

Б.Н.Панов

*Южный научно-исследовательский институт
морского рыбного хозяйства и океанографии, г.Керчь*

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОСНОВНОГО ЧЕРНОМОРСКОГО ГАЛОКЛИНА В ИССЛЕДОВАНИЯХ ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ ЧЕРНОМОРСКОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

В качестве критериев оценки состояния черноморской экосистемы в работе использованы максимальные вертикальные градиенты солёности воды основного галоклина и глубины их залегания в восточной половине Черного моря из базы данных ЮгНИРО с 1955 по 1996 гг. Используя одновременно обе характеристики галоклина, предложено разделить зоны подъема и опускания вод.

Показано, что для рассмотренных характеристик, их группировок и двух выделенных районов (северо-восточного и юго-восточного) существуют различные характерные особенности межгодовых изменений. Выявлено преобладание влияния в экосистеме максимального градиента солёности в зонах опускания вод. От глубины положения галоклина рассмотренные показатели экосистемы практически не зависят, хотя внешние факторы влияют как на величину, так и на глубину максимального градиента.

Использование предложенных показателей позволит по-новому подойти к прогнозированию био- и рыбопродуктивности вод моря с учетом изменения размеров и интенсивности различного рода перемещающихся гидродинамических образований.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *экосистема, Черное море, вертикальный градиент солёности, галоклин, межгодовая изменчивость.*

Кризисные изменения в экосистеме Черного моря стали предметом исследований мореведческих институтов с середины 70-х гг. прошлого столетия. Мнения исследователей в определении сроков начала кризиса расходятся незначительно, указывая на начало 70-х гг. [1 – 3].

Причины кризиса называются разные: природные (изменения характера атмосферной циркуляции [4], рост солёности под галоклином, увеличение речного стока [5]) и антропогенные (изъятие речного стока [3], биогенное и нефтяное загрязнение [1]). Вероятно, их суперпозиция и обусловила кризисные изменения в биотической части экосистемы.

В настоящее время интерес к трансформации черноморской экосистемы и вызывающим ее причинам не ослабевает. В частности, продолжаются исследования, направленные на получение связей обобщающих показателей состояния черноморской экосистемы и внешних воздействий. Второй причиной, побуждающей искать обобщающие показатели, является потребность расширить число классов математических моделей, описывающих состояние экосистем.

Определяющая роль циркуляции вод в механизме функционирования морских экосистем [6 – 9] позволяет предполагать в черноморской экосистеме преобладание режима среднемасштабной синоптической нестационарности, который при ежегодной повторяемости характерных внешних воздействий может проявляться в многолетней изменчивости [10]. Основ-

ным носителем синоптической изменчивости являются вихревые образования и меандры Основного черноморского течения (ОЧТ), максимум плотности доступной потенциальной энергии которых содержится в слое галоклина [11]. Характерное время существования таких вихрей оценивается в пределах от 10 до 100 сут [12]. В то же время наблюдения антициклонического вихря в центральной части моря [11] показывают, что за 90 сут он прошел только начальную стадию своего существования – зарождение, а сезонные исследования в юго-восточной части моря [13] определили время жизни квазистационарного антициклонического круговорота от 3 до 9 мес. Эти особенности циркуляции, безусловно, проявляются в сезонных и межгодовых изменениях характеристик галоклина.

В [14] на основании определения взаимосвязей характеристик галоклина и геострофической циркуляции вод предложено в качестве критериев оценки состояния черноморской экосистемы использовать максимальные градиенты солёности I_s воды (основной галоклин) и глубины их залегания H_s в восточной половине Черного моря, которая более обеспечена данными по сравнению с западной половиной.

Нет необходимости подробно описывать роль основного черноморского галоклина в экосистеме моря. Глубина расположения галоклина является признанным индикатором циркуляции вод в Черном море [11, 12, 15], «запирающий» эффект галоклина ослабляет всевозможные вертикальные потоки [16, 17], регулирует эвтрофирование и биопродуктивность верхнего слоя вод [18, 19]. С галоклином тесно связан слой сосуществования кислорода и сероводорода [20], а также слой распространения мраморно-морских вод [17].

Недавно опубликованные результаты исследований климата Черного моря отмечают подъем слоя галоклина и увеличение солёности в нем [21 – 23]. Причины и последствия этих изменений пока не ясны и это определяет актуальность дальнейших исследований.

Из выполненного в [14] анализа следует, что идентифицировать зоны геострофической циркуляции вод можно, используя одновременно обе характеристики галоклина H_s и J_s , – сочетания высоких (H_sB , J_sB) и низких (H_sH , J_sH) значений этих показателей:

- H_sB J_sB – глубокое положение обостренного галоклина (далее ВВ);
- H_sH J_sB – высокое положение обостренного галоклина (далее НВ);
- H_sB J_sH – глубокое положение размытого галоклина (далее ВН).

Согласно классическим представлениям о вертикальной плотностной структуре вод Черного моря группировка ВВ соответствует зонам неглубоких антициклонических вихрей и слабых прибрежных опусканий, НВ – зонам циклонических круговоротов и прибрежных апвеллингов, а ВН – глубоким антициклонам и прибрежным опусканиям.

