

# *Анализ результатов наблюдений и методы расчета гидрофизических полей океана*

УДК 551.506.3

А.А. Сизов, А.Е. Чехлан

## **Гидрометеорологические характеристики в регионе Черного моря в годы с экстремальными значениями саргассовоморско-черноморского индекса**

Анализируются среднегодовые значения и средние за январь – март аномалии некоторых гидрометеорологических характеристик у Южного берега Крыма (ЮБК) и в открытой части Черного моря. Найдено, что при экстремально больших значениях индекса Североатлантического колебания ( $САК \geq 1$ ) и градиента поверхностной температуры между Саргассовым и Черным морями (индекс СЧМ  $\geq 1$ ) поверхностная температура Черного моря, а также приземная температура и атмосферные осадки в его регионе ниже климатической нормы. В годы с  $САК \leq -1$  и  $СЧМ \leq -1$  эти характеристики превышают климатическую норму. Весь процесс смены знака аномалий гидрометеорологических характеристик происходит с цикличностью, близкой к 20 годам.

### **Введение**

Процессы, происходящие в зоне сопряжения суши и моря в районе Крыма, оказывают существенное влияние на хозяйственную деятельность в прибрежной зоне. В ряде случаев они могут приводить к серьезным материальным потерям [1]. В последние годы ряд авторов склоняется к мнению, что эти процессы носят циклический характер [1 – 5] и, следовательно, существует возможность оценки временных масштабов критических природных нагрузок на побережье.

Оценки трендовых составляющих некоторых гидрометеорологических характеристик, а также циклонической активности в регионе Черного моря, сделанные по рядам различной длительности [2 – 4, 6 – 8], неоднозначны. Одной из причин такой неоднозначности многолетнего тренда является атмосферная циркуляция [2, 6, 7].

Наряду с трендовой составляющей в работах [2, 4, 6] найдена межгодовая и междесятилетняя изменчивость температуры воды, воздуха, атмосферных осадков и уровня моря. Масштабы этой изменчивости оцениваются в 3 – 5 лет [2, 4, 6] и ~ 20 лет [1, 5, 9].

В [10] сделана попытка «привязать» крупномасштабную изменчивость гидрометеорологических характеристик к конкретным фазам развития циркуляции атмосферы. Удалось найти соответствие экстремальных значений

© А.А. Сизов, А.Е. Чехлан, 2010

флуктуации гидрометеорологических характеристик и индекса циркуляции атмосферы. В качестве такого индекса использовался индекс Североатлантического колебания (САК). Для описания аномалий поверхностной температуры предпочтительнее использовать, как представляется, индекс, связанный с градиентом поверхностной температуры [11]. Попытка поиска такого индекса позволила выбрать градиент поверхностной температуры между Саргассовым и Черным морями.

Выбор Саргассова моря обуславливался следующими соображениями. Динамика Северного Субтропического круговорота в Северной Атлантике, центром которого является Саргассово море, меняет свои характеристики под воздействием циркуляции атмосферы, представленной индексом САК [12]. Интенсификация Северного Субтропического круговорота приводит к уменьшению его размеров и накоплению в центре теплых водных масс. Ослабление циркуляции в круговороте приводит к обратному эффекту [12].

Известно [13], что аномалия поверхностной температуры Черного моря (ТПМ) у ЮБК, формируемая циркуляцией верхнего слоя, связана с циркуляцией атмосферы в Атлантико-Европейском секторе: при аномально высоких значениях индекса САК у ЮБК формируется отрицательная аномалия ТПМ, а при его аномально низких значениях – положительная аномалия ТПМ. Таким образом, положительной аномалии температуры поверхности океана (ТПО) в Саргассовом море при высоких значениях индекса САК соответствует отрицательная аномалия ТПМ у ЮБК. И наоборот, отрицательной аномалии ТПО в Саргассовом море при отрицательных значениях индекса САК соответствует положительная аномалия ТПМ у ЮБК.

