

УДК 551.465

ПРИБРЕЖНЫЕ АПВЕЛЛИНГИ В ГЕЛЕНДЖИКСКОМ РАЙОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ: СВЯЗЬ С ВЕТРОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ И ТЕЧЕНИЕМ

© 2017 г. К. П. Сильвестрова¹, А. Г. Зацепин¹, С. А. Мысленков²¹Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия²Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия
e-mail: ksberry@mail.ru

Поступила в редакцию 21.11.2016 г.

После доработки 06.12.2016 г.

Проанализированы продолжительные ряды данных заякоренной термоксы, установленной в прибрежной зоне Черного моря в районе г. Геленджик, на расстоянии 1 км от берега на глубине 22 м. Выделены события полных и неполных апвеллингов. Для анализа причин их возникновения использованы: данные о скорости ветра реанализа NCEP/CFSR, а также метеостанции г. Геленджик; данные о скорости течения, полученные с помощью донной станции с акустическим доплеровским профилографом течений (ADCP), установленной рядом с термоксой. За весь период наблюдений (теплые сезоны 2013–2015 гг.) выявлено более 40 случаев подъема вод, из них 4 случая отнесены к полным апвеллингам, при которых присутствие подтермоклинных вод с температурой менее 10 °С было зафиксировано вблизи поверхности моря. Для каждого из событий апвеллинга проанализированы условия, предшествующие изменению термической структуры, характеризующей подъем вод. Установлено, что полные апвеллинги возникают, как правило, при синергетическом действии ветра и течения. Для возникновения неполного апвеллинга достаточно интенсивного воздействия одного из этих факторов.

DOI: 10.7868/S0030157417040013

ВВЕДЕНИЕ

Апвеллинги в прибрежной зоне Черного моря являются достаточно распространенным явлением [1, 4, 8, 11]. Как правило, их связывают с ветровым воздействием. Прибрежный экмановский апвеллинг в Северном полушарии вызывается воздействием вдольберегового ветра при условии, что берег находится слева от направления ветра. При этом интегральный экмановский перенос в верхнем квазиоднородном слое (ВКС) моря направлен от берега, что приводит к компенсационному подъему нижележащих, и, как правило, более холодных вод, которые иногда выходят на поверхность [5, 18]. В этих случаях имеет место полный апвеллинг. Если же холодные воды поднимаются, но на поверхность не выходят, апвеллинг называется неполным.

Прибрежный апвеллинг может быть также вызван вдольбереговым течением, имеющим то же направление, что и генерирующий апвеллинг ветер. В северо-восточной части Черного моря такое течение направлено на юго-восток [8]. Вдольбереговое течение такого направления в Черном море вызывается, например, мезомасштабными и субмезомасштабными антициклоническими вихрями, не имеющими непосредственного отношения к локальному ветровому воздействию [3, 7, 11, 12, 13].

Совместное действие «апвеллингового» ветра и течения должно усиливать подъем вод, и это, в частности, подтверждается результатами данного исследования.

В работе анализируются продолжительные ряды данных термоксы, установленной на заякоренной буйковой станции в прибрежной зоне Черного моря в районе г. Геленджик, на расстоянии 1 км от берега на глубине 22 м. Выделены события полных и неполных апвеллингов. Для выявления причин их возникновения использованы: данные о скорости ветра из реанализа, данные метеостанции, данные о скорости течения, полученные с помощью ADCP, установленного рядом с термоксой.

ДАнные И МЕТОды

В июле 2012 г. напротив Голубой бухты (г. Геленджик) на подспутниковом гидрофизическом полигоне Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН [10] на расстоянии ~ 1 км от берега на глубине 22 м была установлена термоксы – гирлянда из 17 термодатчиков, расположенных на заякоренной буйковой станции с подповерхностной плавучестью. Датчики расположены на кабель-тросе, на равном расстоянии (0.8 м) друг от друга в диапазоне глубин 6–20 м. Датчики работали с дискретностью

Таблица 1. Периоды измерений температуры воды и параметров течений

Год	Измеритель течений ADCP	Термокоса
2013	3 июля – 8 июля 13 июля – 10 августа 20 августа – 12 сентября 20 сентября – 26 декабря	25 июня – 10 августа 19 августа – 31 декабря
2014	6 мая – 15 мая 30 мая – 9 июня 18 июня – 20 июня 3 июля – 8 июля 11 июля – 19 июля 24 июля – 1 августа 5 августа – 23 августа 25 августа – 26 октября	21 февраля – 10 апреля 6 мая – 15 мая 30 мая – 11 июня 18 июня – 20 июня 1 июля – 8 июля 11 июля – 1 августа 4 августа – 24 сентября 25 сентября – 31 декабря
2015	1 января – 16 мая 25 мая – 11 июня 13 июня – 19 июня 9 июля – 31 июля 7 августа – 20 августа 24 августа – 11 сентября 15 сентября – 9 октября	1 января – 27 января 30 января – 16 мая 25 мая – 11 июня 13 июня – 19 июня 9 июля – 9 октября 13 октября – 31 декабря

30–60 секунд. Точность измерения температуры датчиками составляла ± 0.05 °С. Рядом с термокосой с 2013 г. функционировал донный акустический доплеровский измеритель течений ADCP RDI WH Sentinel 600 кГц (далее – ADCP), измеряющий профиль скорости течения с периодичностью 30 секунд. Вертикальное разрешение данных – 0.5 м в соответствии с размером ячейки измерения ADCP. Ниже в табл. 1 представлены периоды работы приборов.

