

Водные биоресурсы и среда обитания
2022, том 5, номер 4, с. 7–17
<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru
doi: 10.47921/2619-1024_2022_5_4_7
ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online



Aquatic Bioresources & Environment
2022, vol. 5, no. 4, pp. 7–17
<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru
doi: 10.47921/2619-1024_2022_5_4_7
ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online

Экологические проблемы и состояние водной среды

УДК 551.465.46(262.5)

ВЛИЯНИЕ ЛЕТНИХ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ В КРЫМУ НА АПВЕЛЛИНГОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ В РАЙОНЕ ФЕОДОСИЙСКОЙ И ДВУЯКОРНОЙ БУХТ

© 2022 А. Т. Кочергин, В. А. Окуневиц

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»),
Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону 344002, Россия
E-mail: kochergin_a_t@azniirkh.ru*

Аннотация. Зоны апвеллинга характеризуются высокой биологической продуктивностью, что отражается как на успешности промысла шпрота, так и на развитии прибрежных зон аквакультуры. На основе спутниковых снимков поверхности моря в районе Феодосийской и Двужкорной бухт определены периоды слабовыраженных и интенсивных апвеллингов в июне–сентябре 2001–2021 гг. Выявлено, что наиболее часто апвеллинговые явления возникали в июне и июле при относительно прогревом поверхностном и холодном подповерхностном слоях. Слабовыраженные апвеллинги чаще всего формировались в августе при значительной глубине прогретых вод и выходе к поверхности относительно теплых неконтрастных с поверхностными вод, а интенсивные апвеллинги — в сентябре, когда разность температур центра и окружающих вод достигала 9,5 °С. Слабые апвеллинги, когда температура поверхностных вод в них не опускалась ниже 15,5 °С, отмечались практически во все годы; интенсивные, с понижением температур до 12 °С, в 2003–2007 и 2011–2021 гг. при отсутствии таковых в августе. Степень развитости апвеллингов в значительной мере определялась порывами ветра в период их действия, а не самой скоростью ветра, которая в наблюдаемый период была в основном ниже среднегодовой в соответствии с ее отрицательным трендом последних двух десятилетий. Преобладающее направление ветра как в период апвеллинга, так и за три дня до него — западных румбов. Выделено три характерных диапазона лет межгодовой изменчивости атмосферных и связанных с ними апвеллинговых процессов. Показано, что апвеллинговые явления со значимым коэффициентом корреляции зависят от интенсивности зонального атмосферного переноса.

Ключевые слова: апвеллинги, температура воды, порывы ветра, атмосферные переносы

EFFECT OF SUMMER ATMOSPHERIC PROCESSES IN CRIMEA ON THE UPWELLING PHENOMENA IN THE AREA OF FEODOSIA GULF AND DVUYAKORNAYA BAY

A. T. Kochergin, V. A. Okunevich

*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI "VNIRO"),
Azov-Black Sea Branch of the FSBSI "VNIRO" ("AzNIIRKH"), Rostov-on-Don 344002, Russia
E-mail: kochergin_a_t@azniirkh.ru*

Abstract. Upwelling areas are characterized by high biological productivity, which influences both the performance of sprat fishing and the development of coastal aquaculture. Based on the satellite images of the sea surface, the time ranges for weak and strong upwelling activity in the area of Feodosia Gulf and Dvuyakornaya (Two-Anchors) Bay have been identified for June–September of 2001–2021. It has been found out that the upwelling phenomena were the most frequent in June and July in the presence of relatively warmed-up surface and cold subsurface water layers. Mildly pronounced upwellings most often developed in August, when the water warmed to considerable depth, and relatively warm waters, not drastically differing in temperature from the surface ones, entered the surface layer. Strong upwellings occurred mostly in September, when the temperature difference between the center and the surrounding waters reached 9.5 °C. Weak upwellings, where the temperature of surface waters within did not drop lower than 15.5 °C, were recorded in almost all years; strong ones, with the temperature decrease down to 12 °C, were observed in 2003–2007 and 2011–2021 in various months except for August. To a large extent, the strength of upwellings depended upon the gusts of wind during their activity period, and not on the wind velocity itself, which, during the investigated period, was predominantly lower than the average long-term one, in line with its negative trend in the recent two decades. The prevailing wind direction, both during an upwelling phenomenon and three days prior, is western. Three characteristic year ranges of the inter-annual variability of the atmospheric and related upwelling processes have been identified. It is shown that upwelling phenomena depend on the intensity of zonal atmospheric transfer with a significant correlation coefficient.

Keywords: upwellings, water temperature, wind gusts, atmospheric transfers

ВВЕДЕНИЕ

Черноморский апвеллинг, как и апвеллинг в других морях и океанах, обусловлен компенсационным притоком глубинных вод к берегу при оттоке поверхностных вод в мористую область вследствие сгонных ветров или течений. Подъем вод более интенсивен в прибрежной зоне. Районы постоянно действующего активного черноморского апвеллинга отличаются высокой биологической продуктивностью и чаще всего расположены у берега (рис. 1) [1].

Большая интенсивность апвеллинга в Черном море, по сравнению с апвеллингами других замкнутых водоемов, объясняется особенностями вертикальной гидрологической структуры вод, а также более резкими горизонтальными градиентами температуры, солености и плотности воды во фронтальной зоне апвеллинга. В то же время прибрежный апвеллинг Черного моря, по сравнению с апвеллингом в открытом океане, характе-

ризуется меньшими пространственными масштабами, подъемом вод со значительно меньших глубин, но большей интенсивностью.

Под влиянием вдольбереговых ветров возникают сгонно-нагонные явления и процессы апвеллинга, которые приводят к колебаниям уровня моря и быстрым изменениям температуры поверхности воды (ТПВ) от 20–25 °C до 8–12 °C [2]. Развитие местного ветрового сгона или прибрежного апвеллинга у крымского побережья происходит при преобладании ветров западного направления [3]. Максимальные различия температуры воды между центром апвеллинга и окружающими водами вдоль крымского побережья составляют 3–4 °C.

