

*Л.Н. Карлин, В.Ю. Чанцев, О.В. Хаймина,
А.В. Даньшина, А.В. Исаев*

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВОД ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ТУАПСЕ

L.N. Karlin, V.Yu. Chantsev, O.V. Khaymina, A.V. Danshina, A.V. Isaev

FEATURES OF THE DYNAMIC STRUCTURE OF THE TUAPSE COASTAL WATERS

Прибрежная зона Туапсинского района характеризуется малой шириной шельфовой зоны и резким спадом глубин ниже 100 м изобаты. Узость шельфовой зоны и существование больших глубин на удалении 12–15 км от берега делает исследуемый район динамически активным. Вихревые структуры, формирующиеся на восточной периферии основного черноморского течения (ОЧТ), свободно проникают в прибрежные зоны и генерируют более мелкие динамические пространственно-временные неоднородности. Влияние возникающих флуктуаций в динамическом режиме прибрежной зоны отражается на гидрофизической и гидрохимической структуре прибрежных вод. Проведенный анализ позволил выявить структурные особенности распределения гидрофизических характеристик в водах прибрежной зоны Туапсинского района.

Ключевые слова: динамический режим, течения, флуктуации, водные массы, взвешенное вещество.

The coastal zone of Tuapse region is characterized by a small width of the shelf zone and the sharp decline in the depths below 100 m isobath. The narrowness of the shelf zone and the existence of deep waters at a distance of 12–15 km from the coast makes the study area is dynamically active. Vortex structures formed on the eastern periphery of the main Black Sea current (MBC), freely penetrate into the coastal zone and generate a smaller dynamic spatial and temporal heterogeneity. The influence of fluctuations in the dynamic regime of the coastal zone affects the hydrophysical and hydrochemical structure of coastal waters. The executed analysis revealed the structural features of the distribution of hydrophysical characteristics in the coastal waters of Tuapse district.

Keywords: dynamic regime, currents, fluctuations, water masses, suspended matter.

Введение

В динамической структуре вод Черного моря район прибрежных вод Туапсе находится на восточной периферии зоны прибрежной антициклонической завихренности (ПАЗ) [Булатов, 1984; Овчинников, 1996; Зацепин, 2002; Гинзбург, 2008]. Динамика вод исследуемой акватории формируется под воздействием атмосферных процессов, проходящих антициклонических вихрей ПАЗ и в меньшей мере стока рек (р. Туапсе, р. Паук, р. Шепси, р. Дедеркой). Вследствие того что средняя скорость перемещения вихревых структур составляет 2–3 мили в сутки [Зацепин, 2002], а также наблюдается частая смена ветров, наибольший интерес представляет изучение субмезомасштабной изменчивости характеристик динамической структуры вод, которая является доминирующей и

определяет гидрологический и гидродинамический режимы прибрежной акватории.

Натурные исследования РГГМУ, проводившиеся в данном районе в 2005–2007 гг., выполнялись в пределах 2-мильной прибрежной зоны и ограничивались глубинами до 50 м. Анализ полученных данных показал, что для полноценного описания механизмов формирования прибрежных динамических структур и их пространственно-временной изменчивости необходимо расширить район исследований до 100-метровой изобаты, которая является границей между прибрежной зоной и береговым склоном. При исследованиях субмезомасштабной изменчивости динамической структуры прибрежных вод Туапсе в 2009 г. использована схема станций наблюдений (рис. 1), включавшая 56 станций и охватывавшая акваторию от скалы Киселева до р. Шепси с удалением от берега до 10 км, что соответствует положению 100-метровой изобаты.

