НИЗКОЧАСТОТНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МЕРИДИОНАЛЬНЫХ ПЕРЕНОСОВ МАССЫ И ТЕПЛА В СУБТРОПИЧЕСКОЙ АТЛАНТИКЕ

С.Б. Крашенинникова

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: svetlanabk@mail.ru

На основании обобщенного анализа оценок разных авторов за период 1957 – 2004 гг. выявлено значимое уменьшение/увеличение в северном направлении зонально-интегрированного меридионального переноса массы в Субтропической Атлантике в промежуточном / глубинном слое. Меридиональные переносы массы и тепла в Субтропической Атлантике изменяются с периодом ~ 50 – 70 лет. Эти колебания обусловлены вариациями термохалинных характеристик в источниках формирования водных масс, изменчивостью форм и положений основных круговоротов в Северной Атлантике и изменениями атмосферного воздействия над регионом

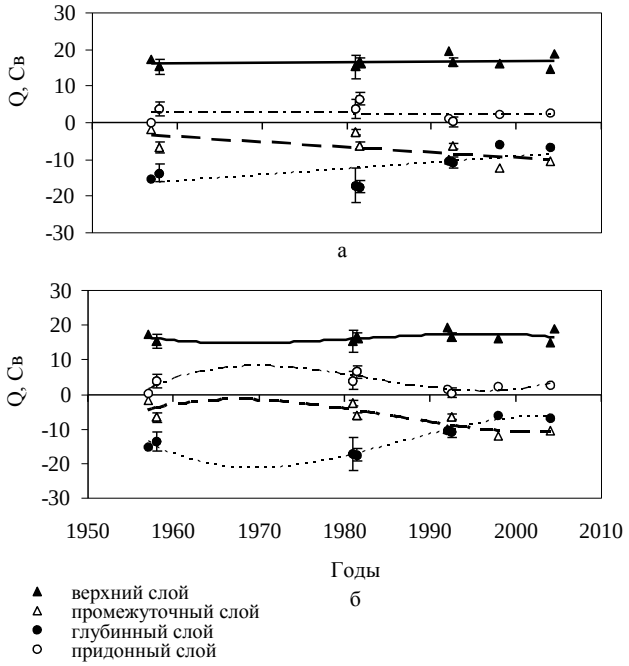
Введение. Известно, что меридиональная циркуляция (МЦ) складывается из крупномасштабной термохалинной циркуляции (системы поверхностных и глубоководных течений) и дрейфового переноса, сосредоточенного в верхнем Экмановском слое [1]. За счет МЦ и связанного с ней меридионального переноса тепла (МПТ) в океане происходит перераспределение массы и тепла, а также сглаживание термических контрастов между высокими и низкими широтами в Северной Атлантике. Ослабление или интенсификация МЦ является ключевым фактором, определяющим вариации в глобальной климатической системе.

Целью настоящей работы является исследование изменчивости МЦ и МПТ на основании обобщенного анализа оценок разных авторов за период 1957 – 2004 гг. в Субтропической Атлантике.

Материалы и методика расчета. Для анализа низкочастотной изменчивости интегральных меридиональных переносов массы в разных слоях использовались оценки разных авторов, рассчитанные по данным гидрологических наблюдений [1, 2 – 6], приведенные в табл. 1. Все они получены по единой методике прямых вычислений, что дает основание формировать из них ряд переносов массы для проведения дальнейшего анализа. Оценки, полученные разными авторами за одинаковые годы, усреднялись. Для анализа низкочастотной изменчивости МПТ оценки, полученные разными авторами по данным гидрологических наблюдений на зональных разрезах, объединялись в полосе широт между 24 – 36° с. ш. в Субтропической Атлантике.