В районе Крыма наиболее часто апвеллинги наблюдаются вдоль его западного побережья, которое характеризуется довольно широким шельфом. Обширное мелководное пространство обуславливает быструю реакцию водной толщи на изменение ветров. Здесь зоны подъема вод прослежи-

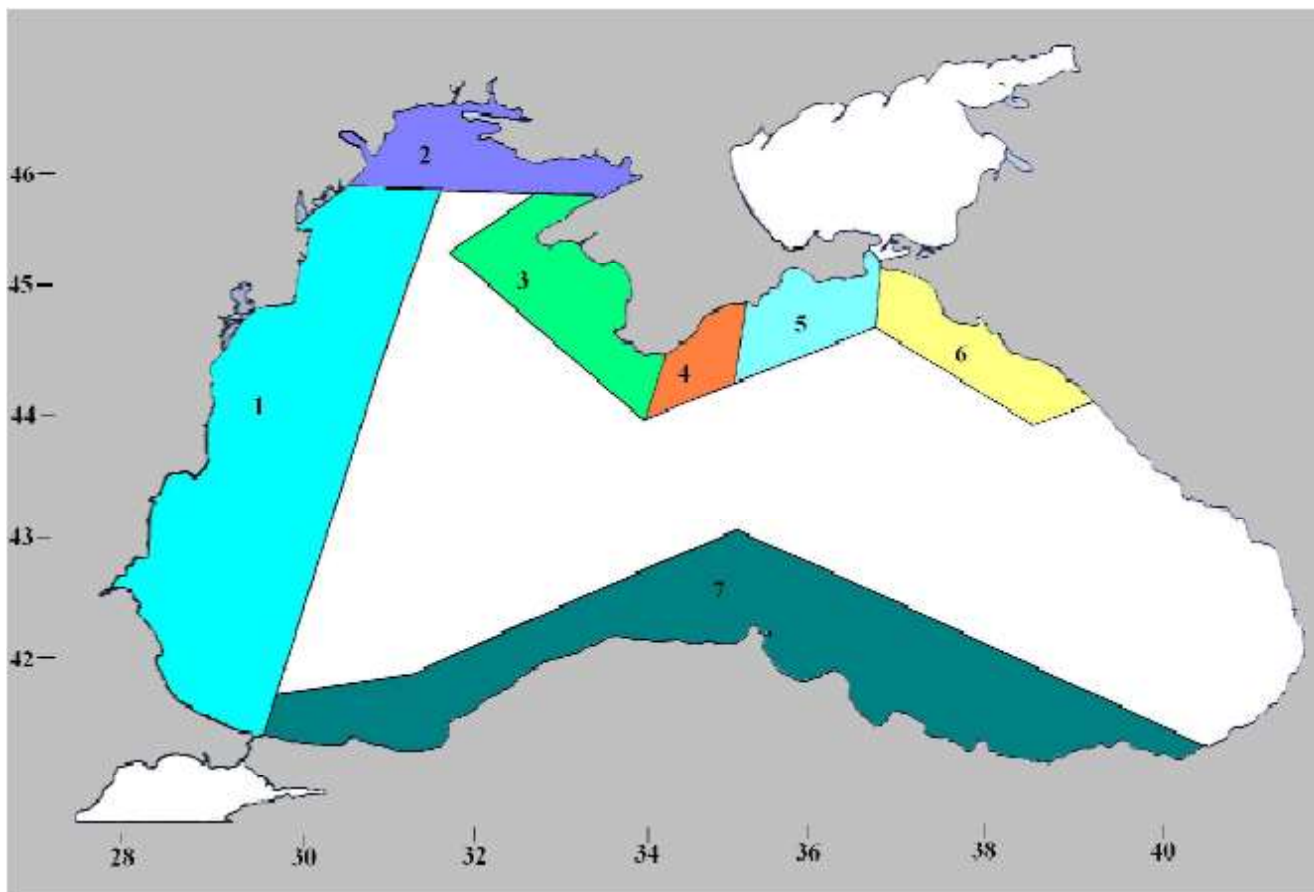


Рис. 1. Карта-схема районов апвеллинга в Черном море: 1 — западный; 2 — север северо-западного; 3 — восток северо-западного; 4 — ялтинский; 5 — феодосийский; 6 — новороссийский

Fig. 1. Outline map of upwelling areas in the Black Sea: 1 — western; 2 — north of northwestern; 3 — east of northwestern; 4 — Yalta; 5 — Feodosian; 6 — Novorossiysk

ваются от 1 до 18 дней в месяц. Реже зоны подъема вод отмечаются в районе Феодосии и значительно реже — в районе Ялты, где в отдельные годы отмечалось отсутствие апвеллингов. В период с мая по сентябрь в 1988–2013 гг. наибольшее количество дней с апвеллингом отмечалось в последние 3 года и достигало на северо-западе Крыма 46–95, в районе Ялты — 4–35 и Феодосии — 51–56. Анализ повторяемости апвеллингов показал, что в северо-западном районе они преобладали в июле и августе, в районе Ялты — в июне, у Феодосии — в июле [1].

Ширина полосы прибрежных черноморских апвеллингов в зависимости от периода развития колеблется в пределах от 2 до 90 миль; наибольшая ширина распространения апвеллингов отмечена на северо-западе Крыма, в районах Ялты и Феодосии. Среднемесячные площади распространения апвеллингов в районах Крыма составляют

2150 км² вдоль западного побережья, 1469 км² в районе Ялты и 1062 км² — Феодосии.

Существенной особенностью черноморских апвеллингов являются локальные выходы холодных вод от побережья в сторону открытого моря в виде струй с фронтальными границами протяженностью до 70–90 миль. Наиболее часто они наблюдаются в районе м. Тарханкут, м. Сарыч и Феодосии и ориентированы, соответственно, на северо-запад, юго-запад и юг. Наличие этих выходов приводит к тому, что воды с минимальными значениями температуры оказываются на большом удалении от берега.

