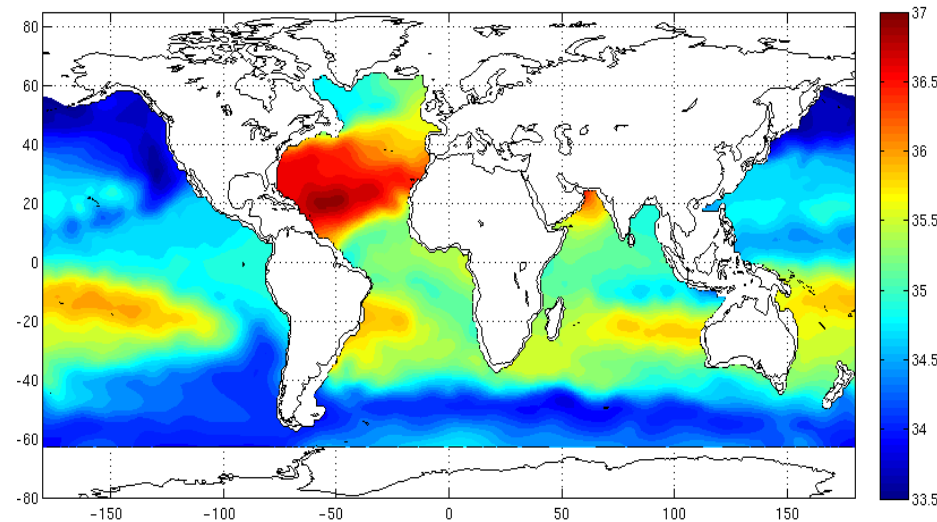
January 2010 mean 3x3 Salinity 0200 m. – 8775 profiles in 2226 squares



