

НИЗКОЧАСТОТНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАСХОДОВ ГОЛЬФСТРИМА: ДИАГНОЗ И ПРОГНОЗ

Г.Ф. Джиганшин, А.Б. Полонский

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
99011, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: djiganshin@mail.ru

Исследованы характеристики низкочастотной изменчивости геострофических расходов Гольфстрима в 1950 – 2004 гг. в окрестности 70°з.д. В колебаниях расхода Гольфстрима получен значимый положительный линейный тренд, проявляющийся в увеличении его среднегодовых расходов. Дан статистический прогноз изменения расхода Гольфстрима, согласно которому к 2015 г он уменьшится приблизительно на 7 Св по сравнению с величиной его расхода в 2004 г.

Введение. Проблема изменения климата на планете относится к числу важнейших проблем современности. Одним из элементов, регулирующих климатическую изменчивость, является крупномасштабное взаимодействие океана и атмосферы. Имеются, в частности, многочисленные доказательства того факта, что флуктуации атмосферных полей над Северной Атлантикой, зависящие от термических аномалий в океане, отражаются, в свою очередь, на колебаниях климата в Европейском регионе (см., например, работу [1] и библиографию в ней). В межширотном перераспределении тепла важнейшую роль играет система планетарных круговоротов с циклоническим и антициклоническим обращением вод. В Атлантическом океане в ряду таких круговоротов выделяется, так называемый Северный Субтропический антициклонический круговорот (ССАК), западное и северо-западное звенья которого представлены известной системой течений, именуемой системой Гольфстрим. Система Гольфстрим, довольно хорошо изучена и освещена в современной литературе. Тем не менее, она продолжает оставаться одной из интенсивно изучающихся планетарных систем течений. Это обусловлено тем, что основной вынос тепла из тропических в высокие широты Северного полушария осуществляется вдоль западных границ ССАК именно системой Гольфстрим. По оценкам, приведен-

ным в работе [2] именно с системой течений Гольфстрим связано существенное (около 5°C) потепление приземной атмосферы у восточного побережья США и в Западной Европе по сравнению с внутренними регионами США.

Известно, что характерной особенностью Гольфстрима является высокая степень мезомасштабной изменчивости, проявляющаяся в возникновении меандров, которые, в свою очередь, приводят к зарождению крупномасштабных циклонических вихрей, наблюдаемых в пределах Саргассова моря (см., например, [3]). Вместе с тем, информация о межгодовой изменчивости кинематических характеристик Гольфстрима все еще крайне противоречива. В последние годы появились публикации (в основном научно-популярного характера - см., например, [4-5]), в которых высказывается тревога по поводу ослабления Гольфстрима. Заголовками об ослаблении глобальной системы течений, именуемой Conveyor Belt, а также о неизбежном изменении траектории Гольфстрима изобилует Интернет. Так, в [5] утверждается, что в ледниковый период течения системы Гольфстрим не доходили до Гренландского и Норвежского морей и что сейчас циркуляция в Северной Атлантике приближается именно к такому состоянию. Группа исследователей из британского Национального океанографического центра в Саутгемптоне (National Oceanography Centre, Southampton) под руководством Гарри Брайдена пришла к заключению, что интенсивность Гольфстрима, в последнее время ослабла на 30% [6]. Аналогичный результат был получен и на основе данных, собранных ранее американским Национальным управлением по океанам и атмосфере (NOAA) [7]. По мнению авторов работы [8], это связано с тем, что глобальное потепление сопровождается интенсивным таянием льда в области Северного субполярного циклонического круговорота – району образования глубинных вод. Это приводит к тому, что замедляются (или даже прекращаются) процессы глубокой конвекции, необходимые для погружения поверхностных вод вглубь океана. В свою очередь, это ведет к перестройке всей термохалинной циркуляции Мирового океана. Между тем, наряду с утверждениями об ослаблении Гольфстрима, появляются и данные, говорящие об обратном. Так в ра-

боте [9] приводятся убедительные доказательства того, что индекс переноса вод, осуществляемых системой Гольфстрим – Северо-Атлантическое течение, по крайней мере, со второй половины 60-х годов до конца XX столетия имеет четко выраженный положительный тренд. По данным цитируемой работы, разница между минимальными и максимальными значениями расходов в системе Гольфстрим, которые имели место соответственно в начале 70-х годов и середине 90-х, составляла 20 Св.

