

Ю.И.Попов¹, к.г.н, А.Б.Полонский², член-кор. НАН Украины

¹ – Украинский научный центр экологии моря, г.Одесса,

² – Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь

О НЕКОТОРЫХ СТРУКТУРНО-ДИНАМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЯХ АНТИЦИКЛОНИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ МАТЕРИКОВОГО СКЛОНА ЧЕРНОГО МОРЯ

На основании спутниковой информации за период с 2005 по 2011 гг. проанализированы характеристики вихрей, возникающих над материковым склоном в северо-западной и западной частях Черного моря. Вычислено количество генерирующихся вихрей, время их существования и интенсивного развития. Определено положение фронтов и направление переносов вод в наиболее характерных вихрях. Выявлена тесная связь вихревой активности в рассматриваемом регионе с термическим состоянием в предшествующий зимний период и изменчивостью расходов Дуная.
Ключевые слова: Черное море, материковый склон, антициклонические вихри

Введение. Морские гидрофизические исследования трех-четыре последних десятилетий привели к осознанию важности вихревой структуры полей течений в динамике вод Черного моря [1,2,3,4,5]. Использование данных спутниковых наблюдений позволили выделить и исследовать особенности мезомасштабных динамических структур Черного моря [6,7,8,9,10,11,12]. Наиболее выраженными особенностями западной половины Черного моря являются антициклонические, так называемые «Севастопольские» вихри (СВ), развивающиеся на северо-западном участке материкового склона. Эти вихри являются не просто активными элементами общей циркуляции вод, но благодаря своему расположению, представляют собой один из важнейших механизмов трансформации и утилизации загрязненных и эвтрофированных вод северо-западного шельфа в толще вод открытой части моря [13]. Вместе с тем связь этих вихрей с более крупномасштабной изменчивостью системы атмосфера-море в Черноморском регионе исследована недостаточно. Одни авторы считают, что характеристики антициклонических вихрей, генерирующихся вследствие гидродинамической неустойчивости Основного Черноморского течения (ОЧТ), тесно связаны с завихренностью поля ветра над Черным морем. Другие настаивают на преимущественно бароклинной природе этих вихрей и анализируют термохалинные источники (потоки тепла и солей на поверхности и боковых границах моря) их генерации (см., например, [4]). В настоящей работе описаны некоторые характеристики СВ на основе спутниковых данных за 2005 – 2011 гг. и результатов гидрологических съемок, выполненных в 90-е годы прошлого столетия. Будет показано, что эти характеристики существенным образом зависят от расходов р.Дунай и степени термодинамического взаимодействия моря с атмосферой в предшествующий холодный период года.

Материалы и методика выделения вихрей. В данной работе используется сочетание информации дистанционного спутникового наблюдения над температурой поверхности моря (ТПО), полученных с помощью инфракрасного радиометра AVHRR спутников серии NOAA, цвета океана, полученных сканерами спутников SeaWiFS и MODIS, длинноволновой радиации (WLR) со спутника MODIS, визуальных данных системы AERONET, контактных судовых гидрофизических наблюдений, а также данных о расходах реки Дунай и ветровом режиме в придунайском районе.

Наиболее информативными и полными материалами для анализа общей структурно-динамической картины морской поверхности, выделения отдельных вихревых структур и связующих струй являются спутниковые карты температуры поверхности

воды. Хорошими трассерами переноса вод шельфа в отдельные периоды года являются карты распределения концентраций хлорофилла -а и параметры длинноволновой радиации. Все эти данные были получены в Отделе дистанционных методов исследования Морского гидрофизического института (<http://dvs.net.ua>).

На основании всей имеющейся в распоряжении спутниковой информации за период с 2005 по 2011 гг. был проанализирован ряд характеристик вихрей северо-западного («Севастопольских») и западного склонов моря, важных с точки зрения их влияния на водообмен шельфовой зоны с открытой частью Черного моря. К ним относятся: количество вихревых образований, образованных за год; время существования и масштабы развития каждого из них [14]. Границы определялись по оконтуривающей вихри зоне дивергенции (темно-синий цвет воды на термических снимках) или же по резкому сдвигу скоростей течений на анимационных представлениях в различные рассматриваемые периоды. Мы попытались привязать положение фронтов, связанных с вихрями, с направлением переноса вод в периферийных зонах характерных вихрей. Далее определялась связь вихревой активности с термическим состоянием предшествующих зим; внутри и межгодовыми расходами Дуная.

Существенным недостатком спутниковой информации при проведении подобного анализа является периодически возникающее полное или частичное покрытие исследуемой акватории облачностью. В результате этого некоторая часть спутниковых снимков не позволяла с достаточной точностью выделить границы вихрей. Впрочем, таких ситуаций было немного, особенно в основной - теплый период года, и они не оказали принципиального влияния на количественные результаты анализа.

В качестве судовых данных использовались материалы экспедиционных наблюдений, выполненных в 90-х годах прошлого столетия на судах Украинского научного центра экологии моря (УкрНЦЭМ).

Ветровой режим региона исследовался на основании данных ре-анализа NCEP. Среднемесячные расходы р. Дунай были любезно предоставлены директором Измаильской обсерватории В.Н. Морозовым.

Перед началом анализа результатов обсудим номенклатуру вихрей. «Севастопольские» вихри в большинстве случаев формируются у юго-западной оконечности Крымского полуострова, стационарируют, а далее распространяются на юго-запад, вдоль генерального направления Основного Черноморского течения (ОЧТ). Некоторые исследователи называют вихри, расположенные на траверзе или южнее мыса Калиакра, вихрями «Калиакры». Это справедливо для вихрей, сформированных во фронтальных зонах этого региона, но, по нашему мнению, не совсем правильно для собственно «Севастопольских» вихрей, названных по месту своей генерации и перемещенных в район мыса Калиакра или южнее. «Севастопольские» вихри могут диссипировать или сливаться с другими вихрями, распространяться вдоль юго-западного и западного участков материкового склонов вплоть до меридиана пролива Босфор. В нашем исследовании мы их нумеровали без буквенных дополнений и в количественных оценках учтены только такие вихри. На представленных диаграммах для полноты картины даны и характеристики вихрей, сформированных у западного участка континентального склона Черного моря. Они имеют цифровое обозначение предшествующего в пространстве СВ с дополнительным буквенным индексом – «а» (рис.1). Ежегодные диаграммы времени «жизни» и интенсивного развития вихрей северо-западного и западного участков континентального склона Черного моря построены для шестилетнего периода с 2005 по 2010 годы. На врезках указана дополнительная информация, с которой мы связываем характер вихреобразования на склоне: слева вверху – внутригодовая изменчивость ежемесячных расходов р. Дунай (толстые линии) на фоне ежемесячных климатических расходов, усредненных за период с 1947 по 2010 гг. (тонкие линии); внизу по центру –

