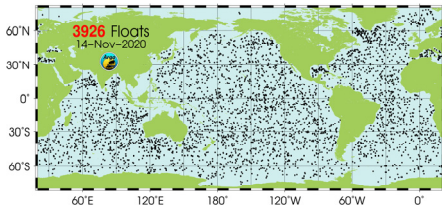


# Моделирование гидрофизических полей Южного океана на основе изопикнической вариационной интерполяции измерений Арго

К.В. Лебедев

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН Грант РФФ № 16-17-10149

Исследование изменчивости Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) проведено на основе модельных расчетов с использованием разработанной в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН изопикнической версии Арго-модели исследования глобального океана (АМИГО). Модель состоит из блока вариационной интерполяции на регулярную сетку данных профилирования Арго и блока модельной гидродинамической адаптации вариационно проинтерполированных полей. Такая методика позволяет получать по нерегулярно расположенным данным измерений Арго полный набор океанографических характеристик: температуру, соленость, плотность и скорость течений



Измерения с помощью поплавков Арго с 2005 г. ведутся на большей части акватории Мирового океана. Заявленное при разработке программы Argo уровня покрытия в 3000 одновременно работающих поплавков (в среднем 1 поплавок на трехградусный "квадрат") программа достигла в ноябре 2007 г. Сейчас около 4000 измерителей Арго осуществляют автономное зондирование верхней двухкилометровой толщи океана от Антарктики до Шпицбергена с 10 дневным интервалом. Постоянно пополняющиеся массивы измерений позволяют решать задачи реконструкции и мониторинга состояния океана в режиме, близком к реальному времени, и исследовать особенности океанской динамики и ее изменчивости. Количество профилей, накопленных в рамках программы Argo за период с 2001 по 2019 г., превысило полтора миллиона.

Обработка данных Argo велась в 2 этапа:

На первом этапе выполняется вариационная интерполяция на регулярную одноградусную сетку пересчитанных на изопикнические горизонты данных профилирования Арго по температуре и солености. Принцип вариационной интерполяции состоит в минимизации отклонений между проинтерполированными на регулярную сетку полями и данными нерегулярно расположенных измерений. Минимизация проводится таким образом, чтобы полученное оптимальное решение проходило максимально близко к данным природных измерений.

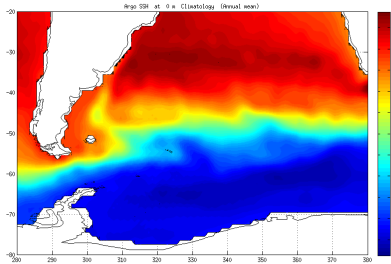
## Минимизируемый функционал

$$F = \sum (A_{grid} - A_{data})^2 + C_1 \int (\Delta A_{grid})^2 ds + C_2 \int (A_{grid} - A_{climate})^2 ds$$

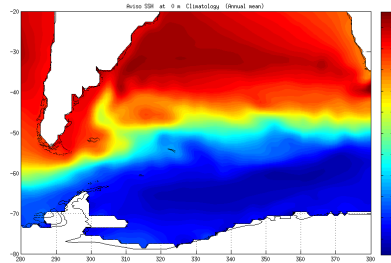
"A" – интерполируемая переменная Арго (T или S)

На следующем этапе для получения сбалансированных климатических полей температуры, солености, плотности и скорости течений используется модель общей циркуляции океана в режиме диагноза и адаптации. Модель описывается полной системой уравнений гидротермодинамики океана. Процесс вязко-волновой адаптации продолжается до выхода модели на квазистационарный режим (около 10 суток модельного времени для районов средних широт). Авторами было показано, что при адаптации удаляются энергонесущие инерционные колебания и внутренние волны. В результате расчетов по модели получают адаптированные поля (месячные, сезонные и годовые) температуры, солености, плотности и течений Мирового океана на одноградусной сетке.