Из сказанного следует, что на сегодняшний день чрезвычайно актуальной является задача уточнения характеристик структуры Гольфстрима и выявления особенностей ее низкочастотной (межгодовой и декадной) изменчивости. Понятно, что судить о межгодовых, а тем более о декадных вариациях интенсивности любого звена циркуляции (в том числе и Гольфстрима) можно лишь имея статистически обеспеченный ряд характеристик этого звена циркуляции. Причем, такой ряд должен отражать флуктуации Гольфстрима за относительно длительный (в климатическом смысле) промежуток времени, поскольку лишь длительные ряды позволяют отфильтровывать шумы разного типа (включая методические погрешности измерений) и более или менее надежно выделять низкочастотный сигнал. Объем накопленного к настоящему времени архивного материала, который содержится в современных электронных банках данных, дает возможность получить такой статистически обеспеченный ряд характеристик Гольфстрима.

Цель настоящей работы заключалась в вычислении рядов текущих среднегодовых и среднемесячных расходов Гольфстрима за период с 1950 по 2004 гг. по наиболее обеспеченному наблюдениями историческому массиву данных, выявлению характера изменчивости его расходов на сезонном и межгодовом масштабе, а также прогнозе изменения расходов на последующее после 2004 г. десятилетие.

Исходные данные и методика вычислений. В работе использовалась одна из наиболее полных (из существующих на сегодняшний день) баз океанографических данных [10]. По этим данным были вычислены ряды $\{S_{\text{год,мес}}\}$ и $\{\bar{S}_{\text{год}}\}$, представляющие соответственно текущие среднеме-

сячные и среднегодовые значения расходов Гольфстрима за период 1950 – 2004 гг. Расходы вычислялись для океанографических разрезов, ориентированных по нормали к основному потоку Гольфстрима в окрестности 70° з.д. Подробный алгоритм вычислений изложен нами в работе [11].

Межгодовые и более низкочастотные колебания расхода Гольфстрима в 1950 – 2004 гг. На рисунках 1а и 1б показаны текущие значения среднемесячных и среднегодовых расходов Гольфстрима в окрестности 70° з.д. за период 1950 – 2004 гг. и рассчитанный методом наименьших квадратов линейный тренд. Судя по поведению кривых, межгодовые колебания расходов Гольфстрима представляют собой суперпозицию колебаний с периодами приблизительно от 2-х до 20-ти лет, причем основная доля низкочастотной изменчивости приходится на периоды близкие к 20 годам (пунктирная кривая на рисунке 3б).

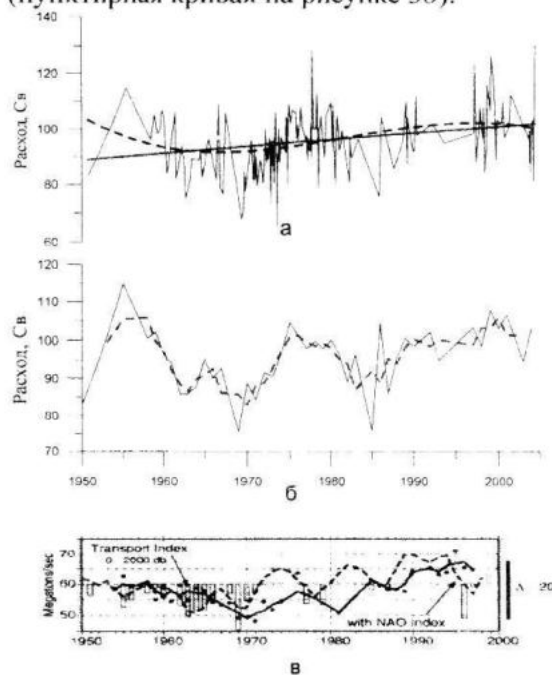


Рисунок 1 – Текущие значения среднемесячных (а) и среднегодовых (б) расходов Гольфстрима в окрестности 70° з.д. за 1950 – 2004 гг., вычисленные в настоящей работе, а также индекс геострофического переноса в системе Гольфстрим – Североатлантическое течение и индекс Североатлантического колебания по данным работы [9] (в) (прямая линия – линейный тренд, плавная кривая – аппроксимация полиномом 3-й степени. Штриховая линия на рис. (1, б) – результат скользящего пятиточечного сглаживания)