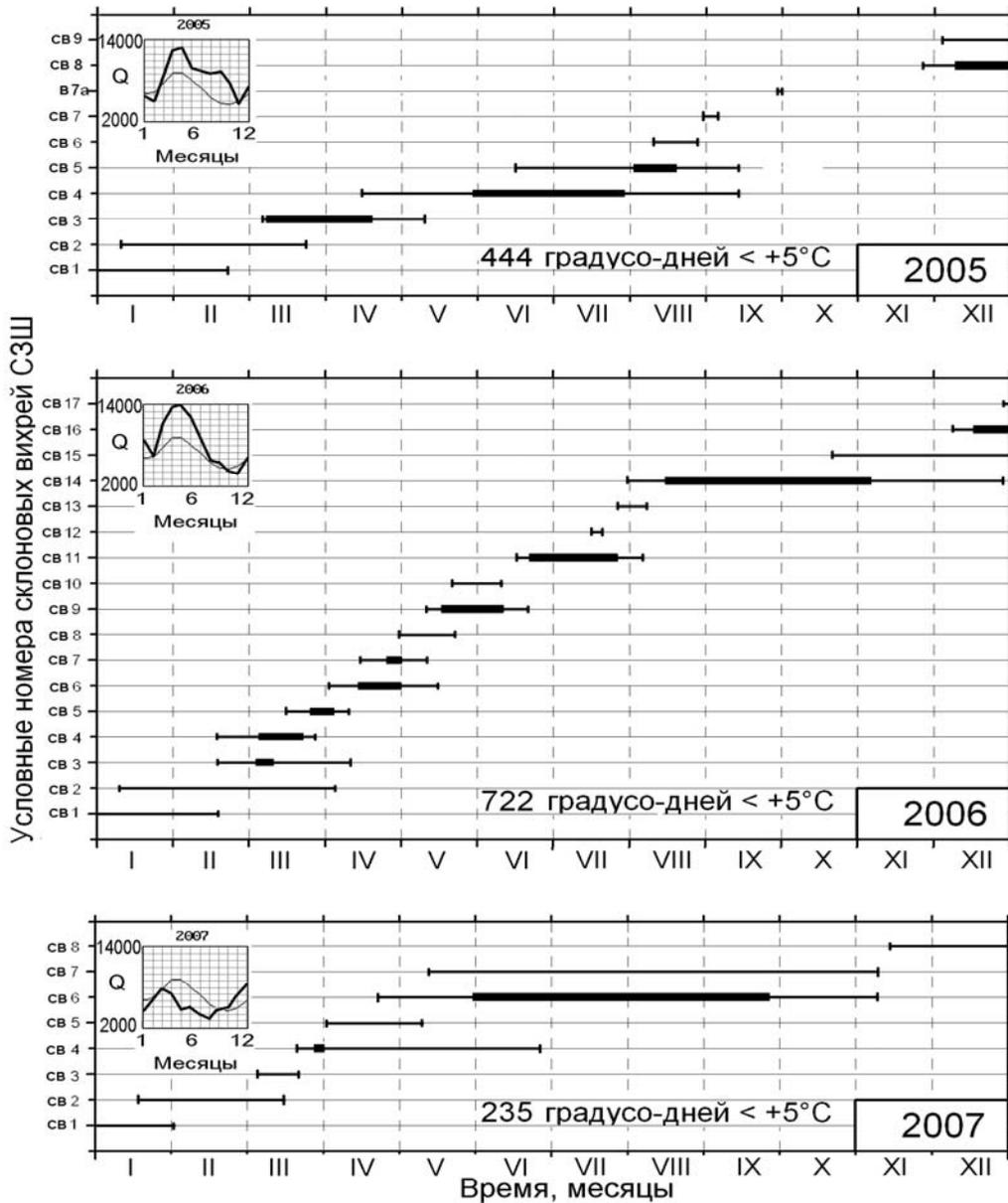
суммы среднесуточных температур приземного воздуха холодного полугодия с температурами $< +5^{\circ}\text{C}$.

Результаты и их анализ. В среднем у свала глубин северо-западного шельфа (СЗШ) формируется за год 10-11 СВ. Восемь вихрей было образовано в 2007 году и экстремальное количество – семнадцать в 2006 году. Утолщениями горизонтальных линий «жизни» вихрей на рис.1 выделены периоды их развития с визуальными размерами на поверхности 60 миль и более. Как правило, это происходит при задержках их поступательного движения на запад и юго-запад в области подводного амфитеатра с относительно пологим континентальным склоном. По обобщенным данным диаграммы суммарное время жизни всех СВ за годовой период составляло от 521 суток в 2005 до 954 суток в 2010 году. Суммарное за год время развития всех вихрей изменялось от 84 и 86 суток в 2007 и 2009 гг., соответственно, до 218 в 2006 году. Соответственно среднегодовой относительный период интенсивного развития СВ был минимальный в 2007 и 2009 гг. (13.8 и 13.7 %, соответственно) и максимальный в 2006 году (30.6%) (таблица).

Как мы уже отметили выше, к основным причинам интенсификации вдольсклоновой вихревой деятельности в западной половине Черного моря могут быть отнесены, во-первых, усиленное термодинамическое взаимодействие моря с атмосферой в предшествующий период холодного полугодия, во-вторых – большой объем вод речной разгрузки. Существенным фактором может быть и ветровой режим. При большой повторяемости умеренных и сильных ветров восточных направлений, воды речной разгрузки уже в приустьевых районах могут прижиматься к берегу, уходить на юг и не вовлекаться в рассматриваемые вихревые структуры центральных, а тем более восточных районов шельфа.

В зависимости от термических зимних условий и взаимодействия с атмосферой происходит накопление больших или малых запасов доступной потенциальной энергии (ДПЭ) ядрами крупномасштабных циклонических круговоротов открытого моря. Другим фактором поддержания вдольсклоновой циркуляции выступает речной сток. Чем больше речных вод повышенной плавучести поступает в море и распространяется к свалу глубин, тем интенсивней термохалинная составляющая крупномасштабной циркуляции и тем больше этих вод может вовлекаться в ядра синоптических антициклонических вихрей, развивая и усиливая последние.

На рис.2 представлены графики суммарных характеристик суровости зимних условий в атмосфере, средних расходов основного источника речной разгрузки СЗШ – реки Дунай за весенне-летние паводочные периоды (апрель-июнь) и среднегодовые характеристики вихревой деятельности в прилегающей к северо-западному и западному шельфу области континентального склона. Такие характеристики, как количество вихрей и суммарные периоды их активной деятельности уже описаны выше. Относительный период среднегодового интенсивного развития всех вихрей рассчитывался как процентное отношение суммарных за год суток интенсивного развития к полному периоду их жизнедеятельности. Короткий ряд наблюдений не позволяет получить корреляционную оценку связи между представленными характеристиками, но уже простой визуальный анализ графика показывает хорошее согласование как климатических факторов между собой, так и последних с параметрами вихревой деятельности. Совпадают все межгодовые тенденции представленных характеристик, но, все же, лучшее согласование вихревой деятельности отмечается с интегральной характеристикой зимнего термического режима атмосферы.



