

УДК 551.465

Ю.И. Попов, к.геогр.н., **А.С. Матыгин**, к.ф.-м.н., **В.В. Украинский**, **Е.П. Ломакин**,
И.В. Малахов

Украинский научный центр экологии моря

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СКЛОНОВЫХ ВОД СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ШЕЛЬФА ЧЕРНОГО МОРЯ В СЕНТЯБРЕ 2008 ГОДА

*По результатам контактных экспедиционных и спутниковых наблюдений рассмотрены процессы и выделены основные факторы динамического взаимодействия вод шельфа и открытого моря в тыловой части синоптического вихря северо-западной части материкового склона Черного моря.
Ключевые слова: антициклонический вихрь, воды шельфа и открытого моря, циркуляция вод*

Введение.

Юго-восточная часть северо-западного шельфа (СЗШ) и прилегающая область материкового склона Черного моря обладают сложной и изменчивой гидродинамической структурой. В этом районе генерируются и развиваются, стационарируют или перемещаются в западном направлении одни из наиболее крупных синоптических антициклонических вихрей Черного моря – так называемые «севастопольские» вихри [1]. При движении вихря, в его тыловой части формируется интенсивная система взаимодействия вод различного происхождения. Одна из ситуаций развития течений грибовидной формы в тылу антициклона описана в работе [2]. Последнее десятилетие характеризуется значительным сокращением морской экспедиционной деятельности. Спутниковые наблюдения частично восполняют этот пробел, но интерпретация изменчивых поверхностных полей не всегда адекватно может отображать динамическую структуру вод. До настоящего времени нет однозначного ответа на вопросы о механизмах генерации вихревых структур и о процессах их влияния на обмен вод северо-западного шельфа и открытого моря. Цель работы: оценка климатических изменений гидрологической структуры вод северо-западной части Черного моря и описание механизмов, формирующих течения грибовидной формы на материковом склоне СЗШ.

Материалы исследования.

В период с 21 по 27 сентября 2008 года на материковом склоне северо-западной части Черного моря (СЗЧМ) с борта научно исследовательского судна «Владимир Паршин» Украинского научного центра экологии моря (УкрНЦЭМ) были проведен комплекс океанографических и геоэкологических работ по программе исследований Одесского Национального Университета им. И.И.Мечникова, который позволил оценить осеннее гидрофизическое, гидрохимическое и гидробиологическое состояние вод исследуемого региона.

Схема расположения станций на полигоне 29 рейса НИС „Владимир Паршин” показана на рис. 1. Весь комплекс наблюдений за температурой, соленостью, а также отбор проб воды для определения гидрохимических параметров морских вод производились с помощью зондирующего комплекса «Гидрозонд» с использованием стандартных методик.

Климатические характеристики гидрофизических параметров вод полигона были получены из базы данных УкрНЦЭМ (за период 1955 – 2007 гг.). В работе использована информация, приведенная в справочнике [3] и спутниковая информация с сайта Морского гидрофизического института <<http://dvs.net.ua/>>.

Результаты исследования.

По данным Гидрометцентра Черного и Азовского морей (г.Одесса) в период, предшествующий съемке, отмечалась активизация ветровых условий в районе СЗШ:

