УДК 551.468

DOI: 10.23885/2500-0640-2018-14-1-71-80

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ВОД НА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОМ ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ВЕСНОЙ И ЛЕТОМ 2007 г.

© 2018 г. Ю.И. Инжебейкин¹

Аннотация. Представлены особенности вертикальной T - S -структуры вод северо-восточного шельфа Черного моря по данным гидрологической съемки посредством вертикального STD-зондирования в различные сезоны. При относительно одинаковых значениях потока тепла, проходящего через поверхность моря, в северо-восточной части Черного моря весной можно выделить три основных типа вертикального распределения солёности. Первый тип характеризуется сильно развитым верхним однородным слоем солёности, достигающим горизонтов сезонного пикноклина (25–30 м); образуется в зоне интенсивного вертикального перемешивания (на относительно мелководных акваториях) вдали от распресняющего влияния стока рек или азовоморских вод. Второй тип характеризуется наличием верхнего тонкого (до 1 м) слоя с распресненными (5–15 ‰) водами, который по мере удаления от устьев рек может преобразовываться от сплошного слоя до отдельных разрозненных линз; образуется в районах влияния стока рек при натекании пресных вод на воды с первым типом распределения солёности. Третий тип характеризуется наличием верхнего перемешанного слоя незначительной толщины (2–3 м) с солёностью около 17,32 ‰, который только формируется. Летом профили вертикального распределения солёности и температуры в северо-восточной части Черного моря менее разнообразны по сравнению с весенним периодом: в поверхностном слое четко выделяется верхний перемешанный слой, солёность вод в котором находится в пределах от 16,83–16,90 в прикерченском районе до 17,85–17,90 ‰ на акватории от Туапсе до Сочи (лишь в районе Адлера, где после частых дождевых паводков проявляется распресняющее воздействие стока рек грузинского и абхазского секторов шельфа, вертикальный профиль солёности в поверхностном слое имеет многоступенчатый характер со значениями 17,7–18,1 ‰).

Ключевые слова: Черное море, северо-восточный шельф, сезонные термодинамические процессы, вертикальная T - S -структура вод.

PECULIARITIES IN THE FORMATION OF THE VERTICAL STRUCTURE OF WATERS ON THE BLACK SEA NORTH-EASTERN SHELF IN SPRING AND SUMMER 2007

Yu.I. Inzhebeikin¹

Abstract. Features of vertical T - S -structure of North-Eastern shelf waters of the Black Sea are demonstrated according to hydrological survey on the research vessel “Deneb”. The shooting was done in different seasons through vertical STD sensing using a specific network of stations. However the heat fluxes through the sea surface are relatively similar, in the spring there are three main types of vertical distribution of salinity and temperature on the north-eastern part of the Black Sea. The parameters of these different types of vertical distribution are given. The analysis of the formation mechanisms of such types of vertical distribution is performed. The first type is mainly characterized by a highly developed upper homogeneous layer of salinity, reaching the horizons of the seasonal pycnocline (25–30 m). It is formed in the zone of intense vertical mixing (in areas of relatively shallow water) away from the freshening influence of rivers flow or waters of the Sea of Azov. The second type is characterized by a thin (up to 1 m) upper layer of fresh (5–15 ‰) waters. The farther this layer is from river mouths, the more it can be transformed from the continuous layer to separate lenses. It is formed by the leakage of freshwater into waters with the first type of salinity distribution, and it occurs in

¹ Южный научный центр Российской академии наук (Southern Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: uinzheb@mail.ru

areas of rivers outflow influence. It is characteristic for the third type of vertical distribution of salinity at the Russian coastal shelf that there is a surface mixed layer of insignificant thickness (2–3 m), the salinity of which is about 17.32 ‰, and which is just being formed. In summer, vertical profiles of the salinity distribution in the north-eastern part of the Black Sea are less diverse compared to the spring period. The surface mixed layer is clearly distinguished then. The water salinity is from 16.83–16.90 ‰ in the area near Kerch to 17.85–17.90 ‰ in the area from Tuapse to Sochi. Only in the area of Adler the vertical salinity profile in the surface layer is of multistage character from 17.7 to 18.1 ‰ due to freshening influence of rivers flow after frequent rain floods at the Georgian and Abkhaz shelf sectors.

Keywords: Black Sea, North-Eastern shelf, seasonal thermodynamic processes, the water vertical T - S -structure.