На врезках указано: слева сверху – ежемесячные расходы (толстые линии) на фоне ежемесячных климатических расходов р. Дунай ($\text{м}^3/\text{с}$, тонкие линии); внизу по центру – суммы среднесуточных температур воздуха холодного полугодия со значениями $< +5^\circ\text{C}$; справа внизу – годы.

Рис. 1 - Ежегодные диаграммы времени «жизни» и интенсивности вихрей северо-западного склона («Севастопольских») Черного моря.

В среднем за шестилетний период около 75% вихрей было сформировано в непосредственной близости к юго-западной части Крымского полуострова и всего лишь 4-5 вихрей в Каламитском заливе. Места зарождения 12 вихрей из-за погодных условий и существенного облачного покрова неизвестны.

В каждом из рассмотренных лет существовало, по крайней мере, по одному вихрю с периодом «жизни» 5 и более месяцев. Экстремальным было время «жизни» вихря СВ4 в 2008 году (> 7 месяцев) с многочисленными периодами его усиления и ослабления. Время зарождения таких вихрей, как правило, относится к марту-апрелю, т.е. в пе-

риод, когда ОЧТ наиболее интенсивно. Только после суровой зимы 2006 года вихрь-«долгожитель» сформировался в последних числах июля, т.е. очень поздно.