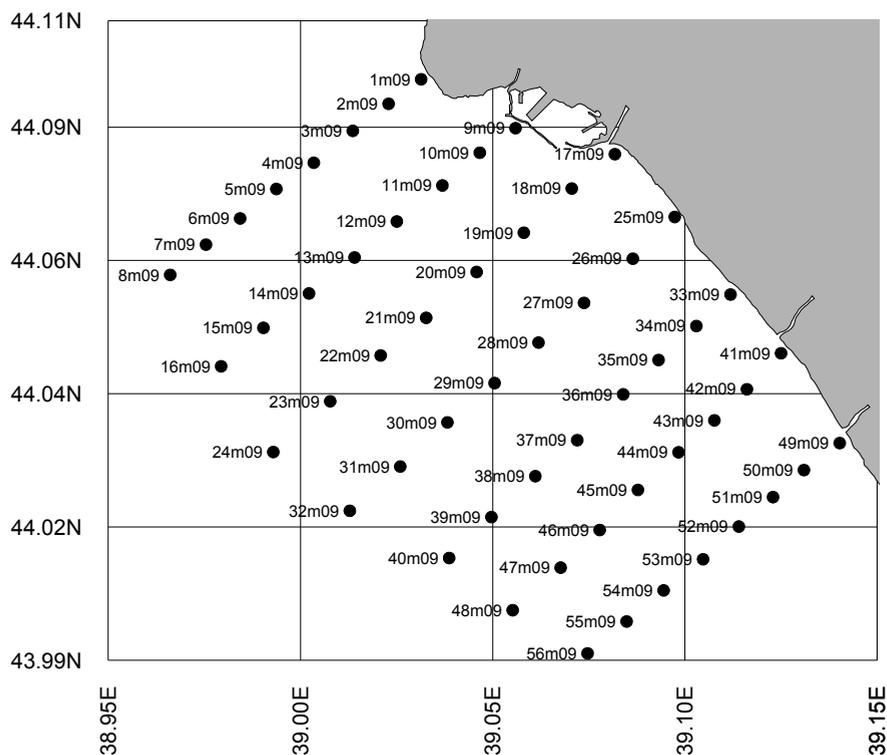


Рис. 1. Разработанная схема станций наблюдений в прибрежной зоне Туапсинского района Краснодарского края

Материалы и методы

При проведении натурных исследований в августе 2009 г. были выполнены следующие виды работ:

– гидрофизическое зондирование до дна во всех 56 узлах сети наблюдений исследуемой акватории с одновременным отбором проб на содержание взвешенных веществ в поверхностном слое, проведенное в течение 12 ч;

– с учетом результатов наблюдений первой гидрофизической съемки была выполнена постановка 4 буйковых станций с измерителями скоростей течений в характерных точках с одновременным выполнением измерений гидрофизических и динамических характеристик на полигоне в районе постановки буйковых станций;

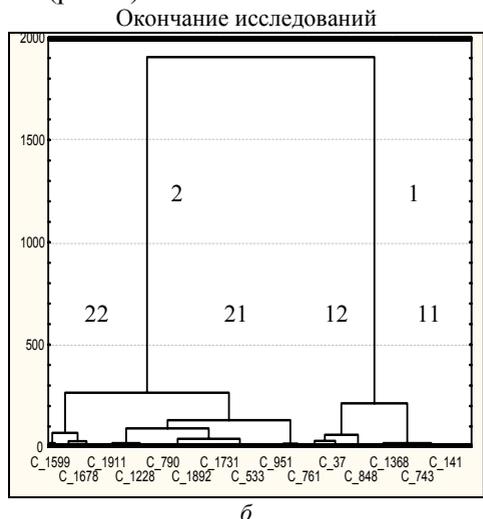
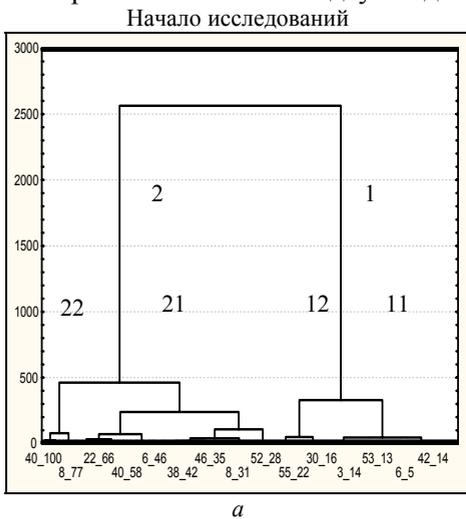
– на завершающем этапе была проведена повторная съемка всего полигона с измерением гидрофизических и динамических характеристик, а также повторный отбор проб на содержание взвешенных веществ.

