

# Модельное исследование вклада ветра в межгодовую изменчивость Антарктического циркумполярного течения южнее Австралии

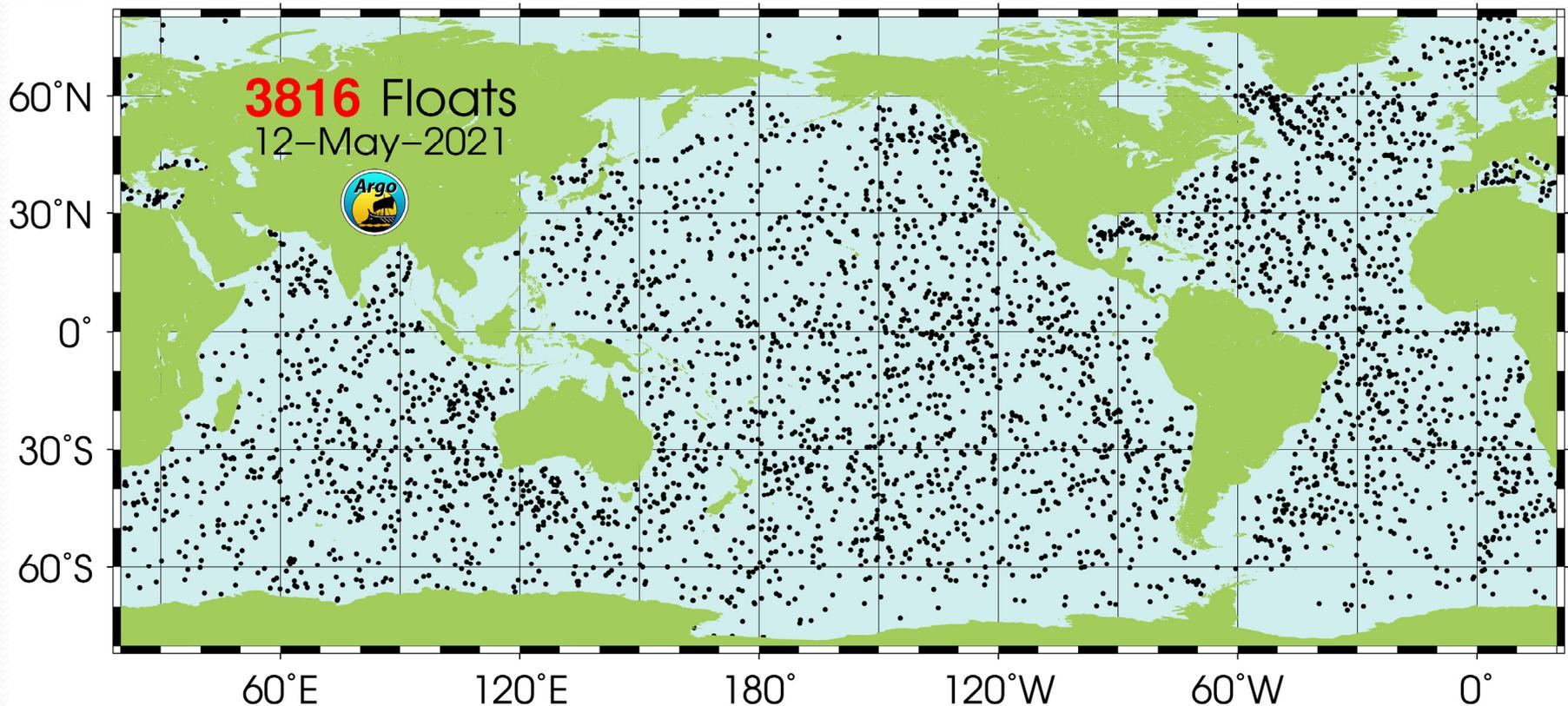
Константин Лебедев

Институт океанологии им.  
П.П.Ширшова РАН

Москва, ИО РАН  
18-20 мая 2021

Антарктическое циркумполярное течение (АЦТ), опоясывающее Антарктиду с запада на восток, является самым мощным течением в Мировом океане, оставаясь при этом наименее изученным в силу удаленности и сложности проведения исследований в Южном океане. Появление в начале XXI века постоянно действующей глобальной сети океанографических наблюдений на основе дрейфующих измерителей международной программы Argo предоставляет ученым-океанологам уникальные возможности непрерывного мониторинга состояния Южного океана, в т.ч. и оценки расхода АЦТ. С 2005 г. измерения с помощью поплавков Argo стали вести на большей части акватории Мирового океана: около 4000 поплавков Argo осуществляют на сегодняшний день автономное зондирование до глубин 2 км с 10-дневным временным интервалом. Разработанная в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН Арго-модель исследования глобального океана (АМИГО), состоящая из блока вариационной интерполяции на регулярную сетку данных профилирования дрейфующих измерителей Argo и блока модельной гидродинамической адаптации вариационно проинтерполированных полей, позволяет получать по нерегулярно расположенным данным измерений Argo полный набор океанографических характеристик: температуру, соленость, плотность и скорость течений (Лебедев, 2016, 2017).