ВВЕДЕНИЕ

Термохалинная (T , S) структура морских вод, определяя крупномасштабную термодинамику и бароклинную динамику вод моря, является одной из основных абиотических компонент экосистемы моря, с которой связаны такие опасные явления, как заморы, внутренние боры и т.д., поэтому изучение ее весьма актуально. Особую значимость приобретает изучение T - S -структуры в северо-восточной части Черного моря, как из-за климатических изменений, так и из-за резкой активизации хозяйственной деятельности (морской транспорт, строительство газопровода «Южный поток», моста через Керченский пролив), и где такие исследования недостаточны.

Исследование вертикальной гидрологической структуры вод Черного моря имеет продолжительную историю. Первые океанографические экспедиции были проведены под руководством И.Б. Шпиндлера в конце XIX в., систематические океанологические данные получены в многолетних экспедициях под руководством Н.М. Книповича (1922–1928 гг.), Ю.М. Шокальского и В.А. Снежинского (1923–1935 гг.). С 50-х гг. прошлого века начались массовые регулярные экспедиционные исследования Черного моря Гидрометеослужбой СССР и несколькими другими ведомствами. Накопленные материалы были опубликованы в виде гидрологических карт, атласов и монографий [1–7]. При расчетах по данным многолетних наблюдений статистических характеристик полей температуры и солености в узлах регулярной сетки в работах [5–9] были предложены и использованы алгоритмы оптимальной интерполяции и аппроксимации различными сплайнами, учитывающие пространственно-временную согласованность океанографических характеристик по Черному морю. В работах [2; 10–12] более подробно рассмотрен вклад конвективных процессов и адвекции в изменчивость полей температуры и солености в море. В публи-

кациях [13–15] исследована внутригодовая эволюция крупномасштабной термохалинной структуры вод основного бароклинного слоя Черного моря толщиной 300 м; при этом в его основном пикноклине были показаны проявления планетарно-волновой динамики суббассейновых неоднородностей гидрологических полей. Изучение пространственно-временной структуры реакции Черного моря на внешнее возбуждение (главным образом на завихренность ветра) с годовым периодом было выполнено в работе [14]. Выявлено, что преобладающая в основном бароклинном слое годовая гармоника в отличие от поверхностного слоя имеет динамическое происхождение и представляет собой суперпозицию основного крупномасштабного стоячего колебания и его суббассейновых аномалий, образующих циклонически вращающиеся амфидромические системы с параметрами, близкими к годовым бароклиным волнам Россби. Более детально закономерности и механизмы формирования климатической сезонной и многолетней изменчивости крупномасштабной термохалинной структуры вод Черного моря исследованы и выявлены в работе [15]. Влияние различных процессов на гидрофизическую структуру вод Черного моря и на ее короткопериодные колебания рассмотрено в статьях [16–20], а в прибрежной зоне северо-восточной части Черного моря – в работах [20–22].

В прибрежных районах в формировании гидрофизических полей возрастает роль различных динамических процессов. Кроме того, при одинаковых значениях потока тепла, проходящего через поверхность моря, более мелководные области вблизи берега испытывают большие пространственно-временные вариации температуры, чем глубоководные районы [23]. В этой связи нам хотелось бы остановиться на некоторых особенностях формирования вертикальной структуры вод в северо-восточной прибрежной зоне Черного моря и влиянии на них сезонных процессов.

Рис. 1. Сетка океанографических станций в Черном море: а – апрель 2007 г.; б – июль 2007 г.

Fig. 1. Network of oceanographic stations in the Black Sea: а – April 2007; б – July 2007.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Весной и летом 2007 г. нами на научно-исследовательском судне «Денеб» проводились исследования гидрологических полей в прибрежной зоне российского сектора Черного моря посредством вертикального STD-зондирования. Сетка станций (рис. 1) была сформирована с учетом особенностей топографии дна, расположения прибрежного гидрологического фронта и с условием выполнения разовой съемки за наиболее короткий промежуток времени, чтобы обеспечить «мгновенность» наблюдений [20]. При анализе вертикального распределения температуры вод Черного моря толщу вод принято условно разделять на три слоя: 1) деятельный слой (0–200 м), на нижней границе которого величина сезонных колебаний температуры воды из-за потоков тепла через поверхность моря уменьшается в 100 раз; 2) промежуточный слой (200–500 м), в котором наблюдаются устойчивые вертикальные и горизонтальные изменения, не связанные с сезонными колебаниями; 3) глубинный слой (ниже 500 м), в котором отсутствуют устойчивые горизонтальные изменения и в климатическом плане имеет место повышение температуры с глубиной вследствие адиабатического нагревания [7]. По механизму динамики энthalпии вод деятельный слой в свою очередь разделяют на два слоя: слой с преимущественно вертикальным обменом тепла (включающим в себя верхний перемешанный слой (ВПС) и слой сезонного термоклина); холодный промежуточный слой (ХПС) с преимущественно горизонтальной адвекцией вод, распространяющихся изопикнически в верхних слоях постоянного галоклина [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрим вертикальную гидрологическую структуру вод северо-восточной части Черного моря, исходя из вышеизложенного и относительно главных черт вертикальной T – S -структуры вод Черного моря в общем. Из рисунка 2 можно заметить, что ВПС в северо-восточной части акватории в первой декаде апреля 2007 г. имел толщину 40–60 м, возросшую зимой вследствие термической конвекции. ВПС был ограничен снизу слоем основного галоклина с вертикальными градиентами солёности от 0,06 до 0,1 ‰ м^{–1}, постоянно существующим в Черном море в диапазоне глубин от 30–60 до 150–200 м [15].