T at 0200m in 2010 Jan

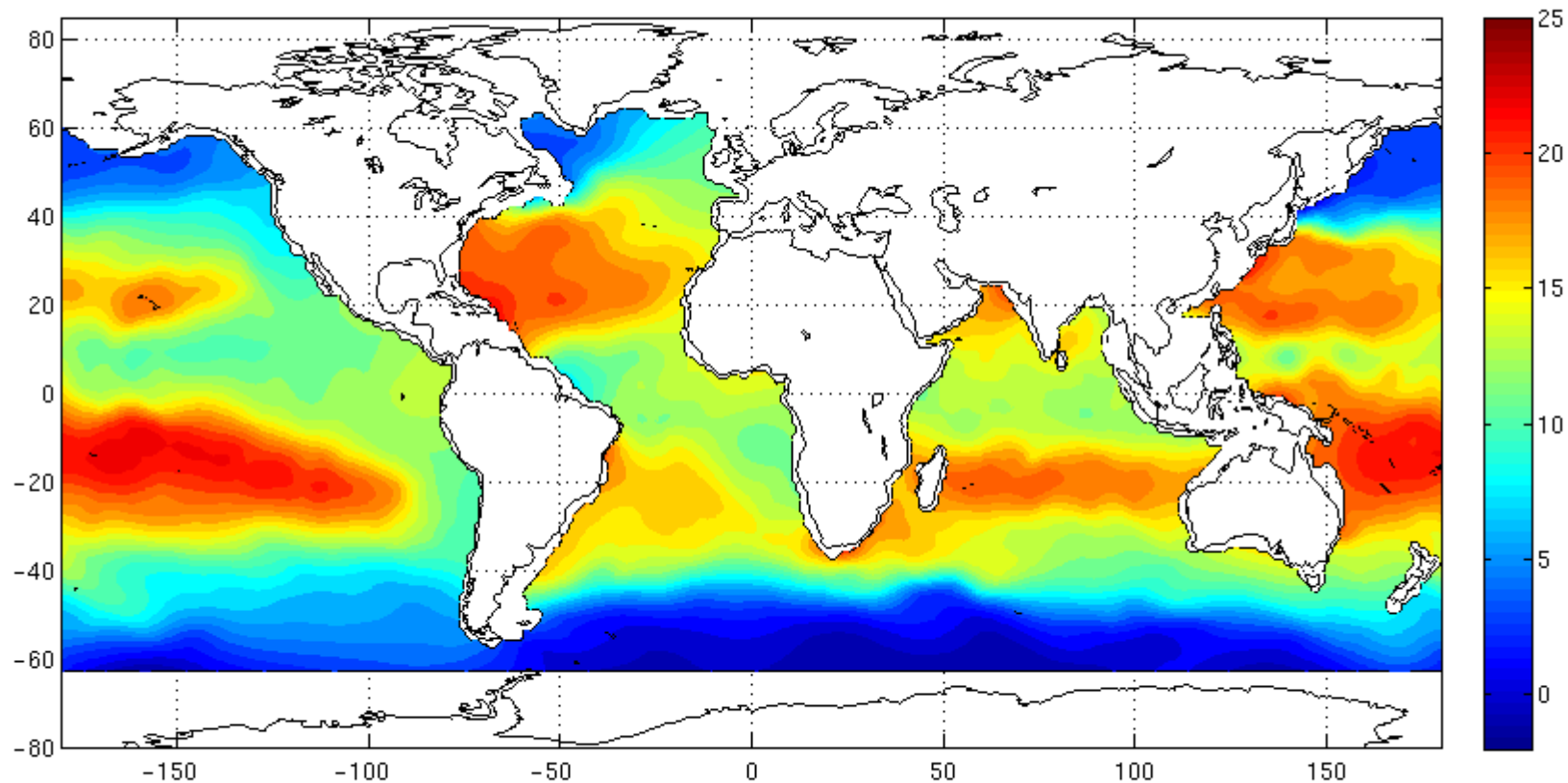


S at 0200m in 2010 Jan



## Эволюция поля ТЕМПЕРАТУРЫ на глубине 200 м

T at 0200m in 2005 Jan







# 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)

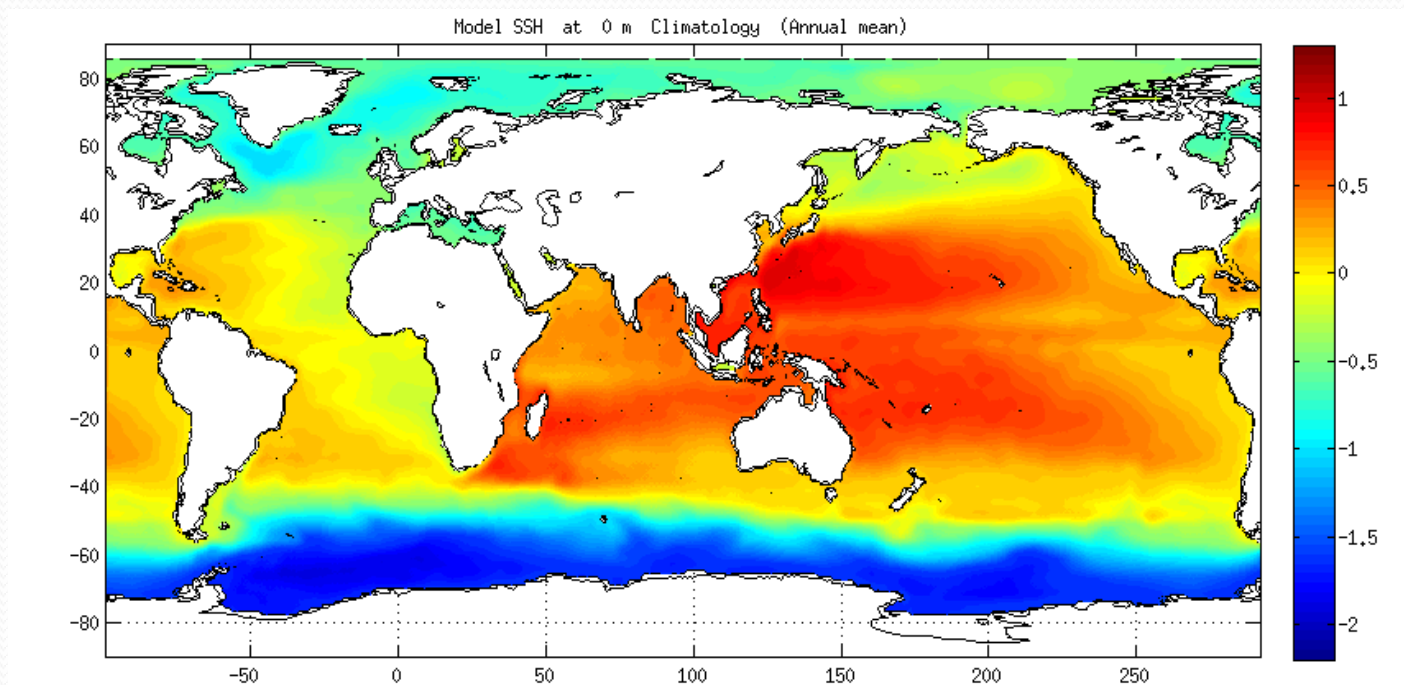
Пространственное разрешение  $1^\circ$  по долготе и широте

Северная граница области расчетов  $85,5^\circ$  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)

