

УДК 551.524.34:551.465.4(262.5)

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕРМИЧЕСКИХ АТМОСФЕРНЫХ УСЛОВИЙ В ГРАНИЦАХ ФАКТИЧЕСКИХ ЗИМНИХ И ЛЕТНИХ СЕЗОНОВ (северо-восточная часть Черного моря, 1935–2004 гг.)

© 2007 г. О.И. Прокопов¹

Для оценки многолетней изменчивости термических свойств зимнего и летнего сезонов разработана альтернативная модель выделения фактических сезонов по экстремальным термическим атмосферным условиям в границах трехмесячных периодов. В рамках этой модели выявлен вероятностный характер размещения фактических сезонов на календарной шкале года и определены наиболее вероятные сроки их наступления. Анализ многолетних данных показал, что в рамках обычного подхода (начало сезонов 01.12 и 01.06) возможность корректного сопоставления термических условий сезонов в разные годы не превышает 18%. Альтернативная модель позволяет довести этот объем до 100%.

ВВЕДЕНИЕ

В рамках обычного подхода (исходная модель) зимний и летний сезоны начинаются в одно и то же время (1 декабря и 1 июня), длятся три месяца и отличаются экстремальными термическими атмосферными условиями (ТАУ) [1, 2]. Первое из положений не подтверждается динамикой процессов в атмосфере: время вторжения в район Черного моря воздушных потоков пониженной или повышенной температуры может меняться от одного годового цикла к другому и, как правило, не совпадает со сроками наступления сезонов, выделяемых в рамках исходной модели. Неопределенность реализации первого положения ставит под сомнение постоянство реализации последнего из них. Сезоны, начало которых определяется конкретными календарными сроками, ниже рассматриваются как календарные.

Между тем для ряда прикладных задач гидрологии, экологии, агрокультуры и т.п. необходимы более точное определение времени начала и более достоверная оценка ТАУ наиболее холодных или наиболее теплых в границах годового цикла трехмесячных периодов. Достоверность оценки этих параметров обеспечивается альтернативной моделью, отслеживающей динамику воздушных потоков над морем. В ее рамках зимний и летний сезоны вводятся как трехмесячные периоды

с экстремальными для данного годового цикла значениями средней температуры. Границы альтернативных сезонов при смене годовых циклов могут смещаться вдоль календарной шкалы года.

Календарные периоды вводятся как зимний (ЗКС) и летний (ЛКС) календарные сезоны [2], их альтернативные аналоги – как зимний (ЗФС) и летний (ЛФС) фактические сезоны. Изменчивость ТАУ в границах первых обычно оценивалась по вариациям среднемесячной температуры воздуха T_a [3–6], в границах вторых – по вариациям среднедекадной $\langle T_d \rangle$.

Оценки зимнего сезона вводятся индексом W , летнего – индексом S , без уточнения сезона – подстрочным индексом N . Календарные сезоны вводятся как L_W и L_S или L_N . В их границах ТАУ оцениваются по значениям средней температуры $\langle T_W \rangle$ и $\langle T_S \rangle$ или $\langle T_N \rangle$. В последовательности из m годовых циклов отрезки L_{Wk} и L_{Sk} или L_{Nk} ($k = 1, 2, 3, \dots, m$) рассматривались как элементы выборок зимних (M_W) и летних (M_S) или произвольных (M_N) сезонов. Для элементов этих массивов ТАУ оценивались по значениям средней температуры $\langle T_{Wk} \rangle$ и $\langle T_{Sk} \rangle$ или $\langle T_{Nk} \rangle$. Аналогичные показатели для фактических сезонов (альтернативная модель) вводятся с надстрочным индексом $*$: L_W^* и L_S^* или L_N^* , $\langle T_W^* \rangle$ и $\langle T_S^* \rangle$ или $\langle T_N^* \rangle$, L_{Wk}^* и L_{Sk}^* или L_{Nk}^* ($k = 1, 2, 3, \dots, m$), M_W^* и M_S^* или M_N^* , $\langle T_{Wk}^* \rangle$ и $\langle T_{Sk}^* \rangle$ или $\langle T_{Nk}^* \rangle$.

¹ Южное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, Геленджик.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной работе автор стремился по данным массива среднедекадной температуры воздуха за 70-летний период наблюдений сформировать выборки зимних и летних фактических сезонов; для элементов этих выборок определить особенности распределения годовых циклов по градациям термических атмосферных условий и степени разброса среднедекадных температур в границах сезонов, срокам их начала; выявить статистическую связь между ТАУ в границах фактических и календарных сезонов; сравнить оценки зимних сезонов, представленные в работе, с выводами других авторов.

ПЕРВИЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ,
МЕТОДИКА ИХ ОБРАБОТКИ
И РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования ТАУ велись с целью анализа их воздействия на структуру вод Черного моря [6, 7]. Этот замкнутый бассейн в основном состоит из анаэробных вод, определяющих быструю деградацию водной среды [8]. Вследствие этого биологическая продуктивность и экологическая состоятельность бассейна в целом обеспечиваются только тонким слоем аэробных вод. В Черном море ТАУ рассматриваются как один из основных факторов, определяющий структуру его вод, в том числе и положение верхней границы сероводородной зоны [9]. Механизм воздействия этого фактора наиболее контрастно проявляется в трехмесячные периоды с экстремальными значениями средней температуры [2, 7].

Для оценки ТАУ в эти периоды использовался массив значений $\langle T_d \rangle$, рассчитанных по данным наблюдений температуры воздуха на метеостанции "Геленджик" за период 1935–2004 гг. Позиция любого элемента массива в пределах календарного года (12-месячный период, начинающийся 1 января) однозначно определяется индексом $P = m/n$. Здесь m – порядковый номер календарного месяца ($m = 1, 2, 3, \dots, 12$), n – порядковый номер декады в его границах ($n = 1, 2, 3$). Зимний фактический сезон (отрезок L_w^*) включает декады и "старого", и "нового" календарного года. Две последние цифры их дат, разделенные косой чертой, составляли индекс ЗФС. Этот же индекс присваивался летнему сезону "нового" календарного года. В комплекс оценок фактического сезона входили его индекс, индекс начальной декады ($N_{Nk} = m_{Nk}/n_k$); средняя температура ($\langle T_{Nk}^* \rangle$); величина среднеквадратичного откло-

нения СКО (D_{Nk}^*), рассчитанного по значениям $\langle T_d \rangle$ декад, входящих в этот сезон.

