

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ВНУТРИГODOVОГО ЦИКЛА ФЛОРИДСКОГО ТЕЧЕНИЯ

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

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

Проанализирована межгодовая изменчивость среднегодовых величин и характеристик сезонного цикла расхода Флоридского течения (ФТ) по ежесуточным данным кабельных наблюдений за последние 26 лет. Показано, что межгодовая изменчивость расхода ФТ проявляется как в виде межгодовых вариаций его текущих среднегодовых значений с амплитудой 1,2 Св, так и в вариациях амплитуд годовой и полугодовой гармоник, размах которых равен 4,3 и 3,0 Св, соответственно.

Введение. Флоридское течение – одно из сильных океанических течений Северной Атлантики. Оно с одной стороны ограничивает Субтропический антициклонический круговорот (ССАК), а с другой стороны – является частью северной ветви термохалинной циркуляционной ячейки, посредством которой происходит перераспределение вод и тепла между высокими и низкими широтами Атлантического океана. Поэтому исследование вариаций ФТ на разных временных масштабах представляет собой особый интерес и является важным для мониторинга изменений климата.

В 1982 году, признавая важность долговременных наблюдений за ФТ, Национальное управление по океанам и атмосфере (NOAA) США выделило средства для проведения непрерывного мониторинга расходов течения. Мониторинг предполагал выполнение непрерывных измерений разности электрического потенциала на концах субмаринного кабеля, пересекающего Флоридский пролив, а также использование данных наблюдений, полученных в рамках программы по изучению субтропической циркуляции в Северной Атлантике (Subtropical Atlantic Circulation Study – STACS). Уже в 1985 г. по результатам этих исследований

была опубликована серия работ, посвященных ФТ [1 – 5].

Несмотря на то, что наиболее изученным в спектре низкочастотных колебаний является сезонный цикл расхода ФТ, между оценками, полученными разными авторами, имеются противоречия. Это связано, по видимому, с неустойчивостью во времени амплитудно-фазовых характеристик в годовом ходе расходов ФТ. Так, например, в работе [6], используя ряд ежедневных значений расхода ФТ, вычисленных по данным кабельных наблюдений с 1982 по 1998 гг., показано, что в первые 8 лет внутригодовой цикл расхода ФТ отражает хорошо известный летний максимум (в июле-августе) и быстрое уменьшение расхода в октябре. Это согласуется с результатом более ранней работы [7]. В последующие восемь лет наблюдается сезонный цикл с меньшей амплитудой, характеризующийся промежуточным минимумом, разделяющим летний максимум надвое. О том, что в годовом цикле расхода ФТ имеет место заметная асимметрия и в нем содержится как годовая, так и полугодовая гармоника, свидетельствуют также результаты и других работ, полученных по другим типам данных [2, 5, 8].

В настоящее время количество наблюдений за ФТ существенно увеличилось, что позволяет получить более надежную информацию о сезонном цикле расходов ФТ, уточнить общий характер межгодовой изменчивости, как самого течения, так и параметров его внутригодового цикла. Это и является целью настоящей работы.

Материалы и методика. В работе использовался ряд ежедневных расходов ФТ, полученный в рамках проекта Флоридское течение (Florida current project) по данным о разности электрического потенциала, измеренного с помощью субмаринного кабеля между южной Флоридой и Багамскими островами за 1982–2008 гг. Данные предоставлены в свободном доступе Атлантической океанографической и метеорологической лабораторией при финансовой поддержке офиса климатических наблюдений NOAA [9]. Путем осреднения значений ежедневных расходов ФТ $\{Q_{\text{день, мес, год}}\}$ в пределах каждого текущего месяца вышеуказанного 26-летнего периода был вычислен ряд текущих ежемесячных расходов $\{\bar{Q}_{\text{мес, год}}\}$.

Далее путем соответствующих осреднений по ним были получены ряд среднееголетних месячных значений расходов $\{\bar{Q}_{\text{мес}}\}$ и 26-летний ряд текущих среднегодовых значений расходов ФТ $\{\bar{Q}_{\text{год}}\}$.