Результаты. На рис. 1 приведены долговременные тенденции изменения интегрального переноса массы в четырех условных слоях, полученные путем осреднения оценок разных авторов за одинаковые годы, представленные в табл. 1. На рис. 1 *а* видно незначительное долговременное увеличение меридионального переноса массы в верхнем (~ 1000 м) слое в 1957 – 2005 гг. Это подтверждают значимые положительные тенденции расхода Гольфстрима за 1950 – 2004 гг. и Флоридского течения за 1982 – 2008 гг, [7]. В работе [1], было получено, что меридиональный перенос массы в северном направлении в ~ 1000-метровом слое наоборот ослабился ~ на 30 % за период 1957 – 2004 гг. Однако в более поздних работах Брайдена, было показано, что это ослабление переноса массы значительно меньше, чем описывалось в [1]. Таким образом, достоверно определить увеличивался или уменьшался перенос массы в верхнем слое на основании имеющихся данных наблюдений невозможно. Аналогичный результат получен для зонально-интегрированных переносов массы в придонном слое. Меридиональный перенос массы в промежуточном слое за 1957 – 2005 гг. уменьшился в северном направлении ~ на 8 Св (рис. 1*а*). На этот тренд приходится ~ 50% суммарной дисперсии исходного ряда. Этот отрицательный тренд может быть обусловлен увеличением притока в южном направлении вод северного происхождения – Лабрадорской водной массы. Другой, причиной, может служить уменьшение притока в северном направлении промежуточных вод южного происхождения, а именно Средиземноморской водной массы и Антарктической

промежуточной водной массы. Долговременное увеличение в южном направлении объема промежуточных вод северного происхождения за 1955 – 1999 гг. сопровождалось уменьшением солености и температуры Лабрадорской водной массы, уменьшение объема промежуточных вод южного происхождения – увеличением их солености и температуры [8]. В глубинном слое была выявлена положительная тенденция, при этом увеличение меридионального переноса в северном направлении составило ~ 8 Св за 1957 – 2004 гг. (рис. 1*а*). На этот тренд приходится ~ 50 % суммарной дисперсии исходного ряда. Это свидетельствует об уменьшении глубинных вод в очагах их формирования в высоких широтах. Оно сопровождалось общим их опреснением и потеплением за счет теплых вод, приходящих из низких широт в верхних слоях [9].



Р и с. 1. Межгодовая изменчивость зонально-интегрированных меридиональных переносов массы в четырех слоях в окрестности 25º с.ш. Субтропической Атлантики, полученных по оценкам разных авторов, представленных в табл. 1. Линейные тренды переносов массы в разных слоях – *а*, полиномиальные тренды 3-го порядка – *б*. Вертикальные тонкие линии – ± *σ*

Т а б л и ц а 1

Зонально-нтегрированные переносы массы в 4-х слоях в Субтропической Атлантике по оценкам разных авторов

Авторы	[3]	[1]	[4]	[5]	[6]	[1]	[4]	[1]	[4]	[1]	[1]	[2]
Годы	1957	1957	1957 –1959	1981	1981	1981	1981–1982	1992	1992–1993	1998	2004	2004–2005
ºс.ш.	25	25	24,5	24,5	24	25	24,5	25	24,5	25	25	26
Ед. изм.	Св	Св	Св	Св	Св	Св	Св	Св	Св	Св	Св	Св
Верхний*	11,4	22,9	15,3 ± 2,1	11,3 ± 3,2	19,0	18,7	16,5 ± 1,2	19,4	16,5 ± 1,2	16,1	14,8	18,7
Промежуточный**	6,6	–10,5	–6,7 ± 1,4	5,8 ± 0,7	–4,6	–9,0	–6,3 ± 0,9	–10,2	–6,5 ± 0,8	–12,2	–10,4	–
Глубинный***	–15,6	–14,8	–13,7 ± 2,6	–19,9 ± 4,7	–19,8	–11,8	–17,5 ± 1,7	–10,4	–11,0 ± 1,5	–6,1	–6,9	–
Придонный****	–2,3	2,4	3,8 ± 2,0	2,9 ± 2,6	6,7	2,1	6,4 ± 1,7	1,2	0,3 ± 1,3	2,2	2,5	–

