

УДК 597.08.591.3.574.52

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧЕРНОМОРСКОГО ИХТИОПЛАНКТОНА В УСЛОВИЯХ АКТИВИЗАЦИИ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛЕТНИЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ СЕЗОН 2021 г.

© 2024 г. Т. Н. Климова*, А. А. Субботин, И. В. Вдодович,
Ю. А. Загородняя, Д. А. Забродин

Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

**e-mail: tnklm@mail.ru*

Поступила в редакцию 15.11.2023 г.

После доработки 20.12.2023 г.

Принята к публикации 28.12.2023 г.

Представлено видовое разнообразие, численность и особенности распределения ихтиопланктона и кормового зоопланктона в северной части Черного моря летом 2021 г. Усиление циклонической деятельности над Черным морем в июне–июле замедлило процесс формирования летнего типа термической стратификации вод на исследуемой акватории. В начале июля у Крымского полуострова в ихтиопланктоне отмечено всего 13 видов икры и личинок рыб, их средняя численность составляла 29 и 2 экз/м² соответственно. В начале августа вертикальная термическая стратификация вод летнего типа у берегов Кавказа уже сформировалась. Количество видов в ихтиопланктоне возросло до 20. Активизация атмосферных процессов в июне–июле интенсифицировала внутрисезонную ветровую “накачку” верхнего слоя моря. Основное Черноморское течение трансформировалось в ярко выраженный поток, ориентированный вдоль континентального склона, частично распространяясь на шельф. Это не повлияло на нерестовую активность массовых видов рыб. Средняя численность икры в шельфовой и глубоководной зонах составляла около 160 экз/м². В то же время средняя численность личинок на шельфе была почти в пять раз выше и составляла 452 экз/м².

Ключевые слова: ихтиопланктон, видовое разнообразие, пространственное распределение, кормовой зоопланктон, питание личинок рыб, гидрологический режим, Черное море

DOI: 10.31857/S0030157424040023, **EDN:** PSBFAG

ВВЕДЕНИЕ

Регулярные ихтиопланктонные исследования северной части Черного моря в пределах экономической зоны России на НИС “Профессор Водяницкий” начались с 2016 г. Полученные данные, наряду с отдельными съемками с 2005 по 2013 г., позволили оценить современное состояние ихтиопланктонных комплексов, характер их изменений после деградации экосистемы моря с конца 1980-х гг. [23, 30], а также уровень соответствия устойчивому состоянию 1950–1970 гг. [6].

Климатические изменения гидрологического режима и динамики вод Черного моря и его отдельных акваторий в период с 1990-х гг. по настоящее время [2, 4, 13, 14, 19, 26, 35, 36, 39] привели к изменениям параметров устоявшихся гидрологических сезонов. Сезонность гидрологических процессов и явлений, влияя на изменение усло-

вий обитания и воспроизводство морских организмов, в конечном итоге определяет их биологические циклы, в том числе и фенологию нереста, видовое разнообразие, численность, пространственное распределение и трофические взаимоотношения в планктонном сообществе [16, 29]. В Черном море отмечены смещение и перекрытие сроков нереста тепловодных и умеренноводных рыб в начальной и конечной фазах гидрологических сезонов, что привело к одновременному присутствию в ихтиопланктоне их икры и личинок. Отмечены снижение размерно-весовых характеристик личинок, увеличение доли икры и личинок прибрежных видов рыб в открытых водах шельфа. С начала 2000-х гг. наблюдаются изменения видового разнообразия гидробионтов, формирующих кормовую базу личинок рыб и их трофические взаимоотношения в планктонном сообществе [31–33, 41].

Отмеченные изменения отразились на состоянии ихтиопланктона в летний нерестовый сезон, поскольку региональные условия прогрева верхнего слоя моря и формирования вертикальной термической стратификации летнего типа в начальной фазе летнего гидрологического сезона являются основными лимитирующими факторами результативности нереста, выживания рыб на ранних стадиях развития и пополнения будущих поколений. В процессе развития нереста при уменьшении пространственных неоднородностей поверхностной температуры возрастает роль динамических факторов, прежде всего, сезонного ослабления Основного Черноморского течения (ОЧТ), активизации синоптических и региональных квазистационарных термодинамических образований, зон конвергенции и дивергенции течений. С одной стороны, активизация прибрежно-шельфовых квазистационарных антициклонических вихрей (АЦ) способствует формированию устойчивых зон с благоприятными для эффективного нереста и выживания личинок рыб термодинамическими и кормовыми условиями. С другой — система циркуляции вод в АЦ способствует активному водообмену прибрежно-шельфовых вод и вод открытого моря, расширению ареалов нереста и обмену видами между отдельными акваториями [28, 32, 33].

Помимо основных лимитирующих факторов среды, определяющих жизненный цикл черноморских рыб в период размножения, ряд других абиотических факторов также становятся лимитирующими — прямо или косвенно. Среди них важную роль играет ветро-волновая деятельность. С одной стороны, усиление ветра влияет на структуру и интенсивность поверхностных течений, с другой — деформирует вертикальную термическую структуру вод за счет обрушения ветровых волн, и в обоих случаях лимитирует поведенческие реакции и физиологическое состояние нерестящихся рыб [12, 32, 33].

В восточной части Черного моря преобладание северных ветров в теплый период года в последние десятилетия периодически создает “блокирующий” эффект в системе общей циркуляции вод, ослабляет северо-западный перенос, способствует усилению меандрирования струи ОЧТ и изменяет зоны локализации прибрежных АЦ [10, 24]. С другой стороны — в результате активизации циклонической деятельности над исследуемой акваторией происходит внутрисезонная ветровая “накачка” верхней толщи вод, что приводит к инерционной трансформации ОЧТ в ярко выраженный поток, ориентированный вдоль кон-

тинентального склона и местами внедряющийся на шельф [9, 10]. Усиление ветро-волнового перемешивания во время сильных штормов трансформирует термическую структуру верхнего слоя моря за счет вовлечения более холодных вод из сезонного термоклина (СТ), способно понизить температуру воды до значений, неблагоприятных для нереста тепловодных видов рыб, и тем самым замедлить процесс начала летнего нерестового сезона или даже прервать его на некоторое время [20, 27, 33]. Кроме того, динамическое воздействие от обрушения волн приводит к увеличению смертности икры и личинок рыб [6, 12].

Целью данного исследования был анализ видового состава и пространственного распределения летнего ихтиопланктона, кормовой базы личинок рыб в период формирования вертикальной термической структуры вод летнего типа в условиях активизации атмосферных процессов над центральной и восточной частями Черного моря.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материал собран с 29 июня по 9 августа 2021 г. в северной части Черного моря у Крымского полуострова и берегов Кавказа в 117-м рейсе НИС “Профессор Водяницкий”. Сбор проб ихтиопланктона осуществляли сетью Hensen (диаметр входного отверстия 0.7 м, ячейка сита 400 мкм), проб зоопланктона — сетью Джеди (диаметр входного отверстия 36 см, ячейка сита 145 мкм). Пробы собирали в режиме вертикальных ловов от дна до поверхности моря в области мелководного шельфа и от нижней границы кислородной зоны ($\sigma_t = 16.2$ по данным зондирующего CTD комплекса IDRONAUT OCEAN SEVEN320 PlusM) до поверхности моря в глубоководной части. Зоо- и ихтиопланктон фиксировали 4% забуференным боратами раствором формалина и обрабатывали в стационарных условиях под МБС-10 при увеличении 8×2 и 8×4. Идентификацию ихтиопланктона проводили по [5], зоопланктона — по [17, 18]. Видовые названия гидробионтов даны по Всемирному реестру морских видов [40]. Численность ихтиопланктона приведена в экземплярах под квадратным метром поверхности моря. Численность и биомасса зоопланктона даны в метрах кубических всего обловленного слоя.

Питание личинок рыб изучали по методике [8]. Личинки хамсы и ставриды по морфологическим показателям были разделены на размерные группы [7, 22]. Массу тела личинок рыб измеряли на торсионных весах, молодь взвешивали на электронных весах AXIS ADG500C. При исследовании

питания личинок их вскрывали под микроскопом МБС-9, извлекали содержимое кишечника, в котором идентифицировали пищевые объекты, затем их просчитывали и измеряли под микроскопом Nikon Eclipse 200 при увеличении 40×.