Мы полагаем, что использование предложенных показателей позволяет при анализе натурных данных выйти в оценках циркуляции за рамки материалов полигонных наблюдений, поэтому далее в статье, данная интерпретация будет использоваться при разделении зон с различным сочетанием характеристик галоклина.

Цель данной работы – исследовать многолетние ряды осредненных характеристик галоклина (как показателей циркуляции) на тесноту связи с

некоторыми гидрометеорологическими, биологическими и рыбопромысловыми показателями.

Материалы и методы. В работе были использованы максимальные вертикальные градиенты солёности I_s воды глубже горизонта 25 м и глубины их залегания H_s в восточной (к востоку от 35° в.д.) половине Черного моря.

Граничные значения для характеристик галоклина (кроме выше указанного) заранее не задавались.

Информация о солёности была выбрана из порейсового массива данных океанографических станций, выполненных в 416 экспедициях по Черному морю Южным научно-исследовательским институтом морского рыбного хозяйства и океанографии (ЮгНИРО), Морским гидрофизическим институтом (МГИ) НАН Украины и Украинским научным центром экологии моря (УкрНЦЭМ) с 1955 по 1996 гг. (24479 станций).

Из указанного массива данных были исключены станции с глубиной места менее 75 м, так как на них мог отсутствовать основной галоклин. Далее, при вычислении вертикальных градиентов солёности и выборе для каждого профиля максимального значения, использовались только те станции, где количество вычисленных вертикальных градиентов было не меньше трех (остальные станции исключались из массива). В результате в массиве осталось 7273. Для всех определенных H_s и I_s были рассчитаны среднегодовые (для $n \geq 3$) значения, как по всей восточной половине моря (рис.1), так и по двум подрайонам: северо-восточному – от 43° до 45° с.ш., от 36° до 40°20' в.д. и юго-восточному – от 41°20' до 43° с.ш., от 38° до 41°40' в.д. Разделение на подрайоны было выполнено ввиду значительного различия особенностей циркуляции вод в этих частях моря.

Затем из массива исключались рейсы, в которых после выполнения всех вышеуказанных условий количество станций оказывалось меньше 10. После этого в массиве осталось 234 съемки (ЮгНИРО – 186, МГИ – 14, УкрНЦЭМ – 34), включающих 6907 станций (ЮгНИРО – 5589, МГИ – 338, УкрНЦЭМ – 980). Для каждой съемки (количество станций в съемках изменялось от 10 до 58) определялись среднеквадратические отклонения σ_i (для I_s) и σ_h (для H_s).

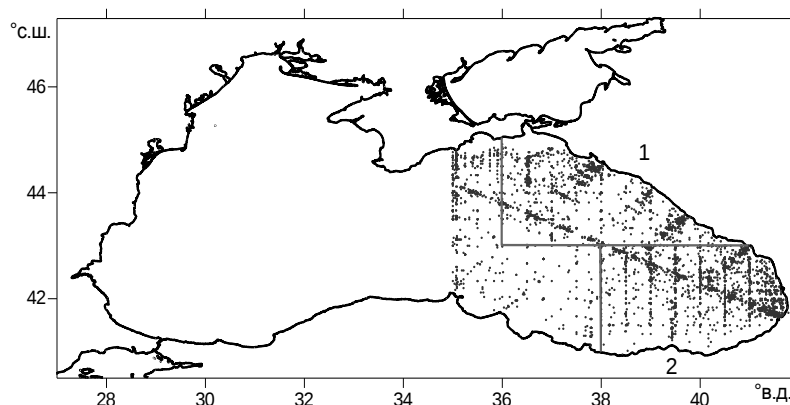


Рис. 1. Распределение океанографических станций массива 1955 – 1996 гг., использованных для расчета характеристик галоклина (7273 станции): северо-восточный (1) и юго-восточный (2) подрайоны.

В рамках съемки выделялись две группы показателей: высокие (В) и низкие (Н) по принципу:

высокие: $HsB > Hs_{cp} + \sigma_h$ и $IsB > Is_{cp} + \sigma_i$,

низкие: $HsH < Hs_{cp} - \sigma_h$ и $IsH < Is_{cp} - \sigma_i$.

Затем для каждой станции определялся тип сочетания высоких и низких значений показателей (тип галоклина): $HsB IsB$, $HsH IsB$, $HsB IsH$.

Установленным условиям группировки в рассмотренном массиве для восточной половины Черного моря удовлетворило 3912 станций (16 % от исходного количества станций).

Для каждой из этих станций рассчитывалось минимальное расстояние от берега.

Справа от стрежня ОЧТ, условно, нами была выделена 20 км прибрежная зона. Если станция попадала в прибрежную зону, то ей и соответствующему показателю состояния галоклина присваивался индекс «пр» – прибрежная. Остальные станции и, соответственно, показатели и их сочетания получили индекс «мор» – морская.

Таким образом, 3912 вертикальных профилей солёности были разбиты на 9 группировок-индексов (3 группы и 6 подгрупп), характеризующихся двумя показателями Hs и Is (ВВ, ВВмор, ВВпр, НВ, НВмор, НВпр, ВН, ВНмор, ВНпр). В группировку ВВ по всей восточной половине моря вошла 671 станция, в группировку НВ – 1581, в группировку ВН – 1660. В северо-восточном подрайоне, соответственно, в группировку ВВ вошло 236 станций, в группировку НВ – 649, в группировку ВН – 498, а в юго-восточном подрайоне в группировку ВВ – 377 станций, в группировку НВ – 680, в группировку ВН – 1035.