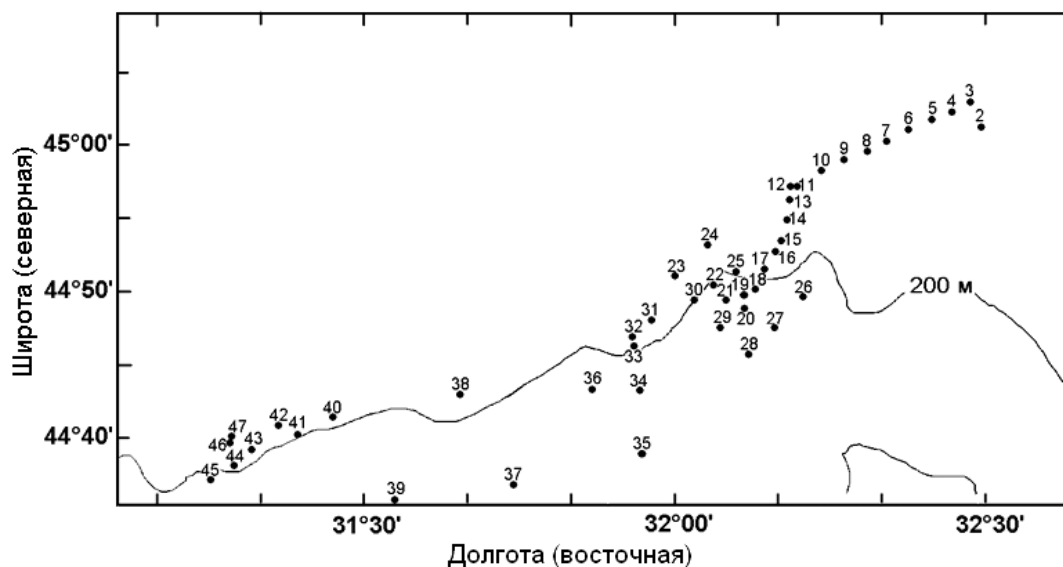


Рис. 1 - Схема расположения станций 29 рейса НИС «Владимир Паршин». 21–27.09.2008 г.

15-16 сентября наблюдались В-ЮВ ветры со скоростями 10-15 м/с; 18-19 сентября - ветры СЗ направлений до 10-15 м/с. Непосредственно во время выполнения работ имели место слабые ветры переменных направлений. Таким образом, ветер не мог существенно влиять на формирование структуры океанографических полей непосредственно в период экспедиционных работ.

В рассматриваемом регионе моря в сентябре осредненные в климатическом масштабе термохалинные значения составляли: поверхностная температура - 21°C, соленость – 17,7‰.

Расчитанные средние значения температуры и солености по району работ составили, соответственно 20,52°C и 17,22‰. Необходимо учитывать, что наблюдения производились в последней декаде сентября, а вышеприведенная климатические значения рассчитаны на середину месяца, а для переходного осеннего сезона она быстро изменяется. Значение температуры воды на конец месяца должно быть несколько ниже среднемесячной величины, поэтому в статистическом смысле измеренные значения температуры близки к средним климатическим. В тоже время тренд изменения среднемесячного климатического значения солености для данного периода положительный, поэтому можно утверждать, что наблюдаемая соленость поверхностных вод ниже климатической средней не менее чем на 0,5‰.

На рис. 2 приведены средние и экстремальные наблюдаемые и климатические значения вертикального распределения температуры воды в сентябре для акватории полигона. При климатическом осреднении однородный слой имеет толщину 10 м, а термоклин располагается в слое 10-30 метров. Отличие вертикального распределения температуры от среднемноголетнего в сентябре 2008 года заключалось в том, что сезонный термоклин был заглублен на 10-20 метров и находился в слое 20-50 метров. Но основной особенностью рассматриваемой структуры являлось распределение температуры в нижних слоях 75-90 м, в которых минимальное значение температуры на полигоне имели более высокие значения, чем максимальные за весь период наблюдений в

центральном районе северо-западной части Черного моря (СЗЧМ), см. рис. 2 (врезка). Объясняется этот факт изменением климатических характеристик атмосферы в Азово-Черноморском регионе [4], и, как следствие, преобладанием теплых зим в последний 10-летний период. В этом аспекте следует отметить, что в районе о. Змеиный также зафиксировано повышение средней зимней температуры на глубинных горизонтах более, чем на 3°C по сравнению с 80-ми годами двадцатого столетия [5].

