

**Сезонные и региональные вариации синоптических
аномалий температуры воды в северо-восточной части
прибрежной зоны Черного моря**

© 2015 А.А. Новиков, В.С. Тужилкин

*Филиал Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова
в г. Севастополе, Россия
E-mail: a_novik@bk.ru*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Поступила в редакцию 03.12.2013 г. После доработки 09.02. 2014 г.

По данным многолетних наблюдений на гидрометеорологических станциях (ГМС) в северо-восточной части Черного моря проанализирован климатический годовой цикл среднеквадратических значений синоптических аномалий температуры воды (САТВ) с суточной временной дискретностью. Выявлены 5 режимов внутригодовой изменчивости САТВ: в декабре – феврале они минимальны ($\pm 0,5 - 1^\circ\text{C}$), в марте – мае монотонно возрастают вдвое, в июне – июле и сентябре – ноябре достигают максимумов ($\pm 2,5 - 3^\circ\text{C}$), которые разделены августовским минимумом ($\pm 1 - 1,5^\circ\text{C}$). Показано, что повышенные среднеквадратические значения САТВ статистически значимо связаны с их отрицательными средними значениями, что свидетельствует о преобладающем апвеллинговом механизме генерации синоптических аномалий температуры воды.

Ключевые слова: апвеллинг, течение, ветер, Черное море, синоптическая изменчивость, поверхностная температура.

Введение. Синоптическая изменчивость с временными масштабами от инерционного периода до сезона – один из 5 основных временных диапазонов вариаций состояния вод океанов и морей наряду с межгодовым (многолетним), сезонным, суточным и короткопериодным диапазонами [1]. В прибрежной зоне океанов и морей, включающей материковый шельф и склон, основными процессами, формирующими синоптическую изменчивость, признаны апвеллинг/даунвеллинг различной природы, синоптические вихри и береговые захваченные волны (БЗВ). Специализированные натурные и теоретические исследования этих процессов, выполненные в 1970 – 1980-х гг. у берегов Северной и Южной Америки, Африки, Австралии, Западной Европы, убедительно показали тесную генетическую взаимосвязь между ними [1 – 8]. При этом ветровой прибрежный апвеллинг/даунвеллинг практически всегда дает старт (запускает механизм) БЗВ, которые распространяются вдоль берега (оставляя его в Северном полушарии справа) как чередующиеся области дивергенции/конвергенции вдольбереговых синоптических течений. С этими областями связаны распространяющиеся в том же направлении области волнового апвеллинга/даунвеллинга, которые в процессе перемещения могут «подкачиваться» резонансным ветровым воздействием [6, 8]. Периоды ветрового и волнового апвеллинга изменяются в диапазоне от нескольких суток до двух-трех недель, масштабы вдольбереговых неоднородностей – от десятков до многих сотен километров. Чрезвычайно большое и многоплановое прикладное и научное значение зна-

ний об этих процессах побуждает к их интенсивным исследованиям в большинстве прибрежных регионов Мирового океана с активной хозяйственной деятельностью. При этом детально анализируются не только процессы, управляющие динамикой синоптических фаз апвеллинга/даунвеллинга: начального ветрового возбуждения, формирования вдольбереговой фронтальной зоны и струйного течения, его противотечения, их последующей релаксации [9 – 11], но также сезонная [12, 13] и межгодовая изменчивость этих явлений.

В Черном море первые исследования синоптической изменчивости в прибрежной зоне – сгонно-нагонных явлений – были выполнены полвека назад [14 – 16]. Результаты первых современных систематических исследований прибрежного апвеллинга и БЗВ у Южного берега Крыма были изложены в [3, 14]. Они показали близкое подобие свойств этих процессов в Черном море и в названных выше регионах Мирового океана. В последующие годы проводились только отдельные натурные и модельные исследования апвеллинга у Южного берега Крыма [17 – 19] и в районе о. Змеиный [20], а также были даны оценки суммарной дисперсии и спектров синоптической изменчивости течений у северо-восточного берега Черного моря [21, 22]. Они показали, что в кавказской прибрежной зоне Черного моря дисперсия синоптических вариаций скорости в 1,5 – 2,5 раза превышает высокочастотную. Синоптическая дисперсия температуры воды больше высокочастотной в 3 – 5 раз. В спектрах изменчивости выделялись значимые максимумы на периодах 12; 8 – 10; 6; 4 – 2 сут.

При этом следует отметить, что специальных исследований климатических (среднепогодных) сезонных вариаций синоптической изменчивости температуры воды в северо-восточной части прибрежной зоны Черного моря, подобных выполненным у западных берегов Северной и Южной Америки [12, 13], а также у Южного берега Крыма [18], до сих пор не проводилось. Цель настоящей работы – восполнить этот пробел, используя архивные данные систематических береговых наблюдений на ГМС в указанном районе Черного моря.