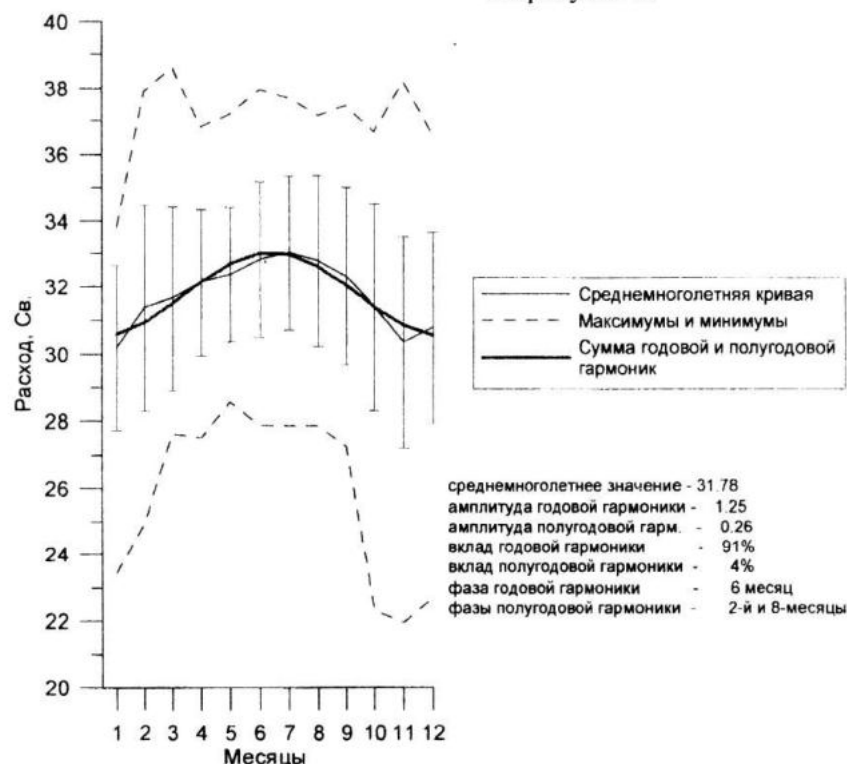


Рисунок 1 – Среднееголетний годовой ход расхода Флоридского течения, характеристики его внутригодовых и межгодовых вариаций, вычисленные на основе ряда $\{\bar{Q}_{\text{мес}}\}$.
Вертикальные тонкие линии – $\pm\sigma$. Пунктирные линии – максимумы и минимумы

Результаты. Среднееголетний расход ФТ, вычисленный по всей совокупности данных, оказался равным 31,8 Св, что совпадает с оценками, приведенными в [2, 3, 5]. Осредненный внутригодовой цикл ФТ характеризуется максимумом (~33 Св) в середине лета и минимумом (~30,6 Св) в середине зимы (рис. 1). Причем доминирует годовая гармоника. Её вклад в дисперсию среднемесячных значений расхода ФТ составляет 91 %, тогда, как на долю полугодовой гармоник приходится всего 4 % флуктуаций среднемесячных значений расхода ФТ. Эти результаты качественно согласуются с результатами работы [7], хотя численные значения характеристик сезонной изменчивости расходов ФТ отличаются. Подчеркнем, что изменчивость самих значений $\bar{Q}_{\text{мес, год}}$ сопоставима с размахом колебаний осредненного внутригодо-

вого цикла. Действительно, стандартные отклонения величин $\bar{Q}_{\text{мес, год}}$ от значений $\bar{Q}_{\text{мес}}$ варьируют в пределах от 2,0 до 3,2 Св при амплитуде внутригодового цикла 1,2 Св. Из этого следует, что характеристики сезонного цикла, полученные по всей совокупности данных, статистически незначимы.

Затем 12-месячный ряд $\{\bar{Q}_{\text{мес}}\}$ подвергался гармоническому анализу. В результате были получены среднееголетние статистические характеристики внутригодовой изменчивости расходов ФТ, приведенные на рисунке 1.

С целью выявления межгодовой изменчивости статистических характеристик сезонного цикла ФТ были вычислены параметры годовой и полугодовой гармоник для каждого года. Временной ход среднегодовых величин расхода ФТ указывает на наличие достаточно интенсивной межгодовой изменчивости. Разность экстремальных значений текущих среднегодовых величин расхода достигает почти 5 Св. Стандартные отклонения текущих среднегодовых величин от среднееголетней величины со-

ставляют приблизительно 1 Св, что сопоставимо с амплитудой годовой гармоник, рассчитанной по всей совокупности данных, как показано на рисунке 2. Наглядное представление отличий текущих ежегодных амплитуд годовой и полугодовой гармоник ($A_{\text{ГОД}}^1, A_{\text{ГОД}}^2$), от амплитуд, оцененных гармоническим методом по всей совокупности данных (A^1, A^2) дают графики отношений $A_{\text{ГОД}}^1/A^1$ и $A_{\text{ГОД}}^2/A^2$. Как видно из рис.2 г, текущие амплитуды годовой гармоник $A_{\text{ГОД}}^1$ могут в 2 – 3 раза превышать величину A^1 . Еще большие значения отмечаются в величинах $A_{\text{ГОД}}^2/A^2$. Здесь зачастую текущие значения полугодовой гармоник ($A_{\text{ГОД}}^2$) превышают величину A^2 на порядок.