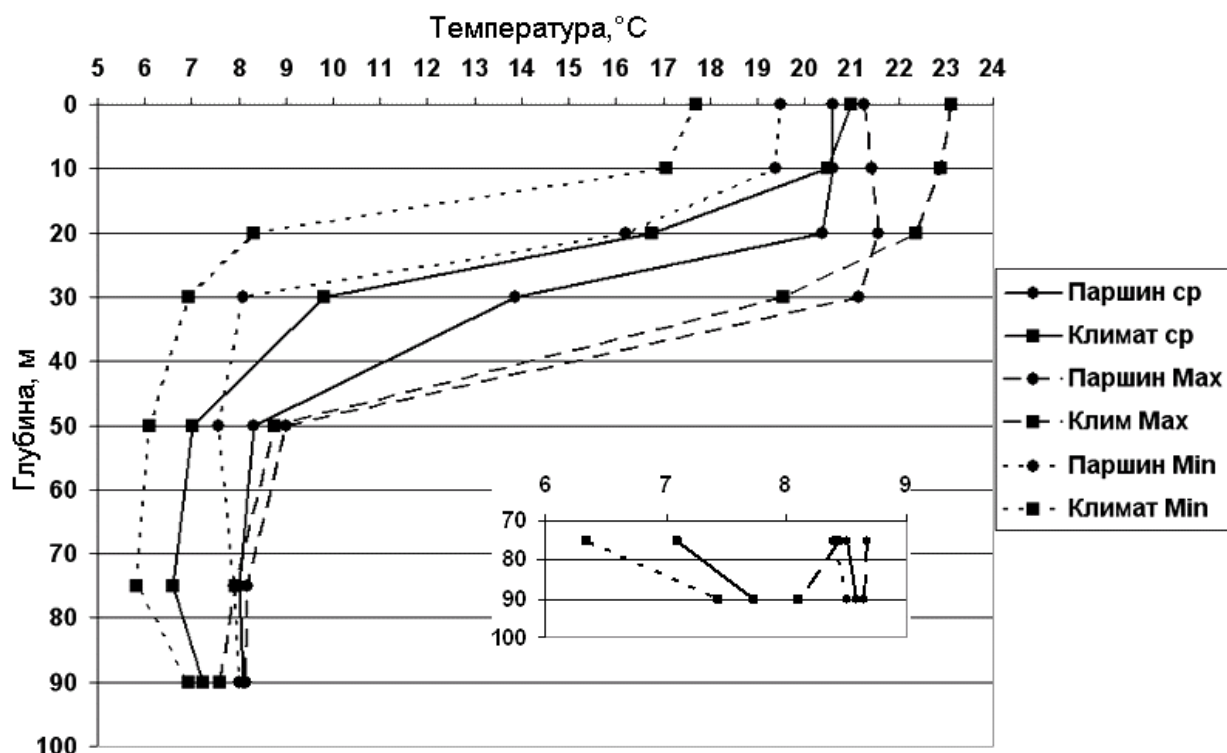


Рис. 2 - Вертикальное распределение наблюдаемых и климатических оценок средних и экстремальных значений температуры воды на акватории полигона. На врезке – в увеличенном масштабе распределение оценок в слое 75 – 90 м.

В области шельфа с глубинами до 70-ти метров ядро холодного глубинного слоя располагалось непосредственно у дна. У кромки шельфа и далее в направлении свала глубин наиболее холодные воды уже представляли собой обособленное ядро и изопикнически распространялись в район свала глубин, формируя периферийные области холодного промежуточного слоя (ХПС) Черного моря. Глубина залегания ядра ХПС в области свала глубин находилась в пределах 74-84 м, а средняя температура вод ядра ХПС составляла $7,87^{\circ}\text{C}$, что для исследуемой акватории является максимальным средним значением за последние 30 лет (рис. 3). Близкие значения температуры воды в ядре ХПС отмечались лишь в 1981 и 1984 годах ($7,82$ и $7,59^{\circ}\text{C}$, соответственно). Самые холодные зимы за последние 30 лет наблюдались в 1985 и 1987 годы. Естественно, в эти годы формировались и наиболее холодные воды промежуточного слоя (для рассматриваемого района – $6,12$ и $6,06^{\circ}\text{C}$). Относительно холодными были и зимние условия 1993, 1996 и 2006 годов, что также отразилось в относительно низких значениях температуры воды ядра ХПС ($6,38$ в 1993 г. и $6,74^{\circ}\text{C}$ в 1996). Морские наблюдения в 2006 году не производились.