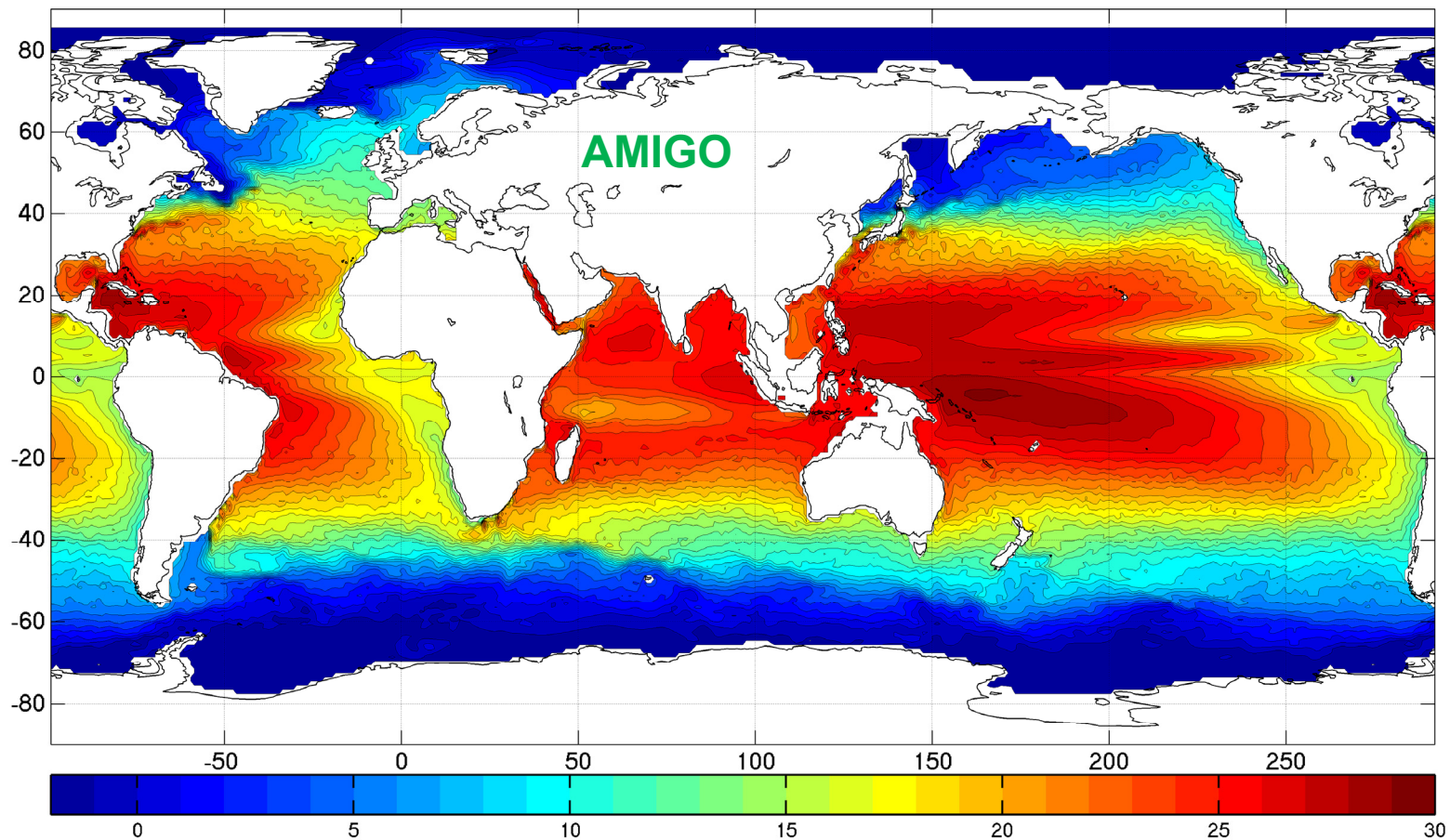
Ветер ECMWF ERA5





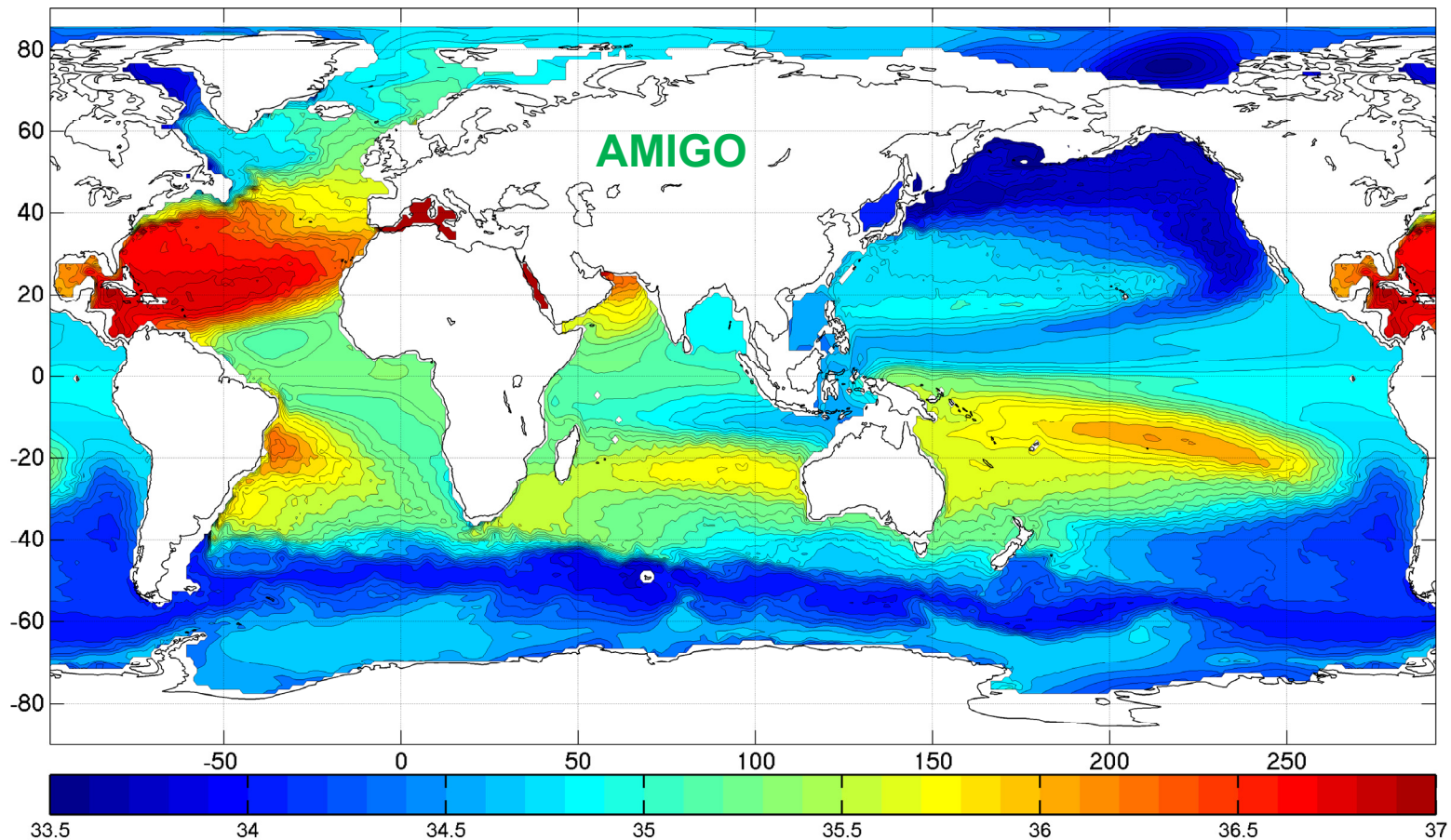
# Среднеклиматическая ТЕМПЕРАТУРА на глубине 75 м