В результате анализа временной изменчивости «холодозапаса» выявлена 2–3-летняя и 10–12-летняя цикличность в колебаниях интенсивности апвеллинга практически для всех районов моря [1]. Наличие ярко выраженной квазидвухлет-

ней гармонике в межгодовом ходе характеристик апвеллинга связано с отчетливым квазидвухлетним циклом межгодового хода параметров метеорологических процессов, что свидетельствует о значимой роли глобальных атмосферных факторов в формировании апвеллинга в Черном море. 10–12-летняя цикличность в колебаниях интенсивности апвеллинга связана с 11-летней цикличностью межгодового хода атмосферного давления в районе Крымского полуострова и с аналогичной цикличностью солнечной активности [4]. Прибрежный апвеллинг по всему периметру Черного моря главным образом обусловлен влиянием крупномасштабных атмосферных процессов региона и в значительно меньшей степени зависит от режима локальных ветров и систем локальных прибрежных течений [1, 5].

В период 1988–2013 гг. практически повсеместно на прибрежной акватории Черного моря наиболее мощные апвеллинги по критерию «холодозапаса» отмечены в 1993 и 2003 гг., в то время как наименее интенсивные — в 1992 и 2002 гг. [1].

Апвеллинг оказывает определенное влияние на промысел шпрота у берегов Крыма. Шпрот, являясь холодолюбивой рыбой, предпочитает придерживаться слоев воды с температурой 7–18 °С и встречается на всей акватории Черного моря. Комплексный мониторинг промысла черноморского шпрота у берегов Крыма в июле–сентябре 2019 г. позволил установить, что в период летнего нагула на шельфе и в прибрежной зоне шпрот формирует более плотные скопления под влиянием располагающихся у шельфового склона синоптических антициклонических вихрей, признаком наличия которых становится понижение температуры поверхностных вод в прибрежной зоне в результате усиления западных атмосферных переносов. Наличие статистически значимых упреждающих связей суточных уловов шпрота и абиотических показателей условий промысла позволяет рассчитывать на возможность краткосрочного прогнозирования его эффективности в летние месяцы у берегов Крыма [6].

В данной работе рассмотрены температурные условия при апвеллинговых явлениях в районе Феодосийской и примыкающей к ней Двужорной бухт, ветровые характеристики (как приведшие к подъему вод в прибрежной зоне, так и во время самого явления) и связь зональных и меридио-

нальных атмосферных переносов с интенсивностью апвеллингов в июне–сентябре 2001–2021 гг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалами для исследований послужили 116 ежедневных спутниковых снимков (искусственные спутники Земли серии NOAA) температуры поверхности моря с апвеллинговыми процессами в районе Феодосийской и примыкающей к ней Двужорной бухт за период июнь–сентябрь 2001–2021 гг.; выборка была сделана из нескольких тысяч проанализированных снимков, размещенных на сайте Морского портала МГИ [7].

Согласно [1], наличие апвеллинга определялось косвенно по картам температуры поверхности моря по разнице между минимальной температурой воды в прибрежной зоне и температурой окружающих вод в пределах ближайших 15–20 км. Если эта разница превышала 1 °С и сохранялась на 2–3 снимках, то явление рассматривалось как результат прибрежного апвеллинга. Зоной апвеллинга считалась акватория с относительно низкими значениями температуры поверхности моря, ограниченная внешней границей температурного фронта.

Скорость и направление ветра как непосредственно в дни апвеллинга (116 ситуаций), так и за три дня до него (348 ситуаций), когда условно формировались ветровые условия для начала его действия, определялись по данным метеостанции Феодосия, полученным на сайте gr5.ru (ООО «Расписание погоды» (Санкт-Петербург) — фактическая погода с сервера данных международного обмена от NOAA (США)) [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В июне зафиксирован 41 из 116 случаев апвеллинга в июне–сентябре 2001–2021 гг., т. е. 35,5 %.

Эпизоды слабого развития апвеллинга (26,8 % от всех эпизодов этого месяца — табл. 1), когда разница ТПВ в его центре и окружающих водах (ΔT) была 1,5–2,0 °С, наблюдались в 2004, 2006–2008 и 2015–2017 гг. как при относительно низких ТПВ — 15,0–16,5 °С, так и высоких — 24,0–25,0 °С. Интенсивно развитые апвеллинги (9,7 % эпизодов) с разницей ТПВ 5,0–5,5 °С отмечались в 2005, 2011 и 2012 гг., когда ТПВ в зоне апвеллинга была в диапазоне 15,0–19,0 °С в относительно холодных водах и 21,0–24,5 °С в относительно прогретых.

Таблица 1. Характеристики ТПВ и скорости ветра при апвеллинговых процессах в июне–сентябре 2001–2021 гг.
Table 1. Characterization of water surface temperature and wind velocity during the upwelling processes in June–September, 2001–2021

ΔT	Июнь June				Июль July				Август August				Сентябрь September				Июнь–сентябрь June–September									
	%	W	Wп	W*	Wп*	%	W	Wп	W*	Wп*	%	W	Wп	W*	Wп*	%	W	Wп	W*	Wп*						
1,5	14,6	1,4	3,0	1,7	6,0	14,2	2,1	5,0	2,6	8,0	47,4	2,5	5,0	2,5	11,0	20,0	1,9	4,0	1,7	4,0	20,5	2,0	5,0	2,9	11,0	
2,0	12,2	3,3	7,0	3,0	9,0	37,1	2,5	10,0	2,5	11,0	36,7	2,0	5,0	2,2	7,0	10,0	2,7	7,0	1,8	6,0	23,9	2,5	110,0	2,6	11,0	
2,5	29,3	2,7	8,0	2,5	8,0	20,0	2,8	6,0	2,5	8,0	5,3	3,3	6,0	2,8	8,0	30,0	3,4	9,0	1,1	6,0	22,2	3,1	9,0	2,5	8,0	
3,0	14,6	2,1	6,0	2,4	8,0	14,2	3,0	8,0	2,8	8,0	5,3	1,5	2,0	2,8	5,0	15,0	2,2	4,0	2,6	6,0	12,8	2,2	8,0	2,7	8,0	
3,5	2,4	2,3	6,0	2,6	7,0	2,9	2,0	3,0	3,7	4,0	5,3	1,9	3,0	2,9	13,0	5,0					3,4	2,1	6,0	3,1	13,0	
4,0	14,6	2,4	6,0	2,2	8,0	2,9	1,7	3,0	1,9	4,0											6,0	2,1	6,0	2,1	8,0	
4,5	2,4	1,9	4,0	3,0	8,0																0,9	1,9	4,0	3,0	8,0	
5,0	7,3	2,0	7,0	2,2	6,0	2,9	2,0	5,0	2,4	4,0						10,0	3,6	8,0	2,8	9,0	5,1	2,5	8,0	2,7	9,0	
5,5	2,4	1,6	4,0	1,9	4,0	2,9	1,9	5,0	2,8	5,0											1,7	1,8	5,0	2,4	5,0	
6,0																										
6,5																	5,0	2,4	7,0	4,2	8,0	0,9	2,4	7,0	4,2	8,0
7,0						2,9	1,9	3,0	2,3	4,0											0,9	1,9	3,0	2,3	4,0	
9,5																5,0	11,8	5,0	22,5	55,0	0,9	1,8	5,0	2,5	5,0	
%																	16,3								100	
n																	19									116