Несмотря на ограниченные размеры полигона, трехмерная структура поля солености также имела свои интересные особенности, которые свидетельствуют о значительных изменениях в гидрологическом режиме СЗЧМ. До горизонта 50 м значения

солености примерно на 0,5 ‰ меньше средней климатической величины, что подтверждает присутствие шельфовых вод (воды с соленостью менее 17,5‰, [6]). Граница распространения этих вод имела аномально восточное для данного времени года положение и была достаточно интенсивна - поперечный градиент солености в области фронта составлял 1,5-2,0‰ на 10 миль (рис. 4).

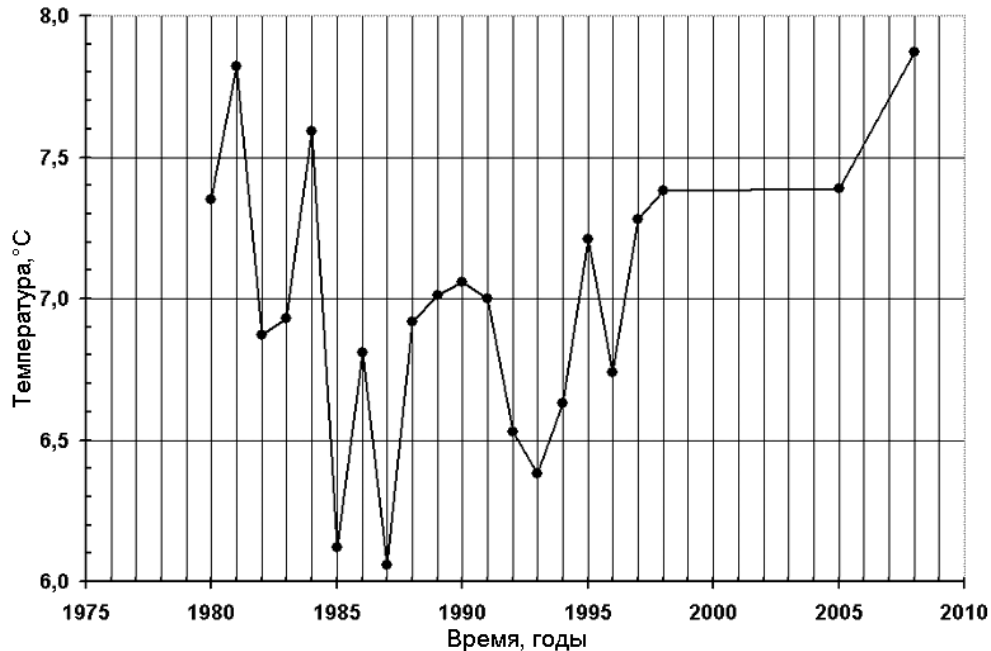
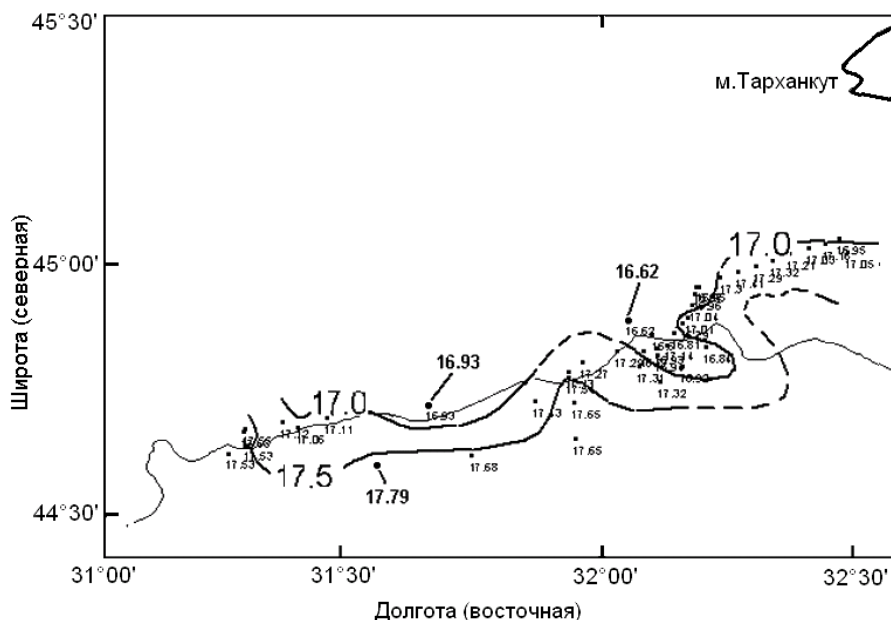


Рис. 3 - Временной ход изменения температуры воды в ядре ХПС в области свала глубин СЗШ.