Для последующего анализа ряды исходных данных были сглажены, построены временные развертки вертикальных распределений температуры воды, скорости и направления течений. Визуализация этих данных позволила выделить явления апвеллинга и даунвеллинга, а также проанализировать сопутствующие этим процессам параметры ветра и течений.

Для расчета ветрового воздействия (напряжения трения ветра на поверхности воды) использованы массивы реанализа высокого разрешения NCEP Climate Forecast System Reanalysis. Пространственное разрешение данных реанализа составляет $\sim 0.2^\circ$, шаг по времени 1 час [17]. Был взят ближайший к точке установки термокосы и ADCP узел реанализа, который находится на расстоянии ~ 10 км от станций. Также использовались ряды данных скорости ветра сетевой метеостанции г. Геленджик с временным разрешением 3 часа. При расчете коэффициентов корреляции между данными ветрового воздействия и температуры воды исходные ряды температурных данных приводились к 3-часовым

срокам метеонаблюдений, а также было осуществлено осреднение данных измерения скорости течения.

Система координат была развернута на 50° против часовой стрелки. Таким образом, положительные значения скорости соответствуют вдольбереговому северо-западному течению и юго-восточному ветру. Такой угол поворота выбран в соответствии с приблизительной ориентацией береговой линии в исследуемом районе.

Дополнительно для выявления апвеллингов в периоды, когда термокоса не работала, были использованы данные измерений температуры воды на пирсе в Голубой бухте. Температура измерялась от поверхности моря до глубины 6 м в летние месяцы (июнь – июль) во время студенческих практик кафедры океанологии Географического факультета МГУ. Измерения проводились ежедневно в сроки 9, 12 и 15 часов STD-зондами SISplus 1000 и CastAway [2].

РЕЗУЛЬТАТЫ

В 2013–2015 гг. в теплый период года отмечено более 40 случаев апвеллинга. Из них 4 случая можно назвать полными апвеллингами, при которых присутствие глубинных вод с температурой $10\text{--}12$ °С было зафиксировано на верхнем датчике температуры термокосы на глубине 6 м. Оказалось, что события полного апвеллинга происходят не каждый год и чаще приурочены к раннему лету (май/июнь) или осени (сентябрь/

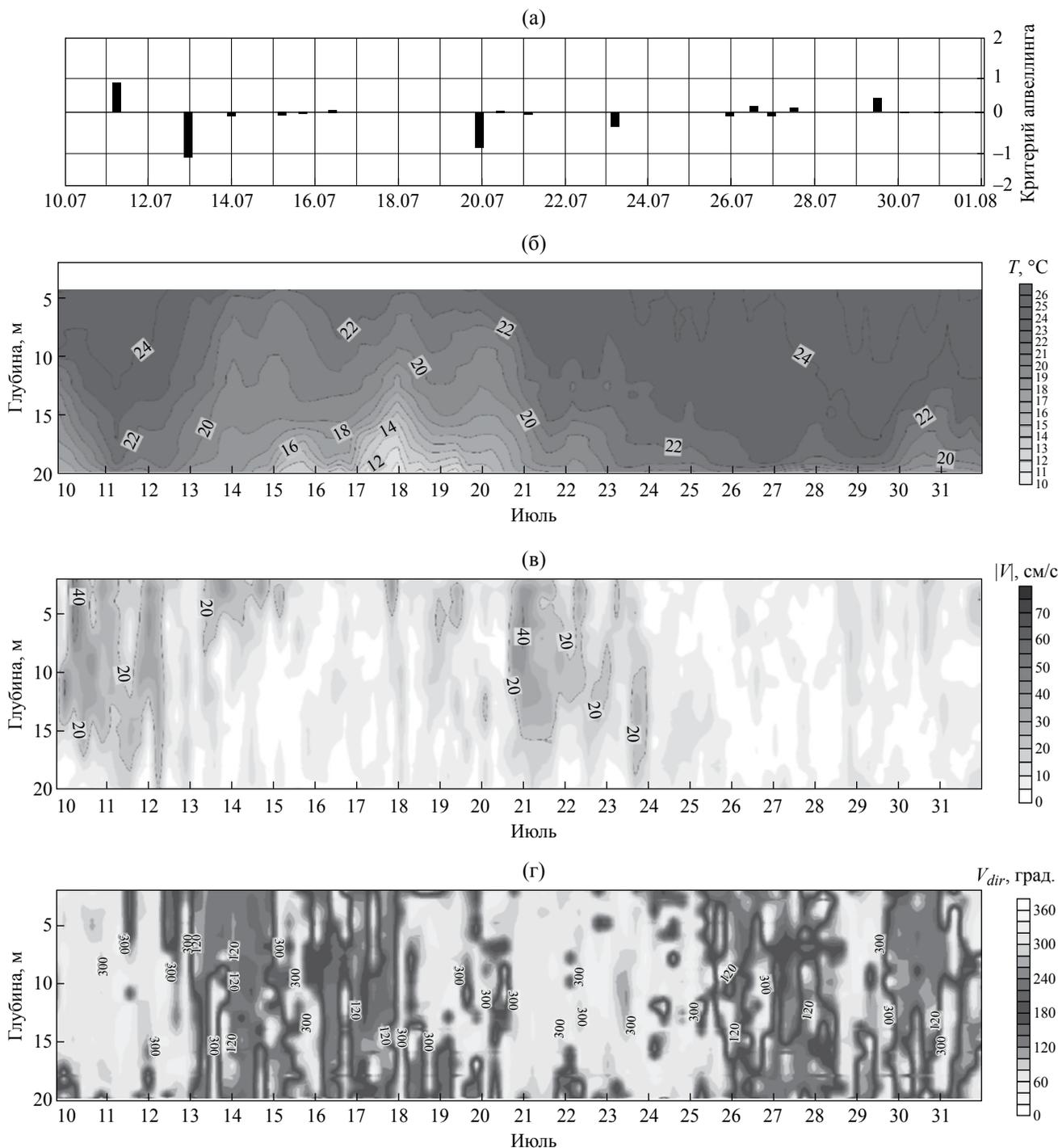


Рис. 1. Критерий апвеллинга R_u (а), вертикальные распределения температуры (б), скорости (в) и направления течений (г) в исследуемой точке в июле 2015 г., когда наблюдался неполный апвеллинг.

