

УДК 551.465

## НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА СТРУКТУРУ ВОДООБМЕНА МЕЖДУ АРКТИКОЙ И СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКОЙ В ИСЛАНДСКОМ БАССЕЙНЕ

С. В. Гладышев\*, В. С. Гладышев, А. В. Клювиткин,  
член-корреспондент РАН С. К. Гулев

Поступило 22.06.2018 г.

На основании данных многолетних наблюдений за течениями на 59,5° с.ш. в Субполярном круговороте Северной Атлантики обнаружена многоструйность переноса арктических вод вдоль восточного склона хребта Рейкьянес, формирующего Северо-восточную глубинную воду в Исландском бассейне. Приведены основные характеристики струй и их вклад в общий перенос глубинных вод.

*Ключевые слова:* водообмен, Исландский бассейн, придонные струи, термохалинные свойства, перенос вод.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524854502-506>

Перенос холодной воды из Арктики вдоль восточного склона хребта Рейкьянес в Исландском бассейне Северной Атлантики [1] представляет один из компонентов нижнего звена атлантической ветви глобального конвейера (АВГК) [2]. Интенсивность АВГК в значительной части определяет динамику климата Северного полушария [3, 4], регулирует площадь ледяного покрова Арктики и мощность ледников Гренландии [5, 6], а также способна влиять на карбонатную систему Земли [7]. Поэтому исследование АВГК — задача первостепенной важности.

Общая схема придонной циркуляции Северной Атлантики представлена в многочисленных публикациях, например [8, 9]. Однако оценки межгодовой изменчивости переноса не могут быть выполнены без знания детальной структуры водообмена, поскольку отдельные элементы циркуляции управляются разными механизмами. При этом детальная пространственная структура водообмена, её временная изменчивость и сами механизмы до сих пор остаются практически не изученными.

Основной источник Северо-восточной глубинной воды (СВГВ) в Исландском бассейне (водная масса плотностью  $>27,8\sigma_\theta$ , ассоциирующаяся с водообменом между Арктикой и Северной Атлантикой в её восточной части) — это переток вод с отрицательной температурой через Фареро-Шетлендский канал, равный  $2,1 \pm 0,2$  Св [10]. После прохождения канала Фарерской банки эти воды следуют вдоль южного склона Гренландско-Шотландского хребта,