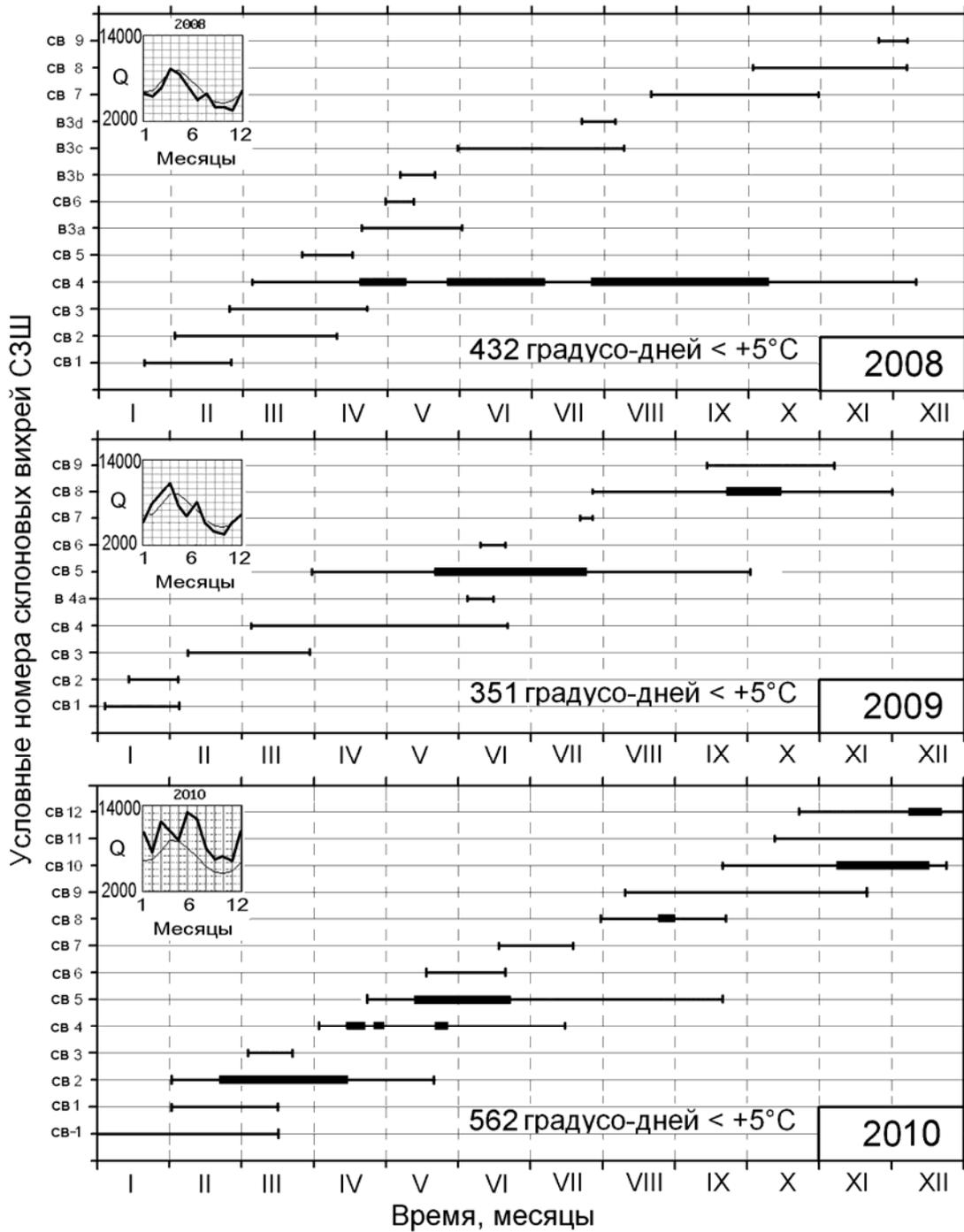


Рис.1 - Продолжение 1

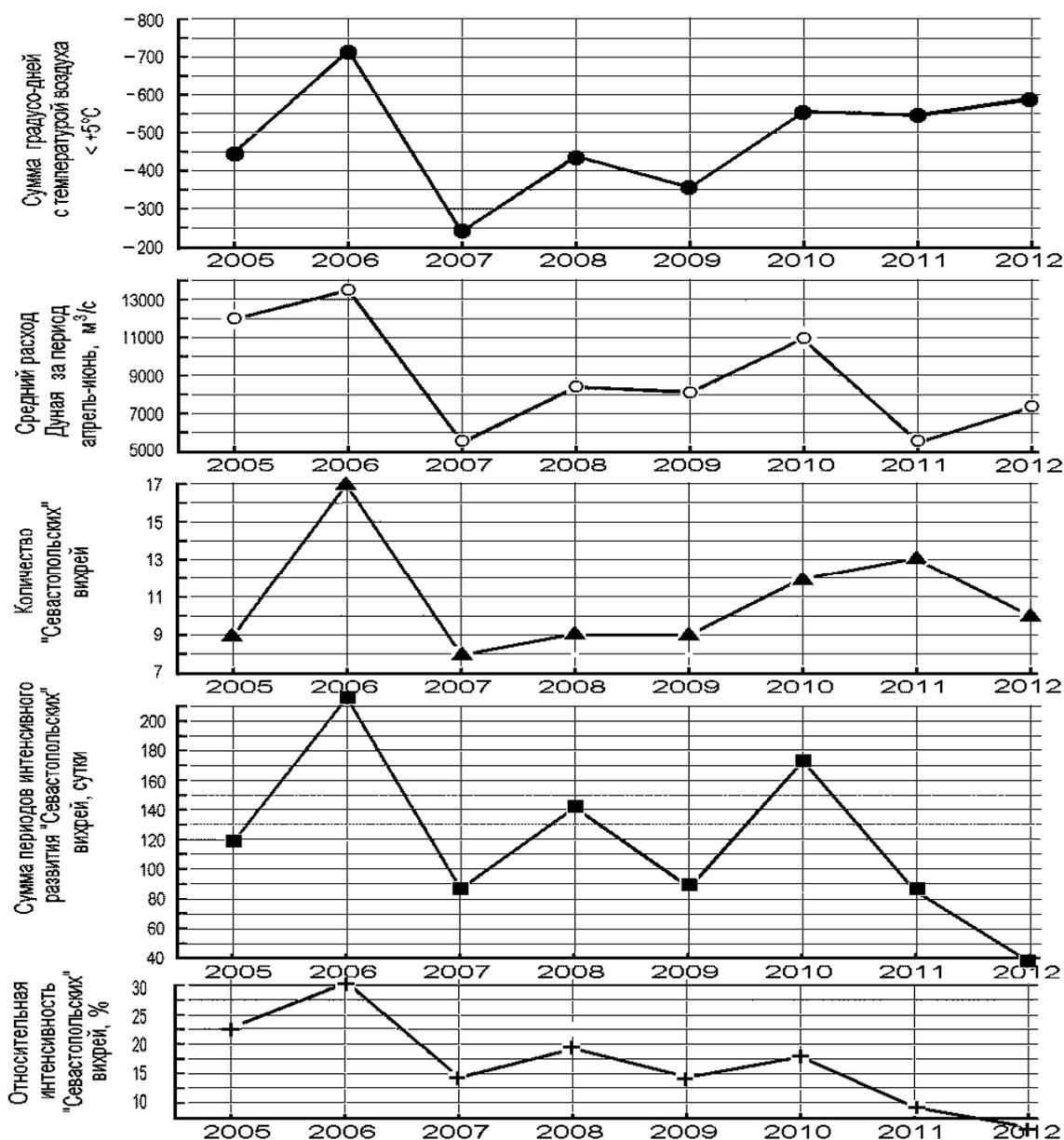


Рис.2 - Суммарные по годам климатические характеристики зимнего термического состояния атмосферы (по данным Одессы), весенних расходов р.Дунай и параметры вихревой деятельности в области северо-западного и западного участков материкового склона Черного моря.

Рассмотрим возможные управляющие механизмы развития синоптических склоновых вихрей. Один из важнейших механизмов рассмотрен в работе [4], а механизм зимнего усиления энергетики крупномасштабных динамических систем в [5]. В зимний период происходит усиление ветровой активности, накопление ДПЭ в центрах крупномасштабных динамических образований. Это приводит к интенсификации циклонической циркуляции: в климатическом плане на всем протяжении круговоротов [15], а при суровых зимних условиях - наиболее активно на северных перифериях смещенных к северу ядер крупномасштабных циклонических круговоротов. Как в процессе накопления зимой, так и позднее, в весенне-летнее время, происходит перераспределение ДПЭ и ее переход в кинетическую энергию ОЧТ и сопутствующих мезомасштабных вихрей.

Накопление ДПЭ происходит и на обширном северо-западном шельфе. Плотные зимние воды стекают в придонном слое с севера. В силу геострофичности, это должно приводить к формированию на верхней границе склона потоков обратного, восточного направления. В итоге, при совместной работе разнонаправленных механизмов, зимой происходит интенсификация узкой зоны антициклонической завихренности в виде цепочки мелких мезомасштабных вихрей.

При зимних условиях, как правило, нет достаточного пространства между струей ОЧТ и склоном для развития крупных вихрей. В холодное полугодие горизонтальные градиенты плотности между водами шельфа и водами открытого моря существенно уменьшаются. Происходит это за счет понижения температуры шельфовых вод, увеличении солёности при активизации вертикального перемешивания и, как следствие, существенного их уплотнения. Основная струя ОЧТ проходит вдоль кромки подводного амфитеатра, а ее северные ответвления глубоко заходят в восточные и центральные области шельфа.

В суровые зимы, при аномальном развитии и смещении к северному материковому склону ядер двух наиболее интенсивных циклонических синоптических вихрей суббассейновых зон дивергенции (западной и восточной) в зоне северной конвергенции могут развиваться и стационарировать сопутствующие мезомасштабные антициклонические вихри (см. также [16]).

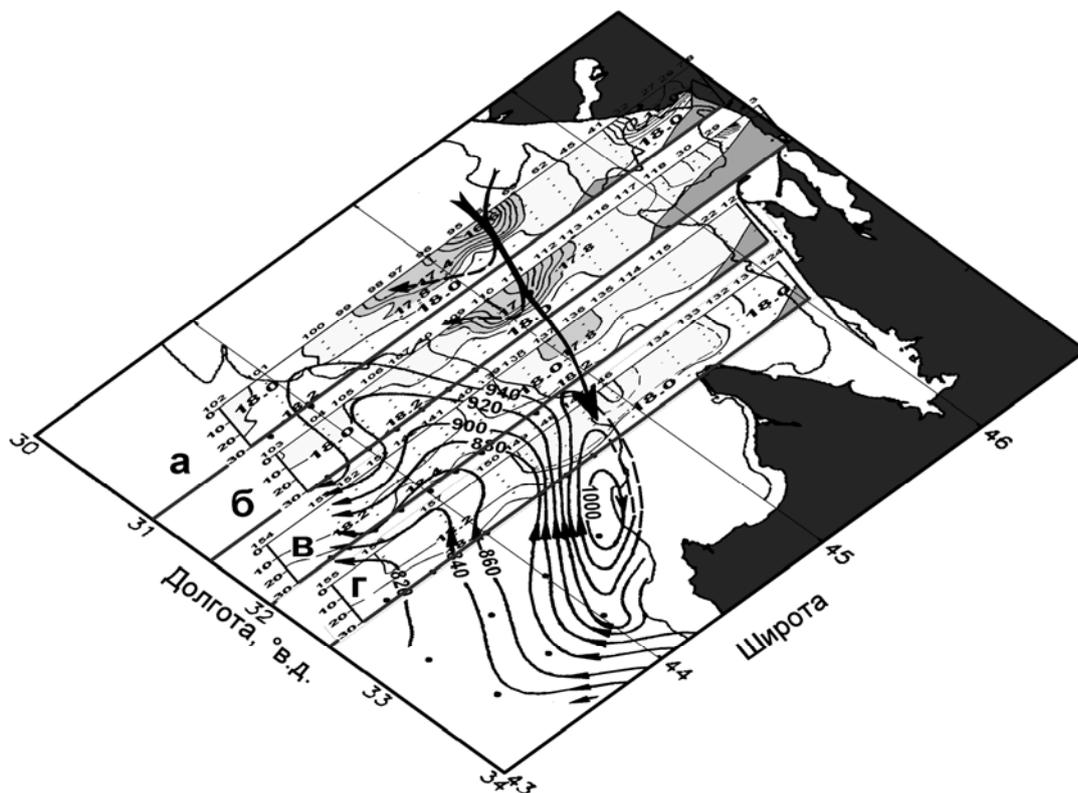
Достаточно широкое пространство для вихреобразования появляется только весной, когда значительная часть ДПЭ уже перешла в кинетическую энергию течений, а струя ОЧТ сдвинулась в открытое море. Таким образом, расширение пространства между ОЧТ и склоном, на наш взгляд, второе необходимое условие для развития антициклонического вихреобразования синоптического масштаба в зоне конвергенции. Однако значительное летнее расширение зоны конвергенции свидетельствует об ослаблении общей циклонической системы циркуляции моря, и вихри этой зоны становятся слабыми, размытыми и многоядерными.