На первом этапе обработки по данным многолетних наблюдений формировалась выборка значений $\langle T_d \rangle$. Для последней декады месяца этот параметр рассчитывался по соотношению

$$\langle T_d \rangle = \frac{1}{n} \sum_i^n T_i,$$

где значения n менялись от 8 до 11, а величина T_i представляла среднесуточную температуру воздуха. На втором этапе по временным интервалам девятидекадной длительности с экстремальными, в пределах годового цикла, значениями средней температуры выделялись отрезки L_{Nk}^* . На этом же этапе рассчитывались значения $\langle T_{Nk}^* \rangle$ и определялись индексы N_{Nk} сезонов. На третьем этапе составлялись выборки значений $\langle T_{Nk}^* \rangle$, D_{Nk}^* и N_{Nk} . Каждая из оценок фактических сезонов соотносилась с конкретным индексом годового цикла.

В табл. 1 представлены результаты статистической обработки значений массивов M_w^* и M_s^* . Статистические оценки $X_{\min}$, $X_{\max}$, $\langle X \rangle$ и $\sigma(X)$ здесь интерпретируются как минимальные и максимальные значения параметров, их средние многолетние значения и величина СКО. На четвертом этапе значения $\langle T_{Nk}^* \rangle$ и D_{Nk}^* группируются по пяти основным градациям ТАУ и показателя разброса значений $\langle T_d \rangle$, в соответствии с табл. 1 (колонки 6 и 7) и схемой работы [3]. Для ТАУ сезонов выделялись градации: аномально холодные (АХ), холодные (Х), нормальные (Н), теплые (Т) и аномально теплые (АТ). Значения D_{Nk}^* распределялись по градациям: аномально слабая (АС), слабая (С), умеренная (У), интенсивная (И) и аномально интенсивная (АИ).

На пятом этапе для каждой из оценок отрезков L_{Nk}^* ($\langle T_{Nk}^* \rangle$, D_{Nk}^* и N_{Nk}) строились гистограммы. $[T_N^*]$, $[D_N^*]$ и $[N_N]$. Их разряды включали индексы годовых циклов. В гистограммах $[T_N^*]$ и $[D_N^*]$ расстояние между границами разрядов определялось [2] значениями $\sigma(X)$ (табл. 1), в гистограммах $[N_N]$ составляло одну декаду. Разряды гистограмм оценивались по относительной частоте (десятичные числа над разрядами). Реальные интервалы изменчивости параметров

Таблица 1. Статистические оценки массивов значений $\langle T_{Nk}^* \rangle$ и D_{Nk}^* по данным наблюдений за период 1935–2004 гг.

Массивы сезонов	Объемы сезонов, декады	Выборки	Статистические оценки выборок, °C			
			$X_{\min}$	$X_{\max}$	$\langle X \rangle$	$\sigma(X)$
1	2	3	4	5	6	7
M_W^*	603	$\langle T_{Wk}^* \rangle$	0,14	8,03	4,57	1,48
		D_{Wk}^*	1,16	5,28	2,69	0,83
M_S^*	630	$\langle T_{Sk}^* \rangle$	23,30	29,20	25,90	1,39
		D_{Sk}^*	1,06	3,16	1,93	0,50

в границах разрядов $[T_N^*]$ и $[D_N^*]$ представлены в квадратных скобках. Возможности выработки оптимальной схемы построения гистограмм для параметров $\langle T_{Nk}^* \rangle$ и D_{Nk}^* ограничивались [10] фиксированным количеством разрядов, для N_{Nk} – фиксированной, в одну декаду, величиной каждого разряда. В разрядах гистограмм $[T_N^*]$ и $[D_N^*]$

элементы размещались в порядке роста значений $\langle T_{Nk}^* \rangle$ и D_{Nk}^* с удалением от оси абсцисс, в разрядах гистограмм $[N_{Nk}]$ – в порядке уменьшения индексов годовых циклов в том же направлении.

Массивы значений средних температур в границах календарных и фактических сезонов ($\langle T_{Nk} \rangle$ и $\langle T_{Nk}^* \rangle$) использовались также для построе-

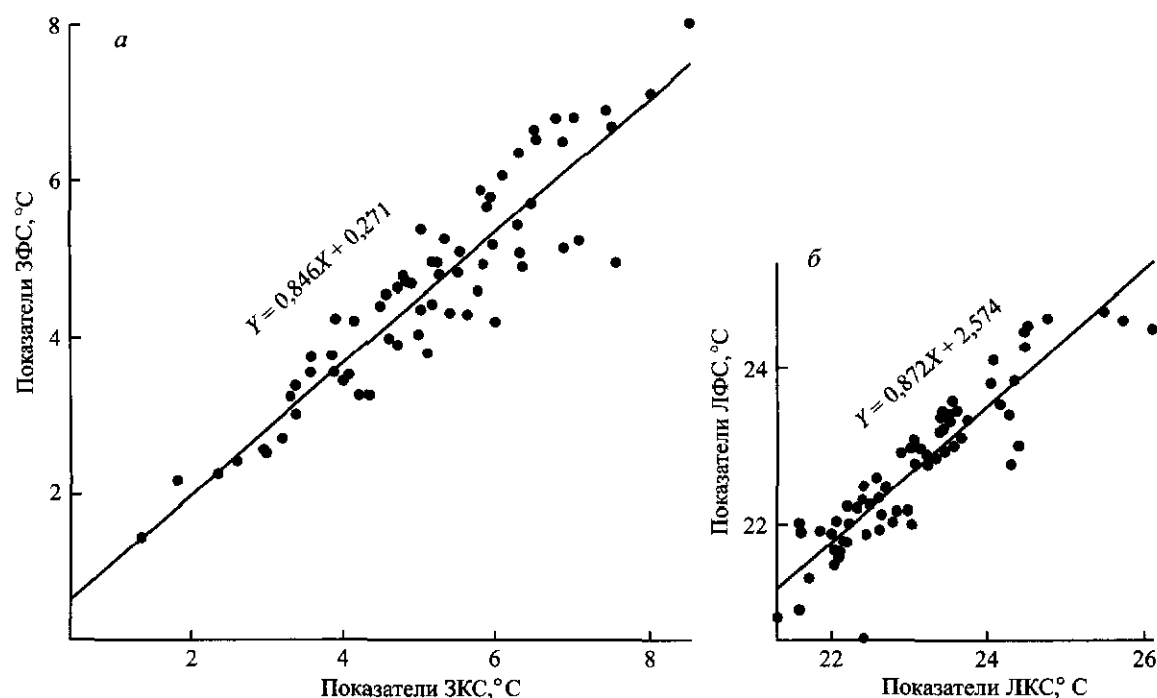


Рис. 1. Статистическая взаимосвязь параметров $\langle T_{Wk} \rangle$ и $\langle T_{Wk}^* \rangle$ для зимних (а) и летних (б) сезонов. Здесь, а также на других рисунках и в таблицах расшифровка обозначений дана в тексте