75 м. среднемноголетняя (2005-2022) температура



# Среднеклиматическая СОЛЕНОСТЬ на глубине 200 м

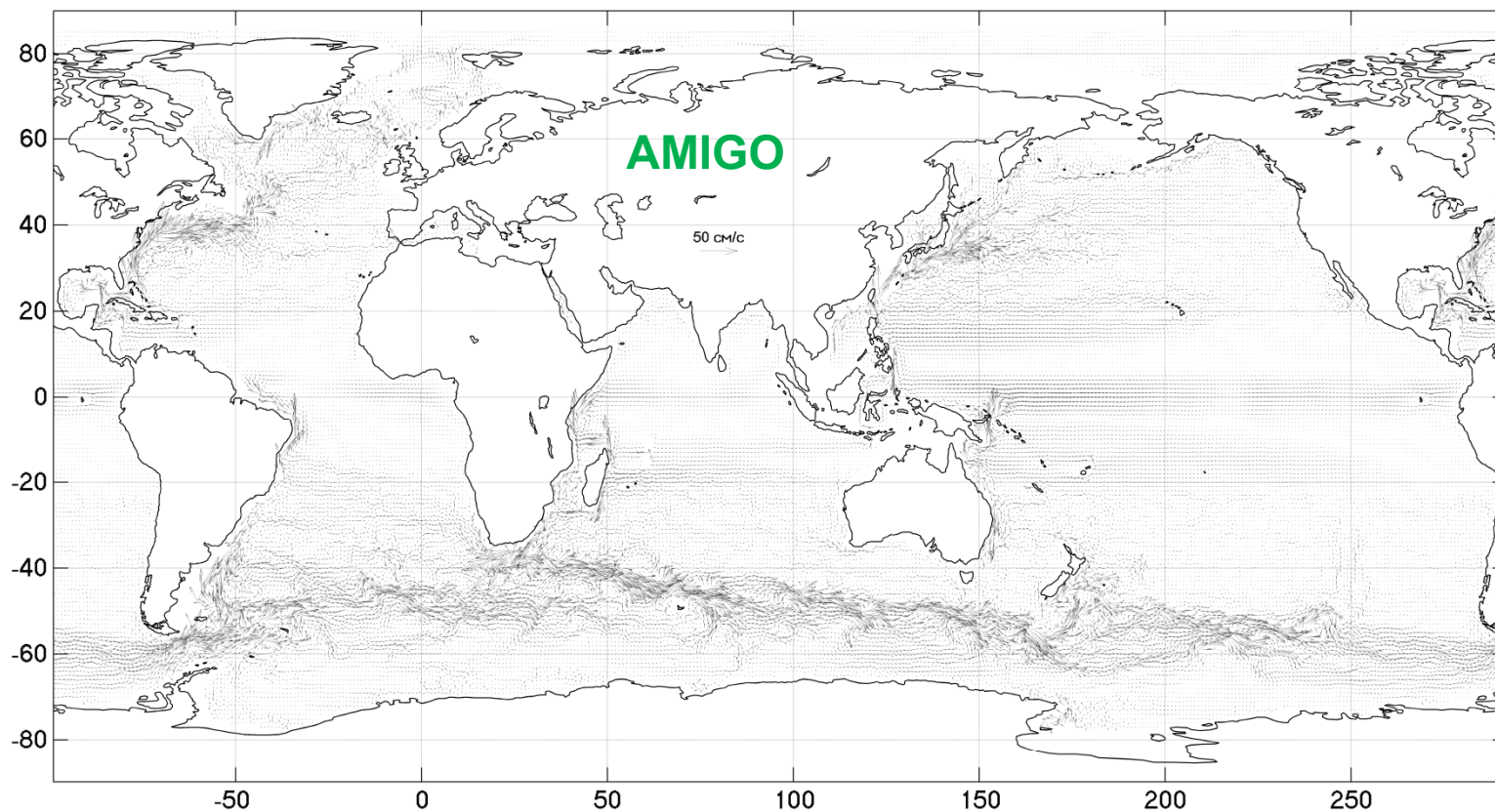
200 м, среднемноголетняя (2005-2022) солёность