Материал и методика. Основными исходными данными для настоящего исследования стали результаты многолетних наблюдений метеорологических (прежде всего скорость и направление ветра) и гидрологических (температура и соленость воды) характеристик на ГМС Черного моря – Анапа, Геленджик, Туапсе и Сочи в 1977 – 2005 гг. (рис. 1).

Для обобщенной климатической характеристики синоптической изменчивости названных параметров на каждой рассмотренной ГМС были получены оценки их среднесуточных значений с 1977 по 2005 г. Для временных рядов температуры воды была проведена высокочастотная фильтрация с удалением сезонных и межгодовых вариаций, обусловленных прежде всего годовым циклом нагревания/охлаждения морских вод, путем скользящего осреднения с прямоугольным окном 45 сут. В настоящей работе рассматриваются синоптические аномалии температуры воды (САТВ) относительно ее сезонного хода (рис. 2).

На всех рассмотренных ГМС для каждых суток среднепогодного года получены среднеквадратические и средние значения САТВ, которые были подвергнуты статистическому анализу – оценкам статистических моментов, трендов, сте-

пени их достоверности, взаимных регрессионных связей по характерным внутригодовым периодам.

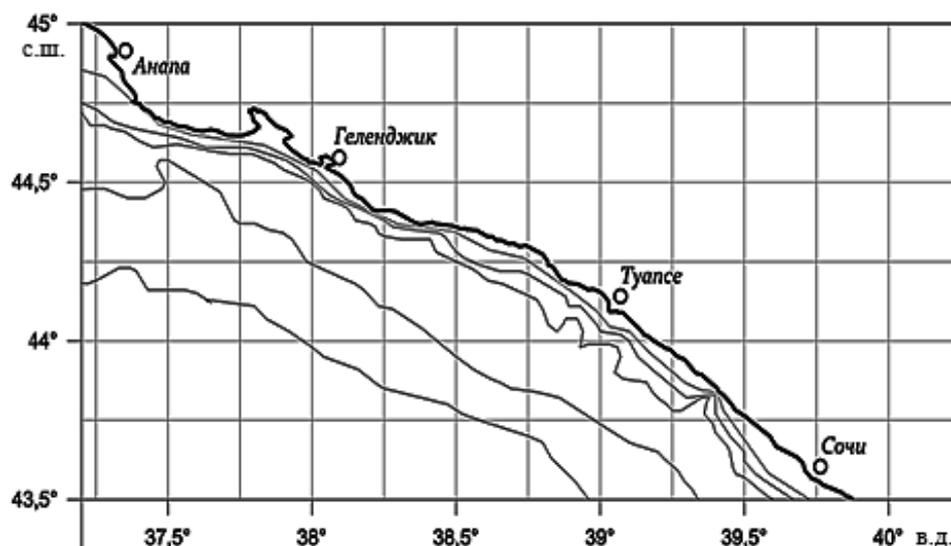


Рис. 1. Исследуемый район и расположение гидрометеорологических станций. Показаны изобаты 50, 100, 200, 1000 и 1500 м

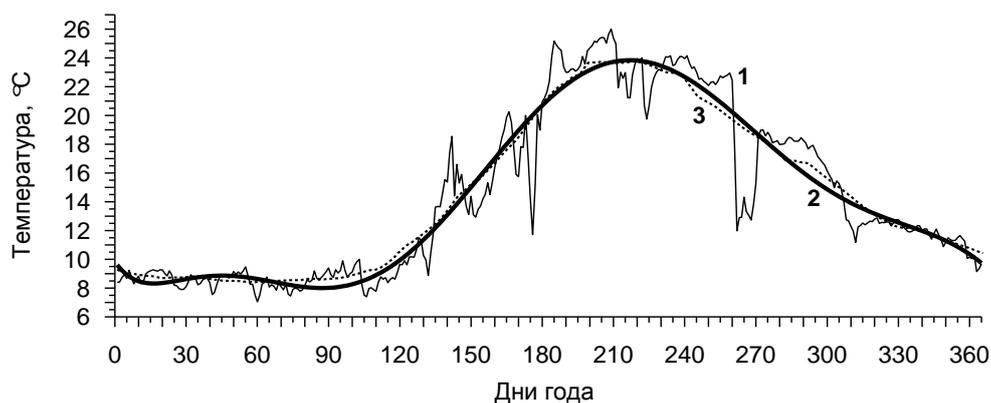


Рис. 2. Схема выделения синоптических аномалий температуры воды ($^{\circ}\text{C}$): 1 – кривая средне-суточных значений; 2 – полиномиальный тренд 8-го порядка; 3 – скользящие 45-суточные средние значения на ГМС Сочи в 1987 г.