климатических норм. Этот факт может быть объяснен тем, что на полигоне в момент его производства находились несколько вихревых образований, которые, в зависимости от их направления вращения, могли опускать поверхностные шельфовые воды или поднимать соленые глубинные. Прояснить ситуацию может информация о спутниковых наблюдениях за поверхностной температурой воды в СЗЧМ. Ежесуточные спутниковые реальные и модельные температурные поля и, построенные на их основе температурные анимации, позволяют оценить циркуляционный режим рассматриваемой акватории моря [7].

На рис. 5 представлен фрагмент циркуляции в северной части западной половины моря по состоянию на 25 сентября 2008 года. Черными стрелками на рисунке показаны струи вихревых и связующих переносов. Белая стрелка в западной части рисунка характеризует месячное смещение «севастопольского» вихря, а стрелка в восточной части – смещение западного гребня южно-крымского антициклонического вихря. Тонкой белой линией выделена акватория исследуемого района.

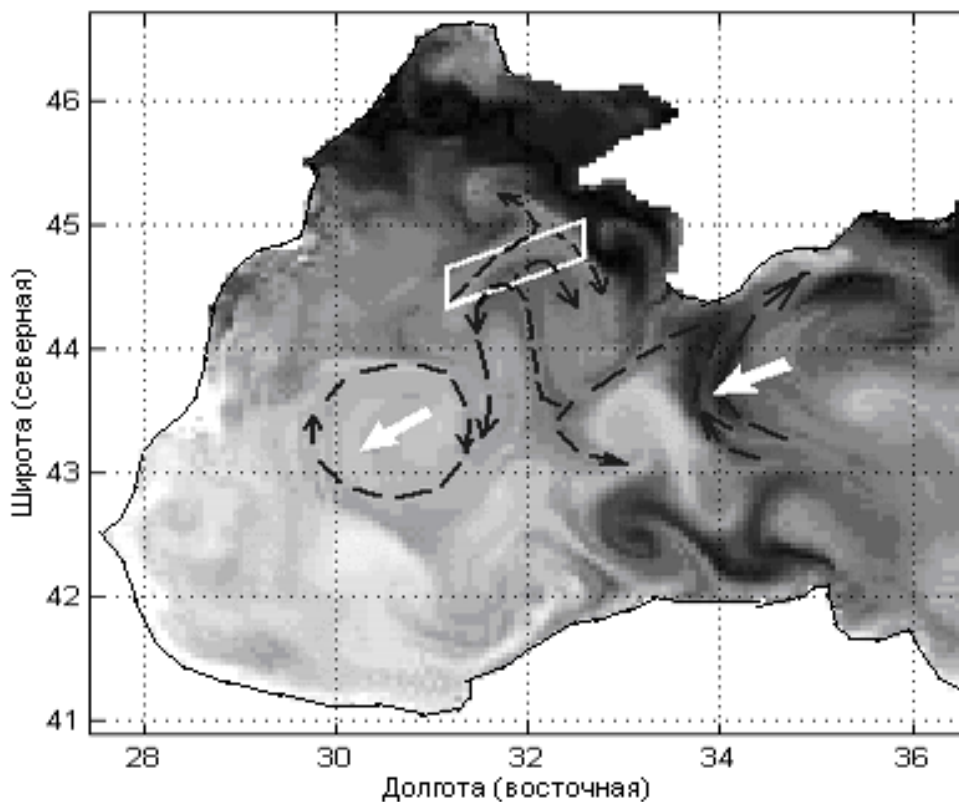


Рис. 5 - Фрагмент схемы поля течений в северо-западном секторе Черного моря, полученный при анализе температурных анимаций. В градациях серого цвета термическое поле от 25 сентября 2008 года.

