

УДК 551.465

## ВОДООБМЕН МЕЖДУ АТЛАНТИЧЕСКИМ И СЕВЕРНЫМ ЛЕДОВИТЫМ ОКЕАНАМИ: РОССИЙСКИЕ ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В 2011–2013 гг.

© 2015 г. А. С. Фалина, А. А. Сарафанов, С. В. Гладышев, А. В. Соков,  
В. С. Запотько, В. С. Гладышев

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва*

*email: falina\_a@mail.ru, sarafanov@mail.ru, sgladyshhev@ocean.ru, sokov@ocean.ru,  
oceanolog@oceanolog.ru, sevii@yandex.ru*

Поступила в редакцию 29.04.2014 г.

DOI: 10.7868/S0030157415030053

Один из главных факторов формирования климатических аномалий в умеренных и высоких широтах Северного полушария — меридиональный перенос тепла течениями Северной Атлантики. Распространяясь на север, часть теплых вод Северо-Атлантического течения проникает через проливы между Гренландией, Исландией и Шетландскими островами в Северный Ледовитый океан (СЛО). Там атлантические воды отдают тепло атмосфере, существенно смягчая климат северной Европы и северо-западной части России, охлаждаются и возвращаются в Атлантику через те же проливы в виде холодных арктических вод, которые погружаются на большие глубины и распространяются на юг под Северо-Атлантическим течением. Поток атлантических вод через проливы, расположенные к востоку от Гренландии, составляет около 90% объема всех вод, поступающих в СЛО [5].

Несмотря на климатообразующую роль водообмена между Атлантикой и СЛО, многие фундаментальные аспекты этого водообмена остаются малоизученными. До сих пор нет надежных, основанных на наблюдениях, сведений о суммарной интенсивности и детальной пространственной структуре переноса вод в проливах, о количестве тепла, поступающего из Атлантики в СЛО, и об изменчивости интегральных характеристик переноса вод во времени. Далеко не полно исследована роль формирования холодных плотных арктических вод в крупномасштабной циркуляции вод Мирового океана, в межширотном переносе вод на севере Атлантики и в изменчивости интенсивности этого переноса во времени. Достоверные сведения о ряде ключевых элементов водообмена, таких как перенос вод в Исландско-Фарерском проливе и над шельфом Гренландии в Датском проливе, и вовсе отсутствуют.

Неполнота сведений о водообмене между Атлантикой и СЛО связана, прежде всего, с тем, что мо-

нитинг этого водообмена до недавнего времени ограничивался локализованными наблюдениями над отдельными течениями (см., например, [3–8]). Эти наблюдения имеют различное пространственное и временное разрешение и осуществляются с использованием оборудования разного типа и точности (буйковые станции, судовые наблюдения, дрейфующие буи, подводные планеры).

Для получения достоверных количественных оценок переноса вод всей совокупностью течений, обуславливающих водообмен между Атлантикой и СЛО, необходимы однородные данные, охватывающие всю толщу вод “от берега до берега” в каждом из проливов между Гренландией и Шетландскими островами. На решение этой проблемы направлен судовый мониторинг вод на границе двух океанов, осуществляемый специалистами Института океанологии им. П.П. Ширшова (ИО РАН) с 2011 г. Наблюдения проводятся на океанологических разрезах, пересекающих проливы между Гренландией, Исландией, Фарерскими и Шетландскими островами (разрезы 1–3 на рис. 1). Для обеспечения корректного сравнения новых данных с данными, полученными ранее зарубежными исследователями, разрезы в Датском и Фарерско-Шетландском проливах были проложены в координатах предшествующих съемок [2]. Наблюдения на разрезах проводятся 2–3 раза в течение одного года (см. таблицу, рис. 2), что даст возможность “отфильтровать” большую часть синоптического “шума”, связанного с прохождением вихрей и пульсационной природой водообмена, и получить надежные количественные оценки осредненной по времени картины циркуляции. По географическому охвату и частоте океанографических наблюдений осуществляемый ИО РАН мониторинг водообмена между Атлантикой и СЛО не имеет аналогов.