Предполагалось, что этот температурный градиент, условно названный саргассовоморско-черноморский индекс (СЧМ), отражает результат воздействия циркуляции атмосферы на верхний слой океана (моря). Индекс СЧМ (по-английски *SBS*) содержит информацию о тепловом взаимодействии атмосферы и океана и о динамике его верхнего слоя, т.е. он является результатом работы механизма ветер – испарение – температура (механизм *WES* [14]) и механизма циркуляции верхнего перемешанного слоя (механизм адвекции тепла [15]).

Цель данной работы – сравнительный анализ изменчивости гидрометеорологических характеристик в открытой части моря и в зоне сопряжения суши и моря (ЗССМ) у Южного берега Крыма в годы с экстремальными значениями индексов САК и СЧМ.

### **Использованный материал и методика исследования**

Анализировалась многолетняя изменчивость среднегодовых и осредненных за январь – март аномалий температуры воздуха ( $t_a$ ) и воды ( $t_w$ ), атмосферных осадков ( $R$ ), скорости ветра ( $U$ ) и уровня моря ( $\eta$ ) по данным гидрометеорологической станции Ялта за 1948 – 1998 гг. За эти же годы выбирались сведения по  $t_a$ ,  $t_w$ ,  $R$  из массива данных реанализа [16] для региона Черного моря ( $\varphi = 40 - 48^\circ$  с. ш.,  $\lambda = 25 - 42^\circ$  в. д.) и по  $t_w$  – для Саргассова моря ( $\varphi = 25 - 35^\circ$  с. ш.,  $\lambda = 55 - 75^\circ$  з. д.) в узлах сетки  $2,5 \times 2,5^\circ$ .

Для оценки реакции гидрометеорологических характеристик открытой части Черного моря на изменяющиеся условия циркуляции атмосферы были использованы данные реанализа [16] за 1948 – 1998 гг. Этим объясняется ограничение по времени рядов контактных измерений, использованных в работе.

Значения индекса САК, осредненные за декабрь – март, получены из Интернета [17]. В качестве дополнительного параметра, позволяющего интерпретировать аномалии гидрометеорологических характеристик, использовалась аномалия среднегодового расхода Дуная ( $Q'$ ; м<sup>3</sup>/с). Исходные данные по этой характеристике были взяты в архиве МГИ НАН Украины.

Индекс СЧМ рассчитывался по следующей схеме:

– по данным реанализа формировались массивы  $t_w$  за январь – март для Саргассова и Черного морей;

– в каждом узле  $2,5 \times 2,5^\circ$  вычислялись средние значения  $t_w$  за январь – март, относительно этих средних вычислялись аномалии  $t'_w$  и их среднеквадратические отклонения ( $\sigma$ );

– вычислялись средние по Саргассову и Черному морям значения  $t'_w$ , нормированные на  $\sigma$  ( $t'_w / \sigma$ );

– рассчитывался индекс СЧМ:  $\text{СЧМ} = (t'_w / \sigma)_1 - (t'_w / \sigma)_2$  (цифра 1 обозначает Саргассово, 2 – Черное море).

Индекс СЧМ в силу малости величин  $\sigma$  имел большие значения. Для удобства расчетов он был уменьшен в 100 раз и в таком виде использовался для дальнейшего анализа (табл. 1).

Т а б л и ц а 1  
Средние за январь – март значения индекса СЧМ

Десятилетие	Год									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1940	–	–	–	–	–	–	–	–	–1,08	1,55
1950	0,59	–3,00	–0,49	–0,33	1,80	–3,32	–0,80	1,12	–2,15	2,57
1960	0,55	1,01	0,20	0,63	0,67	–1,55	–2,99	0,71	–1,99	–1,92
1970	–3,61	–2,27	1,65	1,10	1,68	0,52	1,02	–1,05	–0,69	–1,81
1980	2,12	–1,82	–2,09	–2,02	–1,24	1,30	1,07	4,66	–1,91	2,03
1990	1,54	2,26	2,77	3,47	–0,12	–2,23	0,46	0,90	0,59	–

Для анализа изменчивости гидрометеорологических характеристик в ЗССМ выбирались данные за годы с  $-1 \geq \text{САК} \geq 1$  и  $-1 \geq \text{СЧМ} \geq 1$ . Предполагалось, что характеристики, полученные в зимы с экстремальными значениями индексов САК и СЧМ, будут наилучшим образом представлять различия в формировании их аномалий с разным знаком. Статистическая надежность (доверительная вероятность) оценок аномалий гидрометеорологических характеристик и их корреляционных связей определялась из предположения удовлетворения случайной величины условиям центральной предельной теоремы [18].