Для анализа гидрологического режима и структуры поверхностных течений использовали экспедиционные данные вертикальных зондирований CTD комплексом IDRONAUT OCEAN SEVEN320 PlusM, а также материалы спутниковых наблюдений температуры поверхности моря (ТПМ) и расчетные карты геострофических и ветровых течений [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Гидрологическая характеристика районов исследований. Сложные метеоусловия с чередованием периодов активной ветро-волновой деятельности и периодов относительного затишья с устойчивым радиационным прогревом верхнего слоя моря, наблюдаемые в центральной и восточной частях Черного моря в июне–июле 2021 г., обусловили особенности формирования термодинамической структуры вод и ход выполнения исследований в 117-м рейсе. Как результат, ихтиопланктонная съемка выполнялась в два этапа при относительно спокойных метеоусловиях в разных районах моря у берегов Крыма и Кав-

каза. Быстрая смена погодных условий и региональная инерционность прогрева верхнего слоя моря обусловили выделение отдельных секторов исследований в пределах соответствующих этапов. Первый этап съемки проходил с 29 июня по 7 июля в районе Крымского полуострова, где были выделены три сектора: юго-западный (акватория г. Севастополя и Вековой разрез), сектор южного берега Крыма (ЮБК, от б. Ласпи до г. Алушта) и восточный (от Судакской бухты до м. Чауда). Второй этап съемки проводили с 30 июля по 9 августа в секторах у берегов Кавказа и в районе Керченской предпроливной зоны (рис. 1).

Первый этап съемки выполнялся в начальной фазе летнего гидрологического сезона. Ему предшествовали умеренно-теплый зимний гидрологический сезон с диапазоном изменчивости ТПМ от 10–11°C в начале января, с минимальными значениями от 8.0–8.5°C – в феврале и плавным увеличением до 11–12°C – в конце апреля. Весенний гидрологический сезон начался только в начале мая и продолжался до середины третьей декады июня с увеличением ТПМ до 20–21°C. С начала июня по середину его третьей декады над Черным морем отмечалось усиление циклонической деятельности, что замедлило процесс формирования летнего типа термической стратификации [3, 15].

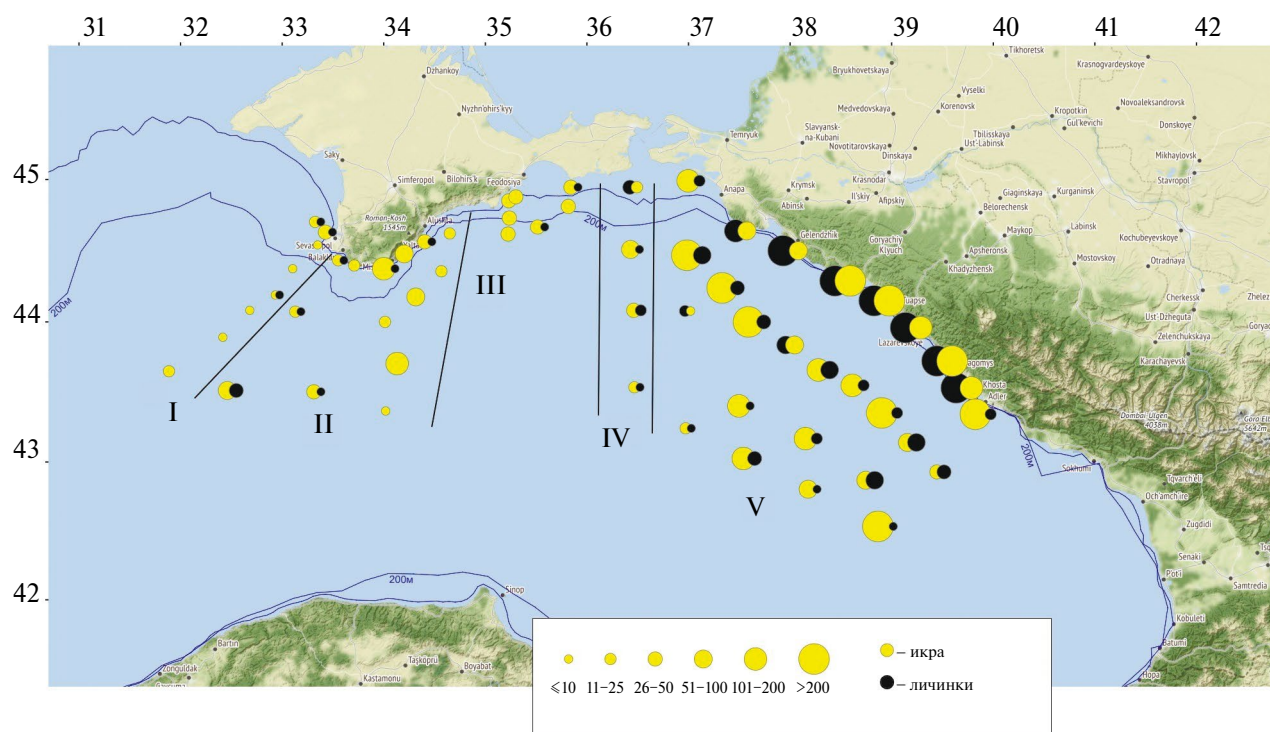


Рис. 1. Карта-схема пространственного распределения икры и личинок рыб в 117-м рейсе НИС “Профессор Водяницкий”. I – Юго-западный сектор; II – сектор ЮБК; III – Восточный сектор; IV – Керченский сектор; V – Кавказский сектор.

К началу съемки большая часть акватории моря прогрелась до 23–24°C. Минимальные значения ТПМ (19–21°C) соответствовали узкой прибрежной зоне от м. Фиолент до Феодосийского залива, как следствие проявления трансформированного прибрежного апвеллинга, а максимальные (до 24–25°C) – шельфовым и открытым водам в пределах сектора ЮБК (рис. 2а).

Преобладание облачной погоды в течение всего этапа съемки практически не изменило картину пространственного изменения ТПМ, лишь расширив зону максимального прогрева до Феодосийского залива (рис. 2б).

Чередование коротких периодов активного радиационного прогрева верхнего слоя моря с периодами усиления ветрового волнения в июне замедлило процесс формирования термической структуры вод летнего типа. В течение съемки толщина верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) составляла 6–9 м, а СТ имел слабоградиентную структуру с нижней границей до 17–20 м. В зо-

не прибрежного апвеллинга слой максимальных вертикальных градиентов температуры наблюдался от поверхности до дна. После длительного периода с последнего обновления холодного промежуточного слоя зимой 2016–2017 гг. [14], минимальные значения температуры в толще вод по всей исследуемой акватории отмечались в диапазоне 8.4–8.7°C на горизонтах от 40 до 47 м.

Соленость поверхностных вод изменялась от минимальных значений 17.8–17.9‰ в районе Феодосийского залива до 18.2–18.4‰ – в зоне ОЧТ и до 18.4–18.6‰ – в центральных районах моря.

Поверхностная циркуляция зимнего типа, наблюдающаяся до первой декады июня, в течение месяца существенно трансформировалась в систему отдельных динамических структур без ярко выраженной струи ОЧТ с отсутствием характерных для этого периода года прибрежно-шельфовых квазистационарных АЦ и отличалась слабыми и неустойчивыми течениями со скоростями до

