Аномалии температуры поверхности Черного моря по спутниковым данным

В.В. Ефимов, О.И. Комаровская

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, 299011, Россия E-mail: vefim38@mail.ru

На основании массива данных NOAA-ESRL (http://www.esrl.noaa.gov/psd/) показано, что усредненные по площади моря среднеквадратичные величины холодных аномалий имеют выраженный годовой ход с максимумом в осенний период. Выделены композиты теплых и холодных аномалий температуры поверхности Черного моря для периода 1982–2014 гг., характеризующие особенности распределения аномалий по площади моря. Показано, что холодные аномалии, более долгоживущие по сравнению с теплыми, достигают наибольшего развития в центральной и западной глубоководных частях моря. Особенностями их развития являются быстрое установление и медленное затухание. Выделены отдельные холодные аномалии в центральной части моря в осенний период, в которых температура опускается на 4–5°C, а время жизни составляет более месяца. Распределение аномалий в краевых районах моря изменяется в течение года, при этом хорошо выделяется область положительных аномалий в северо-восточном Кавказско-Крымском регионе моря в осенне-зимневесенний период, связанных с теплопереносом Основным Черноморским Течением (ОЧТ). Построены гистограммы значений температуры для центральной глубоководной части моря, характеризующие асимметрию распределения холодных и теплых аномалий и показывающие преобладание повторяемости долгоживущих холодных аномалий над теплыми. В отличие от этого для северо-западной прибрежной области моря наиболее развитыми и повторяемыми являются теплые аномалии.

Ключевые слова: годовой ход, композиты аномалий, долгоживущие аномалии, гистограммы, особенности распределения

Одобрена к печати: 14.06.2016 DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-85-95

Введение

Аномалии температуры поверхности Черного моря, имеющие пространственные масштабы порядка сотни километров, до появления спутниковых методов измерения были мало изучены. В прибрежных глубоководных областях Крымско-Кавказского региона в весеннелетний период года выделялись холодные аномалии температуры поверхности моря (ТПМ), связанные с прибрежным апвеллингом. Однако они имели меньшие пространственные масштабы - около нескольких километров от берега и десятков километров вдоль берега (Горячкин, 2005). Один из немногих примеров наблюдения и физической интерпретации развития холодной аномалии в этом районе рассмотрен в работе (Зацепин и др., 2008). В открытой части моря в зимний период более крупномасштабные холодные аномалии обычно связывались с вторжением холодных масс воздуха и возможным формированием вод холодного промежуточного слоя (Овчинников, Попов, 1990). Предполагалось, что в центрах восточного и западного циклонического круговорота из-за подъема пикноклина и меньшей глубины верхнего квазиоднородного слоя при вторжении холодного воздуха поверхностная вода за счет конвективного перемешивания проникает до глубины 35-50 м. Из этих районов вода холодного промежуточного слоя растекается к периферии, опускаясь до 70-80 м. Однако и в этих случаях величины поверхностных температурных аномалий в центрах круговоротов в общем невелики, по данным экспедиционных исследований (Овчинников, Попов, 1987) они составляли менее 1°С. Причины этого также ясны: эпизоды холодных вторжений достаточно кратковременны - не более 1-2 дней. За это время даже большие потоки тепла через поверхность не могут значительно понизить температуру всего поверхностного слоя. Так, суммарный поток явного и скрытого тепла величиной 500 вт/м² за время одного из таких сильных холодных вторжений (Ефимов, Яровая, 2014) мог привести за счет конвективного перемешивания к понижению температуры верхнего 30–40-метрового слоя воды на 0,3–0,4°С/сутки.

