

СЕЗОННАЯ И МЕЖДЕКАДНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГЕОСТРОФИЧЕСКОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ

И.Г. Шокурова

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

По архивным гидрологическим данным восстанавливаются климатические и декадные (для зимнего и летнего сезона с 1951 по 1995 год) поля плотности и геострофическая циркуляция в Черном море. Выявлены междекадные изменения интенсивности геострофических течений в зимний и летний сезоны и связанные с ними изменения амплитуды сезонного хода крупномасштабной циркуляции.

Введение. Проведенные в последнее время исследования показали наличие долговременной изменчивости циркуляции в Черном море и, в частности, усиление геострофической циркуляции в зимний период [1–3]. В связи с выявленными изменениями возникает вопрос об относительной изменчивости циркуляции вод Черного моря в различные сезоны на длительных временных масштабах и ее влиянии на количественные характеристики сезонного хода скорости черноморских течений. Для ответа на этот вопрос анализируется междекадная изменчивость геострофических течений в зимне-весенний сезон, характеризующийся, в пределах внутригодового хода, наибольшей интенсивностью крупномасштабной циркуляции, и в летний, когда циркуляция наименее интенсивна. Производится сравнение сезонного хода кинетической энергии (КЭ) циркуляции для двух 25-летних периодов – с 1951 по 1975 год и с 1976 по 2000 год.

Описание использованных данных и методики их обработки. В работе использовался современный массив данных гидрологических измерений в Черном море банка данных МГИ НАН Украины [4]. Для оценки осредненного сезонного хода геострофической циркуляции использовались данные за весь период наблюдений в море (с 1920 по 2000 год), для оценки междекадной изменчивости среднемесячной цирку-

ляции – данные за февраль, март, июль и август 1951–1995 гг., объединенные за десятилетние периоды времени с пятилетним сдвигом. Для характеристики изменчивости сезонного хода циркуляции вод во второй половине 20-го века геострофические скорости вычислялись по данным, осредненным за 1951–1975 гг. и 1976–2000 гг.

Восстановление полей плотности на регулярной пятимильной сетке ($\sim 9.3 \times 9.3$ км) осуществлялось методом оптимальной интерполяции. При расчетах использовались данные наблюдений на горизонтах – 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 500, 600, 800, 1000 и 1200 м. Для устранения мелко и мезомасштабных неоднородностей поля плотности сглаживались пространственным параболическим фильтром с радиусом 25 миль. Геострофическая циркуляция рассчитывалась динамическим методом.

Осредненный сезонный ход. На рисунке 1 приведены средние многолетние поля динамической топографии поверхности глубоководной части моря, вычисленные относительно 500 дбар. Максимальная интенсификация циркуляции в Черном море достигается в марте. В марте-апреле ОЧТ представляет собой единый круговорот, охватывающий все море вдоль материкового склона. В апреле центр круговорота смешается в западную часть моря. В мае-июне происходит ослабление ОЧТ, что проявляется в уменьшении скоростей в основном потоке и вихреобразовании. Минимальные динамические высоты находятся в области западного циклонического круговорота. В юго-восточной части моря интенсифицируется Батумский антициклический круговорот, который отчетливо прослеживается на картах поверхностных течений до ноября.

В июле-августе отмечается дальнейшее ослабление ОЧТ, и выделяются два крупномасштабных циклонических круговорота – западный и восточный. В августе отмечаются наименьшие в сезонном цикле скорости течений, в сентябре – циркуляция уже более интенсивна. В октябре разделение на круговороты исчезает. В ноябре происходит усиление циркуляции в восточной части моря, связанное с сезонным усилением циклонической завихренности ветра [5], центр которой (по данным реанализа NCEP/NCAR) находится над этой частью моря с ноября по март [3]. Здесь же нахо-