## Среднеклиматическая СКОРОСТЬ на глубине 300 м

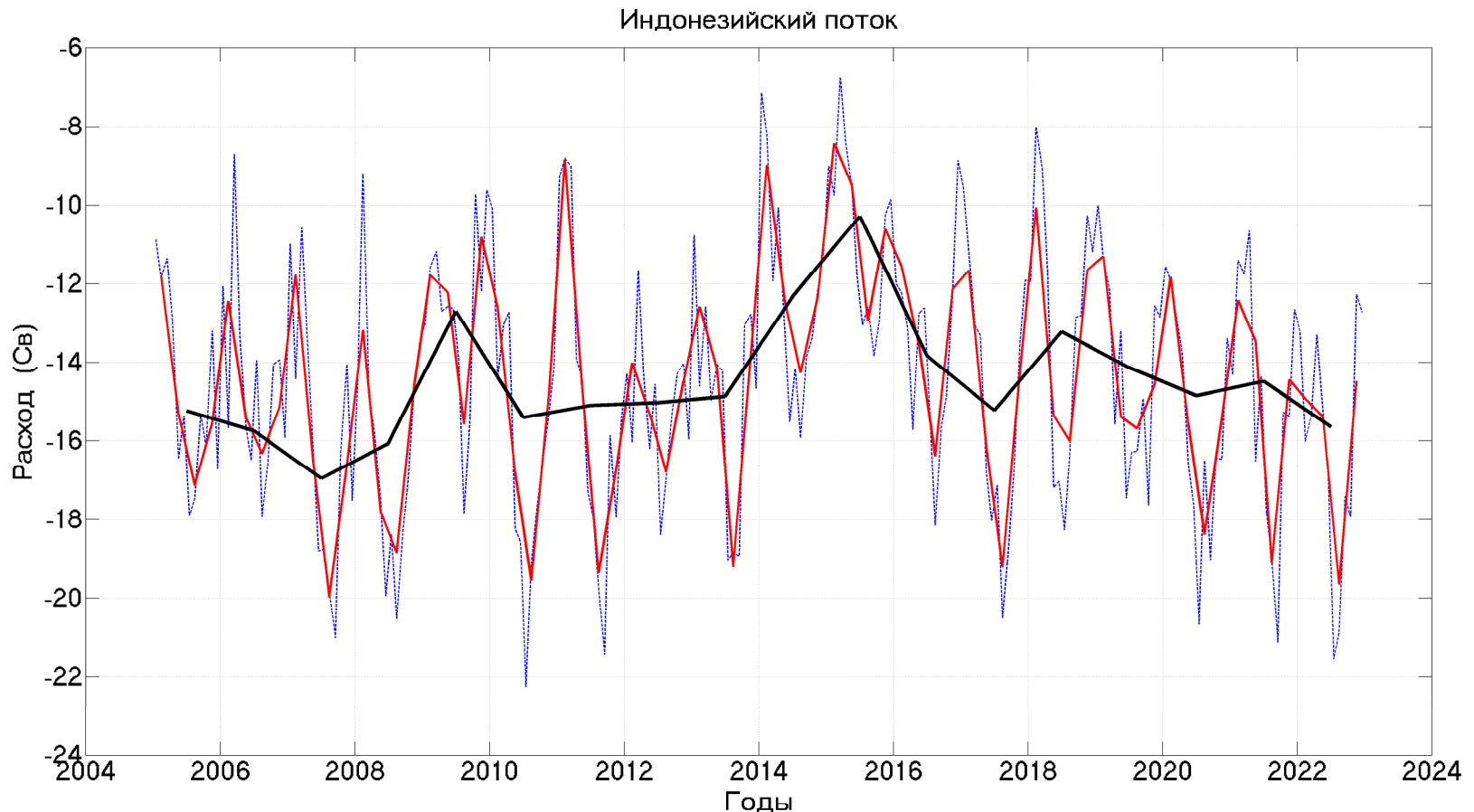
300 м, среднемноголетние (2005-2022) течения



# Водообмен Тихого и Индийского океанов $14,5 \pm 3$ Св

Многолетние измерения 2004–2006 гг. 15 Св

Sprintall J., Wijffels S.E., Molcard R., Jaya I. Direct estimates of the Indonesian Throughflow entering the Indian Ocean: 2004-2006 // *J. Geophys. Res.* 2009. Vol. 144, C07001. doi:10.1029/2008JC005257.