Результаты и их обсуждение. Прежде чем перейти к анализу результатов, отметим, что САТВ в поверхностном слое прибрежной зоны обусловлены комплексом взаимосвязанных факторов [23]: синоптическими вариациями скорости ветра и его направления относительно берега, благоприятствующего либо апвеллингу, либо даунвеллингу; толщиной верхнего перемешанного слоя (ВПС) и значением вертикального градиента температуры в нижележащем слое (весной, летом и осенью – в сезонном термоклине, зимой – в основном пикноклине); синоптическими усилениями осенне-зимнего охлаждения моря и изменчивостью переноса тепла течениями. Синоптические аномалии пропорциональны интенсивности ветрового воз-

действия и теплоотдачи моря, вертикального градиента температуры в термоклине и обратно пропорциональны глубине его залегания и толщине ВПС.

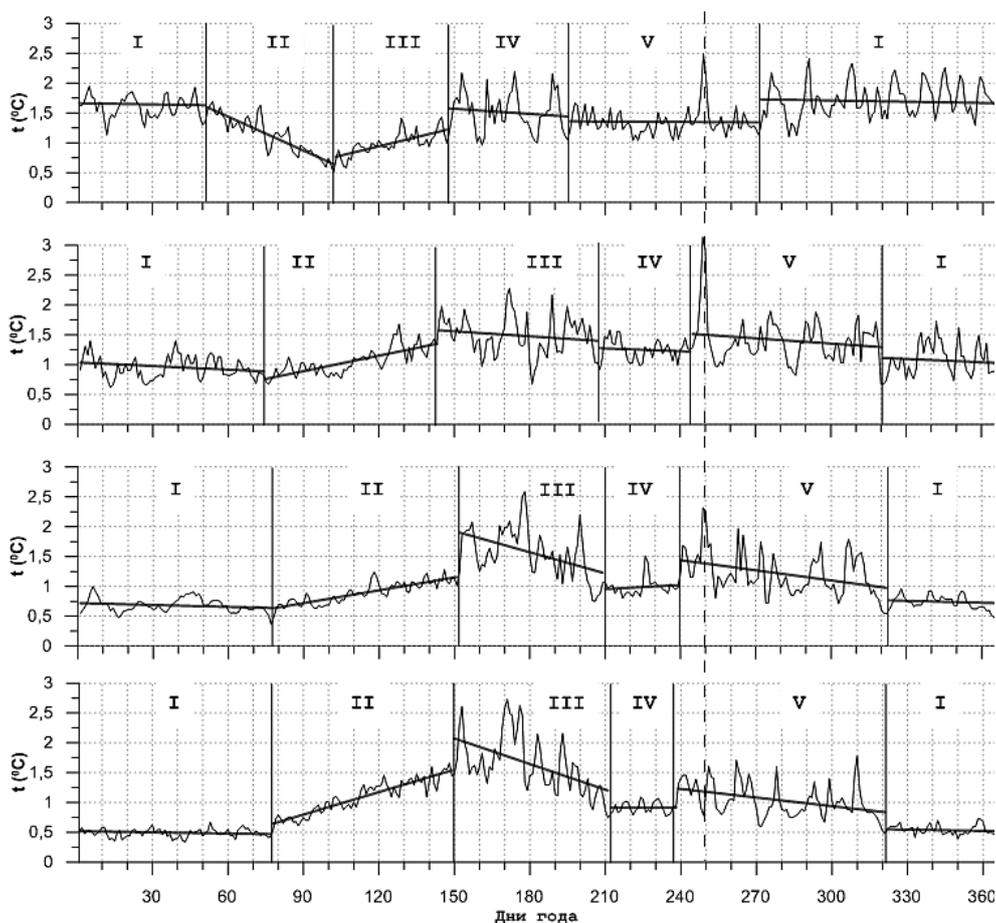


Рис. 3. Внутригодовая изменчивость среднеквадратических САТВ ($^{\circ}\text{C}$) по данным ГМС, расположенных у северо-восточного берега Черного моря (сверху вниз): Анапа, Геленджик, Туапсе, Сочи. Римскими цифрами обозначены режимы с различным характером внутригодовой изменчивости

Анализ результатов обработки данных наблюдений позволяет предположить существование в течение года 5 последовательных (сезонных) режимов изменчивости среднеквадратических (1977 – 2005 гг.) значений САТВ в районах всех рассмотренных ГМС (рис. 3). При этом характеристики каждого из таких сезонных режимов (средний уровень значений САТВ, знак и размах их линейного тренда, дисперсия отклонений относительно тренда) на всех ГМС сходны. Кроме того, достаточно близки сроки и продолжительность этих периодов. Все это свидетельствует о единстве процессов, определяющих САТВ в северо-восточной части Черного моря. Исключением является только самый северный из рассматриваемых районов – ГМС Анапа, что обусловлено существенным отличием его природных условий – более широким шельфом и значительным влиянием материковых атмо-

сферных процессов по сравнению с остальными ГМС, закрытыми с северо-востока Большим Кавказским хребтом.

