

УДК 551.468 + 551.46.062.5

Ю.В.Артамонов, А.В.Федирко, Е.А.Скрипалева,
С.А.Шутов, А.В.Гармашов, Д.В.Дерюшкин, Д.Д.Завьялов,
Р.В.Колмак, Р.О.Шаповалов, Ю.И.Шаповалов, С.В.Щербаченко

Морской гидрофизический институт РАН, г.Севастополь

**СЕЗОННЫЕ И СИНОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ВОД
К ЮГО-ЗАПАДУ ОТ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА
В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД 2017 Г.
(98-Й И 101-Й РЕЙСЫ НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ»)**

Представлены результаты гидрологических измерений в северной части Черного моря в ноябре и декабре 2017 г., выполненных в ходе 98-го и 101-го рейсов НИС «Профессор Водяницкий». Показано, что в фактических распределениях гидрологических параметров по данным съемок отражаются основные особенности сезонного цикла, выявленные в климатических термохалинных полях для осенне-зимнего периода. Сезонные изменения проявились в понижении температуры на поверхности, в увеличении глубин залегания нижней границы верхнего квазиоднородного слоя и максимума вертикальных градиентов температуры, в повышении температуры в ядре холодного промежуточного слоя. В пространственной структуре термохалинных полей обнаружены интенсивные синоптические изменения, обусловленные изменчивостью динамики вод.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *термохалинные поля, верхний квазиоднородный слой, вертикальный градиент температуры, холодный промежуточный слой, сезонный цикл, синоптическая изменчивость, Основное Черноморское течение, Севастопольский антициклон*

doi: 10.22449/2413-5577-2019-3-4-18

Обобщение результатов исследований за последние десятилетия [1 – 7], в том числе и материалов экспедиционных измерений за период с 2015 по 2018 гг. [8 – 14] показало, что сезонные и синоптические вариации вносят основной вклад в общую изменчивость структуры вод Черного моря. Вместе с тем, региональные проявления этих типов изменчивости, особенно синоптической в подповерхностных слоях, изучены крайне слабо. Для проведения таких исследований необходимы данные последовательных гидрологических съемок, выполненных с пространственно-временными масштабами, позволяющими анализировать синоптические и сезонные изменения гидрологической структуры вод. Такие исследования крайне редки. В октябре и ноябре – декабре 2016 г. в ходе 89-го и 91-го рейсов НИС «Профессор Водяницкий» были проведены две съемки с интервалом менее месяца. Было показано, что при переходе от середины осени к началу зимы сезонные изменения проявились в понижении поверхностной температуры моря (ТПМ), повышении поверхностной солености моря (СПМ), увеличении глубины верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) и температуры в ядре хо-

© Ю.В.Артамонов, А.В.Федирко, Е.А.Скрипалева, С.А.Шутов,
А.В.Гармашов, Д.В.Дерюшкин, Д.Д.Завьялов, Р.В.Колмак,
Р.О.Шаповалов, Ю.И.Шаповалов, С.В.Щербаченко, 2019

Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. вып.3. С.4-18.

лодного промежуточного слоя (ХПС) [12]. Максимальные величины разностей ТПМ и СПМ между съемками были связаны с синоптическими изменениями в структуре Севастопольского антициклона (СА). Изменения на синоптическом масштабе были зафиксированы также в глубине залегания ядра ХПС, которое за счет разрушения СА и появления на его месте циклонического меандра Основного Черноморского течения (ОЧТ) в период второй съемки поднялось ближе к поверхности [12].

Следующие две последовательные съемки с интервалом около месяца были выполнены в 94-м и 95-м рейсах НИС «Профессор Водяницкий» в переходный период от весны к лету [14]. Сезонные изменения отразились в ослаблении зональной скорости ОЧТ, повышении ТПМ, понижении СПМ, уменьшении глубин залегания нижней границы ВКС и максимума вертикального градиента температуры (ВГТ). Синоптические изменения в период летней съемки по сравнению с весенней проявились в смещении СА на восток ближе к берегам Крыма, а Крымского антициклона – на запад, в появлении на траверзе Феодосийского залива антициклонического меандра, в понижении ТПМ в районе м.Сарыч вследствие развития апвеллинга [14].

Мониторинг состояния гидрологических полей в северной части Черного моря был продолжен в ходе 98-го и 101-го рейсов НИС «Профессор Водяницкий». Поскольку съемки также были выполнены с интервалом около месяца, их результаты позволяют проанализировать особенности проявления сезонной и синоптической изменчивости в гидрологических полях в переходный осенне-зимний период 2017 г. Результаты этого анализа представлены в настоящей работе.

Материалы и методика. Гидрологические измерения проводились с 15 по 27 ноября 2017 г. (98-й рейс) и с 14 по 27 декабря 2017 г. (101-й рейс) соответственно на 91-й и 62-х дрейфовых станциях (рис.1, а, б). На каждой станции измерялись температура и соленость морской воды до глубины 1000 м с помощью CTD-комплекса *Sea-Bird 911 plus*, скорость и направление течений в верхнем 300-метровом слое с помощью акустического измерителя ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*). Неблагоприятные погодные условия в обоих рейсах не позволили провести измерения по запланированной сетке в полной мере, поэтому область сравнения гидрологических полей по двум съемкам сужается до относительно небольшого полигона к юго-западу от Крымского п-ова. Границы этого полигона показаны черными линиями на рис.1, а, б. Климатические океанографические условия анализировались по данным гидрологического массива БОД МГИ [15]. При сопоставлении гидрологической структуры вод в периоды двух съемок анализировались пространственные распределения величин разности, рассчитанной между гидрологическими параметрами для декабря и ноября по климатическим данным БОД и по данным измерений в периоды съемок 101-го и 98-го рейсов НИС «Профессор Водяницкий».

Основные результаты. Циркуляция вод. Анализ климатической динамической топографии и векторов геострофических скоростей показал, что основные различия распределений этих параметров в ноябре и декабре наблюдаются над свалом глубин (рис.1, в, г). Здесь хорошо прослеживается антициклонический меандр ОЧТ, который, судя по конфигурации изодинамы

