

Анализ результатов наблюдений и методы расчета гидрофизических полей океана

УДК 551.465.4

Г.Ф. Джиганшин, А.Б. Полонский, М.А. Музылева

Апвеллинг в северо-западной части Черного моря в конце летнего сезона и его причины

По архивным данным стандартных гидрометеорологических и спутниковых наблюдений проанализированы общие закономерности проявления апвеллинга в аномалиях температуры поверхности северо-западной части Черного моря в конце летнего сезона. Описана структура прибрежного апвеллинга по данным гидрологической съемки в Каламитском заливе в сентябре 2007 г., когда наблюдались исключительно интенсивные аномалии температуры поверхности моря. С использованием данных реанализа о потоках тепла и поле ветра проанализированы причинно-следственные связи, ответственные за эволюцию этого апвеллинга.

Введение

Важность исследования апвеллинга обусловлена возрастающей ролью рационального природопользования. Наиболее интенсивно он проявляется в прибрежных районах. Поверхностные воды в этих областях характеризуются повышенным содержанием биогенных элементов, что создает благоприятные условия для развития фито- и зоопланктона. Вследствие этого в области прибрежного апвеллинга концентрируются рыбные скопления промысловых масштабов. В качестве примера можно указать на примыкающий к Африканскому побережью промысловый район, термическая структура которого сформирована прибрежным апвеллингом, развивающимся в области Канарского течения. Явлению апвеллинга посвящено большое число публикаций (см. [1] и библиографию в ней).

Помимо промысловой значимости прибрежного апвеллинга, не менее важна его роль и с климатической точки зрения. Имеются многочисленные данные о существенном влиянии прибрежного апвеллинга на климат прилегающих районов (см., например, [2, 3]). Диапазон понижения температуры воды при его возникновении очень широкий – от нескольких до 10 – 15°C. Как правило, это явление длится от 3 до 5-6 сут, после чего температура воды повышается до нормальных климатических значений [4 – 8]. Поэтому проявления прибрежного апвеллинга в поле температуры морской поверхности в летний период создают проблемы рекреационного характера: в частности, эпизодически (а тем более регулярно) возникая в рекреационных зонах, он приводит к резкому понижению температуры и в результате – к значитель-

© Г.Ф. Джиганшин, А.Б. Полонский, М.А. Музылева, 2010

ISSN 0233-7584. Мор. гидрофиз. журн., 2010, № 4

45

ным финансовым потерям вследствие оттока туристов. В число таких зон входит и северо-западная часть Черного моря (СЗЧМ).

Многочисленные данные показывают, что подъем вод довольно часто наблюдается и в открытых частях СЗЧМ. Об этом, в частности, свидетельствуют результаты численного моделирования (см., например, [9]), а также локальные области пониженной температуры поверхности моря, выделяющиеся по спутниковым измерениям [5]. Понятно, что эти образования обусловлены динамикой вод, не связанной со сгонным воздействием ветра [10]. Статистические характеристики апвеллингов такого типа изучены гораздо хуже, чем характеристики прибрежного апвеллинга. Действительно, по прибрежному апвеллингу у Южного берега Крыма (ЮБК) и в северо-западной части Черного моря накоплены ряды длительных наблюдений, позволяющие детально описать его типичные характеристики, межгодовую и декадную изменчивость за период от нескольких десятилетий до ста лет [11]. Апвеллинги же, возникающие в открытой части Черного моря и не связанные непосредственно со сгонным действием ветра, практически не анализировались [12].

В период 16 – 22 сентября 2007 г. Морским гидрофизическим институтом (МГИ) НАН Украины на НИС «Эксперимент» была проведена комплексная экспедиция с целью исследования океанологических процессов в СЗЧМ в конце периода летнего прогрева – начале периода осеннего выхолаживания. В завершающей фазе экспедиции в южной части Каламитского залива был зарегистрирован интенсивный прибрежный апвеллинг, проявившийся в выходе на поверхность вод верхней части холодного промежуточного слоя (ХПС). Согласно спутниковым данным, в это же время в мористой части региона начал развиваться апвеллинг, причины генерации которого до конца не ясны. Это побудило нас рассмотреть некоторые общие закономерности проявления апвеллинга в указанном районе Черного моря, а также проанализировать причинно-следственные связи, ответственные за эволюцию апвеллинга, наблюдавшегося в сентябре 2007 г.

Использованные материалы

В процессе экспедиции на НИС «Эксперимент» в восточной части СЗЧМ были выполнены *CTD*-зондирования на двух квазимеридиональных разрезах, а также *CTD*-съемка микрополигона, примыкающего к береговой черте и ограниченного координатами $44^{\circ}43'$ с. ш. (с севера) и $33^{\circ}21'$ в. д. (с запада). Материалы этих измерений частично использованы в настоящей работе. Помимо этого, использованы также:

– данные ежедневных спутниковых измерений поверхностной температуры СЗЧМ за сентябрь 2007 г. с пространственным разрешением в 1 км, подготовленные в рамках проекта *SeaDataNet* в Институте морских наук Средне-восточного технического университета, Турция (*Institute of Marine Sciences, Middle East Technical University, Turkey*) [13];

– срочные данные реанализа о приводном поле ветра Национального центра предсказания климата (*NCEP*) за период 16 – 22 сентября 2007 г. с полуградусным пространственным разрешением [14];