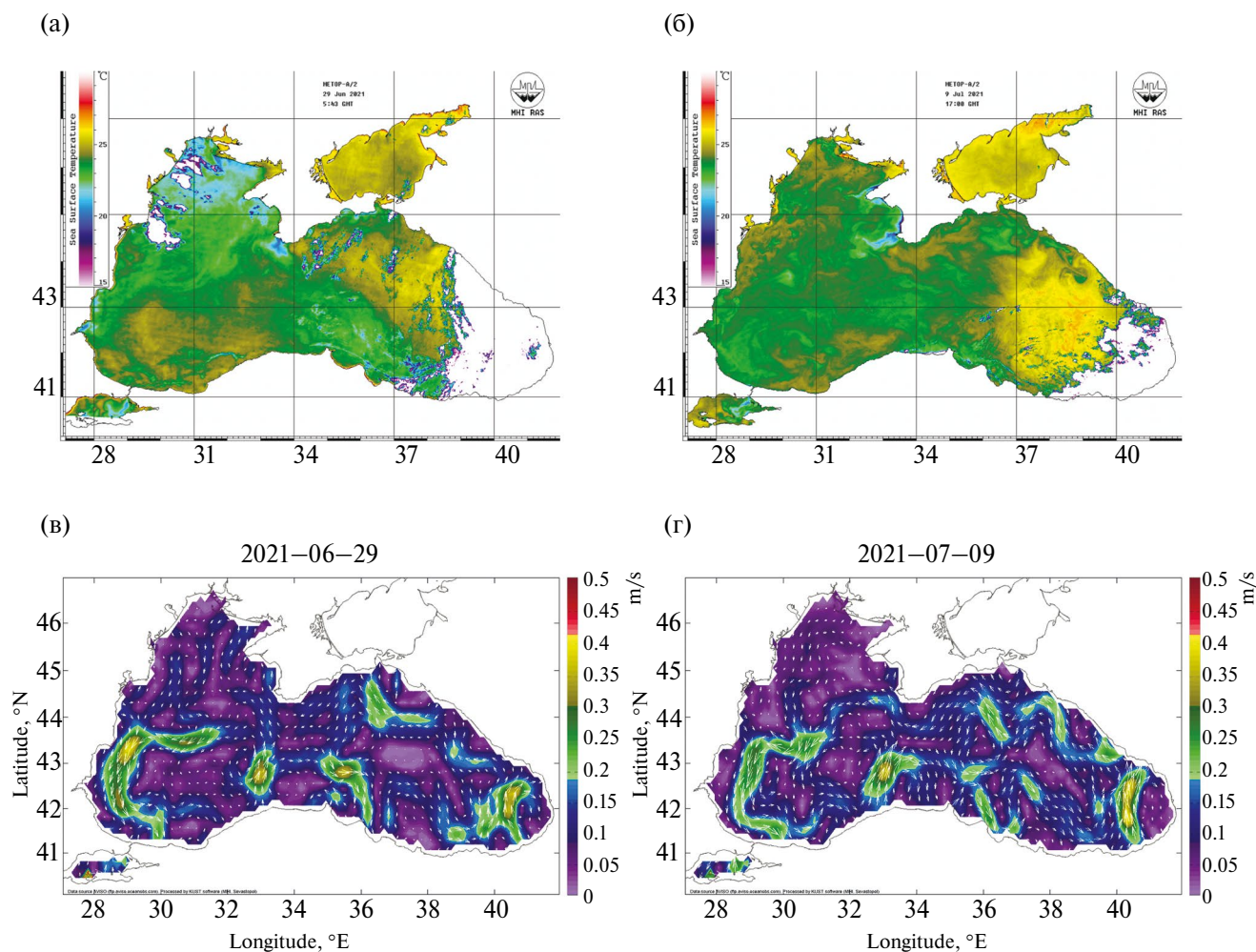


Рис. 2. Спутниковые карты распределения ТПМ (29.06.2021 (а), 09.07.2021 (б)) и расчетные схемы геострофических течений (29.06.2021 (в), 09.07.2021 (г)) в период выполнения первого этапа съемки [15].

10–15 см/с [1, 11, 15]. Наиболее значимым элементом динамической структуры вод являлся циклонический меандр ОЧТ к югу от Феодосийского залива (рис. 2в, г).

В середине первой декады июля погодные условия были осложнены выходом на Черное море очередного активного циклона. Его последующее углубление и локализация в северо-восточной части моря привели к усилению северных и северо-восточных ветров до 12–15 м/с, а волнения — до 4 б. Влияние этого малоподвижного циклона в районе исследований отмечалось до 9 июля [15]. Второй этап съемки проводили с 30 июля по 9 августа в прибрежно-шельфовой зоне и в глубоководных участках моря вдоль берегов Кавказа от Керченского пролива до границы экономической зоны России в условиях сформировавшейся вертикальной термической стратификации вод летнего типа с максимальным прогревом верхнего слоя моря. Следует отметить, что в течение июля над Черным морем наблюдалось прохождение еще одного активного циклона (21–22.07) и атмосферного фронта (26.07) [15].

Преобладание малооблачной погоды в период выполнения работ обеспечили интенсивный прогрев поверхностных вод с 25–27°C в начале съемки до 28–29°C — в конце. Наиболее высокие значения ТПМ соответствовали струе ОЧТ и глубоководным районам моря в юго-восточной части исследуемой акватории (рис. 3а, б).

Толщина ВКС варьировала от 7–11 м в глубоководных районах до 12–14 м — в струе ОЧТ и до 16–17 м — в прибрежно-шельфовой зоне. Минимальные значения температуры в ядре трансформированного холодного промежуточного слоя составляли 8.6–8.8°C при глубине залегания от 40–45 м в глубоководных районах до 85–90 м — над свалом глубин.

Соленость поверхностных вод изменялась в широком диапазоне от 18.6–18.85‰ в глубоководных районах моря до менее 18‰ — в узкой прибрежной зоне с минимальными значениями 17.7–17.8‰ южнее Геленджика в районах разгрузки горных рек.

К началу съемки у берегов Кавказа структура поверхностных течений характеризовалась отсут-

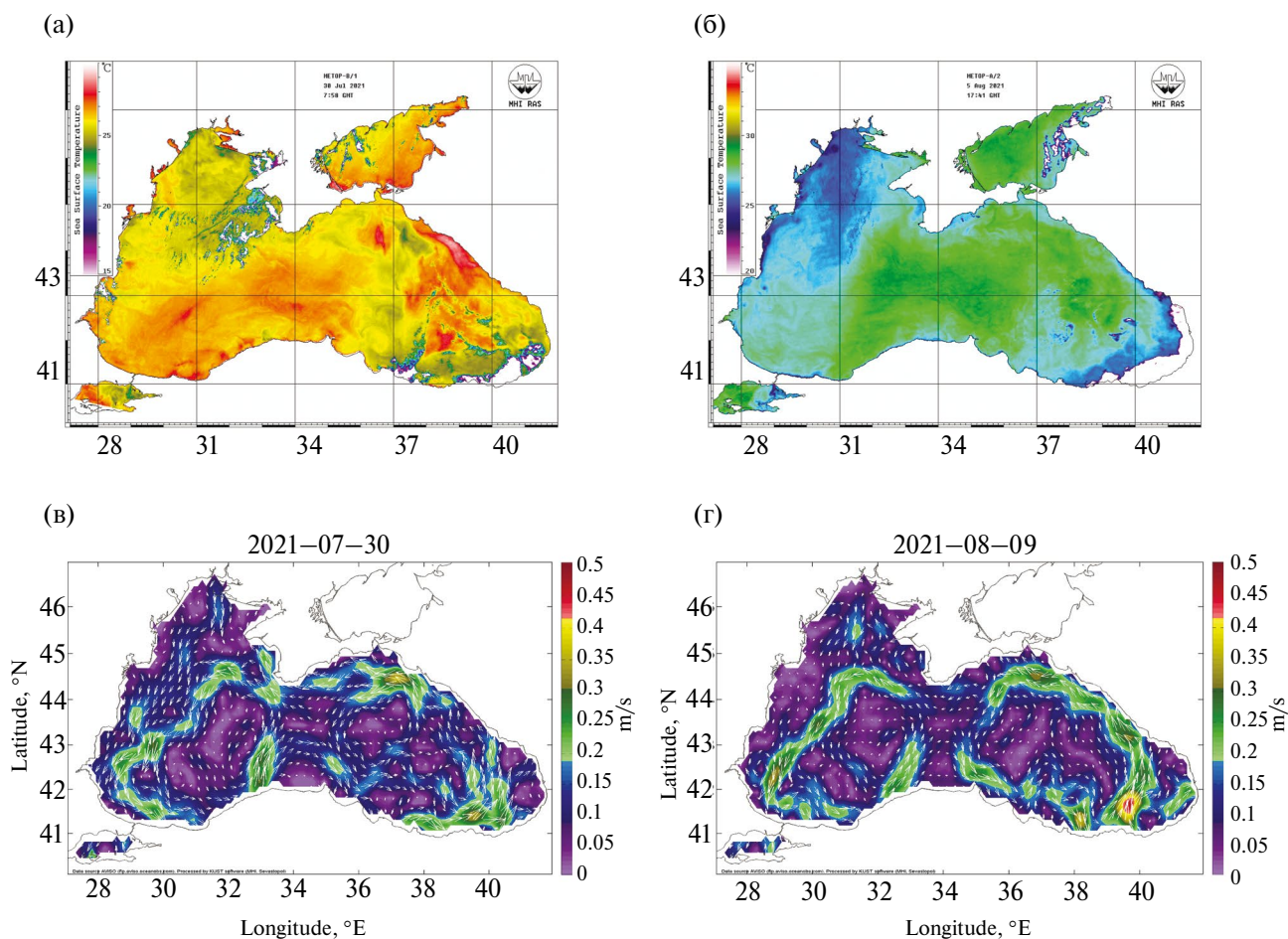


Рис. 3. Спутниковые карты распределения ТПМ (30.07.2021 (а), 05.08.2021 (б)) и расчетные схемы геострофических течений (30.07.2021 (в), 09.08.2021 (г)) в период выполнения второго этапа съемки [15].