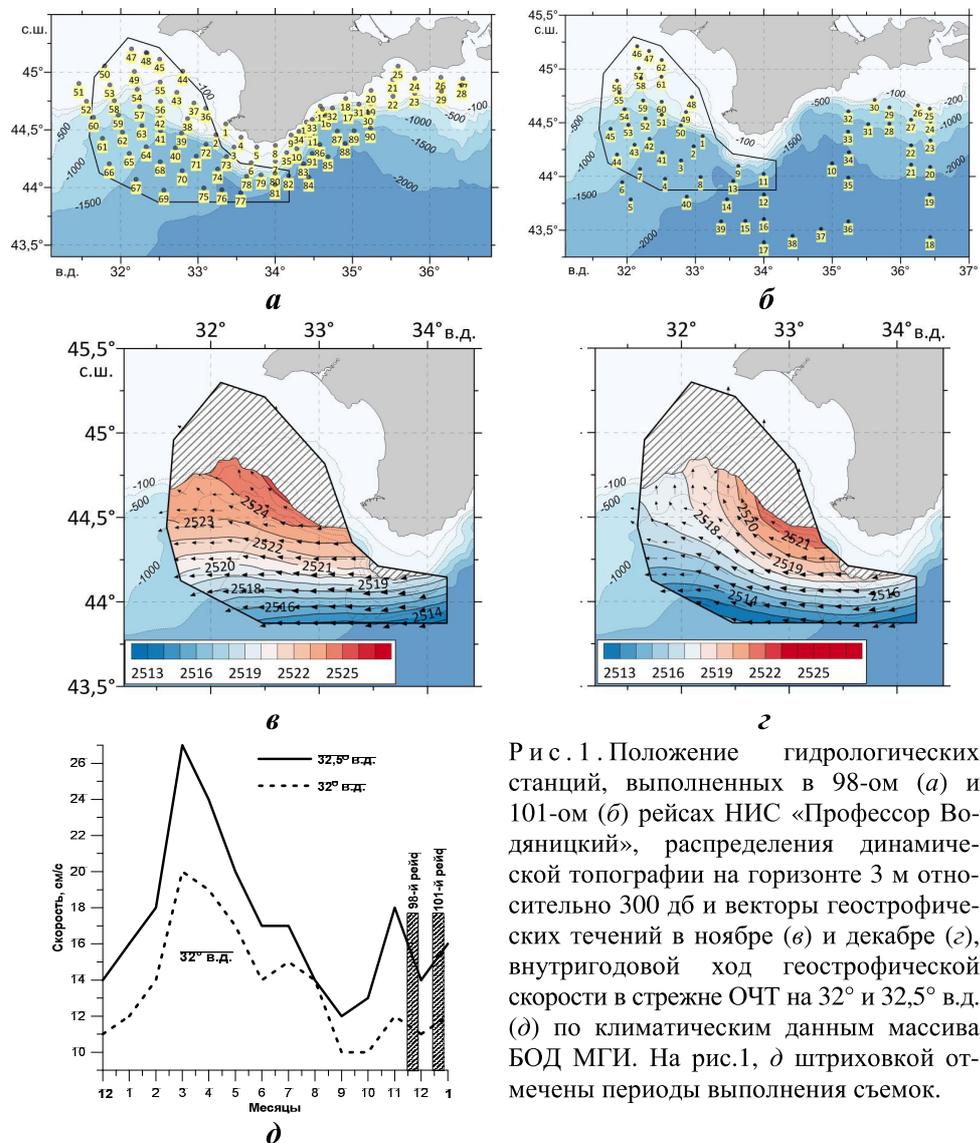


Рис. 1. Положение гидрологических станций, выполненных в 98-ом (а) и 101-ом (б) рейсах НИС «Профессор Водяницкий», распределения динамической топографии на горизонте 3 м относительно 300 дб и векторы геострофических течений в ноябре (в) и декабре (з), внутригодовой ход геострофической скорости в стрессе ОЧТ на 32° и 32,5° в.д. (д) по климатическим данным массива БОД МГИ. На рис.1, д штриховкой отмечены периоды выполнения съемок.

2521 дин. см, в декабре смещается на юго-восток. Перепад динамических высот в декабре несколько уменьшается (рис.1, в, з), что может свидетельствовать об ослаблении геострофических течений в пределах полигона. Внутригодовой ход зональной скорости в стрессе ОЧТ на 32° и 32,5° в.д. показывает, что в климатическом сезонном цикле после летнего минимума наблюдается период неустойчивого роста скорости ОЧТ с ее локальным ослаблением в декабре (рис.1, д). В целом же изменения геострофической скорости на большей части акватории невелики и даже в стрессе ОЧТ не превышают 3 – 4 см/с.

Распределения динамической топографии и геострофических векторов по данным съемок указывают на более заметные, по сравнению с климатическими, изменения в динамике вод (рис.2, а, б). В период ноябрьской съемки в центральной части полигона четко прослеживался Севастопольский антицик-

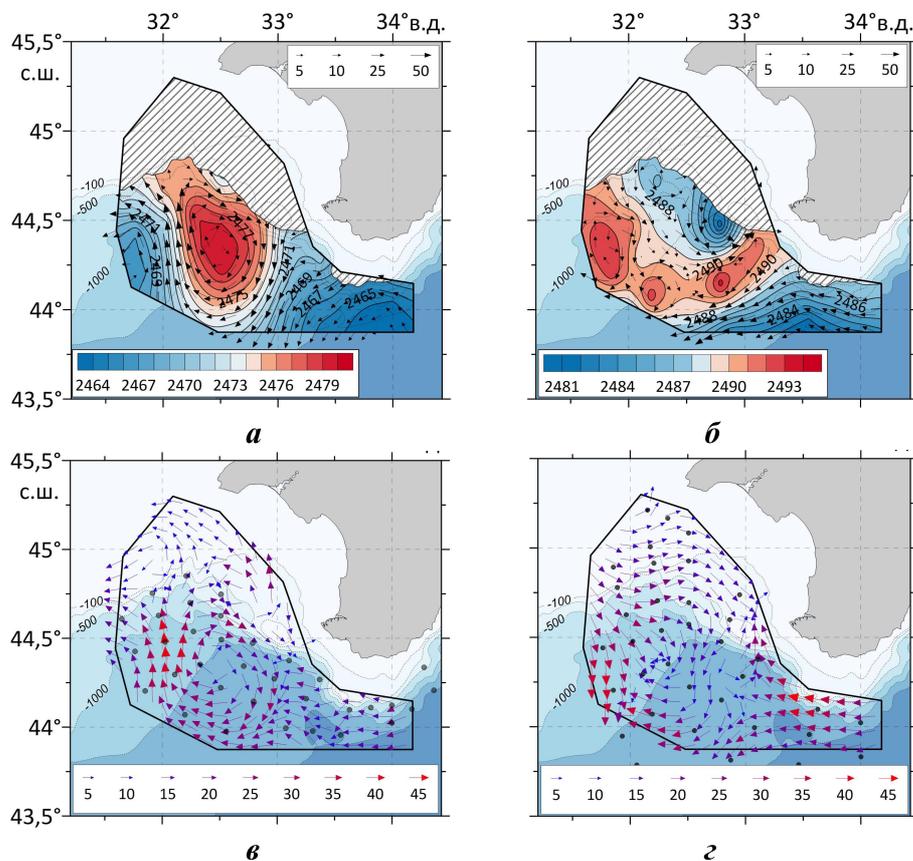


Рис. 2. Динамическая топография (3/300) и векторы геострофических течений (а, б), векторы инструментально измеренных течений на горизонте 10 м (в, г) по данным 98-го (а, в) и 101-го (б, г) рейсов.