Таблица 2. Характеристики регрессионных моделей

Мас- сивы M_N^*	Объем сезо- пов, годо- вые циклы	Характеристики регрессионных моделей													
		коэфф. уравнения прямой		оценки параметров											
		a	b, °C	X, °C			Y, °C			$\langle A \rangle, \%$	CD	R_{XY}	R_{YY^*}	t_{St}	t_{St}^*
1	2			min	$\langle X \rangle$	max	min	$\langle Y \rangle$	max						
M_W^*	67	0,846	0,271	0,43	5,7	8,53	0,14	4,56	8,03	14,2	0,87	0,92	0,92	1,92	1,97
M_S^*	70	0,872	2,574	21,33	23,11	26,11	20,53	22,73	24,73	6,15	0,82	0,89	0,91	2,28	1,97

ния линий регрессии $Y = aX + b$. В формуле статистической связи коэффициенты рассчитывались методом наименьших квадратов. Регрессионные соотношения (рис. 1) оценивались [11]: по количеству точек m ; минимальным (min), средним ($\langle \rangle$) и максимальным (max) значениям X и Y ; средней ошибке аппроксимации $\langle A \rangle$; коэффициенту детерминации CD; коэффициенту корреляции R_{XY} между параметрами X и Y ; коэффициенту корреляции R_{YY^*} между параметрами Y и Y^* , где значения Y^* рассчитывались по формуле статистической связи (рис. 1); критерию Стьюдента t_{St} и его критическому значению t_{St}^* (табл. 2).

Минимальные значения температуры воздуха T_a в районе исследований наблюдались при ветрах северной четверти горизонта. С этих направлений поступали холодные полярные (реже арктические) воздушные массы. Наиболее значительный вклад в процесс снижения T_a вносили ветры северо-восточных направлений: их повторяемость достигает 35–36% при средней скорости до 9 м/с [1, 3–5, 7]. Летний период отличался почти равной повторяемостью циклонического и антициклонического типов циркуляции с преобладанием антициклонической в первой половине лета [12]. В это время повторяемость (27%) и средняя скорость северо-восточного ветра (7,5 м/с) были больше, чем на других румбах. Повторяемость южного ветра (2,5 м/с) составляла 13%. При аномально холодных летних сезонах повторяемость северо-восточного ветра уменьшается до 22%, а скорость – до 5 м/с. В эти сезоны показатели для южного ветра также меняются: повторяемость возрастает до 16%, средняя скорость убывает до 2,2 м/с [5–7, 12].

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСОВ ГODOVЫХ ЦИКЛОВ ПО ГРАДАЦИЯМ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ $\langle T_{Nk}^* \rangle$, D_{Nk}^* и N_{Nk}

Распределение индексов годовых циклов по градациям параметров $\langle T_{Nk}^* \rangle$, D_{Nk}^* и N_{Nk} представлено на гистограммах рис. 2 и 3. При построении гистограмм использовались ранжированные ряды значений T_{Nk}^* (гистограммы $[T_{Wk}^*]$ и $[T_{Sk}^*]$),

D_{Nk}^* (гистограммы $[D_{Wk}^*]$ и $[D_{Sk}^*]$) и N_{Nk} (гистограммы $[N_{Wk}]$ и $[N_{Sk}]$). Индексы разрядов (слева направо) для $[T_{Nk}^*]$ отражали последовательность градаций ТАУ от АХ до АТ. Для $[D_{Nk}^*]$ – последовательность градаций СКО от АС до АИ. Для $[N_{Nk}]$ – очередность размещения начальных декад сезонов. Индексы декад календарной шкалы года проставлены на оси абсцисс. Гистограмма в целом (рис. 2 и 3; табл. 3) оценивалась: по распределению относительных частот; значениям мер центральной тенденции (средняя арифметическая величина $\langle X \rangle$, мода M_O и медиана M_E); вариациям размещения значений параметра возле этих мер (лимиты Δ_N^* , дисперсия D_N^* и коэффициент асимметрии η_N); характеристикам пика (индекс разряда, относительная частота, диапазон изменчивости значений параметра в его границах).

Для N_{Wk} и N_{Sk} показатель $\langle X \rangle$ вводится как разряд гистограммы, в границах которого размещались годовые циклы, значения N_N которых были наиболее близки к среднеарифметической величине этого параметра в границах массива. Пока-