К концу первой декады апреля 2007 г. в период нашей съемки весеннее повышение температуры уже началось на всем протяжении северо-восточного шельфа Черного моря. Температура воды в поверхностном слое росла по направлению с северо-запада на юго-восток – от 9,4 °С в прикерченском районе до 11,2 °С чуть южнее Туапсе, – а толщина ВПС, наоборот, уменьшалась – от 11 м на траверзе Анапы до 2 м в районе Сочи (рис. 2а). Последнее обусловлено тем, что в более мелководном прикерченском секторе близость дна, увеличивая турбулентное перемешивание, приводит к более интенсивному вертикальному перемешиванию вод [21], что также сказывается и на температуре всего слоя ВПС, которая для прикерченского района, как мы уже заметили, оказалась ниже почти на 2 °С. Ниже ВПС располагался термоклин, занимая слой на глубинах от 2,5–6,5 м в районе Лазаревской до 12–25 м севернее Новороссийска (рис. 2а). Вертикальные

Рис. 2. Вертикальные профили температуры воды на станциях в апреле 2007 г.: *а* – на траверзе Новороссийска (станция 14); *б* – на траверзе Джубги (станция 19); *в* – на траверзе Лазаревской (станция 25); *г* – параллельный берегу разрез температуры на расстоянии 12 миль от берега от траверза Анапы до траверза Адлера.

Fig. 2. Vertical profiles of water temperature at stations in April 2007: *a* – abeam Novorossiysk (station 14); *b* – abeam Dzhubga (station 19); *v* – abeam Lazarevskoye (station 25); *z* – the parallel to the shore section of temperature at a distance of 12 miles from shore from abeam Anapa to abeam Adler.

градиенты температуры в термоклине изменялись от $0,02\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$ на севере района исследований до $0,33\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$ в районе Лазаревской.

Из рисунка 2 можно заметить, что весной 2007 г. на большинстве станций основная толща вод была занята сезонным термоклином. В нем выделяется верхняя часть, которая на большей части исследуемого района ограничена горизонтами 10–20 м. На этом участке профилей вертикальные градиенты температуры воды имеют наиболее высокие значения. В нижней части сезонного термоклима вертикальные градиенты температуры намного ниже, за исключением отдельных станций (например станция 14 на акватории между Анапой и Новороссийском или станция 15 на траверзе Новороссийска). Здесь в вертикальном профиле температуры на горизонтах от 33 до 44 м значение вертикального гра-

диента температуры было в 5 раз выше ($0,1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$) по сравнению с его величиной ($0,02\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$) на верхнем участке от 11 до 25 м (рис. 2а). При этом на станции 14 и еще на некоторых станциях в пределах термоклима наблюдалась более сложная, многоступенчатая структура вод, когда чередовались участки профилей с более высокими и пониженными (или даже нулевыми) вертикальными градиентами температуры воды. Это обусловлено тем, что на акватории расположения этих станций ВПС в течение зимне-весеннего периода формировался несколько раз.

Вертикальное распределение солёности вод Черного моря формируется под влиянием солевого баланса, определяемого атмосферными осадками, испарением, изменением стока рек, адвекцией вод из Мраморного и Азовского морей, а также

образованием и разрушением льда, в основном в северо-западной и северо-восточной частях моря. Пресные воды, которые поступают в Черное море с речным стоком и осадками, перераспределяются течениями и турбулентностью в верхнем слое толщиной от 5–10 м весной и летом до 40–60 м в конце зимы [15]. Соленость воды в этом слое обычно находится в пределах 17,5–18,5 ‰. Поступающие из Мраморного моря в юго-западную часть Черного моря соленые (около 35,6 ‰) воды на горизонте около 60 м распространяются в более глубокие слои.