Примечание: ΔT — разность ТПВ в центре апвеллинга и окружающих водах; W и Wп — соответственно средняя скорость и максимальные порывы ветра (в м/с) в период апвеллинга; W* и Wп* — соответственно средняя скорость и максимальные порывы ветра (в м/с) за 3 дня до апвеллинга; % — процент от общего количества случаев апвеллинга (серым цветом выделен максимальный); n — количество случаев апвеллинга в данный месяц
 Note: ΔT is the difference of water surface temperatures in the upwelling center and surrounding waters; W and Wп are the average wind velocity and maximum wind gusts (in m/s), respectively, during the upwelling season; W* and Wп* are the average wind velocity and maximum wind gusts (in m/s), respectively, 3 days before the upwelling; % is the percentage of the total number of upwelling events (the highest one is indicated by grey color); n is the number of upwelling events in a given month

Средняя за периоды июньских апвеллингов и за три дня до них скорость ветра составляла при низкой их интенсивности соответственно 1,4–3,3 (порывы 3,0–7,0) и 1,7–3,0 (порывы 6,0–9,0) м/с, а при высокой интенсивности — 1,6–2,0 (порывы 4,0–7,0) и 1,9–2,2 (порывы 4,0–6,0) м/с — табл. 1. Фактическая скорость ветра могла превышать среднюю на 3,4–3,6 м/с.

Направление ветра как во время явления, так и за три дня до него — преимущественно западных румбов; повторяемость таких ветров, соответственно, около 53 и 57 % случаев.

В июле отмечено 36 случаев апвеллинга — 31,0 % от их общего числа.

Слабый апвеллинг при разнице ТПВ в его центре и окружающих водах в 1,5–2,0 °С наблюдался в 2005–2006, 2008, 2013 и 2015–2021 гг. как при относительно низких ТПВ — 20,5–22,0 °С, так и при повышенных — 26,5–28,0 °С. Более выраженные апвеллинги с разницей ТПВ 5,0–7,0 °С отмечались в 2003–2004 и 2013–2018 гг. при ТПВ в зоне апвеллинга 17,0–21,5 °С при относительно холодных водах и 22,0–25,5 °С при теплых. Доля слабых апвеллингов от общего числа июльских составляла 51,3 % (более половины), более выраженных — 10,8 % (табл. 1).

Средняя скорость ветра во время апвеллингов и за три дня до них находилась, соответственно, в диапазоне 2,1–2,5 (порывы 5,0–10,0) и 2,5–2,6 (порывы 8,0–11,0) м/с при их слабом проявлении, 1,9–2,0 (порывы 3,0–5,0) и 2,3–2,8 (порывы 4,0–5,0) м/с — при интенсивном (табл. 1). Фактическая скорость ветра в случае слабого апвеллинга могла превышать среднюю в отдельных случаях до 2,8 м/с, интенсивного — не более чем на 0,5 м/с.

В июле преобладающее направление ветра как во время апвеллингов, так и за три дня до них — западных румбов с повторяемостью около 52 и 86 % случаев, соответственно.

В августе число апвеллингов — 19 (16,3 % от общего числа случаев — табл. 1) — было примерно вдвое меньшим, чем в июне и июле. Их степень выраженности также была ниже: разность ТПВ центра и окружения не превышала 3,5 °С (против 5,5 °С в июне и 7,0 °С в июле). Это объясняется, очевидно, прогреваемостью вод в августе до значительно больших глубин и низкой разницей температур между поверхностными и подповерхностными, выклинивающимися при апвеллинге к поверхности, слоями. В июне и, в еще большей

степени, в июле эта разница более существенна, что и проявляется при апвеллинговом подъеме более холодных подповерхностных вод к прогретой поверхности.

Случаи слабого проявления апвеллинга в этом месяце (а это 84,1 % — табл. 1) при разнице ТПВ его центра и окружающих вод 1,5–2,0 °С наблюдались в 2001, 2006, 2009, 2013, 2015, 2017 и 2019–2021 гг. при относительно низких ТПВ — 22,5–23,5 и высоких — 28,0–29,5 °С. Сравнительно развитые апвеллинги с разницей ТПВ 3,0–3,5 °С (10,6 %) фиксировались в 2003 и 2013 гг.; ТПВ в их центре и непосредственном окружении составляла 22,5–25,5 °С в относительно холодных водах и 24,5–26,0 °С в относительно прогретых.

В августе средняя за периоды апвеллингов и за три дня до них скорость ветра при слабой их интенсивности равнялась соответственно 2,0–2,5 (порывы 5,0) и 2,2–2,5 (порывы 7,0–11,0) м/с, при большей развитости — 1,5–1,9 (порывы 2,0–3,0) и 2,8–2,9 (порывы 5,0–13,0) м/с (табл. 1). Фактическая скорость ветра в некоторых случаях превышала среднюю до 2,3 м/с при слабом апвеллинге и на 0,4 м/с при более выраженном.

Преобладающее направление ветра в период действия апвеллингов и за три дня до них — западных румбов с повторяемостью, соответственно, около 50 и 75 % случаев.