## Результаты и их анализ

В рассматриваемый временной интервал циркуляция атмосферы в Атлантико-Европейском секторе становилась более зональной, что обуславливало ориентацию циклонов с юго-запада на северо-восток Европы [19]. Увеличивающаяся к концу 1990-х годов зональность циркуляции атмосферы интенсифицировала Северный Субтропический круговорот в Северной Атлантике, что способствовало накоплению в его центре (Саргассово море) прогретых водных масс [12]. Одновременно с этим у ЮБК и, как показывают данные реанализа, в открытом море наблюдалась тенденция к понижению поверхностной температуры, что обеспечивало положительный тренд индекса СЧМ (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

**Коэффициенты линейного тренда гидрометеорологических характеристик по данным реанализа (р) и наблюдениям в Ялте (я) в 1948–1998 гг.**

Характеристики изменчивости	САК	СЧМ	$t_a, ^\circ\text{C}$		$t_w, ^\circ\text{C}$		$R, \text{мм}$		$U, \text{м/с}$	$\eta, \text{см}$
			я	р*	я	р	я	р*	я	я
Среднегодовые значения	–	–	–0,35	–0,20	–0,27	–0,18	21,30	–166	0,11	12,0
Средние за январь – март аномалии	2,43	1,45	–0,76	–0,80	–0,59	–0,50	–11,9	–23,2	–1,61	10,5

**П р и м е ч а н и е.** Звездочкой отмечены величины, полученные по рядам за 1958 – 1998 гг.

Крупномасштабные процессы в атмосфере Атлантико-Европейского сектора и в верхнем слое Саргассова и Черного морей формировали долговременную изменчивость гидрометеорологических характеристик у ЮБК и в открытой части моря. Таким образом, среднегодовые значения и зимние аномалии температуры воздуха и воды за рассматриваемый 50-летний отрезок времени имели тенденцию к понижению, а уровень моря у ЮБК непрерывно рос. Незначительный положительный тренд среднегодовых значений модуля скорости ветра трудно интерпретировать. Но тенденция зимних аномалий этого модуля к уменьшению полностью соответствует условиям, определяемым индексом САК: с ростом этого индекса в регионе Черного моря становятся преобладающими антициклонические условия циркуляции атмосферы [13]. Эти же соображения относятся и к атмосферным осадкам.

Оценим меру связанности некоторых гидрометеорологических характеристик у ЮБК и в открытом море с процессами циркуляции, определяемыми индексами САК и СЧМ. Сделаем это на примере средних за январь – март аномалий (табл. 3, звездочкой отмечены величины, значимые на 95%-ном уровне, двойной звездочкой – на 99%-ном).

Корреляция средних за январь – март аномалий гидрометеорологических характеристик в Ялте (я) и в открытом море (р) с индексами САК и СЧМ

Характеристики	САК	СЧМ	$t'_w, ^\circ\text{C}$		$t'_a, ^\circ\text{C}$	$R', \text{мм}$
			я	р	я	я
САК	1,0	0,33*	-0,24	-0,11	0,15	-0,24
СЧМ	0,33*	1,0	-0,49*	-0,80**	-0,51*	-0,20
$t'_w, ^\circ\text{C}, \text{я}$	-0,24	-0,49*	1,0	0,49*	0,53*	0,34*
$t'_w, ^\circ\text{C}, \text{р}$	-0,11	-0,80**	0,49*	1,0	0,54*	0,02
$t'_a, ^\circ\text{C}, \text{я}$	0,15	-0,51*	0,53*	0,54*	1,0	0,09
$R', \text{мм}, \text{я}$	-0,24	-0,20	0,34*	0,02	0,09	1,0

