

Ю.В.Артамонов

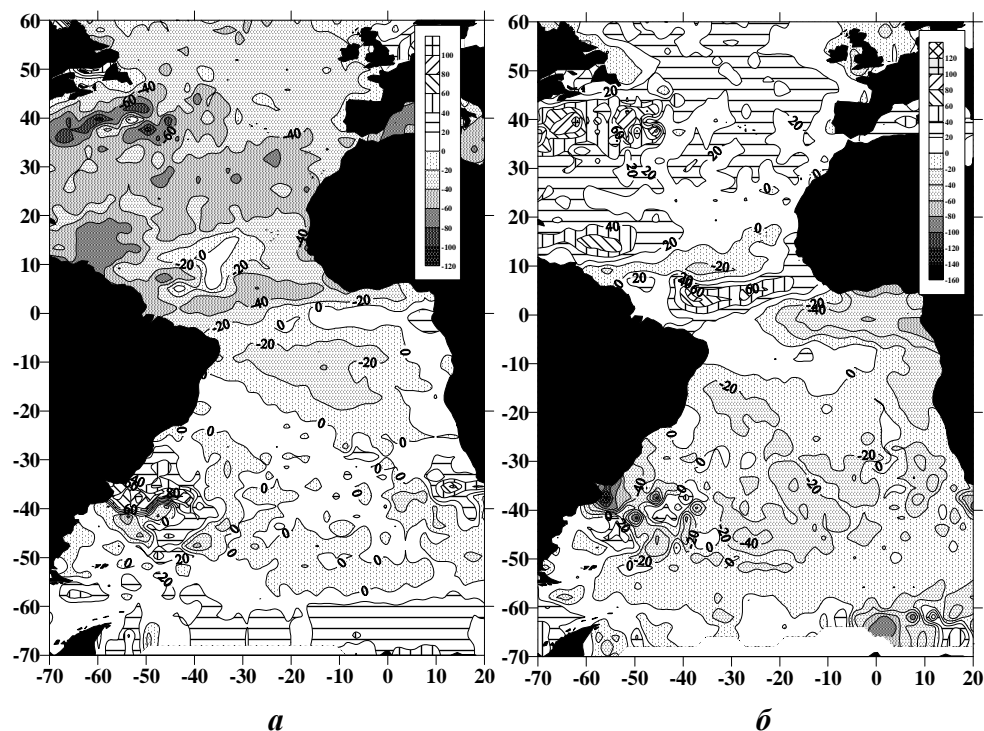
*Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь***ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД  
ЮЖНОЙ АТЛАНТИКИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ**

Исследован сезонный цикл течений на поверхности Южной Атлантики по данным спутниковой альтиметрии за период с 1992 по 2002 гг. Показано, что западные и восточные течения усиливаются с фазовой разницей в несколько месяцев, тогда как их широтные смещения квазисинхронны. Для течений тропической зоны наблюдается запаздывание сезонного сигнала с запада на восток в среднем на 2 – 3 месяца, в полярных широтах оно увеличивается до 6 месяцев.

Успехи в исследовании циркуляции вод Атлантического океана относятся в основном к описанию изменчивости течений Северного полушария и течения Ломоносова. О сезонном цикле ветвей Южного пассатного течения (ЮПТ), Южного экваториального противотечения (ЮЭП), Южного Атлантического течения (ЮАТ), ветвей Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) известно очень мало [1 – 4]. Это связано, прежде всего, с тем, что в зимний период Южная Атлантика значительно меньше охвачена наблюдениями, чем летом. В последние десятилетия при исследовании циркуляции вод нашли широкое применение спутниковые измерения уровня океана [4 – 8]. Эти работы базировались в основном на относительно коротких (1 – 3 года) рядах наблюдений. В настоящее время накоплен почти 10 летний ряд данных спутниковой альтиметрии. Цель данной работы – исследовать сезонную изменчивость аномалий уровня океана и геострофических течений на поверхности океана на основе современного массива спутниковых данных по альтиметрии.