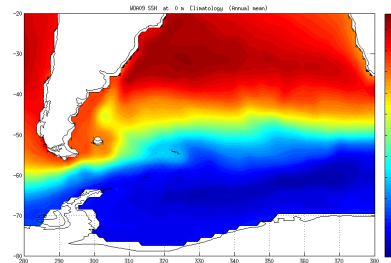
Важной динамической характеристикой океана является уровень, изолинии которого достаточно близко воспроизводят линии тока геострофической составляющей течений в верхнем слое океана. На рисунках представлены карты динамического уровня Атлантического сектора Южного океана, полученного в результате модельных расчетов с использованием данных измерений Арго,



рассчитанного путем осреднения данных спутниковой альтиметрии Aviso



и полученного в результате численного моделирования с использованием климатических массивов Левитуса WOA-09.

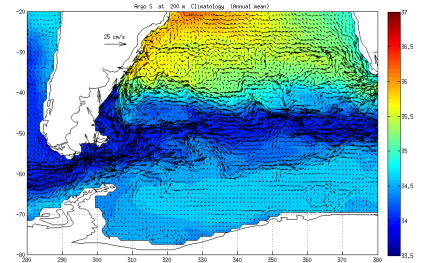


Главные морфологические особенности поля уровня в этом районе Мирового океана состоят в следующем: северную часть области занимает южный субтропический антициклональный круговорот, максимальные значения уровня находятся в его западной части, а также на востоке области в районе разворота течения мыса Игольного и составляют 70 см; юг области занимает циклонический круговорот Уэдделла, минимальные значения уровня наблюдаются в его центральной части и составляют -150 см; ярко выражено Антарктическое циркумполярное течение (АЦТ).

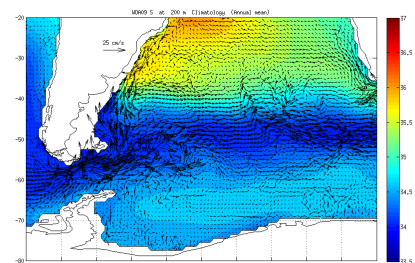
Сравнение двух верхних карт (результаты расчетов с использованием данных Арго и спутниковые данные Aviso) показывает их хорошее соответствие друг другу.

Модельный расчет по данным климатологии Левитуса (третья карта) в целом реалистично воспроизводит основные крупномасштабные элементы поля уровня Атлантического сектора Южного океана, однако полученный по данным WOA-09 уровень выглядит излишне сглаженным.

Рассчитанные по данным Арго поля течений и солености показаны для горизонта 200 м. В поле течений хорошо выделяются Бразильское, Южно-Атлантическое, Бенгельское и Фолклендское течения, а также северная и южная струи АЦТ. На карте солености хорошо видны Субантарктический фронт и южная граница АЦТ: соленость на этой глубине минимальна в районе распространения АЦТ, повышаясь при приближении к Антарктиде за счет подъема циркумполярной глубинной воды в круговороте Уэдделла



На следующем рисунке для сравнения приводятся течения и соленость на горизонте 200 м, полученные по данным WOA-09. Поля солености и течений WOA-09 по сравнению с данными измерений Арго заметно сглажены, градиенты фронтальных зон существенно ослаблены, АЦТ распространяется в виде одного широкого потока без разделения на струи.



Анализ изменчивости расхода и теплопереноса АЦТ в проливе Дрейка показывает, что он не всегда имеет четко выраженный сезонный характер: существенные отклонения имели место в 2007, 2009, 2011 и 2013 гг. В остальные годы максимум расхода наблюдался зимой, а минимум весной-летом южного полушария. В переносах тепла, напротив, хорошо прослеживается сезонный ход с минимальными значениями весной и максимумами летом южного полушария. В весенние сезоны южного полушария 2006 и 2009 гг. наблюдались аномально высокие для этого периода года переносы тепла, а в 2010 г. аномально высокий теплоперенос наблюдался не только в весенний, но и в зимний сезон южного полушария

**Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ 16-17-10149**