Условия циркуляции атмосферы (господство прохладных воздушных масс, поступающих с севера и северо-запада) способствовали тому, что в апреле 2007 г. среднемесячная температура воздуха в российском секторе Черного моря была на 1 °C ниже нормы. Тем не менее, согласно данным ра-

боты [24], в первой декаде апреля в условиях действия умеренных ветров переменных направлений, осадков и речного стока, находившихся в пределах климатической нормы, расположение основного черноморского течения было относительно близким (25–40 км) к береговой линии на всем протяжении побережья от Сочи до Новороссийска. T – S -параметры в исследуемом районе были близки к их среднеемноголетним значениям.

В северо-восточной части Черного моря весной наблюдается три основных типа вертикального распределения солености (рис. 3). Первый тип образуется в зоне интенсивного вертикального перемешивания (на мелководных акваториях или вблизи от них), вдали от распресняющего влияния стока рек или азовоморских вод; здесь сильно развит верхний однородный слой солености, достигающий горизонтов сезонного пикноклина (25–30 м),

Рис. 3. Вертикальные профили солености на тех же станциях, что на рисунке 2: *a* – станция 14; *б* – станция 19; *в* – станция 25; *г* – верхняя часть вертикального профиля солености на станции 19.

Fig. 3. Vertical profiles of salinity for the same stations that in Fig. 2: *a* – station 14; *б* – station 19; *в* – station 25; *г* – the upper part of the vertical profile of salinity at station 19.

Рис. 4. Вертикальные профили температуры воды на траверзах Новороссийска (а), Туапсе (б) и Сочи (в) в июле 2007 г.
Fig. 4. Vertical profiles of water temperature at the traverse Novorossiysk (a), Tuapse (b) and Sochi (v) in July 2007.

где вертикальный градиент солёности возрастает до $0,02 \text{ ‰ m}^{-1}$ (рис. 3а). Солёность вод при этом в ВПС находится в пределах от 17,96 до 17,98 ‰. Ниже верхнего участка галоклина (глубины 25–35 м) солёность равномерно или слабозаметными ступеньками (когда чередуются участки профилей с более высокими и пониженными (или даже нулевыми) вертикальными градиентами солёности) возрастает до 18,70–19,20 ‰ до глубин 100–115 м или до дна (где глубины меньше 100 м). Сложная многоступенчатая солёностная структура вод в основном располагается до глубин проникновения осенне-зимней термической конвекции, достигающей к концу зимы максимальной (до 50–60 м) мощности. Наиболее четко первый тип вертикального распределения солёности проявляется на участке шельфа в районе Новороссийска (станции 14–15).

Второй тип (рис. 3б) образуется при натекании пресных вод на воды с первым типом распределения солёности, и происходит это в районах влияния стока рек, где самый верхний тонкий слой (толщи-

ной до 1 м) занят распресненными (5–15 ‰) водами (рис. 3г), и по мере удаления от устьев рек он может преобразовываться от сплошного слоя до отдельных разрозненных линз (пятен). Второй тип наблюдается в районах вблизи устьев рек и на акватории севернее Туапсе. Солёность вод в однородном слое, располагающемся ниже распресненного слоя на горизонтах 1–25 м, составляет 17,86–17,98 ‰, а далее с глубиной равномерно возрастает до 18,60–18,80 ‰ на глубинах 100–110 м со средней величиной вертикального градиента около $0,01 \text{ ‰ m}^{-1}$. Ниже этого слоя вертикальный градиент солёности резко увеличивается до $0,07 \text{ ‰ m}^{-1}$, и солёность в толще воды от 108–110 до 115–119 м повышается почти на 1 ‰, достигая значений 19,5 ‰, а глубже в пределах акватории, ограниченной 200-метровой изобатой, равномерно растёт до самого дна (рис. 3б).

Третий тип вертикального распределения солёности в российском секторе прикавказского шельфа характеризуется наличием ВПС незначительной

толщины (2–3 м) с соленостью 17,32 ‰, который только формируется (рис. 3в). Ниже этого слоя располагается резкий (0,15 ‰ м⁻¹) галоклин толщиной чуть более 2 м. Далее, с горизонта 5–7 м, размещается слой толщиной 75–80 м с равномерным ростом солености от 17,70 ‰ в верхней части слоя до 18,46–18,50 ‰ в его нижней части. На горизонтах 80–85 м для этого типа вертикального распределения солености появляется второй галоклин с градиентами около 0,13 ‰ м⁻¹, ниже которого соленость равномерно увеличивается от 18,89 до 21,11 ‰ до горизонта 200 м или до самого дна в зоне, ограниченной 200-метровой изобатой (рис. 3в).