Третьим условием, способствующим образованию и развитию крупных склоновых вихрей является наличие вблизи областей вихреобразования легких шельфовых вод. Втягиваясь и аккумулируясь в ядрах вихрей, они увеличивают радиальный градиент плотности и способствуют развитию вихреобразования. Для «Севастопольских» вихрей наиболее ранним весенним источником таких вод являются распространяющиеся вдоль ЮБК трансформированные воды, сформировавшиеся в результате таяния льда и весеннего паводка из Азовского моря. В апреле-начале мая они распространяются на запад по узкому шельфу ЮБК и зачастую аккумулируются к западу от южной части Крымского полуострова. При этом они создают повышенные горизонтальные градиенты плотности по отношению к окружающим водам и способствуют развитию начальной фазы антициклонического вихреобразования в удобном по орографическим признакам районе. Подводный выступ шельфовой кромки к юго-западу от Крымского полуострова бесспорно изначально играет очень важную роль в начальной генерации мезомасштабных вихревых структур северо-западного шельфа. Когда ОЧТ теряет устойчивость, справа от его стрежня начинают генерироваться периодические возмущения скорости [17].

Ранней весной шельфовые воды северо-западного шельфа, как правило, не распространяются на значительные расстояния от основных речных источников (из-за малости расходов в этот период) и в большинстве случаев не могут принимать участия в начальном генезисе склоновых вихрей. По мере своего развития, вихри перемещаются на запад и достигают района у западных границ донного амфитеатра, где они легко вовлекают трансформированные воды местного речного стока. При этом происходит интенсификация вихрей, замедление их движения вдоль материкового склона или, в зави-

симости от энергетики ОЧТ, длительное стационарирование. Процесс стационарирования вихрей связан как с резкими изменениями в донной орографии, так и с близостью источника легких распресненных вод. Анализируя вихревую деятельность, мы приняли во внимание лишь сток Дуная. В некоторые периоды, в зависимости от ветровых ситуаций, происходит активное распространение на восток и далее на юг днестровско-днепровских вод и их активное участие в формировании СВ, в том числе и в юго-восточных районах СЗШ.

Примером глубокого выноса вод с дунайского взморья в восточный районы кромки шельфа могут служить материалы океанографических наблюдений 20-го рейса НИС «Владимир Паршин» (сентябрь 1996 г.). На рис.3 представлены совмещенные картины распределения солёности воды на четырех меридиональных разрезах в слое 0-30 метров в поле динамической топографии слоя 0-200 метров. Струя распресненных вод распространяется в верхнем 20-ти метровом слое и по мере своего продвижения на восток сужается, а воды осолоняются. Геострофические расчеты скоростей течений на одном из разрезов (рис.4, сечение – б), показали, что северная периферия распресненного клина вод распространяется на восток - к вихрю, южная – в обратном направлении.



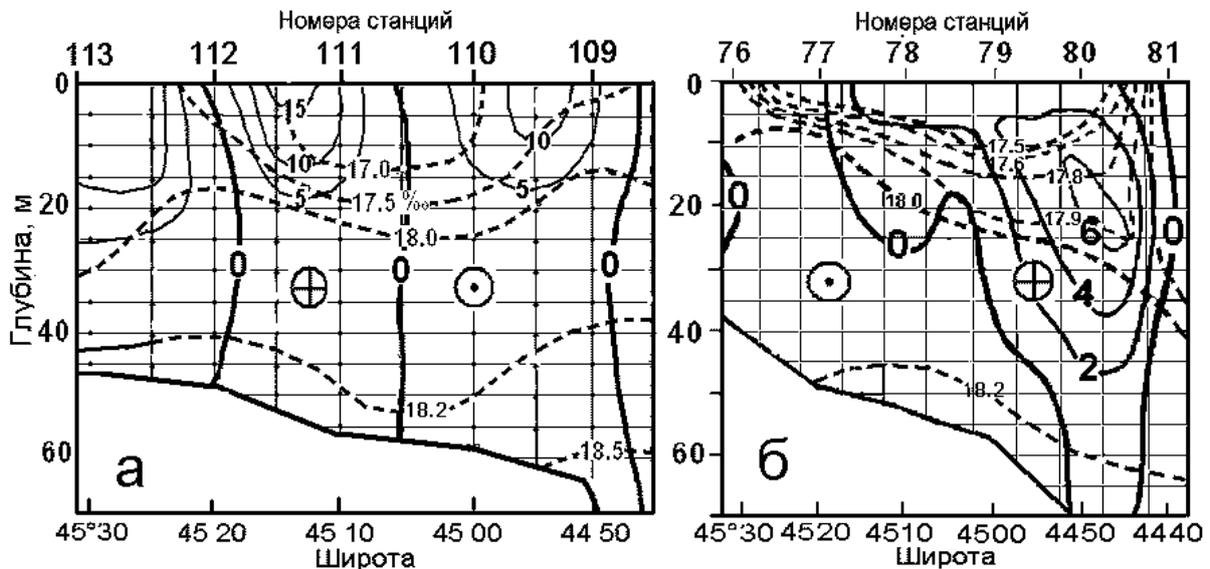
Нулевой горизонт 200 метров. 20 рейс НИС «Владимир Паршин», 01-19.09.1996 г.

Рис.3 - Вертикальное распределение солёности воды на 4-х меридиональных галсах, совмещенное с картой динамической топографии поверхностного слоя.