Примечание: потенциальная плотность каждого из 4-х слоев по оценкам [4]: * – ($\sigma_2 < 36{,}8$), ** – ($36{,}8 < \sigma_2 < 37{,}0$), *** – ($37{,}0 < \sigma_2 < 37{,}105$), **** – ($\sigma_2 > 37{,}105$)

На рис. 1*б* приведены среднегодовые зонально-интегрированные переносы массы, аппроксимированные полиномами 3-го порядка. Если предположить, что этими полиномами описывается полпериода низкочастотной изменчивости переноса массы, то весь период их изменчивости составляет ~ 50 – 70 лет. Этот период соответствует низкочастотному сигналу в системе океан-атмосфера, который называется Атлантической мультидекадной осцилляцией [10]. Увеличение переноса массы в северном направлении, хоть и незначительное, наблюдается в середине 60-х – начале 90-х гг. в верхнем и глубинном слое, и с середины 90-х по настоящее время – наблюдается их ослабление. В указанные периоды переносы массы в промежуточном и придонном слоях вели себя противоположно. Изменчивость меридиональных переносов массы в промежуточном слое сопровождалась увеличением потенциальной температуры и солености на глубине 2000 м (приблизительно совпадающего с ядром классических Лабрадорских вод) в начале 60-х гг., их уменьшением в 60-е – начало 90-х гг., сменившееся их увеличением с середины 90-х гг. [8]. Потепление и осолонение промежуточных вод отмечалось в восточной части субполярного региона (в бассейне Ирмингера и Исландском бассейне) в 1997 – 2006 гг. [12]. Также подобные изменения в указанный период произошли в промежуточных водах южного происхождения. Причиной этого послужило изменение циркуляции в субполярном и субтропическом регионах Атлантического океана, сопровождающееся уменьшением индекса Северо-Атлантического колебания. Интенсивное потепление и осолонение промежуточных вод в восточной части Субполярной Атлантики вызвано не только увеличением температуры и солености в источниках исходных водных масс, но и сжатием Северного субполярного циклонического круговорота, а также связанным с этим процессом смещением Субполярного фронта в северо-западном направлении. Все эти предположения свидетельствует в пользу усиления в северном направлении зонально-интегрированного меридионального переноса массы в промежуточном слое (начиная с конца 90-х гг. XX столетия до настоящего времени). Учитывая это можно сказать, что описанный выше отрицательный линейный тренд меридионального переноса массы в промежуточном слое (рис. 1 *а*), скорей всего обусловлен недостаточной продолжительностью исходного ряда, так как он в большей степени охватывает период (середина 60-х – начало 90-х гг.). При привлечении более длительных наблюдений величина долговременного отрицательного тренда должна уменьшиться.

Усиление меридионального переноса массы в северном направлении в глубинном слое (т. е. уменьшение Северо-Атлантической глубинной воды) в середине 60-х – 90-х гг., и его ослабление, начиная с середины 90-х гг. по настоящее время, сопровождалось повышением температуры и солености на уровне глубинных вод (~ 3500 м) в 60-е – конце 80-х гг., слабыми изменениями температуры и уменьшением солености начиная с 90-х гг. [11].

Аналогичный период изменчивости (~ 50 – 70 лет) был выделен и для интегрального меридионального переноса тепла и его отдельных компонентов в Субтропической Атлантике в раннее опубликованной работе [10]. Согласно [10] с середины 60-х по 90-е гг. XX в. происходила интенсификация суммарных МПТ в субтропических широтах. Это сопровождалось интенсификацией Северного Субтропического антициклонического круговорота (ССАК) в Северной Атлантике и смещением его центра в юго-западном направлении, что подтверждается смещением центра Азорского максимума давления. В конце 90-х гг. происходило уменьшение МПТ и соответственно – ослабление и смещение ССАК в северо-восточном направлении. В указанные периоды происходила также трансформация Северного субполярного циклонического круговорота (ССЦК).