В результате проведенных исследований были сформированы базы данных наблюдений, включавшие информацию о распределении характеристик полей течений, термохалинной структуры и взвешенных веществ.

Для обработки полученных материалов наблюдений были использованы методы статистического анализа: для временных рядов скоростей и направления течений – спектральный анализ, для массивов термохалинных данных – кластерный анализ (алгоритм Уорда) [Вайновский, 1992]. Расчет динамических высот и геострофических скоростей течения был выполнен с использованием динамического метода.

Анализ динамической структуры вод прибрежной зоны Туапсинского района в августе 2009 г.

В результате проведенных исследований были выявлены особенности динамического режима вод прибрежной зоны Туапсе. Так, термохалинная структура вод исследуемой акватории сохраняла типичный для летнего сезона характер вертикального распределения на протяжении всего периода наблюдений, что выражалось в наличии двух водных масс (рис. 2).



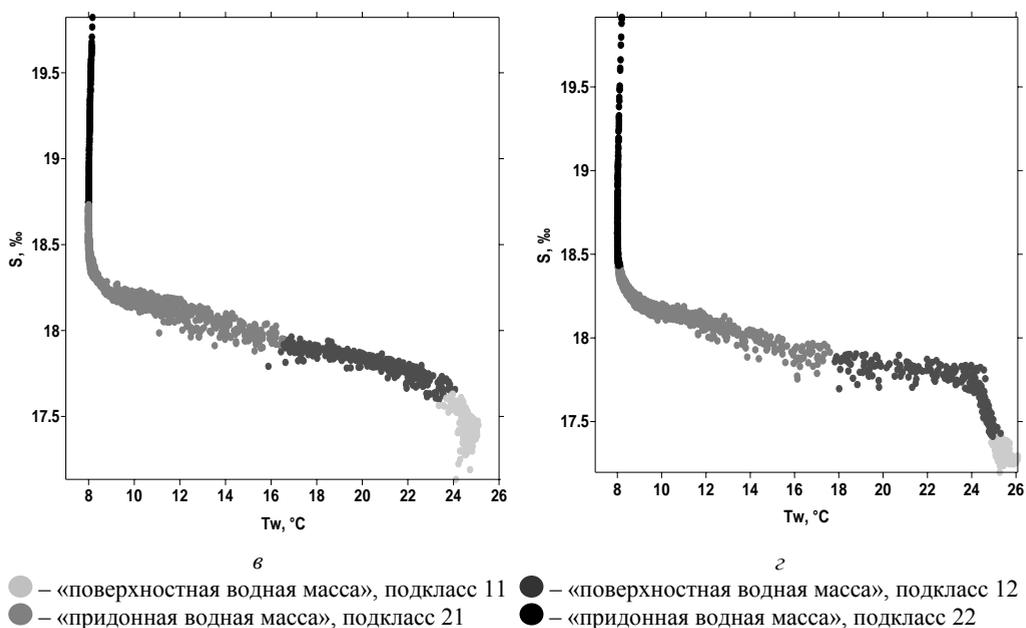


Рис. 2. Результаты кластерного анализа водных масс прибрежной зоны Туапсинского района: дендрограммы (а, б) и TS-диаграммы (в, г)

Выявленные водные массы отчетливо проявляются по своему пространственному положению, поэтому их можно идентифицировать, как поверхностную и придонную. В свою очередь, обе выделенные водные массы имеют свою внутреннюю структуру, что позволяет подразделить каждую на два подкласса. Однако границы областей залегания 4-х подклассов водных масс существенно варьировали между отдельными съемками (рис. 3), что являлось результатом динамической активности вод данной акватории.

Можно отметить, что при продолжительных сгонных ветрах наблюдалось уменьшение толщины верхнего квазиоднородного слоя и смещение границ залегания всех нижележащих подклассов водных масс в сторону берега. Кроме того, следует иметь в виду, что названия «поверхностная» и «придонная» водные массы использованы лишь для обозначения области их залегания, в то время как все четыре подкласса генетически относятся к поверхностной водной массе Черного моря, формирующейся в результате осеннего конвективного перемешивания и трансформирующейся в результате весенне-летнего прогрева.