Подобная ситуация, но по экспедиционным данным в мае 1999 года уже была рассмотрена в [18]. Удельный объем восточного переноса вод с солёностью менее 17.5‰ в сентябре 1996 года составил 27,2 км³/месяц, что практически идентично оценке расхода, полученной нами по результатам работ в мае 1999 года (29 км³/месяц). Ширина струи в сентябре 1996 года составляла 15 миль, а в мае 1999 г. – 40 миль. Для сравнения, скорости течения во входном потоке одного из наблюдаемых вихрей 2005 года [13] по осредненным данным трех

методов оценивания, составили 0.15 ± 0.02 м/с, а ширина потока – 20-25 км, что неплохо согласуется с нашими приповерхностными данными.

Очень сложным остается вопрос о глубине трансфронтального потока шельфовых вод, внедряемого в вихрь. Как правило, исследователи считают расходы во всей толще, т.е. до дна. При этом оценка водообмена между шельфом и открытым морем может быть существенно завышена. Пока, без наличия подробных гидрофизических наблюдений данной вихревой структуры, этот вопрос остается открытым.



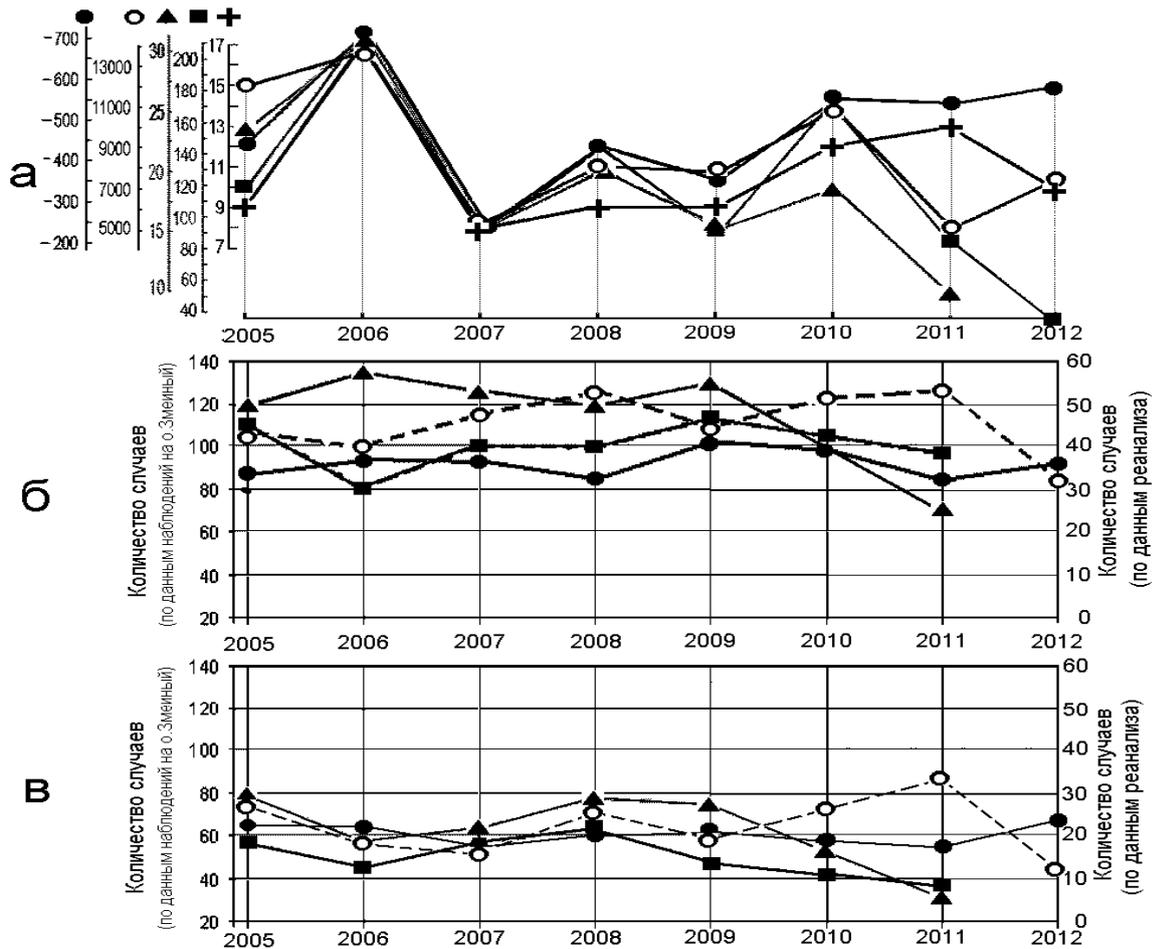
Примечание: Разрез по: а) 31°30' в.д. - в 20-30-ти милях к западу от периферии СВ (20-й рейс НИС «Владимир Паршин», 05.09.1996 г.); б) 31°45' в.д. - на северо-западной периферии СВ (22 рейс НИС «Владимир Паршин», 25-26.05.1999 г.)

Рис.4 - Вертикальное распределение горизонтальных скоростей зональных составляющих геострофических течений и солёности воды на участках меридиональных разрезов

Данные наблюдений над ветром на о-ве Змеиный характеризуют условия внешнего атмосферного воздействия в районе начального распространения вод дунайского стока, а данные ре-анализа NCEP-NCAR – в промежуточной точке их переноса к вихревым системам склона. Для совместного анализа активности вихреобразования на участке материкового склона СЗШ и ветрового режима в указанных районах нами взят период наиболее интенсивного распространения вод основной водной артерии СЗЧМ - Дуная - весенне-летний паводок.

Как по данным повторяемости ветров по основным румбам, так и по анализу прогрессивно-векторных диаграмм, в указанный период года отмечается существенное преобладание ветров с восточной составляющей. Исключение составляют неполные оценки за 2011 г. (за период без апреля месяца). В процентном выражении такое преобладание составляет от 20 до 200% (рис.5). Преобладание восточных ветров над западными проявляется и при скоростях ветра более 5 м/с.

Сравнение графиков межгодовой изменчивости характеристик вихреобразования (рис.2) и параметров ветра в рассматриваемых районах (рис.5) показывает отсутствие какой-либо связи между этими параметрами. Более того, в год наиболее активного вихреобразования (2006) наблюдалось уменьшение повторяемости ветров западных румбов и увеличения повторяемости восточных.



Примечание к рисунку а:

- Сумма суточных температур со значениями $< +5^{\circ}\text{C}$
- Среднемесячный расход Дуная за период апрель-июль
- ⊕ Количество "Севастопольских" вихрей
- Сумма суток интенсивного развития "Севастопольских" вихрей
- ▲ Относительная интенсивность "Севастопольских" вихрей

Примечание к рисункам б и в:

По данным натуральных наблюдений на острове Змеиный

- ▲ Повторяемость ветров с восточной составляющей
- Повторяемость ветров с западной составляющей

По данным реанализа NCEP-NCAR в точке 45°30' с.ш., 31°00' в.д.