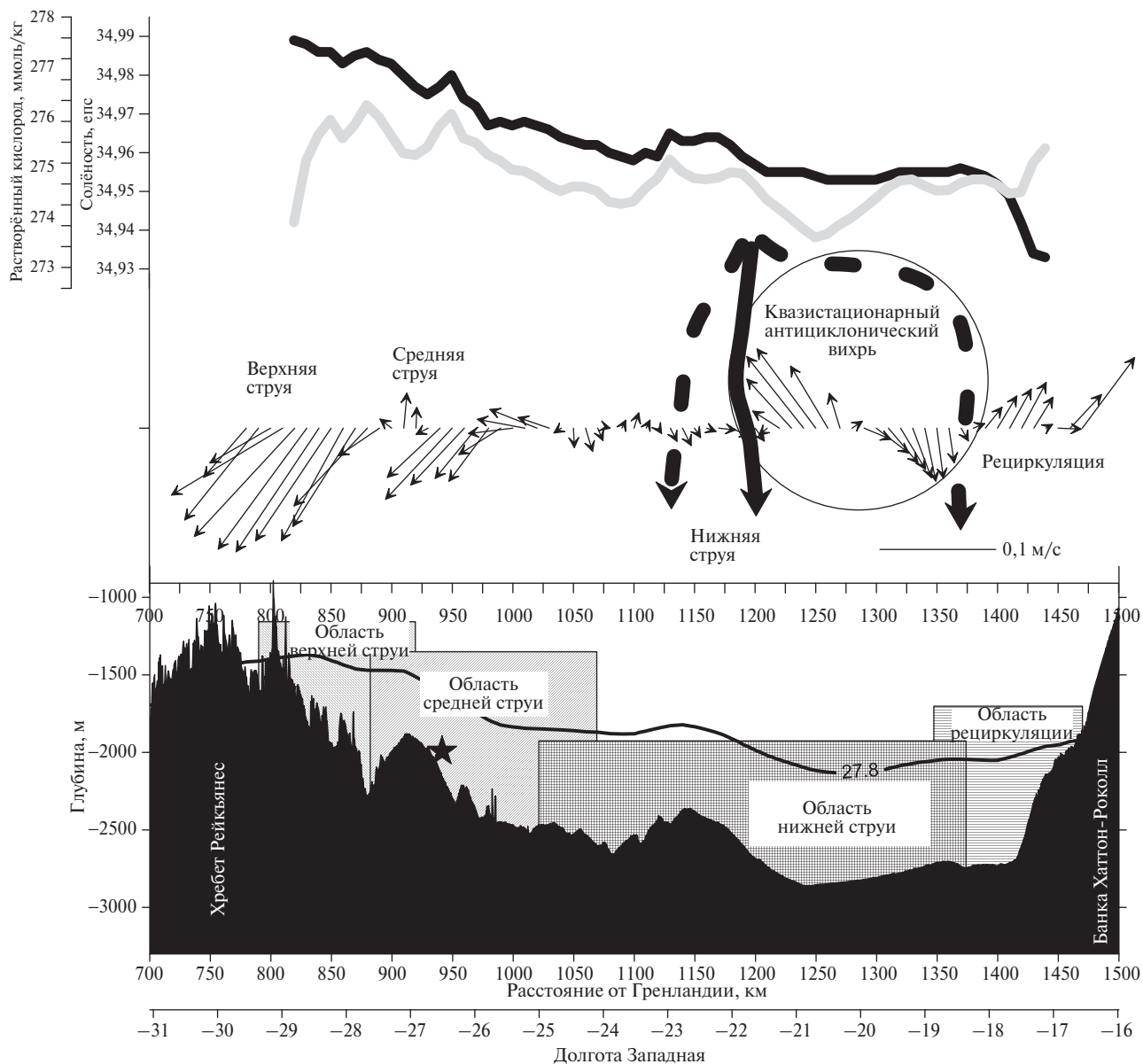
активно перемешиваясь с водами, поступающими через Исландско-Фарерский проход, и вышележащими тёплыми и солёными водами Северо-Атлантического течения [11, 12]. Статистически достоверный объём вод, перетекающих в Исландский бассейн через Исландско-Фарерский проход, до сих пор не установлен. Отмечены лишь его сильная короткопериодная изменчивость (0,05–2,1 Св) и отчётливо идентифицируемый наблюдениями переток относительно тёплых вод (3–5 °С) в западной части прохода к востоку от Исландии через так называемую Западную долину [12]. Далее СВГВ в Исландском бассейне распространяются вдоль восточного склона хребта Рейкьянес. Поток этих вод в юго-западном направлении оценен в 3,2–3,8 Св [1]. В этой работе также приведён довольно большой список оценок переноса СВГВ в Исландском бассейне и методов, с помощью которых он получен.

В нашей работе, используя уникальный массив наблюдений за течениями на трансатлантическом разрезе вдоль 59,5° с.ш., полученный в летний период 2006–2017 гг., анализируется среднемноголетняя структура придонной циркуляции и рассчитан перенос СВГВ в Исландском бассейне.

Осреднённые за весь период наблюдений (12 реализаций) в слое с потенциальной плотностью  $>27,8\sigma_\theta$  векторы измеренных при помощи LADCP WHS 300 кГц течений приведены на рис. 1. На восточном склоне Рейкьянеса обнаружены три устойчивые (каждый год наблюдавшиеся) струи, характеризующиеся также максимумами среднемноголетних солёности и растворённого кислорода. Максимумы указанных характеристик формируются

*Институт океанологии им. П. П. Шишова  
Российской Академии наук, Москва*

\*E-mail: [sgladyshhev@ocean.ru](mailto:sgladyshhev@ocean.ru)