## 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



# 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.

## 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.

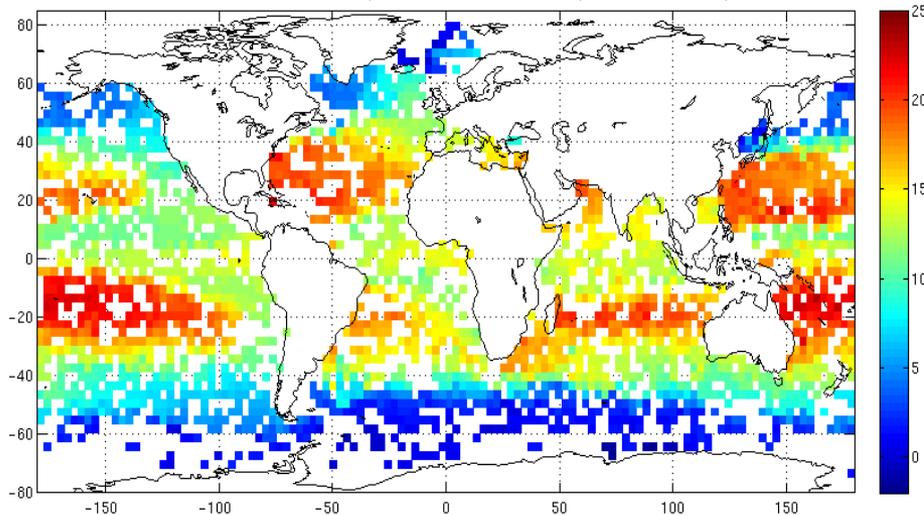
Минимизируемый функционал

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

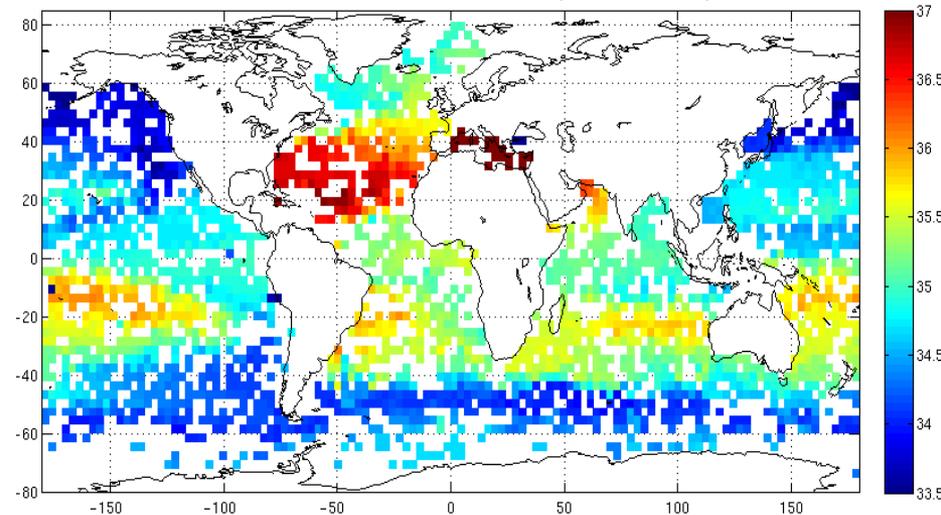
где  $A_g$  - интерполируемая переменная Argo (T, S и т.д.) в узлах регулярной сетки,  $A_{g-d}$  - линейная интерполяция в точку измерения  $A_d$  значений переменной  $A_g$  из четырех окрестных узлов регулярной сетки,  $A_c$  - климатические данные в узлах регулярной сетки,  $dX$  - зональный шаг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

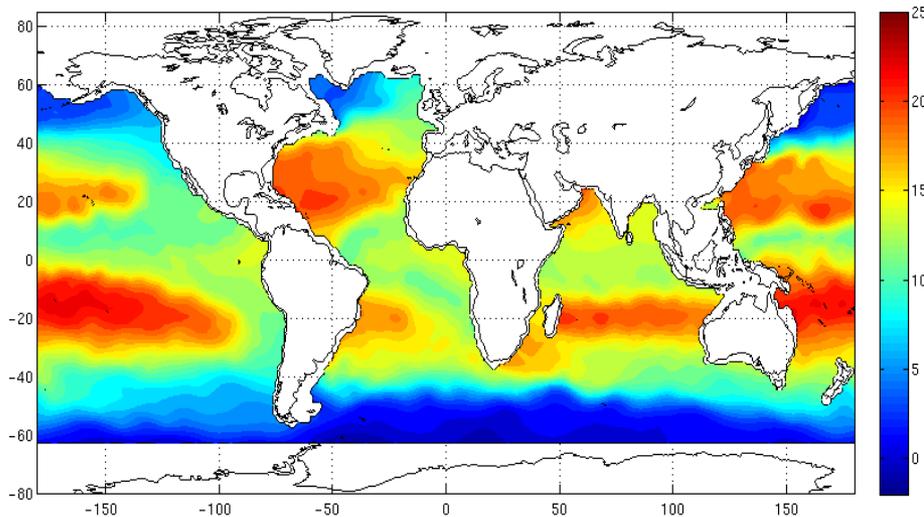
January 2010 mean 3x3 Temperature 0200 m. – 8775 profiles in 2226 squares