Характеристику режимов дадим на примере ГМС Туапсе, расположенной в середине приглубого участка прибрежной зоны Черного моря. На рис. 4 средне-многолетний годовой ход среднеквадратических значений САТВ (рис. 4, *a*) совмещен с сезонно-многолетним распределением отдельных САТВ на ГМС Туапсе, осредненных по 10-суточным интервалам для уменьшения количества мелких деталей поля (рис. 4, *б*).

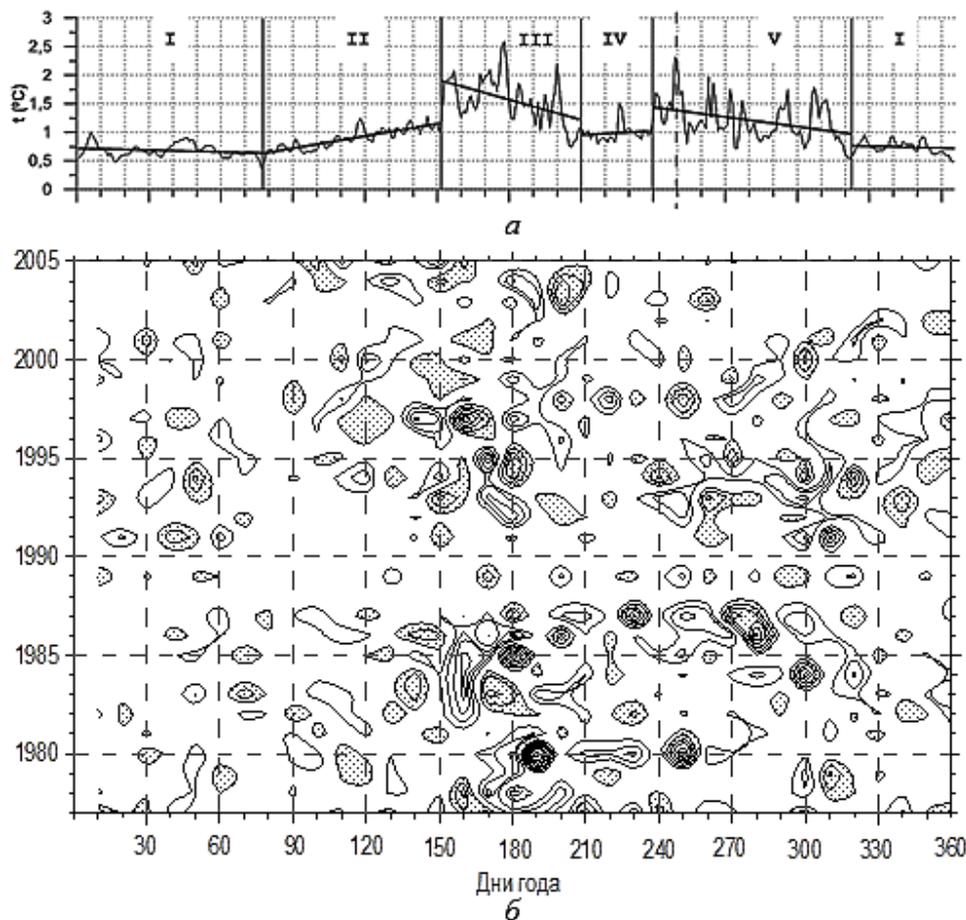


Рис. 4. Средне-многолетний годовой ход среднеквадратических значений САТВ (*a*) и сезонно-многолетнее распределение отдельных температурных аномалий (*б*) по данным ГМС Туапсе. Дискретность изолиний $0,5^{\circ}\text{C}$, заштрихованы отрицательные значения

Первый из рассматриваемых режимов (I) приходится на период с конца осени до начала весны и имеет наибольшую продолжительность – около 120 сут. Как видно на рис. 3, для него характерны минимальные средние уровни среднеквадратических значений САТВ (за исключением, как отмечалось, ГМС Анапа). Причина столь низких значений – большая вследствие конвективного перемешивания толщина и, следовательно, инерционность осенне-зимнего ВПС в

Черном море (до 50 – 60 м), подстилаемого снизу слоем основного пикноклина с небольшими вертикальными градиентами температуры [24]. Количество значительных САТВ (более 1°C по абсолютной величине) в это время невелико. Почти все они имеют отрицательный знак (рис. 4, б) и связаны с синоптическими усилениями теплоотдачи моря во время вторжений особенно холодных воздушных масс с восточно-европейского субконтинента. Размах линейных трендов САТВ осенью – зимой близок к нулю на всех ГМС. Дисперсия отклонений относительно тренда значительно увеличивается с юга на север (с 0,07 до 5,80°C², таблица), что связано с субширотным усилением осенне-зимней ветровой деятельности и радиационного выхолаживания, определяющих процессы перемешивания в поверхностном слое Черного моря.