ствием ярко выраженной струи ОЧТ, а из синоптических и квазистационарных термодинамических образований проявлялся только Кавказский АЦ в районе его типичного нахождения для этого периода года [11, 24] (рис. 3в). Уже к 3 августа ОЧТ резко усилилось и превратилось в сплошной поток шириной до 40 км со скоростями до 30–35 м/с, ориентированный вдоль континентального склона и местами внедряющийся в шельфовую зону Кавказа. К концу первой декады августа в восточной части моря сформировалось замкнутое циклоническое ядро ОЧТ. Циклонический меандр ОЧТ, наблюдаемый ранее южнее Феодосийского залива, “размылся” на фоне усиления струи ОЧТ, которая распространила свое влияние на прибрежно-шельфовую зону к югу от Керченского пролива, а Кавказский АЦ деформировался и локализовался в узкой прибрежной зоне на юго-востоке исследуемой акватории (рис. 3г). Наиболее вероятной причиной трансформации ОЧТ в ярко выраженный поток, не типичный для данного времени года, следует считать инерционную реакцию толщи вод на внутрисезонную ветровую “накачку” в период активизации циклонической деятельности над восточной частью моря в июне–июле [9, 10].

Работы в Керченском секторе были осложнены выходом на восток Черного моря активного мало-подвижного циклона, определившего погодные условия в данном районе с 7 по 16 августа [15].

Ихтиопланктонные исследования. Всего в период исследований были идентифицированы икра и личинки 23 видов рыб из 15 семейств. Тепловодные виды были представлены 19, а уме-

ренноводные — 4 видами. Средняя численность икры составляла 87.8, личинок — 74.4 экз/м².

Первый этап ихтиопланктонной съемки начался с юго-западного сектора при ТПМ 19–21°C и волнении моря 1–2 б (см. рис. 1, 2а). В ихтиопланктоне идентифицированы икра и личинки 8 видов рыб (6 тепловодных и 2 умеренноводных). Нерест тепловодных видов рыб только начинался, средняя численность икры составляла 12.1, а личинок — 0.9 экз/м². В пробах преобладала икра четырех видов пелагофильных рыб (*Engraulis encrasicolus*, *Trachurus mediterraneus*, *Diplodus annularis* и *Arnoglossus kessleri*). Их доля в общей численности икры составляла 78.5%, однако нерест был еще безрезультативен. Максимальная численность икры (40 экз/м²) наблюдалась в прибрежной зоне г. Севастополя над глубиной 70 м. Личинки были представлены только единичными экземплярами *Syngnathus schmidt* и *Gobius niger*. Под слоем термоклина продолжался нерест умеренноводных видов рыб, чья икра была представлена *Merlangius merlangus* и *Sprattus sprattus*, личинки — только *S. sprattus*.

В секторе ЮБК исследования выполнялись при прогреве верхнего слоя моря до 21–25°C и волнении до 2–3 б (рис. 1, 2б). Здесь, как и в юго-западном секторе, отмечены икра и личинки 8 видов рыб (5 тепловодных и 3 умеренноводных). Средняя численность ихтиопланктона в пробах возросла: икры до 37.3, личинок до 2.5 экз/м². Максимальная численность икры составляла 73 экз/м², личинок — 18 экз/м² (рис. 1; табл. 1). Отмечены четыре вида икры тепловодных пелагофильных видов рыб, среди которых

Таблица 1. Средняя численность (экз/м²) икры (числитель) и личинок (знаменатель) рыб в различных районах исследований у берегов Крыма и Кавказа летом 2021 г.

Таксономический состав	Сектор исследований у Крымского полуострова				Кавказский сектор 30.07–07.08 2021 г.
	Юго-Западный 29–30.06 2021 г.	ЮБК 03–05.07 2021 г.	Восточный 06–07.07 2021 г.	Керченский 07–09.08 2021 г.	
Family: Engraulidae <i>Engraulis encrasicolus</i> (Linnaeus, 1758)	$\frac{5.0}{0}$	$\frac{23.7}{2.2}$	$\frac{21.7}{0}$	$\frac{36.3}{7.6}$	$\frac{154.7}{143.5}$
Family: Clupeidae <i>Sprattus sprattus</i> (Linnaeus, 1758)	$\frac{0.7}{0.3}$	$\frac{0.5}{0}$			
Family: Gadidae <i>Merlangius merlangus</i> (Linnaeus, 1758)	$\frac{1.9}{0}$	$\frac{3.5}{0}$	$\frac{4.0}{0}$		$\frac{0.8}{0}$
<i>Trisopterus luscus</i> (Linnaeus 1758)		$\frac{0}{0.2}$			
<i>Gadidae</i> sp.					$\frac{0}{0.1}$
Family: Syngnathidae <i>Syngnathus schmidt</i> (Popov, 1927)	$\frac{0}{0.3}$	$\frac{0}{0.1}$		$\frac{0}{3.1}$	$\frac{0}{0.6}$

Таблица 1. Окончание

Таксономический состав	Сектор исследований у Крымского полуострова				Кавказский сектор 30.07–07.08 2021 г.
	Юго-Западный 29–30.06 2021 г.	ЮБК 03–05.07 2021 г.	Восточный 06–07.07 2021 г.	Керченский 07–09.08 2021 г.	
Family: Blenniidae					0
<i>Parablennius zvonimiri</i> (Kolombatovic, 1892)					0.1
<i>Blennius</i> sp.					0
					0.1
Family: Scorpaenidae					0
<i>Scorpaena porcus</i> (Linnaeus, 1758)					0.3
Family: Callionymidae			0		0.1
<i>Callionymus</i> sp.			0.5		0
Family: Gobiidae	0		0	0	0
<i>Gobius niger</i> (Linnaeus, 1758)	0.3		0.7	1.3	1.2
<i>Pomatoschistus marmoratus</i> (Risso, 1810)			0		0
			0.3		1.7
<i>P. minutus</i> (Pallas, 1770)					0
					0.3
<i>P. pictus</i> (Malm, 1865)					0
					0.7
<i>Gobius</i> sp.					0
					0.1
Family: Carangidae	1.6	8.7	5.7	1.3	4.6
<i>Trachurus mediterraneus</i> (Steindachner, 1868)	0	0	0	2.5	13.9
Family: Mullidae				1.3	
<i>Mullus barbatus</i> (Linnaeus, 1758)				0	0.4
Family: Pomatomidae		0.8	0.3		0.3
<i>Pomatomus saltatrix</i> (Linnaeus, 1766)		0	0		0
Family: Serranidae		0.1			
<i>Serranus scriba</i> (Linnaeus, 1758)		0			
Family: Sparidae	2.6				0
<i>Diplodus annularis</i> (Linnaeus, 1758)	0				0.7
<i>Spicara smaris</i> (Linnaeus, 1758)					0
					0.2
Family: Trachinidae					0
<i>Trachinus draco</i> (Linnaeus, 1758)					0.3
Family: Bothidae	0.3				0
<i>Arnoglossus kessleri</i> (Schmidt, 1915)	0				0.5
Количество видов	8	8	7	5	20
Средняя численность, экз/м²	12.1	37.3	31.7	38.9	160.8
	0.9	2.5	1.5	14.5	164.2
Стандартное отклонение	12.2	30.3	7.97	29.09	111.7
	1.3	5.0	1.88	10.23	272.3

доминировала икра *E. encrasicolus* (63.5%), второй по обилию была *T. mediterraneus* (свыше 23%), икра *Pomatomus saltatrix* и *Serranus scriba* встречалась единично.

Результативным нерест был только у *E. encrasicolus*, доля ее личинок в пробах составляла 88%.

Среди личинок тепловодных видов, кроме *E. encrasicolus*, единично встречалась *S. schmidtii*. Продолжался нерест умеренноводных видов рыб, доли икры *M. merlangus* и *S. sprattus* в сумме составляли 11%. Личинки были представлены средиземноморским вселенцем *Trisopterus luscus* — 8% [31].

В связи с последующим усилением волнения в открытой части моря до 4 б район работ в Восточном секторе был ограничен прибрежно-шельфовой зоной (см. рис. 1). ТПМ изменялась от 22 до 24°C с повышением температуры от узкой прибрежной зоны до кромки шельфа (см. рис. 26). В ихтиопланктоне отмечены 7 видов икры и личинок рыб, их средняя численность составляла 31.7 и 1.5 экз/м² соответственно. Преобладала икра *E. encrasicolus* (68.4%) и *T. mediterraneus* (18%), единично встречалась икра *P. saltatrix*. Личинки были представлены *Callionymus* sp. и двумя видами сем. Gobiidae. Максимальная численность икры (45 экз/м²) была отмечена над свалом глубин, личинок (5 экз/м²) — на мелководной станции над глубиной 30 м. Из умеренноводных видов рыб отмечена только икра *M. merlangus* (см. табл. 1).