Размах флуктуаций амплитуд годовой и полугодовой гармоник достигает соответственно 4,3 и 3,0 Св. Вклад годовой гармоник в общую дисперсию сезонных колебаний расхода ФТ меняется практически от нулевых значений до 90%, а вклад полугодовой гармоник варьирует в пределах 2 – 59 %. Суммарный вклад двух первых гармоник в

общую дисперсию меняется от 17 до 96 %. Из рис. 2 в видно, что существуют годы, когда суперпозиция двух первых гармоник плохо описывает годовой цикла расхода ФТ и необходимо привлекать гармоники более высокого порядка. В частности, это имело место в 2003, 2006 и 2008 гг., когда годовая гармоника практически отсутствовала. Вообще можно отметить, что наиболее резкие изменения годового хода расхода ФТ произошли после 1997 г. Вероятно, такое изменение типичного внутригодичного цикла расходов ФТ связан с очередной сменой знака Атлантической мультideкадной осцилляции (АМО), имевшей место приблизительно в 1998 г [10]. Известно, что индекс АМО, коррелирующий с различными климатическими характеристиками в регионе Северной Атлантики и прилегающих Североамериканском и Евразийском континентах, по-разному изменяется в различные сезоны [11]. Именно это может служить причиной изменения сезонного хода расхода ФТ в различные фазы АМО.

Таким образом, можно утверждать, что межгодовая изменчивость расхода ФТ проявляется как в межгодовых вариациях текущих среднегодовых значений его расходов, так и в вариациях амплитуд двух первых гармоник (годовой и полугодовой).

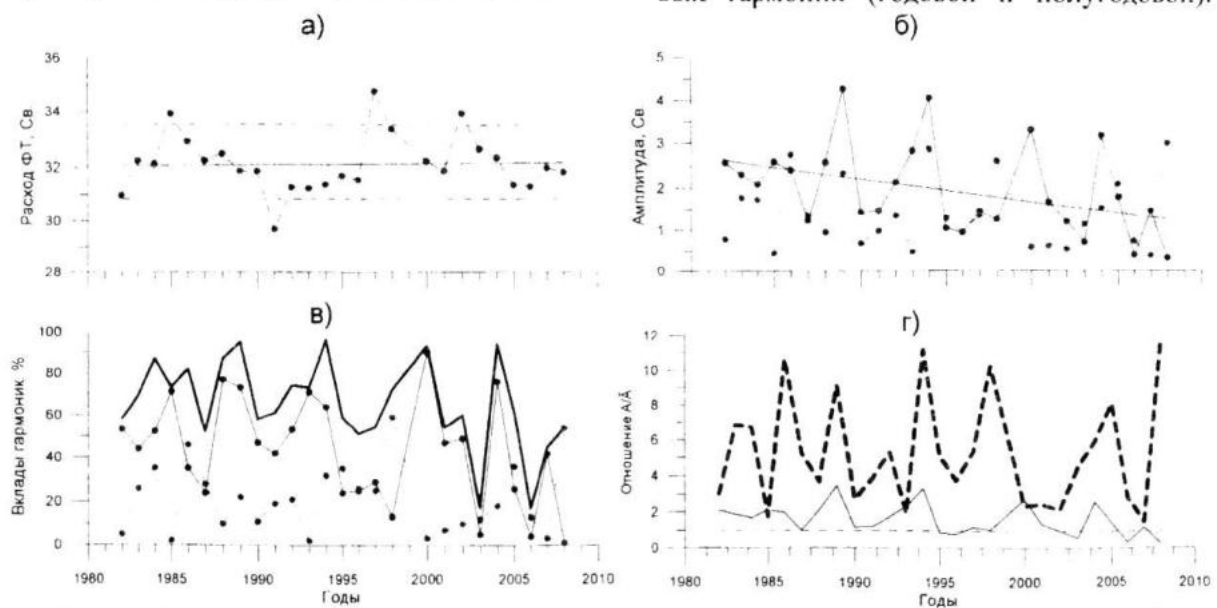


Рисунок 2 – Вариации статистических характеристик внутригодичной изменчивости расходов ФТ для 26-летнего периода 1982 – 2008 гг. а) – среднегодовой расход (пунктиром показан уровень стандартных отклонений); б) – амплитуды годовой (сплошная кривая с точками) и полугодовой (пунктирная с точками) гармоник; в) – вклады годовой (сплошная кривая с точками) и полугодовой (пунктирная с точками) гармоник и суммарный вклад двух первых гармоник (жирная кривая); г) отношения текущих величин $A_{\text{ГОД}}^1/A^1$ (сплошная кривая) и $A_{\text{ГОД}}^2/A^2$ (жирная пунктирная кривая)