Режим весеннего роста САТВ (II) начинается во второй половине марта и длится до конца мая. Его средняя продолжительность ~ 70 сут (в районе Анапы – 50 сут). Размах линейных трендов САТВ превышает 0,5°C. Дисперсия отклонений относительно тренда весной уменьшается на 0,5 – 1,5°C² (таблица). Такое поведение САТВ в этот период можно объяснить прогревом поверхностного слоя моря и, как следствие, – возникновением и развитием приповерхностного сезонного термоклина. Небольшая глубина и малая инерционность ВПС, а также рост вертикальных градиентов температуры в сезонном термоклине весной приводят к увеличению повторяемости значительных САТВ (в том числе и положительных, см. рис. 4), несмотря на весеннее ослабление ветровой активности.

Летом выделяются два типа изменчивости синоптических аномалий поверхностной температуры воды. Один из них (III) можно условно назвать «апвеллинговым» режимом, более короткий другой (IV) – режимом «термической стабилизации».

«Апвеллинговый» режим характеризуется наибольшим средним уровнем значений САТВ (таблица) и их ярко выраженными локальными максимумами (рис. 3) с одно-двухнедельной перемежаемостью, возрастающими с севера на юг. В этом же направлении возрастают отрицательные угловые коэффициенты линейных трендов САТВ и дисперсии отклонений от них, которые отражают процесс увеличения толщины и теплозапаса ВПС за счет ветроволнового перемешивания при летнем ослаблении интенсивности прогрева моря.

Однако в начале лета (т. е. в течение первой половины режима III) толщина ВПС еще не слишком велика, поэтому восходящие вертикальные движения вод во время апвеллинга почти всегда приводят к выходу на поверхность Черного моря значительно более холодных глубинных вод. Такие события проявляются в виде больших отрицательных аномалий среднесуточных значений температуры воды, т. е. САТВ, которые заметно преобладают в это время по повторяемости и величине над положительными аномалиями (рис. 4, б). Об этом свидетельствует также статистически достоверная отрицательная корреляция (с коэффициентом 0,78) между знаком и величиной САТВ на рис. 5, а, где показано соответствие средних и среднеквадратических САТВ с суточным осреднением для режима III на ГМС Туапсе.

Статистические характеристики среднеквадратических САТВ в различные периоды года по данным ГМС в северо-восточной части Черного моря

Статистические параметры изменчивости САТВ	Номер режима				
	I	II	III	IV	V
ГМС Анапа					
Среднеквадратическое значение, °С	1,68	1,12	0,99	1,51	1,35
Дисперсия линейного тренда, °С ²	0,12	3,97	0,80	0,08	< 0,01
Дисперсия отклонений относительно тренда, °С ²	9,55	1,00	0,75	5,12	3,86
ГМС Геленджик					
Среднеквадратическое значение, °С	1,01	1,06	1,49	1,25	1,41
Дисперсия линейного тренда, °С ²	0,48	2,04	0,17	0,01	0,32
Дисперсия отклонений относительно тренда, °С ²	5,80	1,34	6,62	1,03	11,07
ГМС Туапсе					
Среднеквадратическое значение, °С	0,70	0,90	1,57	0,99	1,21
Дисперсия линейного тренда, °С ²	0,16	1,73	2,26	0,01	1,53
Дисперсия отклонений относительно тренда, °С ²	1,45	0,64	7,40	0,62	9,23
ГМС Сочи					
Среднеквадратическое значение, °С	0,51	1,09	1,64	0,91	1,04
Дисперсия линейного тренда, °С ²	0,07	4,92	4,08	0,00	1,10
Дисперсия отклонений относительно тренда, °С ²	0,64	0,84	10,00	0,24	5,50

Другие механизмы генерации САТВ (ветроволновое турбулентное вовлечение в ВПС нижележащих термоклинных вод, синоптический прогрев/охлаждение вод через поверхность моря, адвекция тепла) во время режима III малоэффективны ввиду слабости локальных ветров и пространственно-временной однородности фоновых поверхностных термических условий (весенне-летний прогрев поверхности моря).