Заключение. На основании обобщенного анализа оценок разных авторов за период 1957 – 2004 гг. выявлены зна-

чимые на 95 % доверительном уровне отрицательная и положительная тенденции интегрального меридионального переноса массы в Субтропической Атлантике в промежуточном и глубинном слоях соответственно. Эти переносы увеличились на ~ 8 Св в южном и северном направлении соответственно. Выявить статистически значимые тенденции меридиональных переносов массы в верхнем и придонном слоях не удалось.

На основании анализа полиномиальных трендов выявлено, что интегральные меридиональные переносы массы и тепла изменяются с периодом ~ 50 – 70 лет. Интенсификация переносов массы в северном направлении в верхнем и глубинном слое наблюдалась в 60-е – начале 90-х гг., ослабление – с середины 90-х гг. по настоящее время. В промежуточном и придонном слое в указанные периоды выявляются противоположные тенденции изменения этих переносов. Это обусловлено вариациями термохалинных характеристик в источниках формирования водных масс, изменчивостью форм и положений основных круговоротов в Северной Атлантике (ССАК и ССЦК), а также изменениями атмосферного воздействия над рассматриваемым регионом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bryden H. L., Longworth H. R., Cunningham S. A.* Slowing of the Atlantic meridional overturning circulation at 25° N // Nature. – 2005. – 438. – P. 655 – 657.
2. *Cunningham S.A., Kanzow T, Rayner D.*, et.al. Temporal Variability of the Atlantic Meridional Overturning Circulation at 26,5ºN // Science – 2007. – 317, № 5840. – P. 935 – 938.
3. *Hall M.M., Bryden H.L.* Direct estimates and mechanisms of ocean heat transport // Deep-Sea Res. – 1982. – 29, – № 3A. – P. 339 – 359.
4. *Koltermann K.P., Sokov A.V., et al,* Decadal changes in the thermohaline circulation of the North Atlantic. // Deep-Sea Res. – 1999. – Part. 2, – 46, – P. 109 – 138.
5. *Roemmich D., Wunsch C.* Two transatlantic sections: meridional circulation and heat flux in the subtropical North Atlantic Ocean // Deep-Sea Res. – 1985. – 32. – №. 6. – P. 619 – 664.
6. *Talley L.D.* Shallow, Intermediate, and Deep Overturning Components of the Global Heat Budget // J. Phys. Oceanogr. – 2003. – 33, № 3. – P. 530 – 560.
7. *Джиганшин Г.Ф., Крашенинникова С.Б., Полонский А.Б.* Низкочастотная изменчивость Флоридского течения // Сб. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2009. – С. 415 – 422.
8. *Curry R., Dickson B., Yashayaev I.* A change in the freshwater balance of the Atlantic Ocean over the past four decades // Nature – 2003. – 426. – P. 826 – 829.
9. *Hansen B., Turrell W. R., Østerhus S.* Decreasing outflow from the Nordic seas into the Atlantic Ocean through the Faroe Bank channel since 1950 // Nature – 2001. – 411. – P. 927 – 930.
10. *Полонский А.Б., Крашенинникова С.Б.* Пространственно-временная изменчивость меридиональных переносов тепла в Северной Атлантике// Морской гидрофизический журнал. – 2010. – № 6. – С. 24 – 42.
11. *Roemmich D., Wunsch C.* Two transatlantic sections: meridional circulation and heat flux in the subtropical North Atlantic Ocean // Deep-Sea Res. – 1985. – 32, № 6. – P. 619 – 664.
12. *Sarafanov A. et. al.* Warming and salinification of intermediate and deep waters in the Irminger Sea and Iceland Basin in 1997 – 2006 // Geophys. Res. Letters. – 2007. – 34. L23609, doi:10.1029/2007GL031074.