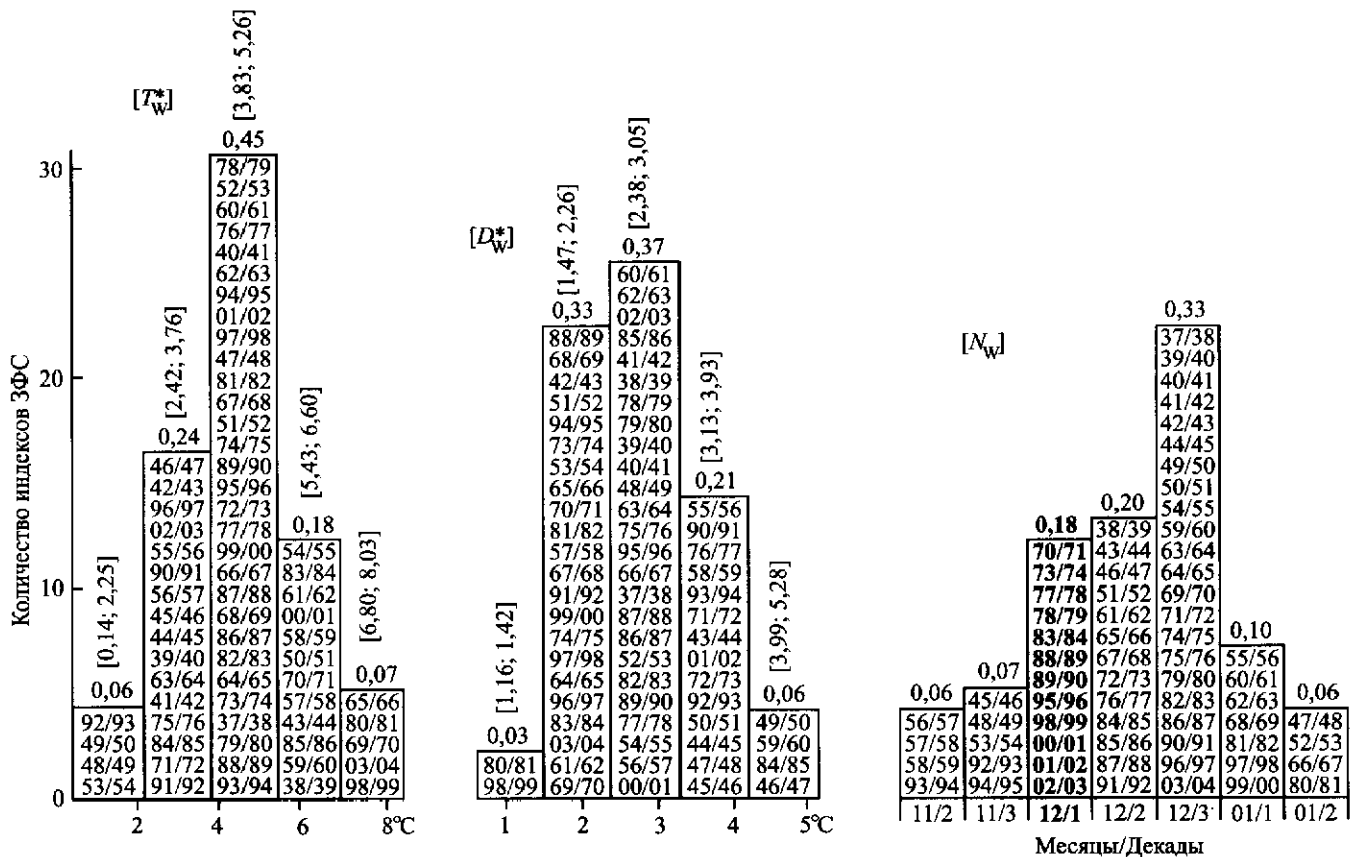


Рис. 2. Распределение индексов годовых циклов по вариациям ТАУ зимних фактических сезонов (T_W^* , D_W^*) и срокам их начала (N_W).

затели M_E и M_O оцениваются по разряду, где размещаются годовые циклы, расположенные либо вблизи центра ранжированного ряда (M_E), либо отражающие максимальную вероятность реализации конкретных позиций начальных декад сезонов на календарной шкале года M_O .

Гистограммы $[T_N^*]$, $[D_N^*]$ и $[N_N]$ характеризуются (рис. 2 и 3, табл. 3) унимодальностью и совмещением мер центральной тенденции в границах пика. Максимальная концентрация индексов годовых циклов в этих границах (58% от их общего числа) зафиксирована для распределения $[N_S]$ (рис. 3), минимальная (33%) – для распределения $[N_W]$ (рис. 2). Разница (7 и 4 декады) в степени разброса начальных декад, выявленная для зимнего и летнего сезонов (рис. 2 и 3), приводит к существенным отличиям в степени изменчивости параметров T_{Nk}^* (7,89 и 4,39 °C) и

D_N^* (4,12 и 2,10 °C). Отношение $\Omega_N = \eta_N/\Psi_N$ (табл. 2) коэффициента асимметрии η_N (табл. 3) к величине стандартной ошибки асимметрии η_N

меньше трех, что позволяет считать асимметрию всех распределений рис. 2 и 3 несущественной, обусловленной воздействием случайных факторов [11].

Контрастность выделения пиков гистограмм оценивалась по минимальной разнице Δn между количеством индексов годовых циклов в пределах пика и их количеством в соседнем разряде. Минимальный показатель ($\Delta n = 3$) отмечен для распределения $[D_W^*]$ (рис. 2), максимальный ($\Delta n = 22$) – для распределения $[N_S]$ (рис. 3). Первый рассматривался как следствие малого отличия в количестве годовых циклов со слабым (1,47–2,26 °C) и умеренным (2,38–3,05 °C) уровнем разброса значений $\langle T_n \rangle$ в границах ЗФС; второй – как результат совмещения большого числа начальных декад ЛФС со второй декадой июня.

Концевые разряды гистограмм, определяя лимит изменчивости параметров в их пределах, позволяют выявить годовые циклы либо с аномально холодными и аномально теплыми зимними и летними сезонами (рис. 1 и 2, $[T_N^*]$), либо