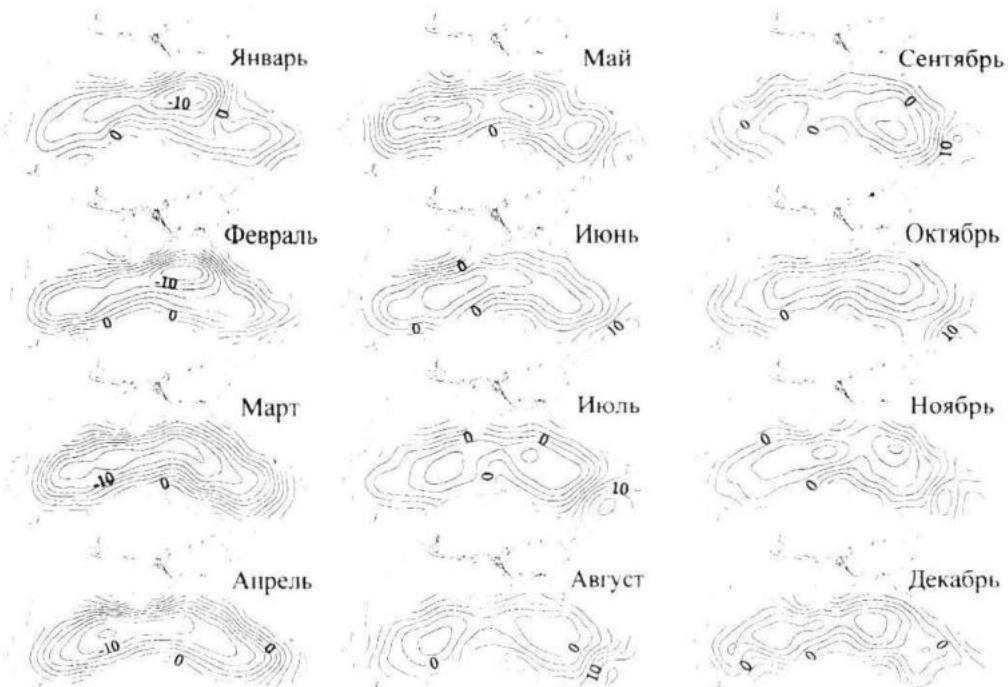


Рисунок 1 – Средняя многолетняя динамическая топография (дин.см) поверхности Черного моря относительно 500 дбар (отклонения от среднего значения уровня)

дятся минимальные динамические высоты. В следующие месяцы – в декабре, январе и феврале отмечается дальнейшее усиление ОЧГ.

Годовой ход средней на горизонте 0 м величины КЭ представляет собой годовую гармонику с максимумом в марте и минимумом в августе (рисунок 2). Изменение положения поверхности отсчета (в слое под пикноклином) меняет главным образом количественные характеристики годового хода. Кинетическая энергия геострофической циркуляции, вычисленной от поверхностей 300 и 500 дбар, ниже по сравнению с расчетами от 1200 дбар приблизительно на 30 % и 15 % соответственно.

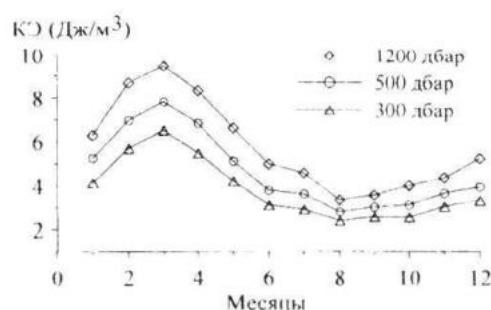


Рисунок 2 – Годовой ход КЭ ($\text{Дж}/\text{м}^3$) геострофической циркуляции на горизонте 0 м в глубоководной части моря относительно поверхностей 1200, 500 и 300 дбар

Полученные значения КЭ течений меньше, чем величины КЭ, вычисленные по данным непосредственных измерений скоростей течений [6]. В целом вычисленные динамическим методом по климатическим полям плотности скорости составляют ~ 50 % от реальных скоростей крупномасштабных течений, полученных инструментальными измерениями [6–8]. Это объясняется тем, что вычисленные скорости получены по осредненным климатическим полям плотности, и, кроме того, их величины обратно пропорциональны степени пространственного сглаживания этих полей.

Долговременная изменчивость геострофической циркуляции. Описанный сезонный ход представляет собой средний климатический циркуляционный цикл в Черном море. Для анализа его временной изменчивости рассматривалась междекадная изменчивость средней КЭ геострофической циркуляции, вычисленной от поверхности 300 дбар, для двух сезонов – зимнего (февраль, февраль–март) и летнего (июль–август, август).