В сентябре, аналогично августу, количество апвеллингов было незначительным — 20 (17,2 % от общего числа случаев — табл. 1). Апвеллингов слабого проявления, когда разница ТПВ центра и окружения не превышала 2,0 °С, было 30 %. Они наблюдались в 2003, 2007, 2015–2017 и 2019 гг. при ТПВ 23,5–25,0 °С. Случаи сравнительно развитых апвеллингов — 20 % от их числа в этом месяце — с разницей ТПВ 5,0–9,5 °С отмечались в 2006–2007 и 2021 гг. ТПВ в их центре и непосредственном окружении составляла 12,0–23,5 °С в относительно холодных водах и 16,0–25,0 °С в относительно прогретых. Самый выраженный апвеллинг происходил 18–21.09.2007 г. с понижением ТПВ в его центре до 12 °С и разницей с температурой окружающих вод до 9,5 °С.

В сентябре средняя за периоды апвеллингов и за три дня до них скорость ветра равнялась 1,9–2,7 (порывы 4,0–7,0) и 1,7–1,8 (порывы 4,0–6,0) м/с соответственно при слабой их интенсивности, 1,8–3,6 (порывы 5,0–8,0) и 2,5–4,2 (порывы 5,0–9,0) м/с — при сильной (табл. 1). Фактическая скорость

ветра в некоторых случаях превышала среднюю до 1,3 м/с.

Преобладающее направление ветра в период действия сентябрьских апвеллингов и за три дня до них — западных румбов с повторяемостью, соответственно, около 70 и 80 % случаев.

Как указано в [9], наибольшую повторяемость (39 %) в Феодосийском заливе имеют именно западные и северо-западные ветры.

Сопоставление интенсивности апвеллинга (по разности ТПВ в центре и непосредственном окружении) и скорости ветра, включая порывы, в период его действия и за три дня до него показало наибольшее влияние именно порывов ветра в период явления (рис. 2). В этом случае определялся наибольший коэффициент корреляции — 0,144, но значимый всего лишь на уровне 90 % доверительной вероятности. В наблюдаемый период скорость ветра в основном была ниже среднегодовой в соответствии с отрицательным трендом последних двух десятилетий [9, 10].

При оценке влияния атмосферной циркуляции на апвеллинговые процессы производилось сопоставление межгодовой изменчивости среднемесячных коэффициентов зонального (A01),

меридионального (A10) переносов и интенсивности апвеллинга — разности ТПВ его центра и окружающих вод (ΔT). Как показано на рис. 3, имеет место определенное соответствие характера межгодового хода интенсивности зонального атмосферного переноса и апвеллинга; коэффициент корреляции между ними — 0,29 на уровне 95 % доверительной вероятности.

Меридиональные атмосферные переносы в меньшей степени согласуются с выраженностью апвеллингов (рис. 4); коэффициент корреляции в этом случае низкий — 0,15 (ниже критического 0,26).

Выделяется три характерных диапазона лет в межгодовой изменчивости порывов ветра, зонального (A01) и меридионального (A10) атмосферных переносов, интенсивности апвеллинга (ΔT) в периоды его действия — табл. 2:

- 2001–2003 гг. — относительно слабые порывы ветра, северные и западные атмосферные переносы, соответственно, и относительно низкая выраженность проявления апвеллинга;
- 2004–2013 гг. — усиление порывов ветра, северных и западных атмосферных переносов, соответственно, и выраженности апвеллин-

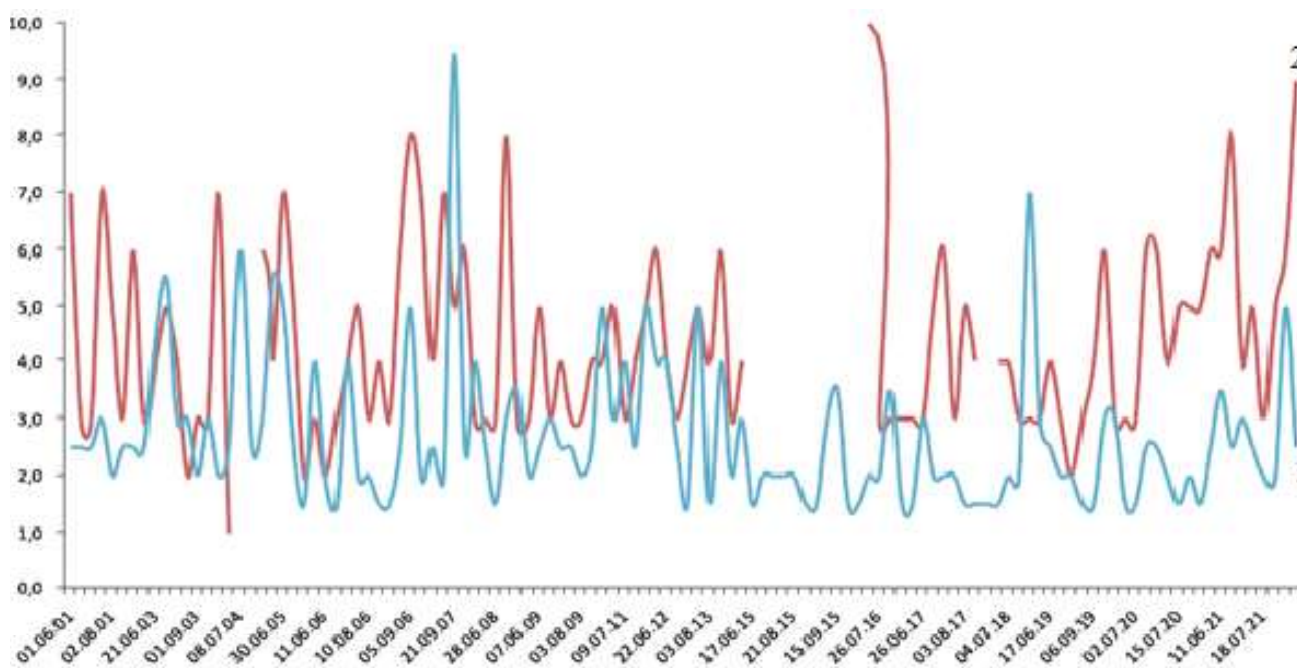


Рис. 2. Порывы ветра (м/с) в период апвеллинга (1) и разность ТПВ в центре апвеллинга и окружающих водах (2) в районе Феодосийской и Двужорной бухт в июне–сентябре 2001–2021 гг.