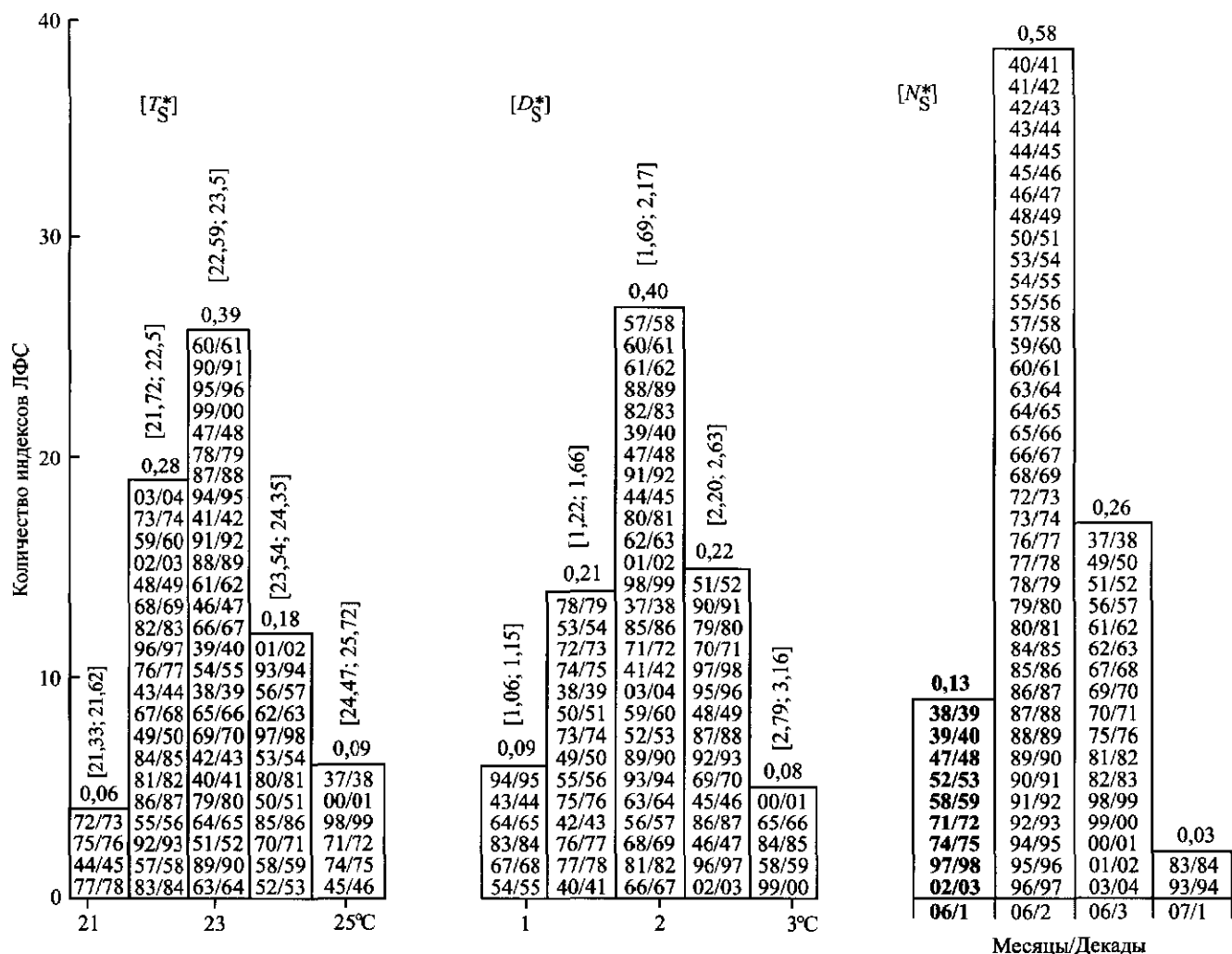


Рис. 3. Распределение индексов годовых циклов по вариациям ТАУ летних фактических сезонов (T_S^* , $[D_S^*]$) и срокам их начала ($[N_S]$)

с относительной стабильностью и предельной изменчивостью ТАУ (рис. 1 и 2, $[D_N^*]$). Их аналоги в гистограммах $[N_W]$ и $[N_S]$ выделяют годовые циклы с наиболее ранними или наиболее поздними сроками наступления сезонов (рис. 1 и 2, $[N_N]$).

Определенный интерес представляет также распределение годовых циклов по разрядам распределений $[N_N]$ внутри этих предельных сроков. Положение пика гистограмм $[N_W]$ и $[N_S]$ показывает, что наиболее вероятные сроки наступления фактических зимних сезонов – третья декада декабря, фактических летних – вторая декада июня. Количество годовых циклов, время начала сезонов которых совпадает с календарным (“нормальные” сроки наступле-

ния сезонов), не превышает 18% общего объема зимних сезонов и 13% – летних. Именно этим объемом и конкретными годовыми циклами ограничена возможность корректного сопоставления ТАУ в разные годы. Для зимних фактических сезонов остальные 82% объема приходится на годовые циклы, сроки наступления ЗФС которых либо опережают календарные сроки (13%), либо отстают от них (69%). Таким образом, в рамках альтернативной модели понятия “ранняя” и “поздняя” зима приобретают конкретное наполнение. При этом для массива летних фактических сезонов понятие “позднее” лето реализуется для 87% объема. За 70 лет наблюдений не было выявлено ЛФС, опережающих календарные сроки (рис. 2, $[N_S]$).

Таблица 3. Меры центральной тенденции параметров $\langle T_{Nk}^* \rangle$, D_{Nk}^* и N_{Nk} .Размерность параметров: $\langle T_{Nk}^* \rangle$ и D_{Nk}^* – °C, N_{Nk} – декады

Распределения	Меры центральной тенденции				Вариации элементов у мер центральной тенденции				Индекс пика гистограммы или границы разряда, включающего пик	
	$\langle X \rangle$	M_E	M_O		Δ_N^*	D_N^*	Скошенность			
			индекс	значения			η_N	Ψ_N		Ω_N
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\langle T_{Wk}^* \rangle$	4,57	4,39	H	4,47	7,89	1,48	0,275	0,288	0,955	3,83/5,30
D_{Wk}^*	2,69	2,59	У	2,38	4,12	0,83	0,672	0,288	2,341	2,27/3,11
N_{Wk}	12/3	12/3	12/ 3	12/3	7	1,51	0,283	0,288	0,983	12/3
$\langle T_{Sk}^* \rangle$	23,04	23,07	H	22,83	3,02	0,94	0,538	0,288	0,538	22,57/23,51
D_{Sk}^*	1,93	1,93	У	1,94	2,10	0,50	0,176	0,288	0,176	1,68/2,18
N_{Sk}	06/2	06/2	06/2	06/2	4	0,70	0,200	0,288	0,200	06/2

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ $\langle T_{Nk} \rangle$ И $\langle T_{Nk}^* \rangle$

Корреляционное поле на фрагментах рис. 1 отражает возможность прогноза оценок ТАУ зимнего (рис. 1а) или летнего (рис. 1б) фактических сезонов при замене исходной модели альтернативной. Совпадающий масштаб координатных осей на фрагментах “3а” и “3б” ограничивает поиск причин различий корреляционных полей одним фактором: вариациями ТАУ в границах сезонов. Здесь разброс точек вдоль оси ординат соответствует диапазонам изменчивости значений $\langle T_w^* \rangle$ и $\langle T_s^* \rangle$, выявленным по конечным разрядам гистограмм $[T_w^*]$ и $[T_s^*]$ на рис. 2 и 3. Различия в плотности распределения точек у линий регрессии объясняются соотношением этих диапазонов, которое, в свою очередь, отражает разницу в разбросе начальных декад сезонов на календарной шкале года (распределения $[N_w]$ и $[N_s]$ на рис. 2 и 3). Этот разброс предопределен выбором для оценки многолетней изменчивости ТАУ альтернативной модели – схемы выделения сезонов по признаку экстремальности средней температуры в границах интервалов девятидекадной длительности.