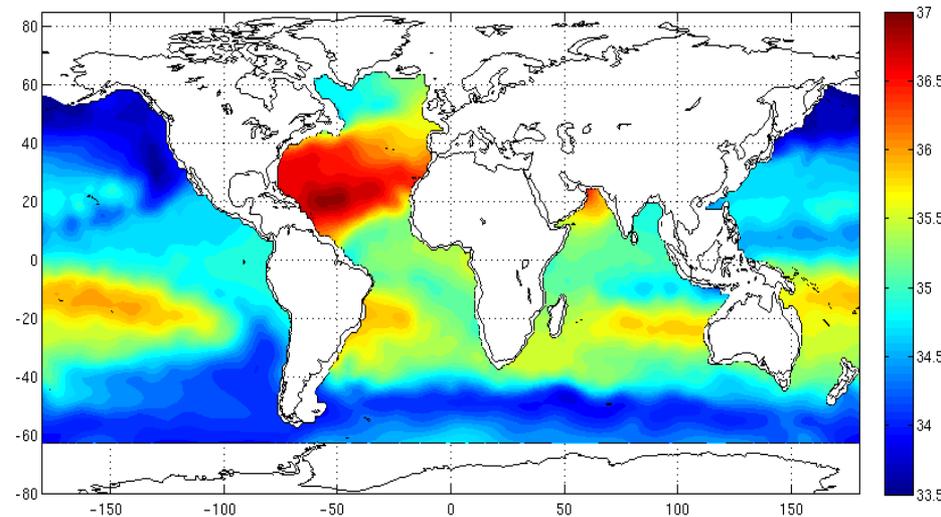
January 2010 mean 3x3 Salinity 0200 m. – 8775 profiles in 2226 squares



T at 0200m in 2010 Jan



S at 0200m in 2010 Jan



# Модель общей циркуляции океана

Версия модели ИВМ (Ю.Л. Демин и Р.А. Ибраев)

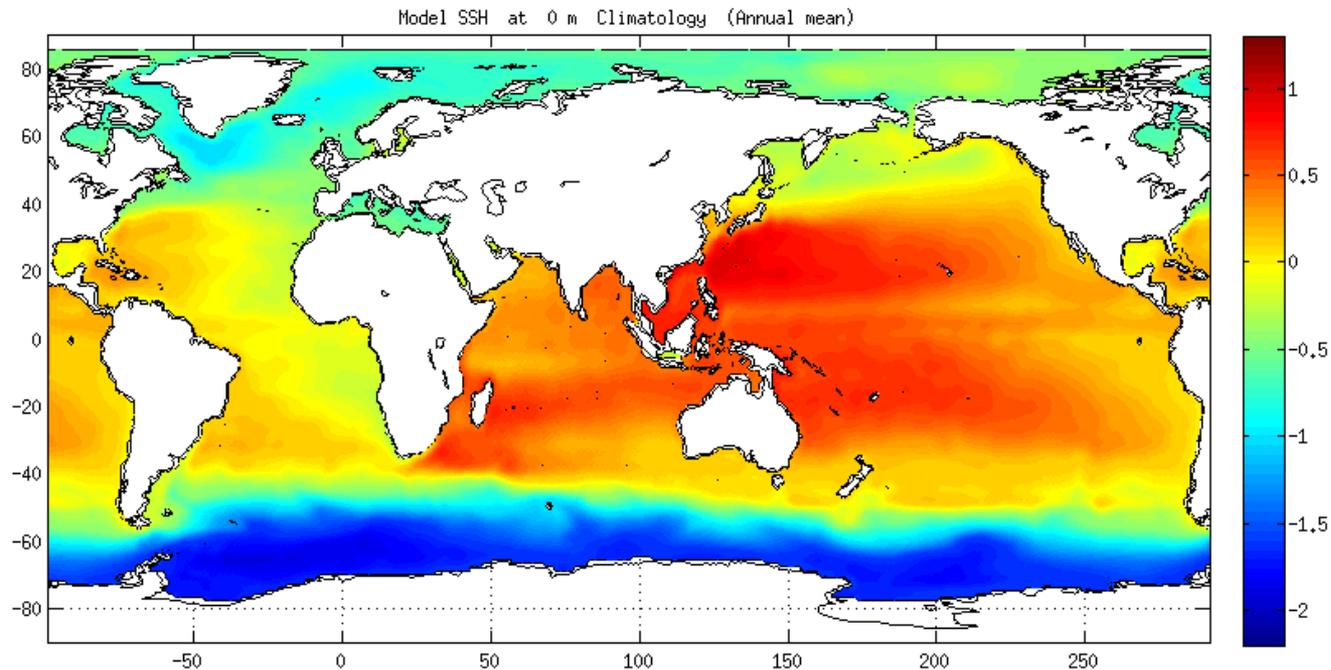
Пространственное разрешение  $1^\circ$  по долготе и широте

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 ERA-Interim



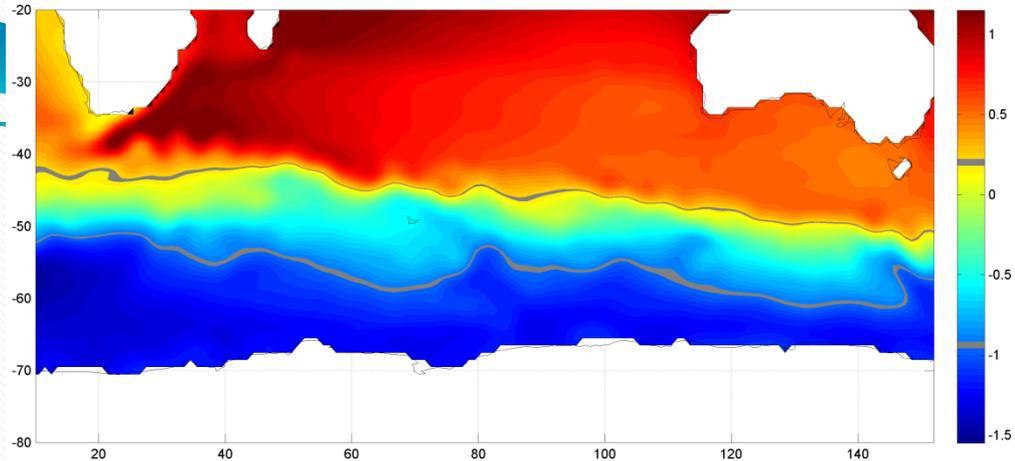
Модель общей циркуляции океана применяется в режиме диагноза и адаптации заданных в начальный момент гидрологических полей. Метод гидродинамической адаптации был впервые предложен в 1983 году в работе А.С. Саркисяна и Ю.Л. Демина для расчета сбалансированных между собой и с рельефом дна и граничными условиями полей температуры, солёности плотности и течений.