Fig. 2. Wind gusts (m/s) during upwelling phenomena (1) and the difference of the water surface temperature in the upwelling center and surrounding waters (2) in the area of Feodosia Gulf and Dvuyakornaya Bay in June–September, 2001–2021

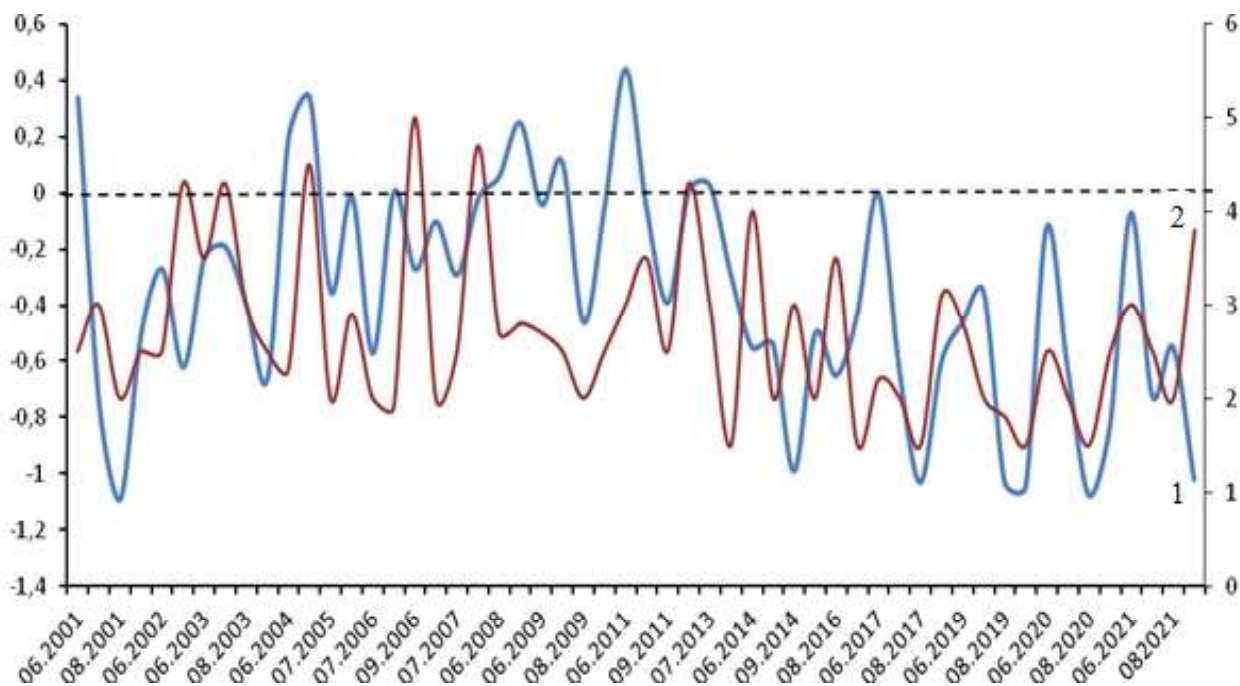


Рис. 3. Среднемесячные полиномы Чебышева зонального атмосферного переноса A01 (1), левая ось, и разность ТПВ в центре и окружающих водах (2), правая ось, в периоды апвеллинга в районе Феодосийской и Двужкорной бухт в июне–сентябре 2001–2021 гг.

Fig. 3. Average monthly Chebyshev's polynomials for the zonal atmospheric transfer A01 (1), left axis, and the difference in the water surface temperature between the upwelling center and surrounding waters (2), right axis, during upwelling phenomena in the area of Feodosia Gulf and Dvuyakornaya Bay in June–September, 2001–2021

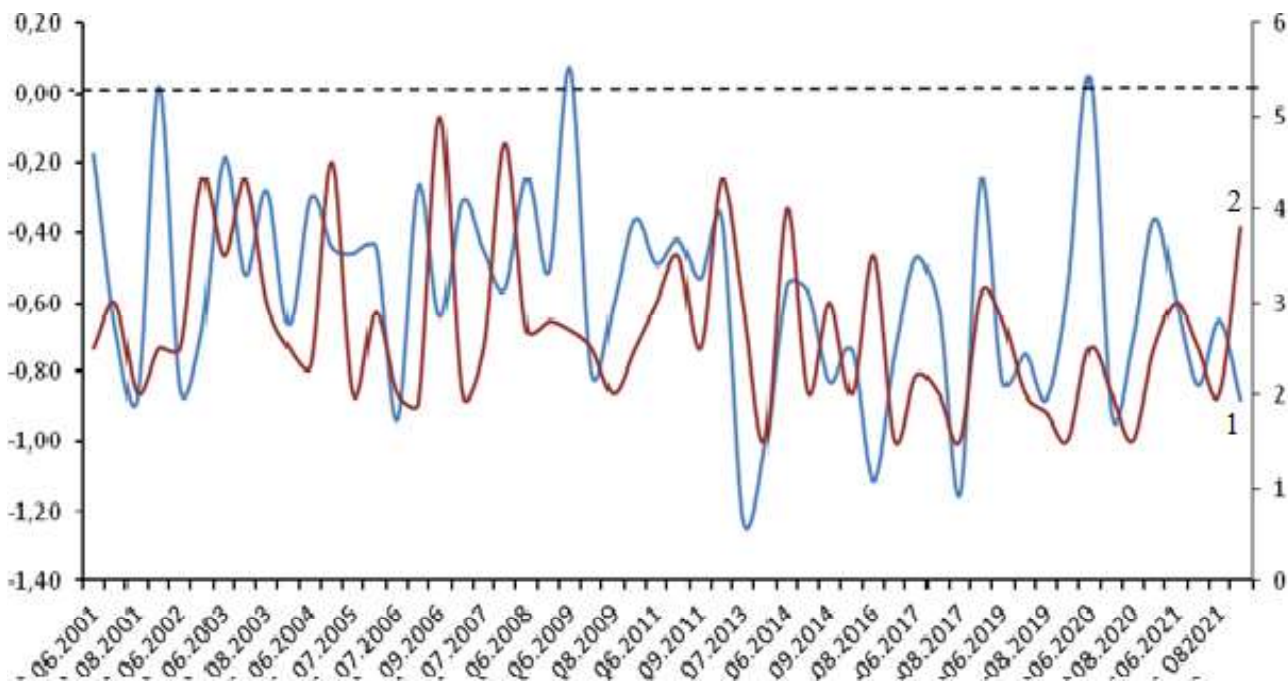


Рис. 4. Среднемесячные полиномы Чебышева меридионального атмосферного переноса A10 (1) и разности ТПВ в центре и окружающих водах (2) в периоды апвеллинга в районе Феодосийской и Двужкорной бухт в июне–сентябре 2001–2021 гг.