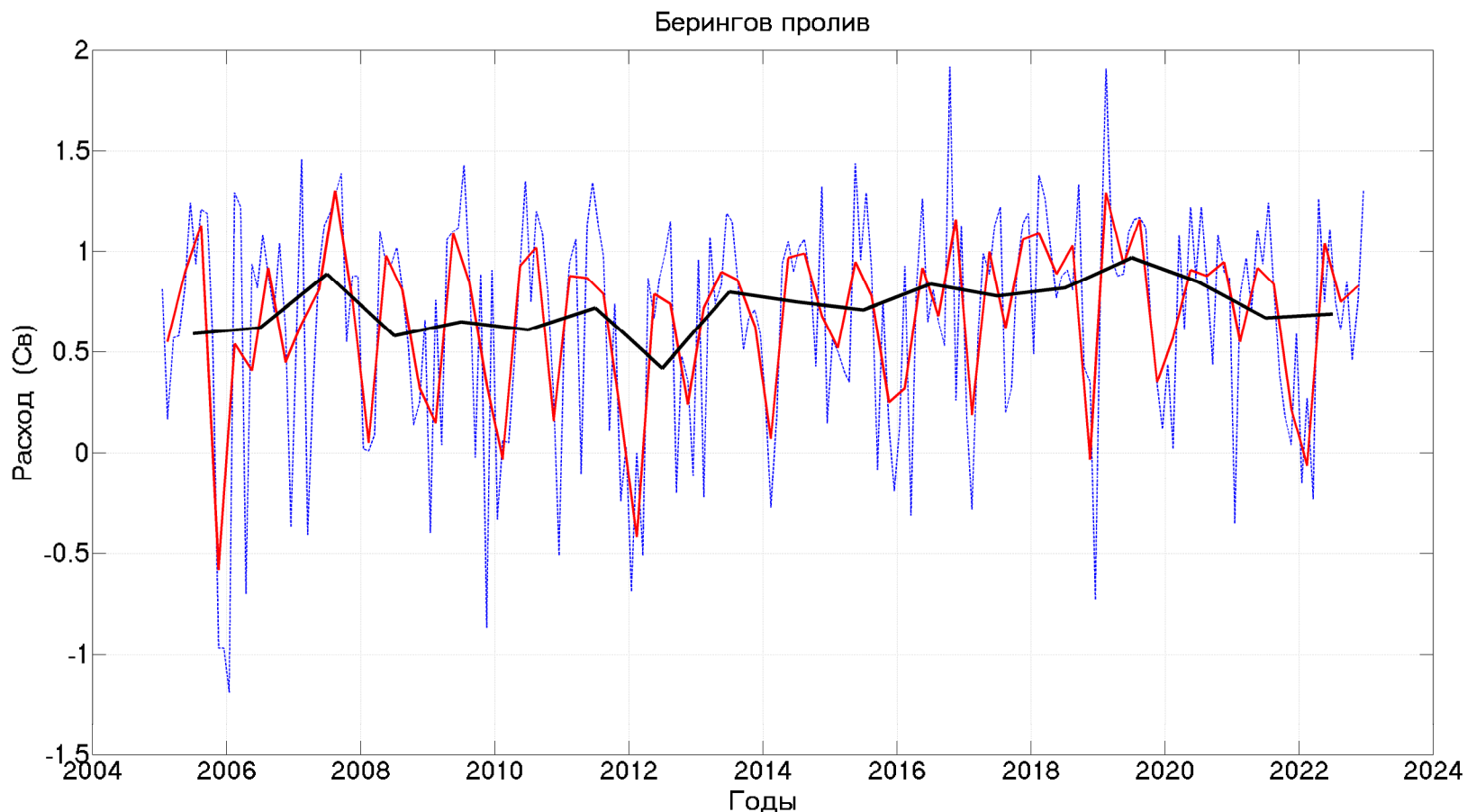




## Расход через Берингов пролив $0,65 \pm 0,55$ Св

Многолетние измерения 1990–1994 гг.  $0,83$  Св

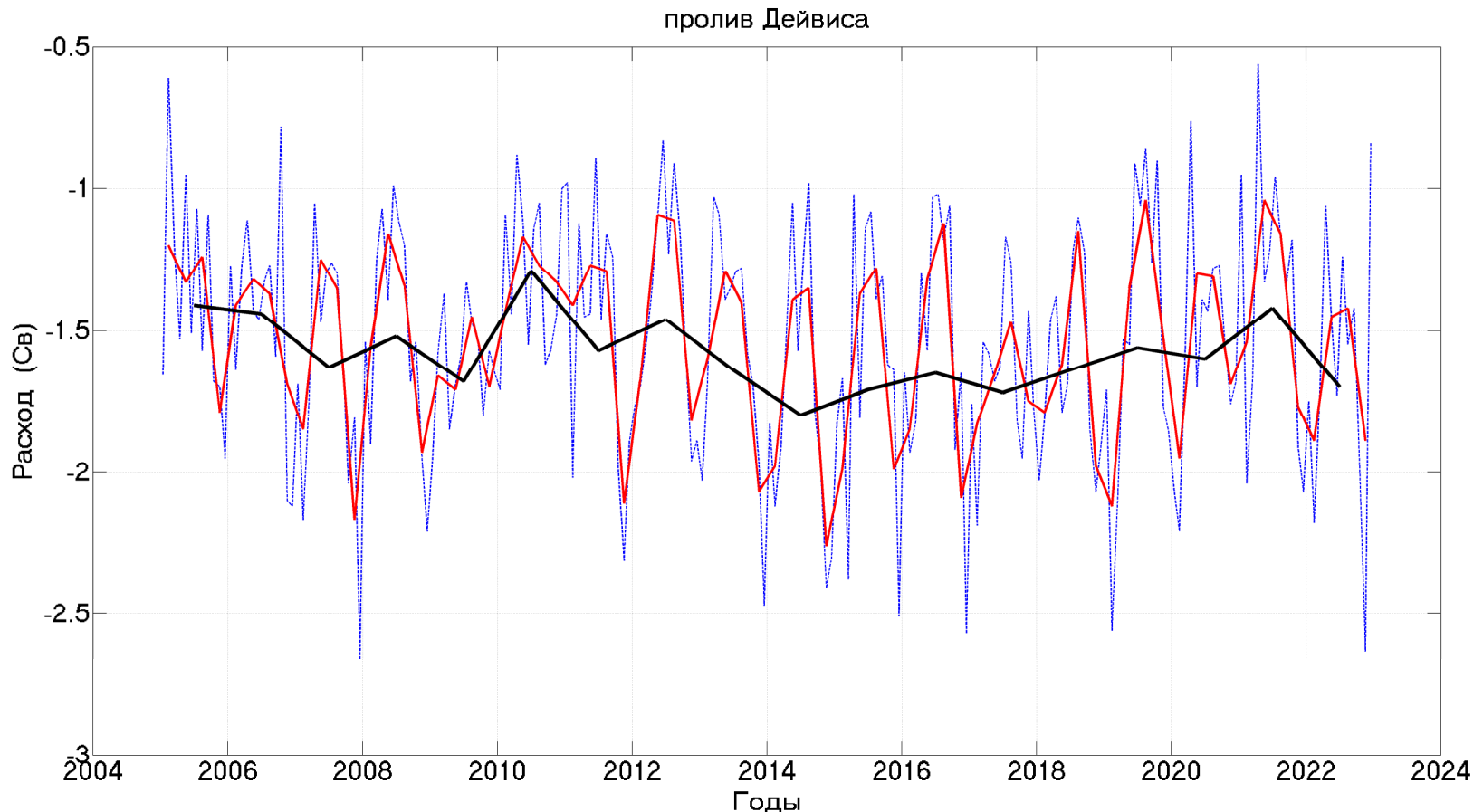
Roach A.T., Aagaard K., Pease C.H., Salo S.A., Weingartner T., Pavlov V., Kulakov M.  
Direct measurements of transport and water properties through the Bering Strait // *J. Geophys. Res.* 1995. Vol. 100, N C9. P. 18443–18457.