Для всех 9 группировок были определены среднегодовые (для $n \geq 3$) значения Hs и Is , как по всей восточной половине моря, так и по северо-восточному и юго-восточному подрайонам.

В итоге, для каждого из трех регионов было получено по 18 рядов изменений средних годовых значений характеристик галоклина по выбранным сочетаниям Hs и Is и по 2 ряда средних годовых значений этих характеристик галоклина, полученных до выделения группировок.

Для полученных рядов межгодовых изменений характеристик галоклина была выполнена корреляционная оценка тесноты связи с параметрами, характеризующими состояние экосистемы восточной половины Черного моря (Фв, Зв, Дв, Рв, Н, М1, М2, Вх, Зх, Зш, T_b).

Ряды значений биомассы фито- и зоопланктона (Фв и Зв) в восточной (глубоководной) части Черного моря, взяты из справочного пособия [24]. Они представляют собой величины биомасс в mg/m^3 в слоях 0 – 25 и 0 – 100 м соответственно, осредненные за год. Ряды фитопланктона даются также в виде биомасс отдельно диатомовых и перидиниевых видов (Дв, Рв), взятых непосредственно из материалов съёмок.

Оценка уровня разнообразия в видовом составе клеток фитопланктона H производилась по формуле статистической энтропии (индекс Шеннона):

$$H = - \sum P_i \log_2 P_i,$$

где P_i – относительные вероятности видов фитопланктона в выборке конкрет-

ного года. Ряды Дв, Рв и H любезно предоставлены автору В.А.Брянцевым.

Ряды с обозначениями М1 и М2 представляют величины биомассы медуз (*A.aurita*) в Черном море в млн. т по съёмкам в апреле – мае и июле – августе соответственно. Они взяты из [25]. Общий вылов хамсы в Черном море во время зимней путины (V_x , тыс.т) и ее запас (Z_x) – из [26]. $Z_{ш}$ – запас черноморского шпрота – неопубликованные данные А.Г.Архипова. T_b – среднегодовая температура в порту Батуми – показатель теплового фона восточной половины Черного моря [27].

В качестве параметров, характеризующих внешние воздействия на экосистему Черного моря, использованы показатели Q , q , A_{00} и A_{01} , A_{10} .

Значения фактического пресного стока Q (км^3) и безвозвратное водопотребление q (км^3), выраженное в данном случае разницей между естественным и фактическим пресным стоком в бассейне Черного моря, даны в [28].

Индексы A_{00} , A_{01} и A_{10} являются коэффициентами разложения приземного барического поля по полиномам Чебышева [29], характеризующие среднегодовое значение приземного атмосферного давления, зональный и меридиональный атмосферный перенос соответственно в пределах 16-точечного стандартного поля над Азово-Черноморским бассейном. Узлы сетки: от 40 до 46° с.ш. (через 2°) и от 28 по 40° в.д. (через 4°) [30]. При корреляции с показателями состояния галоклина использовались ряды средних годовых значений коэффициентов A_{00} , A_{01} и A_{10} . Значения коэффициентов вычислены при осреднении ежедневных данных.

Кроме корреляции синхронизированных рядов для показателей Q , q , A_{00} , A_{01} и A_{10} был выполнен анализ связи со сдвигом последних на один и два года назад (отмечено в подстрочном индексе, например Q_{-1} или A_{01-2}).

Статистически достоверными принимались связи с уровнем значимости связи $\geq 0,95$.

Обсуждение результатов. Различие значимости в экосистеме трех выделенных типов галоклина выявлены при корреляции рядов средних годовых значений его характеристик в восточной половине моря с соответствующими рядами некоторых показателей состояния черноморской экосистемы и факторами внешнего воздействия. В табл.1 – 3 представлены коэффициенты полученных статистически значимых связей.

Таких связей ввиду большого количества рядов оказалось сравнительно много, поэтому рассмотрим их групповые признаки. Характеристики типов галоклина, связанные с четырьмя и более показателями состояния экосистемы либо с четырьмя и более внешними факторами в таблицах затонированы, а наиболее связанные (четыре и более связи) с характеристиками галоклина внешние и экосистемные параметры выделены в таблице жирным шрифтом.

Прежде всего, отметим, что такие параметры, как Z_b , Z_x , $Z_{ш}$, A_{01} , A_{00-1} , A_{01-2} , ни с одной из характеристик галоклина статистически достоверной связи не показали. С показателями состояния экосистемы связаны исключительно градиенты солёности. С глубиной максимального градиента в северо-восточном подрайоне связана только биомасса медузы в апреле-мае (увеличение глубины залегания ведет к росту биомассы). Наибольшее влияние на рассматриваемые показатели экосистемы оказывают градиенты группировки ВВмор, ВН и ВНмор (характеристики зон глубоких и не глубоких антици-

клонов открытого моря) всей восточной половины моря (табл.1), в северо-восточном подрайоне – группировки ВН, ВНпр, ВНмор (характеристики зон глубоких антициклонов и прибрежных опусканий) и Is_{cp} (табл.2), в юго-восточном подрайоне – градиенты группировки ВВмор и ВНмор (табл.3).

