

# ОЦЕНКА ДРЕЙФОВЫХ МЕРИДИОНАЛЬНЫХ ПЕРЕНОСОВ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ

А.Б. Полонский, С.Б. Крашенинникова

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

На основании обобщенного анализа оценок дрейфовых меридиональных переносов, полученных разными авторами по данным с 1870 – 2004 гг., уточнены их среднемноголетние величины и сезонная изменчивость в Северной Атлантике.

**Введение.** Оценки меридионального переноса тепла (МПТ), полученные в Северной Атлантике по данным прямых наблюдений, позволяют с погрешностью ~ 30% определять среднемноголетние величины МПТ. Однако, их количества недостаточно для надежной оценки межгодовых и более низкочастотных вариаций МПТ. Оценка сезонной изменчивости МПТ, проводилась лишь в единичных работах и только в районе Субтропической Атлантики [1]. Поэтому исследованию пространственно-временной изменчивости отдельных компонентов МПТ, характеристики которых известны лучше, чем характеристики полных МПТ, уделяется все большее внимание. К их числу относятся дрейфовые меридиональные переносы (ДМП).

Настоящая работа посвящена уточнению среднемноголетних величин ДМП в Северной Атлантике, на основании обобщенного анализа всех оценок ДМП, полученных разными авторами по данным за период 1870–2004 гг., и исследованию сезонной изменчивости ДМП в рассматриваемом регионе.

**Материалы и методика.** Для оценки ДМП сначала рассчитывались касательные напряжения ветра ( $\tau_x$ ) по формуле Акерблома, с использованием среднемесячных данных ре-анализа *NCEP (National Centers for Environmental Prediction)* о давлении в приводном слое в узлах регулярной сетки с шагом  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$  между  $5 - 50^\circ$  с.ш. и  $2,5 - 80^\circ$  з.д. Затем оценивались полные меридиональные дрейфовые потоки ( $S_y^{др}$ ) по

классическому экмановскому соотношению.

Интегральные дрейфовые меридиональные массопереносы  $Q_y^{др}$  вычислялись путем интегрирования  $S_y^{др}$  вдоль круга широты между  $2,5$  и  $80^\circ$  з.д. с учетом конфигурации береговой черты, то есть между Америкой и Африкой (или Европой).

Интегральные ДМП тепла рассчитывались по следующей формуле

$$H_y^{др} = C_p \cdot \rho \cdot Q_y^{др} \cdot (\bar{T}_0 - \bar{T}_H), \quad (1)$$

где  $\bar{T}_0$  – средняя температура верхнего слоя океана;  $\bar{T}_H$  – средняя температура глубинного слоя ( $T_H = 3-4^\circ\text{C}$ );  $C_p$  – удельная теплоемкость морской воды при постоянном давлении;  $\rho$  – плотность морской воды. Для расчета ДМП тепла использовалась среднемесячная температура поверхности океана (ТПО) ре-анализа *NCEP* за 1950 – 2001 гг. Таким образом, определялся максимально возможный перенос тепла, который, как предполагалось, сосредоточен в верхнем квазиоднородном слое.

Среднесезонные и среднегодовые значения ДМП, по данным ре-анализа *NCEP* определялись осреднением среднемесячных значений ДМП за соответствующий период. Среднемноголетние значения дрейфовых переносов вычислялись путем осреднения 52 среднегодовых оценок ДМП на каждой широте в Северной Атлантике с шагом  $2,5^\circ$ . В настоящей работе были оценены среднемноголетние, среднемесячные и среднесезонные ДМП, путем осреднения всех оценок ДМП разных авторов, полученных по данным за период 1870–2004 гг.

**Результаты.** Среднемноголетние дрейфовые меридиональные переносы тепла (массы), полученные по осредненным оценкам разных авторов и по независимому расчету ДМП, выполненному в настоящей работе по данным ре-анализа *NCEP*, достигают максимального значения в окрестности  $12,5^\circ$  с.ш. Тропической Атлантики, где его величина равна  $\sim 1,6 \pm 0,1$  ПВт ( $17,4 \pm 1,5$  Св) (рисунок 1). Далее они уменьшаются в северном направлении вплоть до  $30^\circ$  с.ш., затем меняют знак и монотонно убывают до  $50^\circ$  с.ш. Локальный минимум ДМП тепла (массы) находится в области внутритропической зоны конвергенции между  $7,5 - 10^\circ$  с.ш., где его величина равна  $\sim 1,0 \pm 0,3$  ПВт ( $11,0 \pm 2,0$  Св).