Для Черного моря известны лишь результаты кратковременных зондирований либо полигонных исследований температуры, носивших также краткосрочный характер. Эти данные не давали возможности выделения больших и долгоживущих температурных аномалий. Новые возможности появились с использованием данных дистанционного зондирования. В первую очередь можно выделить доступную систематизированную базу данных: NOAA-ESRL (http://www.esrl.noaa.gov/psd/) (Reynolds et al., 2007). Данные по TПМ охватывают большой промежуток времени с 1982 г. по настоящее время и основаны на систематизации и обобщении двух наиболее развитых методов дистанционного зондирования температуры. Первый метод заключается в использовании инфракрасного радиометра с высоким разрешением, второй – в использовании микроволнового сканирующего радиометра. Исходные данные по TПМ согласовывались с in situ буйковыми и судовыми данными с целью коррекции измерений и подвергались оптимальной интерполяции в узлы регулярной сетки с разрешением 0,25°C и 1 сутки.

Кроме этого, для изучения теплых и холодных аномалий ТПМ в Черном море в данной работе использован массив данных реанализа атмосферной циркуляции для Черноморского региона за 1970–2014 гг., выполненного на базе региональной модели атмосферной циркуляции RegCM с пространственным разрешением 20×20 км (Анисимов и др., 2015). Полученные данные о потоках тепла, влаги и скорости ветра характеризуют условия формирования аномалий ТПМ в Черном море.

Сезонная изменчивость теплых и холодных аномалий

Исходный массив данных NOAA-ESRL составляют ежесуточные поля самих величин ТПМ и аномалий ТПМ с разрешением $0,25^{\circ}$. В этом массиве аномалии определялись по отношению к климатическому годовому ходу температуры, заданному интерполяцией месячных нормалей (Xue et al., 2003). На *рис. 1* показаны среднегодовые значения исходных значений аномалий ТПМ, осредненных по акватории Черного моря (с учетом и Азовского моря) за период 1982–2014 гг. Как видно, за весь 32-летний период среднегодовая температура повысилась почти на 1,5°С, причем это повышение в основном пришлось на вторую половину периода. На фоне положительного тренда температуры межгодовые вариации составили ~ 0,5–1°С.

Для исключения межгодовых вариаций и тренда поля исходных аномалий ТПМ пространственно центрировались, т.е. из исходных аномалий вычитались ежесуточные значения ТПМ, осредненные по площади моря (включая Азовское море). Далее вычислялись отдельно поля положительных и отрицательных значений температуры. Осредненные по времени, они представляли собой композиты мезомасштабных структур теплых и холодных аномалий температуры Черного и Азовского моря.



Рис. 1. Среднегодовые значения исходных значений аномалий ТПМ, осредненных по акватории Черного моря за период 1982–2014 гг.

На *рис. 2* дан годовой ход среднеквадратичных величин отдельно положительных и отрицательных центрированных аномалий ТПМ, осредненных по площади моря. Как видно, положительные аномалии (кривая 1) составляют по величине около 0,6–0,7°С и сравнительно мало меняются в течение года. Лишь в летний период они незначительно уменьшаются. Отрицательные же аномалии (кривая 2) имеют хорошо выраженный годовой цикл: минимальные величины в конце зимы–начале весны, и максимальные – в осенне-зимний период (сентябрь–декабрь). Наибольшие среднеквадратичные величины отрицательных аномалий, осредненных по площади моря, в октябре–декабре составляют 1,1–1,2°С.



Рис. 2. Среднемесячные значения среднеквадратичных величин положительных (кривая 1) и отрицательных (кривая 2) центрированных аномалий ТПМ, осредненных по акватории Черного моря

Рассмотрим пространственные композиты положительных и отрицательных аномалий ТПМ для четырех сезонов года (далее просто «аномалий»). На рис. 3 показаны распределения положительных, а на рис. 4 – отрицательных аномалий ТПМ для четырех сезонов года. Там же показаны векторы скорости ветра на высоте 10 м. Скорости ветра были выбраны и усреднены за 32 года в каждой точке моря отдельно для периодов, соответствующих положительным и отрицательным аномалиям температуры. Как видно из рис. 3, 4, поля ветра для положительных и отрицательных аномалий в целом мало отличаются между собой: не наблюдается прямой связи между инерционным полем поверхностной температуры и полем скорости ветра, в котором преобладает синоптическая временная изменчивость. Среди отличий в поле ветра лишь можно отметить особенность для летнего периода: положительные аномалии температуры в прибрежной мелководной северо-западной части моря приходятся на малые скорости ветра, что соответствует тому, что положительные аномалии летом развиваются в штилевых условиях. Для осеннего же периода можно выделить большую скорость ветра с суши на море в районе Новороссийска-Туапсе. Как будет показано далее, это сравнительно небольшое количественное различие указывает на вероятный механизм возбуждения значительных холодных аномалий в центральной глубоководной части моря.



