

ВЛИЯНИЕ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОЛЯ ВЕТРА В СУБТРОПИЧЕСКОМ КРУГОВОРОТЕ НА РАСХОДЫ ГОЛЬФСТРИМА

Г.Ф. Джиганшин, А.Б. Полонский,
С.Б. Крашенинникова

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: gafur@sv3.net.ua,
svetlanabk@mail.ru,

По данным ре-анализа NCEP о давлении в приводном слое океана, а также по данным электронного банка океанографических данных, выявлена связь межгодовых флуктуаций Гольфстрима с колебаниями свердруповского переноса в Северном субтропическом антициклоническом круговороте (ССАК).

Введение. Вариации различных характеристик в системе океан-атмосфера с типичными периодами от двух до восьми и от десяти до тридцати лет надежно выделяются в различных регионах Мирового океана. Установлено, что на межгодовом масштабе значимый глобальный сигнал в системе океан-атмосфера связан с Эль-Ниньо-Южным колебанием, индоокеанским диполем и Североатлантическим колебанием (САК) [1-3]. В Северной Атлантике эта связь проявляется в аномалиях температуры поверхности океана и характеристиках приводного поля ветра. Вероятно, основным механизмом, поддерживающим САК на межгодовом масштабе, является бароклинное приспособление субтропического круговорота к возмущениям граничных условий на поверхности океана. В Тихом океане имеет место более медленное динамическое приспособление субтропического круговорота к вариациям завихренности ветра [4-6]. Причем, декадные изменения геострофического переноса в верхнем километровом слое Тихого океана между 32° и 37° с.ш. согласуются с декадными изменениями свердруповского переноса, вычисленными для этой же широтной зоны [7]. Возникает вопрос: генерируют ли подобные изменения декадного масштаба соответствующую изменчивость в субтропической зоне Атлантического океана и, если да, то, как это проявляется в изменчивости расхода

Гольфстрима? Настоящая работа посвящена ответу на поставленный вопрос.

Материалы и методика. Расчетная часть работы состоит из двух блоков, а именно: из вычислений интегрального меридионального переноса, обусловленного действием ветра в центральной части ССАК, и расчетов геострофического переноса, осуществляемого Гольфстримом.

Для расчета меридионального крупномасштабного переноса использовалось известное соотношение Свердрупа, имеющее в правой системе координат на β -плоскости следующий вид:

$$S_y^{Sv} = -\frac{rot_z \tau}{\beta} = \frac{1}{\beta} \left(-\frac{\partial \tau_x}{\partial y} - \frac{\partial \tau_y}{\partial x} \right), \quad (1)$$

где τ_x и τ_y – составляющие касательных напряжений ветра. По формуле (1) вычислялись текущие среднемесячные значения меридионального переноса вдоль 35° с.ш. Северной Атлантики. Расчет выполнялся с шагом 2,5° по долготе. Затем путем интегрирования полученных значений S_y^{Sv} вдоль указанной широты рассчитывались значения текущих среднемесячных свердруповских расходов Q_y^{Sv} . Оценка интегрального свердруповского переноса в ССАК проводилась без учета западного погранслоя, в предположении, что течения в погранслое носят компенсационный характер (т.е. расход в западном погранслое направлен в противоположную сторону по сравнению с расходом во внутренней части круговорота и он компенсирует свердруповский перенос). Поэтому интегрирование производилось от 5° з.д. до 77,5° з.д. Среднемесячные значения касательных напряжений ветра вычислялись по данным о приводном давлении с использованием формул Аккерблома:

$$\begin{aligned} \tau_x &= -\frac{1}{2} \cdot \sqrt{2\nu} \left(\frac{\partial P_a}{\partial x} + \frac{\partial P_a}{\partial y} \right), \\ \tau_y &= \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2\nu} \cdot \left(\frac{\partial P_a}{\partial x} - \frac{\partial P_a}{\partial y} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

где ν – коэффициент вертикальной турбулентной вязкости воздуха в приводном слое, P_a – среднемесячное значение атмосферного давления у поверхности океана.

Вычисления производились для различных значений V в диапазоне от 5 до $10 \text{ м}^2/\text{с}$. После сопоставления результатов расчетов с оценками других авторов окончательно было выбрано $V=10 \text{ м}^2/\text{с}$.