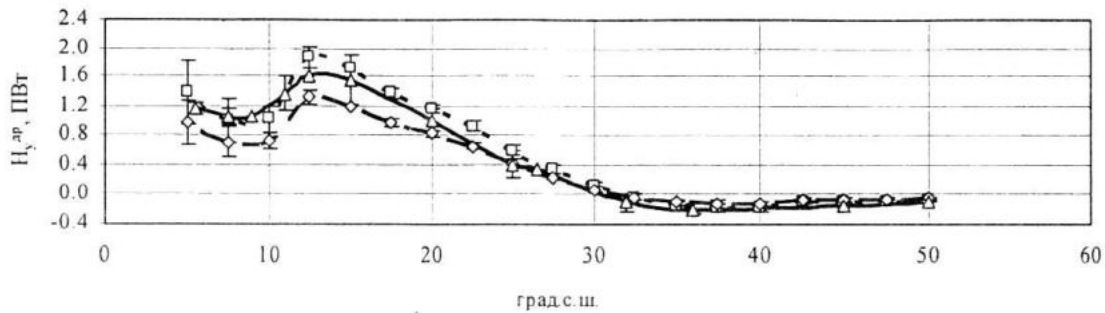


Рисунок 1 – Среднегодовое меридиональное переносы тепла в Северной Атлантике. Пунктирами обозначены меридиональные дрейфовые переносы, полученные: □ и ◇ – по данным ре-анализа *NCEP* при коэффициентах вертикальной турбулентной вязкости равных 5 и 10 м<sup>2</sup>/с, соответственно; Δ – по осредненным оценкам разных авторов

Качественно этот результат хорошо согласуется с ранее опубликованными оценками в работах [2, 4]. Однако из-за использования разных данных при расчете касательных напряжений, количественно эти оценки не совпадают. Отметим, что наиболее сильные различия среднегодовых ДМПТ, наблюдаются в экваториально-тропических широтах, на что указывают результаты работ [2–4]. Сравнение дрейфовых меридиональных переносов тепла (ДМПТ), рассчитанных в настоящей работе по данным ре-анализа *NCEP* с оценками, представленными в работе [2], показало, что в низких широтах первые превышают вторые ~ в 1,5–2 раза, а в высоких и средних широтах они практически совпадают.

Анализируя независимые оценки  $H_y^{sp}$ , полученные в настоящей работе по данным ре-анализа *NCEP* и работах [2, 5] в Тропической Атлантике, удалось выделить некоторые дополнительные особенности их распределения. Авторами работ [2, 5], определен еще один небольшой вторичный максимум ДМПТ на 20° с.ш., который не наблюдается по оценкам ДМПТ, представленным на рисунке 1. Если осреднить среднегодовые ДМПТ на 20° с.ш., полученные по данным ре-анализа *NCEP* за периоды 1950 – 1965 гг., 1966 – 1975 гг., 1976 – 1990 гг., 1991 – 2001 гг., то можно увидеть, что максимальные величины среднегодовых дрейфовых меридиональных переносов тепла отмечаются во втором и четвертом периоде. В первый и третий периоды наблюдаются минимумы ДМПТ. Осредняя среднегодовые ДМПТ за весь период наблюдения с 1950 по 2001 год, в котором присутствуют достаточно интенсивные де-

кадные изменения дрейфовых меридиональных переносов, мы получаем сглаженные особенности ДМПТ на северной границе Тропической Атлантики. Таким образом, в отдельные периоды, ДМПТ могут иметь характерные особенности, не выделяющиеся при рассмотрении дрейфовых меридиональных переносов за весь период наблюдений.

Меридиональные дрейфовые переносы массы и тепла испытывают значительные сезонные изменения в Северной Атлантике (рисунок 2 а, б), что подтверждает результаты ранее выполненных оценок [4, 6, 7]. Причем сезонный ход обуславливает основную долю изменчивости ДМПТ на большей части акватории Северной Атлантики. Из рисунка 2 видно, что годовой ход ДМПТ в Северной Атлантике содержит годовую и полугодовую гармоники, что, как показано в работе [3], связано с пространственно-временной структурой изменчивости поля ветра над океаном. Амплитуда годовой гармоники максимальна между 7,5–10° с.ш. и равна 5 Св (0,5 ПВт). Севернее 15° с.ш. увеличивается роль полугодовой волны в изменчивости дрейфового переноса, что обусловлено сезонными колебаниями северо-восточного пассата.