Режим «термической стабилизации» (IV) приходится на август и является самым коротким. В это время летний ВПС, обладающий наибольшим теплоспасом, достигает своей максимальной толщины, обусловленной ветроволновым перемешиванием, вследствие чего нижележащие холодные термоклинные воды редко достигают поверхности моря даже при значительном синоптическом апвеллинге. В результате эффективность и этого механизма генерации САТВ в августе заметно падает, что проявляется в статистике: повторяемость значительных САТВ резко падает (рис. 4, б), средние уровни их среднеквадратических значений уменьшаются до 1°С (рис. 3), тренды аномалий практически отсутствуют, а дисперсии отклонений относительно среднего уровня не превышают 1°С² (таблица).

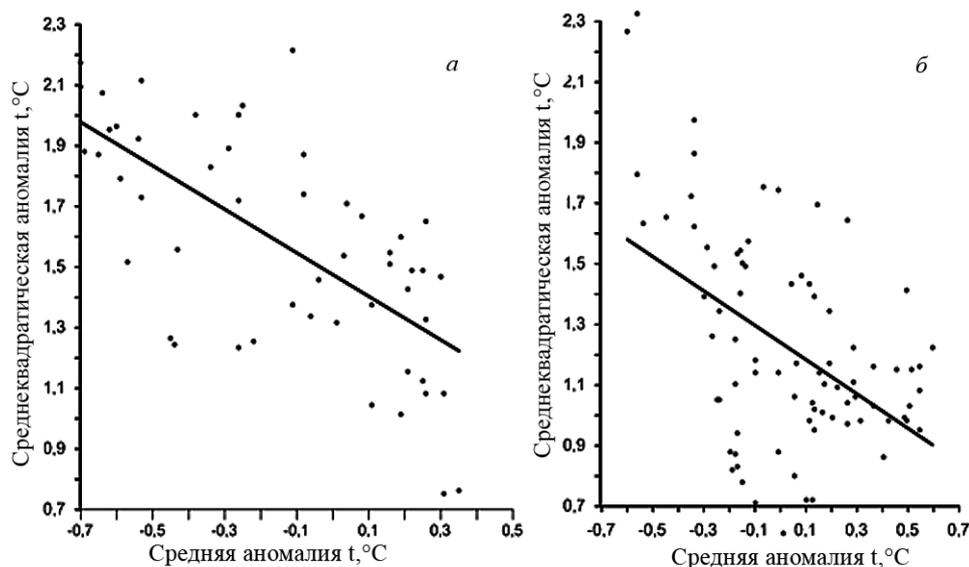


Рис. 5. Диаграммы соответствия и прямые линейной регрессии средних арифметических и среднеквадратических значений САТВ по данным ГМС Туапсе: *а* – режим III, *б* – режим V

С началом осеннего охлаждения моря начинается режим (V), который можно условно назвать «конвективно-апвеллинговым». Основным фактором формирования САТВ в это время служит синоптическая перемежаемость интенсивности охлаждения вод моря. Однако при осенних синоптических вторжениях особенно холодных воздушных масс формирование больших отрицательных САТВ происходит не только за счет теплоотдачи ВПС моря через его поверхность, но и за счет конвективного вовлечения в него более холодных нижележащих термоклинных вод. Такое вовлечение намного эффективнее летнего ветроволнового (режим III). Оно многократно усиливается при апвеллинге термоклинных вод. В синоптических промежутках между такими событиями конвективное охлаждение вод может полностью подавляться даунвеллингом, что приводит к значительным положительным САТВ. Таким образом, осенний апвеллинг/даунвеллинг существенно модулирует процесс сезонного охлаждения моря, что отчетливо видно на рис. 2 и 4 в увеличении повторяемости и величины значительных САТВ. Отрицательные САТВ и в этот период преобладают по величине (рис. 5, б), хотя соответствующий коэффициент корреляции несколько ниже (0,65), чем в начале лета, и повторяемость САТВ обоих знаков практически одинакова.

Средняя продолжительность режима V – 80 сут. Как и при режиме III, в начале лета средний уровень среднеквадратических значений САТВ заметно возрастает (рис. 3), снова появляются отрицательные тренды (также вследствие роста толщины ВПС), но дисперсии отклонений от них растут с юга на север – с $5,5^{\circ}\text{C}^2$ в районе Сочи до $11,1^{\circ}\text{C}^2$ в районе Геленджика – вместе с ростом скорости охлаждения (таблица).

Как было отмечено, район Анапы отличается от районов остальных ГМС несоответствием характеров, фаз и продолжительности режимов САТВ, описанных выше. Осенне-зимний режим I отличается здесь большей продолжи-

тельностью (140 сут), повышенным средним уровнем среднеквадратических САТВ и дисперсией (таблица). Такие различия в свойствах САТВ обусловлены мелководностью района ГМС Анапа и следовательно – меньшей тепловой инерционностью его вод, а также большей интенсивностью синоптических атмосферных воздействий (потоков импульса и тепла через поверхность моря).