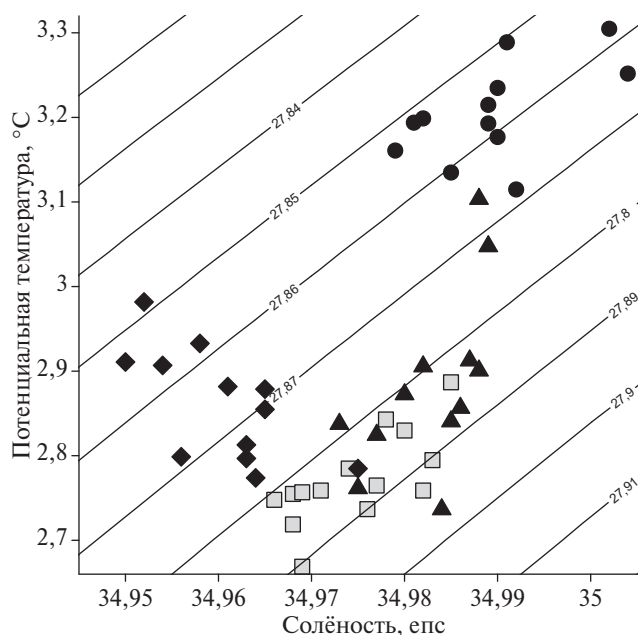


**Рис. 1.** Распределение среднееголетних векторов скорости течений, измеренных LADCP WHS 300 кГц в придонном слое СВГВ ( $\sigma_\theta > 27,8 \text{ кг/м}^3$ ) Исландского бассейна, солёности (сплошная черная линия), концентрации растворённого кислорода (сплошная серая линия) вдоль  $59,5^\circ$  с.ш. в 2006–2017 гг. Утолщённые линии — обнаруженные пути распространения самой глубокой струи (сплошная — наиболее часто повторяющийся, штриховая — в зависимости от положения антициклонического вихря). Нижняя панель: заштрихованы горизонтальные границы распространения струй и глубинной рециркуляции в Исландском бассейне; сплошная линия — положение верхней границы придонного слоя; звёздочка — положение заякоренного измерителя течений Aquadopp в придонном слое в июне 2016 г. — июле 2017 г.

в результате вертикального перемешивания струй СВГВ с вышележащими высокосолёными водами Северо-Атлантического течения, насыщенными растворённым кислородом [11].

Интенсифицирующая ко дну верхняя струя расположена между изобатами 1700–2200 м и, как правило, позиционируется на склонах ложбин рельефа, расположенных на расстоянии 840–870 км от Гренландии, в районе  $27^\circ 40' - 28^\circ 20'$  з.д. (рис. 1).

Её средняя ширина 60 км. Это самый тёплый и солёный поток СВГВ со среднееголетней потенциальной температурой ядра  $3,21 \pm 0,06 \text{ }^\circ\text{C}$  и солёностью  $34,99 \pm 0,01$  епс (рис. 2). Наиболее вероятный источник этой струи — воды, перетекающие через Западную долину восточнее Исландии в районе  $13^\circ$  з.д. через порог глубиной 570 м. Среднееголетний перенос верхней струи  $-2,0 \pm 0,3 \text{ Sv}$  (рис. 3), и именно её воды, с наибольшей вероят-