Рис. 3. Распределение теплых аномалий для четырех сезонов года: для зимы (а), весны (б), лета (в) и осени (г). Стрелками показано поле скорости ветра на высоте 10 м, построенное по выбранным и усредненным за 32 года в каждой точке моря компонетам скорости ветра для периодов, соответствующих положительным аномалиям температуры для данного сезона

Особенностью распределения положительных аномалий ТПМ является то, что они минимальны во всей открытой части моря. Для лета лишь в узких прибрежных краевых

юго-западном и юго-восточном районах и западной части моря они увеличиваются до $0,7^{\circ}$ С. Для осенне-зимне-весеннего периода отчетливо выделяется сравнительно узкая прибрежная зона положительных аномалий от Кавказа до Крыма, распространяющаяся далее в западном и северо-западном направлении. Эта особенность хорошо соответствует картине циркуляции в Черном море и является следствием теплопереноса аномально теплых вод из юго-восточных районов моря ОЧТ, достигающим наибольшее развитие в этот период года. В летний же период эта особенность исчезает вслед за затуханием ОЧТ и уменьшением меридиональных градиентов температуры в море. В весенний и летний периоды в мелководном Азовском море развиваются большие положительные аномалии температуры, доходящие весной до $1,2^{\circ}$ С.



Рис. 4. Распределение холодных аномалий для четырех сезонов года: для зимы (а), весны (б), лета (в) и осени (г). Стрелками показано поле скорости ветра на высоте 10 м, построенное по выбранным и усредненным за 32 года в каждой точке моря компонетам скорости ветра для периодов, соответствующих отрицательным аномалиям температуры для данного сезона

Характерной особенностью холодных аномалий, отличающих их от теплых, является то, что в осенний период (сентябрь–ноябрь) значительные аномалии, составляющие до 0,6–0,7°С, развиваются в центральной и западной части моря. В зимний период аномалии здесь также выделяются, но имеют меньшие величины. Еще раз отметим, что это среднеквадратичные оценки. Как будет видно из дальнейшего, в отдельных случаях аномалии могут быть существенно большими. Второй особенностью холодных аномалий являются интенсивные узкие области в западной прибрежной мелководной части моря. Вероятно, они связаны с влиянием холодных ветров с материка, а также с мезомасштабными антициклоническими вихрями, холодная аномалия в центрах которых может достигать нескольких градусов, и которые, вовлекая по периферии холодные воды апвеллинга, обеспечивают их распространение в глубь моря (Гинзбург и др., 2001). Наконец, для летнего периода и в несколько меньшей мере для весеннего периода в холодных аномалиях хорошо выделяется прибрежная глубоководная зона Крымско-Кавказского побережья, а также восточная часть Анатолийского берега. Как известно, в этих глубоководных областях под действием соответствующих вдольбереговых ветров может развиваться апвеллинг – подъем холодных глубинных вод, следы которого, вероятно, и проявляются. Хотя, конечно, большая часть области прибрежного апвеллинга по спутниковым данным не прослеживается.

Функции распределения аномальных значений

Рассмотренные распределения значений теплых и холодных аномалий ТПМ по площади моря представляют собой усредненную за 32-летний период картину и не дают информации об отдельных индивидуальных событиях: о величинах аномалий и характере изменения температуры во времени. Для этих целей рассмотрим функции распределения – гистограммы величин аномалий ТПМ для нескольких характерных регионов Черного моря.