Спектральный анализ данных шестичасовых наблюдений на горизонте 10 м в различных точках акватории позволил выявить присутствие ~ 0,5, ~2- и ~3-часовых гармоник в рядах как скоростей, так и направлений течений. При этом течения незначительно изменялись по скорости и направлению на каждой станции (коэффициент вариации течения K_B менее 1). Следует также отметить, что средние скорости течений для исследованной акватории значительно выше (20–

30 см/с), чем скорости течений в сопридельной зоне ПАЗ (3–15 см/с) [Овчинников, 1996; Зацепин, 2002].

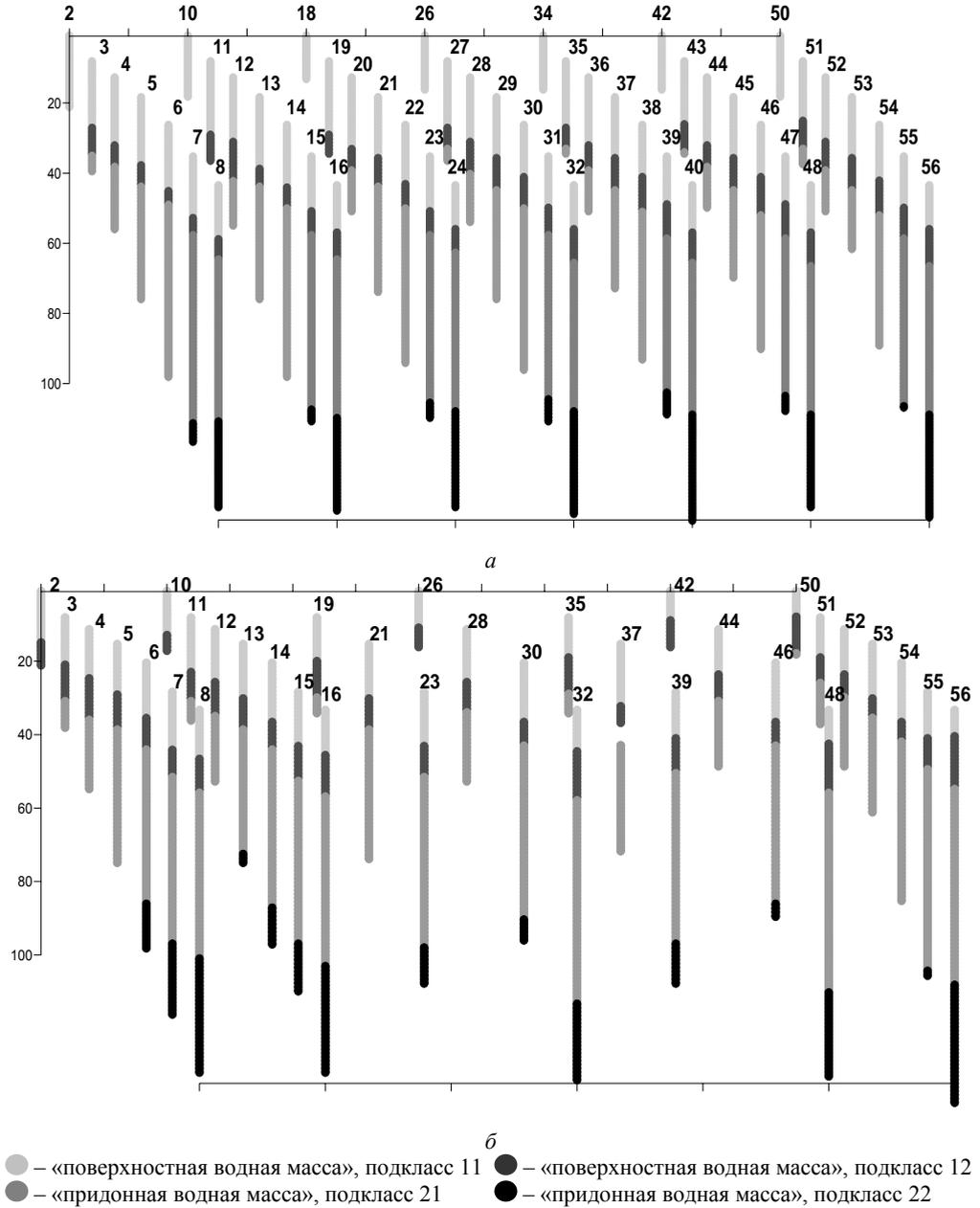


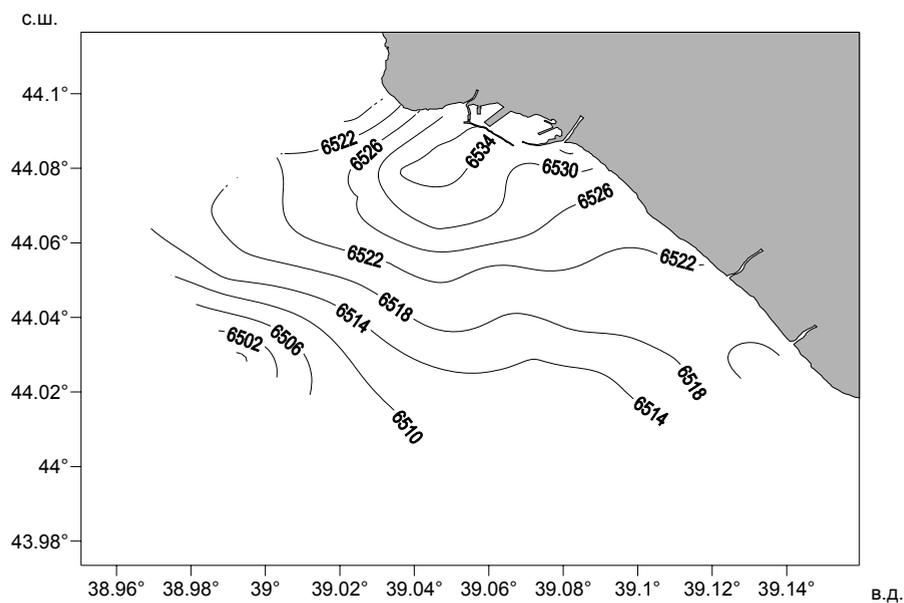
Рис. 3. Пространственное распределение водных масс прибрежной зоны Туапсинского района: *a* – на начало наблюдений; *b* – на момент окончания наблюдений

Наряду с изменениями характеристик течений с масштабами в несколько часов наблюдается перестройка полей течений с временными масштабами в несколько суток. Анализ результатов расчетов динамических высот и направлений течений динамическим методом выявил принципиальные