**Материалы и методика.** В работе использованы поля аномалий уровня океана (АУО) с одноградусным осреднением по пространству и с пятидневным интервалом по времени, охватывающие период с ноября 1992 г. по август 2002 г., представленные на сайте *NASA (daac.jpl.nasa.gov)*. При расчете полей АУО были учтены все поправки, вносимые методами спутниковой альтиметрии [4]. По пятидневным значениям АУО рассчитаны средние для каждого месяца значений АУО за весь период наблюдений. Скорости на поверхности океана вычислялись по стандартному геострофическому соотношению по разностям динамических высот, которые, в свою очередь, вычислялись как сумма АУО и среднегодовых значений динамических высот, рассчитанных по массиву [9] относительно 1000 м. Расчеты соотношения среднеквадратического отклонения внутригодовой и межгодовой изменчивости АУО показали, что сезонный сигнал в зонах интенсивных течений превышает межгодовую изменчивость на большей части акватории Атлантики. Это дало основание для надежного выделения сезонного сигнала в осредненных по месяцам за 10 лет аномалиях уровня океана.

**Результаты.** Распределение АУО в первую половину года указывает на



Р и с . 1 . Распределение средних АУО (мм) в период 1992 – 2001 гг. в феврале (а) и августе (б).

понижение уровня в Северном полушарии и на его повышение в Южном. Во вторую половину года наблюдается обратное распределение (рис.1). На картах отмечается ряд зонально ориентированных областей аномалий уровня океана, вытянутых вдоль крупномасштабных течений. Распределение АУО на широтно-временных развертках показывает ряд экстремумов, связанных с повышением и понижением уровня поперек разных течений (рис.2). В годовом цикле прослеживаются меридиональные смещения областей аномалий уровня одного знака, которые согласуются с сезонными смещениями течений, рассчитанными по гидрологическим данным [1]. Сезонный ход значений АУО на северной и южной границах течений косвенно характеризует величину наклона поперек течения и, тем самым, изменение его интенсивности. По этому признаку максимальная интенсивность Северной ветви ЮПТ и Южного экваториального противотечения наблюдается в октябре. Для Центральной ветви ЮПТ максимум интенсивности отмечается в апреле. Качественно такой сезонный цикл течений совпадает с их изменчивостью по гидрологическим данным [1]. Сезонный цикл течений воспроизводится лучше с привлечением среднегодового уровня океана, рассчитанного по гидрологическим данным. Аналогичный подход был опробован в [5, 6].

Широтные распределения зональной составляющей скорости течений по месяцам показывают, что амплитуды внутригодовых вариаций скорости достигают 20 – 30 см/с в пределах южных тропиков и не превышают 10 – 20 см/с в субтропических и полярных широтах. Сезонный сигнал Северной ветви ЮПТ запаздывает в направлении с востока на запад. Максимальная скорость