Критерием окончания адаптации является выход энергии системы на квазистационарное состояние. В качестве дополнительного критерия может использоваться сравнение модельного поля динамического уровня с измерениями (данные спутниковой альтиметрии *Aviso*).

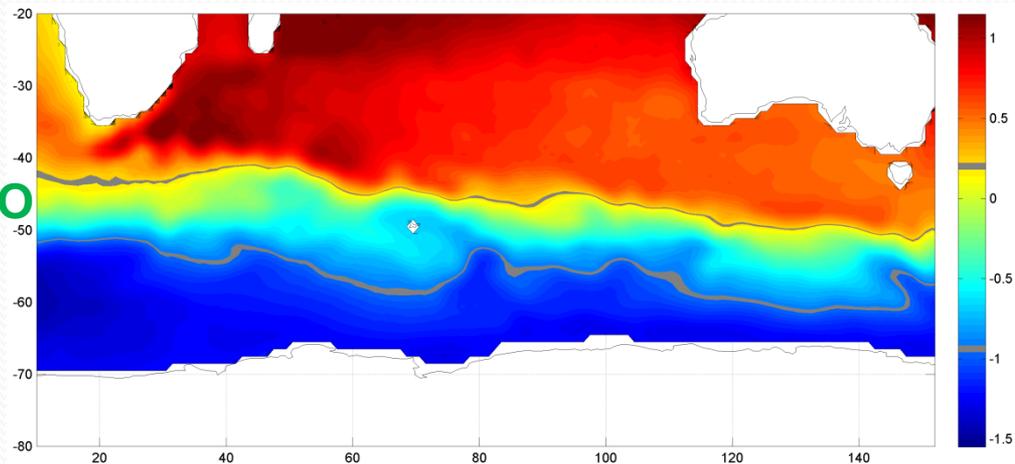
Выполненные расчеты охватывают 10-летний период с 2005 по 2014 гг. и представлены ежемесячными (120 полей), сезонными (40 полей), годовыми (10 полей), а также среднеклиматическими для 2005–2014 гг. данными (17 полей, включающие среднеклиматический год, сезоны и месяцы) с пространственным разрешением 1 градус по долготе и широте.