На протяжении трех лет с 2011 по 2013 гг. было проведено 7 экспедиций, в ходе которых выпол-



**Рис. 1.** Положение океанологических разрезов в Датском (разрез 1), Исландско-Фарерском (разрез 2) и Фарерско-Шетландском (разрез 3) проливах. В 2011–2013 гг. многократные наблюдения на этих разрезах выполнены специалистами ИО РАН на НИС “Академик Сергей Вавилов” и НИС “Академик Иоффе” (см. таблицу). Стрелками показаны направления переноса арктических и атлантических вод (см. легенду); даны приблизительные величины переноса (Св, 1 Св =  $10^6 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$ ) по данным наблюдений и балансовым оценкам. Также показано положение трансатлантического разреза по 59.5° с.ш., наблюдения на котором выполняются сотрудниками ИО РАН с 1997 г.

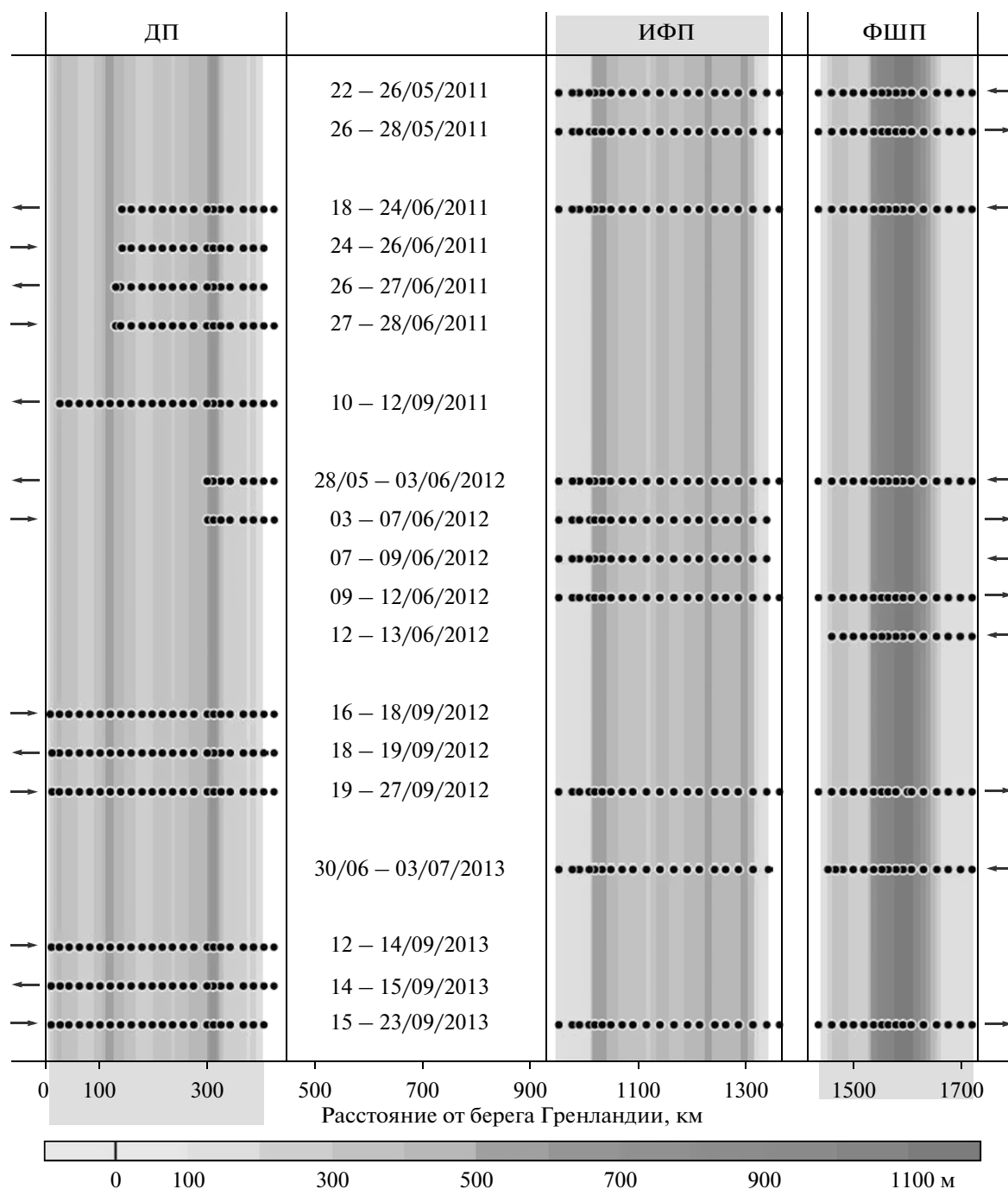
нено 13 съемок в Датском проливе, 10 съемок в проливе между Исландией и Фарерскими островами и 9 съемок в Фарерско-Шетландском проливе (см. рис. 2). Экспедиции проводились на НИС “Академик Сергей Вавилов” (2011 г.) и НИС “Академик Иоффе” (2011–2013 гг.). В общей сложности за три года выполнено 577 океанологических стан-