Fig. 4. Average monthly Chebyshev's polynomials for the meridional atmospheric transfer A10 (1) and the difference in the water surface temperature between the upwelling center and surrounding waters (2) during upwelling phenomena in the area of Feodosia Gulf and Dvuyakornaya Bay in June–September, 2001–2021

говых процессов; на усиление юго-западных воздушных потоков в этот период указывалось и в работе [11];

- 2014–2021 — дальнейшее усиление порывов ветра и северных потоков до максимума, но в то же время значительное уменьшение западных атмосферных переносов и, как следствие, интенсивности апвеллингов до минимума.

Таблица 2. Средние значения порывов ветра в периоды апвеллингов, коэффициентов зонального (A01) и меридионального (A10) атмосферных переносов (полиномов Чебышева), разности ТПВ в центре и окружающих водах (ΔT °C) в июне–сентябре в характерные периоды 2001–2021 гг.

Table 2. Average values of wind gusts during upwelling phenomena, as well as the coefficients of zonal (A01) and meridional (A10) atmospheric transfers (the Chebyshev's polynomials) in June–September in characteristic time ranges of 2001–2021

Период Time range	ΔT , °C	Порывы ветра, м/с Wind gusts, m/s	A01	A10
2001–2003	2,93	4,1	-0,32	0,04
2004–2013	3,15	4,4	0,05	-0,17
2014–2021	2,30	4,5	-0,84	-0,40

Таким образом, определяющее влияние на интенсивность апвеллинга имеет именно зональный атмосферный перенос со значимым на уровне 95 % доверительной вероятности коэффициентом корреляции — 0,29.

ВЫВОДЫ

Как показали проведенные исследования, наиболее часто в районе Феодосийской и Двужорной бухт апвеллинги случаются в июне (35,5 % случаев) и июле (31,9 %).

Из всех апвеллинговых явлений слабовыраженные составляли 26,8–84,1 %; наиболее частыми они были в августе при значительной глубине прогретых вод и выходе к поверхности относительно теплых подповерхностных вод, неконтрастных по температуре с поверхностными. Доля интенсивных апвеллингов была 9,7–20,0 %, с наибольшей их повторяемостью в сентябре, когда разность

температур центра и окружающих вод достигала 9,5 °C.

ТПВ в центре апвеллингов понижалась до 15,5 °C в июне, 20,5 в июле, 22,5 в августе и 12,0 °C в сентябре. Слабые апвеллинги отмечались практически во все годы, интенсивные — в 2003–2007 и 2011–2021 гг. при отсутствии таковых в августе.

На развитие апвеллингов большее влияние оказывают порывы ветра в период явления, чем сама его скорость, которая в наблюдаемый период в основном была ниже среднееголетней, в соответствии с ее отрицательным трендом последних двух десятилетий. Преобладающее направление ветра как в период апвеллинга, так и за три дня до него — западных румбов (50–89 %).

Апвеллинговые процессы в немалой степени, со значимым коэффициентом корреляции, определяются интенсивностью зонального атмосферного переноса.

Выделяется три характерных диапазона лет межгодовой изменчивости атмосферных и апвеллинговых процессов:

- 2001–2003 гг. — относительно слабые порывы ветра и западные атмосферные переносы, соответственно, и относительно низкая интенсивность апвеллингов;
- 2004–2013 гг. — усиление порывов ветра и западных атмосферных переносов, соответственно, и выраженности апвеллинговых процессов;
- 2014–2021 — дальнейшее усиление порывов ветра, минимальные западные атмосферные переносы и, как следствие, снижение до минимума интенсивности апвеллингов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровская Р.В., Ломакин П.Д., Панов Б.Н., Спиридонова Е.О., Троценко Б.Г. Океанографические исследования ЮгНИРО в Азово-Черноморском бассейне с использованием информации с ИСЗ // Труды ЮгНИРО. 2009. Т. 48. 78 с.
2. Справочник по климату Черного моря / Под ред. А.И. Сорокиной. М.: Гидрометеиздат, 1974. 405 с.
3. Промысловые биоресурсы Черного и Азовского морей / Под ред. В.Н. Еремеева, А.В. Гаевской, Г.Е. Шульман, Ю.А. Загородной. Севастополь: Изд-во Института биологии южных морей им. А.О. Ковалевского, ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 367 с.
4. Карнаушенко Н.Н., Погребной А.Е. Особенности изменчивости атмосферных процессов и гидрофи-