Анализ анимаций температурных полей всего Черного моря показывает, что выраженной струи общециклонического переноса в сентябре 2008 года в море не отмечалось, преобладала вихревая структура динамического поля. Крупномасштабный циклонический перенос вод осуществлялся в основном вихревыми структурами и чрезвычайно изменчивыми связующими участками струйных течений.

Динамическая структура на полигоне определялась системой грибовидных течений (см. рис. 5), возникших при смещении «севастопольского» вихря» в юго-западном направлении. Северная ветвь струи Основного черноморского течения (ОЧТ), уходя на запад от южной оконечности Крымского полуострова, в районе меридиана

32° в.д. резко поворачивала в северном направлении, восполняя дефицит массы воды, связанный с их частичным уходом в вихревом образовании. На севере, в районе полигона, шельфовые воды и свал глубин блокировали распространение в область шельфа вод ОЧТ. В верхушке грибовидного течения усилился галинный фронт (см. рис. 4, 5) а его волнообразная структура хорошо согласовывалась с направлением потоков описанных динамических образований. При достижении потоком ОЧТ материкового склона (почти по нормали) происходило его разветвление и формирование ярко выраженной структуры в виде грибовидного течения. Восточная ветвь традиционно формировала «новый» «севастопольский» вихрь, а западная - циклоническую завихренность в тылу уходящего вихря. Как показал анализ температурных анимаций последующего периода, в октябре произошло активное развитие циклонического вихря, он уничтожил «старый» антициклон и доминировал в центре западной половины моря. Отмечаемый в восточной части полигона заток с севера шельфовых вод в точности соответствовал направлению восточной ветви грибовидного течения.

Представленный на рис. 6 разрез геострофических скоростей течений хорошо согласуется с рассмотренными выше особенностями пространственной структуры поверхностных течений. В районе станций №№ 31 и 32 (~32° в.д.) наблюдается мощный поток вод северного направления со скоростями более 30 см/с, соответствовавший стволу грибовидной структуры (см. рис. 5, 6). Между станциями 24-12 (32°12' в.д.) и 32-38 (31°36' в.д.) отмечаются потоки обратного - южного направления, т.е. боковые лепестки рассмотренной грибовидной структуры. Еще одним доказательством наличия восточной антициклонической завихренности грибовидного течения служит глубокое опускание вод поверхностного слоя с повышенным содержанием растворенного кислорода в районе станции 20 (~32°08' в.д.).