ций (см. таблицу). В каждой экспедиции проводилось зондирование толщи вод с целью получения данных о температуре, солености и концентрациях растворенного кислорода, а также – измерение скоростей течений: в непрерывном режиме и на станциях с помощью, соответственно, судовых и погружаемых акустических доплеровских профи-

Наблюдения в проливах между Гренландией, Исландией, Фарерскими и Шетландскими островами, выполненные на судах ИО РАН в 2011–2013 гг.

Месяц и год экспедиции	Датский пролив Разрез 1 на рис. 1		Исландско-Фарерский пролив Разрез 2 на рис. 1		Фарерско-Шетландский пролив Разрез 3 на рис. 1	
	количество съемок	количество станций	количество съемок	количество станций	количество съемок	количество станций
Май 2011	0	0	2	39	2	32
Июнь 2011	4	69 (62)*	1	20	1	16
Сентябрь 2011	1	22	0	0	0	0
Май–июнь 2012	2	17 (16)*	4	76	3	46
Сентябрь 2012	3	67	1	20	1	16
Июнь–июль 2013	0	0	1	19	1	16
Сентябрь 2013	3	66	1	20	1	16
<b>Итого</b>	<b>13</b>	<b>241 (233)*</b>	<b>10</b>	<b>194</b>	<b>9</b>	<b>142</b>

\* В скобках указано количество станций в Датском проливе, выполненных строго на линии разреза; только эти станции показаны на рис. 2.



**Рис. 2.** Схема океанологических станций, выполненных специалистами ИО РАН в Датском (ДП), Исландско-Фарерском (ИФП) и Фарерско-Шетландском (ФШП) проливах в период с мая 2011 г. по сентябрь 2013 г. Заливкой показан рельеф дна; вертикальные линии соответствуют изобате 0 м. Приведено время съемок: число / месяц / год. Стрелками показано направление движения судна при каждой съемке.

логграфов. Подробная информация о приборах и точности измерений дана в работах [1, 2].

В 2011 г. было проведено три экспедиции. В мае 2011 г. в 32-м рейсе НИС “Академик Иоффе” было выполнено по 2 съемки в Фарерско-Шетландском проливе и в проливе между Исландией и Фарерскими островами (рис. 2). В июне 2011 г.

в 34-м рейсе НИС “Академик Иоффе” наблюдения проводились во всех трех проливах между Гренландией и Шетландскими островами: было выполнено 4 съемки на разрезе через Датский пролив и по одной съемке в проливах к востоку от Исландии. В сентябре 2011 г. в 33-м рейсе НИС “Академик Сергей Вавилов” была выполнена од-

нократная съемка в Датском проливе. Всего в 2011 г. было выполнено 198 станций (рис. 2, таблица) [2].

В 2012 г. проведено 2 экспедиции, в ходе которых были выполнены съемки в каждом из трех проливов (рис. 2). В мае–июне 2012 г. в 38-м рейсе НИС “Академик Иоффе” выполнены 2 съемки в Датском проливе, 4 съемки в проливе между Исландией и Фарерскими островами и 3 съемки в Фарерско-Шетландском проливе. Ледовая обстановка не позволила выполнить измерения в западной части Датского пролива. Наблюдения в проливах к востоку от Исландии были выполнены в полном объеме – на всем протяжении разрезов. В сентябре 2012 г. в 39-м рейсе НИС “Академик Иоффе” выполнены 3 съемки в Датском проливе и по одной съемке на разрезах к востоку от Исландии. Всего в 2012 г. было выполнено 242 станции [1].