Данные табл. 3 показывают, что индексы САК и СЧМ значимо коррелированы и изменение индекса САК (циркуляция атмосферы) вызывает однозначное изменение индекса СЧМ. Важно отметить, что рост величин индексов САК и СЧМ приводит к понижению поверхностной температуры Черного моря как по данным контактных измерений в Ялте, так и по данным реанализа. При этом зимние аномалии поверхностной температуры значимо коррелированы с индексом СЧМ и незначимо – с индексом САК. Значимая корреляция наблюдается также между индексом СЧМ и температурой приземного воздуха в Ялте. Высокие (положительные) значения индекса СЧМ соответствуют условиям, когда в районе ЮБК зимой формируются отрицательные аномалии приземной температуры и атмосферных осадков. И наоборот, при низких (отрицательных) значениях индекса СЧМ создаются условия, формирующие положительные аномалии температуры воздуха, воды и осадков.

Отмеченные особенности формирования аномалий некоторых гидрометеорологических характеристик в районе ЮБК проявляются более контрастно при экстремальных значениях индексов САК и СЧМ, равных или превышающих 1 и меньших или равных  $-1$  (табл. 4, звездочкой отмечены величины, значимые на 95%-ном уровне).

Из табл. 4 видно, что аномалии гидрометеорологических характеристик имеют противоположные знаки в годы интенсивной и ослабленной циркуляции атмосферы и Северного Субтропического круговорота в Северной Атлантике. Следовательно, в годы с экстремальными значениями индекса СЧМ преобладают значимые аномалии температуры воздуха и воды у ЮБК, в открытом море и в стоке Дуная. С другой стороны, в годы с экстремальными значениями индекса САК наблюдаются значимые аномалии осадков и скорости приземного ветра. Учитывая это, можно предположить, что на приземную и поверхностную температуру Черного моря в большей степени влияет его циркуляция, формирующаяся, в частности, под воздействием стока Дуная [20]. Сам сток Дуная (пресноводный в северо-западную часть Черного моря) формируется осадками в его водосборе [19]. Это предположение справедливо

для зимних условий циркуляции атмосферы в Атлантико-Европейском секторе. В общих чертах схему формирования аномалий  $t_a$ ,  $t_w$ ,  $R$ ,  $\eta$  у ЮБК и в открытом море можно представить следующим образом.

Т а б л и ц а 4

**Средние за январь – март аномалии гидрометеорологических характеристик в годы с экстремальными значениями индексов САК и СЧМ**

Параметры	$t'_a, ^\circ\text{C}$		$t'_w, ^\circ\text{C}$		$R', \text{мм}$		$\eta', \text{см}$	$U', \text{м/с}$	$Q' \cdot 10^{-2}, \text{м}^3/\text{с}$
	я	р	я	р	я	р	я	я	
СЧМ $\geq 1$	-0,44	-0,73*	-0,45*	-0,35*	-6,96	-6,43*	-4,74*	-0,18*	-5,11*
СЧМ $\leq -1$	0,78*	0,70*	0,28*	0,33*	7,48	3,59	3,81	0,03	5,42*
САК $\geq 1$	0,26	-0,07	-0,08	-0,01	-6,43	-6,76*	-3,00	-0,10*	-4,42
САК $\leq -1$	0,49	0,61	0,36*	0,18*	9,01	9,66*	3,42	0,20*	5,97*