# Динамический уровень

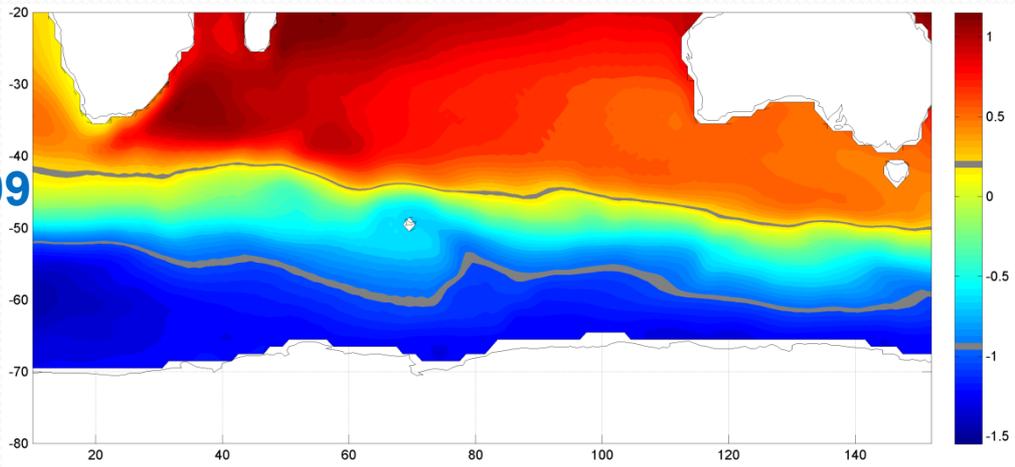
Спутниковая альтиметрии Aviso



Модельный расчет по данным АМИГО



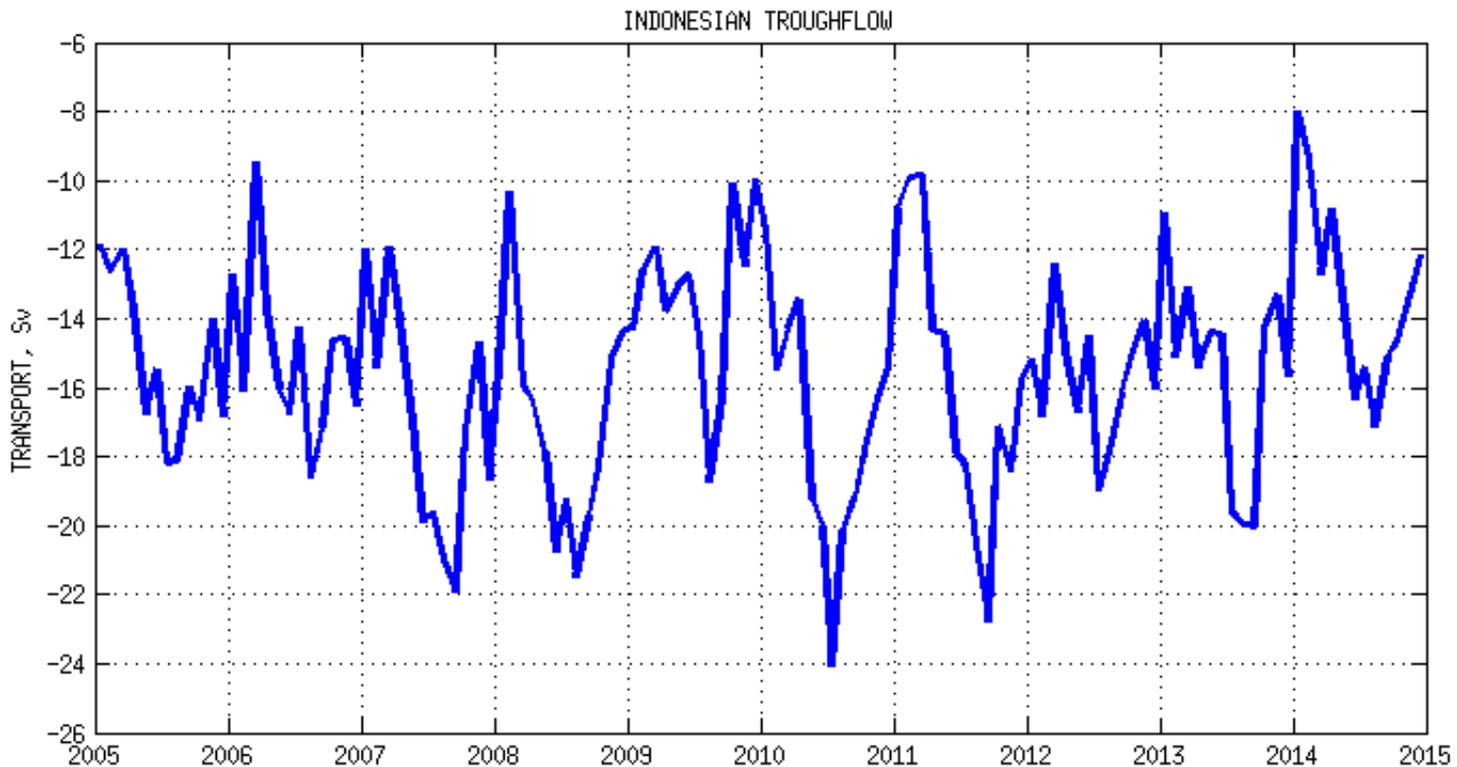
Модельный расчет по данным WOA09



## Водообмен Тихого и Индийского океанов $15,4 \pm 3$ Св

Многолетние измерения 2004–2006 гг. 15 Св

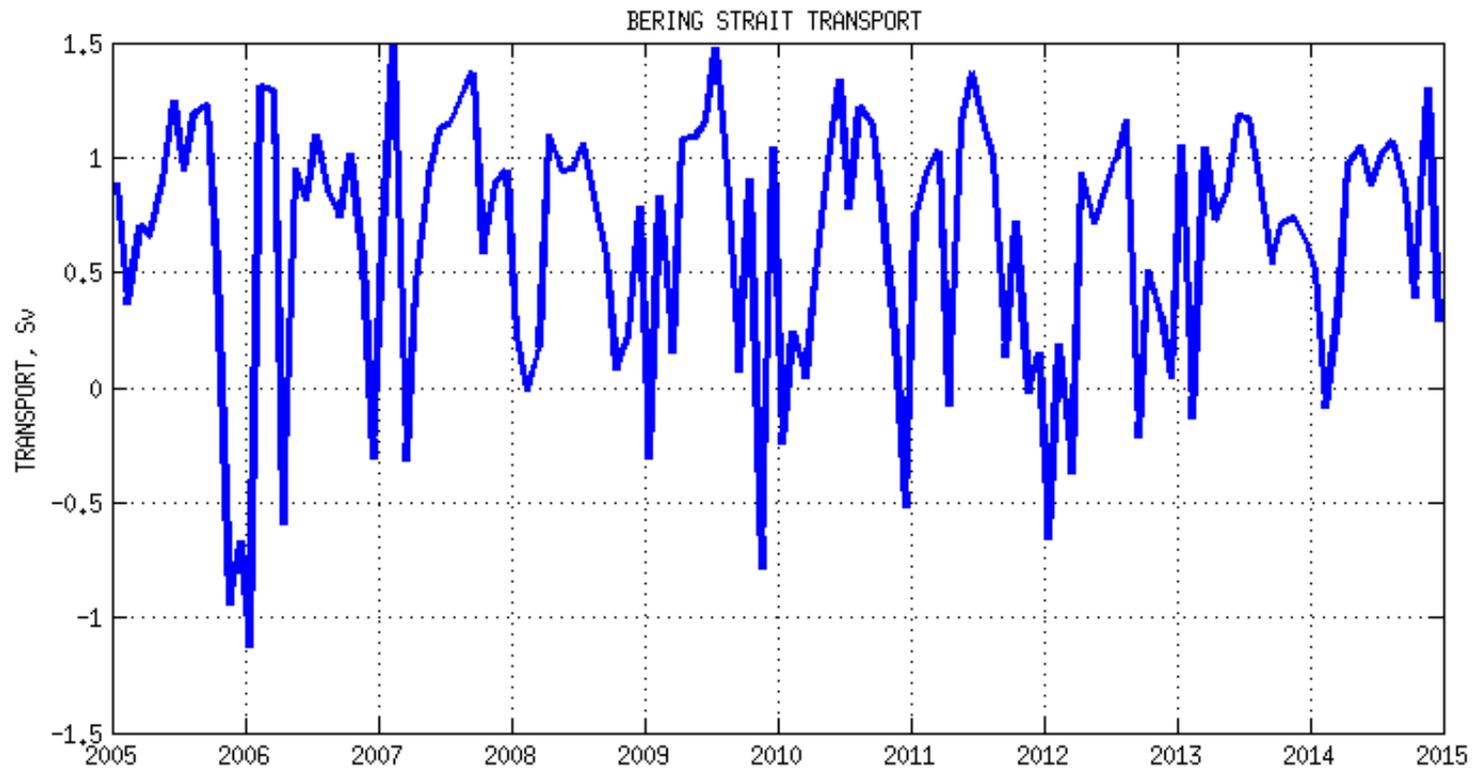
Sprintall J., Wijffels S.E., Molcard R., Jaya I. Direct estimates of the Indonesian Throughflow entering the Indian Ocean: 2004-2006 // *J. Geophys. Res.* 2009. Vol. 144, C07001. doi:10.1029/2008JC005257.