Режим II уникален для района Анапы. Из-за резкого уменьшения здесь ветровой активности в середине февраля [25, 26] процесс вертикального перемешивания ослабляется, что существенно сказывается на САТВ, которые уменьшаются в течение этого периода (50 сут) более чем вдвое.

Режимы III и IV в районе ГМС Анапа полностью аналогичны режимам II и III соответственно в остальных исследуемых районах. Сходные параметры изменчивости САТВ (таблица), а также близость сроков перехода указанных режимов на ГМС Анапа и на остальных ГМС свидетельствуют о единых процессах на всей рассматриваемой акватории в этот период.

Режим V на ГМС Анапа по своим свойствам аналогичен режиму IV на остальных ГМС. Однако его продолжительность в 2 – 3 раза больше, и он переходит непосредственно в осенне-зимний режим I. Таким образом, «конвективно-апвеллинговый» режим, наблюдавшийся на ГМС с приглубым берегом с начала сентября до середины ноября, на мелководье района Анапы отсутствует. Это подтверждает важную роль конвективно-турбулентного вовлечения холодных вод на нижней границе ВПС и его апвеллингового усиления в формировании данного режима, поскольку названные факторы не активны в районе Анапы. В это время здесь действуют только синоптические усиления и ослабления теплоотдачи с поверхности моря, которых, однако, недостаточно для формирования больших САТВ [27].

Заключение. Впервые выполненный анализ годового цикла изменчивости многолетних среднеквадратических значений САТВ с суточной дискретностью по данным почти 30-летних наблюдений на ГМС в северо-восточной части Черного моря позволяет сделать следующие выводы.

1. В изменчивости САТВ четко выделяются 5 режимов, фазы наступления и параметры которых близки на приглубых ГМС (Сочи, Туапсе, Геленджик), но значительно отличаются в осенне-зимний период на ГМС Анапа. Следует отметить резкие переходы между режимами.

2. Каждый из режимов характеризуется комплексом взаимодействующих между собой термических и динамических процессов. Показано, что в июне – июле (режим III) и в сентябре – ноябре (режим V) преобладают термические эффекты прибрежного апвеллинга, которые обеспечивают максимальные САТВ (при суточном осреднении до 9 – 10°C). Летом синоптическая изменчивость температуры воды существенно возрастает с севера на юг, зимой – с юга на север.

3. Высокая повторяемость и большая величина САТВ определяют их климатическую и оперативную (синоптическую) значимость в формировании аномалий морских экологических условий в северо-восточной части прибрежной зоны Черного моря. В связи с этим необходимость оперативного и климатического мониторинга, а также дальнейших исследований механизмов их формирования и экологических последствий очевидна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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.
2. *Архипкин В.С., Еремеев В.Н., Иванов В.А.* Апвеллинг в граничных областях океана. – Севастополь: МГИ АН УССР, 1987. – 46 с.
3. *Иванов В.А., Янковский А.Е.* Длинноволновые движения в Черном море. – Киев: Наук. думка, 1992. – 112 с.
4. *Allen J.S.* Models of wind-driven currents on the continental shelf // *Ann. Rev. Fluid Mech.* – 1980. – 12. – P. 389 – 433.
5. *Brink K.H.* The near-surface dynamics of coastal upwelling // *Progr. Oceanogr.* – 1983. – 12, № 3. – P. 223 – 257.
6. *Brink K.H.* Coastal trapped waves and wind-driven currents over the continental shelf // *Ann. Rev. Fluid Mech.* – 1991. – 23. – P. 389 – 412.
7. *Brink K.H.* A comparison of long coastal trapped wave theory with observations off Peru // *J. Phys. Oceanogr.* – 1982. – 12, № 8. – P. 897 – 913.
8. *Clarke A.J., Thompson R.O.R.Y.* Large-scale wind-driven ocean response in the Australian Coastal Experiment region // *Ibid.* – 1984. – 14, № 2. – P. 338 – 352.
9. *Bane J.M., Spitz Y.H., Letelier R.M. et al.* Jet stream intraseasonal oscillations drive dominant ecosystem variations in Oregon's summertime coastal upwelling system // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* – 2007. – 104, № 33. – P. 13262 – 13267.
10. *Dale A.C., Barth J.A., Levine M.D. et al.* Observations of mixed layer restratification by on-shore surface transport following wind reversal in coastal upwelling region // *J. Geophys. Res.* – 2008. – 113. – P. C01010. – doi:10.1029/2007JC004128.
11. *Pringle J.M., Dever E.P.* Dynamics of wind-driven upwelling and relaxation between Monterey Bay and Point Arena: Local-, regional-, and gyre-scale controls // *Ibid.* – 2009. – 114. – P. C07003. – doi:10.1029/2008JC005016.
12. *Bograd S., Schroeder I., Sarkar N. et al.* Phenology of coastal upwelling in the California Current // *Geophys. Res. Lett.* – 2009. – 36. – P. L01602. – doi:10.1029/2008GL035933.
13. *Letelier J., Pizarro O., Nuñez S.* Seasonal variability of coastal upwelling and upwelling front off central Chile // *J. Geophys. Res.* – 2009. – 114. – P. C12009. – doi: 10.1029/2008JC005171.
14. *Богданова А.К.* Сгонно-нагонная циркуляция и термический режим Черного моря // Тр. Севастопольской биологической станции. – 1959. – Т. 11. – С. 262 – 283.
15. *Богданова А.К., Кропачев Л.Н.* Сгонно-нагонная циркуляция и ее роль в гидрологическом режиме Черного моря // *Метеорология и гидрология.* – 1959. – № 4. – С. 26 – 33.
16. *Толмазин Д.М.* Сгонные явления в северо-западной части Черного моря // *Океанология.* – 1963. – 3, вып. 1. – С. 848 – 852.
17. *Власенко В.И., Стацук Н.М., Иванов В.А. и др.* Исследование влияния прибрежного апвеллинга на динамику полей кислорода и сероводорода в шельфовой зоне Черного моря // Там же. – 2002. – 42, № 3. – С. 348 – 355.
18. *Иванов В.А., Репетин Л.Н., Мальченко Ю.А.* Климатические изменения гидрометеорологических и гидрохимических условий прибрежной зоны Ялты. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2005. – 164 с.
19. *Gawarkiewicz G., Korotaev G.K., Stanichny S.V. et al.* Synoptic upwelling and cross-shelf transport processes along Crimean coast of the Black Sea // *Contin. Shelf Res.* – 1999. – 19. – P. 977 – 1005.
20. *Иванов В.А., Михайлова Э.Н.* Апвеллинг в Черном море. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2008. – 92 с.