Видно, что линейный тренд положителен, увеличение среднегодового расхода Гольфстрима за весь указанный период составляет 13 Св (таблица 1), что не подтверждает утверждений об ослаблении Гольфстрима, имеющих место в литературе [4 – 8]. Отметим, что этот результат хорошо согласуется с результатом, полученным в работе [9]. Для иллюстрации сказанного на рис. 1в приведен график межгодовых флуктуаций индекса бароклинного переноса в системе Гольфстрим – Североатлантическое течение, полученный в этой работе. О значимости тренда можно судить по величине $\sigma_{\text{тренд}}^2 / \sigma^2$ (где $\sigma_{\text{тренд}}^2$ - дисперсия, обусловленная этим трендом, σ^2 - суммарная дисперсия) и по общему количеству независимых оценок расходов. Как видно из таблицы, на положительный тренд приходится приблизительно 8% общности среднегодового расхода Гольфстрима, что, при имеющемся количестве не-

зависимых оценок, свидетельствует о значимой (на 95% доверительном уровне) величине тренда. Судя по аппроксимирующей кривой, приведенной на рисунке 1а, положительный тренд в расходах Гольфстрима наблюдается с 60-х годов XX столетия. Необходимо вместе с тем подчеркнуть, что фактически выделенный линейный тренд скорее характеризует усиление переносов в системе Гольфстрим - Североатлантическое течение, связанное с квазипериодической Атлантической мультideкадной осцилляцией (АМО), типичный период которой (65 – 75 лет) превышает длину анализируемого ряда. На это указывают результаты многочисленных работ последних лет, посвященных анализу АМО (см. работу [12] и библиографию в ней) и временной ход расходов Гольфстрима, приведенный на рисунках 1 и 2. Результаты прогноза изменений расходов Гольфстрима, описание которого содержится в следующем разделе, также не противоречит этому утверждению.

Таблица 1 – Статистические характеристики межгодовых вариаций Гольфстрима в районе 70°з.д., вычисленные за 1950 – 2004 гг.

\bar{S} , Св	σ^2 , Св ²	σ , Св	$\sigma_{\text{тренд}}^2$, Св ²	$\sigma_{\text{детренд}}^2$, Св ²	$\sigma_{\text{тренд}}^2 / \sigma^2$	$\sigma_{\text{тренд}, 55}^2$, Св
96.03	121.3	11.0	10.3	111.0	0.08	13.1

Прогноз колебаний расходов Гольфстрима на период 2005-2015 гг. Получив пятидесятипятiletние ряды $\{S_{\text{год, мес}}\}$ и $\{\bar{S}_{\text{год}}\}$, мы попытались спрогнозировать изменчивость расходов Гольфстрима на следующее после 2004 г. десятилетие, пользуясь разработанными статистическими методами. В частности, была использована авторегрессионная модель второго порядка (AR2), имеющая следующий вид:

$$\bar{S}_{\text{год}} = \bar{S} + a\bar{S}_{\text{год}-1} + b\bar{S}_{\text{год}-2} + \gamma,$$

где индекс *год* относится к расходам Гольфстрима для прогнозируемого года, а индексы *год-1*, *год-2* – соответственно за два предыдущих года; γ - белый шум. Подбор параметров и коэффициентов модели (\bar{S}, a, b) осуществлялся с помощью стандартного алгоритма минимизации γ . Полученная таким образом прогностическая формула имеет следующий вид:

$$\bar{S}_{\text{год}} = 95,82 + 0,2882\bar{S}_{\text{год}-1} + 0,3655\bar{S}_{\text{год}-2} + \gamma$$