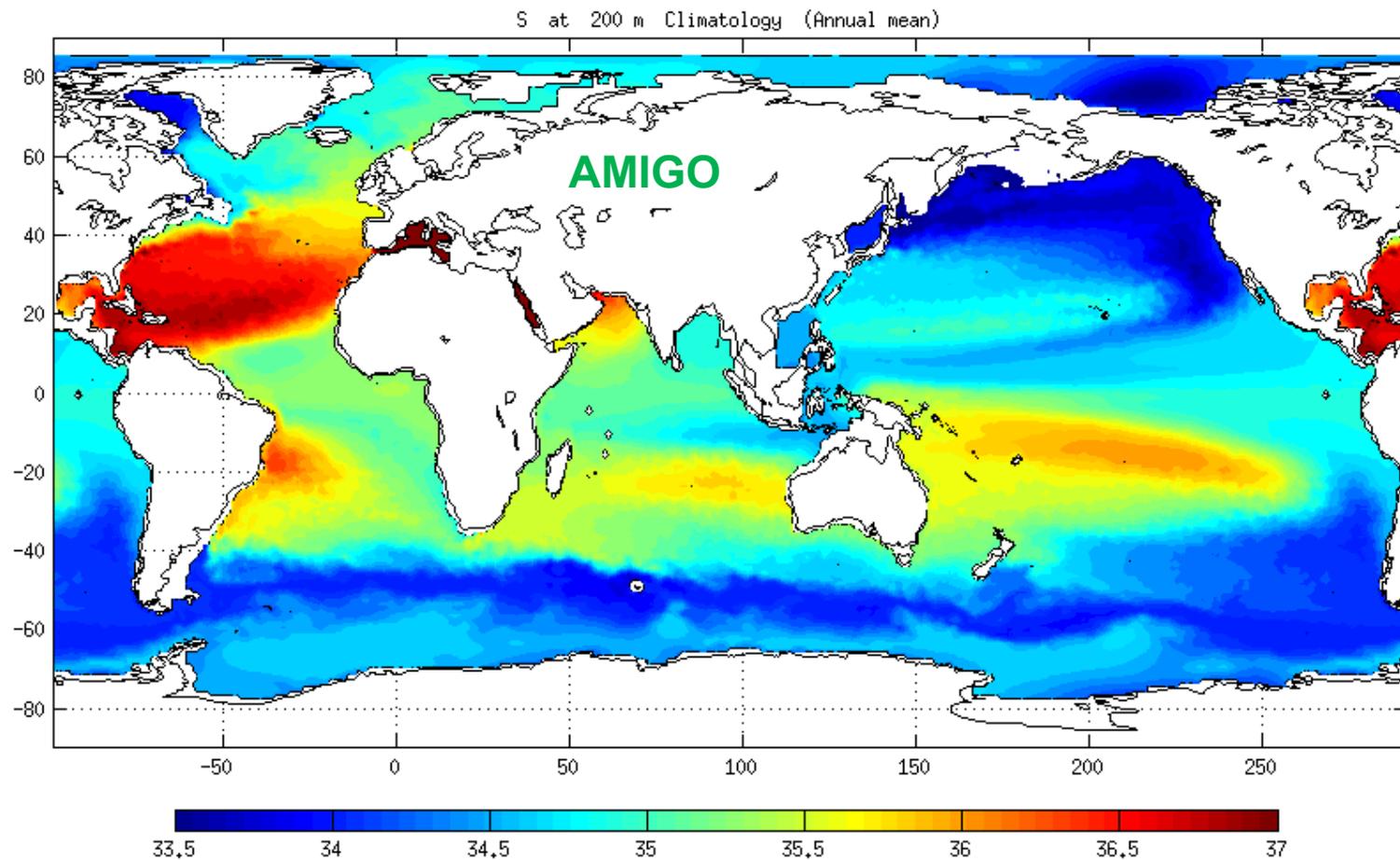
Расход через Берингов пролив  $0,63 \pm 0,57$  Св

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.