На *рис. 5а* представлена гистограмма распределения температуры в области глубоководного пятна холодной аномалии, показанного на *рис. 4г* (для уменьшения шумов величины аномалий осреднены по области $42,5-43,5^{\circ}$ с.ш. и $37,5-38,5^{\circ}$ в.д.). Видна отчетливая асимметрия распределения с преобладанием отрицательных значений ТПМ. Хвостовая область отрицательных величин доходит до $-4,5^{\circ}$ С. Простой визуальный подсчет числа холодных аномалий в 32-летнем массиве данных выявил для центральной части моря около 30 случаев отрицательных аномалий ниже $-1,5^{\circ}$ С, имеющих время жизни более 5 суток, т. е. такие аномалии возникают в среднем ежегодно. А число аномалий с температурой менее $-2,5^{\circ}$ С оказалось около 10.

Еще одно интересное свойство аномалий ТПМ следует из автокорреляционных функций, построенных по временным рядам положительных и отрицательных значений этих аномалий для той же области, показанных на *рис. 6.* Коррелированность рядов отрицательных аномалий значительно выше, чем положительных. Так, по уровню R = 0,3 радиус корреляции положительных аномалий (кривая 2) составляет около 14 суток, а отрицательных (кривая 1) – около 28 суток. Таким образом, время жизни отрицательных аномалий в два раза превышает время жизни положительных аномалий. Простое объяснение этой разницы заключается в различии глубины поверхностных аномалий. Для осенних аномалий, формирующихся в процессе увеличения глубины верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) моря за счет вовлечения холодной воды из термоклина, это физически понятно: холодные аномалии имеют бо́льшую глубину и поэтому в ходе осеннего выхолаживания медленнее остывают за счет теплопотерь через поверхность по сравнению с окружающими невозмущенными областями моря. При этом большая скорость понижения температуры в начале формирования холодной аномалии может быть связана



Рис. 5. Гистограммы значений средних аномалий ТПМ за осенние периоды 1982–2014 гг. по области 42,5–43,5° с.ш. и 37,5–38,5° в.д. (а); по области 41,6–42,4° с.ш. и 40,4–41,4° в.д. (б); по области 41,8–42,8° с.ш. и 28,5–29,5° в.д. (в) и по области 44,0–44,5° с.ш. и 37,0–38,0° в.д. (г)



Рис. 6. Автокорреляционная функция временных рядов отрицательных (кривая 1) и положительных (кривая 2) аномалий ТПМ за весь период 1982–2014 гг. в точке 43,6° с.ш. и 35,8° в.д.

с быстрым процессом потери устойчивости ВКС вследствие возрастания скорости ветрового течения и достижения критических значений параметров гидродинамической неустойчивости (Price et al., 1986, 1994).

В качестве примера рассмотрим развитие одной из недавних холодных аномалий в центральной части моря. На *рис.* 7 показана пространственная структура холодной аномалии на момент ее максимального развития – 25 сентября 2014 г. Возникновение этой аномалии связано с резким усилением скорости ветра до 12–15 м/с и, соответственно, с резким заглублением верхнего квазиоднородного слоя в результате вовлечения холодной воды из термоклина. На *рис. 8а* показано изменение со временем температуры в области максимума этой холодной аномалии (примерные координаты максимума 43,7° с.ш.; 35,5° в.д.). На *рис. 8б* для сравнения показан временной ход развития еще одной, менее интенсивной холодной аномалии с центром 43,1° с.ш.; 38,5° в.д., возникшей в конце сентября 2009 г. Характерной особенностью развития этих двух холодных аномалий является большое время их жизни. Так, в первом случае оно составило более месяца. Второй особенностью является их быстрое развитие и медленное затухание. Как правило, сильные аномалии развиваются до максимальных величин в течение 1–2 дней, а восстанавливаются до окружающей невозмущенной температуры в течение 20–40 дней. Причем, чем ниже температура аномалии, тем больше время восстановления.



Рис. 7. Поле холодной аномалии ТПМ в центральной части Черного моря на момент ее максимального развития – 25 сентября 2014 г.