По результатам расчетов для зимнего сезона в исследуемый временной период в верхнем слое моря 0–50 м наблюдается интенсификация геострофических течений (рисунок 3). Характер изменчивости в западной и восточной частях моря (граница

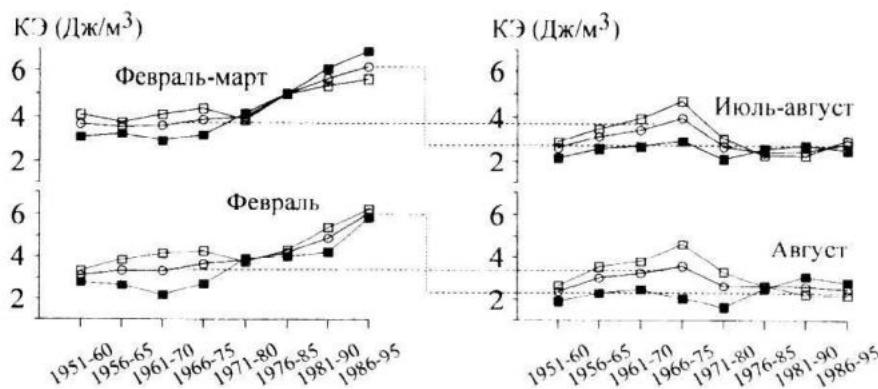


Рисунок 3 – Междекадная изменчивость КЭ ($\text{Дж}/\text{м}^3$) геострофических течений на горизонте 0 м относительно 300 дбар по данным зимних и летних месяцев (○ – в среднем по акватории, ограниченной изобатой 300 м, ■ – в западной части, □ – в восточной части)

по 34° в.д.) различен. На фоне общего положительного тренда, наблюдаемого в западной части моря, в 60-е годы циркуляция ослабевала. В это же время и в 1966–1975 гг. в восточной части моря отмечалось усиление циркуляции, прослеживаемое до нижних слоев пикноклина [3].

Летом ситуация другая. В среднем по морю, циркуляция в верхнем слое интенсифицировалась с конца 50-х до начала 70-х годов, а в последующие периоды ослабевала (рисунок 3). Как и в зимний период, тенденции изменений в восточной и западной части моря различны. Если в восточной части моря после указанного максимума происходит ослабление циркуляции в поверхностном слое, то в западной части моря, начиная с 80-х годов, циркуляция более интенсивна, чем в предыдущие периоды.

Для летнего периода характерно наличие в крупномасштабной структуре течений Батумского антициклонического круговорота, а также других квазистационарных вихревых образований. Поэтому вычисляемая КЭ включает в себя энергию не только основного черноморского потока, но и энергию вихрей, размеры которых сопоставимы или превышают радиус проведенного сглаживания полей плотности.

Количественное сравнение величин КЭ геострофической циркуляции в зимний и летний сезоны показало, что в среднем по глубоководной акватории интенсивность циркуляции в июле-августе в 60-е и начале 70-х годов сравнима с интенсивностью в феврале-марте (рисунок 3, пунктирная линия). Летом в 1961–1970 гг. циркуляция поверхностных вод в западной части моря

не уступает по интенсивности зимней циркуляции, а циркуляция в восточной части моря в 1966–1975 гг. даже более интенсивна, чем в зимний период. Таким образом, в 60-е и начале 70-х годов геострофическая циркуляция в летний период по интенсивности не уступала зимней.

В последующие десятилетние периоды ситуация меняется. Зимой наблюдается многолетняя тенденция к увеличению геострофической циркуляции. Летом, наоборот, циркуляция ослабевает, что должно приводить к увеличению амплитуды сезонного хода. Если в 60-е и начале 70-х годов разница между величинами средней по акватории КЭ в феврале-марте и июле-августе не превышала $0.25 \text{ Дж}/\text{м}^3$, то в последнюю декаду 1986–1995 гг. она увеличивается до $3.3 \text{ Дж}/\text{м}^3$ (рисунок 3).

Для того чтобы оценить изменения сезонного хода геострофической циркуляции рассматривалась его изменчивость для двух 25-летних периодов – с 1950 по 1974 год и с 1975 по 2000 год. Сезонный ход изменчивости КЭ в 1975–2000 гг. (рисунок 4) отражает современные представления о внутригодовой изменчивости геострофической циркуляции в Черном море и по виду близок к климатическому, приведенному на рисунке 2. Это обусловлено, прежде всего, тем, что наибольшее количество изменений выполнено именно в этот период. График внутригодовой изменчивости КЭ в 1950–1974 гг. показывает, что наряду с зимней интенсификацией циркуляции наблюдалось ее усиление в летние месяцы (июль и август). Минимальное значение КЭ отмечается в июне. Средние величины ки-

нетической энергии в зимние месяцы в этот период ниже, чем в 1975–2000 гг., а максимум КЭ смещается на апрель. Размах годового хода КЭ (разница между максимальным и минимальным значениями) увеличивается с 2,7 Дж/м³ в первом периоде до 3,8 Дж/м³ – во втором, т.е. на 40 %. На горизонте 100 м изменения во все сезоны, кроме летнего, менее значимые.