## Среднеклиматическая СОЛЕНОСТЬ на глубине 200 м



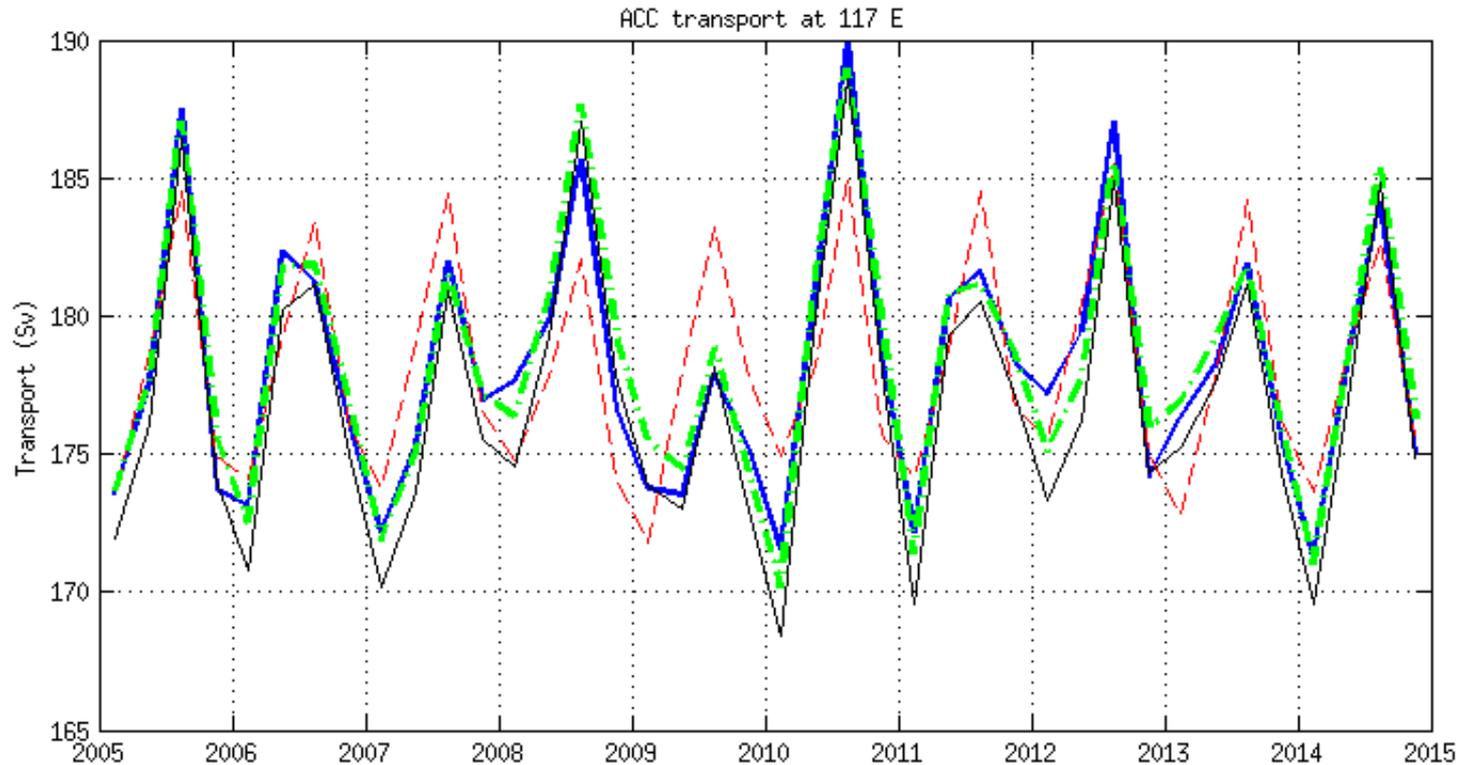
## **Для изучения вклада ветрового воздействия в изменчивость расхода АЦТ были выполнены три серии дополнительных численных экспериментов:**

1. В Эксперименте 1 используемые в расчетах АМИГО поля температуры и солености были заменены их среднеклиматическими аналогами (расчет для января 2005 г. проводился по среднеклиматическим данным января 2005–2014 гг. и т.д.). Поля ветра при этом соответствовали реальным месяцам и сезонам (расчет для января 2005 г. проводился по данным тангенциального напряжения трения ветра января 2005 г. и т.д.). Это позволило оценить вклад в изменчивость расхода АЦТ ветрового воздействия.

2. В Эксперименте 2 используемые в расчетах АМИГО поля тангенциального напряжения трения ветра были заменены их осредненными за 2005–2014 гг. аналогами (для января 2005 г. использовались данные температуры и солености января 2005 г. и осредненный за январь 2005–2004 гг. ветер и т.д.). Целью этих расчетов была оценка вклада изменчивости термохалинных полей в изменчивость расхода АЦТ.

3. Контрольный Эксперимент 3 аналогичен Эксперименту 1, отличаясь от него тем, что вместо среднеклиматических данных АМИГО в нем использовались данные World Ocean Atlas 2009 (WOA09).