Рост градиента в галоклине в зонах опускания вод (преимущественно связанных с глубокими антициклонами) ведет к росту биомассы фитопланктона (преимущественно перидиниевых видов), но к снижению разнообразия видового состава финопланктона, а также к росту уловов хамсы и понижению температуры воды в Батуми.

Характеристики галоклина группировки НВ (зоны подъема вод) дали единственную связь – с биомассой медузы в июле – августе. Биомасса медузы возрастает при уменьшении максимального градиента солености. Такая неравномерность распределения связей подтверждает наблюдения за распределением планктонных сообществ в 1992 – 1993 гг. [31]. Причины высокой продуктивности зон «с мощными нисходящими потоками» по-прежнему не ясны.

С внешними воздействиями в наибольшей степени связаны градиенты группировок ВВпр и ВВмор по восточной половине моря в целом (табл.1), в северо-восточном подрайоне – градиенты группировок ВВ, ВН, ВНпр, ВНмор и Is_{cp} (табл.2) и в юго-восточном – группировок ВН, ВНмор и Is_{cp} . Градиенты в этих зонах возрастают с ростом объемов речного стока, объемов безвозвратного изъятия стока, среднего атмосферного давления и усилением северных атмосферных переносов над Черным морем. В ряду рассмотренных связей внешних воздействий обнаружены статистически значимые связи и с глубиной положения галоклина. Значения глубины возрастают через 1 – 2 года после усиления восточных и северных атмосферных переносов и с уменьшением объемов пресного стока. Знак коэффициента корреляции в этих связях одинаков для районов с различными свойствами галоклина (как в зонах опускания, так и в зонах подъема вод).

В северо-восточном подрайоне, в отличие от юго-восточного, влияние рассмотренных внешних воздействий проявляется в большей степени. Главные отличия, на наш взгляд, состоят в отсутствии в юго-восточном районе достоверных связей внешних воздействий с глубиной положения галоклина в зонах с НВ типом сочетания характеристик (в зонах подъема вод) и в отсутствии влияния пресного стока.

Наличие достоверных связей с упреждающими на один и два года факторами внешнего воздействия позволяет прогнозировать величину максимального градиента солености и глубину его положения по данным об атмосферных переносах и речном стоке.

Из рассмотренных показателей состояния экосистемы в качестве наиболее зависимых от характеристик галоклина следует отметить Фв, Рв, H и Вх. Причем H в большей степени связан с максимальным градиентом солености в юго-восточном подрайоне, Вх – в северо-восточном. Из показателей внешнего воздействия наиболее связаны с характеристиками галоклина восточной половины моря q_{-2} , A_{10} . В северо-восточном подрайоне к этим показателям следует добавить Q_{-1} , Q_{-2} , q , q_{-1} , A_{01-1} , в юго-восточном – только A_{00} .

Выполненный анализ позволяет на уровне межгодовой изменчивости по признаку типа галоклина выделить зоны проявления внешних воздействий

Т а б л и ц а 1. Коэффициенты корреляции статистически достоверных связей показателей галоклина восточной половины Черного моря с показателями состояния черноморской экосистемы и факторами внешнего воздействия (пояснения в тексте)

группа	хар-ка	Фв	Дв	Рв	Н	М2	Вх	Т _Б	Q ₋₁	Q ₋₂	q	q ₋₁	q ₋₂	A ₀₀	A ₀₁₋₁	A ₁₀	A ₁₀₋₁	A ₁₀₋₂
ВВ	Is			0,65														
	Hs																	
ВВпр	Is			0,58	-0,57	-0,53				0,49	0,67	0,44	0,56	0,55				
	Hs																	
ВВмор	Is	0,53	0,65	0,73	-0,75				0,50	0,51	0,52		0,65					
	Hs																	
НВ	Is					-0,60				0,53	0,44							
	Hs								-0,47									
НВпр	Is																	
	Hs																	
НВмор	Is					-0,59				0,56	0,43							
	Hs								-0,50									
ВН	Is	0,47		0,57	-0,59			-0,36		0,38	0,64	0,52	0,61	0,57		-0,44	-0,34	
	Hs																	
ВНпр	Is	0,40		0,42	-0,50						0,65	0,50	0,64	0,61		-0,46		
	Hs																	-0,45
ВНмор	Is	0,55		0,71	-0,74		0,55	-0,42		0,47	0,73	0,57	0,64	0,49		-0,41		
	Hs																	
	Is _{ср}			0,56	-0,65		0,41			0,41	0,61	0,43	0,49	0,48				
	Hs _{ср}															-0,51		

Примечание: Не обнаружены связи с показателями: Zв, M1, Зх, Зш, Q, A₀₀₋₁, A₀₀₋₂, A₀₁, A₀₁₋₂.

Т а б л и ц а 2. Коэффициенты корреляции статистически достоверных связей показателей галоклина северо-восточной части Черного моря (подрайон 1) с показателями состояния черноморской экосистемы и факторами внешнего воздействия (пояснения в тексте).