Во втором блоке на основе геострофических соотношений вычислялись текущие среднегодовые значения расходов Гольфстрима за период с 1950 по 2000 гг. Расчеты проводились для океанографических разрезов, ориентация которых была близка к нормали по отношению к среднеголетнему генеральному направлению потока. Для вычисления геострофического переноса, использовался массив архивных данных [8], причем лишь данные двух десятиградусных квадратов Марседена (квадраты 7306 и 7307), охватывающих северо-западную часть ССАК. Несмотря на то, что общее количество океанографических и STD станций, выполненных в пределах этих квадратов, достаточно велико и составляет 14415 и 40679 станций соответственно, их пространственно-временное распределение не позволило подобрать какой-либо единый океанографический разрез, для которого можно было бы получить обеспеченный ряд текущих среднегодовых значений расходов Гольфстрима. Поэтому для каждого года за указанный период строилась совместная карта пространственного распределения океанографических и STD станций и среднеголетней топографии поверхности океана. Затем, на основании анализа этой карты, подбирался океанографический раз-

рез, ориентация которого была максимально приближена к нормали по отношению к направлению генерального переноса. Пример такого выбора приведен на рисунке 1.

Текущие среднегодовые вертикальные профили температуры, солености и плотности интерполировались в узлы регулярной сетки, расположенные на выбранных разрезах и представляющие собой центры сферических прямоугольников со сторонами 1° широты и $1,5^\circ$ долготы. Для расчета плотности использовалась формула ЮНЕСКО. Расчет скоростей геострофического течения выполнялся от отсчетной поверхности 2000 м. Текущие среднегодовые величины расходов Гольфстрима ($S_{G,TS}$), вычислялись путем интегрирования скоростей течения, заключенных между нулевыми изотакнами. Для отдельных лет удалось провести вычисления по двум (в 1960 г.) и трем (в 1974 г.) разрезам, пересекающим Гольфстрим. В этом случае расходы для соответствующих лет усреднялись.

Для рассматриваемого 50-летнего периода удалось получить 33 текущих среднегодовых значений $S_{G,TS}$, которые представлены на рисунке 2а.

Результаты. Средний за период 1950-2001 гг. свердруповский перенос на 35° с.ш. (при $V=10 \text{ м}^2/\text{с}$) оказался равным $-24,4 \text{ Св}$. Среднеголетний расход Гольфстрима, вычисленный от 2000 м составляет 66 Св .

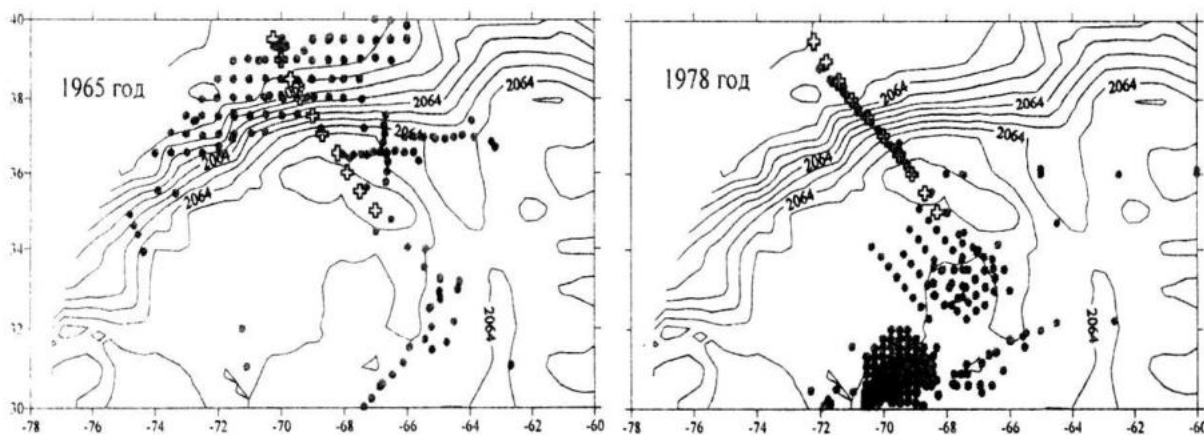


Рисунок 1 – Среднеголетняя топография поверхности океана, положение океанографических и STD станций, выполненных в соответствующие годы, и океанографические разрезы, для которых осуществлялись геострофические расчеты