октябрь), что подтверждается и другими работами [4, 14]. Неполный апвеллинг наблюдается значительно чаще: как правило, не менее 2-х раз в месяц. Длительность полного цикла апвеллинга/даунвеллинга составляет от нескольких суток до

полутора недель, что также было показано в работах [11, 14, 16].

При неполных апвеллингах значительных изменений температуры на верхних термодатчиках не происходит. Однако в более глубоком слое

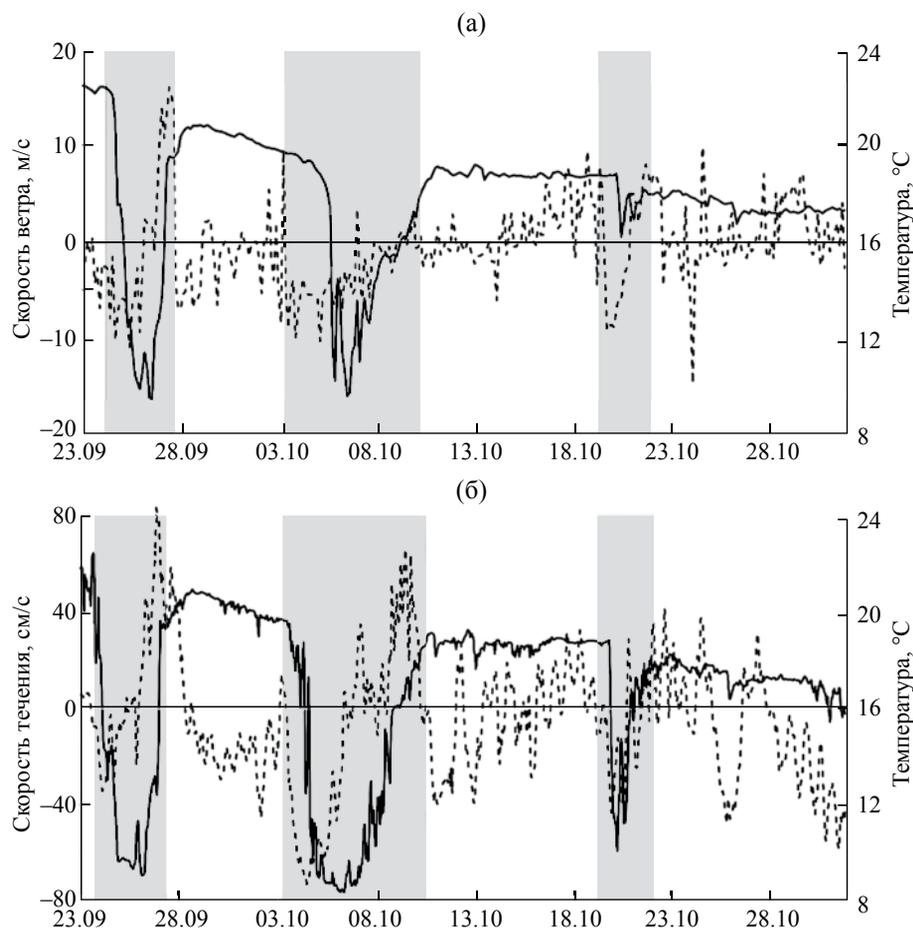


Рис. 2. Температура воды на горизонте 9 м (сплошная линия) и вдольбереговая компонента скорости ветра (прерывистая линия) в сентябре–октябре 2013 г. (а). Температура воды на горизонте 19 м (сплошная линия) и вдольбереговая компонента скорости течения (прерывистая линия) в сентябре–октябре 2013 г. (б). Заливкой выделены периоды апвеллингов.

в зависимости от интенсивности события апвеллинга, на нижних термодатчиках (глубина > 10 м) регистрируется температура, меньшая приповерхностной на 2–10 °С. Понижение температуры обусловлено подъемом сезонного термоклина, верхняя граница которого при полном апвеллинге достигает поверхности моря. Пример неполного апвеллинга в июле 2015 г. приведен на рис. 1. Подъем вод был вызван интенсивным ветровым воздействием (критерий экмановского апвеллинга, описанный ниже в данной статье, менее -1), но наличие мощного ВКС и отсутствие сильного ЮВ течения препятствовали поднятию глубинных вод до уровня верхнего датчика термоксы.

При даунвеллинге верхняя граница термоклина часто опускается на глубину более 20 м (глубина расположения последнего термодатчика в гирлянде) и термическая стратификация исчезает во всем водном столбе. Такая короткопериодная перестройка гидрологической структуры сопровождается интенсивной адвекцией вод, их вертикальным и горизонтальным перемешиванием.