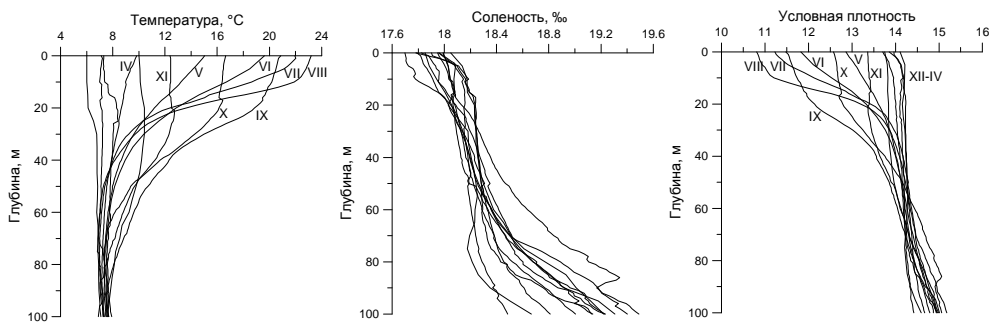
- срочные данные о потоках тепла из реанализа Японского метеорологического общества (*JRA-25*) с пространственным разрешением массива $1,125 \times 1,125^\circ$ [15];
- архивные данные о температуре и солёности СЗЧМ за период 1890 – 2005 гг. из регионального банка океанографических данных [16];
- данные стандартных наблюдений температуры поверхности моря (ТПМ), выполненных в 1950 – 2008 гг. на гидрометеорологической станции в Евпатории.

Методика расчета и результаты картирования аномалий гидрологических полей на поверхности Каламитского залива

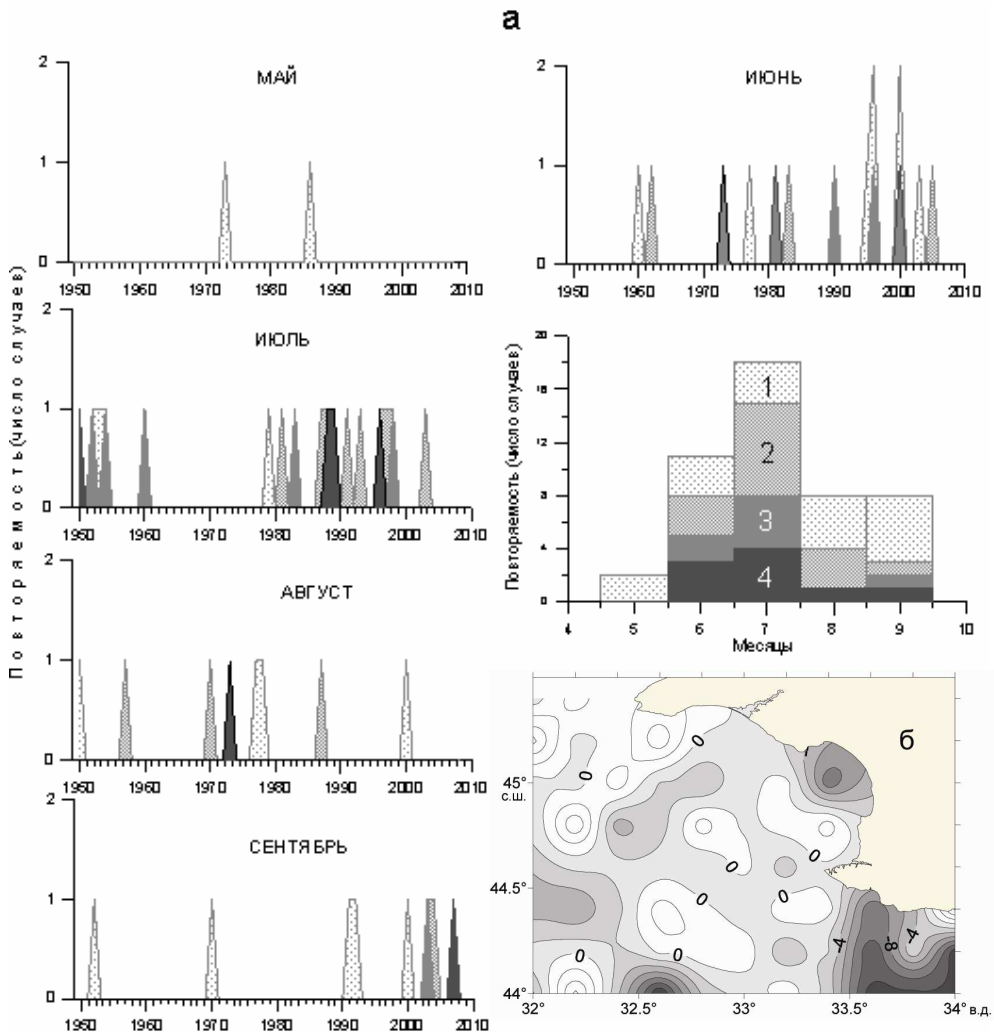
Для получения общих представлений о проявлениях прибрежного апвеллинга в Каламитском заливе нами была сделана выборка повторяемостей отрицательных аномалий ТПМ, наблюдавшихся у побережья в районе Евпатории в течение относительно коротких (до 3 – 5 дней) промежутков времени. Выборка производилась для отрицательных аномалий, превышающих по абсолютному значению 4, 5, 6 и 7°C . Кроме того, была сделана попытка оценить степень проявления апвеллинга на поверхности моря на основе так называемого индекса термохалинной аномалии, вычисляемого по формуле

$$T, S_{INDEX} = \left[1 - \frac{(\bar{S} - \Delta S)(\bar{T} + \Delta T)}{\bar{T} \bar{S}} \right] 100, \quad (1)$$