## Расход через пролив Дэйвиса $1,53 \pm 0,41$ Св

Многолетние измерения 2005–2014 гг.  $1,6 \pm 0,5$  Св

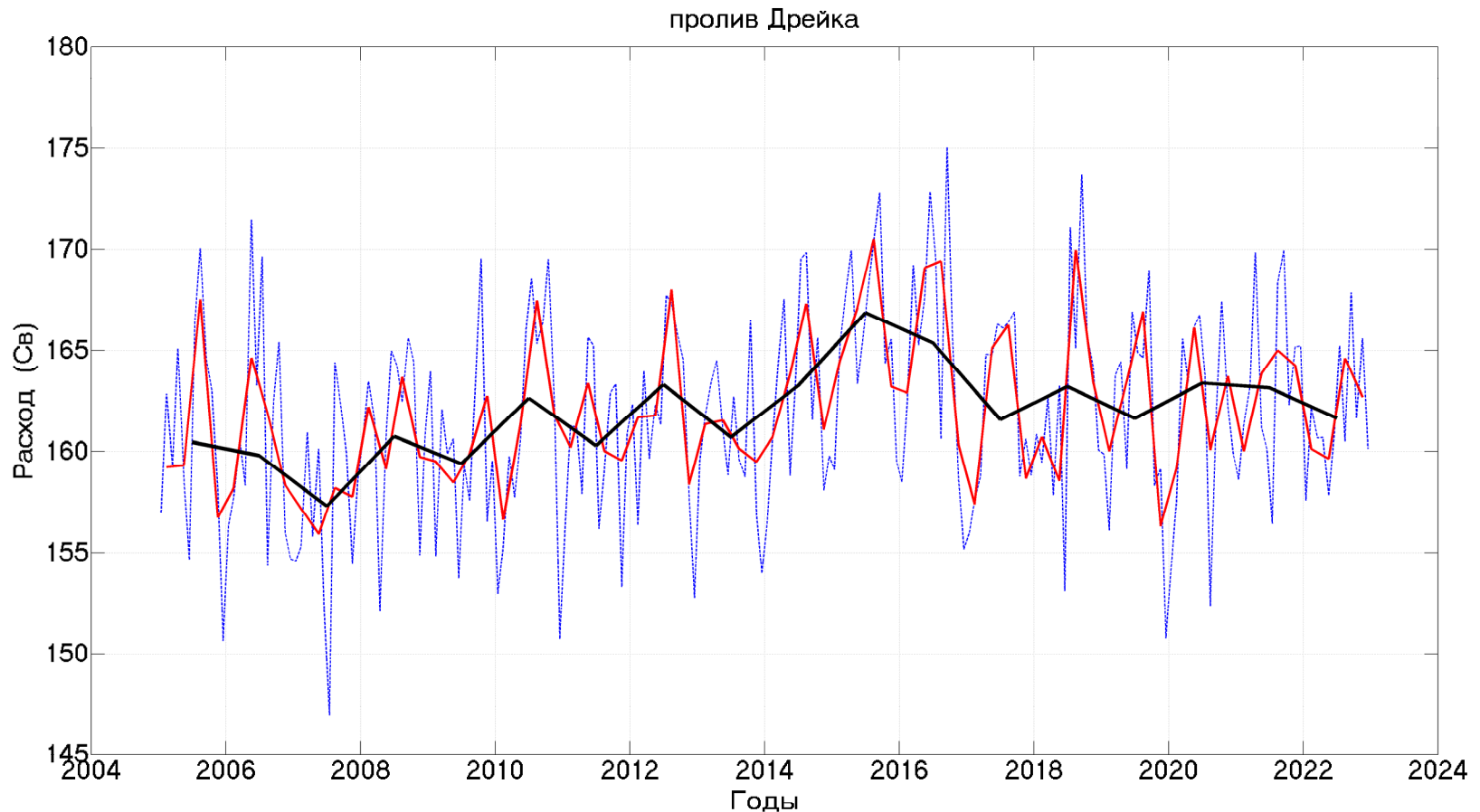
Curry B., Lee C.M., Petrie B., Moritz R.E., Kwok R. Multiyear Volume, Liquid Freshwater, and Sea Ice Transports through Davis Strait, 2004–10 // *J. Phys. Oceanogr.* 2014. Vol. 44. No. 4. P. 1244–1266.