Вдоль берегов Кавказа и в Керченском секторе ихтиопланктон собирали после перерыва с 08 по 29 июля, связанного с активизацией циклонической деятельности над северо-восточной частью моря в конце первой и в третьей декадах июля.

В Кавказском секторе съемка выполнялась в условиях сформировавшейся вертикальной термической стратификации вод летнего типа с максимальным прогревом верхнего слоя моря от 25 до 29°C при волнении моря 1–2 б (см. рис. 3а, б). Здесь были отмечены 20 видов икры и личинок рыб из 14 семейств (см. рис. 1, табл. 1). Тепловодные виды рыб были представлены 18 видами. Средняя численность икры у берегов Кавказа составляла 160.8, личинок — 164.2 экз/м². У 7 из 9 пелагических рыб нерест был результативным. В пробах доминировали икра и личинки *E. encrasicolus*, составляя 96.1 и 87.3% соответственно. Доля икры и личинок *T. mediterraneus* не превышала 3 и 8% соответственно, а икра и личинки остальных видов встречались единично. Видовой состав личинок из демерсальной икры расширился пятью видами из сем. Blenniidae и Gobiidae и *Spicara smarís*. Обилие личинок тепловодных видов рыб свидетельствовало об их массовом результативном нересте. Умеренноводные виды были представлены только единичными икринками *M. merlangus* и одной личинкой *Gadidae* sp.

В Керченском секторе ихтиопланктон собирали с 7 по 9 августа на фоне активизации струи ОЧТ при ТПМ 26.5–28.0°C и волнении моря от 2 до 4 б (см. рис. 1, 3г; табл. 1). Здесь нерестились всего 5 видов из 5 семейств рыб только тепловодного комплекса. Средняя численность икры составляла 38.9, личинок — 14.5 экз/м². В пробах доминировала *E. encrasicolus*, доля ее икры составляла

93.4, личинок — 52.4%. На трех глубоководных станциях в ихтиопланктоне были идентифицированы 4 вида икры и личинок рыб, средняя численность которых составляла 45.9 и 10.1 экз/м² соответственно. В шельфовых водах была выполнена только одна станция, где были отмечены также 4 вида икры и личинок рыб. Однако здесь по численности преобладали личинки, составляя 27.6 экз/м², численность икры не превышала 17.6 экз/м².

Размерно-весовые характеристики и питание личинок рыб. Всего было промерено 1022 экз. личинок *E. encrasicolus*, собранных в первой декаде июля в двух секторах у берегов Крыма и в конце съемки — в Кавказском и Керченском секторах. Личинки *T. mediterraneus* в количестве 111 экз. были собраны только у берегов Кавказа и в Керченском секторе. Среди личинок *E. encrasicolus*, как у берегов Крыма, так и у берегов Кавказа доминировали личинки на желточном типе питания, составляя 87 и 74% соответственно. В Керченском секторе в пробах преобладали личинки *E. encrasicolus* на внешнем типе питания, составляя 44%, доля личинок на желточном типе питания не превышала 33% (рис. 4).

Питание исследовано у 56 личинок *E. encrasicolus* длиной от 6.1 до 11.4 мм. У 18 личинок найдены сильно переваренные пищевые объекты, представленные ювенильными стадиями копепод (Calanoida). Их количество в пищевом комке варьировало от 1 до 4 экз. на один кишечник, длина изменялась от 0.15 до 0.275 мм. У остальных личинок в кишечниках обнаружена только аморфная масса, что характерно для данного вида [7, 8].

В районе Кавказа личинки *T. mediterraneus* представлены всеми размерными группами. Доминировали личинки на смешанном типе питания, доля которых составила 66% общей численности. Доля личинок на желточном типе питания была 24%, на внешнем — 10%. Кроме личинок у берегов Кавказа пойман один экземпляр молодки *T. mediterraneus* длиной 18.3 мм и весом 38.5 мг. В Керченском секторе доминировали личинки *T. mediterraneus* на желточном типе питания, крупные личинки в сборах отсутствовали (см. рис. 4).

Питание личинок *T. mediterraneus* исследовано у 58 экз. длиной 2.4–10.2 мм, собранных в Кавказском секторе. У 48 экз. со смешанным типом питания (длина 2.3–5.5 мм) в кишечниках обнаружены копеподы (Calanoida) ювенильных стадий, на долю которых приходилось 86% общего количества потребленных организмов, доля кладоцер составила 14%. В кишечниках доминировали ювенильные стадии копепод (Calanoida),

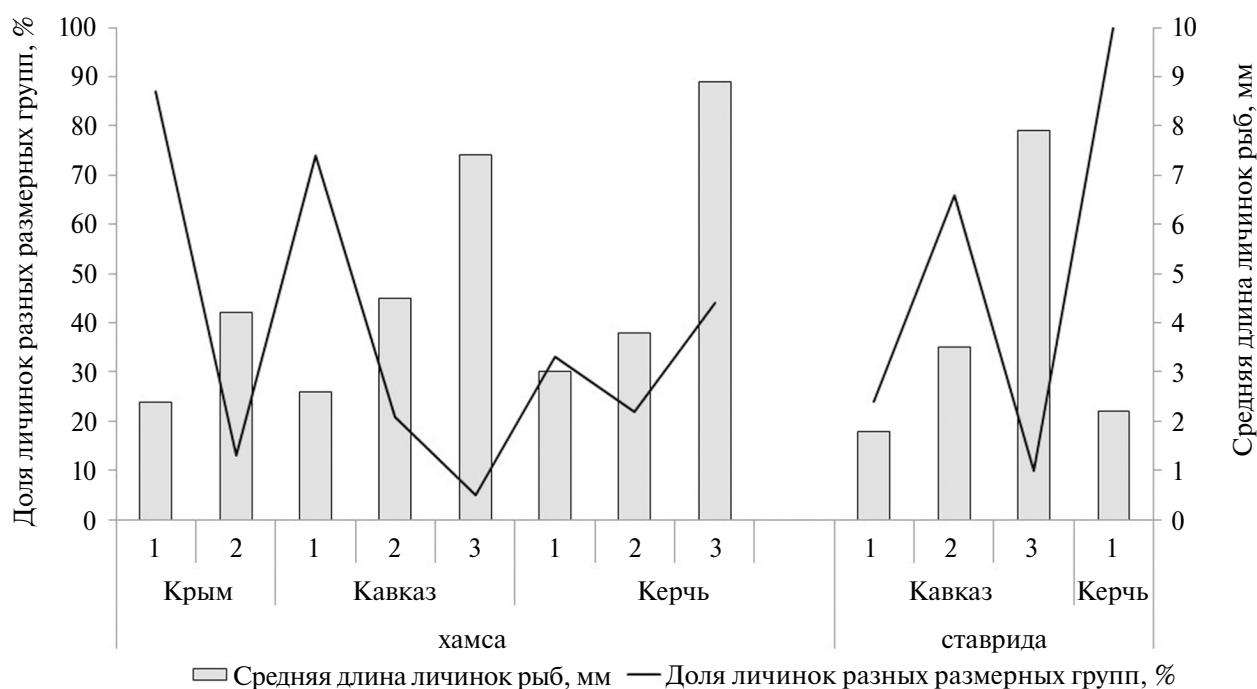


Рис. 4. Процентное соотношение личинок разных размерных групп *E. encrasicolus* и *T. mediterraneus* (% общего количества), средняя длина (мм) личинок рыб по группам.

среди которых преобладала *Acartia* (*A. tonsa* + *A. clausi*). Вклад других видов копепоид: *Paracalanus parvus* и *Pseudocalanus elongatus* был низким, среди кладоцер доминировала *Penilia avirostris*. Размеры кладоцер в кишечниках личинок изменялись от 0.2 до 0.5 мм. Количество пищевых объектов варьировало от 1 до 3 экз. на один кишечник. Длина копепоид колебалась от 0.1 до 0.375 мм, при этом мелкие копепоиды длиной не более 0.2 мм составляли до 70%.

У 10 личинок *T. mediterraneus* на внешнем типе питания длиной 5.8–10.2 мм и весом 1.8–8.7 мг в кишечнике доминировали ювенильные стадии копепоид (Calanoida), составляя 62% общего количества потребленных объектов. Длина копепоид варьировала от 0.1 до 1.125 мм, доминировали копепоидитные стадии длиной около 0.4 мм. Доля кладоцер в рационе личинок возросла до 38%. Количество пищевых объектов варьировало от 1 до 4 экз. на один кишечник.