лон, к востоку и западу от него наблюдались циклонические меандры (рис.2, а). В декабре СА явно не проявлялся, вместо него над свалом глубин образовался циклонический меандр. В мористой части полигона сформировался динамический гребень, в структуре которого отмечались три отдельных антициклонических вихря. Наиболее крупный из них прослеживался ближе к западной границе полигона, где в ноябре наблюдался циклонический меандр (рис.2, б). Вероятно, этот антициклонический гребень в целом является следом разрушившегося СА (рис.2, б). Отметим, что проявление нескольких антициклонических ядер в районе вероятного расположения СА частично может быть связано с несинхронностью измерений.

Распределение векторов инструментально измеренных течений показало, что, как и по геострофическим расчетам, в ноябре хорошо прослеживался СА, к западу и востоку от него в мористой части полигона – циклонические меандры (рис.2, в). На шельфе над глубинами менее 300 м у западной и восточной границ полигона были зафиксированы еще два циклонических вихря. В декабре циркуляция вод на полигоне заметно изменилась (рис.2, г). В центральной части полигона вместо замкнутого Севастопольского антициклона наблюдался интенсивный антициклонический меандр, восточная

граница которого была смещена к западу почти на 50 км по сравнению с восточной периферией СА в ноябре. Вместо двух циклонических меандров у западной границы полигона прослеживался интенсивный поток южного направления, в северной части шельфа наблюдались потоки на восток, у восточной границы полигона был выявлен циклонический меандр. В юго-восточной части полигона заметно усилилось зональное течение, что свидетельствовало об увеличении скорости ОЧТ.

Отметим, что на некоторых участках акватории структура геострофической циркуляции отличается от структуры течений по инструментальным измерениям. Так, в юго-восточной части полигона по инструментальным данным усиление ОЧТ в декабре происходило ближе к свалу глубин, чем по геострофическим расчетам. У западной границы полигона по инструментальным данным в декабре наблюдался интенсивный поток южного направления, а по геострофическим расчетам – антициклонический вихрь (рис.2, б, з). Основной причиной этих отличий является то, что инструментальные измерения течений дают фактическую картину изменения скорости течений, которая представляет собой суперпозицию дрейфовой, бароклинной и баротропной составляющих, в то время как геострофические течения представляют интегральные потоки бароклинной составляющей течений. Тем не менее, несмотря на некоторые различия, геострофические расчеты и инструментальные измерения показывают заметную трансформацию СА и усиление основной ветви ОЧТ в декабре (рис.2).

Термохалинная структура вод. Климатическая среднемесячная температура на поверхности моря по данным БОД в ноябре (период первой съемки) изменяется на полигоне от 13,1 °С на севере до 13,85 °С на востоке ближе к Гераклеюскому п-ову (рис.3, а). В декабре (период второй съемки) климатическая ТПМ изменяется в пределах 10,25 – 10,35 °С на юго-востоке и 9,6 – 9,8 °С на севере полигона (рис.3, б). Конфигурация изотерм, вытягивающихся в виде «языка» повышенных значений ТПМ у берегов Крыма, свидетельствует о том, что в ноябре и декабре воды, переносимые ОЧТ, теплее окружающих вод. Распределение величин разности климатических значений ТПМ между декабрем и ноябрем показывает, что в пределах полигона можно ожидать понижение ТПМ на 3 – 4 °С. Максимальные значения разности наблюдаются к западу от Гераклеюского п-ова, что связано с заметным смещением «языка» самых теплых вод на юг в декабре (рис.3, д).

Климатические распределения солености на поверхности моря показывают, что в ноябре самые низкосолёные воды (18,01 – 18,06 ‰) располагаются у северо-восточной границы полигона, куда проникают распресненные воды северо-западного шельфа (рис.3, в). Вторая область распреснения (18,02 – 18,06 ‰) наблюдается несколько южнее «языка» самых теплых вод. Эта область образуется в результате переноса ОЧТ вдоль берегов Крыма менее солёных вод от Кавказского побережья, которые смешиваются с азовоморскими водами и достигают 31,25 – 32 ‰ в.д. Максимальные значения СПМ (18,12 – 18,14 ‰) наблюдаются у южной границы полигона ближе к зоне халистатитики и на северной периферии антициклонического меандра ОЧТ (рис.3, в).

В декабре, при общем повышении СПМ на полигоне в среднем на 0,1 – 0,2 ‰, в области ноябрьского максимума СПМ появляется область вод отно-