Интенсификация Северного Субтропического круговорота в Атлантике при САК  $\geq 1$  (табл. 3) формирует положительную аномалию ТПО в Саргассовом море и отрицательную аномалию ТПМ в Черном море. Создается положительный градиент поверхностной температуры между Саргассовым и Черным морями (СЧМ  $\geq 1$ ). Над охлажденной поверхностью Черного моря формируется отрицательная аномалия приземной температуры и атмосферных осадков. Незначительное ослабление скорости ветра при СЧМ  $\geq 1$  с уменьшением  $t_a$  и  $t_w$  на одну и ту же величину (табл. 4) не может заметно понизить контактный теплообмен в приводном слое атмосферы и, следовательно, уменьшить ТПМ Черного моря. Таким образом, понижение ТПМ при СЧМ  $\geq 1$  нельзя объяснить работой механизма WES. Более реалистичным является объяснение этого явления, данное в [8]. Как показывают расчеты, выполненные в этой работе, выхолаживание поверхности моря происходит вследствие уменьшения толщины его верхнего перемешанного слоя, одна из причин которого – уменьшение пресноводного стока, в частности годового стока Дуная в годы с САК  $\geq 1$  (табл. 4).

Ослабление Северного Субтропического круговорота Атлантики при САК  $\leq -1$  формирует в Саргассовом море отрицательную, а в Черном – положительную аномалию поверхностной температуры (табл. 4). Над прогретой поверхностью Черного моря создается положительная аномалия приземной температуры и атмосферных осадков. Увеличение пресноводного стока (положительная аномалия стока Дуная) способствует, по-видимому, не только увеличению толщины верхнего перемешанного слоя, но и росту скорости Основного Черноморского течения (ОЧТ), на что косвенно указывает положительная аномалия уровня моря у ЮБК при САК  $\leq -1$  и СЧМ  $\leq -1$  (табл. 4).

Пространственная структура аномалий температуры воздуха и воды, а также осадков в регионе Черного моря показана на рисунке. Здесь представ-

лены зимние аномалии полей этих характеристик, формирующиеся при  $SЧМ \geq 1$  и  $SЧМ \leq -1$ . Видно, что в годы с высоким градиентом поверхностной температуры между Саргассовым и Черным морями поверхность Черного моря занята более холодной по сравнению с климатической нормой водой (рисунок, *a*), а в регионе Черного моря приземная температура воздуха и атмосферные осадки ниже многолетней нормы. При этом область максимального понижения ТПМ и минимальных осадков располагается в прибосфорском районе (рисунок, *b, d*).

В годы преобладания экстремально низких значений индекса  $SЧМ \leq -1$  ТПМ в зимний сезон выше климатической нормы, как и приземная температура и атмосферные осадки (рисунок, *b, z, e*). Максимальные положительные аномалии ТПМ и осадков в такие годы наблюдаются в прибосфорском районе.