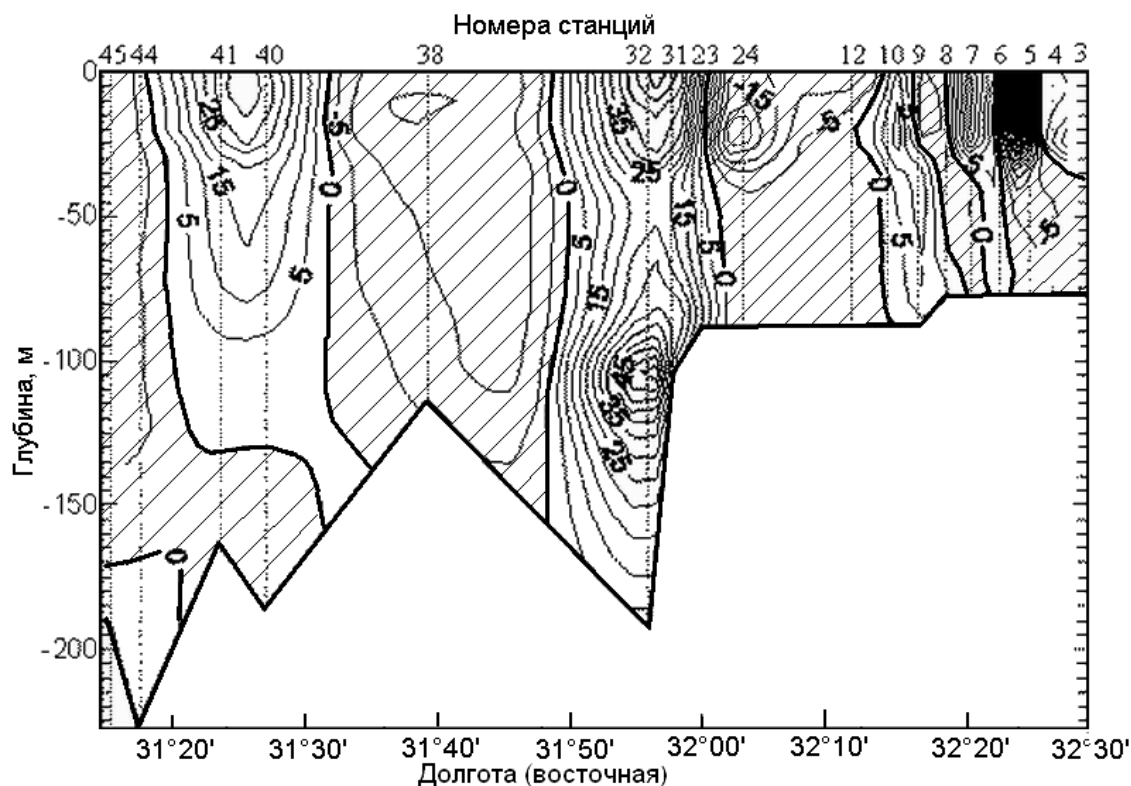


Рис. 6 - Субмеридиональные составляющие геострофической скорости (см/с) на разрезе через полигон наблюдений. Заштрихованные области отражают потоки южных направлений.

Спутниковое температурное поле позволило идентифицировать и второе, теперь уже внутришельфовое грибовидное разветвление. Его стержень располагался над шляпкой вышерассмотренной грибовидной структуры, а середина разветвляющейся вершины - недалеко от мыса Тарханкут (см. рис. 5). Интенсивная южная ветвь этой динамической структуры хорошо заметна между станциями 5 и 6 (~32°30' в.д., см. рис. 6).

На западной периферии разреза в районе станций 40-44 (31°24' в.д.) имел место поток с северной составляющей, который определяется в схеме поверхностных течений как начало стержневого участка струи северного (шельфового) грибовидного течения (см. рис. 5, 6).

Смещение на запад антициклонического вихря, ранее образовавшегося у юго-западного сектора Крымского полуострова, приводит к существенному усложнению структурно-динамического состояния вод к востоку от него. Уходя на запад, вихревое образование уносит в себе часть аккумулируемых вод. При этом в его тыловой части происходит процесс активного их восполнения за счет вод северной периферии струи ОЧТ с юга и вод шельфа с севера. Струя ОЧТ, выходя за пределы меридиана мыса Херсонес, устремляется в северном направлении к свалу глубин. На подходе к крайней северной части изгиба донного амфитеатра материкового склона она упирается своей глубинной частью почти по нормали в материковый склон, а поверхностной частью в область расположения распресненных шельфовых вод и формирует интенсивный фронтальный раздел. Такая ситуация приводит к орфографическому и гидравлическому разветвлению потока и созданию структуры грибовидной формы. На базе восточной ветви возможно создание нового антициклонического вихря, который разовьется, если рядом будет происходить аккумуляция легких шельфовых вод, или диссипирует, если таковой нет. В западном ответвлении шляпки происходит генерация циклонического вихря, или чаще интенсивного меандра, непосредственно примыкающего к тыловой части ранее сместившегося вихревого антициклонического образования.

Основная струя северного потока (см. рис. 6, станция №32), распространяется до дна (при глубинах наблюдения более 150 метров). Т.е. отток захваченной вихрем массы воды и ее восполнение за вихрем, очевидно, происходит по всей глубине смещающегося динамического образования. Более того, на глубинах 90-160 метров отмечается локальное усиление нормального склону струйного течения до 25-50 см/с. Это означает, что стержневой поток, на основании которого развивается грибовидное течение не поверхностный, а достаточно глубокий для того, чтобы подтвердить возможность его разветвления и за счет донной топографии склона. Раздвоение потока в поверхностном слое происходит на неглубоком халинном фронтальном разделе. Можно предположить, что в глубинной части шельфовой полки, между дном и нижней границей поверхностных шельфовых вод (слой 50-100 м), воды открытого моря могут проникать в срединные области СЗШ, как бы разбивая структуру грибовидного течения на две составляющие с разным генезисом.