Данные процессы, по-видимому, оказывают значительное влияние на гидрохимическую структуру вод, потоки биогенных и загрязняющих веществ, что приводит к изменению условий функционирования прибрежной экосистемы [6].

Как уже говорилось выше, причиной апвеллингов и даунвеллингов в прибрежной зоне моря является либо ветровое воздействие, либо вдольбереговое течение, либо совместное влияние обоих факторов. Для выявления связи между скоростью ветра, скоростью течения и температурой воды был проведен расчет коэффициента корреляции между этими параметрами (рис. 2). При этом использовались вдольбереговая компонента скорости ветра, вдольбереговая компонента скорости течения на горизонте 7 м и температура воды на горизонтах 6, 9.2, 13.2 и 19 м. Оказалось, что значения коэффициента корреляции невелики как для пары параметров температура – скорость ветра ($K < 0.3$), так и для пары температура – скорость течения ($K < 0.4$). При подсчете коэффициентов корреляции на временных промежутках, в которые происходили

события полного апвеллинга, было установлено, что коэффициент корреляции температуры со скоростью ветра имеет вполне значимую величину и достигает максимума ($K > 0.7$) при временном сдвиге температурного ряда вперед на 27–33 часа. Отклик температуры поверхностных вод на изменение скорости ветра происходит позже, чем отклик температуры на нижних горизонтах, что закономерно для явлений апвеллинга. В этих же случаях корреляция температуры с вдольбереговой скоростью течения была выше, чем со скоростью ветра, и коэффициент корреляции достигал значений $K > 0.8$ при том же временном сдвиге.

Для событий неполного апвеллинга коэффициент корреляции температуры воды со скоростью ветра был невелик ($K < 0.5$) при любых временных сдвигах. Зато со скоростью течения корреляция была высокой ($K \approx 0.8$) для нижних горизонтов, где наблюдалось поднятие изотерм. Данные расчёты показывают, что, в отличие от полных апвеллингов, большинство зафиксированных неполных апвеллингов связаны не с ветровым воздействием, а с динамикой прибрежных течений.

В качестве оценки возможности развития полного прибрежного апвеллинга только за счет ветрового (экмановского) фактора в [11] был предложен следующий критерий:

$$R_u = \tau_y t / f \rho_w H R_d = u_*^2 t / (g' H^3)^{1/2} < -1. \quad (1)$$

Здесь τ_y – вдольбереговая составляющая напряжения трения ветра, t – время квазистационарного действия апвеллингового ветра, f – параметр Кориолиса, ρ_w – плотность морской воды, H – толщина верхнего слоя, $R_d = (\Delta \rho g H / \rho_w)^{0.5} / f$ – локальный бароклинный радиус деформации Россби, $g' = g \Delta \rho / \rho_w$ – редуцированное ускорение свободного падения, $\Delta \rho$ – разница плотности

воды между верхним (надтермоклинным) и нижним (подтермоклинным) слоями, $u_* = (\tau_y / \rho_w)^{1/2}$ – динамическая скорость трения в воде.

Для всех событий апвеллинга, было рассчитано значение R_u . Нижний слой определялся как слой с температурой 10 °С. В качестве гидрофизических данных о плотности и температуре воды, а также о толщине ВКС использованы средние климатические значения. Для 3-х из 4-х зафиксированных случаев полного апвеллинга критерий ($R_u < -1$) соблюдается. При этом оказалось, что характерное время действия апвеллингового ветра составляет более 2 суток. Это означает, что для развития полного апвеллинга в данном регионе требуется достаточно продолжительное действие северо-западного ветра, которое реализуется очень редко. Таким образом, формула (1) позволяет сделать достаточно репрезентативные диагностические или прогностические оценки возникновения полного экмановского апвеллинга с использованием климатических данных о перепаде температуры в термоклине, толщине ВКС и наблюдаемой (или прогнозируемой) скорости ветра.

Ниже в табл. 2 приведены основные характеристики полных и неполных апвеллингов, выделены несколько типов в соответствии со значениями критерия R_u и данными о динамике вод. 40% зафиксированных апвеллингов характеризовались высокими абсолютными значениями критерия R_u и сильными юго-восточными (ЮВ) течениями, в их числе 3 полных апвеллинга. Для 22% случаев критерий апвеллинга составлял от -0.5 до -0.2 , однако именно для таких случаев было также характерно длительное воздействие ветра при средних скоростях юго-восточного течения. В 14% случаев изменения температуры на нижнем датчике, свидетельствующие о вертикальных движениях термоклина, приурочены к событиям,

Таблица 2. Характеристика апвеллингов

Критерий экмановского апвеллинга R_u	Направление и скорость течения	Изменения температуры на глубине 18 м	% от общего количества
Менее -0.5 (в т.ч. менее -1)	ЮВ, >30 см/с	>7 °С	40% (в т.ч. 3 сл. полного апвеллинга)
От -0.5 до -0.2	ЮВ, около 20 см/с	4–7 °С	22%
От -0.2 до 0.1	знакопеременные	3–7 °С	14%
От -0.2 до 0.1	ЮВ, 20–30 см/с	1–5 °С	11%
От -0.2 до 0.1	ЮВ, 30–50 см/с	3–4 °С	9%
Менее -0.6	10–20 см/с	2–3 °С	4%