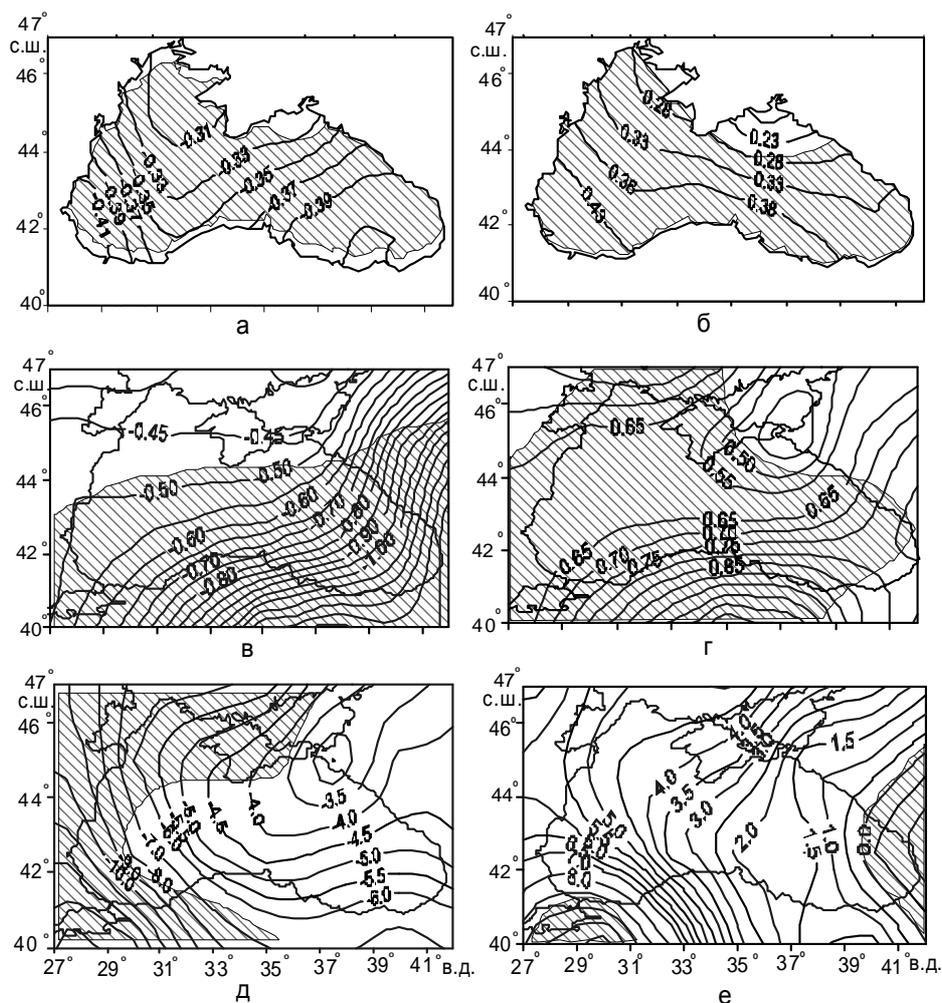
Оценки масштабов знакопеременной изменчивости аномалий ТПМ у ЮБК сделаем с учетом результатов, полученных в [5]. В отличие от этой работы оценим масштабы по всем годам, относящимся к четному или нечетному солнечному циклу. В данном случае определялось отношение числа событий с аномалиями некоторых гидрометеорологических характеристик, наблюдавшихся в годы четного или нечетного цикла солнечной активности, к общему числу событий разного знака (табл. 5, максимальные значения выделены).

Согласно табл. 5, просматривается тенденция к преобладанию числа событий с  $SЧМ \geq 1$  в годы четного цикла солнечной активности. В годы нечетного цикла преобладают события с  $SЧМ \leq -1$ . Такая же тенденция характерна и для не показанного здесь индекса САК. Следовательно, в годы четного цикла ТПМ у ЮБК и в открытом море, а также атмосферные осадки и уровень моря в ЗССМ у ЮБК ниже климатической нормы. И наоборот, существует тенденция к превышению климатической нормы этих характеристик в годы нечетного цикла солнечной активности. Таким образом, циркуляция атмосферы в Атлантико-Европейском секторе и, по-видимому, в Черном море имеет тенденцию изменяться в квазидвадцатилетнем цикле. Эта крупномасштабная изменчивость циркуляции формирует квазидвадцатилетний масштаб изменчивости некоторых гидрометеорологических характеристик у ЮБК и в открытом море.

Т а б л и ц а 5

**Относительное число событий с аномалиями гидрометеорологических характеристик разного знака в годы четного и нечетного циклов солнечной активности**

Параметры	СЧМ $\geq 1$	СЧМ $\leq -1$	$t'_w > 0$		$t'_w < 0$		$R' > 0$ я	$R' < 0$ я	$\eta > 0$ я	$\eta < 0$ я
			я	р	я	р				
Четный цикл	<b>0,43</b>	0,33	0,43	0,47	<b>0,57</b>	<b>0,53</b>	0,30	<b>0,70</b>	0,43	<b>0,57</b>
Нечетный цикл	0,26	<b>0,47</b>	<b>0,53</b>	<b>0,68</b>	0,47	0,32	<b>0,68</b>	0,32	<b>0,53</b>	0,47



Распределение в регионе Черного моря средних за январь – март аномалий поверхностной температуры, температуры воздуха и осадков в годы с СЧМ  $\geq 1$  – а, в, д и с СЧМ  $\leq -1$  – б, г, е. Заштрихованы области с аномалиями, значимыми на уровне 95%

### Заключение

Использование наряду с индексом САК градиента поверхностной температуры между Саргассовым и Черным морями (индекс СЧМ) позволило сделать сравнительные оценки меры связанности аномалий характеристик с этими индексами. Показано, что за исследуемый период (1948 – 1998 гг.) циркуляция атмосферы в Атлантико-Европейском секторе становилась более зональной и индекс СЧМ непрерывно увеличивался. Положительный тренд индексов САК и СЧМ характеризовал условия, при которых зимняя поверхностная температура у ЮБК и в открытом море понижалась.