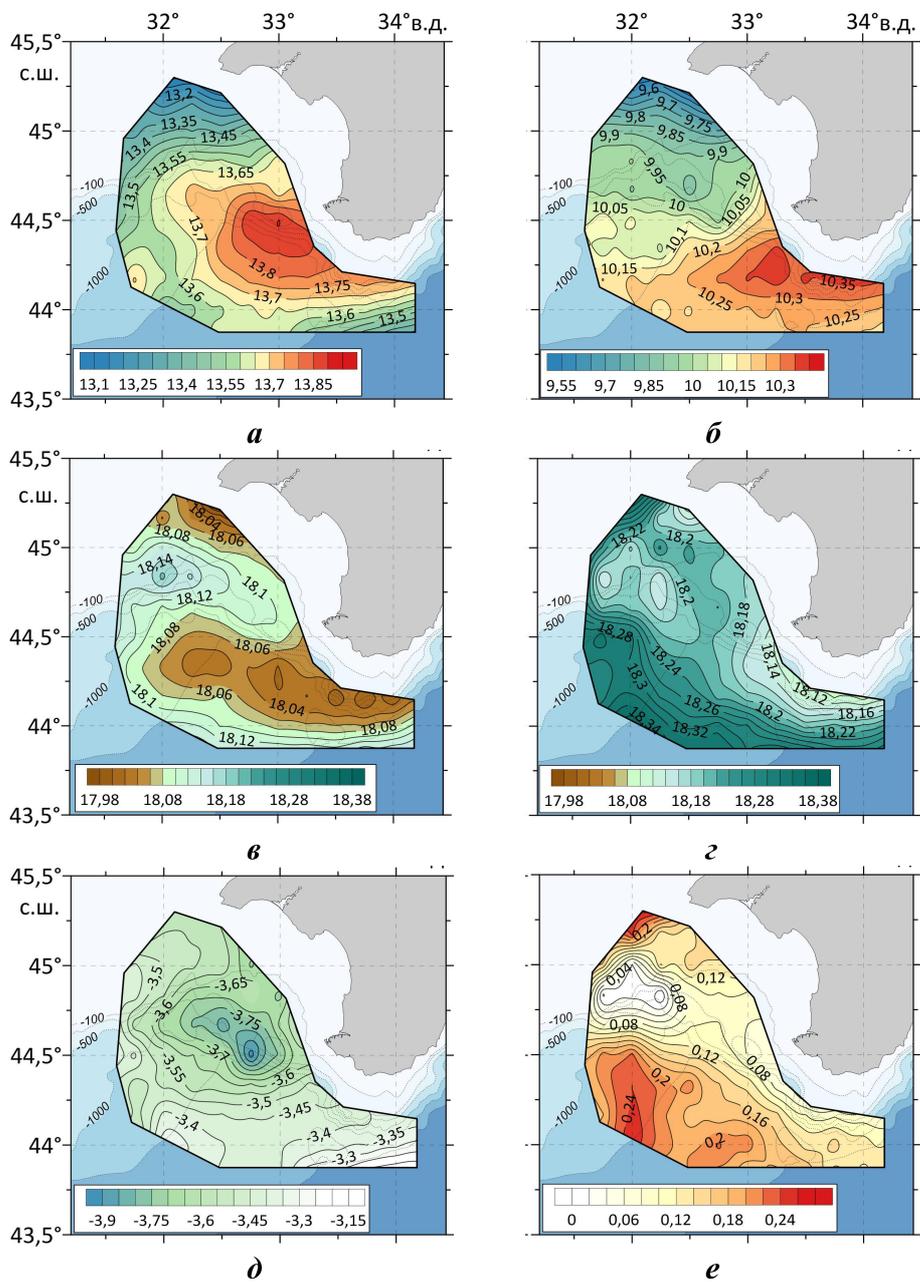


Рис. 3. Распределения ТПМ (а, б), СПМ (в, г) в ноябре (а, в) и декабре (б, г), величин разности ТПМ (д) и СПМ (е) между декабрем и ноябрем по данным БОД МГИ.

сительно низкой солёности (18,14 – 18,18 ‰) (рис.3, г). Это может быть связано с более активным поступлением в этот район вод северо-западного шельфа при смещении антициклонического меандра ОЧТ на юго-восток (рис.1, г). У северо-восточной границы полигона сохраняется область распреснённых вод (ниже 18,18 ‰). «Язык» вод пониженной солёности (18,12 – 18,18 ‰), переносимых ОЧТ, не прослеживается западнее 33° в.д., при

этом его граница по изохалине 18,18 ‰ смещается к северу. Вследствие этого область самых соленых вод (18,32 – 18,36 ‰) у юго-западной границы полигона заметно расширяется в северо-восточном направлении (рис.3, з).

Распределение величин разности климатических значений СПМ между декабрем и ноябрем показывает, что на всей акватории в декабре соленость увеличивается, при этом ее максимальное повышение (на 0,20 – 0,24 ‰) можно ожидать в юго-западной и северной части полигона (рис.3, е).

Распределения термохалинных полей по данным съемок существенно отличаются от климатических, особенно в верхнем слое моря, где они формируются под влиянием конкретных условий в приводном слое атмосферы. В ноябре область высоких значений ТПМ (выше 13,6 °С) наблюдалась над свалом глубин на северо-западной периферии СА (рис.4, а). Климатический максимум ТПМ располагается несколько южнее (рис.3, а). В отличие от климата над шельфом у восточной границы полигона прослеживался еще один максимум ТПМ (выше 14,1 °С) (рис.4, а). Формирование двух отдельных максимумов в зоне высоких значений ТПМ обусловлено особенностями циркуляции вод – область некоторого понижения ТПМ между этими максимумами совпадает с областью циклонической циркуляции, наблюдаемой к северо-востоку от СА. Минимум ТПМ (11,0 – 11,4 °С), в отличие от климата, прослеживался не на севере, а на юго-востоке (рис.3, а; 4, а).

В декабре пространственная структура ТПМ по данным съемки была качественно схожа с климатической (рис.4, б). Самые высокие значения ТПМ (выше 11 °С) прослеживались на юге полигона. В качестве отличий от климата можно отметить то, что фактическая ТПМ была выше климатической примерно на 1 °С. По данным съемки минимум ТПМ (10 – 10,2 °С) наблюдался над свалом глубин, тогда как климатический минимум располагается над шельфом в северной части полигона. Кроме того, в зоне общего повышения ТПМ наблюдались три отдельных пятна ее максимальных значений (11,2 – 11,4 °С) (рис.4, б).

Распределение значений разности ТПМ между двумя съемками показало, что в декабре наблюдалось общее понижение ТПМ (рис.4, д), соответствующее климатическому сезонному циклу. Максимальное понижение (на 3 – 3,5 °С) отмечалось в центральной части полигона и у его восточной границы, где в период ноябрьской съемки отмечался максимум ТПМ, а в декабре – ее минимум. В отличие от климата, под влиянием синоптических изменений в юго-восточной части полигона прослеживались положительные значения разности (до 0,5 °С) (рис.4, д).

Распределение солености на поверхности в ноябре (рис.4, в) показало, что самые распресненные воды располагались в северо-западной части полигона (18,36 – 18,39 ‰). Область вод пониженной солености (18,39 – 18,41 ‰) прослеживалась в центральной части несколько южнее свала глубин, примерно совпадая по положению с областью повышенных значений ТПМ. Максимальная соленость (18,45 – 18,55 ‰) наблюдалась на юго-востоке полигона и у его восточной границы северо-западнее Гераклеяского п-ова, где наблюдался максимум ТПМ.

В декабре под влиянием синоптической перестройки циркуляции вод распределение СПМ заметно изменилось (рис. 4, з). В западной части полигона