группа	хар-ка	Фв	Дв	Рв	Н	М1	М2	Вх	Т _Б	Q	Q ₋₁	Q ₋₂	q	q ₋₁	q ₋₂	A ₀₀	A ₀₀₋₂	A ₀₁₋₁	A ₁₀
ВВ	Is			0,54	-0,62			0,51			0,76	0,47	0,68		0,46				
	Hs																		
ВВпр	Is										0,77	0,57	0,73						
	Hs									-0,64								-0,59	
ВВмор	Is										0,75	0,51							-0,60
	Hs																		0,61
НВ	Is						-0,65				0,41	0,43	0,41						
	Hs										-0,50							-0,38	
НВпр	Is						связи не оценивались ввиду недостаточной длины ряда												
	Hs																		
НВмор	Is						-0,64					0,48	0,43						
	Hs										-0,57								
ВН	Is	0,53	0,46	0,59				0,45	-0,43				0,72	0,48	0,61	0,51			-0,38
	Hs																	-0,41	0,34
ВНпр	Is	0,52	0,48	0,70					-0,43				0,68	0,56	0,80	0,49	0,44		
	Hs																		
ВНмор	Is	0,52		0,67	-0,63			0,47	-0,54			0,49	0,77	0,44	0,58				
	Hs											-0,51							
Is _{ср}		0,41		0,57	-0,52			0,41				0,42	0,71	0,51	0,65	0,49			
Hs _{ср}						0,57					-0,49	-0,37						-0,51	

Примечание: Не обнаружены связи с показателями: Zв, Зш, Зх, A₀₀₋₁, A₀₁, A₀₁₋₂, A₁₀₋₁, A₁₀₋₂.

Т а б л и ц а 3. Коэффициенты корреляции статистически достоверных связей показателей галоклина юго-восточной части Черного моря (подрайон 2) с показателями состояния черноморской экосистемы и факторами внешнего воздействия (пояснения в тексте).

группа	хар-ка	Фв	Дв	Рв	H	Вх	T_b	Q	Q_{-2}	q	q_{-1}	q_{-2}	A_{00}	A_{01-1}	A_{10}	A_{10-1}	A_{10-2}
ВВ	Is	0,62	0,50	0,59								0,52		- 0,39			
	Hs																- 0,45
ВВпр	Is	0,72				0,65	- 0,53	0,72				0,72					
	Hs																
ВВмор	Is	0,87	0,70	0,76	- 0,83					0,68		0,73					
	Hs														0,50		- 0,50
НВ	Is								0,59								
	Hs																
НВпр	Is					связи не оценивались ввиду недостаточной длины ряда											
	Hs																
НВмор	Is								0,58								
	Hs																
ВН	Is				- 0,60					0,50	0,51	0,52	0,51		- 0,47		
	Hs																
ВНпр	Is				- 0,52					0,44			0,44		- 0,46		
	Hs																- 0,60
ВНмор	Is	0,48		0,68	- 0,76	0,59			0,46	0,69	0,62	0,62	0,51		- 0,38		
	Hs																
Is _{ср}				0,51	- 0,65	0,41				0,56		0,44	0,47	- 0,39		- 0,35	
Hs _{ср}																	

Примечание: Не обнаружены связи с показателями: Зв, М1, М2, Зш, Зх, Q_{-1} , A_{00-1} , A_{00-2} , A_{01} , A_{01-2} .

и внутрисистемных взаимосвязей. Это позволит лучше понять механизмы функционирования черноморской экосистемы.

Представление о характерных значениях полученных средних годовых величин исследуемых параметров галоклина и тенденциях их многолетних изменений можно получить из графиков, представленных на рис.2.

Для группировки ВВ (глубокое положение высокого значения максимального градиента), характеризующей зоны не глубоких антициклонов, можно отметить (рис.2, *а*) рост глубины положения галоклина (в интервале 100 – 130 м) до середины 70-х гг. (более интенсивный в юго-восточном подрайоне), затем ее уменьшение (более интенсивное в северо-восточном подрайоне). Величина максимального градиента солености с середины 70-х до середины 80-х гг. возрастает (более интенсивно в северо-восточном подрайоне) в интервале 0,035 – 0,055 ‰/м, затем к середине 90-х гг. уменьшается.