21. *Титов В.Б.* О синоптической и мезомасштабной изменчивости термохалинных характеристик в северо-восточной части Черного моря // Морской гидрофизический журнал. – 1990. – № 2. – С. 45 – 53.
22. *Титов В.Б., Савин М.Т.* Изменчивость придонных течений на северо-восточном шельфе Черного моря // Океанология. – 1997. – 37, № 1. – С. 50 – 55.
23. *Тужилкин В.С.* Особенности процессов в деятельном слое океана в синоптических масштабах времени // Комплексные исследования природы океана. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – Вып. 8. – С. 58 – 73.
24. *Тужилкин В.С.* Сезонная и многолетняя изменчивость термохалинной структуры вод Черного и Каспийского морей: Автореф. дисс. ... д-ра геогр. наук. – М.: МГУ, 2008. – 45 с.
25. *Титов В.Б.* Сезонная и многолетняя изменчивость климатических условий над акваторией Черного моря // Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря. – М.: Наука, 2002. – С. 9 – 27.
26. *Блатов А.С., Иванов В.А.* Гидрология и гидродинамика шельфовой зоны Черного моря (на примере Южного берега Крыма). – Киев: Наук. думка, 1992. – 242 с.
27. *Тужилкин В.С., Архипкин В.С., Мысленков С.А. и др.* Синоптическая термохалинная изменчивость в Российской прибрежной зоне Черного моря // Тр. Южного научного центра РАН, 2010. – Т. 5. – С. 62 – 71.

Seasonal and regional variations of water temperature synoptic anomalies in the northeastern coastal zone of the Black Sea

A.A. Novikov, V.S. Tuzhilkin

Branch of the Lomonosov Moscow State University in Sevastopol, Russia

e-mail: a_novik@bk.ru

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Climatic annual cycle of root-mean-square (RMS) values of synoptic water temperature anomalies (SWTA) with daily discreteness is analyzed based on multi-year observations at hydro-meteorostations (HMS) in the northeastern part of the Black Sea. Five modes of the SWTA intra-annual variability are revealed: in December – February RMS values of SWTA are the lowest ($\pm 0.5 - 1.0^\circ\text{C}$), in March – May they monotonously increase twice as much, in June – July and September – November they attain their maximum values ($\pm 2.5 - 3.0^\circ\text{C}$) which are broken by the August minimum ($\pm 1.0 - 1.5^\circ\text{C}$). It is shown that SWTA values are statistically associated with their negative mean values testifying the fact that upwelling is a predominant mechanism in generating synoptic water temperature anomalies.

Keywords: upwelling, current, wind, Black Sea, synoptic variability, sea surface temperature.