Корреляционное поле рис. 1 отражает взаимосвязь между параметрами $\langle T_{Nk} \rangle$ и $\langle T_{Nk}^* \rangle$. Значения $\langle T_{Nk} \rangle$ вводятся в формулу статистической связи $Y = aX + b$ как независимая переменная X

или учтенный фактор, $\langle T_{Nk}^* \rangle$ – как Y , фактические значения параметра [11]. Коэффициенты уравнения a и b , пределы и средние значения X и Y даны в табл. 2. Знак при коэффициенте b и вид неравенства $R_{XY} > 0$ отражают в среднем рост значений $\langle T_{Nk}^* \rangle$ с увеличением $\langle T_{Nk} \rangle$ (рис. 1, табл. 2). Средние и максимальные значения разности $\langle T_{Nk} \rangle - \langle T_{Nk}^* \rangle$ для лета составляют несколько меньшую величину (0,38 и 1,90 °C), чем для зимы (0,51 и 2,63 °C).

Оценка статистической значимости разности $\langle T_{Nk} \rangle - \langle T_{Nk}^* \rangle$ выполнялась по критерию Стьюдента t_{St} для уровня значимости $\alpha = 0,05$ и числа степеней свободы ν , равного 132 для зимы и 138 – для лета. Как показывают данные табл. 2, для зимы значения t_{St} , рассчитанные для разности параметров $\langle T_{wk} \rangle - \langle T_{wk}^* \rangle$, несколько меньше критических значений критерия Стьюдента $t_{St; 0,05; 132}^*$. Реализация неравенства $t_{St} < t_{St}^*$ подтверждается возможностью размещения нулевых значений разности в пределах доверительного интервала $[-0,14; 1,03$ °C]. В соответствии с этими показателями вероятность отвергнуть нулевую гипотезу, утверждающую, что элементы рядов $\langle T_k \rangle$ и $\langle T_k^* \rangle$ можно рассматривать как случайные выборки одной совокупности, не превышает 5% [11]. Для лета реализуется неравенство $t_{St} > t_{St}^*$, подкрепленное границами довери-

Таблица 4. Оценки суровости зимних условий авторами опубликованных работ (цифры соответствуют номерам в списке литературы) и полученными в данной статье (индекс "22")

Гра- дации ТАУ	Годовые циклы												
	1947/48	1948/49	1949/50	1950/51	1953/54	1954/55	1955/56	1957/58	1961/62	1962/63	1963/64	1965/66	1968/69
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
АХ		7, 22	3, 22		22						22		
Х					20		22				21		
У	22				21	15	21	15	15	22	15		21
Т				22		22	15	22	22	10		21	15
АТ	3			13		3, 13						22	22

Гра- дации ТАУ	Годовые циклы													
	1969/70	1971/72	1974/75	1975/76	1980/81	1983/84	1984/85	1986/87	1988/89	1989/90	1990/91	1991/92	1992/93	1994/95
1	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
АХ		21					10					16	22	
Х		22	22	22			22	21			22, 16	22	16	
У	15		21	21			21	17	22	22			15, 21	22
Т				15	21	17, 22	17	22	15	15			17	
АТ	22				3, 22	12			21	21				16

тельного интервала $[0,05; 0,71 \text{ }^{\circ}\text{C}]$. Знак неравенства позволяет считать различия в значениях элементов выборок $\langle T_{sk} \rangle$ и $\langle T_{sk}^* \rangle$ статистически значимыми [11]. Таким образом, меньший разброс начальных декад сезонов на календарной шкале года дает большую уверенность в том, что взаимосвязь между оценками ТАУ в рамках исходной и альтернативной модели не носит случайного характера.

Взаимосвязь между значениями параметров $\langle T_{Nk} \rangle$ и $\langle T_{Nk}^* \rangle$ и для зимы, и для лета оценивается (табл. 2) как высокая ($R_{XY} > 0,7$) [11]. Значения $CD > 0,8$ отражают хорошее качество подгонки регрессионных моделей к реальным значениям параметра. Величина средней ошибки аппроксимации $\langle A \rangle$ (14,2%) для зимнего сезона практически близка к допустимой, для летнего сезона (6,15%) – допустима без оговорок. Значения R_{XY} и R_{YX^*} превышают величину 0,89 (табл. 2), отражая [11] высокую степень корреляции между параметрами X и Y и Y и Y^* , полученными для зимнего и летнего сезонов.

Подавляющее количество данных о ТАУ в границах зимнего и летнего сезонов получено в

рамках исходной модели их выделения. Корреляционные соотношения на рис. 1 позволяют в первом приближении создать общий объем оценок ТАУ этих сезонов, отвечающий требованиям альтернативной модели. Анализ статистической связи ТАУ, выполненный для зимнего и летнего сезонов, подтверждает некоторые особенности распределений параметров, выявленные при анализе гистограмм.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЗИМНИХ ТАУ

Объем работ с оценкой зимних ТАУ в районе Черного моря [2–7, 10, 12, 13, 15–17, 20, 21] значительно больше количества публикаций, исследующих термические атмосферные условия летнего сезона [3, 5]. Поэтому в качестве базы сравнительного анализа были выбраны оценки зимнего сезона (табл. 4). На пересечении строк и колонок этой таблицы проставлены индексы цитируемых источников, по данным которых зимние условия соотносились с конкретной градацией ТАУ.