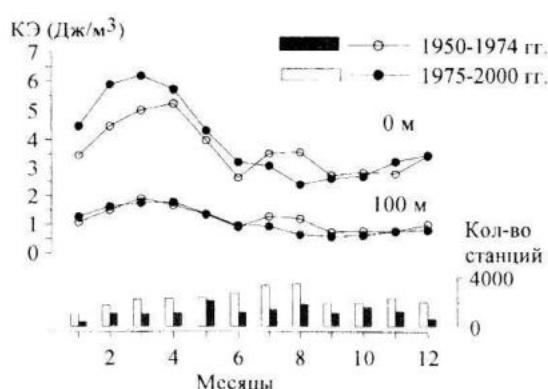


Рисунок 4 – Годовой ход средней КЭ (Дж/м³) геострофической циркуляции относительно 300 дбара на горизонтах 0 и 100 м по данным 1950–1974 гг. (○) и 1975–2000 гг. (●) и количество станций, выполненных в эти периоды

Заключение. На основе обработки архивных гидрологических данных 1950–1990 гг. показано, что наличие изменчивости течений декадных временных масштабов, по-разному проявляющейся в различные сезоны, приводит к изменениям в характеристиках сезонного хода геострофической циркуляции в Черном море. В 1960-е годы и начале 1970-х циркуляция в летний сезон была более интенсивной, чем в другие десятилетия рассматриваемого периода, и по интенсивности близкой к зимней. Последующее ослабление летней циркуляции декадного масштаба и усиление зимней приводят к увеличению амплитуды годового хода геострофических течений. Полученные тенденции изменчивости интенсивности циркуляции могут служить объяснением расхождений в оценках сезонного хода, выполненных в разные годы по разным массивам данных [5, 9–11].

Л и т е р а т у р а

1. В.В. Кныш, Г.К. Коротаев, С.Г. Демышев, В.Н. Белокопытов. Долговременные изменения термохалинных и динамических характеристик Черного моря по климатическим данным температуры и солености и их ассилияции в модели. Морской гидрофизический журнал, № 3. 2005. – С. 11–30.
2. В.Л. Дорофеев, В.В. Кныш, Г.К. Коротаев. Оценка долговременной изменчивости гидрофизических характеристик Черного моря на основе ассилияции климатических гидрологических и альтиметрических полей. Морской гидрофизический журнал. № 4. 2006. – С. 3–17.
3. А.Б. Полонский, И.Г. Шокурова. Декадная изменчивость характеристик пикноклина и геострофической циркуляции вод Черного моря в зимний период. Метеорология и гидрология, 2008, (в печати).
4. Развитие морских наук и технологий в Морском гидрофизическому институте за 75 лет. Под общ. Ред. В.Н. Еремсеева. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2004. – 704 с.
5. С.Г. Демышев, В.В. Кныш, Г.К. Коротаев. Численное моделирование сезонной изменчивости гидрофизических полей Черного моря. – Морской гидрофизический журнал, № 3. 2002. – С. 12–25.
6. В.М. Журбас, А.Г. Зацепин, Ю.В. Григорьева и др. Циркуляция вод и характеристики разномасштабных течений в верхнем слое Черного моря по дрифтальным данным. Океанология, Т. 43, № 6. 2003. – С. 1–15.
7. О.Н. Богатко, С.Г. Богуславский, Ю.М. Беляков, Р.И. Иванов. Поверхностные течения Черного моря. / Комплексные исследования Черного моря. – Севастополь: МГИ АН УССР, 1979. – С. 25–33.
8. T. Oguz, S. Besiktepe. Observations on the Rim Current structure, CIW formation and transport in the western Black Sea. Deep-Sea Res., I. 46. 1999. – P. 1733–1753.
9. В.Н. Белокопытов. Сезонная изменчивость термохалинной и гидролого-акустической структуры вод Черного моря. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа, – Севастополь: МГИ НАН Украины, вып. 8. 2003. – С. 12–23.
10. Д.М. Филиппов. Циркуляция и структура вод Черного моря. – М.: Наука. 1968. – 137 с.
11. А.С. Блатов, Н.П. Булгаков, В.А. Иванов и др. Изменчивость гидрофизических полей Черного моря. – Л.: Гидрометеоиздат. 1984. – 239 с.