Рис. 8. Изменения аномалии температуры в области максимума холодной аномалии (43,7° с.ш.; 35,5° в.д.) в сентябре–ноябре 2014 г. (а); и холодной аномалии (43,1° с.ш.; 38,5° в.д.) для конца сентября 2009 г. (б)

Таким образом, холодные аномалии в глубоководной части моря имеют характерные отличия от теплых аномалий. Теплые аномалии являются значительно меньшими по абсолютной величине (см. *рис. 3г, 4г*). Кроме того, они имеют меньшее время жизни.

Ранее на *рис. 56, 5в* были также показаны гистограммы распределения величин аномалий для двух краевых районов Черного моря – юго-западного и юго-восточного. В отличие от глубоководного района они имеют малую асимметрию распределения, т.е. повторяемость и теплых, и холодных аномалий различается незначительно.

Рассмотрим особенности теплых и холодных аномалий для прибрежной северозападной области Черного моря, находящейся в районе Новороссийска (44,0–44,5° с.ш., 37,0–38,0° в.д.). Здесь наблюдаются существенные отличия от района глубоководной центральной части моря. Как отмечалось ранее, для этого района характерны положительные аномалии в осенне-зимне-весенний период, связанные с переносом теплой воды из южных районов моря ОЧТ (Иванов, Белокопытов, 2011). Гистограмма значений аномалий для этого района приведена на *рис. 5г.* Форма гистограммы, величина эксцесса и положение максимума (см. величины аномалий) существенно отличаются от распределения для глубоководной части моря. Преобладание положительных долгоживущих аномалий температуры с большими абсолютными величинами хорошо проявлено на этой гистограмме. Это также соответствует различию в величинах среднесезонных распределений положительных и отрицательных аномалий в Черном море, приведенных ранее на *рис. 3, 4*.

Рассмотренные районы Черного моря – глубоководный в центральной части и прибрежный в северо-восточной, представляют собой две области моря, наиболее различающиеся между собой по типу повторяемости холодных и теплых аномалий. Для других прибрежных областей различия не столь существенны. Не приводя иллюстраций, отметим лишь, что для Азовского моря и мелководной крайней северо-западной части Черного моря наиболее повторяющимися являются холодные аномалии в зимне-весенний период года. Как было видно из *рис. 3, 4*, для этого времени здесь максимальны и усредненные величины самих холодных аномалий.

Заключение

На основании массива данных NOAA-ESRL (http://www.esrl.noaa.gov/psd/) были выделены теплые и холодные аномалии температуры Черного моря. Показано, что усредненные по площади моря среднеквадратичные величины холодных аномалий имеют выраженный годовой ход с максимумом в осенний период. Построены композиты аномалий – среднесезонные поля теплых и холодных аномалий, характеризующих особенности их распределения по площади моря. Показано, что холодные аномалии, более долгоживущие по сравнению с теплыми, достигают наибольшего развития в центральной и западной глубоководных частях моря. Особенностями их развития является быстрое установление и медленное затухание. Выделены отдельные холодные аномалии в центральной части моря в осенний период, в которых температура опускается на 4–5°С, а время жизни составляет более месяца. Распределение аномалий в краевых районах моря изменяется в течение года, при этом хорошо выделяется область связанных с теплопереносом ОЧТ положительных аномалий в северо-восточном Кавказско-Крымском регионе моря в осенне-зимневесенний период.

Построенные гистограммы значений температуры для центральной глубоководной части моря характеризуют асимметрию распределения холодных и теплых аномалий и показывают преобладание повторяемости долгоживущих холодных аномалий над теплыми. В отличие от этого для северо-западной прибрежной области моря наиболее развитыми и повторяемыми являются теплые аномалии.