В июле 2007 г., по данным работы [24], в российском секторе Черного моря преобладали ветры малой интенсивности преимущественно северных румбов со средними скоростями 5 м/с, а в северной части сектора – до 8 м/с. Это способствовало сохранению низкой динамики течений в южной части российского сектора и незначительному ее усилению в северной части. Наблюдалась ослабленная интенсивность основного черноморского течения и отсутствие активно эволюционировавших прибрежных антициклонических вихрей, что не способствовало обмену и вентиляции прибрежных вод. Вследствие незначительного количества осадков практически не были отмечены выносы взмученных речных вод. Относительно стабильные вихревые структуры зафиксированы либо севернее (прибрежный антициклонический вихрь диаметром до 60 км переместился от мыса Идокопас до мыса Мысхако), либо южнее (в абхазском секторе моря выделялись отдельные циклонические вихри, преимущественно в мористой зоне на удалении 50–80 км от береговой линии).

В теплый период года, как видно из рисунка 4, верхний перемешанный слой Черного моря имеет толщину менее 10 м. В это время его подстиляет слой сезонного пикноклина (термоклина), тоже тонкий (10–20 м), но с более высокими вертикальными градиентами температуры (0,2–0,3 °С м⁻¹) и, соответственно, плотности (0,10–0,15 кг м⁻⁴) вод [7]. В начале второй декады июля 2007 г. в период нашей съемки после весенне-летнего прогрева в ВПС толщиной 7,5–10 м температура уже повысилась до летних норм (24,5–25,5 °С) (рис. 4) на всем протяжении северо-восточного шельфа Черного моря. Ниже ВПС располагался сезонный термоклин, который в июле 2007 г. занимал слой толщиной 12–22 м на глубинах от 6–9 до 20–23 м, то есть его нижняя граница соответствовала среднемноголетнему

положению. Вертикальные градиенты температуры в термокline в среднем составили 0,45–0,48 °С м⁻¹, доходя в максимуме иногда до 2,98 °С м⁻¹. Абсолютный минимум в вертикальном профиле температуры воды приходился на глубину порядка 60 м, составив 7,5–7,7 °С (рис. 4), и ХПС толщиной около 50 м занимал горизонты от 30–50 до 80–100 м, находясь в верхней части основного пикноклина. Гидростатическая устойчивость слоя минимума температуры поддерживалась пониженной (18,0–18,5 ‰), относительно ее значений в нижележащих слоях, соленостью (рис. 5). Можно заметить, что летом в период съемки глубина залегания верхней границы ХПС уменьшается с северо-запада на юго-восток с 50 м в районе Новороссийска до 30 м в районе Сочи (рис. 4). Толщина холодного промежуточного слоя, соответственно, имеет тенденцию повышаться с севера на юг вдоль кавказского побережья с 60 м в районе Новороссийска до 70 м в районе Сочи за счет смещения ближе к поверхности верхней границы ХПС. Ниже ХПС температура воды медленно и равномерно повышается до 8,78–8,87 °С до горизонтов 300–350 м или до дна на акваториях, ограниченных по глубине этими значениями (рис. 4).

Профиль вертикального распределения солености в летний период в северо-восточной части Черного моря менее разнообразен по сравнению

Рис. 5. Вертикальные профили солености воды на траверзах Новороссийска (а) и Адлера (б) в июле 2007 г.

Fig. 5. Vertical profiles of salinity abeam Novorossiysk (a) and Adler (b) in July 2007.

с таковым в весенний период. Почти на всей акватории северо-восточной части Черного моря в поверхностном слое четко выделяется ВПС (рис. 5), соленость вод в котором находится в пределах от 16,83–16,90 в прикерченском районе до 17,85–17,90 ‰ от Туапсе до Сочи. Лишь в районе Адлера, где после частых дождевых паводков проявляется распресняющее воздействие стока рек грузинского и абхазского секторов шельфа, вертикальный профиль солености в поверхностном слое имеет многоступенчатый характер со значениями 17,7–18,1 ‰ (рис. 5б). Соленость вод ниже ВПС (или распресненного ступенчатого слоя) составляет 18,0–18,4 ‰, а далее с глубиной равномерно возрастает до 18,60–18,80 ‰ на глубинах 100–110 м со средней величиной вертикального градиента около $0,01 \text{ ‰ м}^{-1}$. Ниже этого слоя вертикальный градиент солености резко увеличивается до $0,07 \text{ ‰ м}^{-1}$, и соленость в толще воды от 108–110 до 115–119 м повышается почти на 1 ‰, достигая значений 19,5 ‰, а глубже в пределах акватории, ограниченной 200-метровой изобатой, равномерно растет до самого дна.

Таким образом, в результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы. При относительно одинаковых значениях потока тепла через поверхность моря, но различии объема пресноводного притока и глубины моря на разных участках в северо-восточной части Черного моря весной формируются три основных типа вертикального распределения солености.