отличия в распределении данных характеристик на моменты начала и окончания исследований. Так, в начале исследований динамическая структура вод (рис. 4) определялась четко выраженным вдольбереговым переносом в северо-западном направлении, лишь в районе впадения р. Туапсе наблюдалась завихренность антициклонического типа.

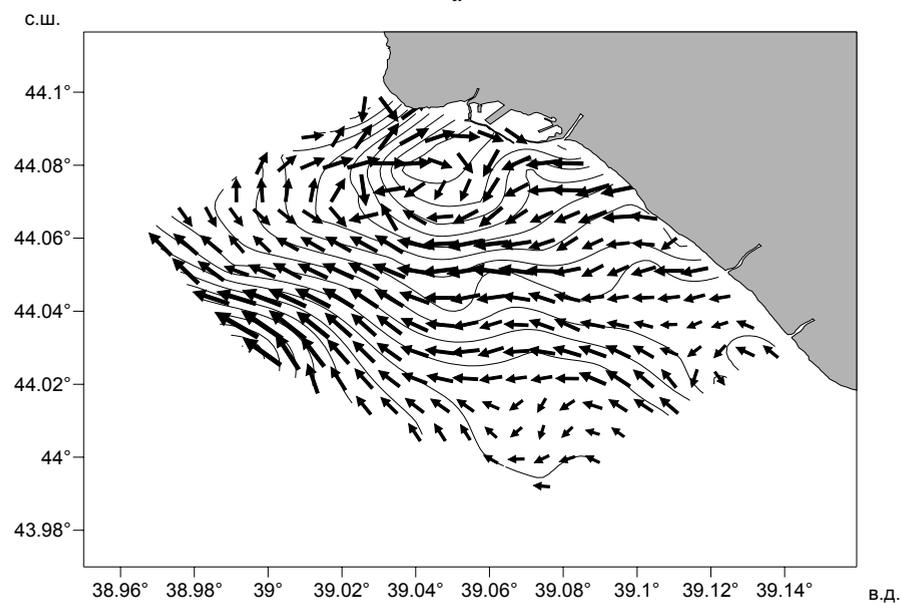
На завершающей фазе исследований динамическая структура акватории (рис. 5) полностью изменилась. На фоне юго-восточного переноса в районе 100-метровой изобаты, что могло быть вызвано прохождением прибрежного антициклонического вихря по периферии Основного Черноморского Течения (ОЧТ), в прибрежной зоне формируется область циклонической завихренности на юго-востоке акватории. Северо-западный перенос сохраняется только в районе впадения р. Туапсе. Генеральным направлением переноса в поверхностном слое в этот период можно считать нормальное к береговой черте, что и отразилось в смещении границ залегания 4-х подклассов водных масс, как уже отмечалось ранее (рис. 3, б).