Литература

- 1. Анисимов А.М., Яровая Д.А., Барабанов В.С. Реанализ атмосферной циркуляции для Черноморско-Каспийского региона // Морской гидрофизический журнал. 2015. № 4. С. 14-28.
- Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Незлин Н.П., Соловьев Д.М., Станичный С.В. Эволюция антициклониче-2. ского вихря в северо-восточной части Черного моря летом–осенью 1993 г. (спутниковые наблюдения) // Исследование Земли из космоса. 2001. № 2. С. 69–75.
- 3. *Горячкин Ю.Н.* Характеристики прибрежного апвеллинга у Южного берега Крыма // Научная конференция «Ломоносовские чтения». Севастополь. ЭКОСИ-ГИДРОФИЗИКА. 2005. С. 30–31.
- *Ефимов В.В., Яровая Д.А.* Численное моделирование конвекции в атмосфере при вторжении холодного воздуха над Черным морем // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2014. Т. 50. № 6. С. 1–11. Зацепин А.Г., Кременецкий В.В., Пиотух В.Б., Поярков С.Г., Ратнер Ю.Б., Соловьев Д.М., Станичная Р.Р., 4.
- 5. Станичный С.В., Якубенко В.Г. Формирование прибрежного течения в Черном море, из-за пространственнонеоднородного ветрового воздействия на верхний квазиоднородный слой // Океанология. 2008. Т. 48. № 2. C. 176–192.
- Иванов В.А., Белокопытов В.В. Океанография Черного моря. // Севастополь: Морской гидрофизический 6 институт НАН Украины, 2011. 212 с.
- Овчинников М.М., Попов Ю.И. Формирование холодного промежуточного слоя в Черном море // Океано-7. логия. 1987. Т. 27. № 5. С. 739-746.
- Овчинников М.М., Попов Ю.И. Особенности формирования холодного промежуточного слоя в Черном 8. море при экстремальных зимних условиях // Труды ГОИН. 1990. Вып. 190. С. 132–151.
- Price J.F., Weller R.A., Pinkel R. Diurnal Cycling: Observations and Models of the Upper Ocean Response to Diurnal Heating, Cooling, and Wind Mixing // J. Geoph. Res. 1986. Vol. 91. № С7. Р. 8411–8427.
 Price J.F., Sanford T.B., Forristoll G.Z. Forced Stage Response to a Moving Hurricane // J. Phys. Ocean. 1994. Vol. 24. P. 233–260.
- Reynolds R.W., Thomas M.S., Chunying L., Chelton D.B., Casey K.S., Schlax M.G. Daily High Resolution Blended Analyses for Sea Surface Temperature // J. Clim. 2007. Vol. 20. P. 5473–5496.
- 12. Xue Y., Smith T.M., Reynolds R.W. Interdecadal changes of 30-yr SST Normals during 1871-2000 // J. Clim. 2003. Vol. 16. P. 1601-1612.

Anomalies of the Black Sea surface temperature according to satellite data

V.V. Efimov, O.I. Komarovskaya

Marine Hydrophysical Institute RAS, Sevastopol 299011, Russia *E-mail: vefim38@mail.ru*

On the basis of NOAA-ESRL (http://www.esrl.noaa.gov/psd/) data it is shown that the cold anomalies averaged on the area of the Black Sea have a well-defined annual course with a maximum during the autumn period. The composites of warm and cold anomalies of sea surface temperature for the period of 1982-2014 describing the distribution of anomalies on the area of the sea are displayed. It is shown that the cold anomalies, more long-lasting in comparison with the warm ones, reach the greatest development in the central and western deep-water parts of the sea. They are characterized by fast onset and slow attenuation. The cold anomalies in the central part of the sea during the autumn period with temperature falls by 4-5°C and lifetime of more than a month are marked out. The distribution of the anomalies in the near coastal areas of the sea changes within the year. Positive anomalies in the northeastern Caucasian-Crimean region of the sea during the autumn-winter-spring period are controlled by heat transfer of

the Basic Black Sea Flow. The histograms of the temperature anomalies for the central deep-water part of the sea characterizing asymmetry of distribution of the cold and warm anomalies and showing prevalence of repeatability of the long-lasting cold anomalies over the warm ones are constructed. In contrast, for the north-western coastal area of the sea the warm anomalies are the most developed and repeated.