где \bar{T} и \bar{S} – среднеклиматические значения температуры и солёности на поверхности моря, вычисленные для конкретного времени года; ΔT и ΔS – отклонения температуры и солёности от климатической нормы. Формула (1) взята из работы [8]. Она характеризует совместные отклонения температуры и солёности в данной точке от среднесезонного климатического состояния поверхностных вод в регионе. При условии, что в верхнем слое Черного моря в период летнего прогрева происходит уменьшение температуры и рост солёности с глубиной (рис. 1), отрицательные значения рассматриваемого индекса указывают на вероятный подъем вод. Отметим, что в Каламитском заливе наибольшие вертикальные градиенты солёности в верхнем ~ 20-метровом слое наблюдаются с июня по сентябрь. Что касается вертикального распределения температуры, то лишь с апреля по октябрь воды Каламитского залива устойчиво термически стратифицированы. В ноябре – декабре верхний 20 – 25-метровый слой характеризуется инверсией при сохранении роста температуры в нижележащих слоях. В январе – феврале инверсией охвачен уже весь 100-метровый слой, а в марте в этом слое имеет место термическая однородность по вертикали. Из этого следует, что использование индекса термохалинных аномалий в качестве характеристики апвеллинга возможно лишь в период с мая по сентябрь.



Р и с. 1. Среднеголетние вертикальные профили, вычисленные для Каламитского залива (римские цифры означают месяцы года)



Р и с. 2. Повторяемость отрицательных аномалий ТПМ в районе Евпатории за период 1950 – 2008 г. (а) и распределение индексов термохалинных аномалий в июле (б). Цифрами 1 – 4 обозначены повторяемости аномалий, превышающих 4, 5, 6 и 7°C соответственно. Затененные участки на рис. (б) указывают на большую повторяемость выхода на поверхность более соленых и холодных подповерхностных вод

Результаты анализа повторяемости термических аномалий (на поверхности моря), рассчитанных по данным стандартных гидрометеорологических наблюдений, показывают, что частота прибрежного апвеллинга невелика. Всего за 1950 – 2008 гг. здесь наблюдалось 49 случаев отрицательных аномалий ТПМ, превышавших по абсолютному значению 4°C . Аномалии же, превышавшие по абсолютному значению 5, 6 и 7°C , наблюдались соответственно в 30, 16 и 9 случаях. Причем, судя по гистограммам повторяемостей (рис. 2), прибрежный апвеллинг имеет место главным образом в июне и июле. Апвеллинг, сопровождающийся экстремальными отрицательными аномалиями ТПМ (превышающими по абсолютной величине 7°C), наблюдался только в 9-ти случаях: 3 случая в июне, 4 – в июле и лишь два случая имели место в конце лета – начале осени, в августе 1973 г. и в сентябре 2007 г. Таким образом, рейс, проведенный на НИС «Эксперимент» в сентябре 2007 г., совпал по времени с развитием исключительно аномального прибрежного апвеллинга.

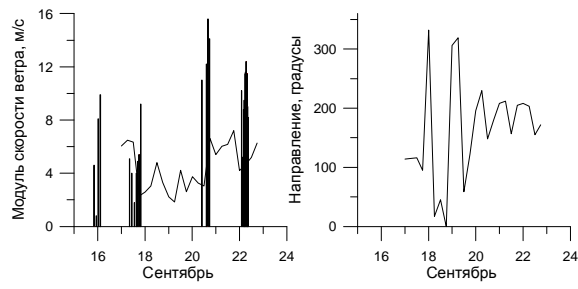
Среднемесячные поля индексов термохалинных аномалий, вычисленные для теплого полугодия, характеризуются экстремальными отрицательными величинами в области прибрежного апвеллинга у ЮБК и в окрестности Основного Черноморского течения (ОЧТ) (рис. 2, б). Это свидетельствует о бóльшей повторяемости прибрежного апвеллинга у ЮБК, чем в Каламитском заливе, и о наличии апвеллинга в открытом море, обусловленного, по всей видимости, динамикой ОЧТ. Отметим, что некоторая мозаичность поля T, S_{INDEX} вызвана недостаточной обеспеченностью исходными данными всей рассматриваемой акватории моря.

Характеристика апвеллинга, наблюдавшегося в прибрежных районах восточной части СЗЧМ в сентябре 2007 г.

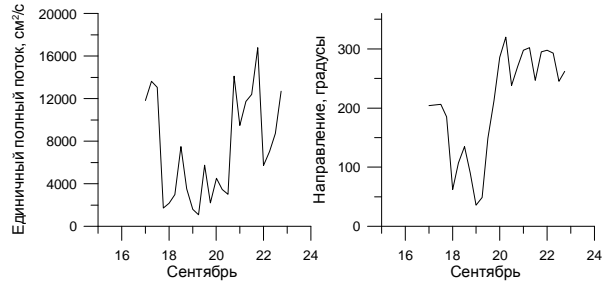
Апвеллинг, зафиксированный в экспедиции на НИС «Эксперимент» в сентябре 2007 г., являлся уникальным по своим проявлениям на поверхности моря. Рассмотрим причину его развития.

По данным судовых наблюдений, 16 – 20 сентября в Каламитском заливе действовали ветры переменных направлений силой от 1-2 до 6-8 м/с. 21 сентября их сменил устойчивый северный ветер, скорость которого колебалась от 10 до 16 м/с. Данные реанализа *NCEP* подтверждают этот результат, хотя и дают значения скорости, заниженные приблизительно вдвое (рис. 3, а).