Анализ пространственного распределения концентраций взвешенных веществ показал, что данная характеристика может являться информативным интегральным показателем при выделении зон, подверженных постоянному влиянию речного стока, что подтверждает и анализ литературных данных [Часовников, 2002]. На начало наблюдений область максимальных концентраций взвешенных веществ располагалась вдоль береговой черты в районе впадения р. Туапсе (рис. 6, а). При этом максимальное удаление от берега не превышало 1 мили, что соответствует генеральному направлению переноса вод вдоль побережья и согласуется с результатами анализа динамической структуры вод.

К моменту окончания наблюдений область максимальных концентраций взвешенных веществ трансформировалась в два изолированных очага (рис. 6, б), приуроченных к местам впадения рек Туапсе и Шепси, чему способствовал нормальный к берегу перенос вод в прибрежной зоне, наиболее выраженный в районе впадения р. Дедеркой. Также это подтверждается существованием в этот период шлейфов повышенной концентрации взвешенных частиц, вытянутых перпендикулярно берегу. Таким образом, распределение концентрации взвешенных частиц является индикатором не только выноса рек, но и динамического состояния вод акватории в целом.

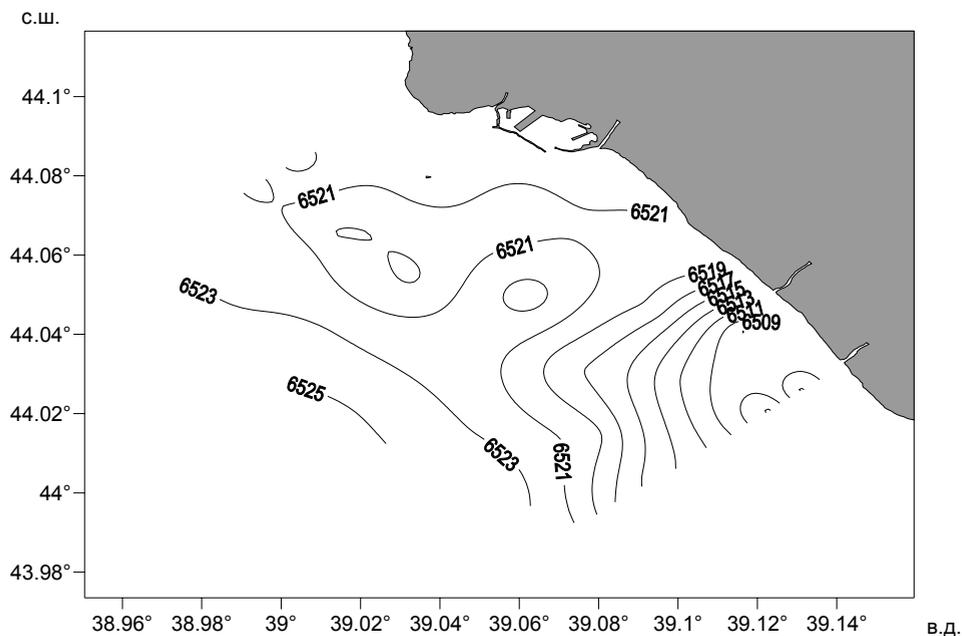


a

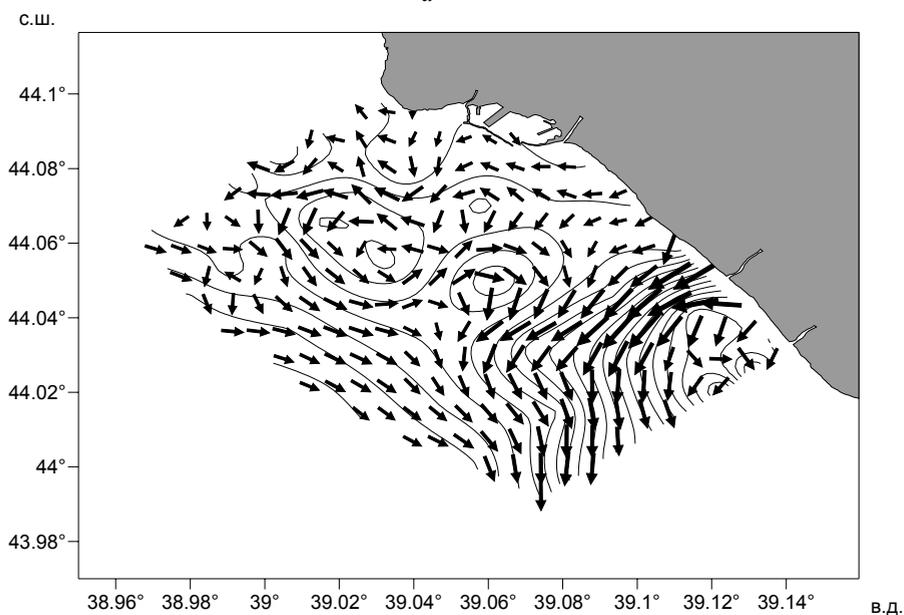


б

Рис. 4. Характеристики динамического состояния поверхности моря относительно нулевой поверхности 75 м на начало исследований:
a – распределение динамических высот; *б* – направления течений