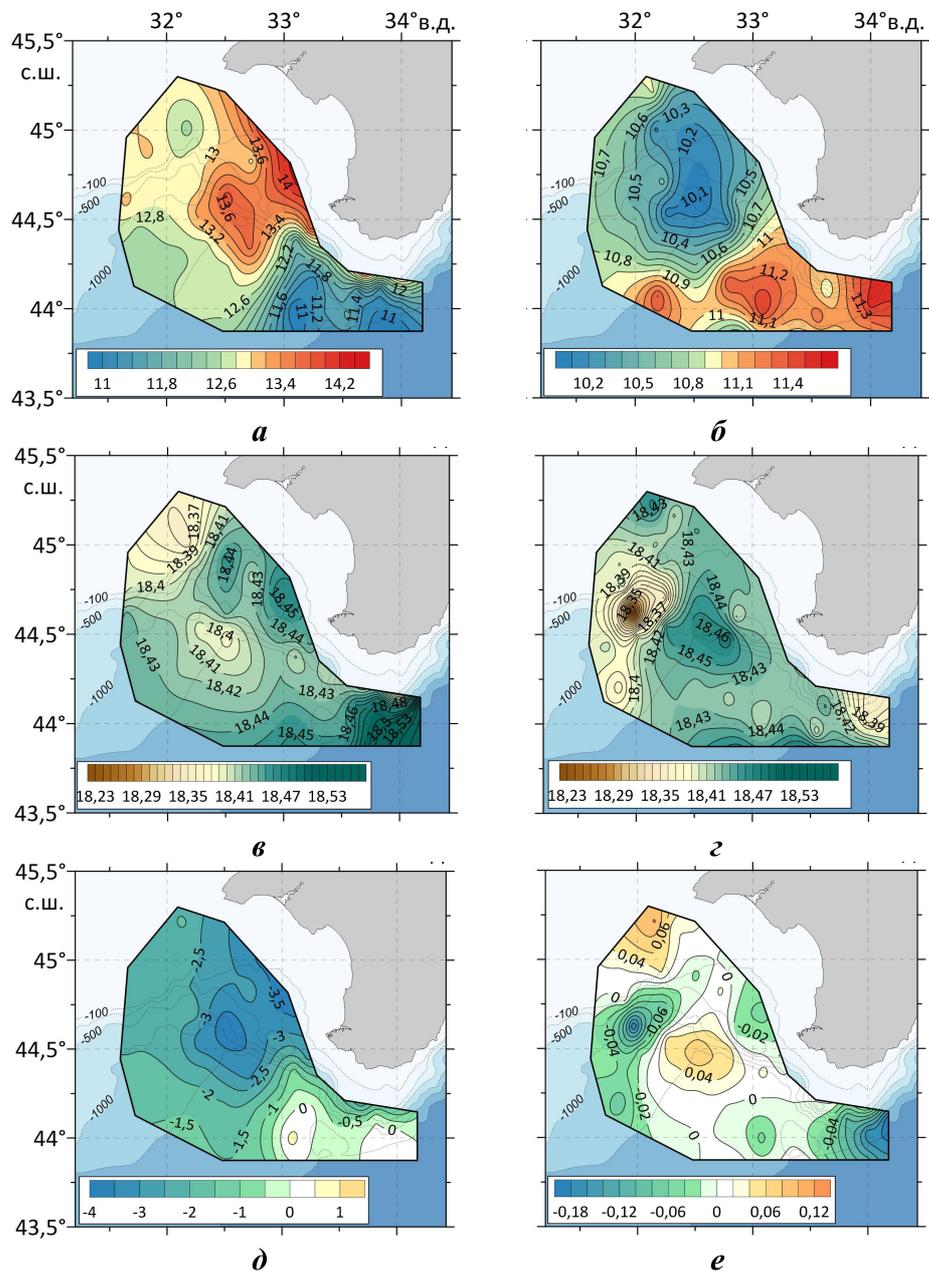


Рис. 4. Распределения ТПМ (*a, б*), СПМ (*в, г*) по данным съемок 98-го (*a, в*) и 101-го (*б, г*) рейсов НИС «Профессор Водяницкий», величин разности ТПМ (*д*) и СПМ (*е*) между съемками 101-го и 98-го рейсов.

сформировалась обширная область распреснения (18,29 – 18,39 ‰), обусловленная интенсивным переносом вод северо-западного шельфа потоками на юг, зафиксированными инструментальными измерениями (рис.4, *г*; 2, *г*). Понижение солености до 18,35 – 18,39 ‰ наблюдалось также в восточной части полигона южнее берегов Крыма, где отмечались повышенные значения ТПМ. Понижение СПМ и повышение ТПМ в этом районе были связаны

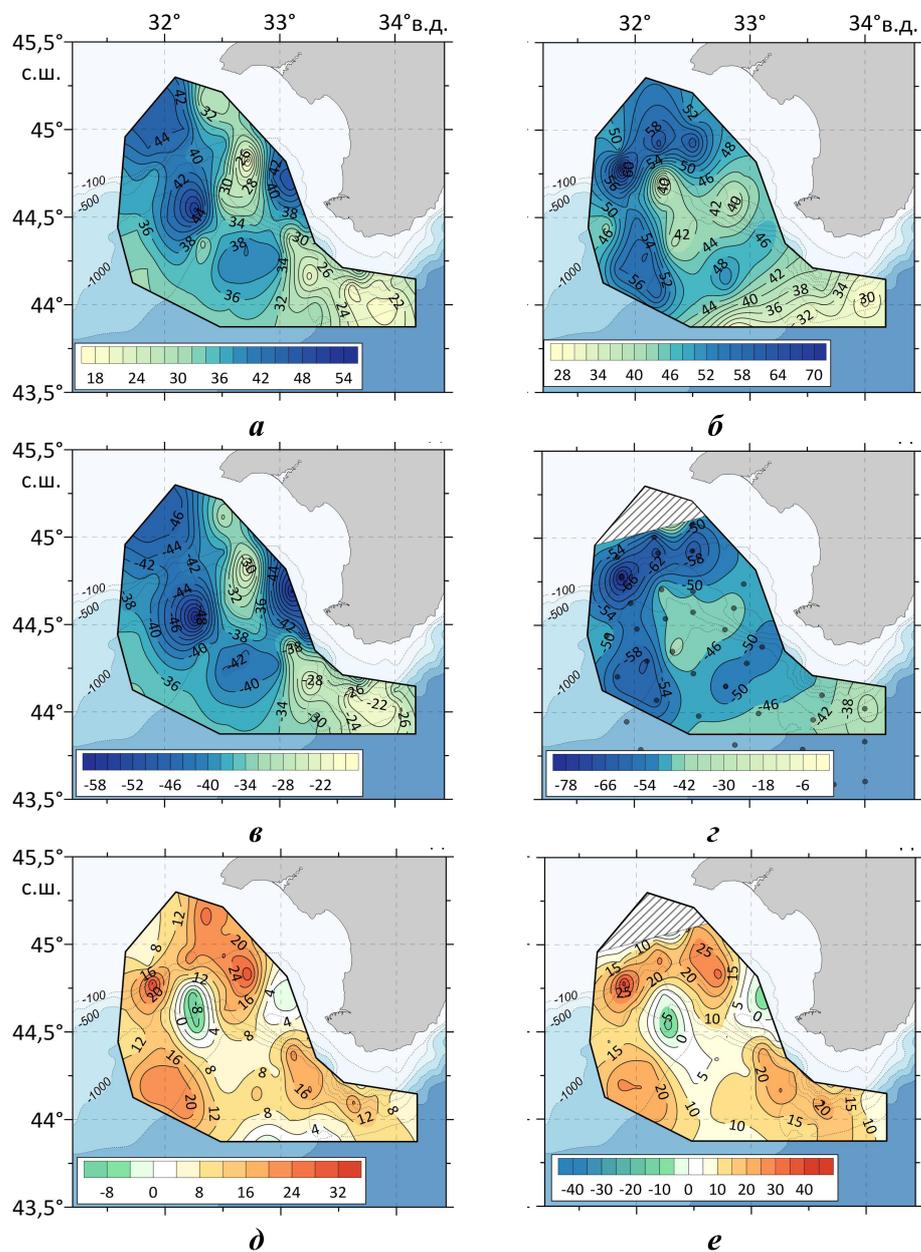
с усилением ОЧТ, переносящего более пресные и теплые воды с востока. Распределение вод повышенной солености также носило сложный характер – «пятна» вод с соленостью порядка 18,45 – 18,48 ‰ наблюдались в центральной части и у северной и южной границ полигона (рис.4, з). Это может быть связано с проникновением на север соленых вод из зоны халистатики под воздействием ветров южных румбов в период, предшествующий съемке. Во время съемки эта высокосоленая зона разрывалась более пресными потоками вод, переносимых ветвями ОЧТ на запад и северо-запад, и вод северо-западного шельфа, проникающими на северо-восток полигона под воздействием восточных течений (рис.4, з; 2, з).