Рассмотрим, как изменяется дрейфовый меридиональный перенос тепла по сезонам на разных широтах (рисунок 3). В Тропической Атлантике в течение всего года ДМПТ направлен на север. Наибольшего значения дрейфовые меридиональные переносы тепла достигают в зимне-весенний период на 12,5° с.ш. Северной Атлантики. Это связано, с интенсификацией северо-восточного пассата в это время года. В летне-осенний

период, вследствие ослабления северо-восточного пассата, величина ДМПТ в тропических широтах сильно уменьшается. Минимальные значения ДМПТ ( $\sim 0,3$  ПВт) наблюдаются в июле-августе в Экваториальной Атлантике на  $5^\circ$  с.ш. В Субтропической Атлантике дрейфовый меридиональный перенос тепла также направлен на север вплоть до  $27,5^\circ$  с.ш. и достигает максимальных значений в летне-осенний период. Его величина на  $22,5^\circ$  с.ш. равна  $0,8$  ПВт, на  $27,5^\circ$  с.ш. –  $0,4$  ПВт. В то же время между  $30$  и  $32,5^\circ$  с.ш. ДМПТ изменяется не только

по величине, но и характеризуется сменой знака. В зимне-весенний период дрейфовый меридиональный перенос тепла направлен на юг и равен  $\sim -0,1$  ПВт. В летне-осенний период пассатная зона смещается к северу – поэтому ДМПТ направлен на север и равен  $\sim 0,2$  ПВт.

Из рисунка 3 видно, что между  $40$  и  $50^\circ$  с.ш. дрейфовые меридиональные переносы тепла во все сезоны направлены на юг и характеризуются величинами  $\sim -0,1$  ПВт зимой-весной и  $\sim -0,2$  ПВт летом-осенью.

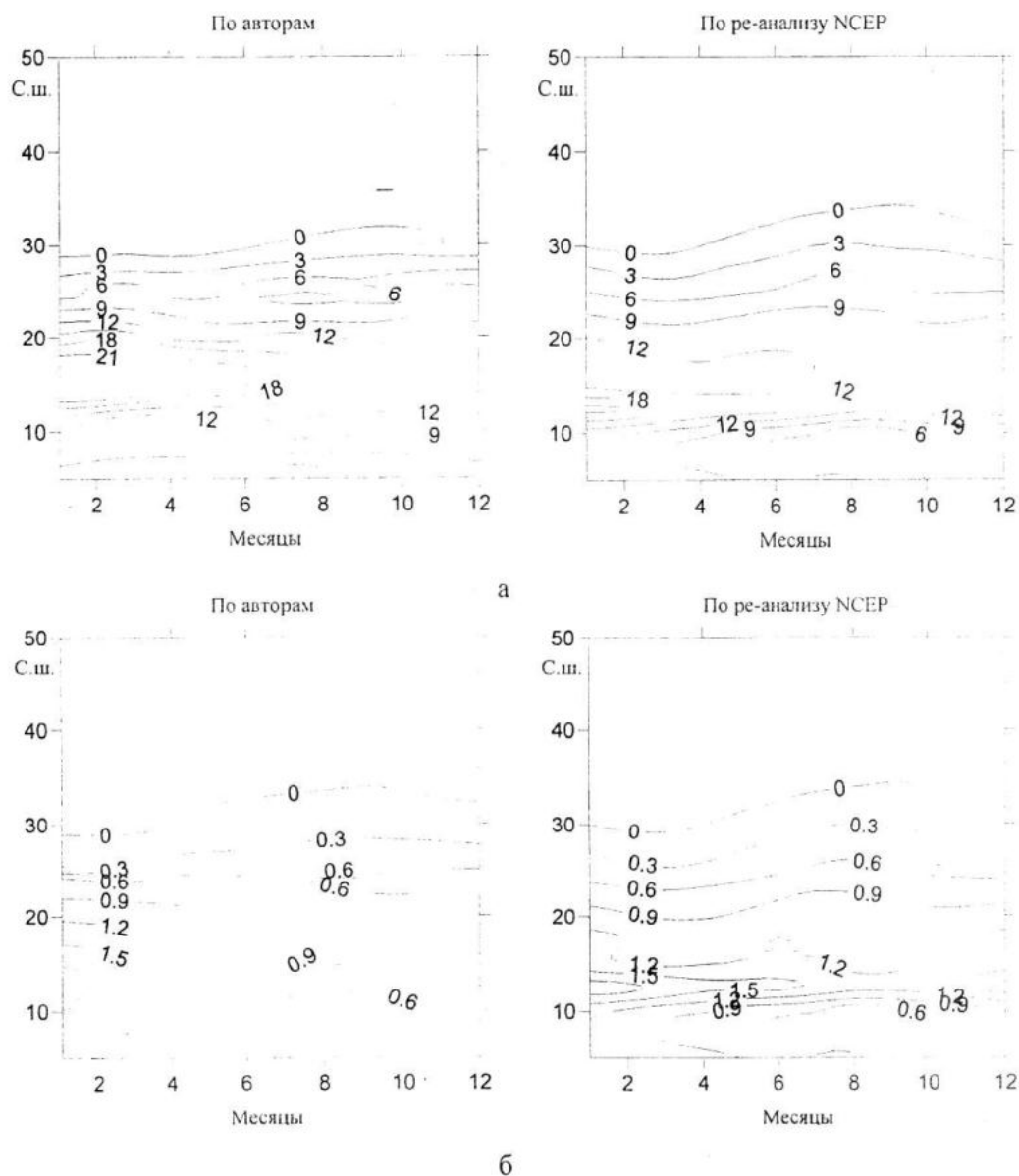


Рисунок 2 – Среднемесячные дрейфовые переносы массы (а) и тепла (б) (слева – осредненные по оценкам разных авторов; справа – по ре-анализу NCEP)