## Расход через пролив Дрейка $162 \pm 5$ Св

Многолетние измерения 2007–2011 гг.  $173 \pm 11$  Св

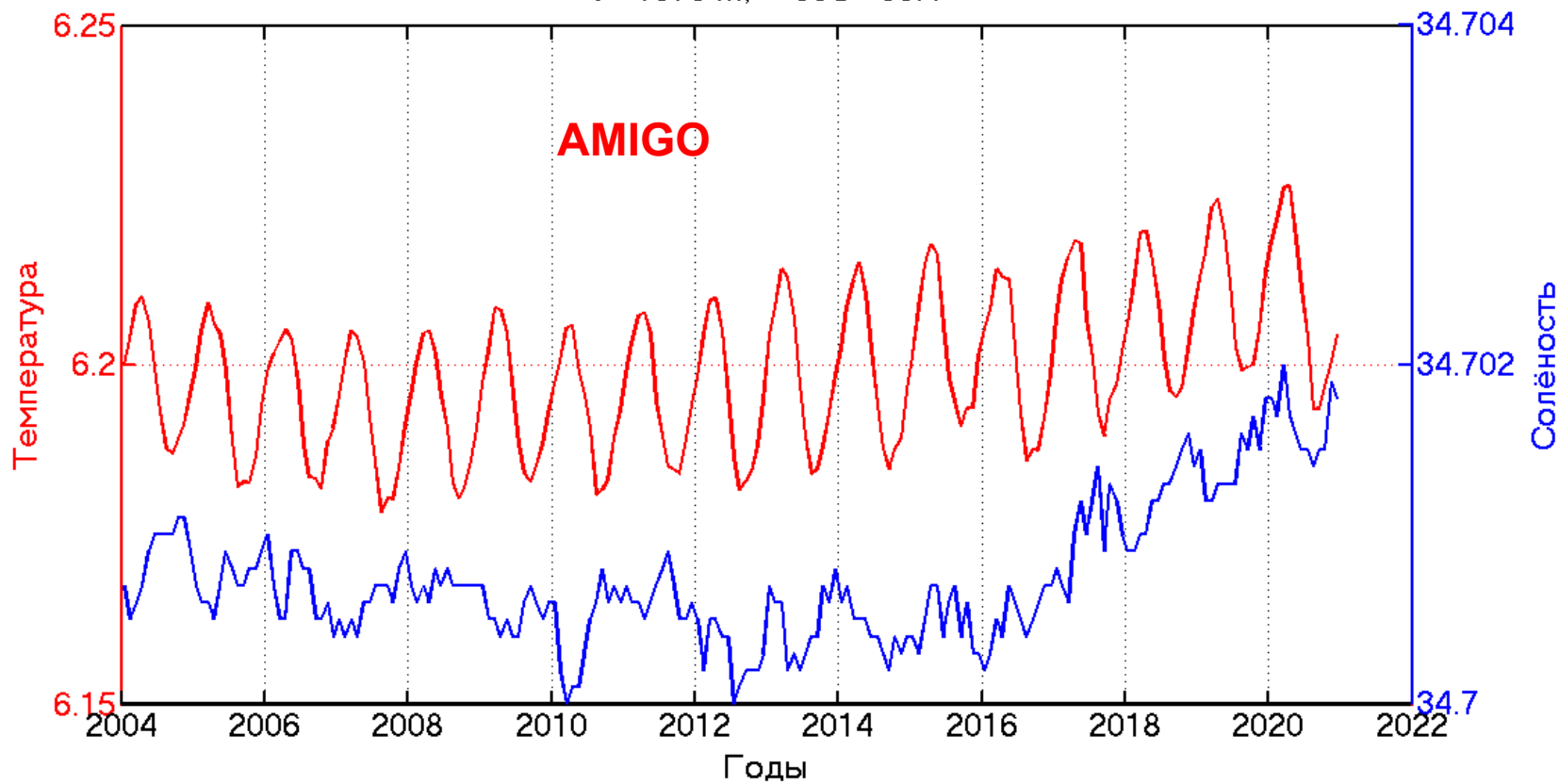
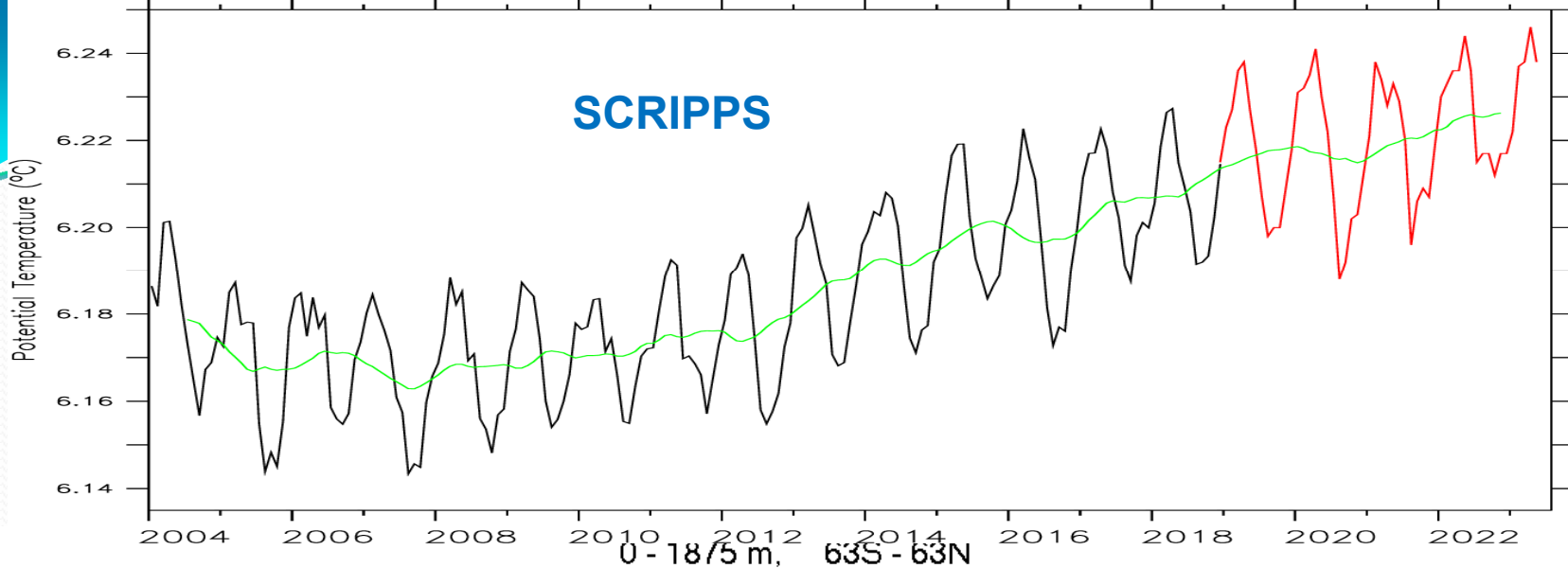
Donohue, K.A., Tracey K.L., Watts D.R., Chidichimo M.P., Chereskin T.K. Mean Antarctic Circumpolar Current transport measured in Drake Passage // *Geophys. Res. Lett.* 2016. Vol. 43. P. 11760-11767. doi:10.1002/2016GL070319.







# Климатические тренды



## 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 2005-2022 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. В результате расчетов по Арго-модели получились следующие средние значения межокеанского водообмена: перенос из Тихого океана в Индийский составил  $14,5 \pm 3$  Св, водообмен Тихого океана с Арктикой –  $0,65 \pm 0,55$  Св. Полученные величины хорошо согласуются с известными оценками, полученными на основании прямых многолетних измерений.

4. В работе показано, что Арго-модель, несмотря на одноградусное разрешение, корректно описывает поступление арктической воды в море Лабрадор через Девисов пролив ( $1,53 \pm 0,41$  Св) и средиземноморских вод в Атлантический океан через Гибралтарский пролив ( $1,2 \pm 0,3$  Св). Полученные величины средних расходов в проливах Дейвиса и Гибралтар получились достаточно близкими измеренным среднемноголетним значениям.



**СПАСИБО ЗА ВАШЕ ВНИМАНИЕ!**

S at 0000 m Climatology (Ensemble mean)