Вертикальное распределение температуры воды весной на разных участках прибрежной зоны отличается лишь увеличением температуры и уменьшением толщины ВПС по мере продвижения с северо-запада на юго-восток.

Летом профили вертикального распределения как температуры, так и солености на разных участках прибрежной зоны северо-восточной части Черного моря, в отличие от таковых в весенний период, примерно одинаковы.

Публикация подготовлена в рамках темы «Современное состояние и многолетняя изменчивость прибрежных экосистем южных морей России» № госрегистрации ЦИТИС: 01201363187.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Самойленко В.С. 1956. *Климатический и гидрологический атлас Черного и Азовского морей*. М., Гидрометеиздат: 103 с.
- Новицкий В.П. 1964. Вертикальное строение водной толщи и общие черты циркуляции вод Черного моря. В кн.: *Труды Азово-Черноморского НИИ морского рыбного хозяйства и океанографии*. Вып. 23. *Океанографические исследования Черного моря*. Керчь, Пищевая промышленность: 3–22.
- Филиппов Д.М. 1968. *Циркуляция и структура вод Черного моря*. М., Наука: 136 с.
- Справочник по климату Черного моря*. 1974. М., Гидрометеиздат: 406 с.
- Андрющенко А.А. 1975. *Статистическая макроструктура гидрологических полей Черного моря и методика их расчета на основе применения оптимальной интерполяции*. Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Севастополь, МГИ АН УССР: 18 с.
- Альтман Э.Н., Гертман И.Ф., Голубева З.А. 1987. *Климатические поля солености и температуры воды Черного моря*. Севастополь, СО ГОИН: 110 с.
- Симонов А.И., Альтман Э.Н. 1991. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. IV. Черное море*. Вып. 1. *Гидрометеорологические условия*. Л., Гидрометеиздат: 430 с.
- Жоров В.А., Богуславский С.Г. 1985. Тенденции некоторых гидролого-гидрохимических процессов Черного моря. *Метеорология и гидрология*. 11: 63–69.
- Гертман И.Ф. 1986. Метод обработки батометрических измерений с целью расчета полей статистических характеристик. В кн.: *Труды ГОИН*. Вып. 176. *Гидрология и гидрохимия южных морей*. Л., Гидрометеиздат: 37–42.
- Добровольский А.Д. 1977. *Конвективное перемешивание в море*. М., изд-во МГУ: 239 с.
- Добровольский А.Д., Залогин В.С. 1982. *Моря СССР*. М., изд-во МГУ: 192 с.
- Блатов А.С., Булгаков Н.П., Иванов В.А., Косарев А.Н., Тужилкин В.С. 1984. *Изменчивость гидрофизических полей Черного моря*. Л., Гидрометеиздат: 240 с.
- Еремеев В.Н., Иванов В.А., Косарев А.Н., Тужилкин В.С. 1992. Климатическая внутригодовая изменчивость геострофической циркуляции вод Основного Черноморского течения. *Морской гидрофизический журнал*. 3: 55–73.
- Eremeev V.N., Ivanov V.A., Kosarev A.N., Tuzhilkin V.S. 1994. Annual and semiannual harmonics in the climatic salinity field of the Black Sea. In: *Diagnosis of the state of marine environment of the Azov-Black Sea basin*. Sevastopol, MHI NUAS: 89–101.
- Тужилкин В.С. 2008. *Сезонная и многолетняя изменчивость термохалинной структуры вод Черного и Каспийского морей*. Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. М., МАКС-Пресс: 45 с.
- Зацепин А.Г., Голенко Н.Н., Корж А.О., Кременецкий В.В., Пака В.Т., Поярков С.Г., Стунжас П.А. 2007. Влияние динамики течений на гидрофизическую структуру вод и вертикальный обмен в деятельном слое Черного моря. *Океанология*. 47(3): 327–339.
- Зацепин А.Г., Корж А.О., Кременецкий В.В., Островский А.Г., Поярков С.Г., Соловьев Д.М. 2008. Изучение гидрофизических процессов на шельфе и верхней части

континентального склона Черного моря с использованием традиционных и новых методов измерений. *Океанология*. 48(4): 510–519.