Зимние аномалии температуры воздуха и воды, а также атмосферных осадков у ЮБК уменьшаются с ростом индексов САК и СЧМ и увеличиваются с ослаблением зонального переноса в атмосфере Атлантико-Европейского сектора (с уменьшением указанных индексов).

Наряду с долговременной (трендовой) изменчивостью аномалий гидрометеорологических характеристик существует и их относительно короткопериодная флуктуация, определяемая экстремальными значениями индексов САК и СЧМ. Найдено, что при САК  $\geq 1$  и СЧМ  $\geq 1$  у ЮБК и в открытой части моря формируются отрицательные аномалии температуры воздуха, воды, осадков, уровня моря и скорости ветра. При этом наблюдается отрицательная аномалия стока Дуная, которая формирует более тонкий верхний перемешанный слой [8] и способствует ослаблению ОЧТ [20]. При САК  $\leq -1$  и СЧМ  $\leq -1$  в регионе Черного моря формируются положительные аномалии перечисленных выше гидрометеорологических характеристик.

В годы с СЧМ  $\geq 1$  все Черное море занято поверхностной водой, температура которой ниже климатической нормы, а в регионе Черного моря наблюдаются отрицательные аномалии температуры воздуха и осадков. В годы с СЧМ  $\leq -1$  аномалии этих гидрометеорологических характеристик в регионе противоположны по знаку. При этом максимальные положительные и отрицательные аномалии ТПМ и атмосферных осадков наблюдаются в приобсфорском районе.

Предварительные оценки показывают, что положительные значения индексов САК и СЧМ наиболее вероятны в годы четного цикла солнечной активности, отрицательные – в годы нечетного цикла. В годы четного цикла солнечной активности преобладают отрицательные аномалии ТПМ, осадков и уровня моря. В годы нечетного цикла, наоборот, в районе ЮБК и в открытом море преобладают случаи с положительной аномалией.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов В.А., Жуков А.Н., Сизов А.А.* Геофизические процессы в зоне сопряжения суши и моря Крыма и их воздействие на биологические поля. – Севастополь, 2007. – 52 с. – (Препринт / НАН Украины. МГИ).
2. *Горячкин Ю.Н., Иванов В.А.* Гидрометеорологический режим южного побережья Черного моря. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 1999. – 45 с.
3. *Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н., Липченко М.М.* Ветры и волнение в прибрежной зоне юго-западной части Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – Вып. 9. – С. 13 – 28.
4. *Горячкин Ю.Н., Иванов В.А., Лемешко Е.М.* Изменчивость уровня в системе Черное – Мраморное – Эгейское моря // Там же. – С. 6 – 12.
5. *Сизов А.А., Куклин А.К., Шабалина О.А.* Формирование аномалий гидрометеорологических полей на Южном берегу Крыма в годы спада 11-летнего цикла солнечной активности // Морской гидрофизический журнал. – 2003. – №3. – С. 23 – 33.
6. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. IV. Черное море.* Вып. 1. Гидрометеорологические исследования. – СПб.: Гидрометеиздат, 1991. – 422с.
7. *Полонский А.Б., Бардин М.Ю., Воскресенская Е.Н.* Статистические характеристики циклонов и антициклонов над Черным морем во второй половине XX века // Морской гидрофизический журнал. – 2007. – № 6. – С. 47 – 58.
8. *Еремеев В.Н., Ефимов В.В., Суворов А.М. и др.* Аномальная климатическая тенденция изменения температуры Черного моря // Доповіді Національної академії наук України. – 2001. – № 11. – С. 91 – 96.
9. *Ovchinnikov I.M., Osadchy A.S.* Secular variability of winter climatic conditions influencing peculiarities of hydrological conditions in the Black Sea // Variability of the Black Sea Ecosystem. – М.: Nauka, 1991. – P. 85 – 89.