Кормовой зоопланктон. В период исследований в зоопланктоне обнаружено 25 таксонов, среди них преобладали кормовые организмы рыб. В районе Крымского полуострова средняя численность кормового зоопланктона была 526.78 экз/м³, средняя биомасса — 39.45 мг/м³. Доминировали копепоиды, составляя 91.4% общей численности кормовых организмов, доля личинок бентосных организмов была 3.1%, доля кладоцер не превышала 1.5% (табл. 2).

У берегов Кавказа средняя численность кормового зоопланктона оказалась в 5.6 раз выше, чем у берегов Крыма, и составила 2965.9 экз/м³ (см. табл. 2). Средняя биомасса кормового зоопланктона составляла 124 мг/м³, что втрое превышало ее величину у берегов Крыма. В пробах зоопланктона преобладали кладоцеры и копепоиды, составляя соответственно 46 и 43% общей численности всех кормовых организмов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Нерест тепловодных видов рыб в Черном море обычно начинается при повышении температуры воды выше 13°C. Основным фактором, влияющим на начало массового результативного нереста, является благоприятная температура верхнего слоя моря (18–26°C) и формирование вертикальной термической стратификации вод летнего типа, поскольку тепловодные виды рыб размножаются только в верхнем хорошо прогретом квазиоднородном слое [6].

Первый этап ихтиопланктонной съемки выполнялся в районе Крымского полуострова в период с 29 июня по 7 июля 2021 г. в начальной фазе летнего гидрологического сезона. На шельфе Крымского полуострова были отмечены икра и личинки 13 видов рыб из 11 семейств, а в глубоководной акватории — 7 видов из 6 семейств. Интенсивность нереста тепловодных видов рыб

Таблица 2. Средняя численность, биомасса основных групп зоопланктона и средняя масса одного экземпляра в каждой таксономической группе

Таксон	Район Крымского полуострова, конец июня–июль		Район у побережья Кавказа, август	
	Численность, экз/м ³	Биомасса, мг/м ³	Численность, экз/м ³	Биомасса, мг/м ³
Копеподы	481.61	30.814	1098.93	57.289
Средняя масса, мг/экз.	0.0640		0.0521	
Кладоцеры	7.64	0.210	1510.75	53.506
Средняя масса, мг/экз.	0.0275		0.0354	
<i>Oikopleura dioica</i>	23.48	0.017	26.53	0.017
Средняя масса, мг/экз.	0.0007		0.0007	
<i>Parasagitta setosa</i>	6.05	8.337	105.08	12.698
Средняя масса, мг/экз.	1.3773		0.1208	
Личинки бентосных животных	7.99	0.067	224.64	0.676
Средняя масса, мг/экз.	0.0084		0.0032	
Кормовой зоопланктон	526.78	39.445	2965.94	124.189
Средняя масса, мг/экз.	0.0749		0.0419	
Средняя поверхностная температура моря, °С	24.81		27.75	

была еще низкой. Одновременно продолжался нерест трех умеренноводных видов, доля их икры составляла 12.4%, личинок – 10%. Средняя численность икры на шельфе составляла 32.3 экз/м², а в глубоководной акватории – 28.6 экз/м². Численности личинок на шельфе и в глубоководной части моря были сопоставимы, составляя 3.1 и 3.3 экз/м² соответственно. Индекс видового сходства ихтиопланктона [38] в шельфовой и глубоководной зонах исследований составлял 0.60. В данном районе исследований сопоставимое количество видов в ихтиопланктоне наблюдалось и в начальной фазе летнего гидрологического сезона 2018 г., когда во второй-третьей декадах июня в ихтиопланктоне были отмечены 12 видов икры и личинок рыб. Однако если численность личинок была вполне сопоставима с данными 2021 г. и в среднем составляла 2.9 экз/м², то численность икры была вдвое меньше и не превышала 15 экз/м² [34].

Несмотря на то что у Крымского полуострова ТПМ на первом этапе съемки 2021 г. была благоприятной для нереста тепловодных видов рыб, активизация атмосферных процессов, а также усиление ветра и волнения моря привели как к замедлению процесса формирования термодинамических условий, благоприятных для начала результативного нереста теплолюбивых видов рыб, так и к повышению доли мертвой икры

в пробах [6, 12]. При увеличении волнения моря до 4–5 б смертность икры в верхнем слое моря может достигать 85% [21]. У Крымского полуострова 29–30 июня 2021 г. при волнении моря 1–2 б доля мертвой икры *E. encrasicolus* составляла 60%, а в период с 1 по 7 июля при усилении волнения до 3–4 б она возросла до 77%.

Второй этап съемки проводили в прибрежно-шельфовой зоне и глубоководных районах северо-восточной акватории моря у берегов Кавказа в период с 30.07 по 07.08.2021 г. Гидрологический режим соответствовал периоду развитого летнего гидрологического сезона с устоявшейся вертикальной термической структурой вод. Количество видов ихтиопланктона на шельфе и в глубоководной зоне у берегов Кавказа было вполне сопоставимо – 16 и 14 соответственно. Индекс видового сходства [38] составлял 0.66. Средняя численность икры на шельфовых и глубоководных станциях составляла 159.6 и 160.9 экз/м². Доля мертвой икры в пробах была 58%. При этом средняя численность личинок на шельфе составляла 452 экз/м², что в 4.7 раза выше, чем в глубоководной зоне, а максимальная численность достигала 936 экз/м². Вероятно, личинки были вынесены в прибрежно-шельфовую зону струей ОЧТ. Нерестовая активность тепловодных видов рыб, как на шельфе, так и в открытых водах, оказались существенно выше ранее отмеченных в данном районе

исследований [33]. При аналогичных гидрологических условиях в последней декаде июля 2019 г. в районе Кавказа в ихтиопланктоне были отмечены 14 видов рыб, средняя численность икры была в 1,8, личинок — в 13,6 ниже, чем в августе 2021 г. Максимальная численность икры и личинок наблюдалась в зоне прибрежно-шельфовых вод с пониженной соленостью, где она составляла 330 и 148 экз/м² соответственно [33].

В конце второго этапа съемки (7–9 августа) ихтиопланктон собирали в Керченском секторе в условиях выхода на восток Черного моря активного малоподвижного циклона [15] и усиления волнения моря до 4 б. Несмотря на благоприятные температурные условия, нерестовая активность тепловодных видов рыб резко снизилась. Средняя численность икры (38,9 экз/м²) оказалась сопоставимой с таковой у берегов Крыма (сектора ЮБК и восточный), где съемка выполнялась в начале июля в период усиления волнения в открытой части моря. Доля мертвой икры у доминирующей в пробах *E. encrasicolus* в Керченском секторе возросла до 70%.

Для сравнения таксономического сходства ихтиопланктонных комплексов пяти секторов исследований был проведен кластерный анализ методом попарного внутригруппового невзвешенного среднего (UPGMA) [37]. Распределение кластеров на дендограмме определялось особенностями термодинамического состояния вод в процессе выполнения съемки (рис. 5).

Максимальный уровень таксономического сходства ихтиопланктона наблюдается у секторов ЮБК и Восточный по причине их региональной близости, соответствию единой фа-

зе формирования термической структуры вод, а также степени ветрового волнения в процессе выполнения съемки. Близость Керченского сектора исследований, выполненного в августе, с ЮБК и Восточным, выполненными в начале июля, связана с аналогичными периодами ветро-волнового состояния вод. Во время выполнения ихтиопланктонной съемки в данных районах наблюдались периоды усиления волнения в открытой части моря с 1–2 до 4 б в результате выхода на Черное море двух циклонов с 5 по 9 июля и с 7 по 16 августа, которые привели к усилению волнения моря.

Инерционная трансформация ОЧТ в ярко выраженный поток у берегов Кавказа, совпала с массовым нерестом тепловодных видов рыб, что привело к увеличению разнообразия видов и высокой численности ихтиопланктона (см. рис. 5). Из отдельно стоящей группы кластеров района Крымского полуострова к кластеру Кавказа примыкает не территориально близкий Керченский, а Юго-Западный, что, вероятно, связано с минимальным волнением моря в данных районах исследований.

Высокая численность личинок рыб в прибрежно-шельфовой зоне у берегов Кавказа сопровождалась высокой численностью кормового зоопланктона (до 3000 экз/м³), что, вероятно, было обусловлено их выносом из глубоководных районов струей ОЧТ. В процессе развития летнего нерестового сезона произошло перераспределение вклада основных видов кормового зоопланктона. В районе Крымского полуострова по численности и биомассе доминировали копеподы, в районе Кавказа основное увеличение численности кормового зоопланктона произошло за счет клadoцер, численность которых была на два порядка выше, чем у берегов Крыма. Максимальная численность клadoцер в Черном море обычно приходится на август и совпадает с сезонным максимумом поверхностной температуры, что наблюдалось у берегов Кавказа. Повышенные температуры способствовали активному размножению бентосных организмов, личинки которых в массе появились в планктоне у берегов Кавказа, их доля в общей численности кормового зоопланктона составляла 7,6%.