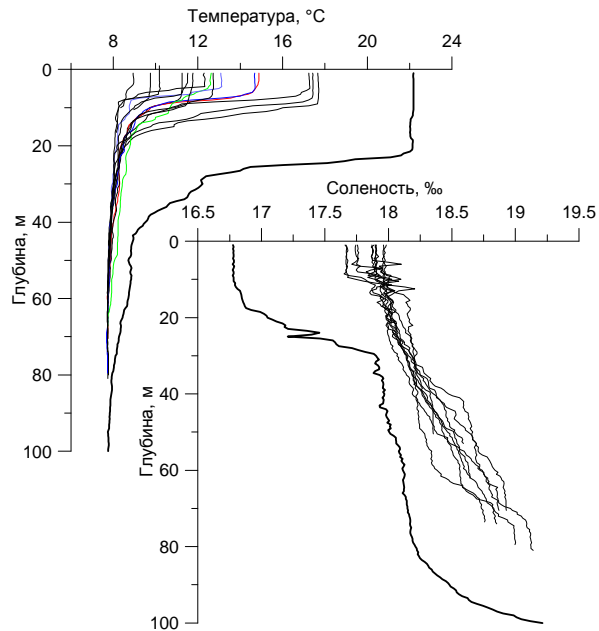
Полные единичные дрейфовые потоки, вычисленные по соотношениям Экмана [17] с использованием данных *NCEP*, достигали $1000 - 1600 \text{ см}^2/\text{с}$ и были направлены перпендикулярно береговой линии на запад (рис. 3, б). Это привело к тому, что в прибрежной полосе Каламитского залива шириной $\sim 10 - 15 \text{ км}$ сформировался мощный прибрежный апвеллинг и на поверхность моря вышли воды, прилегающие к верхней части ХПС, с температурой $8,5 - 8,7^{\circ}\text{C}$ и соленостью $17,9\text{‰}$ (рис. 3, в; 4, 5). Как видно из рис. 3, в, до начала апвеллинга указанные изотермы располагались в сентябре 2007 г. на глубине 40 – 45 м (что, кстати, значительно отличалось от климатической ситуации – ср. рис. 1 и 3, в).



а



б

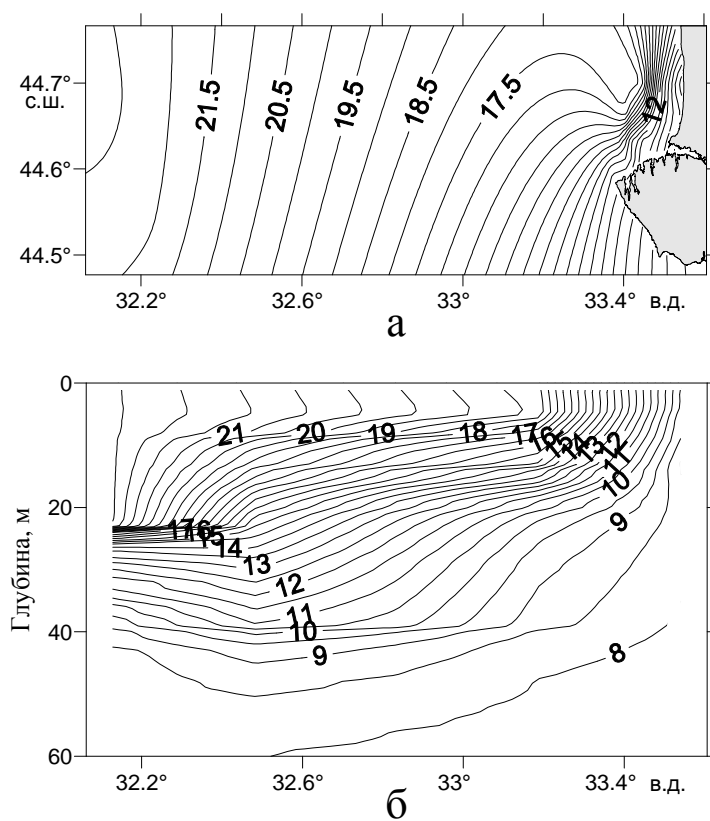


в

Р и с. 3. Вариации скорости и направления ветра по данным *NCEP* (а), полного потока чисто дрейфового течения (б) в юго-восточном секторе Каламитского залива 16 – 22 сентября 2007 г. и пространственная эволюция вертикальных профилей температуры и солености на микрополигоне у входа в Севастопольскую бухту 21 – 22 сентября 2007 г. (в). Черные столбики – модуль скорости ветра по данным судовых наблюдений. Для удобства сравнения на рис. (а) направление ветра изменено на 180°, т. е. показано, куда дует ветер