Таким образом, в среднем расход Гольфстрима, обусловленный компенсацией свердруповского переноса, составляет ~40% общего расхода Гольфстрима. Однако его десятилетние изменения не менее чем на 50% обусловлены изменчивостью поля ветра. На это указывает визуальный анализ межгодовых колебаний величин Q_y^{sv} и $S_{G,TS}$. Видно, что последние представляют собой суперпозицию флуктуаций с доминирующими периодичностями, составляющими 5–6 и ~20 лет (рисунки 2 а, б), а их амплитуды составляют приблизительно 10 и 20 Св, соответственно.

Вид аппроксимирующих полиномов указывает на наличие прямой связи между колебаниями Q_y^{sv} и $S_{G,TS}$. С целью подтверждения существования такой связи была вычислена взаимная корреляционная функция между межгодовыми колебаниями

интегрального меридионального переноса Q_y^{sv} (взятыми с противоположным знаком) и межгодовыми колебаниями расходов Гольфстрима $S_{G,TS}$ (рисунок 2 с). На приведенном графике при двухлетнем лидировании Q_y^{sv} выделяется положительный экстремум, значимый на 95% доверительном уровне. Коэффициент корреляций при указанном сдвиге составляет 0.5. Наличие этого экстремума свидетельствует о том, что реакция Гольфстрима на колебания свердруповского переноса в ССАК происходит приблизительно с двухлетним запаздыванием. Вместе с тем, несовпадение амплитуд Q_y^{sv} и $S_{G,TS}$ говорит о том, что межгодовые колебания меридионального свердруповского переноса в ССАК не являются единственным механизмом, ответственным за