18. Зацепин А.Г., Островский А.Г., Кременецкий В.В., Пиотух В.Б., Куклев С.Б., Москаленко Л.В., Подымов О.И., Баранов В.И., Корж А.О., Станичный С.В. 2013. О природе короткопериодных колебаний основного черноморского пикноклина, субмезомасштабных вихрях и реакции морской среды на катастрофический ливень 2012 г. *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 49(6): 717–732. doi: 10.7868/S0002351513060151
19. Зацепин А.Г., Островский А.Г., Кременецкий В.В., Низов С.С., Пиотух В.Б., Соловьев В.А., Швоев Д.А., Цибульский А.Л., Куклев С.Б., Куклева О.Н., Москаленко Л.В., Подымов О.И., Баранов В.И., Кондрашов А.А., Корж А.О., Кубряков А.А., Соловьев Д.М., Станичный С.В. 2014. Подспутниковый полигон для изучения гидрофизических процессов в шельфово-склоновой зоне Черного моря. *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 50(1): 16–29. doi: 10.7868/S0002351513060163
20. Матишов Г.Г., Инжебейкин Ю.И. 2012. Субинерционные движения на северо-восточном шельфе Черного моря. *Доклады Академии наук*. 446(6): 686–689.
21. Инжебейкин Ю.И. 2015. Мелкомасштабная изменчивость термохалинной структуры верхнего перемешанного слоя северо-восточной части Черного моря. *Вестник Южного научного центра*. 11(2): 45–52.
22. Сильвестрова К.П., Зацепин А.Г., Мысленков С.А. 2017. Прибрежные апвеллинги в Геленджикском районе Черного моря: связь с ветровым воздействием и течением. *Океанология*. 57(4): 521–530. doi: 10.7868/S0030157417040013
23. Боуден К. 1988. *Физическая океанография прибрежных вод*. М., Мир: 324 с.
24. Характеристика синоптических процессов и гидрометеорологических условий. 2007. URL: http://planet.iitp.ru/sea_monitor/archive/2007/12/08.htm (дата обращения: 20.05.2017).

REFERENCES

1. Samoylenko V.S. 1956. *Klimaticheskii i gidrologicheskii atlas Chernogo i Azovskogo morey*. [Climatic and hydrological Atlas of the Black and Azov seas]. Moscow, Gidrometeoizdat: 103 p. (In Russian).
2. Novitskiy V.P. 1964. [The vertical structure of the water column and general features of water circulation in the Black Sea]. In: *Trudy Azovo-Chernomorskogo NII morskogo rybnogo khozyaystva i okeanografii. Vyp. 23. Okeanograficheskie issledovaniya Chernogo morya*. [Proceedings of the Azov-Black Sea Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography. Iss. 23. Oceanographic studies of the Black Sea]. Kerch, Pishchevaya promyshlennost': 3–22. (In Russian).
3. Filippov D.M. 1968. *Tsirkulyatsiya i struktura vod Chernogo morya*. [Circulation and structure of waters of the Black Sea]. Moscow, Nauka: 136 p. (In Russian).
4. *Spravochnik po klimatu Chernogo morya*. [Handbook on climate of the Black Sea]. 1974. Moscow, Gidrometeoizdat: 406 p. (In Russian).
5. Andryushchenko A.A. 1975. *Statisticheskaya makrostruktura gidrologicheskikh poley Chernogo morya i metodika ikh rascheta na osnove primeneniya optimal'noy interpolatsii*. [Statistical macro-structure of hydrological fields of the Black Sea and the method of their calculation based on the use of optimal interpolation. PhD Abstract]. Sevastopol, Marine Hydrophysical Institute of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR: 18 p. (In Russian).
6. Al'tman E.N., Gertman I.F., Golubeva Z.A. 1987. *Klimaticheskie polya solenosti i temperatury vody Chernogo morya*. [Climatic fields of salinity and water temperature of the Black Sea]. Sevastopol, Sevastopol Branch of the State Oceanographic Institute: 110 p. (In Russian).
7. Simonov A.I., Al'tman E.N. 1991. *Gidrometeorologiya i gidrokimiya morey SSSR. T. IV. Chernoe more. Vyp. 1. Gidrometeorologicheskie usloviya*. [Hydrometeorology and Hydrochemistry of the USSR seas. Vol. IV. The Black Sea. Iss. 1. Hydrometeorological conditions]. Leningrad, Gidrometeoizdat: 430 p. (In Russian).
8. Zhorov V.A., Boguslavskiy S.G. 1985. [Some trends in hydrological and hydrochemical processes of the Black Sea]. *Meteorologiya i gidrologiya*. 11: 63–69. (In Russian).
9. Gertman I.F. 1986. [Processing method of bathometric measurements to calculate the fields of statistical characteristics]. In: *Trudy GOIN. Vyp. 176. Gidrologiya i gidrokimiya yuzhnykh morey*. [Proceedings of the State Oceanographic Institute. Iss. 176. Hydrology and hydrochemistry of the southern seas]. Leningrad, Gidrometeoizdat: 37–42. (In Russian).
10. Dobrovol'skiy A.D. 1977. *Konvektivnoe peremeshivanie v more*. [Convective mixing in seas]. Moscow, Moscow State University: 239 p. (In Russian).
11. Dobrovol'skiy A.D., Zalogin V.S. 1982. *Morya SSSR*. [Seas of the USSR]. Moscow, Moscow State University: 192 p. (In Russian).
12. Blatov A.S., Bulgakov N.P., Ivanov V.A., Kosarev A.N., Tuzhilkin V.S. 1984. *Izmenchivost' gidrofizicheskikh poley Chernogo morya*. [Variability of the hydrophysical fields of the Black Sea]. Leningrad, Gidrometeoizdat: 240 p. (In Russian).
13. Eremeev V.N., Ivanov V.A., Kosarev A.N., Tuzhilkin V.S. 1992. [Climatic intra-annual variability of geostrophic circulation of waters of the Black Sea Rim Current]. *Morskoy gidrofizicheskii zhurnal*. 3: 55–73. (In Russian).
14. Eremeev V.N., Ivanov V.A., Kosarev A.N., Tuzhilkin V.S. 1994. Annual and semiannual harmonics in the climatic salinity field of the Black Sea. In: *Diagnosis of the state of marine environment of the Azov-Black Sea basin*. Sevastopol, MHI NUAS: 89–101.
15. Tuzhilkin V.S. 2008. *Sezonnaya i mnogoletnyaya izmenchivost' termokhalinnoy struktury vod Chernogo i Kaspiyskogo morey*. [Seasonal and long-term variability of thermohaline structure of waters of the Black and Caspian seas. SciD Abstract]. Moscow, MAX-Press: 45 p. (In Russian).
16. Zatsepin A.G., Golenko N.N., Korzh A.O., Kremenetskii V.V., Paka V.T., Poyarkov S.G., Stunzhas P.A. 2007. Influence of the dynamics of currents on the hydrophysical structure of the waters and the vertical exchange in the active layer of the Black Sea. *Oceanology*. 47(3): 301–312. doi: 10.1134/S0001437007030022
17. Zatsepin A.G., Korzh A.O., Kremenetskii V.V., Ostrovskii A.G., Poyarkov S.G., Solov'ev D.M. 2008. Studies of the Hydrophysical Processes over the Shelf and Upper Part of the