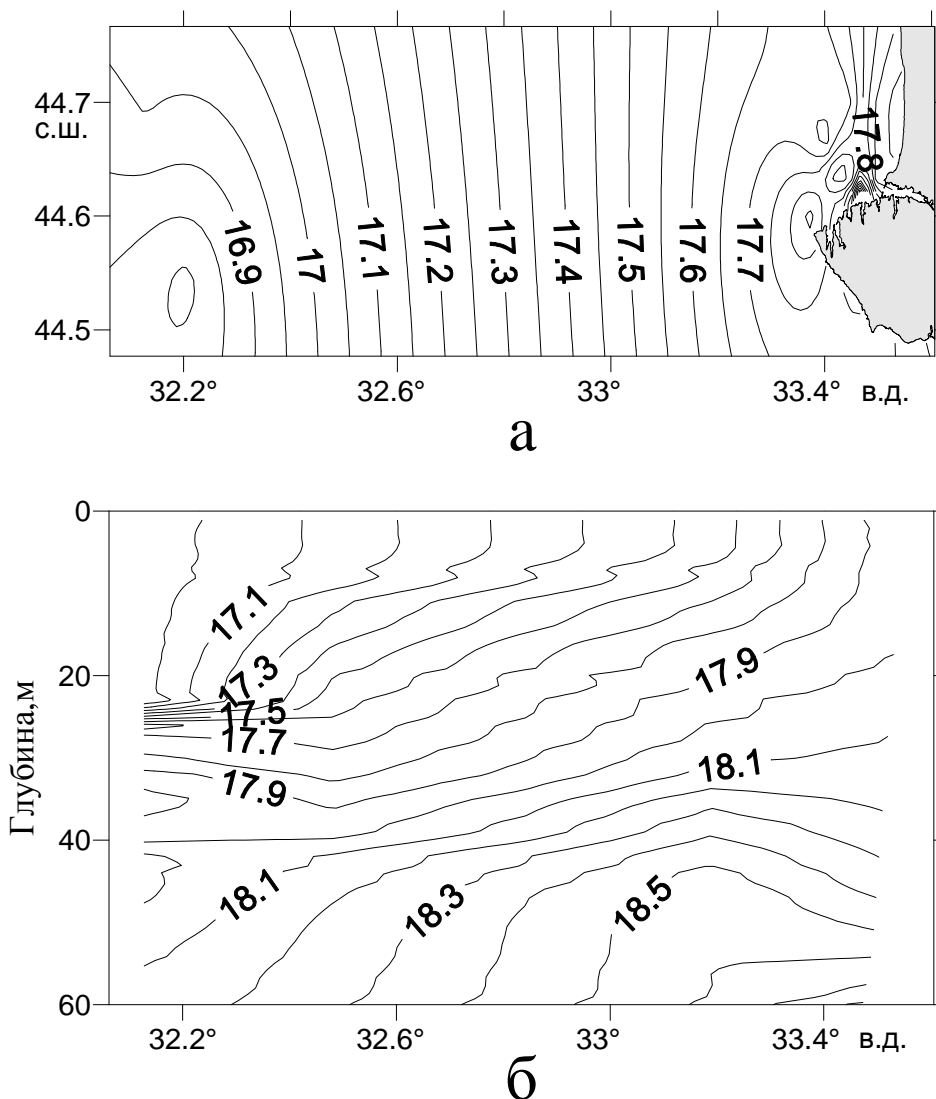
Оценим вертикальную скорость прибрежного апвеллинга, зная, что время его развития составило ~1,5 сут, за которые вода поднялась с глубины 40 – 45 м. Оценка показывает, что вертикальная скорость при этом превышает 0,035 см/с. Непосредственно за пределами прибрежного апвеллинга слой температурного скачка поднялся от 30 до 10 м. Это дает оценочную скорость подъема ~ 0,015 см/с. Такого же порядка получаются вертикальные скорости, оцененные из двумерного уравнения неразрывности $\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$ (здесь ось

y направлена по нормали к береговой линии, ось z – вертикально вниз, производные вдоль береговой черты считаются пренебрежимо малыми). Предполагается, что апвеллинг сконцентрирован в полосе шириной ~ 10 км при средней глубине моря в этом районе, превышающей масштаб Экмана, что согласуется с наблюдениями. Далее для оценки вертикальной скорости используются указанные экмановские полные потоки, направленные от берега, с учетом отмеченного занижения скорости ветра в реанализе *NCEP*. Полученные таким образом оценки близки к приведенным выше (и вычисленным на основе совершенно других соображений) оценкам вертикальных скоростей прибрежного апвеллинга.

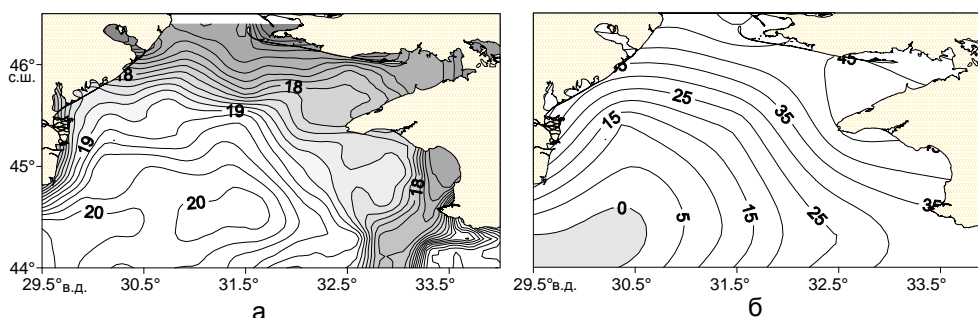


Р и с. 4. Распределение температуры в юго-восточном секторе Каламитского залива 22 сентября 2007 г.: *а* – на глубине 5 м; *б* – на зональном разрезе по 44,7°с.ш.

Таким образом, можно утверждать, что у западной оконечности Крымского п-ова в начале осени 2007 г. наблюдался мощный прибрежный апвеллинг, обусловленный сильными и устойчивыми ветрами северных румбов. Вертикальные скорости в нем доходили и даже несколько превышали 0,035 см/с. Карты поверхностной температуры, построенные по данным спутниковых наблюдений, показывают, что его развитие продолжалось до 25 сентября (рис. 6). При этом площадь, занятая температурной аномалией, расширялась, а сама область температурной аномалии распространялась в юго-западном направлении в сторону открытого моря.



