



## Исследование изменчивости теплообмена между Северной Атлантикой и Северным Ледовитым океаном по результатам модельных расчетов с использованием данных Арго

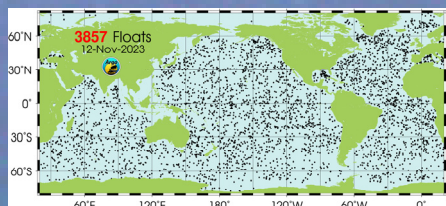
**К.В. Лебедев, Б.Н. Филюшкин**  
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

По данным измерений поплавков Argo за период с 2005 по 2014 гг. с помощью Арго-модели были рассчитаны и исследованы среднегодовые величины полей температуры, солёности, плотности и скорости течений Полярных морей (Норвежского и Гренландского). На этой основе выполнены расчеты обменов массой, теплом и солью для района Полярных морей с окружающими акваториями через замыкающие разрезы со стороны проливов Фрама, Датского, Атлантического океана и Баренцева моря. Были получены и исследованы оценки колебаний величин обменов для климатических, среднегодовых и сезонных масштабов. Выявлен синхронный характер межгодовых и сезонных колебаний расходов воды с изменчивостью индекса Североатлантического колебания.

Положительный среднегодовое тепловое бюджет рассматриваемого района в 2005–2014 гг. составил  $92 \pm 56$  ТВт.

Теплые и соленые воды из Северной Атлантики (СА), поступающие в Арктические районы, вступают в контакт с холодными и менее солеными водами морей Северного Ледовитого океана (СЛО). Эти процессы взаимодействия различных водных масс в основном происходят в пределах Полярных морей (ПМ) – Норвежского и Гренландского. Поступление большого количества тепла и соли с водами СА, с одной стороны, создает уникальную переходную область с особым региональным климатом, когда в арктических широтах в течение всего года моря свободны ото льда. Более того, эта область определяет умеренный климат Западной Европы, а характер и величина затока вод СА тесно связаны с изменчивостью индекса Североатлантического колебания (САК).

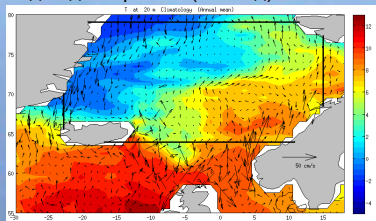
Появление в начале XXI века постоянно действующей глобальной сети дрейфующих измерителей международной программы Argo предоставляет возможности непрерывного мониторинга ПМ, оценок переносов массы, тепла и солей на ключевых разрезах. По состоянию на сегодняшний день около 4000 измерителей Argo (45 из которых работают в районе ПМ) осуществляют автономное зондирование верхней двухкилометровой толщи океана с 10-дневным интервалом, ежемесячно пополняя базу данных по температуре и солёности Мирового океана на 10–12 тыс. полноценных профилей



Для обработки поступающей по программе Argo информации (количество накопленных профилей превысило 2 млн) в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН была разработана оригинальная Арго-модель исследования глобального океана (AMIGO). Арго-модель состоит из блока вариационной интерполяции на регулярную сетку данных профилирования дрейфующих измерителей Argo и блока модельной гидродинамической адаптации вариационно проинтерполированных полей, что позволяет получать по нерегулярно расположенным данным измерений Argo полный набор океанографических характеристик: температуру, солёность, плотность и скорость течений.

На основе наблюдений, полученных дрейфующими измерителями Argo за 10 лет, с помощью Арго-модели были рассчитаны и исследованы поля температуры, солёности, плотности и течений Норвежского и Гренландского морей, а также климатические, межгодовые и сезонные переносы массы, тепла и солей на разрезах, огибающих исследуемую область.

Для расчетов водообмена область ПМ была ограничена от окружающих океанов следующим образом: пролив Фрама по  $79^\circ$  с.ш. (далее Фрам), Баренцево море с запада меридианом по  $15^\circ$  в.д. от Норвегии до Шпицбергена (Баренц), Датский пролив по  $23^\circ$  з.д. от Исландии до Гренландии (Датский) и разрез от Исландии до Норвегии (Исланд) по  $64^\circ$  с.ш.