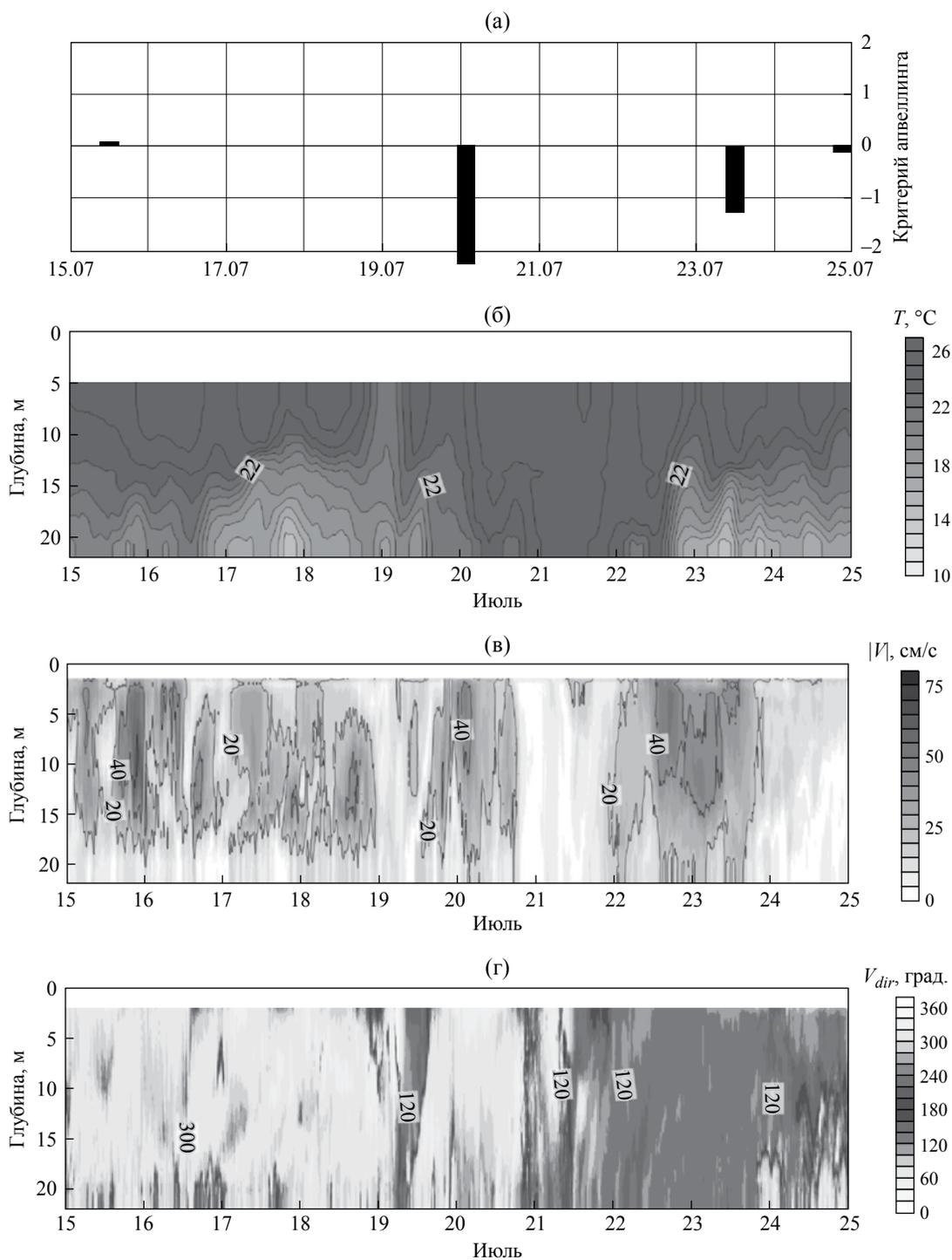


Рис. 3. Критерий апвеллинга (а), вертикальные распределения температуры (б), скорости (в) и направления течений (г) в исследуемой точке в период с 15 по 25.07.2013 г.

связанным со сменой направления вдольберегового течения, которое может объясняться прохождением субмезомасштабных вихрей или топографических волн.

В некоторых ситуациях (11% случаев) подъем термоклинных вод осуществлялся при отсутствии

ветрового форсинга, однако при наличии сильного ЮВ течения.

Наиболее редкими были случаи, когда неполный апвеллинг развивался только под действием ветра ($R_u < -0.6$), при маленьких скоростях течения. Еще 9% случаев подъема вод происходили