Р и с. 5. Распределение солёности в юго-восточном секторе Каламитского залива 22 сентября 2007 г.: *а* – на глубине 5 м; *б* – на зональном разрезе 44,7°с. ш.



Р и с. 6. Распределение ТПМ (а) и суммарных потоков (б) на поверхности моря 25 сентября 2007 г.

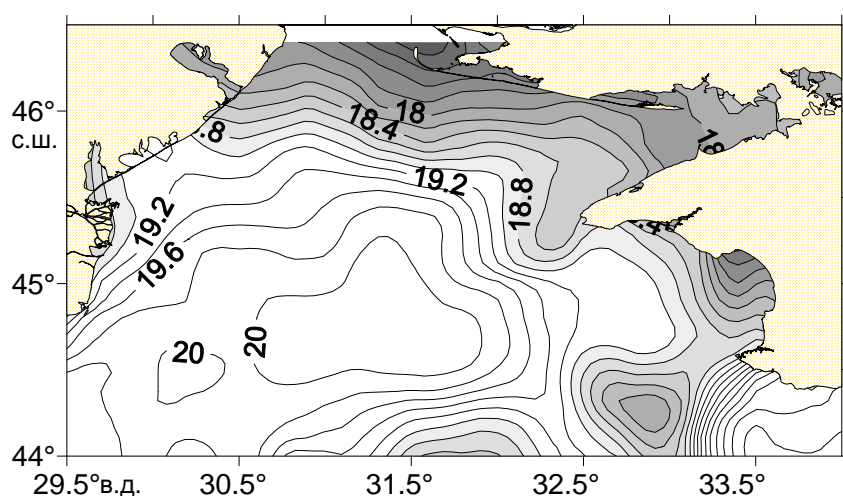
Апвеллинг в открытой части акватории и его связь с вертикальными экмановскими движениями и потоками тепла на поверхности моря

Выше отмечалось, что прибрежный апвеллинг влияет на климат прилегающих районов суши. Известно, в частности, его воздействие на бризовую циркуляцию [2]. Отклик прибрежной циркуляции атмосферы осуществляется посредством механизма обмена теплом через поверхность океана. В качестве примера, иллюстрирующего связь потоков тепла с ТПМ, обратимся к рис. 6, на котором показаны поля ТПМ и суммарных потоков, построенные по данным [13] и [15] соответственно. Видно, что областям пониженной ТПМ соответствуют области повышенных положительных суммарных потоков. Как показывает анализ отдельных компонентов теплового баланса поверхности моря, эти области сформированы в значительной степени ослаблением турбулентного теплообмена моря с атмосферой вследствие развития над областями с пониженной ТПМ устойчиво-стратифицированного приводного пограничного слоя в атмосфере. Отметим, что мощный прибрежный апвеллинг наблюдался не только в Каламитском заливе, но и во всей северной и северо-восточной части СЗЧМ (рис. 6). Причем к 25 сентября оба апвеллинга практически слились в единую зону охлаждения поверхностного слоя моря, которая заняла почти всю северную и северо-восточную половину СЗЧМ.

Как было показано выше, развитие мощного прибрежного апвеллинга, наблюдавшегося в конце сентября 2007 г., обусловлено сильными и устойчивыми ветрами северных румбов. Вместе с тем анализ карт распределения поверхностной температуры в СЗЧМ, построенных по данным [14] (из-за ограниченности объема статьи в качестве примера приведено лишь одно среднесуточное поле ТПМ, см. рис. 7), показывает, что в отдельные дни области пониженной температуры наблюдались и в открытых частях рассматриваемой акватории. Главным механизмом их возникновения может служить подъем вод, возникающий либо в центрах локальных циклонических образований, либо в местах вторжения струи ОЧТ. Другой причиной генерации апвеллинга такого типа могут быть экмановские вертикальные движения, обусловленные пространственной неоднородностью поля ветра. Для выявления роли последнего механизма по формуле

$$w_d = \alpha \left(\frac{\text{rot}_z \tau}{f} + \frac{\beta}{f^2} \tau_x \right) \quad (2)$$

были вычислены вертикальные скорости на нижней границе экмановского слоя трения. В основу расчетов положены данные о распределении скорости и направления ветра, взятые из реанализа *NCEP* [14]. Результаты вычислений показали, что практически в течение всего сентября 2007 г. вертикальные экмановские скорости в СЗЧМ составляли в среднем 10^{-4} см/с. Лишь для отдельных дней сентября в восточной части СЗЧМ получены скорости восходящих движений, превышающие 10^{-3} см/с (рис. 8). Такие значения w_d не могут существенно понизить температуру верхнего квазиоднородного слоя (ВКС), что подтверждается приведенными ниже оценками и рис. 6, согласно которому среднесуточные понижения ТПМ в указанные периоды составляли $0,5^\circ\text{C}$, а максимальные не превышали 1°C . Причем какой-либо корреляции между суточными изменениями ТПМ и вертикальными движениями не наблюдалось.



Р и с. 7. Среднесуточное поле ТПМ 28 сентября 2007 г.