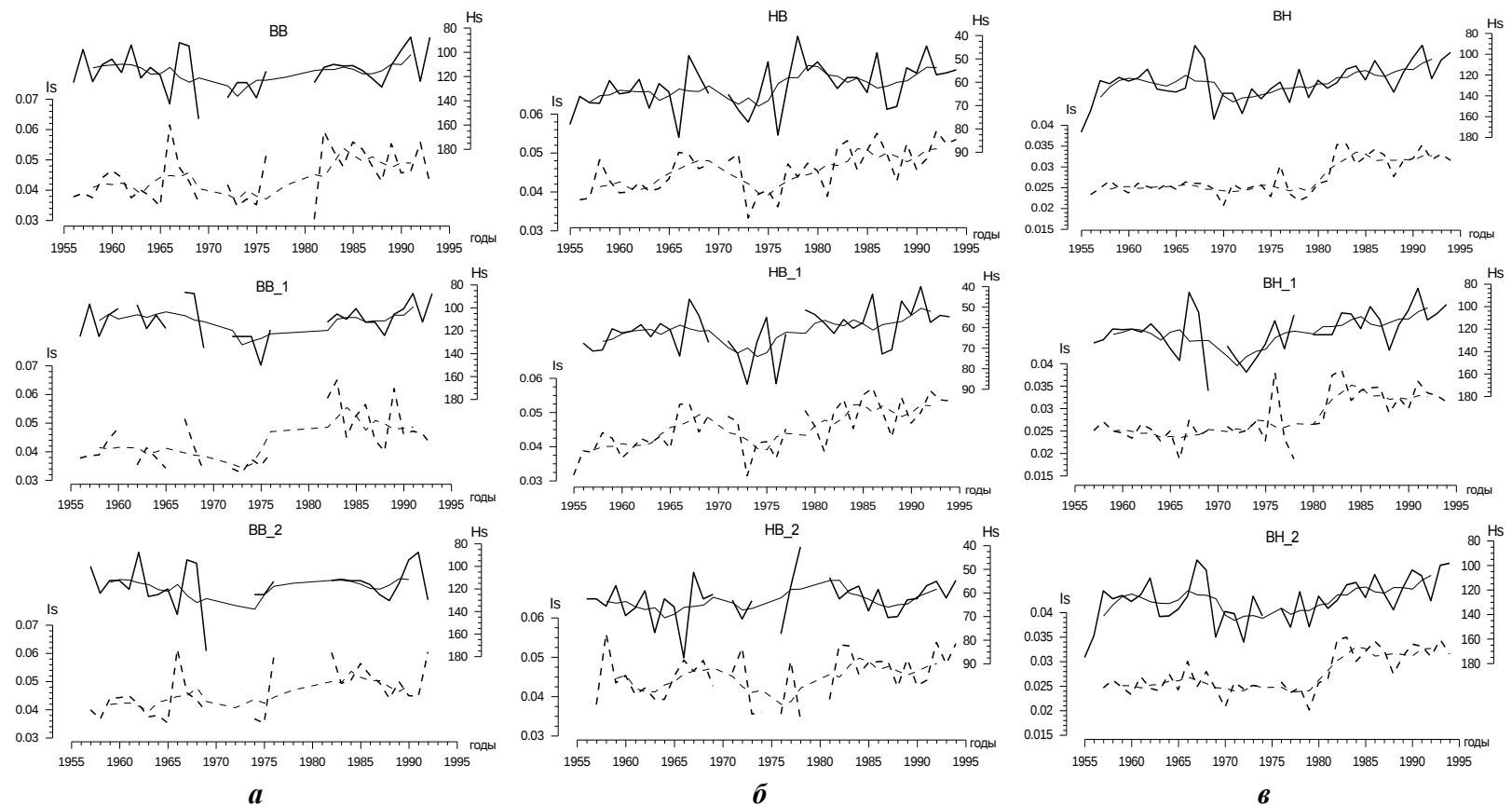
Для характеристик группировки НВ (высокое положение высокого значения максимального градиента солености), характеризующей зоны подъема вод следует отметить (рис.2, *б*) наиболее четко выраженный колебательный процесс (2- – 3 цикла за исследуемый период) не совпадающий по фазе для глубины и градиента. Изменения глубины происходят преимущественно в пределах от 45 до 75 м, градиента – от 0,035 до 0,050. Особенно интенсивно эти изменения происходят с середины 70-х до середины 80-х гг. в обоих подрайонах. Для северо-восточного подрайона для исследуемого периода в целом характерна тенденция уменьшения глубины и роста градиента.

Для группировки ВН (глубокое положение низкого значения максимального градиента), характеризующей в Черном море зоны глубоких антициклонов и прибрежных опусканий вод, следует отметить (рис.2, *а*) устойчивую для обоих подрайонов тенденцию уменьшения глубины залегания в пределах 100 – 140 м с начала 70-х гг. и до конца исследуемого периода. Отличительной чертой изменений значений градиента в этом типе галоклина является их пороговый характер. До начала 80-х гг. относительная стабильность поддерживалась в пределах 0,023 – 0,027, в начале 80-х гг. произошел резкий (в течение 3 – 4 лет) рост градиента и его стабилизация на уровне 0,032 – 0,034 ‰/м.

Таким образом, можно утверждать, что для рассмотренных характеристик основного черноморского галоклина, их группировок и двух выделенных подрайонов существуют различные характерные особенности межгодовых изменений. Это указывает на различия условий, определяющих изменения значений максимального градиента и глубины его положения, а также на определенную обособленность зон с различными сочетаниями этих характеристик.

В дальнейшем представляется целесообразным исследовать внутреннюю структуру рядов, определить характерные периоды изменений характеристик галоклина выделенных типов совместно с тенденциями связанных с ними биотических показателей черноморской экосистемы и внешних воздействий, а также изучить связи изменений, происходящих в галоклине в различных динамических зонах и географических районах Черного моря.