Анализ всех данных спутниковых наблюдений за последний 10-ти летний период показывает, что подобная динамическая картина является достаточно типичной для периода теплого полугодия.

Основные результаты

1. Температурный режим поверхностного слоя вод юго-восточного сектора СЗШ в сентябре 2008 года был близок к климатической норме. Но на нижележащих горизонтах средние значения температуры превышали климатическую норму на 1-2,4°C.
2. Соленость вод поверхностных слоев была ниже климатической нормы не менее чем на 0,5 ‰. В слое 20-75 м наблюдался аномально широкий диапазон значений солености вод, были превышены климатические экстремумы.

3. Средняя температура вод ХПС в сентябре 2008 года в области свала глубин СЗШ достигала 7,87°C, что для данного района является абсолютным максимумом за последние 30 лет.
4. В районе исследования происходило смещение на юго-запад «севастопольского» антициклона. В его тыловой части, в результате развития грибовидной структуры на основе северного ответвления ОЧТ формировался «новый» вихрь.
5. Развитие грибовидных течений в восточном секторе материкового склона СЗШ связано с дефицитом массы в тылу перемещающегося на запад антициклонического вихря. При этом происходит процесс активного ее восполнения за счет вод северной периферии ОЧТ с юга и вод шельфа с севера. Вдоль кромки шельфа формируется конвергенция вод шельфа и открытого моря с интенсивным фронтальным разделом.

Список литературы

1. *Oguz T., Latun V.S., Latif M.A. et al.* Circulation in the surface and intermediate layers of the Black Sea // *Deep Sea Res.* -1993. - V. 40, № 8. - P.1597-1612.
2. *Блинков В.А., Дулов В.А., Станичный С.В.* Грибовидные течения над свалом глубин северо-западной части Черного моря: дистанционные и контактные измерения // *Системы контроля окружающей среды.* - Севастополь, 2002. - С. 406-412.
3. *Гідрологічні та гідрохімічні показники стану північно-західного шельфу Чорного моря: Довідковий посібник.* – Київ: КНТ, 2008. - 616 с.
4. *Полонский А.Б.* Роль океана в изменении климата. – Киев: Наукова думка, 2008. -184 с.
5. *Popov Yu, Matygin A, Ukrayinsky V.* Changes of thermo-halinity characteristics in the North-West Black Sea shelf during the last 50 years // *Regional Aspects of Climate Terrestrial-Hydrologic Interactions in Non-boreal Eastern Europe.* NATO Science for Peace and Security Series. – С: Enviromental Security, Springer, 2009. - P.255-262.
6. *Украинский В.В., Попов Ю.И.* Районирование вод северо-западной части Черного моря по термохалинным показателям // *Тез. доп. Екологічні проблеми Чорного моря.* - Одеса, 2003. - С.374-377.
7. *Попов Ю.И., Матыгин А.С.* Особенности циркуляции вод поверхностного слоя Черного моря по термическим спутниковым данным // *Вісник Одеського державного екологічного університету.* – 2008. - Вип.6.- С. 217–224.

Особливості гідрологічної структури вод схилу північно-західного шельфу Чорного моря в вересні 2008 року. Попов Ю.І., Матигін О.С., Український В.В., Ломакін Є.П., Малахов І.В.

За результатами контактних експедиційних і супутникових спостережень розглянуті процеси і виділені основні чинники динамічної взаємодії вод шельфу і відкритого моря в тилівій частині синоптичного вихору північно-західної частини материкового схилу Чорного моря.

Ключові слова: антициклонічний вихор, води шельфу і відкритого моря, циркуляція вод

Features of hydrological structure of waters of slope of north-western shelf of the Black sea are in September, 2008. Popov Yu.I., Matygin A.C., Ukrainskiy V.V., Lomakin E.P., Malakhov I.V.

On results pin expeditionary and satellite supervisions the processes are considered and the basic factors of dynamic co-operation of waters of shelf and high sea are separated in rearward part of a weather whirlwind of north-western part of mainland slope of Black sea.

Keywords: anticyclonic ring, waters of shelf and high sea, circulation of waters