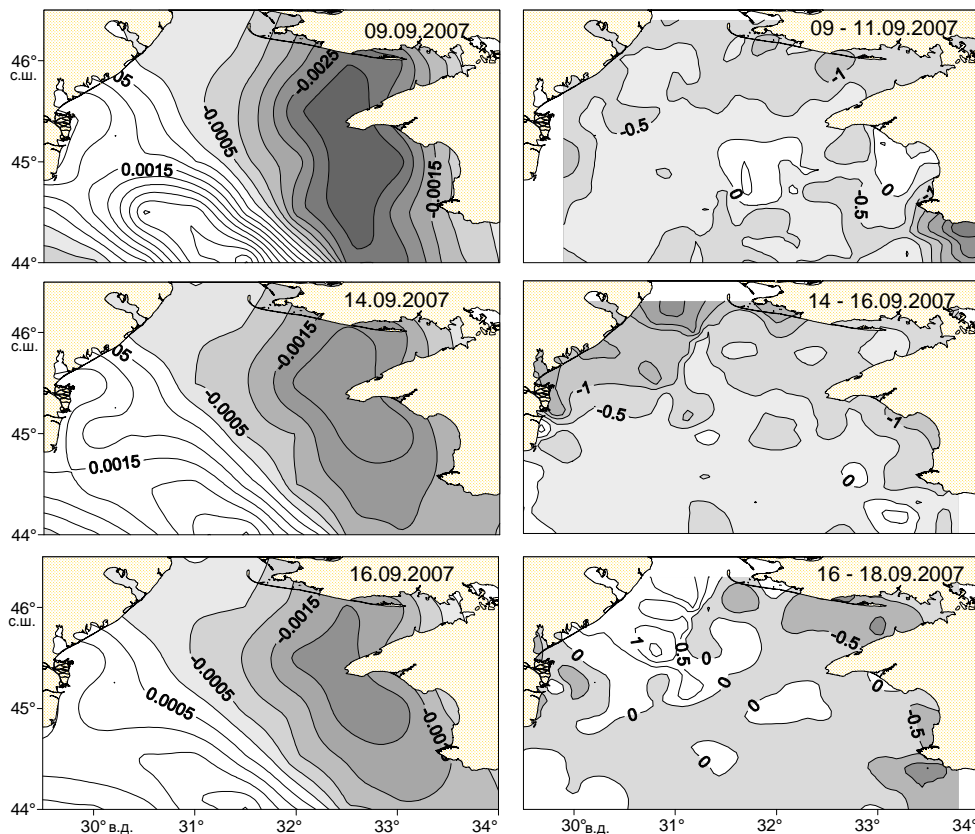
Для оценки роли вертикальных движений в формировании потоков тепла на нижней границе ВКС и изменении ТПМ в открытой части моря воспользуемся следующей системой уравнений интегральной теории ВКС [10]:

$$\frac{dT_0}{dt} = \frac{q_0 - q_h}{h}, \quad (3)$$

$$q_h = \left(\frac{dh}{dt} - w_h \right) (T_0 - T_h),$$

здесь T_0 – среднесуточная температура ВКС, который считается однородным по вертикали; q_0 – суммарный поток тепла на поверхности моря;

$q_h = \left(\frac{dh}{dt} - w_h\right)(T_0 - T_h)$ – поток тепла на нижней границе ВКС, толщина которого равна h (он определяется из обобщенной гипотезы Крауса – Тернера для условий турбулентного вовлечения вод термоклина в ВКС). Скачок температуры на нижней границе ВКС можно определить из профиля, приведенного на рис. 3, в и 4, а.



Р и с. 8. Распределение вертикальной скорости w_d на глубине экмановского слоя трения (слева) и суточные изменения ТПМ (справа) 9, 14 и 16 сентября 2007 г.

Измерения, выполненные в открытых частях Каламитского залива в сентябре 2007 г., показывают, что $h \approx 20 - 25$ м. На анализируемых временных масштабах толщина ВКС почти не меняется во времени. Режим вовлечения в зонах подъема вод обеспечивается именно упорядоченными вертикальными движениями, направленными вверх. Величины $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ оценим по данным ТПМ в узлах сетки за двухсуточный период с 23 по 25 сентября. Результаты вычислений показывают, что на большей части Каламитского залива общее понижение ТПМ не превышало 1°C . Принимая $T_0 - T_h \approx 6 - 10^\circ\text{C}$ (см. рис. 3, в) и

полагая $w_h \approx w_d \approx (10^{-3} - 10^{-4})$ см/с, получим следующую оценку для первого и второго слагаемых уравнения (3):

$$\frac{\Delta T_0}{\Delta t} h \approx 1,5 \cdot 10^{-2}, \quad q_h \approx 6 - 10(10^{-3} - 10^{-4}) \text{ град} \cdot \text{см} \cdot \text{с}^{-1}.$$

Таким образом, приходим к выводу, что в открытых частях моря вклад вертикальных экмановских движений в вариации потоков тепла на нижней границе ВКС не может обеспечить наблюдаемые изменения температуры ВКС, которые примерно на порядок больше полученных выше величин. Это означает, что главной причиной апвеллинга в мористой части региона был подъем вод, возникающий, по-видимому, в результате вторжения струи Основного Черноморского течения.

Заключение

1. В Каламитском заливе повторяемость прибрежного апвеллинга, идентифицированного по аномалиям ТПМ, невелика (менее одного случая в год). Апвеллинг наблюдается главным образом в июне и июле и характеризуется понижениями температуры на $\sim 4 - 5^\circ\text{C}$. Апвеллинг, сопровождающийся экстремальными отрицательными аномалиями ТПМ (превышающими по абсолютной величине 7°C), наблюдается крайне редко. Одно из таких экстремальных проявлений прибрежного апвеллинга имело место в сентябре 2007 г. В прибрежных участках акватории – восточной и северо-восточной частях СЗЧМ – развился мощный прибрежный апвеллинг, обусловленный сильными и устойчивыми ветрами северных румбов. Они привели к сгону, сопровождавшемуся вертикальными скоростями, превышающими $0,035$ см/с. Аномалии ТПМ в прибрежной зоне Каламитского залива превысили (по абсолютной величине) 7°C , что является рекордным показателем для сентября, начиная с 1950 г.