## Расход АЦТ на разрезе по 117° з.д.



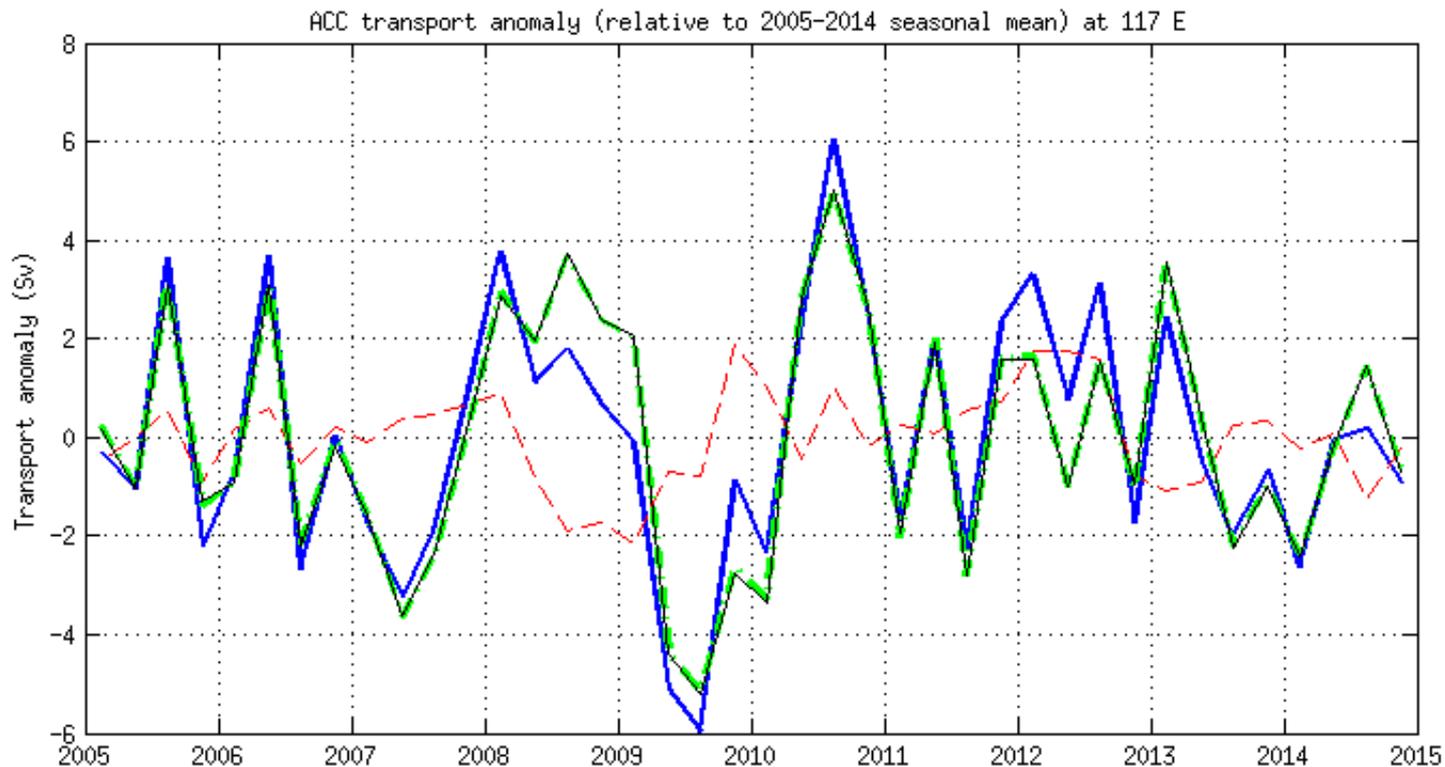
**Результаты расчета АМИГО**

**Результаты Эксперимента 1 (Т, S – климат АМИГО)**

**Результаты Эксперимента 2 (Ветер – климат ECMWF)**

**Результаты Эксперимента 3 (Т, S – климат WOA09)**

## Аномалии расхода АЦТ на разрезе по 117° з.д. относительно среднего сезонного хода



**Результаты расчета АМИГО**

**Результаты Эксперимента 1 (Т, S – климат АМИГО)**

**Результаты Эксперимента 2 (Ветер – климат ECMWF)**

**Результаты Эксперимента 3 (Т, S – климат WOA09)**

## Основные выводы:

По результатам проведенных модельных исследований можно сделать следующие основные выводы :

1. Модельные расчеты АМИГО с использованием данных Argo за 2005–2014 гг. позволили оценить расход АЦТ и его изменчивость на разрезе Австралия-Антарктида по 117° в.д. Расход АЦТ получился равным  $178 \pm 6$  Св. Изменчивость расхода АЦТ в этом районе имеет четко выраженный сезонный характер. Максимальное значение среднемесячного расхода получилось равным 194 Св (июль 2010 г.), минимальное – 165 Св (январь 2010 г.). Полученный расход АЦТ хорошо согласуется с оценкой, полученной по результатам обработки данных прямых измерений (Donohue et al., 2016; Roach et al., 1995; Sprintall et al., 2009).

2. Численный эксперимент с заменой в расчетах АМИГО реальных сезонных полей тангенциального напряжения трения ветра на их осредненные за 2005–2014 гг. аналоги показал, что изменчивость расхода АЦТ на разрезе Австралия-Антарктида начинает в этом случае носить в основном сезонный характер, разность расходов зима-лето падает, а межгодовая изменчивость становится слабовыраженной. На основании выполненной серии численных экспериментов с моделью АМИГО получен вывод о том, что межгодовая изменчивость термохалинных полей Южного океана оказывает слабое влияние на изменчивость расхода АЦТ в районе между Австралией и Антарктидой.

3. Численный эксперимент с заменой в расчетах АМИГО реальных сезонных полей температуры и солености на их климатические аналоги для периода 2005–2014 гг. показал, что изменчивость расхода АЦТ на разрезе Австралия-Антарктида получается очень близкой к изменчивости, полученной на основе оригинальных расчетов АМИГО. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что основным фактором, определяющим межгодовую изменчивость расхода АЦТ в районе между Австралией и Антарктидой, является изменчивость полей тангенциального напряжения трения ветра.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта **РФФИ №19-05-00878**.