Заключение. Выполненный анализ позволил в рамках межгодовых изменений определить роль в черноморской экосистеме трех типов основного



Р и с . 2 . Многолетние изменения (сглажены 11-летним скользящим осреднением) максимального градиента солености (I_s , ‰/м) и глубины его положения (H_s , м) в основном черноморском галоклине для ВВ- (а), НВ- (б), ВН-типа (в) их сочетаний. ВВ, НВ, ВН – восточная половина моря, ВВ_1 и ВВ_2, НВ_1 и НВ_2, ВН_1 и ВН_2 – северо-восточный и юго-восточный подрайоны.

галоклина, характеризующих зоны подъема и опускания вод (зон антициклонической и циклонической завихренности течений).

В процессе исследования двух характеристик галоклина: максимального градиента солености и глубины его залегания, выявлено преобладание влияния в экосистеме градиента в зонах опускания вод (преимущественно связанных с глубокими антициклонами) за пределами прибрежной зоны 20 км. Это указывает на их первостепенную роль в продукционных процессах восточной половины Черного моря. Рост градиента в этих зонах ведет к росту биомассы фитопланктона (преимущественно перидиниевых видов), к снижению разнообразия видового состава фитопланктона, а также к росту вылова хамсы и понижению температуры воды в Батуми. Градиенты в этих зонах возрастают с ростом объемов речного стока, объемов безвозвратного изъятия стока, среднего атмосферного давления и усилением северных атмосферных переносов над Черным морем.

В зонах подъема вод выявлена связь только величины максимального градиента солености с биомассой медузы *A.aurita* в июле – августе.

Ни с одной из характеристик галоклина статистически достоверной связи с биомассой зоопланктона, запасов хамсы и шпрота не обнаружено.

Значения глубины расположения галоклина (как в зонах опускания, так и в зонах подъема вод) возрастают через 1 – 2 года после усиления восточных и северных атмосферных переносов и с уменьшением объемов пресного стока.

Сопоставление двух рассмотренных подрайонов относительно количества выявленных связей в целом позволяет отметить северо-восточный подрайон, хотя в зоне неглубоких антициклонических вихрей более информативен галоклин юго-восточного подрайона.

Наличие достоверных связей с упреждающими на один и два года факторами внешнего воздействия позволяет прогнозировать величину максимального градиента солености и глубину его положения по данным об атмосферных переносах и речном стоке.

В многолетних тенденциях изменений исследованных характеристик следует выделить ослабление галоклина и увеличение глубины его положения к середине 70-х гг., что привело к вспышке биомассы медузы *A.aurita*, и последовавший за тем до середины 80-х гг. рост градиента солености, что привело к росту биомассы фитопланктона, снижению его разнообразия. Можно предположить, что рост градиента связан с развитием малых антициклонических вихрей и с ослаблением активности глубоких антициклонов, что повлияло на снижение температуры воды в Батуми и рост вылова хамсы.

Уменьшение глубины залегания галоклина наблюдалось с начала 70-х гг., причем наиболее интенсивно в зонах глубоких антициклонов.

Таким образом, полученные результаты позволяют считать оправданным введение нового подхода к использованию характеристик галоклина в анализе механизмов функционирования черноморской экосистемы, в определение роли зон опускания и подъема вод в северо-восточном и юго-восточном районах моря. Можно утверждать, что для рассмотренных характеристик основного черноморского галоклина, их группировок и двух выделенных подрайонов существуют различные характерные особенности межгодовых изменений.

В дальнейшем представляется целесообразным исследовать внутрен-

ную структуру рядов, и характерные периоды изменений характеристик галоклина выделенных типов совместно с тенденциями связанных с ними биотических показателей черноморской экосистемы и внешних воздействий, а также изучить взаимодействие изменений, происходящих в галоклине в различных динамических зонах и географических районах Черного моря.