2. Главной причиной апвеллинга, который наблюдался в мористой части региона в сентябре 2007 г., был подъем вод, возникающий, по-видимому, в результате вторжения струи ОЧТ.

Выражаем признательность В.В. Мирошниченко (сотруднику *Institute of Marine Sciences, Middle East Technical University, Turkey*) за предоставленные данные спутниковых измерений ТПМ, М.В. Шокурову и Д.В. Башарину (сотрудникам МГИ НАН Украины) за помощь в формировании массивов данных *NCEP* и *JRA-25*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архипкин В.С., Еремеев В.Н., Иванов В.А. Апвеллинг в пограничных областях океана. – Севастополь, 1987. – 46 с. – (Препринт/НАН Украины. МГИ).
2. Clancy R. M., Thomson J.D., Hulbert H.E., Lee J.D. A model of mesoscale air-sea interaction in a sea breeze-coastal upwelling regime // *Mon. Wea. Rev.* – 1979. – 107. – P. 1476 – 1505.
3. Shukla J. Effects of Arabian sea-surface temperature anomaly on Indian summer monsoon; a numerical experiment with the GFDL model // *J. Atmos. Sci.* – 1975. – 32. – P. 503 – 511.

4. *Иванов В.А., Коснырев В.К., Михайлова Э.Н.* Апвеллинг в северо-западной части Черного моря в период летнего прогрева // Морской гидрофизический журнал. – 1996. – № 4. – С. 26 – 35.
5. *Коснырев В.К., Михайлова Э.Н., Станичный С.В.* Апвеллинг в Черном море по результатам численных экспериментов и спутниковым данным // Там же. – 1996. – № 5. – С. 34 – 46.
6. *Коснырев В.К., Михайлова Э.Н., Шаниро Н.Б.* Численное моделирование апвеллинга в северо-западной части Черного моря // Метеорология и гидрология. – 1996. – № 12. – С. 65 – 71.
7. *Иванов В.А., Михайлова Э.Н., Шаниро Н.Б.* Моделирование ветровых апвеллингов в окрестностях локальных особенностей рельефа дна на северо-западном шельфе Черного моря // Морской гидрофизический журнал. – 2008. – № 3. – С. 68 – 80.
8. *Иванов В.А., Михайлова Э.Н.* Апвеллинг в Черном море. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. – 92 с.
9. *Modelling and prediction of the upper layer of the ocean* (ed. by E.V. Kraus) // Proceedings of NATO Adv. Study Inst., Pergamon Press. – 1977. – 367 p.
10. *Полонский А.Б.* Горизонтально-неоднородный деятельный слой океана и его моделирование. – Севастополь – Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1989. – 233 с.
11. *Ловенкова Е.А., Полонский А.Б.* Климатические характеристики апвеллинга у побережья Крыма и их изменчивость // Метеорология и гидрология. – 2005. – № 5. – С. 44 – 52.
12. *Полонский А.Б., Музылева М.А.* Характеристика межгодовой изменчивости ветрового режима и апвеллинга в Одесском заливе // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2008. – С. 333 – 336.
13. *Сервер данных* <http://www.ims.metu.edu.tr/SeaDataNet/>.
14. *NOAA Operational Model Archive Distribution System* // Real Time Nomads NCEP Component, <http://nomad1.ncep.noaa.gov/>.
15. *Сервер данных* <http://ds.data.jma.go.jp/>.
16. *Годин Е.А., Суворов А.М.* Морские информационные системы и технологии // Развитие морских наук и технологий в Морском гидрофизическом институте за 75 лет / Под общ. ред. В.Н. Еремеева. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2004. – 704 с.
17. *Ekman V.W.* On the influence of the earth's rotation on ocean currents // Arkiv. f. Math. Astr. Fysik. – 1905. – 2, № 11. – P. 1 – 53.

Морской гидрофизический институт НАН Украины,
Севастополь
E-mail: djiganshin@mail.ru
apol@alpha.mhi.iuf.net

Материал поступил
в редакцию 27.03.09
После доработки 24.04.09

АНОТАЦІЯ За архівними даними стандартних гідрометеорологічних і супутникових спостережень проаналізовані загальні закономірності прояву апвеллінгу в аномаліях температури поверхні північно-західної частини Чорного моря наприкінці літнього сезону. Описано структуру прибережного апвеллінгу за даними гідрологічної зйомки, проведеної в Каламітській затоці у вересні 2007 р., коли спостерігалися виключно інтенсивні аномалії температури поверхні моря. З використанням даних реаналізу про потоки тепла і поле вітру проаналізовано причинно-наслідкові зв'язки, відповідальні за еволюцію цього апвеллінгу.

ABSTRACT General regularities of upwelling manifestations in surface temperature anomalies in the northwestern Black Sea in late summer season are analyzed based on the data of standard hydrophysical and satellite observations. Structure of the coastal upwelling is described relying on the hydrological survey data carried out in the Kalamit bay in September, 2007 when exceptionally intensive sea surface temperature anomalies were observed. Cause-effect relations responsible for the upwelling evolution are analyzed using the data on heat fluxes and wind field re-analysis.