В 2013 г. проведено 2 экспедиции. В июне–июле 2013 г. в 41-м рейсе НИС “Академик Иоффе” выполнены однократные наблюдения на двух разрезах: в Фарерско-Шетландском проливе и проливе между Исландией и Фарерскими островами (рис. 2). В сентябре 2013 г. в 42-м рейсе НИС “Академик Иоффе” выполнены 3 съемки в Датском проливе и по одной съемке в проливах к востоку от Исландии. Всего в 2013 г. было выполнено 137 станций.

В результате собран уникальный массив однородных высокоточных данных о распределении термохалинных характеристик и скоростях океанских течений в толще вод на границе между Атлантикой и СЛО. Некоторые предварительные результаты, полученные на основе данных наблюдений в 2011 и 2012 гг., были представлены нами в работах [1, 2]. По завершении обработки всего массива (2011–2013 гг.) будут количественно оценены следующие характеристики водообмена между двумя океанами: (1) интегральный перенос атлантических и арктических вод в проливах, (2) интенсивность и вертикальная структура меридиональной циркуляции вод, (3) вклад трансформации вод в СЛО в меридиональную циркуляцию вод Атлантики, (4) интегральный перенос тепла океанскими течениями из Атлантики в Арктику и (5) расходы каждого из течений, обеспечивающих меж океанский водообмен. Будут получены пространственные распределения осредненных по времени скоростей течений и термохалинных характеристик во всей толще вод на северной границе Атлантики, необходимые для валидации численных моделей. Новые данные также дают воз-

можность – впервые на основе натуральных наблюдений – детально исследовать циркуляцию вод на шельфе Гренландии в Датском проливе и перенос вод над Исландско-Фарерским порогом. Сравнение синоптических оценок циркуляции, полученных по данным индивидуальных съемок, позволит получить новые сведения об изменчивости интенсивности водообмена между Атлантическим и Северным Ледовитым океанами.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 14-50-00095, А.С. Фалина, А.В. Соков, В.С. Гладышев, расчеты водообмена), а также Министерства образования и науки РФ (субсидионное соглашение 14.607.21.0023).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гладышев С.В., Колоколова А.В.* 38-й и 39-й рейсы научно-исследовательского судна “Академик Иоффе”: мониторинг водообмена между Атлантическим и Северным Ледовитым океанами // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 1. С. 159–161.
2. *Фалина А.С., Гладышев С.В., Колоколова А.В.* Российские экспедиционные исследования водообмена между Атлантическим и Северным Ледовитым океанами в 2011 г. // *Океанология*. 2014. Т. 54. № 2. С. 282–285.
3. *Beaird N.L., Rhines P.B., Eriksen C.C.* Overflow waters at the Iceland-Faroe Ridge observed in multi-year Seaglider surveys // *J. Phys. Oceanogr.* 2013. V. 43. P. 2334–2351.
4. *Berx B., Hansen B., Østerhus S. et al.* Combining in situ measurements and altimetry to estimate volume, heat and salt transport variability through the Faroe-Shetland Channel // *Ocean Sci.* 2013. V. 9. P. 639–654.
5. *Hansen B., Østerhus S., Turrell W.R. et al.* The Inflow of Atlantic Water, Heat, and Salt to the Nordic Seas Across the Greenland-Scotland Ridge // *Arctic-Subarctic Ocean Fluxes*. The Netherlands: Springer, 2008. P. 15–43.
6. *Hughes S.L., Turrell W.R., Hansen B. et al.* Fluxes of Atlantic water (volume, heat and salt) in the Faroe-Shetland Channel calculated from a decade of acoustic doppler current profiler data (1994–2005) // *Fisheries Research Services Collaborative Report No 01/06*, Aberdeen. 2006.
7. *Jochumsen K., Quadfasel D., Valdimarsson H. et al.* Variability of the Denmark Strait overflow: moored time series from 1996–2011 // *J. Geophys. Res.* 2012. V. 117. doi:10.1029/2012JC008244.
8. *Østerhus S., Sherwin T., Quadfasel D. et al.* The overflow transport east of Iceland // *Arctic-Subarctic Ocean Fluxes*. The Netherlands: Springer, 2008. P. 427–441.