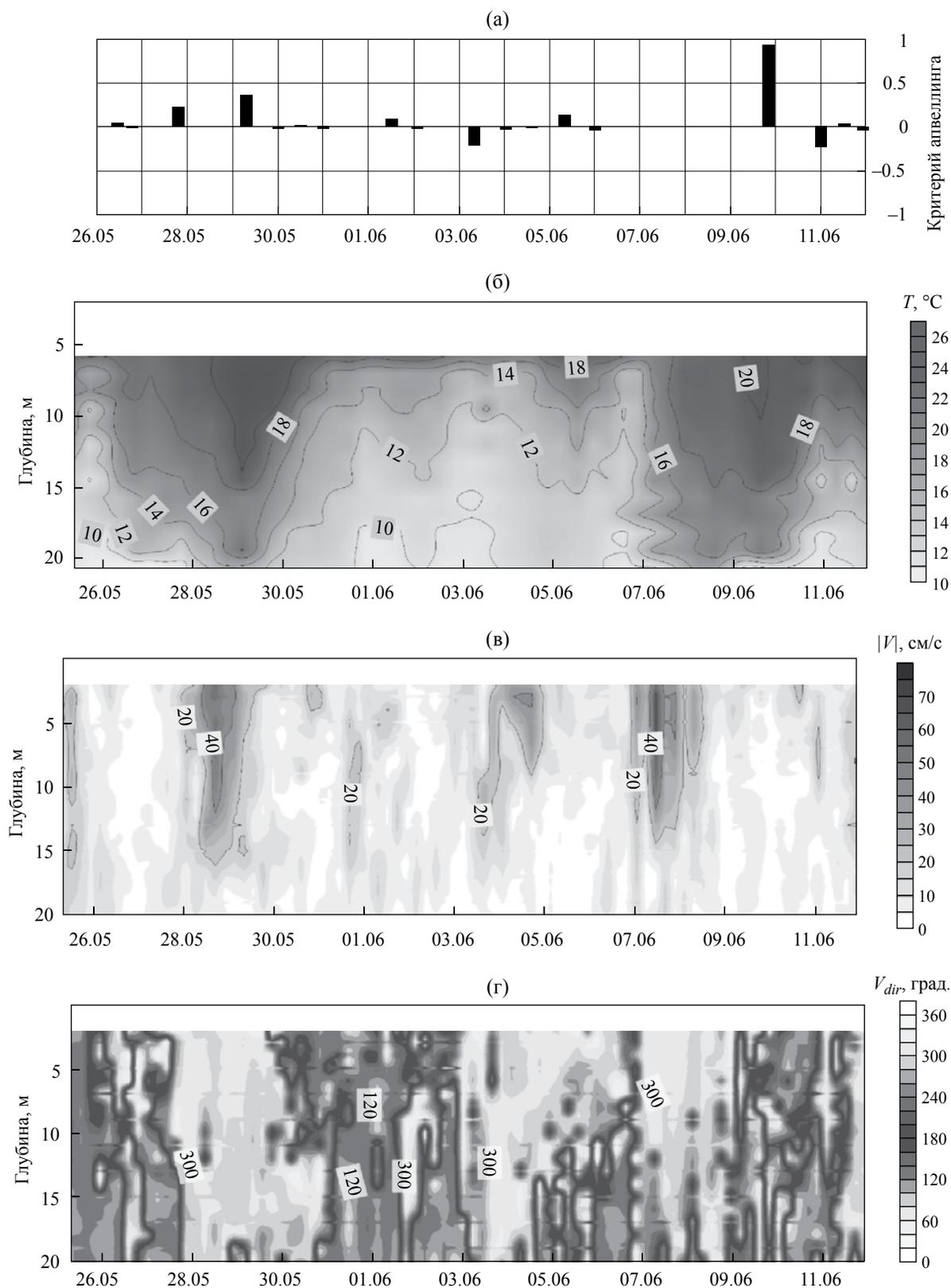


Рис. 4. Критерий апвеллинга (а), вертикальные распределения температуры (б), скорости (в) и направления течений (г) в период с 25.05 по 12.06.2015 г.

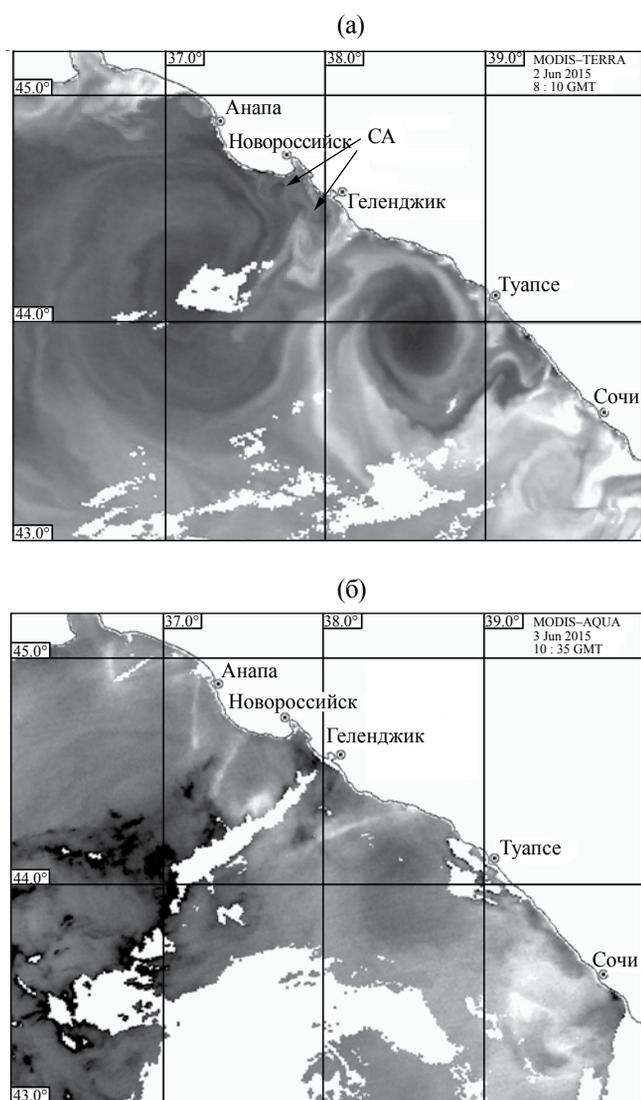


Рис. 5. Спутниковые изображения северо-восточной части Черного моря. (а) – MODIS-Terra, 2.06.2015 г., 08:10 GMT, оптический диапазон; стрелками показаны два субмезомасштабных антициклонических вихря (СА) в прибрежной зоне Геленджика-Новоросийска, которые осуществляют вдольбереговую адвекцию вод в юго-восточном направлении и продуцируют апвеллинг; (б) – MODIS-Aqua, 3.06.2015 г., 10:25 GMT, температура поверхности моря (ТПМ); в районе Геленджика-Новоросийска наблюдается уменьшение ТПМ на 2–3 °С (темные тона изображения), связанное с апвеллингом в СА.