Сопоставление градаций ТАУ в данной работе с выводами цитируемых авторов может но-

силь только самый предварительный характер. Слабая репрезентативность анализа – следствие различий в размещении района бассейна, для которого разрабатывалась классификация зимних условий; в критериях оценки градаций ТАУ; в определении начала зимнего сезона; в терминологии и т.д. Таблица 4 – результат первой попытки унификации терминов, используемых для оценки зимних ТАУ. Так, термин “мягкая зима” [17] соотносился с градацией “Т”; “суровая зима” [17] – с градацией “АХ”; “основные эпизоды выхолаживания” [19] – с градацией “Х”; “самые холодные зимы” [18] – с градацией “АХ”, сезоны с “аномально теплой температурой” [18] – с градацией “АТ”. Как показывают данные таблицы, вероятность совпадения оценок ТАУ (две ссылки в ячейке таблицы) не превышает 15% объема работ, а их разброс может составить до 4 градаций ТАУ (1984/85 и 1992/93 гг.). Табл. 4 может рассматриваться как отражение жесткой необходимости выработки единого подхода к оценке суровости зимних условий в бассейне Черного моря, исключая отмеченные выше существенные различия в оценках ТАУ.

ВЫВОДЫ

1. Альтернативный метод выделения трехмесячных периодов с экстремальными, в пределах годового цикла, термическими свойствами обеспечивает соответствие термических атмосферных условий фактических сезонов характеристикам, которые исходная модель только подразумевает. В рамках этого метода выявлен вероятностный характер размещения фактических сезонов на календарной шкале года и определены наиболее вероятные даты их наступления.

2. Гистограммы, представляющие распределение индексов годовых циклов по характеристикам зимних и летних сезонов (средняя температура и показатель разброса среднедекадных температур в границах сезона, положение его начальной декады на календарной шкале года), отличаются унимодальностью, совмещением мер центральной тенденции в границах пика и симметричностью. Их концевые разряды позволяют выявить годовые циклы с аномально холодными и аномально теплыми зимними и летними сезонами, относительной стабильностью или предельной изменчивостью термических атмосферных условий в их пределах, наиболее ранними или наиболее поздними сроками наступления.

3. Оценка статистической значимости, выполненная для разности средних температур факти-

ческих и календарных сезонов, показала, что для массива летних сезонов различия в значениях этих параметров можно считать значимыми. Для массивов зимних сезонов вероятность отвергнуть нулевую гипотезу не превышает 5%.

4. Анализ многолетних данных показал, что в рамках исходной модели возможность корректного сопоставления термических атмосферных условий для разных годовых циклов ограничена 18% объема массива зимних сезонов и 13% объема летних. Альтернативная модель позволяет увеличить этот объем до 100%.

5. Сопоставление оценок градаций зимних термических атмосферных условий, полученных в данной работе, с выводами цитируемых авторов свидетельствует о слабой согласованности методов их определения. Вероятность совпадения оценок зимних термических условий не превышает 15% от общего объема, а их разброс может составить до четырех градаций термических атмосферных условий.

Работа выполнена в рамках ФЦП “Мировой океан” по теме 7 “Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов Черного и Азовского морей”, при финансовой поддержке РФФИ и администрации Краснодарского края (грант № 06-05-96681).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по климату Черного моря. М.: Гидрометеиздат, 1974. 401 с.
2. Прокопов О.И. Распределение годовых циклов по срокам начала фактических зимних сезонов и градациям их термических атмосферных условий // Вклад фундаментальных исследований в развитие инновационной экономики Краснодарского края. 2006. С. 96–98.
3. Титов В.Б., Савин М.Т. Об оценке температурного режима атмосферы, формирующего гидрологическую структуру Черного моря // Метеорология и гидрология. 2000. № 10. С. 78–84.
4. Титов В.Б. Формирование зимней гидрологической структуры Черного моря в зависимости от суровости зим // Океанология. 2000. Т. 40. № 6. С. 826–832.
5. Титов В.Б. Влияние многолетней изменчивости климатических условий на гидрологическую структуру и межгодовое обновление холодного промежуточного слоя в Черном море // Океанология. 2003. Т. 43. № 2. С. 176–184.
6. Титов В.Б. Влияние многолетней изменчивости климатических условий на гидрологическую структуру и экологию Черного моря // Водные ресурсы. 2004. Т. 31. № 4. С. 407–413.

7. Овчинников И.М., Попов Ю.И. Особенности формирования холодного промежуточного слоя (ХПС) в Черном море при экстремальных условиях // Тр. ГОИН. 1990. Вып. 190. С. 132–151.
8. Mee L.D. The Black Sea in Crisis: The Need for Concerted International Action // *Ambio*. 1992. V. 24. P. 278–286.
9. Овчинников И.М., Титов В.Б. Основные результаты гидрофизических исследований Черного моря в свете современных экологических проблем // Доклады РАН. 1993. Т. 330. С. 504–505.
10. Вентцель А.Д. Курс теории случайных процессов. М.: Наука, 1996. 593 с.
11. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: ЮНИТИ, 2001. 1022 с.
12. Ковешников В.А., Иванов В.А. и др. Вопросы теплового и динамического взаимодействия в системе море–атмосфера–суша Черноморского региона // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон. 2001. № 3. С. 9–52.
13. Прокопов О.И. К вопросу о выделении сезонов в годовом гидрологическом цикле деятельного слоя Черного моря // *Океанология*. 1993. Т. 33. № 4. С. 527–531.
14. Сироткина А.И. К вопросу об оценке суровости зим в южных морях // Тр. НИИАК. 1959. Вып. 8. С. 3–38.
15. Ястреб В.П., Куфтарков А.Ю., Голубев Ю.И. Холодный промежуточный слой в годы с экстремальными зимами // *Проблемы Черного моря*. 1992. С. 48–50.
16. Belokopytov V. On the Hydrometeorological Conditions of Cold Intermediate Water Renewal in Northern Part the Black Sea // *Science for Stability*. 1997. P. 15–16.
17. Belokopytov V. Long-Time Variability of Cold Intermediate Layer Renewal Conditions in the Black Sea // *Ecosystem Modeling as a Management Tool for the Black Sea*. 1998. V. 22. P. 47–52.
18. Ivanov L. I., Besiktete S., Ozsoy E. The Black Sea Cold Intermediate Layer // *Sensitivity to Change: Black Sea, Baltic Sea and North Sea*. 1997. P. 253–264.
19. Ivanov L. I., Ozsoy E. Ventilation of the Black Sea on Interannual Time Scales as Seen from Temperature/Salinity Data // *Ventilation of the Black Sea's Anoxic Water*. 1999. P. 195–200.
20. Прокопов О.И., Дивинский Б.В., Титов В.Б., Часовников В.К. Климатическая изменчивость холодного промежуточного слоя прибрежной зоны моря в теплые периоды // *Наука Кубани*. 2005. № 3. С. 102–106.
21. Bachaus J.O., Ivanov L. I., Wehde H., Scrum C. Winter Convection in the Black Sea // *Ventilation of the Black Sea's Anoxic Water*. 1999. May 3–7. P. 191–194.