Распределение величин разности СПМ между двумя съемками показало, что, в отличие от повсеместного климатического повышения СПМ в декабре по сравнению с ноябрем (рис.3, е), увеличение солености (на 0,04 – 0,08 ‰) наблюдалось только у северной границы и в центральной части полигона, где располагался декабрьский максимум СПМ (рис.4, е). На значительной части акватории соленость уменьшалась. Максимальное понижение солености (почти на 0,16 ‰) в декабре выявлено на западе полигона за счет смещения к югу пятна низкосоленых вод, проникающих с северо-западного шельфа. Другая область понижения СПМ отмечена на юго-востоке полигона в зоне переноса распресненных вод потоком ОЧТ.

Синоптическая изменчивость, выявленная в полях температуры и солености на поверхности, проявилась и в распределениях характеристик ВКС, ВГТ и ХПС. Наибольшие глубины залегания нижней границы ВКС в ноябре наблюдались на северо-западной (44 – 50 м) и юго-восточной (до 38 – 40 м) перифериях СА, в северо-западной части шельфа и у восточной границы северо-западнее Гераклеяского п-ова (до 42 – 48 м) (рис.5, а). Минимальные глубины нижней границы ВКС (20 – 28 м) отмечались в юго-восточной части полигона ближе к области Западного крупномасштабного циклонического круговорота Черного моря (ЗЦК) и на шельфе у восточной границы полигона в зоне синоптического циклонического вихря, зафиксированного инструментальными измерениями (рис.5, а; 2, в).

В декабре, когда вместо замкнутого СА наблюдался антициклонический меандр, вертикальная мощность ВКС в нем уменьшалась и не превышала 40 – 42 м. Наибольшие глубины залегания нижней границы ВКС (56 – 68 м) отмечались над шельфом и свалом глубин в северной части полигона, где в период измерений наблюдалось заметное волнение, вызвавшее интенсивное вертикальное перемешивание. В юго-западной части полигона, где вместо циклонического меандра, зафиксированного в ноябре, в декабре наблюдалась конвергенция течения южного направления и основной струи ОЧТ, отмечалось увеличение толщины ВКС до 52 – 58 м. Минимальная толщина ВКС, как и в ноябре, наблюдалась в юго-восточной части полигона ближе к зоне ЗЦК (28 – 32 м) (рис.5, б).

Несмотря на сложную структуру распределения вертикальной мощности ВКС, на большей части акватории в декабре наблюдалось увеличение глубины залегания его нижней границы, что соответствует нормальному сезонному циклу (рис.5, д). Максимальное заглубление нижней границы ВКС (на 22 – 26 м) отмечалось в северной части полигона над шельфом и свалом



Р и с . 5 . Распределения вертикальной толщины ВКС (а, б), глубины залегания нижней границы максимума ВГТ (в, г) по данным съемок 98-го (а, в) и 101-го (б, г) рейсов НИС «Профессор Водяницкий», величин разности этих параметров между съемками 101-го и 98-го рейсов (д, е). Область, где отсутствовал максимум ВГТ, заштрихована.

глубин. Отклонением от климата является то, что в результате разрушения СА в центральной части полигона и появления циклонического меандра у его восточной границы вертикальная мощность ВКС в этих районах в декабре уменьшилась на 2 – 8 м (рис.5, д).

Пространственное распределение глубины залегания максимального

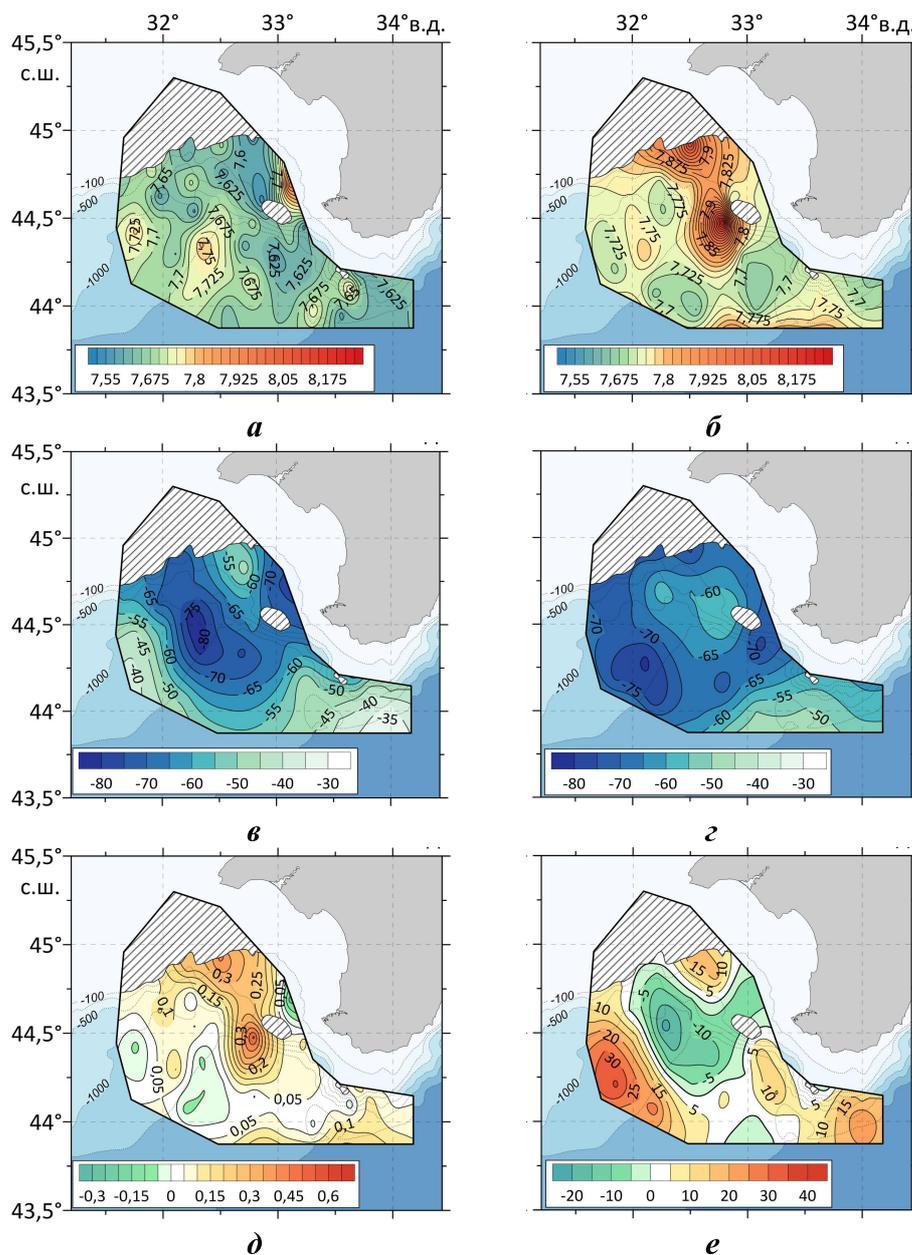
вертикального градиента температуры (ВГТ) в периоды обеих съемок качественно повторяло особенности распределения глубины залегания нижней границы ВКС, положение максимальных и минимальных глубин залегания этих параметров совпадало. В ноябре глубина максимума ВГТ на полигоне изменялась в пределах от 20 – 28 до 46 – 56 м (рис.5, в), в декабре – от 36 – 42 до 58 – 68 м (рис.5, з). Как и глубина нижней границы ВКС, глубина максимума ВГТ в декабре заметно увеличивалась, при этом максимальное заглубление (на 25 – 35 м) наблюдалось в северной части полигона (рис.5, е). Максимум ВГТ в декабре поднимался ближе к поверхности на 5 – 10 м в тех же областях, что и нижняя граница ВКС (рис.5, е).