при низких значениях скоростей течения и малых значениях по абсолютной величине критерия экмановского апвеллинга (от 0.1 до –0.2), такие неполные апвеллинги «несамостоятельны» и фиксировались в течение нескольких суток после событий апвеллинга, для которых характерны особенности, описанные выше.

Однако в некоторых случаях при соблюдении критерия (1) события полного апвеллинга не наблюдались (рис. 3). Одной из возможных причин является несовпадение среднеклиматической толщины ВКС с ее реальной величиной [15]. Из-за значительной короткопериодной (несколько суток) изменчивости величины и направления скорости прибрежного течения [3] толщина ВКС также испытывает значительную изменчивость. Следующим логическим шагом данного исследования могла быть оценка изменчивости толщины ВКС по данным вышеописанных измерений и ее корреляция со скоростью вдольберегового течения. Однако расположение измерительного комплекса на сравнительно небольшой глубине 22 м не позволяет произвести репрезентативную оценку толщины ВКС, поскольку во многих ситуациях, в особенности относящихся к событиям даунвеллинга, ВКС распространяется до дна. Для того чтобы определить диапазон колебаний толщины ВКС, целесообразно перенести измерительный комплекс в область больших глубин моря, что планируется сделать в ближайшее время.

Значительное увеличение толщины ВКС по сравнению со среднеклиматическими значениями наблюдается при наличии вдольберегового течения северо-западного направления, при котором из-за геострофического приспособления происходит заглужение термоклина по направлению к берегу [6]. Такого рода ситуация наблюдалась в июле 2013 г. (рис. 3), когда при достаточно сильном и продолжительном апвеллинговом ветре полный апвеллинг так и не реализовался.

Особый случай представляет собой полный апвеллинг, зафиксированный в период с 29 мая по 7 июня 2015 г. (рис. 4). Этот апвеллинг реализовался при отсутствии и северо-западного ветра, и значительного юго-восточного течения в точке измерения. Разгадка этого явления стала возможна благодаря спутниковым изображениям поверхности моря (рис. 5). На рис. 5а представлено изображение сканера MODIS-Terra от 2 июня 2015 г., 08:10 GMT северо-восточной части Черного моря в оптическом диапазоне. Стрелками показаны два субмезомасштабных антициклонических вихря (СА) в прибрежной зоне Геленджика-Новоросийска, которые продуцируют апвеллинг и осуществляют вдольбереговую адвекцию более холодных вод в юго-восточном направлении. Благодаря этой адвекции холодная вода попадает в точку постановки станций с ADCP и термоксом. На рис. 5б представлено изображение сканера MODIS-Terra от 3 июня 2015 г., 10:25 GMT той же части Черного моря, но в поле поверхностной температуры (ТПМ). Видно, что в области действия вышеуказанных субмезомасштабных вихрей ТПМ понижена (приблизительно на 2–3 °С) по

сравнению с окружающими водами. Отсутствие ярко выраженного течения в точке постановки станций означает, по-видимому, что эта точка находилась на периферии СА, куда апвеллинговая вода попадала благодаря вдольбереговой адвекции. Явления апвеллинга, обусловленного субмезомасштабными вихрями, уже описывались ранее в [9] и их наличие надо принимать во внимание при анализе событий подъема термоклинных вод в прибрежной зоне Черного моря.

Также часть случаев неполного апвеллинга, по всей видимости, обусловлена релаксацией (восстановлением положения термоклина после даунвеллингов). Однако однозначно разделить релаксацию и апвеллинг весьма сложно, так как эти явления постоянно сменяют друг друга и существует неопределенность в выборе “фонового” положения термоклина.

ВЫВОДЫ

На основе выполненного исследования установлено, что:

Развитию полного прибрежного апвеллинга в северо-восточной части Черного моря, как правило, предшествует устойчивый продолжительный (более 2 суток) северо-западный ветер. Начало процесса связано с вторжением в придонный слой холодных подтермоклинных вод, которые постепенно поднимаются к поверхности моря. Развитию полного апвеллинга способствует присутствие прибрежного течения юго-восточного направления. Полный апвеллинг обычно реализуется при наличии обоих факторов: северо-западного ветра и юго-восточного течения. При прекращении действия ветра апвеллинг релаксирует. Скорость его релаксации значительно увеличивается при изменении вдольберегового течения на северо-западное. При этом развивается даунвеллинг.

Критерий полного экмановского апвеллинга (см. формулу (1)) является полезным предиктором его возникновения. Однако отсутствие в нем учета влияния динамики вод уменьшает степень его достоверности.

В точке расположения измерительного комплекса (глубина места – 22 м) колебания направления вдольберегового течения вызывают вертикальные колебания верхней границы термоклина амплитудой 10 м и более. Они являются одной из основных причин частого (2–3 раза в месяц) возникновения неполного апвеллинга. Для развития неполного апвеллинга достаточно наличия интенсивного юго-восточного течения: роль ветра здесь не столь принципиальна.

При анализе событий прибрежного апвеллинга надо принимать во внимание возможность

локального подъема холодных вод в ядрах субмезомасштабных вихрей и последующего переноса этих вод вдольбереговым течением.

Авторы благодарят Д. М. Соловьева за любезное предоставление спутниковых изображений.