В начале ихтиопланктонной съемки в районе Крыма и в конце съемки в районе Кавказа количество пищевых объектов в пищевом комке личинок рыб варьировало от 1 до 4 экз. на один кишечник. У личинок *E. encrasicolus* встречались ювенильные стадии копепод (Calanoida), преобладающие в кормовом зоопланктоне.

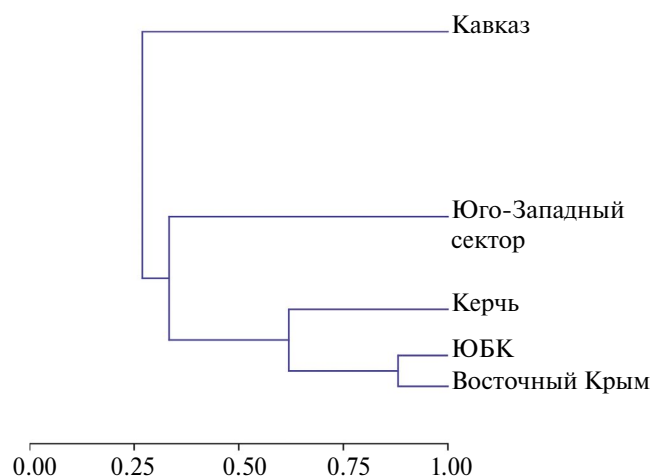


Рис. 5. Дендограмма таксономического сходства ихтиопланктонных комплексов в 5 секторах исследований (метод UPGMA, индекс сходства Брея–Кёртиса [37]).

Пищевой спектр личинок *T. mediterraneus* был расширен за счет вклада кладоцер, которые, как и копеподы, преобладали в кормовом зоопланктоне. У личинок *T. mediterraneus* на смешанном типе питания, пойманных в районе Кавказа, в кишечниках доминировали ювенильные стадии копепод (Calanoida), составляя 86%, доля кладоцер — 14% общего количества потребленных организмов. Длина большинства потребленных организмов не превышала 0.2 мм. С переходом на внешний тип питания доля кладоцер в пищевом комке личинок *T. mediterraneus* возросла до 38%, наблюдалось увеличение средней длины пищевых объектов до 0.4 мм. В августе 2021 г. доля мелких кладоцер и копепод в пищевом комке личинок *T. mediterraneus* была значительно выше, чем летом 2019 г. [41]. В 1990-е гг., в период массового развития гребневика *Mnemiopsis leidyi* — хищника и конкурента в питании личинок и молоди рыб, при низкой численности мелкоразмерной фракции кладоцер и копепод, личинки рыб переходили на питание другими доступными кормовыми организмами, в том числе пелагическими личинками донных гидробионтов [25]. В период ихтиопланктонной съемки 2021 г. пелагические формы бентосных гидробионтов в кишечниках личинок рыб не встречались, видимо, данный корм является вынужденным и используется в питании личинок только при отсутствии основных объектов питания — копепод и кладоцер.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Активизация атмосферных процессов над восточной половиной Черного моря в июне—июле 2021 г., чередование периодов активного прогрева верхнего слоя Черного моря с периодами усиления ветрового волнения привели к замедлению процесса формирования термодинамических условий, благоприятных для начала нереста тепловодных видов рыб. В результате, начало летнего нерестового сезона сдвинулось на аномально поздний срок — первую декаду июля. В районе Крымского полуострова в начальной фазе летнего гидрологического сезона были отмечены 13 видов рыб. Средняя численность икры составляла 29.1, личинок — 2.0 экз/м². Максимальная численность икры и личинок наблюдалась в секторе ЮБК — 37.3 и 2.5 экз/м² соответственно. В районе Кавказа при устойчивом состоянии параметров летнего гидрологического сезона с максимальным прогревом верхнего слоя моря и сформировавшейся вертикальной терми-

ческой стратификацией вод летнего типа в ихтиопланктоне отмечены 20 видов икры и личинок рыб, их средняя численность составляла 159.6 и 160.9 экз/м² соответственно.

Усиление ветрового волнения в процессе выполнения исследований у Крымского полуострова привело к увеличению смертности икры *E. encrasicolus* с 60% при волнении 1–2 б до 77% — при 3–4 б. У берегов Кавказа при волнении 1–2 б смертность икры *E. encrasicolus* в среднем составляла 58%, в секторе Керчи при волнении 3–4 б — увеличилась до 70%.

Кластерный анализ показал, что сходство таксономического состава ихтиопланктона различных секторов исследований определялось особенностями термодинамического состояния вод в процессе выполнения съемки. На этом фоне максимальная близость отдельных кластеров, вне зависимости от района, определялась интенсивностью ветрового волнения в процессе съемки.

В районе Крымского полуострова при установившейся циркуляции поверхностных вод в начальной фазе формирования вертикальной термической структуры вод летнего типа отмечается квазиоднородное распределение численности икры и личинок рыб в шельфовых и глубоководных районах моря.

В районе Кавказского сектора исследований ветровая “накачка” верхнего слоя моря в процессе усиления циклонической деятельности в июне—июле 2021 г. в начале первой декады августа привела к существенной перестройке поверхностной циркуляции вод на исследуемой акватории. Трансформация ОЧТ в сплошной поток со скоростями до 30–35 м/с и его смещение на кромку шельфа вдоль Кавказского побережья вплоть до Керченского пролива не повлияли на нерестовую активность массовых промысловых видов рыб. Средняя численность икры на шельфе и в глубоководной зоне была сопоставима и составляла около 160 экз/м². В то же время за счет смещения струи ОЧТ в прибрежно-шельфовую зону средняя численность личинок рыб достигла 452 экз/м², что почти в 5 раз превышало таковую в глубоководной зоне, их максимальная численность составила 936 экз/м².

Анализ спектра питания разноразмерных личинок рыб показал, что наиболее благоприятные условия питания наблюдались у берегов Кавказа. В этом районе преобладали мелкоразмерные фракции копепод и кладоцер, а их численность и биомасса были значительно выше, чем у Крымского полуострова, что совокупно благоприятствовало выживанию личинок рыб.

Благодарности. Авторы выражают благодарность научным сотрудникам отдела функционирования морских экосистем вед. н. с., к. б. н. Мельникову В.В. и м. н. с. Чудиновских Е.С. за сбор ихтиопланктонных проб в рейсе и вед. инж. отд. планктона Поповой Е.А. за помощь в обработке зоопланктонных проб.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках государственных заданий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр “Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН” № 1023032000049-6-1.6.21 “Биоразнообразие как основа устойчивого функционирования морских экосистем, критерии и научные принципы его сохранения” (ихтио-, зоопланктонные и трофологические исследования) и № 1023032700554-2-1.6.16 “Комплексное исследование механизмов функционирования морских биотехнологических комплексов в целях получения биологически активных веществ из гидробионтов” (гидрологические исследования).