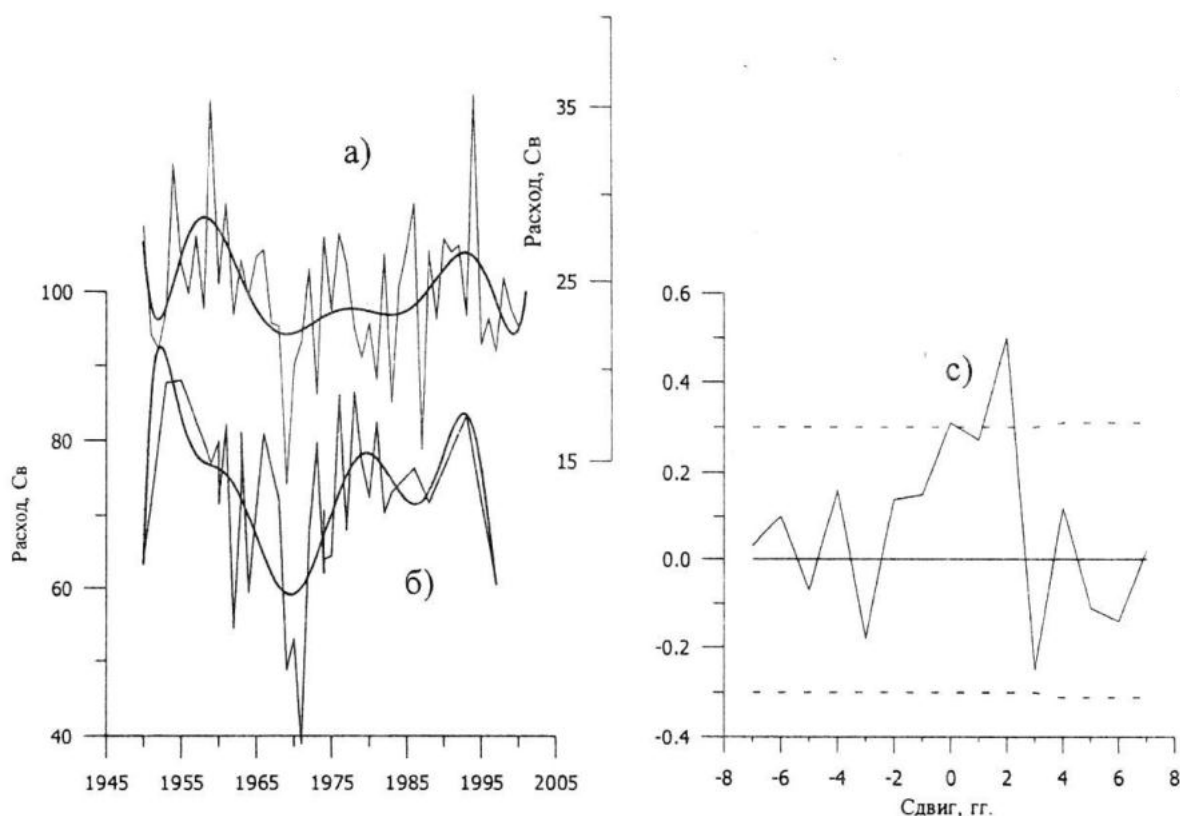


Рисунок 2 – Межгодовые колебания интегрального свердруповского переноса Q_y^{sv} (а), расходов Гольфстрима $S_{G,TS}$ (б) и их взаимная корреляционная функция (с). Сглаженные кривые на (а), (б) – аппроксимационные полиномы 8-й степени. Пунктирными линиями на (с) показаны 95% доверительные интервалы. Знак плюс указывает на лидирование Q_y^{sv} относительно $S_{G,TS}$

изменения расходов Гольфстрима соответствующего периода. Изменяющиеся потоки тепла на границе раздела океан-атмосфера, по-видимому, не менее важны. На декадном масштабе одним из вероятных источников изменчивости ССАК является Тихий океан, генерирующий изменчивость поля ветра и потоков тепла над Атлантическим океаном соответствующего масштаба. Это следует, в частности, из сопоставления сглаженных кривых временного хода Q_y^{Nv} и $S_{\sigma, \tau}$ (см. рисунок 2 а,б) и индекса тихоокеанского декадного колебания (который в настоящей работе не представлен, см. [4,5]).

Выводы. Расход Гольфстрима, обусловленный завихренностью крупномасштабного поля ветра (компенсирующей свердруповский перенос, формирующийся во внутренней части ССАК), в среднем не превышает 40% общего расхода Гольфстрима. Его декадные изменения приблизительно на 50% обусловлены изменчивостью поля ветра соответствующего масштаба.

Реакция Гольфстрима на межгодовые колебания завихренности крупномасштабного поля ветра над ССАК происходит приблизительно с двухлетним запаздыванием.

Межгодовая изменчивость меридионального свердруповского переноса в ССАК не является единственным механизмом, генерирующим межгодовые колебания расходов Гольфстрима. Изменчивость потоков тепла на границе раздела океан-атмосфера, по-видимому, не менее важна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джиганшин Г.Ф., Полонский А.Б. Межгодовая и десятилетняя изменчивость теплозапаса верхнего 200-метрового слоя в Тропической Атлантике в 1950-1992гг // Изв. РАН, ФАО, 2001. – Т.37, № 2. – С. 97–505.
2. Полонский А.Б., Семилетова Е.П. Джиганшин Г.Ф. Роль океана в поддержании Североатлантического колебания // Морской гидрофизический журнал, 2002. – № 5. – С. 47–55.
3. Джиганшин Г.Ф., Полонский А.Б. Североатлантическое колебание и изменчивость характеристик деятельного слоя океана. Изв. РАН, ФАО, 2003. – Т. 39, № 4, – С. 354–364.
4. Trenberth K. E., Hurrell J. W. Decadal atmosphere–ocean variations in the Pacific // *Climate Dyn.*, – 1994. – V. 9. – P. 303–319.
5. Nakamura H., Lin G., Yamagata T. Decadal climate variability in the North Pacific during recent decades // *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1997. – V. 78. – P. 2215–2225.
6. Yukimoto, S., Endoh M., et al. Interannual and interdecadal variabilities in the Pacific in an MRI coupled GCM // *Climate Dyn.*, 1996. – V.12. – P. 667–683.
7. Deser C. Evidence for a wind-driven intensification of the Kuroshio Current Extension from the 1970s to the 1980s. The ROSSBY-100 Symposium 8-12 June, Stockholm, Sweden, 1998. – V. 1. – P. 87–89.
8. Schlitzer R. Ocean Data View, <http://www.awi-bremerhaven.de /GEO/ ODV>, 2001.