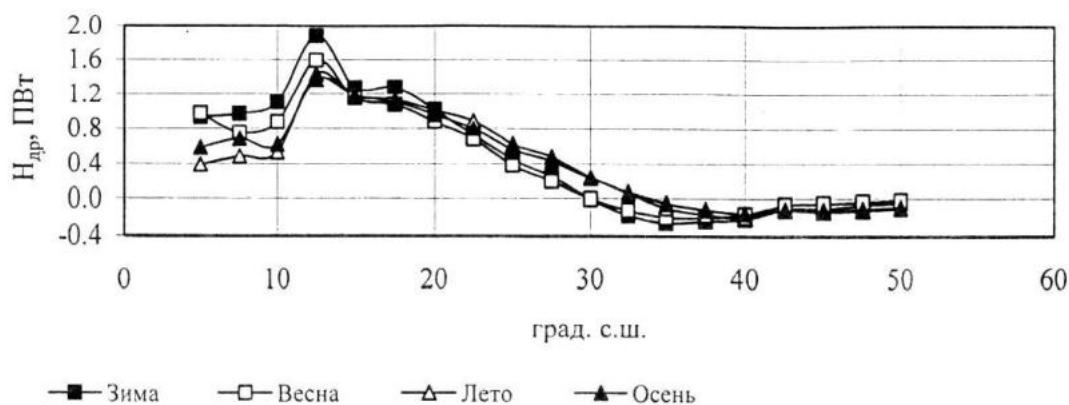


Рисунок 3 – Интегральный меридиональный дрейфовый перенос тепла для разных сезонов (с учетом сезонной изменчивости коэффициента вертикальной турбулентной вязкости воздуха в приводном слое)

**Выводы.** На основании обобщенного анализа всех оценок дрейфовых меридиональных переносов массы и тепла, полученных разными авторами по данным с 1870 по 2004 гг. уточнены их среднееголетние величины между  $5^\circ$  и  $50^\circ$  с.ш. Северной Атлантики. Максимальных значений ДМП достигают на  $12,5^\circ$  с.ш. Тропической Атлантики и равны  $\sim 17,4 \pm 1$  Св и  $1,6 \pm 0,1$  ПВт, соответственно. Между  $7,5$ – $10^\circ$  с.ш. в области ВЗК находится локальный минимум ДМП, который равен  $\sim 11 \pm 2$  Св и  $1,0 \pm 0,3$  ПВт.

Годовой цикл ДМП в этой области Северной Атлантики характеризуется наибольшими значениями зимой-весной и наименьшими – летом-осенью. Амплитуда годовой гармоника максимальна на  $10^\circ$  с.ш. и равна 5 Св ( $0,5$  ПВт). Севернее  $15^\circ$  с.ш. увеличивается роль полугодовой волны в изменчивости дрейфовых переносов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А.Б. Полонский, С.Б. Крашенинникова Меридиональный перенос тепла в Северной Атлантике и тенденции его изменений // МГЖ. – №1. – 2007. – С. 46–52.

2. O.T. Sato, P.S. Polito Comparison of the Global Meridional Ekman Heat Flux Estimated from Four Wind Sources // J. of Phys. Oceanogr. – 35, – 2005. – P. 94–108.

3. С.А. Баев, Н.П. Булгаков, А.Б. Полонский Сезонная и межгодовая изменчивость дрейфового переноса массы и тепла в Северной Атлантике (низкие широты) // МГЖ. – №6. – 1988. – С. 29–35.

4. А.Б. Полонский, Е.Н. Воскресенская Низкочастотная изменчивость меридиональных дрейфовых переносов в Северной Атлантике // Метеорология и гидрология. – №7. – 1996. – С.89–100.

5. S. Levitus Meridional Ekman Heat Fluxes for the World Ocean and Individual Ocean Basins // J. of Phys. Oceanogr. – 17, – №9. – 1987. – P. 1484–1492.

6. E.B. Kraus, S. Levitus Annual heat flux across the Tropic Circles // J. of Phys. Oceanogr. – 16, – №8. – 1986. – P. 1479–1486.

7. A. Leetmaa, A. Banker Updates charts of the mean annual wind stress convergences in the Ekman layers, and Sverdrup transports in the North Atlantic // J. of Marine Res. – 36, – 1978. – P. 311–322.