Проведенные исследования были выполнены в Центре коллективного пользования НИС “Проф. Водяницкий” Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра “Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белокопытов В.Н., Никольский Н.В. Устойчивые антициклонические вихри у южного и западного побережья Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2015. Вып. 1. С. 47–53.
2. Белокопытов В.Н. Климатические изменения гидрологического режима Черного моря: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. Севастополь: МГИ, 2017. 42 с.
3. Гавриков А.В., Зовина О.В., Разоренова О.А. и др. Экстремальные осадки в июне 2021 г. над Черным морем в контексте их долгопериодной климатической изменчивости // Океанология. 2022. Т. 62. № 3. С. 357–364.
<https://doi.org/10.31857/S0030157422030054>
4. Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Серых И.В., Лебедев С.А. Климатические изменения гидрометеорологических параметров Черного и Азовского морей (1980–2020 гг.) // Океанология. 2021. Т. 61. № 6. С. 900–912.
<https://doi.org/10.31857/S003015742106006X>
5. Дехник Т.В. Ихтиопланктон Черного моря. Киев: Наукова думка, 1973. 234 с.
6. Дехник Т.В. Динамика численности, выживания и элиминации икринок и личинок массовых рыб // Основы биологической продуктивности Черного моря / Ред. В.Н. Грезе. Киев: Наукова думка, 1979. С. 272–279.
7. Дука Л.А. Питание личинок черноморской хамсы // Труды Севастоп. биол. ст. 1961. Т. 14. С. 242–256.
8. Дука Л.А., Синюкова В.И. Руководство по изучению питания личинок и мальков морских рыб в естественных и экспериментальных условиях. Киев: Наукова думка, 1976. 133 с.
9. Зацепин А.Г., Кременецкий В.В., Пиотух В.Б. и др. Формирование прибрежного течения в Черном море из-за пространственно-неоднородного ветрового воздействия на верхний квазиоднородный слой // Океанология. 2008. Т. 48. № 2. С. 176–192.
10. Зацепин А.Г., Ёлкин Д.Н., Корж А.О. и др. О влиянии изменчивости течения в глубоководной зоне Черного моря на динамику вод узкого северокавказского шельфа // Морской гидрофизический журнал. 2016. № 3. С. 16–25.
<https://doi.org/10.22449/0233-7584-2016-3-16-25>
11. Иванов В.А., Белокопытов В.Н. Океанография Черного моря. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 212 с.
12. Кошелев Б.В. Экология размножения рыб. М.: Наука, 1984. 309 с.
13. Маркова Н.В., Белокопытов В.Н., Дымова О.А., Миклашевская Н.А. Оценка климатических полей температуры и солености вод Черного моря для современного периода (1991–2020) // Морской гидрофизический журнал. 2021. Т. 37. № 4. С. 423–435.
14. Морозов А.Н., Маньковская Е.В. Холодный промежуточный слой Черного моря по данным экспедиционных исследований 2016–2019 годов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 2. С. 5–16.
15. Морской портал. МГИ РАН.
http://dvs.net.ru/mp/index_ru.shtml [дата обращения: 01.06.2022]
16. Одум Ю. Экология. Москва: Мир, 1986. Т. 2. 373 с.
17. Определитель фауны Черного и Азовского морей. Киев: Наук. думка, 1969. Т. 2. 536 с.
18. Определитель фауны Черного и Азовского морей. Киев: Наук. думка, 1972. Т. 3. 331 с.
19. Подымов О.И., Зацепин А.Г., Очеретник В.В. Рост солености и температуры в деятельном слое северо-восточной части Черного моря с 2010 по 2020 г. // Морской гидрофизический журнал. 2021. Т. 37. № 3. С. 279–287.
<https://doi.org/10.22449/0233-7584-2021-3-279-287>
20. Полонский А.Б., Серебренников А.Н. О механизме резкого понижения температуры поверхности в северо-западной части Черного моря и у побережья Крыма // Метеорология и Гидрология. 2023. № 2. С. 31–40.

21. Ревина Н.И. К вопросу о размножении и выживании икры и молоди крупной ставриды в Черном море // Труды Азово-Черномор. НИИ мор. Рыб. Хоз-ва и океанографии. 1958. Вып. 7. С. 9–10.
22. Синюкова В.И. Питание личинок черноморской ставриды // Тр. Севастоп. биол. ст. 1964. Т. 15. С. 302–325.
23. Современное состояние ихтиофауны Черного моря / Ред. С.М. Коновалов. Севастополь: Экогидрофизика, 1995. 214 с.
24. Тимов В.Б. Характеристика Основного Черноморского течения и прибрежных антициклонических вихрей в Российском секторе Черного моря // Океанология. 2002. Т. 42. № 5. С. 668–676.
25. Ткач А.В. Питание личинок черноморских рыб // Современное состояние ихтиофауны Черного моря: сб. науч. трудов НАН Украины / Ред. С.М. Коновалов. Севастополь: ИНБЮМ, 1996. С. 153–168.
26. Троценко О.А., Субботин А.А. Абиотические факторы и условия обитания гидробионтов прибрежной зоны Юго-Восточного Крыма. Гидрологические особенности / Ред. Н.С. Костенко. Биология Черного моря у берегов Юго-Восточного Крыма. Симферополь: АРИАЛ, 2018. С. 46–59.
27. Филлипс О.М. Динамика верхнего слоя океана. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 319 с.
28. Arashkevich E.G., Drita A.V., Timonir A.G., Krementsky V.V. Variability of Spatial Zooplankton Distribution Affected by the Water Dynamics in the North-eastern Part of the Black Sea // Oceanology. 2002. V. 42. S. 1. P. S79–S94.
29. Auth T.D., Daly E.A., Brodeur R.D., Fisher J.L. Phenological and distributional shifts in ichthyoplankton as associated with recent warming in the northeast Pacific Ocean // Global Change Biology. 2017. V. 24 (11). P. 259–272.
30. Klimova T.N. Dynamics of Species Composition and Numbers of Ichthyoplankton of the Black Sea in the Area of the Crimea in the Summer Periods of 1988–1992 // J. of Ichthyology. 1998. V. 38. № 8. P. 645–651.
31. Klimova T., Podrezova P. Seasonal distribution of the Black Sea ichthyoplankton near the Crimean Peninsula // Regional studies in Marine Science. 2018. V. 24. P. 260–269.
32. Klimova T.N., Subbotin A.A., Vdodovich I.V. et al. Distribution of Ichthyoplankton in Relation to Specifics of Hydrological Regime off the Crimean coast (the Black Sea) in the Spring–Summer Season 2017 // J. of Ichthyology. 2021. V. 61. № 2. P. 259–269.
33. Klimova T.N., Subbotin A.A., Podrezova P.S., Kurshakov S.V. Ichthyoplankton of the Black Sea during the Period of Mass Spawning of Warm-Water Fish Species // Oceanology. 2022. V. 62. № 4. P. 517–527.
34. Klimova T.N., Podrezova P.S., Subbotin A.A. et al. Ichthyoplankton of the Black Sea at the Beginning of the Summer Spawning Season 2018 // Water Resources. 2022. V. 49. № 3. P. 493–502.
35. Kubryakov A.A., Stanichny S.V., Zatsepin A.G., Kremetskiy V.V. Long-term variations of the Black Sea dynamics and their impact on the marine ecosystem // J. of Marine Systems. 2016. V. 163. P. 80–94.
36. Oguz T. Controls of Multiple Stressors on the Black Sea Fishery // Frontiers in Marine Science. 2017. V. 4. P. 1–12.
37. Romesburg H.C. Cluster Analysis for Researchers. Robert E. Krieger Pub. Co. Florida, USA. 1990. 334 p.
38. Sørensen T. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content // Kongelige Danske Videnskabernes Selskab. Biol. skrifter. Bd V. 1948. № 4. P. 1–34.
39. Turan C., Erguden D., Gürlek M. Climate Change and Biodiversity Effects in Turkish Seas // Natural and Engineering Sciences. 2016. V. 1. № 2. P. 15–24.
40. WoRMS Editorial Board. 2021. World register of marine species. <https://www.marinespecies.org/index.php> (Version 02/2022)
41. Zagorodnyaya Yu.A., Vdodovich I.V., Podrezova P.S., Klimova T.N. Species composition and feeding of the fish larvae in the northern part of the Black Sea in July–August 2019 // J. of Ichthyology. 2022. V. 62. № 6.

FEATURES OF THE DISTRIBUTION OF THE BLACK SEA ICHTHYOPLANKTON IN THE CONDITIONS OF ACTIVATION OF ATMOSPHERIC PROCESSES IN THE SUMMER HYDROLOGICAL SEASON OF 2021

T. N. Klimova^{a, *}, A. A. Subbotin^a, I. V. Vdodovich^a,
J. A. Zagorodnyaya^a, D. A. Zabrodin^a

^a*A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, IBSS,
Sevastopol, Russian Federation*

** e-mail: tnklim@mail.ru*

The species diversity, abundance and distribution features of ichthyoplankton and fodder zooplankton in the northern part of the Black Sea in the summer of 2021 are presented. The intensification of cyclonic activity over the Black Sea in June-July slowed down the process of formation of the summer type of thermal stratification of waters in the studied water area. At the beginning of July, only 13 species of eggs and fish larvae were observed in the ichthyoplankton of the Crimean Peninsula, and their average numbers were 29 and 2 ind/m², respectively. At the beginning of August, the summer-type vertical thermal stratification of waters off the coast of the Caucasus has already formed. The number of ichthyoplankton species has increased to 20. Activation of atmospheric processes in June-July intensified the intra-seasonal wind “pumping” of the upper layer of the sea. The main Black Sea current transformed into a pronounced stream over the continental slope, oriented alongshore, partially extending to the shelf. This did not affect the spawning activity of mass fish species. The average number of eggs in the shelf and deep-water zone was about 160 ind/m², and the average number of larvae on the shelf was almost five times higher and amounted to 452 ind/m².

Keywords: ichthyoplankton, species diversity, spatial distribution, fodder zooplankton, feeding of fish larvae, hydrological regime, Black Sea