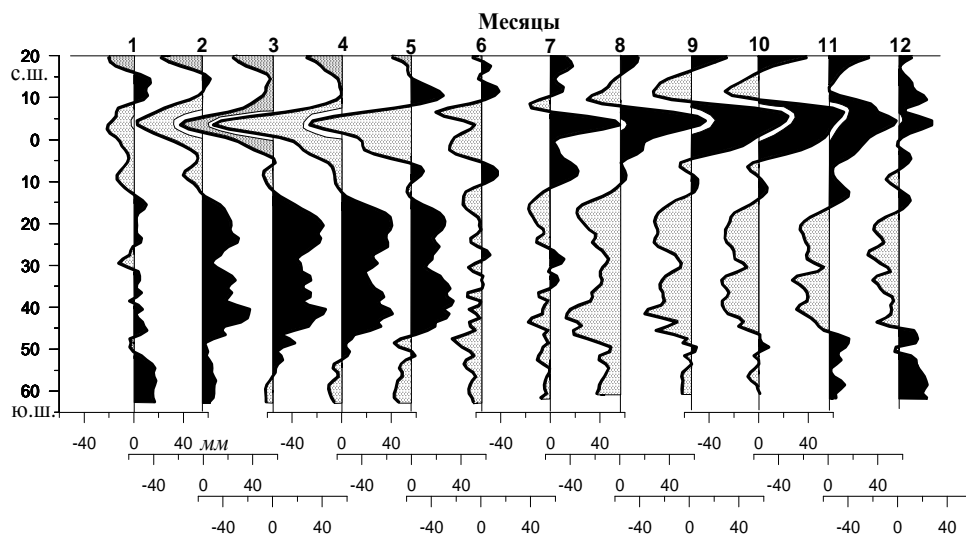


Рис. 2. Широтное распределение АУО вдоль 30° з.д. по месяцам.

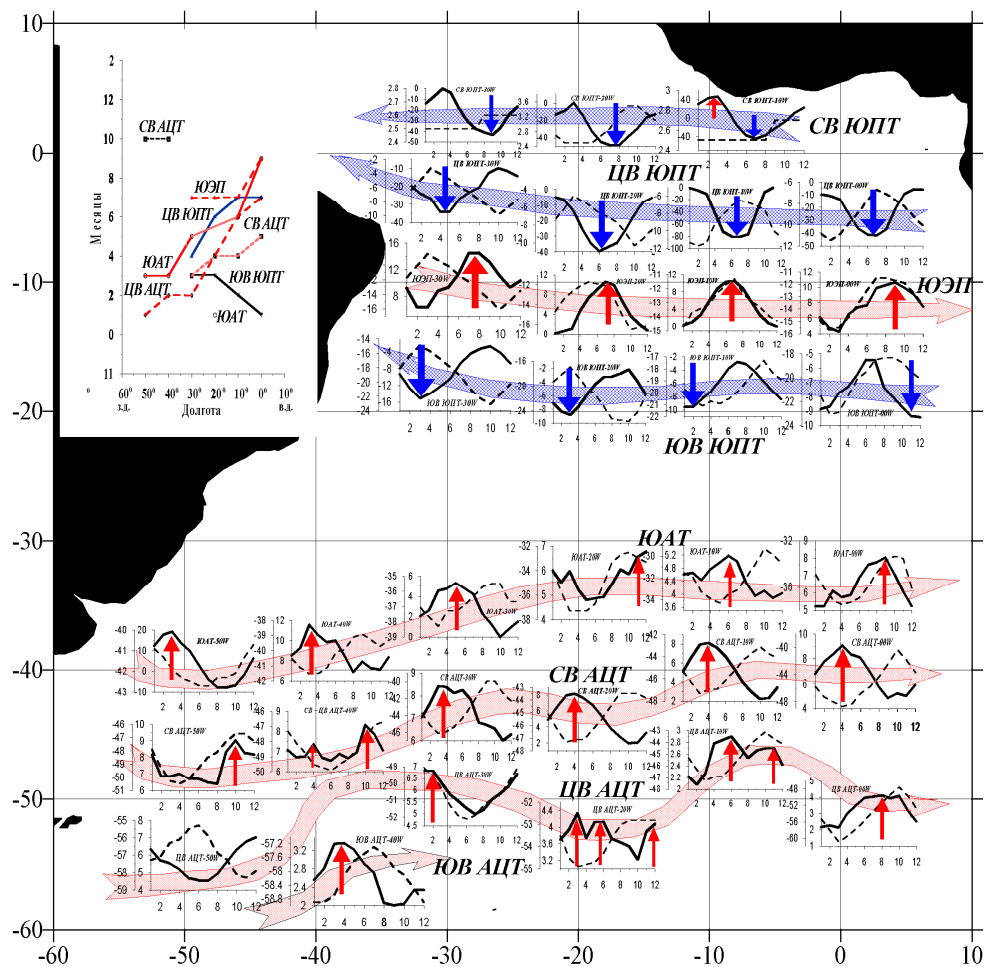
(30 см/с) наблюдается на 10° з.д. в июле, на 30° з.д. – в сентябре (рис.3). В Центральной ветви ЮПТ максимум интенсивности запаздывает в направлении с запада на восток. На 30° з.д. максимум скорости (35 см/с) наблюдается в апреле. На Гринвиче максимум скорости (40 см/с) достигается в июле.