Проявление синоптической изменчивости, обусловленной динамикой вод, наблюдалось в пространственных распределениях характеристик ХПС и величин их разности между съемками. В ноябре температура в ядре ХПС на большей части акватории полигона изменялась в пределах 7,6 – 7,7 °С, при этом ее повышенные (7,72 – 7,84 °С) и пониженные (7,56 – 7,58 °С) значения прослеживались в виде отдельных небольших «пятен» (рис.6, а). Их пространственное положение сложно связать с особенностями распределения глубины залегания ядра ХПС. Высокие значения глубины залегания ядра ХПС (65 – 85 м) прослеживались в обширной области в центральной части полигона, которая вытягивалась к его восточной границе. Минимальные глубины (35 – 40 м) наблюдались в юго-восточной части полигона ближе к зоне ЗЦК и в юго-западной части акватории в области циклонического меандра (рис.6, в).

В декабре пространственное распределение характеристик ХПС заметно изменилось. На северо-восточной периферии крупномасштабного антициклонического меандра наблюдалась обширная область высоких значений температуры в ядре ХПС (7,9 – 8,1 °С) (рис.6, б). Здесь же отмечалось некоторое уменьшение глубины залегания ядра ХПС (60 – 65 м) (рис.6, з). Повышение температуры в ядре ХПС (до 7,74 – 7,8 °С) прослеживалось также у южной границы полигона ближе к зоне ЗЦК, где наблюдались минимальные глубины залегания ядра ХПС (45 – 50 м). Понижение температуры в ядре ХПС (7,68 – 7,7 °С) отмечалось в южной части полигона в виде отдельных «пятен», располагающихся вдоль потока ОЧТ. Наибольшая глубина залегания ядра ХПС (75 – 80 м) наблюдалась в юго-западной части полигона в зоне конвергенции течения южного направления и основной ветви ОЧТ и у восточной границы полигона над свалом глубин южнее Гераклеяского п-ова (рис.6, з).

Распределение величин разности температуры в ядре ХПС между ноябрьской и декабрьской съемками показывает, что температура ядра на большей части акватории в декабре повысилась, что соответствует нормальному сезонному циклу (рис.6, д). Максимальное повышение (на 0,2 – 0,4 °С) прослеживалось на северной и восточной перифериях антициклонического меандра, наблюдаемого в декабре. Понижение температуры в ядре ХПС (на 0,05 – 0,1 °С) отмечалось в виде отдельных «пятен» у восточной границы полигона севернее Гераклеяского п-ова и в юго-западной части полигона в зоне потока южного направления (рис.6, д). Характерно, что понижение температуры в ядре ХПС в юго-западной части полигона происходило на фоне интенсивного заглубления ядра ХПС на 20 – 30 м в результате

конвергенции потока южного направления и ветви ОЧТ, являющейся южной периферией антициклонического меандра (рис.6, *е*). Ближе к центральной части полигона на северной и восточной перифериях антициклонического меандра, наоборот, наблюдалось заметное повышение температуры в ядре ХПС (на 0,2 – 0,45 °С), при этом ядро ХПС здесь приподнялось к поверхности на 10 – 20 м (рис.6, *е*).



Р и с . 6 . Распределения температуры в ядре ХПС (*а*, *б*), глубины его залегания (*в*, *г*) по данным съемок 98-го (*а*, *в*) и 101-го (*б*, *г*) рейсов НИС «Профессор Водяницкий», величин разности этих параметров (*д*, *е*) между съемками 101-го и 98-го рейсов.

Заключение. Сравнительный анализ распределения гидрологических полей по материалам двух синоптических съемок в ноябре и декабре 2017 г. подтвердил полученный ранее в ходе съемок в октябре и ноябре – декабре 2016 г. вывод о том, что основные закономерности сезонного цикла, выявленные в климатических полях, хорошо проявляются в фактических распределениях гидрологических характеристик. Сезонные изменения в осенне-зимний период 2017 г. проявились в понижении ТПМ на 1 – 3,5 °С, увеличении глубины залегания нижней границы ВКС и ВГТ на 20 – 30 м и повышении температуры в ядре ХПС на 0,2 – 0,45 °С. Эти изменения не носят экстремальный характер и не выходят за пределы естественной природной изменчивости. Вместе с тем, распределения фактических гидрологических полей и величин их разности между двумя съемками отличались от климатических и характеризовались «пятнистой» структурой. Пространственные размеры таких «пятен» не превышали десятков километров, что отличает их масштабы от масштабов областей межгодовых аномалий, размеры которых в Черном море могут достигать сотен километров. Это дает основания предполагать, что наблюдаемые отличия от климата и «пятнистая» структура вызваны синоптической изменчивостью.

Синоптические изменения структуры течений по данным съемок в осенне-зимний период 2017 г. проявились в том, что в декабре вместо Севастопольского антициклона, который четко прослеживался в ноябре, наблюдался антициклонический меандр, восточная граница которого была смещена к западу почти на 50 км по сравнению с восточной периферией СА. Вместо двух циклонических меандров у западной границы полигона прослеживался интенсивный поток южного направления, а в северной части шельфа наблюдались потоки восточного направления.