- зических полей у западного и юго-западного побережья Крыма на временных масштабах от межсуточных до многолетних // *Морской гидрофизический журнал*. 2006. № 1. С. 22–36.
- Ловенкова Е.А., Полонский А.Б. Климатические характеристики апвеллинга у побережья Крыма и их изменчивость // *Метеорология и гидрология*. 2005. № 5. С. 44–52.
 - Панов Б.Н., Спиридонова Е.О. Возможности краткосрочного прогнозирования вылова черноморского шпрота у западных берегов Крыма // *Водные биоресурсы и среда обитания*. 2021. Т. 4, № 2. С. 80–88. doi: 10.47921/2619-1024_2021_4_2_80.
 - Температура поверхности Черного моря по данным ИСЗ NOAA // *Морской портал Морского гидрофизического института РАН*. URL: http://dvs.net.ru/mp/data/main_ru.shtml (дата обращения 23.04.2022).
 - Расписание погоды: информация о фактической погоде с сервера данных международного обмена от NOAA — США. URL: <https://rp5.ru>. (дата обращения 20.04.2022).
 - Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 2. Черное море / Сост. Ю.П. Ильин, Л.Н. Репетин, В.Н. Белокопытов, Ю.Н. Горячкин, Н.Н. Дьяков, А.А. Кубряков, С.В. Станичный. Севастополь: Изд-во Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института Министерства чрезвычайных ситуаций и Национальной академии наук Украины, 2012. 421 с.
 - Грузинов В.М., Дьяков Н.Н., Мезенцев И.В., Мальченко Ю.А., Жохова Н.В. Ветровые циклы и климатические тренды Черного моря // *Труды Государственного океанографического института имени Н.Н. Зубова*. 2018. Вып. 219. С. 101–124.
 - Панов Б.Н., Спиридонова Е.О. Климатические изменения поля приземного атмосферного давления в Азово-Черноморском регионе (1960–2017 гг.) // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки*. 2019. № 2 (202). С. 66–73. doi: 10.23683/0321-3005-2019-2-66-73.
 - Promyslovye bioresursy Chernogo i Azovskogo morey [Biological resources of the Black Sea and Sea of Azov]. V.N. Eremeev, A.V. Gaevsckaya, G.E. Shulman, Yu.A. Zagorodnaya (Eds.). Sevastopol: Institut biologii yuzhnykh morey im. A.O. Kovalevskogo [A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas] Publ., EKOSI-Gidrofizika [EKOSI-Hydrophysics], 2011, 367 p. (In Russian).
 - Karnaushenko N.N., Pogrebnoy A.E. Osobennosti izmenchivosti atmosferykh protsessov i gidrofizicheskikh poley u zapadnogo i yugo-zapadnogo poberezh'ya Kryma na vremennykh masshtabakh ot mezhsutochnykh do mnogoletnykh [Specific features of the variability of atmospheric processes and hydrophysical fields near the west and southwest coasts of Crimea on time scales from interdiurnal to long-term]. *Morskoy gidrofizicheskiy zhurnal [Marine Hydrophysical Journal]*, 2006, no. 1, pp. 22–36. (In Russian).
 - Lovenkova E.A., Polonskiy A.B. Klimaticheskie kharakteristiki apvellinga u poberezh'ya Kryma i ikh izmenchivost' [Climatic characteristics of upwelling near the Crimean coast and their variability]. *Meteorologiya i gidrologiya [Meteorology and Hydrology]*, 2005, no. 5, pp. 44–52. (In Russian).
 - Panov B.N., Spiridonova E.O. Vozmozhnosti kratkosrochnogo prognozirovaniya vylova chernomorskogo shprota u zapadnykh beregov Kryma [Possibilities of short-term forecasting of the catch of the European sprat from the Black Sea stock off the western coast of Crimea]. *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya [Aquatic Bioresources & Environment]*, 2021, vol. 4, no. 2, pp. 80–88. doi: 10.47921/2619-1024_2021_4_2_80. (In Russian).
 - Temperatura poverkhnosti Chernogo morya po dannym ISZ NOAA [Temperature of the Black Sea surface based on the AES NOAA data]. In: *Morskoy portal Morskogo gidrofizicheskogo instituta RAN [Marine data portal of the Marine Hydrophysical Institute of the Russian Academy of Sciences]*. Available at: http://dvs.net.ru/mp/data/main_ru.shtml (accessed 23.04.2022). (In Russian).
 - Raspisanie pogody: informatsiya o fakticheskoy pogode s servera dannykh mezhdunarodnogo obmena ot NOAA — SShA [Weather calendar. Information on actual weather sourced from the NOAA International Data Sharing Server, USA]. Available at: <https://rp5.ru>. (accessed 20.04.2022). (In Russian).
 - Gidrometeorologicheskie usloviya morey Ukrainy. T. 2. Chernoe more [Hydrometeorological conditions of the Ukrainian seas. Vol. 2. The Black Sea]. Yu.P. Ilyin, L.N. Repetin, V.N. Belokopytov, Yu.N. Goryachkin, N.N. Dyakov, A.A. Kubryakov, S.V. Stanichnyy (Eds.). Sevastopol: Ukrainskiy nauchno-issledovatel'skiy gidrometeorologicheskii institut Ministerstva chrezvychaynykh situatsiy i Natsional'noy akademii nauk Ukrainy [Ukrainian Hydrometeorological Institute

REFERENCES

- Borovskaya R.V., Lomakin P.D., Panov B.N., Spiridonova E.O., Trotsenko B.G. Okeanograficheskie issledovaniya YugNIRO v Azovo-Chernomorskom bassejne s ispol'zovaniem informatsii s ISZ [Oceanographic researches of the YugNIRO in the Azov-Black Sea Basin with the use of the information from the AES]. *Trudy YugNIRO [YugNIRO Proceedings]*, 2009, vol. 48, 78 p. (In Russian).
- Spravochnik po klimatu Chernogo morya [Handbook of the Black Sea climate]. A.I. Sorokina (Ed.). Moscow: Gidrometeoizdat [Hydrometeorological Publishing House], 1974, 405 p. (In Russian).

- of the State Service of Emergencies of Ukraine and National Academy of Sciences of Ukraine] Publ., 2012, 421 p. (In Russian).
10. Gruzinov V.M., Dyakov N.N., Mezentsev I.V., Malchenko Yu.A., Zhokhova N.V. Vetrovye tsikly i klimaticheskie trendy Chernogo morya [Black Sea wind cycles and climatic trends]. *Trudy Gosudarstvennogo okeanograficheskogo instituta imeni N.N. Zubova* [Proceedings of N.N. Zubov State Oceanographic Institute], 2018, issue 219, pp. 101–124. (In Russian).
11. Panov B.N., Spiridonova E.O. Klimaticheskie izmeneniya polya prizemnogo atmosfernogo davleniya v Azovo-Chernomorskom regione (1960–2017 gg.) [Climate changes in the field of surface atmospheric pressure in the Azov-Black Sea Region (1960–2017)]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Estestvennye nauki* [Bulletin of Higher Education Institutes. North Caucasus Region. Natural Sciences], 2019, no. 2 (202), pp. 66–73. doi: 10.23683/0321-3005-2019-2-66-73. (In Russian).

Поступила 16.05.2022

Принята к печати 20.07.2022