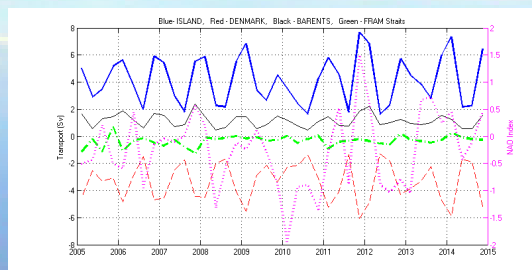


Среднегодовое поле температуры на глубине 20 м по измерениям Арго за период с 2005 по 2014 гг. на фоне поля течений в области Полярных морей. Толстыми черными линиями показано положение разрезов

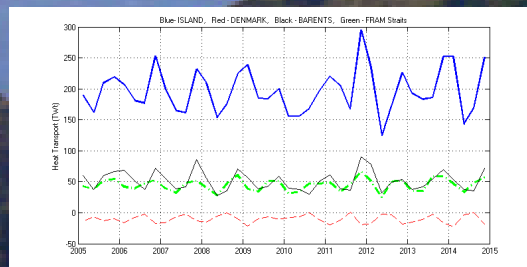
Исследование базируется на результатах модельных расчетов AMIGO, выполненных с использованием данных измерений Argo и полей напряжения трения ветра из реанализа ECMWF ERA-Interim.

Главной особенностью гидрологических полей ПМ является существование двух транзитных течений, пересекающих всю область с севера на юг. С юга входят теплые ( $10-12^\circ\text{C}$ ) и соленые ( $35.2-35.4$  епс) атлантические воды через сложную систему проливов и хребтов от Гренландии до Норвегии. Атлантические воды образуют две ветви транзитного потока – Норвежское Фронтальное и Норвежское Склоновое. Норвежское Склоновое течение движется вдоль континентального склона Норвегии и часть воды поступает в Баренцево море, а основной расход воды в виде Шпицбергенского течения уходит через пролив Фрама на север в СЛО. Норвежское Фронтальное течение огибает Лофотенскую котловину с запада и севера, и далее его воды поступают в пролив Фрама, где обе струи практически сливаются.

На двух рисунках показана изменчивость среднесезонных величин расходов и переносов тепла через огибающие исследуемую область разрезы на фоне изменчивости среднесезонных значений индекса (САК). Как видно из рисунков, поступление вод СА через разрез «Исланд» (толстая синяя линия) очень хорошо коррелирует с их обратным выносом через Датский пролив (тонкая штриховая красная линия), и обе эти кривые неплохо коррелируют с индексом САК (жирный пурпурный пунктир).



Изменчивость (верх) расходов (Св) и (низ) теплопереносов (ТВт) через разрез «Исланд» между Исландией и Норвегией по  $64^\circ$  с.ш. (толстая синяя линия), на разрезе «Баренц» между Норвегией и Шпицбергенем по  $15^\circ$  в.д. (тонкая черная линия), в Датском проливе по  $23^\circ$  з.д. (красная штриховая линия) и в проливе Фрама по  $79^\circ$  с.ш. (зеленый штрих-пунктир). Индекс Североатлантического колебания показан на верхнем рисунке сиреневым пунктиром



Изменчивость теплопереносов носит хорошо выраженный сезонный характер: максимальные значения приходится на осень-зиму, минимальные – на весну-лето северного полушария. Среднеклиматический перенос тепла по данным 2005–2014 гг. оказался равным: «Исланд»  $200 \pm 36$  ТВт, «Баренц»  $52 \pm 14$  ТВт, «Датский»  $-9 \pm 6$  ТВт, «Фрам»  $44 \pm 9$  ТВт. Среднегодовое тепловое перенос, рассчитанный по среднемесячным значениям для периода 2005–2014 гг., получился близким среднеклиматическому: «Исланд»  $200 \pm 48$  ТВт, «Баренц»  $51 \pm 24$  ТВт, «Датский»  $-10 \pm 8$  ТВт, «Фрам»  $47 \pm 15$  ТВт. Таким образом, суммарный тепловой бюджет рассматриваемого района в 2005–2014 гг. оказывается положительным:  $92 \pm 56$  ТВт. Заметный рост теплопереноса в конце 2011 – начале 2012 гг. из СА в рассматриваемый район связан с ростом переноса тепла Норвежским течением.