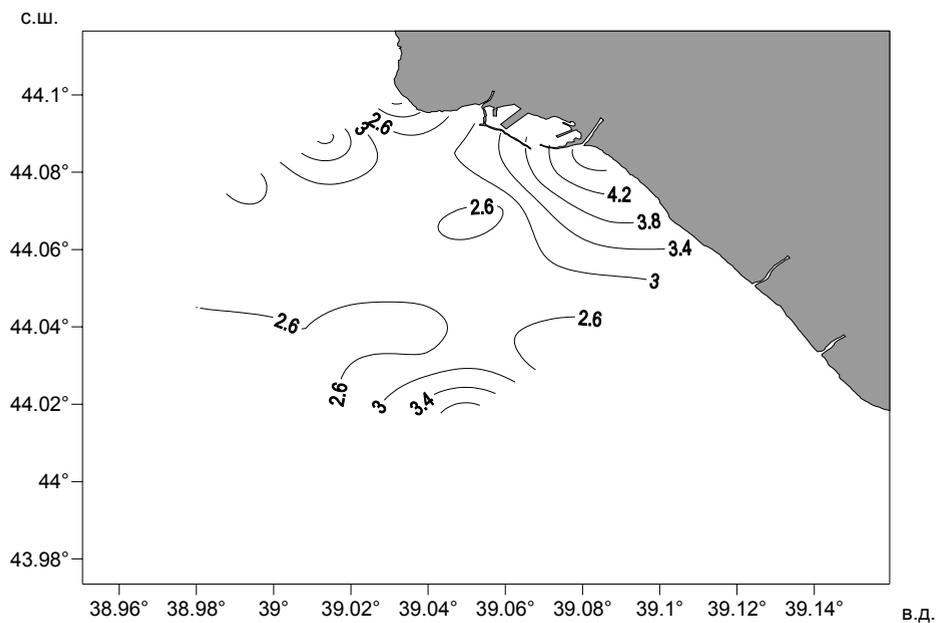


a

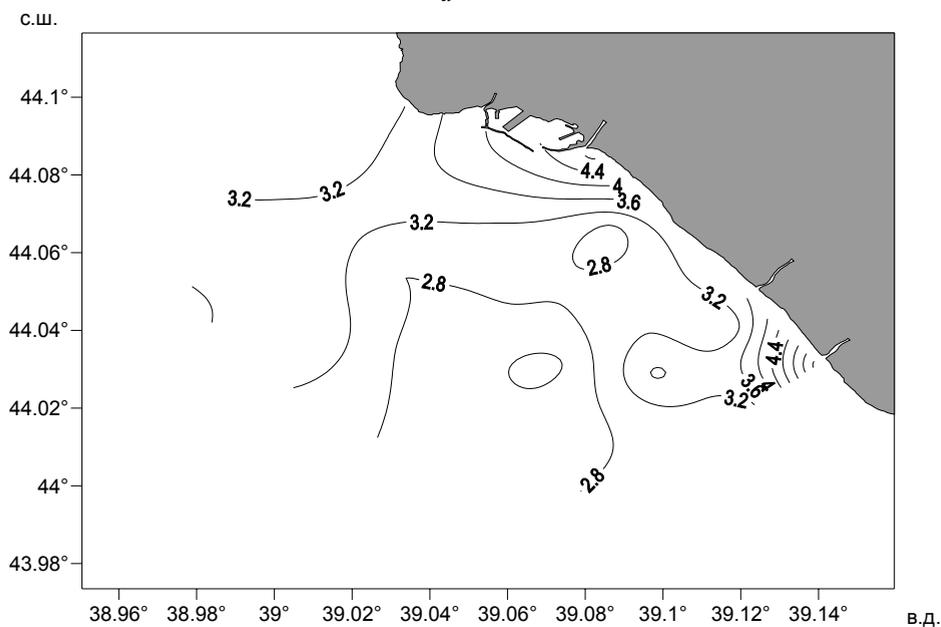


б

Рис. 5. Характеристики динамического состояния поверхности моря относительно нулевой поверхности 75 м на момент окончания исследований:
a – распределение динамических высот; *б* – направления течений



a



b

Рис. 6. Распределение содержания взвешенных веществ (мг/дм^3) в поверхностном слое вод:
a – на начало исследований; *b* – на момент окончания исследований

Подводя итог представленного анализа, можно отметить, что проведенные исследования динамического режима вод прибрежной зоны Туапсе позволили выявить структурные особенности, характерные для конца летнего сезона. Период наблюдений совпал с началом перестройки динамической структуры прибрежных вод, что повлекло за собой и перераспределение термохалинной структуры. Происходило периодическое изменение положения выявленных водных классов. Причем все эти изменения протекали с частотой субмезомасштабных колебаний. Возникающие неоднородности в поле прибрежных течений приводили к генерации локальных зон аккумуляции взвешенного вещества и формированию нестабильных и разнонаправленных вдольбереговых переносов.

Литература