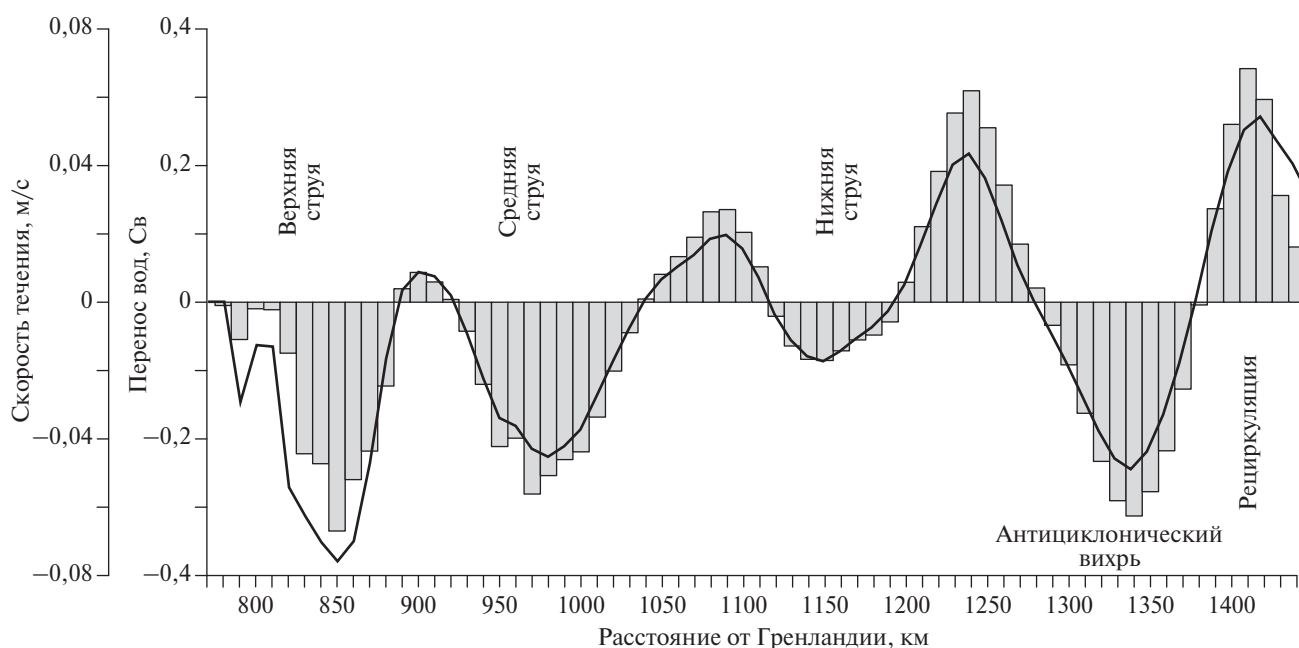


**Рис. 2.** Летние термохалинные индексы ядер верхней (кружки), средней (треугольники), нижней (квадраты) струй и рециркуляции (ромбы) в слое с потенциальной плотностью  $>27,8\sigma_\theta$  в 2006–2017 гг. Сплошные линии — изолинии потенциальной плотности.

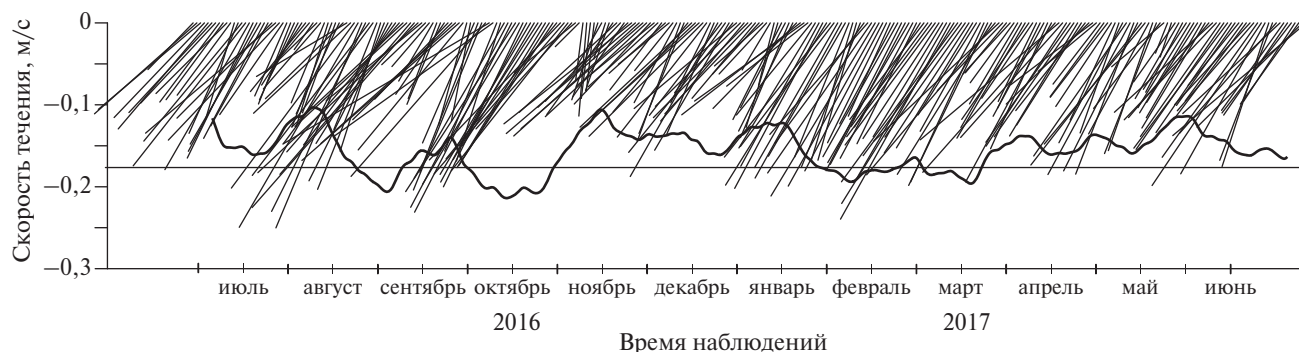
ностью, — источник моделируемого в 1,2 Св переноса СВГВ в море Ирмингера через глубоководные проходы хребта Рейкьянес (например, через разлом Байта), расположенные севернее разлома Чарли-Гиббса [13].

Стрежень центральной струи, как правило, располагается на наиболее крутом участке склона хребта на расстоянии 910–940 км от Гренландии ( $26^\circ 30' - 27^\circ$  з.д.), между изобатами 2000–2400 м. Термохалинные индексы этой струи  $2,89 \pm 0,11$  °C и  $34,98 \pm 0,01$  епс. Её средняя ширина  $\sim 100$  км. Эта струя также переносит на юг —  $2,0 \pm 0,4$  Св и является наиболее вероятным источником СВГВ, перетекающих через разлом Чарльза-Гиббса на  $53^\circ$  с.ш., составляющий согласно долговременным наблюдениям 1,7–2,4 Св [14].