Работа выполнялась при финансовой поддержке проекта РНФ № 14-17-00382 (в части постановки приборов и получения данных измерений). Обработка и анализ данных были проведены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 14-05-00159.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Архипкин В. С.* Гидрология прибрежного апвеллинга Черного и Каспийского морей // Дисс. на соиск. уч. ст. канд.г.н. 1966.
2. *Архипкин В.С., Добролюбов С. А., Мухаметов С. С. и др.* Экстремальный дождевой паводок в бассейне р. Ашамба и его влияние на рельеф дна и структуру вод моря в районе г. Геленджик // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 2013. № 3. С. 27–34.
3. *Блатов А.С., Тужилкин В. С.* Среднемасштабные вихри и синоптическая изменчивость в Мировом океане // Итоги науки и техники. Сер. Океанология. М.: ВИНТИ АН СССР, 1990. Т. 8. 248 с.
4. *Боровская Р.В., Панов Б. Н., Спиридонова Е. О. и др.* Прибрежный черноморский апвеллинг и межгодовая изменчивость его интенсивности // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, 2005. Вып. 12. С. 42–48.
5. *Журбас В.М., Ох И. С., Парк Т.* Роль бета-эффекта в угасании вдольбереговой бароклинной струи, связанной с переходящим прибрежным ап- и даунвеллингом: численные эксперименты // Океанология. 2006. Т. 46. № 2. С. 189–196.
6. *Зацепин А.Г., Елкин Д. Н., Корж А. О. и др.* О влиянии изменчивости течения в глубоководной зоне Черного моря на динамику вод узкого северо-кавказского шельфа // Морс. гидрофиз. журн. 2016. № 3. С. 16–25.
7. *Зацепин А.Г., Кондрашов А. А., Корж А. О. и др.* Субмезомасштабные вихри на кавказском шельфе Черного моря и порождающие их механизмы // Океанология. 2011. Т. 51. № 4. С. 592–605.
8. *Зацепин А.Г., Кременецкий В. В., Станичный С. В., Бурдюгов В. М.* Бассейновая циркуляция и мезомасштабная динамика Черного моря под ветровым воздействием // Современные проблемы динамики океана и атмосферы. Сб. ст., посвященный 100-летию со дня рождения

- П. С. Линейкина / Ред. Фролов А. В., Реснянский Ю. Д. М.: ТРИАДА ЛТД, 2010. С. 347–368.
9. *Зацепин А. Г., Островский А. Г., Кременецкий В. В. и др.* О природе короткопериодных колебаний основного черноморского пикноклина, субмезомасштабных вихрях и реакции морской среды на катастрофический ливень 2012 г. // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2013. № 6. С. 717–732.
 10. *Зацепин А. Г., Островский А. Г., Кременецкий В. В. и др.* Подспутниковый полигон для изучения гидрофизических процессов в шельфово-склоновой зоне Черного моря // Изв. РА. Физ. атмосфер. и океана. 2014. № 1. С. 16–29.
 11. *Зацепин А. Г., Сильвестрова К. П., Куклев С. Б. и др.* Наблюдение цикла интенсивного прибрежного апвеллинга и даунвеллинга на гидрофизическом полигоне ИО РАН в Черном море // Океанология. 2016. Т. 56. № 2. С. 629–642.
 12. *Кривошея В. Г., Москаленко Л. В., Титов В. Б.* К вопросу о режиме течений на шельфе у северо-кавказского побережья Черного моря // Океанология. 2004. Т. 44. № 3. С. 358–363.
 13. *Мысленков С. А., Сильвестрова К. П., Зацепин А. Г. и др.* Возможности использования GPS-дрифтеров для исследования течений на шельфе Черного моря // Океанология. 2016. Т. 56. № 1. С. 159–166.
 14. *Новиков А. А., Тужилкин В. С.* Сезонные и региональные вариации синоптических аномалий температуры воды в северо-восточной части прибрежной зоны Черного моря // Морск. гидрофиз. журн. 2015. № 1. С. 42–52.
 15. *Подымов О. И., Зацепин А. Г.* Сезонные изменения солёности воды в Геленджикском районе Черного моря по данным судового мониторинга // Океанология 2016. Т. 56. № 3. С. 370–383.
 16. *Тужилкин В. С., Архипкин В. С., Мысленков С. А., Самборский Т. В.* Синоптическая термохалинная изменчивость в российской прибрежной зоне Черного моря // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 2012. № 6. С. 46–53.
 17. *Suranjana Saha, Shrinivas Moorthi, Xingren Wu et al.* The NCEP Climate Forecast System Version 2. // J. Climate. 2014. V.27. P. 2185–2208 (DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00823.1).
 18. *Tomczak M., Godfrey J. S* Regional Oceanography: an Introduction. Pergamon. Oxford. 1994. 442 p.

Coastal Upwelling in Gelendzhik Area of the Black Sea: Effect of the Wind and Dynamics

K. P. Silvestrova, A. G. Zatsepin, S. A. Myslenkov

The paper presents the results of an observation of a coastal upwellings at the coastal zone of the Black Sea near Gelendzhik. The upwelling – downwelling cycle was induced by a passage of an intensive atmospheric cyclone in the third decade of September 2013. Data used for the analysis include water temperature and current velocity profiles regularly measured at the mooring station at a depth of 22 m and the wind velocity obtained from different data sources. The non-dimensional criterion of a complete coastal upwelling is formulated and verified. It is assumed that frequent events of incomplete coastal upwelling and downwelling are associated with changes in water dynamics that are not related to the local wind forcing.