В поле температуры синоптическая изменчивость проявилась в том, что в ноябре область повышенных значений ТПМ наблюдалась несколько севернее, чем по климатическим данным, и характеризовалась двумя отдельными «пятнами» с максимальными значениями ТПМ. Минимум ТПМ прослеживался на юго-востоке съемки, а по климатическим данным – на севере полигона. В декабре фактическая температура превышала климатическую норму примерно на 1 °С; минимум ТПМ наблюдался над свалом глубин, тогда как климатический минимум располагается над шельфом в северной части полигона; в юго-восточной части полигона наблюдались отдельные «пятна», где ТПМ в декабре была почти на 0,5 °С выше, чем в ноябре.

В поле солёности синоптическая изменчивость проявилась в понижении СПМ на значительной части акватории в декабре по сравнению с ноябрем. Максимальное понижение солёности происходило на западе полигона за счет смещения к югу пятна низкосолёных вод, проникающих с северо-западного шельфа и переносимых интенсивным течением южного направления, и на юго-востоке полигона вследствие переноса распресненных вод с востока потоком ОЧТ.

Синоптические изменения динамики вод отразились в распределениях глубин залегания нижней границы ВКС, ВГТ и ядра ХПС. В декабре в результате разрушения СА и смещения к западу восточной границы антициклонического меандра, а также появления циклонического меандра у вос-

точной границы полигона, нижняя граница ВКС, максимум ВГТ и ядро ХПС в этих районах поднялись ближе к поверхности на 2 – 8; 5 – 10 и 10 – 20 м соответственно. В юго-западной части полигона, где в декабре наблюдалась конвергенция интенсивного потока южного направления и основной ветви ОЧТ, ядро ХПС заглубилось на 20 – 30 м, при этом температура в ядре понизилась на 0,05 – 0,1 °С.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0003.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Блатов А.С., Булгаков Н.П., Иванов В.А. и др.* Изменчивость гидрофизических полей Черного моря.– Л.: Гидрометеиздат, 1984.– 240 с.
2. *Sokolova E., Stanev E.V., Yakubenko V. et al* Synoptic variability in the Black Sea: Analysis of hydrographic survey and altimeter data // *J. Marine Systems.*– 2001.– v.31, iss.1-3.– P.45-63.
3. *Ginzburg A.I., Kostianoy A.G., Sheremet N.A.* Seasonal and interannual variability of the Black Sea surface temperature as revealed from satellite data (1982 – 2000) // *J. Marine Systems.*– 2004.– v.52, iss.1-4.– P.33-50.
4. *Ginzburg A.I., Kostianoy A.G., Sheremet N.A.* Sea surface temperature variability // *The Black Sea Environment / The Handbook of Environmental Chemistry / Eds. Kostianoy A.G., Kosarev A.N.*– Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008.– v.5, part Q.– P.255-275.
5. *Tuzhilkin V.S.* Thermohaline structure of the sea // *The Black Sea Environment / The Handbook of Environmental Chemistry/ Eds. Kostianoy A.G., Kosarev A.N.*– Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008.– v.5, part Q.– P.217-253.
6. *Иванов В.А., Белокопытов В.Н.* Океанография Черного моря.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011.– 212 с.
7. *Artamonov Yu.V., Skripaleva E.A., Fedirko A.V.* Regional features of long-term variability of the Black Sea surface temperature // *Russian Meteorology and Hydrology.*– 2017.– v.42, № 2.– P.105-112.
8. *Artamonov Yu.V., Alexeev D.V., Kondratyev S.I. et al* Hydrological conditions in the western part of the Black Sea in November, 2015 (based on the data obtained in the 81st cruise of R/V Professor Vodyanitsky) // *Physical Oceanography.*– 2016.– № 4.– P.57-70.
9. *Артамонов Ю.В., Алексеев Д.В., Шутов С.А. и др.* Динамика и структура вод северо-западной части Черного моря в сентябре 2013 г. // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря.*– 2017.– вып.1.– С.4-14.
10. *Артамонов Ю.В., Алексеев Д.В., Скрипалева Е.А. и др.* Термохалинная структура вод у берегов Крыма и прилегающей открытой акватории Черного моря летом 2016 г. // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря.*– 2017.– вып.3.– С.20-31.
11. *Коновалов С.К.* Предварительные результаты экспедиционных исследований Морского гидрофизического института РАН в 2016 г.: Экспедиционные исследования на научно-исследовательских судах ФАНО России // *Тезисы конференции «Итоги экспедиционных исследований на научных судах ФАНО России».*– М., 2017.– С.74-77.
12. *Артамонов Ю.В., Алексеев Д.В., Скрипалева Е.А. и др.* Особенности сезонной и синоптической изменчивости структуры вод в зоне Основного Черноморского

течения в осенне-зимний период 2016 г. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря.– 2018.– вып.1.– С.32-43.

13. *Artamonov Yu.V., Skripaleva E.A., Alekseev D.V. et al* Hydrological research in the northern part of the Black Sea in 2016 (87th, 89th and 91st cruises of R/V Professor Vodyanitsky) // *Physical Oceanography*.– 2018.– v.25, iss.3.– P.229-234.
14. *Артамонов Ю.В., Федирко А.В., Скрипалева Е.А. и др.* Структура вод в зоне Основного Черноморского течения весной и летом 2017 г. (94-й, 95-й рейсы НИС «Профессор Водяницкий») // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря.– 2019.– вып.1.– С.16-28.
15. *Belokopytov V.N.* Retrospective analysis of the Black Sea thermohaline fields on the basis of empirical orthogonal functions // *Physical Oceanography*.– 2018.– v.25, iss.5.– P.380-389.

Материал поступил в редакцию 03.08.2019 г.

Yu.V.Artamonov, A.V.Fedirko, E.A.Skripaleva, C.A.Shutov,
A.V.Garmashov, D.V.Derjushkin, D.D.Zavyalov, R.V.Kolmak,
R.O.Shapovalov, Yu.I.Shapovalov, S.V.Shcherbachenko

SEASONAL AND SYNOPTIC CHANGES OF WATER STRUCTURE
TO THE SOUTHWEST OF THE CRIMEAN PENINSULA
IN THE AUTUMN AND WINTER 2017
(98th AND 101st CRUISES OF R/V PROFESSOR VODYANITSKY)

The hydrological measurements in the northern Black Sea were carried out during the 98th and 101st cruises of R/V Professor Vodyanitsky in November and December 2017. It is shown that the actual distributions of hydrological parameters according to in situ data reflect the main seasonal cycle peculiarities identified in climatic thermohaline fields for autumn – winter. Seasonal changes were manifested in a surface temperature decrease, in increased depths of the lower boundary of the upper quasihomogeneous layer and in maximum of vertical temperature gradients, and in increased temperature in the cold intermediate layer core. In the spatial structure of thermohaline fields, intense synoptic changes due to water dynamics were revealed.

KEYWORDS: thermohaline fields, upper quasihomogeneous layer, vertical temperature gradient, cold intermediate layer, seasonal cycle, synoptic variability, Rim current, Sevastopol anticyclone