Этим и объясняются расхождения в описаниях годового цикла ФТ, имеющие место в работах [1–7]. Типичный период колебаний среднегодовых значений и амплитудных характеристик годовой гармонике расходов ФТ различен (рис. 2). В колебаниях среднегодовых расходов выделяется субдесятилетний масштаб, типичный для вариаций в североатлантической системе океан-атмосфера [11, 12]. Вместе с тем, в колебаниях амплитуд годовой гармонике доминирующие периодичности составляют 3 – 5 лет. Причем эти квазипериодические колебания отмечаются на фоне долговременного уменьшения амплитуды годовой гармонике.

Выводы. Характеристики внутригодового цикла расхода ФТ, рассчитанные по всей имеющейся совокупности данных статистически незначимы. Сезонный цикл расхода ФТ не всегда адекватно описывается суперпозицией первых 2-х гармоник. Стандартные отклонения величин $\bar{Q}_{\text{мес, год}}$ от значений $\bar{Q}_{\text{мес}}$ варьируют в пределах от 2,0 до 3,2 Св при амплитуде внутригодового цикла 1,2 Св. Наблюдается интенсивная межгодовая изменчивость среднегодовых расходов ФТ и характеристик его внутригодового хода. В колебаниях среднегодовых расходов выделяется субдесятилетний масштаб. Амплитуда годовой гармонике меняется с периодичностью 3 – 5 лет. Причем эти квазипериодические колебания отмечаются на фоне долговременного уменьшения амплитуды годовой гармонике.

Л и т е р а т у р а

1. Larsen C.L., Sanford T.B. Florida current Volume transports from Voltage Measurements // *Science*. – 1985. vol. 227. – № 4684. – P. 302–303.
2. Lee T.N., Schott F.S., Zantop R. Florida current: Low-Frequency Variability as

Observed with moored Current Meters during April 1982 to June 1983 // *Science*. – 1985. vol. 227. – № 4684. – P. 285–297.

3. Molinari R.L., Wilson W.D., Leaman K. Volume and heat transports of Florida Current: April 1982 through august 1983 // *Science*. – 1985. vol. 227. – № 4684. – P. 285–297.

4. Maul G.A., Chew F., Bushnell M., Mayer D.A. Sea level variations as an Indicator of Florida current volume transport: comparisons with direct measurements // *Science*. – 1985. vol. 227. – № 4684. – P. 304–307.

5. Schott F., Zantop R. Florida current: Seasonal and interannual Variability // *Science*. – 1985. vol. 227. – № 4684. – P. 307–311.

6. Baringer, M.O'N., Larsen J.C. Sixteen years of Florida Current transport at 27N // *Geophys. Res. Letters*. – 2001. vol. 28. № 16. – P. 3179–3182.

7. Niiler P.P., Richardson W.S. Seasonal variability of the Florida Current // *J. of Mar. Res.* – 1973, vol. 31. – P. 144–167.

8. Montgomery R.B. Fluctuations in the monthly sea level on the eastern U.S. Coast as related to dynamics of the western North Atlantic Ocean // *J. of Mar. Res.* – 1938. vol. 1. – P. 32–37.

9. Florida Current cable data 2000–2008 уу. /www.aoml.gov/phod/floridacurrent/

10. Knight J., Allan R., Folland C., et. al. The Atlantic Multidecadal Oscillation: A Signature of Thermohaline Circulation Cycles in Observed Climate // *CRCES Workshop on Decadal Climate Variability*, 19 October 2005.

11. Полонский А.Б., Башарин Д.В., Воскресенская Е.Н., Ворли С. Североатлантическое колебание: описание, механизмы и влияние на климат Евразии // *МГЖ*. – 2004. – № 2. – С. 42–59.

12. Джиганшин Г.Ф., Полонский А.Б. Североатлантическое колебание и изменчивость характеристик деятельного слоя океана // *Известия РАН. ФАО* – 2003. vol. 39. – № 4. – С. 547–557.