Если позиция верхних струй в значительной степени привязана к рельефу восточного склона Рейкьянеса, то положение нижней струи в большей степени зависит от положения и размеров квазистационарного антициклонического вихря в глубоководной части Исландского бассейна. На рис. 1 показано наблюдавшееся положение струи в различные годы. Это самая холодная и распреснённая струя ( $2,77 \pm 0,06$  °C и 34,97 епс) СВГВ (рис. 2). Среднегодулетний перенос самой глубокой струи составляет  $-1,8$  Св, и практически весь глубоководный поток рециркулирует (2,0 Св) в восточной части Исландского бассейна (рис. 3). Так как глубоководная струя также характеризуется максимумами солёности и растворённого кислорода в придонном слое, её нельзя считать не связанной с СВГВ, как полагается в [14]. Все обсуждаемые струи хорошо воспроизводятся в модели придонной циркуляции Исландского бассейна (см. рис. 11 из работы [15]).



**Рис. 3.** Среднегодулетний перенос вод в придонном слое ( $>27,8\sigma_\theta$ ) Исландского бассейна в 2006–2017 гг. вдоль  $59,5^\circ$  с.ш. Рассчитанная среднегодулетняя скорость абсолютных геострофических течений в слое — сплошная линия.



**Рис. 4.** Двухсуточные векторы течений, измеренные в 50 м от дна на глубине 2183 м в центральной струе СВГВ в координатах 59°29,791 с.ш. 26°39,821 з.д. в июне 2016 г. — июле 2017 г. Сплошная линия — модуль течения, осреднённый скользящим средним с периодом 20 сут.

Общий перенос всех струй в южном направлении за вычетом рециркуляции  $-3,8$  Св и согласуется с результатами других исследователей [1]. Если через глубоководные разломы в море Ирмингера перетекает  $\sim 3$  Св СВГВ [12, 13], то при сохранении баланса переносов и отсутствии вовлечения окружающих вод в Западно-Европейский глубоководный бассейн перетекает только  $\sim 1$  Св СВГВ.

С июня 2016 г. по июль 2017 г. в центральной придонной струе СВГВ (59°29,791 с.ш., 26°39,821 з.д.) в 50 м от дна на глубине 2183 м был установлен измеритель течений Aquadopp. Ежечасные измерения сроком более года продемонстрировали существование очень устойчивого потока со средней скоростью  $0,15 \pm 0,05$  м/с и направлением  $214 \pm 10^\circ$ , совпадающего с направлением изобат восточного склона хребта Рейкьянес (рис. 4), и подтвердили выводы многолетних наблюдений на трансатлантическом разрезе вдоль 59,5° с.ш. об устойчивости придонных струй СВГВ в Исландском бассейне.

Переток арктических вод через хребет Вайвила-Томпсона в проход Роколл [15] по нашим данным происходит крайне редко. С 2006 по 2017 г. мы наблюдали поток СВГВ  $-0,7$  Св в 2012 г. и  $0,3$  Св в 2016 г.

Таким образом, анализ многолетних наблюдений структуры течений в субполярной Атлантике вдоль 59,5° с.ш. впервые продемонстрировал многоструйный характер водообмена между Арктикой и Северной Атлантикой в верхнем и нижнем звеньях АВГК. Обнаруженная многокомпонентность АВГК существенно усложняет его изучение и подтверждает необходимость продолжения долговременного мониторинга переносов в этом районе от поверхности до дна и от “берега до берега”, выполняемого ИО РАН с 1997 г.

**Источники финансирования.** Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант

№ 14–17–00697), анализ придонных струй — при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18–05–00194), исследования динамической структуры — при поддержке соглашения с Минобрнауки России 14.W0331.006.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kanzow T., Zenk W.* Structure and Transport of the Iceland Scotland Overflow Plume Along the Reykjanes Ridge in the Iceland Basin // *Deep-Sea Res.* 2014. V. 86. P. 82–93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr.2013.11.003>
2. *Гладышев С.В., Гладышев В.С., Гулев С.К., Соков А.В.* Структура и изменчивость Субполярного круговорота Северной Атлантики в 2007–2017 // *ДАН.* 2018. Т. 483. № 4. С. 440–443.
3. *Knight J.R., Folland C.K., Scaife A.A.* Climate Impacts of the Atlantic Multidecadal Oscillation // *Geophys. Res. Lett.* 2006. V. 33. L17706. DOI: 10.1029/2006GL026242.
4. *Gulev S.K., Latif M., Keenlyside N., Kolterman K.P.* North Atlantic Ocean Control on Surface Heat Flux on Multidecadal Timescales // *Nature.* 2013. V. 499. P. 464–467. DOI: 10.1038/nature 12268.
5. *Serreze M.C., Holland M.M., Stroeve J.* Perspectives on the Arctic’s Shrinking Sea-Ice Cover // *Science.* 2007. № 315. P. 1533–1536. DOI: 10.1126/science.1139426.
6. *Straneo F., Hamilton G.S., Sutherland D.A., Stearns L.A., Davidson F., Hammill M.O., Stenson G.B., Rosing-Asvid A.* Rapid Circulation of Warm Subtropical Waters in a Major Glacial Fjord in East Greenland // *Nat. Geosci.* 2010. № 3. P. 182–186. DOI: 10.1038/ngeo764.
7. *Khatiwala S., Tanhua I., Mikaloff F.S., Gerber M., Doney S.C., Graven H.D., Gruber N., McKinley G.A., Murata A., R’ios A.F., Sabine C.L.* Global Ocean Storage of Anthropogenic Carbon // *Biogeosciences.* 2013. № 10. P. 2169–2191. DOI: 10.5194/bg-10-2169-2013.
8. *Sarafanov A., Falina A., Mercier H., Sokov A., Lherminier P., Gourcuff C., Gladyshev S., Gaillard F., Dani-*