1. Булатов А. С., Булгаков Н.П., Иванов В.А. и др. Изменчивость гидрофизических полей в Черном море. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 240 с.
2. Вайновский П.А., Калинин В.Н. Методы обработки и анализа океанологической информации. Многомерный анализ. – СПб.: РГГМИ, 1992. – 96 с.
3. Гинзбург А.И., Зацепин А.Г., Кременецкий В.В., Пиотух В.Б. Мезомасштабная динамика вод Черного моря / Океанология на старте 21 века. – М.: Наука, 2008, с. 11–42.
4. Зацепин А.Г., Гинзбург А.И., Евдошенко М.А. и др. Вихревые структуры и горизонтальный обмен в Черном море / Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря. – М.: Наука, 2002. с. 55–81.
5. Овчинников И.М., Титов В.Б., Кривошея В.Г., Прокопов О.И., Удодов А.И., Савин М.Т. Гидрологическая структура и динамика вод. – Техногенное загрязнение и процессы естественного самоочищения Прикавказской зоны Черного моря. – М.: Недра, 1996, с. 133–202.
6. Часовников В.К., Якушев Е.В., Лукашев Ю.Ф. Влияние вихревой динамики на гидрохимическую структуру вод северо-восточной части Черного моря. – Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря. – М.: Наука, 2002, с. 151–161.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 09 05 96515).