- Повторяемость ветров с восточной составляющей
- Повторяемость ветров с западной составляющей

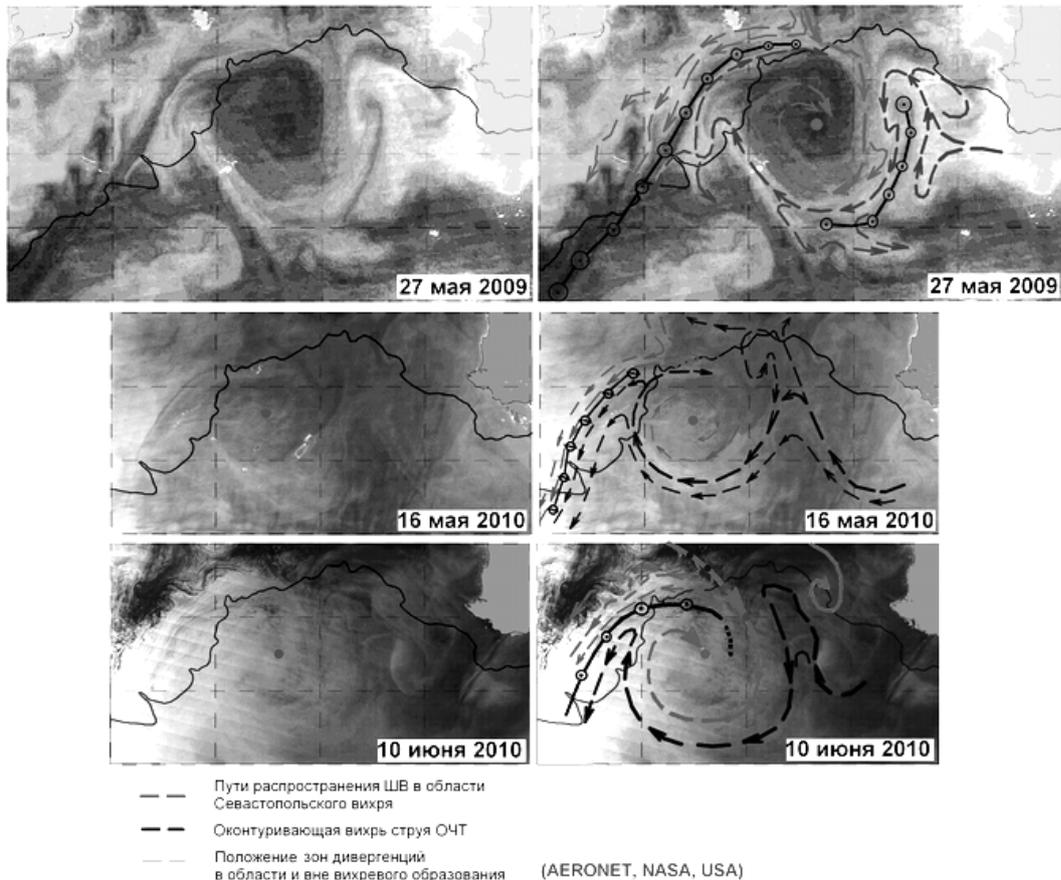
а) - суммарные по годам климатические характеристики зимнего термического состояния атмосферы, весенние расходы р.Дунай, параметры вихревой деятельности в области северо-западного и западного участков материкового склона Черного моря (взяты из рис.2);

б) межгодовая изменчивость повторяемости (количество случаев) всех ветров с западными (пунктирные линии) и восточными (сплошные линии) составляющими по массивам данных наблюдений на о. Змеиный и ре-анализа NCEP-NCAR;

в) только ветры со скоростями 5 и более м/с.

Рис.5 - Совмещенные графики суммарных по годам климатических характеристик зимнего термического состояния атмосферы, весенних расходов р.Дунай, параметров вихревой деятельности в области северо-западного и западного участков материкового склона Черного моря, а также межгодовой изменчивости повторяемости ветров с различными составляющими.

И, наконец, в завершение рассмотрим вероятное поле течений и фронтов в рассматриваемых антициклонических вихрях. Были выбраны три визуальных снимка вихревых образований 2-х последних лет (рис.6). На всех картинках шельфовые воды внедряются в вихри на их северной периферии. Геострофические расчеты по ранее рассмотренным съемкам показали, что перед входом в вихрь образуется своеобразная дельта (рис.3 и 4а), где происходит разделение потока шельфовых вод. Значительная часть вод до подхода к вихревому образованию не вовлекается в вихрь, а разворачивается и уходит в ЮЗ направлении вдоль активного фронта между шельфовыми водами и водами ОЧТ западного меандра вихря.



Слева – изображения без наложения рисунков.

Рис.6 - Предполагаемая схема течений и положения зон дивергенций и фронтов в трех типичных антициклонических вихрях северо-западного склона Черного моря на фоне их реальных цветных изображений (AERONET, USA).

Воды ОЧТ, представляющие внешнюю оболочку вихря, вовлекаются в два глубоких циклонических меандра – с тыловой и передней сторон вихря. В тыловой части вихря образуется узкая оконтуривающая зона дивергенции вод, связанная с разнонаправленными движениями вод ОЧТ в циклоническом меандре. В его угловой северной части часто развивается более мощный, чем в остальной зоне, циклонический вихрь-спутник. Такая же, и тоже интенсивная зона дивергенции образуется с передней стороны вихря. Северо-западная граница зоны дивергенции является интенсивным шельфовым фронтом с высокими скоростями переносов шельфовых вод в юго-западном направлении. Активность этих переносов можно видеть на анимационных представлениях этой области по температурным полям. Анализируя рис.6 можно сделать вывод, что,

по-видимому, происходило глубокое внедрение рассматриваемого фронта в ядро вихревого образования, по крайней мере, в приповерхностном слое.

Выводы.

1. По результатам наблюдений над вихревыми системами северо-западного участка континентального склона Черного моря в среднем за год здесь формируется восемь-девять «Севастопольских» вихрей. В 2006 году их было сформировано семнадцать.

2. Максимального развития и частого стационарирования вихри достигают, как правило, в области подводного амфитеатра с относительно пологим континентальным склоном и некоторым подводным барьером в виде западного склона амфитеатра и, расположенного южнее, подводного хребта.

3. По обобщенным данным суммарное время жизни «Севастопольских» вихрей за годовой период составляло от 521 суток в 2005 до 954 суток в 2010 году. Суммарное за год время интенсивного развития вихрей изменялось от 84 и 86 суток в 2007 и 2009 гг., соответственно, до 218 в 2006 году. Соответственно среднегодовой относительный период интенсивного развития СВ был минимальный в 2007 и 2009 гг. (13.8 и 13.7 %, соответственно) и максимальный в 2006 году (30.6%) (табл.1).

4. Хорошее согласование на коротком 6-ти летнем ряде наблюдений отмечается между климатическими факторами (интегральные характеристики зимнего термического режима атмосферы и объемы весеннего речного стока) и вихревой деятельностью на склоне СЗ шельфа.