Все это позволит по-новому подойти к прогнозированию био- и рыбопродуктивности вод моря с учетом изменения активности различного рода перемещающихся вихревых образований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зайцев Ю.П.* Экологическое состояние шельфовой зоны Черного моря у побережья Украины // Гидробиологический журнал. – 1992. – т.28, № 4. – С.3-18.
2. *Чащин А.К.* Основные результаты исследований пелагических ресурсов Азово-Черноморского бассейна // Тр. ЮгНИРО. – 1997. – т.43. – С.60-67.
3. *Брянцев В.А., Брянцева Ю.В.* Многолетние изменения в фитопланктоне глубоководной части Черного моря в связи с естественными и антропогенными факторами // Экология моря. – 1999. – вып.49. – С.24-27.
4. *Брянцев В.А.* Информация в форме суммарных аномалий атмосферной циркуляции и ее воздействие на экосистему Черного моря // Доп. НАН України. – 1996. – № 9. – С.163-168.
5. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. т.4. Черное море. вып.1. Гидрометеорологические условия / Под ред. А.И.Симонова и Э.И.Альтмана.* – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 430 с.
6. *Бивертон Р., Холт С.* Динамика численности промысловых рыб. – М., 1969. – 248 с.
7. *Виноградов М.Е., Елизаров А.А., Моисеев П.А.* Биологическая продуктивность динамически активных зон открытого океана // Исследования океана (II съезд советских океанологов). – М.: Наука, 1984. – С.107-127.
8. *Дёмин Ю.Л., Елизаров А.А., Щербинин А.Д.* Океанографические условия, определяющие пространственную неравномерность биопродуктивности вод на примере Атлантического океана / Океанографические исследования промысловых районов Мирового океана. – М.: Пищевая промышленность, 1980. – С.27-49.
9. *Parsons T. R., Takahashi M., Hargrave B.* Biological oceanographic processes. – Pergamon Press, 1977. – 332 p.
10. *Еремеев В.Н., Иванов В.А., Тужилкин В.С.* Климатические черты внутригодовой изменчивости гидрофизических полей шельфовой зоны Черного моря. – Севастополь, 1991. – 53 с. (Препринт / АН УССР, МГИ).
11. *Голубев Ю.Н., Тужилкин В.С.* Некоторые аспекты синоптической изменчивости гидрофизических полей Черного моря. – Севастополь, 1990. – 73 с. (Препринт / АН УССР, МГИ).
12. *Блатов А.С., Булгаков Н.П., Иванов В.А. и др.* Изменчивость гидрофизических полей Черного моря. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 238 с.
13. *Панов Б.Н., Спиридонова Е.О.* Гидрометеорологические предпосылки формирования промысловых скоплений и миграций черноморской хамсы в юго-восточной части Черного моря // Океанология. – 1998. – т.38, № 4. – С.573-584.
14. *Панов Б.Н.* Связи океанографических характеристик вод юго-восточной части Черного моря // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь, 2008. – С.282-286.
15. *Барышевская Е.В.* Соленость как показатель динамики вод поверхностного 300-метрового слоя Черного моря // Тр. БГМО ЧАМ. – 1966. – вып.4. – С.20-33.
16. *Еремеев В.Н., Иванов Л.И., Коновалов С.К., Самодуров А.С.* Роль потоков ки-

- слорода, сульфидов, нитратов и аммония в формировании гидрохимической структуры основного пикноклина и анаэробной зоны Черного моря // Морской гидрофизический журнал.– 2001.– № 1.– С.64-82.
17. Коновалов С.К. Субкислородная зона Черного моря: Генезис и роль в формировании пространственно-временной изменчивости биохимической структуры вод основного пикноклина: Автореф. дисс...уч. ст. д. геогр. н.– Севастополь: МГИ НАН Украины, 2001.– 36 с.
 18. Еремеев В.Н., Коновалов С.К., Романов А.С. Исследование формирования вертикальной структуры полей биогенных элементов в водах Черного моря методом пространственного изопикнического анализа // Морской гидрофизический журнал.– 1996.– № 6.– С.23-38.
 19. Филипенко Д.К., Крупаткина Д.К. Первичная продукция в Черном море // Океанология.– 1993.– т.33, № 1.– С.97-104.
 20. Волков И.И., Виноградов М.Е., Лукашов Ю.Ф. О слое сосуществования кислорода и сероводорода в глубоководной части Черного моря // Докл. РАН.– 1990.– т.314, № 2.– С.475-479.
 21. Ефимов В.В. Изменение климата Черноморского региона // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005.– вып.13.– С.322-334.
 22. Белокопытов В.Н., Шокурова И.Г. Оценки междесятилетней изменчивости температуры и солёности в Черном море в период 1951-1995 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005.– вып.12.– С.11-20.
 23. Кныш В.В., Кубряков А.И., Моисеенко В.А., Белокопытов В.Н. и др. Тенденции в изменчивости термохалинных и динамических характеристик Черного моря, выделенные по результатам реанализа за период 1985-1994 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008.– вып.16.– С.279-290.
 24. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР / Под ред. А.И.Симонова, А.И.Рябинина, Д.Е.Гершановича. т.IV. Черное море. Вып.2.– С.-Пб.: Гидрометеоиздат.– 1992.– 220 с.
 25. Гришин А.Н., Коваленко Л.А., Сороколит Л.К. Трофические отношения в планктонных сообществах Черного моря до и после появления гребневика *mnemiopsis leidyi* (A.Agassiz) // Тр. ЮгНИРО.– 1994.– т.40.– С.38-44.
 26. Prodanov K., Mikhilov K., Daskalov G., et al Environmental management of fish resources in the Black Sea and their rational exploitation (preliminary version // FAO Fisheries Circular.– 1966.– № 909.– P.34-48.
 27. Брянец В.А. О возможности сезонного прогноза теплового фона Черного моря // Экспресс-информация ЦНИИТЭИРХ.– М., 1977.– вып.8.– С.1-5.
 28. Николенко А.В., Решетников В.И. Исследование многолетней изменчивости баланса пресных вод Черного моря // Водные ресурсы.– 1991.– № 1.– С.20-28.
 29. Кудрявая К.И., Серяков Е.М., Скриптунова Л.И. Морские гидрологические прогнозы.– Л.: Гидрометеоиздат, 1974.– 310 с.
 30. Брянец В.А. Методические рекомендации по гидрологическому прогнозированию для основных объектов промысла в Черном море.– Керчь: АзЧерНИРО, 1987.– 41 с.
 31. Грузов Л.Н., Люмкис П.В., Нападовский Г.В. Исследования пространственно-временной структуры планктонных полей северной половины Черного моря в 1992-1993 гг. // Исследование экосистемы Черного моря.– 1994.– вып.1.– С.94-113.

Материал поступил в редакцию 15.10.2010 г.