LONG-TERM VARIABILITY OF THERMAL ATMOSPHERIC CONDITIONS WITHIN ACTUAL WINTER AND SUMMER SEASONS

(north-eastern part of the Black sea, 1935–2004)

O.I. Prokopov

The alternative model of actual seasons marking up by extreme thermal atmospheric conditions within three-month periods is developed for an estimation of long-term variability of winter and summer seasons thermal properties. Within the framework of the model, probabilistic nature of actual seasons placing on a year calendar scale is discovered and the most probable dates of their beginning are determined. The analysis of long-term data has shown that within the limits of the usual approach (the seasons begin December 1 and June 1) the opportunity of seasons' thermal conditions correct comparison in different years does not exceed 18%. The alternative model allows increasing this value up to 100%.

REFERENCES

1. *Spravochnik po klimatu Chernogo morya*. [Manual climate of the Black Sea]. 1974. Moscow, Gidrometeoizdat: 401 p. (In Russian).
2. Prokopov O.I. 2006. [Distribution of annual cycles in terms of the actual start of the winter season, and the gradations of thermal atmospheric conditions]. In: *Vklad fundamental'nykh issledovaniy v razvitie innovatsionnoy ekonomiki Krasnodarskogo kraya*. [Contribution to fundamental researches to the development of innovative economy of Krasnodar Region]. P. 96–98. (In Russian).
3. Titov V.B., Savin M.T. 2000. [On an estimate the temperature of the atmosphere, forming the hydrological structure of the Black Sea]. *Meteorologiya i gidrologiya*. (Russian Meteorology and Hydrology). (10): 78–84. (In Russian).
4. Titov V.B. 2000. [Formation of the winter hydrological structure of the Black Sea, depending on the severity of the winters]. *Okeanologiya*. (Oceanology). 40(6): 826–832. (In Russian).
5. Titov V.B. 2003. [Effect of long-term climate variability on interannual hydrological structure and upgrade the cold intermediate layer in the Black Sea]. *Okeanologiya*. (Oceanology). 43(2): 176–184. (In Russian).
6. Titov V.B. 2004. [Effect of long-term climate variability on hydrological structure and ecology of the Black Sea]. *Vodnye resursy*. (Water Resources). 31(4): 407–413. (In Russian).
7. Ovchinnikov I.M., Popov Yu.I. 1990. [Features of formation of the cold intermediate layer (CIL) in the Black Sea under extreme conditions]. In: *Proceedings of the National Institute of Oceanography*. [Proceedings of the National Institute of Oceanography]. Issue 190. P. 132–151. (In Russian).
8. Mee L.D. 1992. The Black Sea in Crisis: The need for concerted international action. *Ambio*. 24: 278–286.
9. Ovchinnikov I.M., Titov V.B. 1993. [The main results of the Black Sea hydrophysical investigations in the light of today's environmental problems]. *Doklady RAN*. 330: 504–505. (In Russian).
10. Venttsel' A.D. 1996. *Kurs teorii sluchaynykh protsessov*. [The course of the theory of random processes]. Moscow, Nauka: 593 p. (In Russian).
11. Ayyazyan S.A., Mkhitarian V.S. 2001. *Prikladnaya statistika i osnovy ekonometriki*. [Applied statistics and econometrics bases]. Moscow, YuNITI: 1022 p. (In Russian).
12. Koveshnikov V.A., Ivanov V.A. et al. 2001. [Questions thermal and dynamic interaction in the system sea – the atmosphere – the land of the Black Sea region]. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fovoy zon*. [Ecological safety of coastal and offshore zones]. (3): 9–52. (In Russian).
13. Prokopov O.I. 1993. [To the question of the allocation of the seasons in the annual hydrological cycle of the active layer of the Black Sea]. *Okeanologiya*. (Oceanology). 33(4): 527–531. (In Russian).
14. Cirotkina A.I. 1959. [On the estimate of the severity of winters in the southern sea]. In: *Trudy NIIAK*. [Proceedings of NIIAK]. Issue 8. P. 3–38. (In Russian).
15. Yastreb V.P., Kuftarkov A.Yu., Golubev Yu.I. 1992. [Cold intermediate layer during extreme winters]. In: *Problemy Chernogo morya*. [The problems of the Black Sea]. P. 48–50. (In Russian).
16. Belokopytov V. 1997. On the Hydrometeorological Conditions of Cold Intermediate Water Renewal in Northern Part the Black Sea. *Science for stability*. P. 15–16.
17. Belokopytov V. 1998. Long-time Variability of Cold Intermediate layer renewal conditions in the Black Sea. In: *Ecosystem Modeling as a Management Tool for the Black Sea*. 22: 47–52.
18. Ivanov L.I., Besiktete S., Ozsoy E. 1997. The Black Sea cold intermediate layer. *Sensitivity to Change: Black Sea, Baltic Sea and North Sea*. P. 253–264.
19. Ivanov L.I., Ozsoy E. 1999. Ventilation of the Black Sea on interannual time scales as seen from temperature/salinity data. In: *Ventilation of the Black Sea's anoxic water*. P. 195–200.
20. Prokopov O.I., Divinskiy B.V., Titov V.B., Chasovnikov V.K. 2005. [Climate variability in the cold intermediate layer of coastal sea in warm periods]. *Nauka Kubani*. (3): 102–106. (In Russian).
21. Bachaus J.O., Ivanov L.I., Wehde H., Scrum C. 1999. Winter convection in the Black Sea. *Ventilation of the Black Sea's anoxic water*. May 3–7. P. 191–194.