Keywords: annual variation, anomaly composites, long-lived anomaly, histograms, sea distribution features

Accepted: 14.06.2016 DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-85-95

References

- Anisimov A.M., Yarovaya D.A., Barabanov V.S., Reanaliz atmosfernoi tsirkulyatsii dlya Chernomorsko-1. Kaspiiskogo regiona (Reanaliz of atmospheric circulation for the Black Sea and Caspian region), Morskoi gidrofizicheskii zhurnal, 2015, No. 4, pp. 14-28.
- Ginzburg A.I., Kostyanoi A.G., Nezlin N.P., Solov'ev D.M., Stanichnyi S.V., Evolyutsiya antitsiklonicheskogo 2. vikhrya v severo-vostochnoi chasti Chernogo morya letom - osen'yu 1993 g. (sputnikovye nablyudeniya) (Evolution anticyclonic vortex in the north-eastern part of the Black Sea in the summer – autumn 1993. (Satellite observations)), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2001, No. 2, pp. 69–75. Goryachkin Yu.N., Kharakteristiki pribrezhnogo apvellinga u Yuzhnogo berega Kryma (Characteristics of
- 3. a coastal upwelling at the Southern coast of the Crimea), Nauchnaya konferentsiya "Lomonosovskie chteniya" (Lomonosov Readings), Sevastopol', EKOSI-GIDROFIZIKA, 2005, pp. 30-31.
- Efimov V.V., Yarovaya D.A., Chislennoe modelirovanie konvektsii v atmosfere pri vtorzhenii kholodnogo voz-duha nad Chernym morem (Numerical modeling of convection in the atmosphere at invasion of cold air over the 4. Black Sea), Izvestiya RAN, Fizika atmosfery i okeana, 2014, Vol. 50, No. 6, pp. 1-11.
- Zatsepin A.G., Kremenetskii V.V., Piotukh V.B., Poyarkov S.G., Ratner Yu.B., Solov'ev D.M., Stanichnaya R.R., 5. Stanichnyi S.V., Yakubenko V.G., Formirovanie pribrezhnogo techeniya v Chernom more, iz-za prostranstvennoneodnorodnogo vetrovogo vozdeistviya na verkhnii kvaziodnorodnyi sloi (Formation of a coastal current in the Black Sea, because of spatial and non-uniform wind impact on the top quasihomogeneous layer), Okeanologiya, 2008, Vol. 48, No. 2, pp. 176–192.
- Ivanov V.A., Belokopytov V.V., Okeanografiya Chernogo morya (Oceanography of the Black Sea), Sevastopol: 6 Morskoi gidrofizicheskii institut NAN Ukrainy, 2011, 212 p.
- Ovchinnikov M.M., Popov Yu.I., Formirovanie kholodnogo promezhutochnogo sloya v Chernom more, *Okeanologiya*, 1987, Vol. 27, No. 5, pp.739–746. 7.
- Ovchinnikov M.M., Popov Yu.I., Osobennosti formirovaniya kholodnogo promezhutochnogo slova v Chernom 8. more pri ekstremal'nykh zimnikh usloviyakh (Features of formation of a cold intermediate layer in the Black Sea
- at extreme winter conditions), *Trudy GOIN*, 1990, Vol. 190, pp. 132–151. Price J.F., Weller R.A., Pinkel R., Diurnal Cycling: Observations and Models of the Upper Ocean Response to Diurnal Heating, Cooling, and Wind Mixing, *J. Geoph. Res.*, 1986, Vol. 91, No. C7, pp. 8411–8427. 9.
- 10. 1Price J.F., Sanford T.B., Forristoll G.Z., Forced Stage Response to a Moving Hurricane, J. Phys. Ocean., 1994,
- Vol. 24, pp. 233–260. Reynolds R.W., Thomas M.S., Chunying L., Chelton D.B., Casey K.S., Schlax M.G., Daily High Resolution Blended Analyses for Sea Surface Temperature, *J. Clim.*, 2007, Vol. 20, pp. 5473–5496.
- Xue Y., Smith T.M., Reynolds R.W., Interdecadal changes of 30-yr SST Normals during 1871-2000, J. Clim., 2003, Vol. 16, pp. 1601–1612.