5. В среднем за шестилетний период около 75% вихрей было сформировано в непосредственной близости к юго-западной или западной оконечности Крымского полуострова (мыс Херсонес) и всего лишь 4-5 вихрей несколько северней, в южной части Каламитского залива. Места зарождения 12 вихрей из-за погодных условий и существенного облачного покрова неизвестны.

6. В каждом из рассмотренных годов существовало, по крайней мере, по одному вихрю с периодом «жизни» 5 и более месяцев. Экстремальным было время «жизни» вихря СВ4 в 2008 году (> 7 месяцев) с многочисленными периодами его усиления и ослабления. Время зарождения таких вихрей, как правило, относится к марту-апрелю, и только после суровой зимы 2006 года вихрь-«долгожитель» сформировался позднее, в последних числах июля.

7. Основными управляющими механизмами аномально активного вихреобразования Черного моря у северо-западной части континентального склона по нашим представлениям являются: зимнее накопления ДПЭ крупномасштабными циклоническими круговоротами; связанная с этим процессом степень расширения зоны конвергенции; характер и объемы поступления легких шельфовых вод в зону вихреобразования.

8. Какой-либо связи локального ветрового режима в районе выноса дунайских вод и активности вихреобразования в области материкового склона СЗШ не обнаружено.

9. Рассматриваемые вихревые системы представляют собой активные конвергентные зоны, втягивающие в свое орбитальное движение и трансформирующие большие объемы загрязненных шельфовых вод. Им сопутствуют оконтуривающие и достаточно интенсивные ленточные зоны дивергенций, вызывающие активный подъем к поверхности холодных промежуточных вод и фронтальные зоны с интенсивным переносом шельфовых вод в юго-западном и южном направлениях.

Список литературы

1. Богатко О.Н., Богуславский С.Г., Беляков Ю.М., Иванов Р.Е. Поверхностные течения в Черном море. Комплексные исследования Черного моря. – Севастополь: МГИ АН СССР, 1979. - С.25–33.

2. Блатов А.С., Булгаков Н.П., Иванов В.А. и др. Изменчивость гидрофизических полей Черного моря. - Л.: Гидрометеиздат, 1984. - 240 с.

4. Латун В.С. Роль антициклонических вихрей в межсезонных изменениях термохалинной структуры и геострофической циркуляции вод. - М: Гидрометеиздат, 1989.-201с.

5. Георгиев В.Т., Герасимов С.А., Попов Ю.И. Гидродинамическое состояние вод открытых областей северной половины Черного моря в 1992-1993 гг. - В сб. "Исследование экосистемы Черного моря" -Одесса: Ирен-полиграф.-1994. вып.1.- 157с.

6. Fedorov, K.N., Ginsburg, A.I. 'Mushroom-like' currents (vortex dipoles) in the ocean and in a laboratory tank // Ann. Geophys. 1986.- v.4 (B5).- p.507 – 516.
7. Fedorov, K.N., Ginsburg, A.I. The Near-Surface Layer of the Ocean, VSP, Utrecht, The Netherlands. 1992.-259 pp.
8. Левиков С.П. (Ред.). Изучение и моделирование гидрофизических процессов в Черном море. М.: Гидрометеиздат, 1989. -141 с.
9. Гришин Г.А., Субботин А.А. Изучение вихревого диполя в Черном море по спутниковым данным и судовым измерениям // Исследование Земли из космоса. -1992.- 5.- С.56–64.
10. Oguz, T., Latun, V.S., Latif, M.A., Vladimirov, V.L., Sur, H.I., Markov, A.A., Ozsoy, E., Kotovshchikov, B.B., Eremeev, V.N., Unluata, U. Circulation in the surface and intermediate layers of the Black Sea // Deep-Sea Res. -1993.- v.40 (8), P.1597–1612.
11. Гинзбург А.И. Процессы горизонтальных изменений в приповерхностном слое Черного моря // Исследование Земли из космоса. -1994.- 2.- С.75–83.
12. Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Соловьев Д.М., Станичный С.В. Эволюция антициклонических вихрей в северо-западной части Черного моря // Исследование Земли из космоса. -1996.-4.- С.67–76.
13. Georgy I.Shapiro, Sergey V.Stanichny, Rimma R.Stanychna. Anatomy of shelf-deep sea exchanges by a mesoscale eddy in the North West Black Sea as derived from remotely sensed data // Remote Sensing of Environment. -2010.-v.114.- P.867-875.
14. A.I. Ginzburg, A.G.Kostianoy, N.P.Nezlin, D.M.Soloviev, S.V.Stanichny. Anticyclonic eddies in the northwestern Black Sea // Journal of Marine System. -2002.-v.32.- P.91-106.
15. Артамонов Ю.В., Белокопытов В.Н., Скрипалева Е.А. Сезонная динамика крупномасштабных циклонических круговоротов Черного моря // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: МГИ НАН Украины.-2006.- С.268-270.
16. Полонский А.Б., Попов Ю.И. Условия формирования вод холодного промежуточного слоя Черного моря// Книжная серия «Современные проблемы океанологии».-Севастополь:-МГИ НАН Украины.- 2011.-вып.8.- 52 с.
17. В.С.Латун. Структура течений вблизи Южного берега Крыма// Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. - Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика». – 2001.- вып.3. - С.53-56.
18. Попов Ю.И. Распространение шельфовых вод в северо-западной части Черного моря и их обмен с водами открытого моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа, Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика».– 2010.- вып.26. С.117-126.

О деяких структурно - динамічних особливостях антициклонічних вихорів північно-західної частини материкового схилу Чорного моря. Попов Ю.І., Полонський О.Б.

На основі супутникової інформації за період з 2005 по 2011 рр. проаналізовано характеристики вихорів, що генеруються над материковим схилом в північно-західній та західній частинами Чорного моря. Розраховано кількість вихорів, що генеруються, термін їх життя та інтенсивного розвитку. З'ясовано положення фронтів і напрямлення переносів вод в найбільше характерних вихорах. Визначено тісний зв'язок вихровий активності у регіон, що розглядається з термічним станом у зимовий період та мінливістю розходів Дунаю.

Ключові слова: Чорне море, материковий схил, антициклонічні вихори

On certain structural - dynamic features of anticyclones vortices in North-Western part of the Black Sea continental slope. Popov Yu., Polonsky A.

Based on satellite data for the period 2005 - 2011 the following characteristics of vortices generated over the continental slope in the north-western and western parts of Black Sea were analyzed. A number of vortices generated by the term of their existence and intensive development were calculated. The front position and direction of water transfers in the most typical eddies were determined. Close relationship of eddy activity in the area that is foreseen with thermal state in winter and variability flow of the Danube.

Keywords: Black Sea, continental slope, anticyclone eddies