10. *Сизов А.А.* Климатические процессы в Атлантико-Европейском секторе в годы спада 11-летнего цикла солнечной активности // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – Вып. 9. – С. 29 – 38.
11. *Servain J.* Simple climate indices for the Tropical Atlantic Ocean and some application // J. Geophys. Res. – 1991. – 96, № C8. – P. 15137 – 15146.
12. *Taylor A.H., Stephens J.A.* Latitudinal displacements of the Gulf Stream (1966 to 1977) and their relation to changes in temperature and zooplankton abundance in the NE Atlantic // Oceanologica Acta. – 1980. – 3, № 2. – P. 145 – 149.
13. *Сизов А.А.* Оценка возможности мониторинга гидрометеорологических полей в регионе Черного моря с учетом возмущений, формирующихся в разные фазы 11-летнего цикла солнечной активности // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2000. – С. 63 – 70.
14. *Hu Z.-Zh., Huang B.* Physical processes associated with the Tropical Atlantic SST meridional gradient // J. Clim. – 2006. – 19. – P. 5500 – 5518.
15. *Штокман В.Б.* Вертикальное распространение тепловых волн в море и косвенные методы определения коэффициента теплопроводности // Избранные труды по физике моря. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – С. 64 – 117.
16. *CD-ROM.* Global Atmospheric Analyses Monthly Means 1948 – 1998. – NWS/National Centers for Environmental Prediction. – Washington, D.C. – 2001.
17. <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrel/indices.html>
18. *Справочник по вероятностным расчетам.* – М.: Воениздат, 1970. – 530 с.
19. *Hurrell J.W.* Decadal trends in the North Atlantic oscillation: Regional temperatures and precipitation // Science. – 1995. – 269, № 5224. – P. 676 – 679.
20. *Булгаков С.Н., Коротаев Г.К.* Возможный механизм стационарной циркуляции вод Черного моря // Комплексные исследования Черного моря. – Севастополь: МГИ АН УССР, 1984. – С. 32 – 40.

Морской гидрофизический институт НАН Украины,  
Севастополь

Материал поступил  
в редакцию 29.09.08  
После доработки 17.11.08

**АНОТАЦІЯ** Аналізуються середньорічні значення та середні за січень – березень аномалії деяких гідрометеорологічних характеристик біля Південного берега Криму (ПБК) та у відкритій частині Чорного моря. Знайдено, що при екстремально великих значеннях індексу Північноатлантичного коливання (ПАК  $\geq 1$ ) і градієнта поверхневої температури між Саргасовим і Чорним морями (індекс СЧМ  $\geq 1$ ) поверхнева температура Чорного моря, а також приземна температура та атмосферні опади в його регіоні нижчі за кліматичну норму. У роки з ПАК  $\leq -1$  і СЧМ  $\leq -1$  ці характеристики перевищують кліматичну норму. Весь процес зміни знаку аномалій гідрометеорологічних характеристик відбувається з циклічністю, близькою до 20 років.

**ABSTRACT** Annual and January – March average values of the anomalies of some hydrometeorological characteristics near the Crimean Southern coast (CSC) and in the Black Sea open part are analyzed. It is revealed that at extremely high values of the North Atlantic Oscillation index (NAO  $\geq 1$ ) and the surface temperature gradient between the Sargasso and the Black seas (index SBS  $\geq 1$ ), the Black Sea surface temperature, and also the air temperature and the atmospheric precipitation in the Black Sea region are lower than mean climatic values. During the years when NAO  $\leq -1$  and SBS  $\leq -1$ , these hydrometeorological characteristics exceed mean climatic values. Cyclicity of the process of changing a sign of hydrometeorological characteristics' anomalies is approximately 20 years.