Сезонный цикл Южного экваториального противотечения на 20 и 10° з.д. изменяется почти в фазе с ЦВ ЮПТ, достигая максимальных значений скорости (12 см/с) в июле. На 30° з.д. и на Гринвиче его сигнал запаздывает, и максимумы скорости наблюдаются в августе и сентябре (15 и 10 см/с соответственно). Южная ветвь ЮПТ имеет максимумы скорости на 30° з.д. (14 см/с) и 20° з.д. (9 см/с) в марте, на 10° з.д. и на Гринвиче (9 см/с) – в январе.

В сезонной изменчивости интенсивности ЮАТ наблюдается запаздывание сигнала с запада на восток почти на полгода. Максимум скорости (20 см/с) на 50° з.д. отмечается в марте. На Гринвиче он уменьшается (8 см/с) и наблюдается в сентябре.

Северная ветвь АЦТ в западной части океана между 50 и 40° з.д. имеет максимум скорости (9 см/с) в октябре. Далее на восток максимум скорости запаздывает и наблюдается в марте на 30° з.д., в апреле на 20 – 10° з.д. и в мае на Гринвиче. Заметное фазовое запаздывание сезонного сигнала наблюдается также в Центральной ветви АЦТ. На западе региона на 50° з.д. максимум скорости (7 см/с) наступает в декабре. Восточнее, он смещается на 30° з.д. на февраль, на 20° з.д. на март, на 10° з.д. на июль и на Гринвиче на август. Таким образом, сезонный сигнал в интенсивности течений субантарктической и полярной зон запаздывает в направлении с запада на восток примерно на полгода.

Сезонные смещения стречней течений, полученные по альтиметрии, согласуются с изменением границ Южного субтропического антициклонического круговорота по гидрологическим данным [10]. В обоих случаях для ЦВ ЮПТ, ЮЭП, ЮВ ЮПТ на 30° з.д. наблюдается одинаковый сигнал с максимальным приближением к экватору в марте и наибольшим отдалением от него в крайнее южное положение в октябре. Течения южной периферии Южного субтропического антициклонического круговорота и полярной



Р и с . 3 . Внутригодовой ход скорости (сплошная линия) и положения стрежней (пунктир) зональных геострофических течений по данным альтиметрии (на врезке: время наступления максимума геострофической скорости для разных течений).

зоны (ЮАТ, СВ и ЦВ АЦТ) занимают крайнее южное положение в первую половину года с марта по май.

Сравнение характеристик течений по спутниковой альтиметрии и гидрологическим данным показало, что фазы сезонного сигнала большинства течений, полученные по двум независимым базам данных, качественно согласуются между собой. Однако абсолютные значения скоростей и широты расположения стрежней течений могут значительно отличаться. Величины скоростей по альтиметрии превышают их абсолютные значения, полученные динамическим методом, а стрежни течений по альтиметрии практически во всех случаях располагаются южнее, чем по гидрологическим данным.

Полученные разными методами результаты расходятся: во-первых, из-за погрешностей спутниковой альтиметрии [7 – 8], во-вторых, из-за недостатков динамического метода, в-третьих, из-за различной обеспеченности