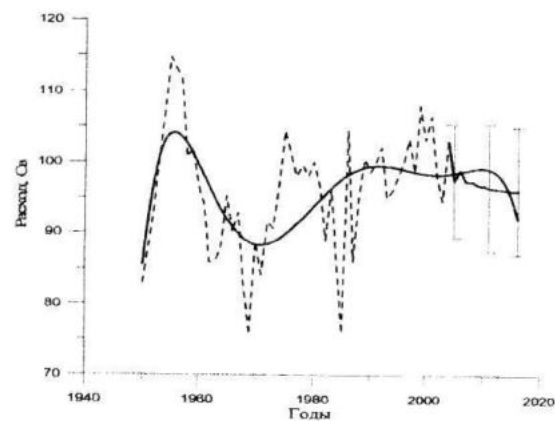


Рисунок 2 – Текущие среднегодовые значения расходов Гольфстрима за период 1950-2004 гг. (пунктирная линия) и прогноз на следующее десятилетие, вычисленный по модели AR2 (сплошная толстая кривая). Вертикальные линии – 90% доверительный уровень прогноза. Сглаженная кривая – полиномиальные тренды 6-го порядка.

Результаты прогноза представлены на рисунке 2, из которого следует, что расходы Гольфстрима с 2005 по 2015 гг. уменьшаться. Вероятная величина этого уменьшения составит ~7 Св.

Выводы. Получен положительный линейный тренд текущих среднегодовых расходов Гольфстрима за период с 1950 по 2004 гг. Он проявляется в значимом (на 90% уровне) увеличении расхода Гольфстрима за указанный период на 13 Св. Этот тренд характеризует усиление переносов в Системе Гольфстрим - Североатлантическое течение, вероятнее всего связанное с квазипериодической Атлантической мультидекадной осцилляцией. Последний вывод подтверждается статистическим прогнозом изменения расходов Гольфстрима, указывающим на его уменьшение между 2004 и 2015 гг. ~на 7 Св. Аппроксимирующая кривая на рисунке 2 подтверждает наличие квазипериодической компоненты изменчивости расходов Гольфстрима с периодом, близким к периоду АМО.

Л и т е р а т у р а

1. А.Б. Полонский, Д.В. Башарин, С. Ворли, Е.Н. Воскресенская *Североатлантическое колебание: описание, механизмы и влияние на климат Европы*. // Морской гидрофизический журнал. – 2004. – № 2 – С.42 – 59.
2. W.B. Curry, J. Lynch-Stieglitz. *Weaker Gulf Stream in the Florida straits during the last Glacial Maximum* // Nature. – 1999. – 402, – P. 644 – 648.
3. *Синоптические вихри в океане*. Киев, «Наукова думка». – 1980. – 288 с.
4. А.В. Карнаухов *«Динамика оледенений в Северном полушарии как автоколе-*

бательный релаксационный процесс». Биофизика, – 1994. – т. 39. – №6. – С. 1094 – 1098.

5. Z. Merali *«No new ice age for Western Europe»*, New Scientist, 2004. vol. 2576. – <http://environment.newscientist.com/channel/earth/mg19225763.900-no-new-ice-age-for-western-europe.html>.

6. H.L. Bryden, Longworth H.R., Cunningham S.A. *Slowing of the Atlantic meridional overturning circulation at 25 N* // Nature. – 2005. – 438. – P.655 – 657.

7. Programme of NOAA Research: The GULFSTREAM-IV, www.publicaffairs.noaa.gov/grounders/pdf/gulfstream.pdf

8. С.С. Лаппо, А.В. Соков, В. П. Терещенков, С. А. Добролюбов *Океан и колебании климата* // Российская наука: Выстоять и возродиться. М.: Наука. 1497.

9. R.G. Curry, M.S. McCartney *Ocean Gyre Circulation Changes Associated with the North Atlantic Oscillation*. // Journal of Physical Oceanography. – 2001. – vol. 31. – P. 3374 – 3400.

10. Boyer T.P., Antonov J.I., Garcia D.R. et al. *World Ocean Database 2005* // NOAA Atlas NESDIS 60, U.S. Government / Ed. S. Levitus. – <http://www.awi-bremerhaven.de/GEO/ODV>.

11. Г.Ф. Джиганшин, А.Б. Полонский. *Низкочастотная изменчивость расходов Гольфстрима: описание и механизмы* // Морской гидрофизический журнал. – 2009 (принята к печати).

12. А.Б. Полонский *Роль океана в изменениях климата*. Киев. Наукова Думка. – 2008. – 184 с.