- Continental Slope of the Black Sea with the Use of Traditional and New Observation Techniques. *Oceanology*. 48(4): 466–475. doi: 10.1134/S0001437008040024
18. Zatsepin A.G., Ostrovskii A.G., Kremenetskiy V.V., Piotukh V.B., Kuklev S.B., Moskalenko L.V., Podymov O.I., Baranov V.I., Korzh A.O., Stanichny S.V. 2013. On the Nature of Short-Period Oscillations of the Main Black Sea Pycnocline, Submesoscale Eddies, and Response of the Marine Environment to the Catastrophic Shower of 2012. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 49(6): 659–673. doi: 10.1134/S0001433813060145
 19. Zatsepin A.G., Ostrovskii A.G., Kremenetskiy V.V., Nizov S.S., Piotukh V.B., Soloviev V.A., Shvov D.A., Tsibul'sky A.L., Kuklev S.B., Kukleva O.N., Moskalenko L.V., Podymov O.I., Baranov V.I., Kondrashov A.A., Korzh A.O., Kubryakov A.A., Soloviev D.M., Stanichny S.V. 2014. Subsatellite polygon for studying hydrophysical processes in the Black Sea shelf-slope zone. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 50(1): 13–25. doi: 10.1134/S0001433813060157
 20. Matishov G.G., Inzhebeikin Yu.I. 2012. Subinertial motions over the Northeastern Shelf of the Black Sea. *Doklady Earth Sciences*. 446(2): 1229–1232. doi: 10.1134/S1028334X12100212
 21. Inzhebeikin Yu.I. 2015. [Small-scale variability of thermohaline structure of the upper mixed layer of the north-eastern Black Sea]. *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo tsentra*. 11(2): 45–52. (In Russian).
 22. Silvestrova K.P., Zatsepin A.G., Myslenkov S.A. 2017. Coastal Upwelling in the Gelendzhik Area of the Black Sea: Effect of Wind and Dynamics. *Oceanology*. 57(4): 469–477. doi: 10.1134/S0001437017040178
 23. Bowden K.F. 1983. *Physical oceanography of coastal waters*. Chichester, West Sussex, E. Horwood; New York, Halsted Press: 302 p.
 24. *Kharakteristika sinopticheskikh protsessov i gidrometeorologicheskikh usloviy*. [Characteristics of synoptic processes and hydrometeorological conditions]. 2007. Available at: http://planet.iitp.ru/sea_monitor/archive/2007/12/08.htm (accessed 20 May 2017). (In Russian).

Поступила 24.07.2017