обоих массивов измерениями. Погрешность определения АУО не превышает 3 – 5 см, что существенно меньше перепада уровня океана, достигающего в зоне интенсивных геострофических течений 50 – 70 см [3]. Основной вклад в различия между циркуляцией вод, рассчитанной по гидрологическим данным и по альтиметрии, вносят погрешности динамического метода, который не учитывает баротропную составляющую течений. Известно, что в полярных течениях значительный вклад вносит баротропная составляющая, и это может существенно занижать скорости течений, полученных динамическим методом. Ошибка может возникать из-за не всегда правильного выбора отсчетной поверхности. В данной работе динамические высоты рассчитывались от отсчетной поверхности 1000 м, несмотря на то, что в тропической зоне бароклинный сдвиг лучше проявляется в верхнем 500-метровом слое [1, 3], а в полярных широтах он заглубляется до 2000 – 3000 м [3]. Выбор разной глубины отсчетной поверхности может изменять поверхностную геострофическую скорость на 30 %. Использование сложных диагностических моделей, учитывающих баротропную и бароклинную составляющие течений, позволяет минимизировать различия между характеристиками течений, полученными по гидрологическим и спутниковым данным [2, 8].

**Заключение.** Выполненные расчеты показали, что спутниковые данные по альтиметрии, являются хорошим инструментом для исследования сезонной изменчивости крупномасштабной циркуляции вод и полученные этим методом фазы сезонного сигнала для большинства течений качественно согласуются с результатами по динамическому методу. Использование альтиметрических данных позволило установить, что в тропиках, ближе к Южной Америке, интенсивность западных и восточных течений меняется асинхронно. Вследствие запаздывания сезонного сигнала в Центральной ветви ЮПТ с запада на восток, ее интенсивность между 20° и 10° з.д. изменяется в фазе с Южным экваториальным противотечением.

В Южной Атлантике во всех течениях, кроме Южной ветви ЮПТ, сезонный сигнал распространяется с запада на восток, при этом его максимальное фазовое запаздывание наблюдается в Южно-Атлантическом течении и в Северной ветви Антарктического циркумполярного течения, составляя в обоих случаях почти 6 месяцев.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артамонов Ю.В., Булгаков Н.В., Ломакин П.Д. Циркуляция вод деятельного слоя Южной Атлантики. Препринт.– Севастополь: МГИ НАНУ, 2001.– 86 с.
2. Didden N., Schott F. Eddies in the North Brazil current retroflection region observed by GEOSAT altimetry // J. Geophys. Res.– 1993.– 98.– P.20121-20131.
3. Peterson R.G., Stramma L. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean // Prog. Oceanogr.– 1991.– 26.– P.1-73.
4. Костяной А.Г., Гинзбург А.И., Лебедев С.А., Франкиньюль М., Делиль Б. Фронты и мезомасштабная изменчивость в южной части Индийского океана по альтиметрическим данным TOPEX / POSEIDON и ERS-2 // Океанология.– 2003.– 43, №5.– С.671-682.
5. Chelton D.B., Schlax M.G., Witter D.L., Richman J.G. Geosat altimeter observations of the surface circulation of the Southern Ocean // J. Geophys. Res.– 1990.– 95, №С10.– P.17877-17903.

6. *Le Traon P.Y., Nadal F., Ducet N.* An improved mapping method of multisatellite altimeter data // J. Atmos. Oceanic Technol.– 1998.– 15.– P.522-533.
7. *Park Y.H., Gamberoni L.* Large-scale circulation and its variability in the South Indian Ocean from TOPEX / POSEIDON altimetry // J. Geophys. Res.– 1995.– 100, №C12.– P.24911-23929.
8. *Carton J. A., Kats E.J.* Estimates of the zonal slope and seasonal transport of the Atlantic North equatorial countercurrent // J. Geophys. Res.– 1990.– C95, №C3.– P.3091-3100.
9. *Levitus, S., Boyer, P.T.* World ocean Atlas. U.S. CD-ROM Data Sets.– National Oceanographic Data Center, Ocean Climate Laboratory, Washington, D.C, June.– 1994.
10. *Артамонов Ю.В.* Сезонная динамика крупномасштабных круговоротов, гидрологических фронтов и поверхностных водных масс в Южной Атлантике // Системы контроля окружающей среды.– Севастополь, 2004.– С.211-213.

Материал поступил в редакцию 12.05.2005 г.