- aalt N.* Mean Full-Depth Summer Circulation and Transports at the Northern Periphery of the Atlantic Ocean in the 2000s // *J. Geophys. Res.* 2012. V. 117. C01014. DOI: 10.1029/2011JC007572.
9. *Daniault N., Mercier H., Lhemnier P., Sarafanov A., Falina A., Zunino P., Pérez F.F., Rios A.F., Ferron B., Huck T., Thierry V., Gladyshev S.* The Northern North Atlantic Ocean Mean Circulation in the Early 21st Century // *Prog. Oceanogr.* 2016. V. 146. P. 142–158. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pocean.2016.06.007>
  10. *Hansen B., Larsen K.M.H., Hátún H., Østerhus S.* A Stable Faroe Bank Channel Overflow 1995–2015 // *Ocean Sci.* 2016. V. 12. P. 1205–1220. <http://dx.doi.org/10.5194/os-12-1205-2016>
  11. *Fer I., Voet G., Seim K., Rudels B., Latarius K.* Intense Mixing of the Faroe Bank Channel Overflow // *Geophys Res. Lett.* 2010. V. 37. L02604. DOI: 10.1029/2009GL041924.
  12. *Beaird N.L., Rhines P.B., Eriksen C.C.* Overflow Waters at the Iceland–Faroe Ridge Observed in Multiyear Seaglider Surveys // *J. Phys. Oceanogr.* 2013. V. 43. P. 2334–2351. DOI: 10.1175/JPO-D-13-029.1.
  13. *Xu X., Schmitz W.J., Hurlburt H.E., Hogan P.J., Chassignet E.P.* Transport of Nordic Seas Overflow Water Into and Within the Irminger Sea: An Eddy-Resolving Simulation and Observations // *J. Geophys. Res.* 2010. V. 115. C12048. DOI: 10.1029/2010JC006351.
  14. *Bower A.S., Furey H.* Iceland–Scotland Overflow Water Transport Variability Through the Charlie–Gibbs Fracture Zone and the Impact of the North Atlantic Current // *J. Geophys. Res.* 2017. V. 122. P. 6989–7012. DOI: 10.1002/2017JC012698.
  15. *Zou S., Lozier S., Zenk W., Bower A., Johns W.* Observed and Modeled Pathways of the Iceland–Scotland Overflow Water in the Eastern North Atlantic // *Prog. Oceanogr.* 2017. V. 159. P. 211–222. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pocean.2017.10.003>

## NEW LOOK AT THE WATER EXCHANGE BETWEEN THE ARCTIC AND NORTH ATLANTIC IN ICELAND BASIN

**S. V. Gladyshev, V. S. Gladyshev, A. A. Klyuvitkin,**

**Corresponding Member of the RAS S. K. Gulev**

*P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,  
Moscow, Russian Federation*

Received June 22, 2018

Based on the multi-year current observations along 59.5 N in the Subpolar North Atlantic multi-jet transport of arctic water along Reykjanes Ridge eastern slope producing Iceland–Scotland overflow water (ISOW) in Iceland Basin is revealed. Main jet properties as well as their contribution to the deep water transport are discussed.

*Keywords:* water exchange, Iceland basin, bottom jets, thermohaline properties, water transport.