

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ОСЕННЕЙ МИГРАЦИИ ЧЕРНОМОРСКОЙ ХАМСЫ К БЕРЕГАМ КРЫМА В 2019 И 2020 ГОДАХ ПО ДАННЫМ С ИСЗ

© 2022 г. Б. Н. Панов^{a, b, *}, С. С. Смирнов^a, Е. О. Спиридонова^b, С. А. Негода^a

^aАзово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону, Россия

^bФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет» (КГМТУ), Керчь, Россия

*E-mail: panov_bn@mail.ru

Поступила в редакцию 10.01.2022 г.

В работе представлены результаты анализа пространственно-временной изменчивости элементов циркуляции и поля поверхностной температуры вод северо-западной части Черного моря в период осенней миграции черноморской хамсы в 2019 и 2020 годах. Черноморская хамса, являясь основным объектом рыбного промысла причерноморских стран, крайне редко приходит на зимовку и вылавливается российскими рыбаками у берегов Крыма. Хамсовая путина 2019/2020 годов была наиболее успешной за всю современную историю промысла черноморской хамсы у крымских берегов. Анализ основных абиотических факторов, определяющих характер миграции хамсы в северо-западной части моря к берегам Крыма показывает, что ее массовому выходу на шельф Крыма способствует, прежде всего, формирование в ноябре и декабре восточного течения на юге северо-западной части Черного моря, а также повышенный декабрьский тепловой фон поверхностных вод за пределами шельфа этой части моря. Усиления восточных течений активизируют выход хамсы на шельф, а западное направление градиента температуры поверхностных вод увеличивает плотность ее промысловых скопления на юго-западном шельфе Крыма. Выполненные исследования представляют научный интерес и обуславливают необходимость регулярного мониторинга условий миграции хамсы с использованием информации с ИСЗ для прогнозирования возможностей ее промысла у берегов Крыма.

Ключевые слова: Черное море, шельф Крыма, промысел хамсы, альтиметрические данные, температура поверхности моря, пространственно-временная изменчивость, мониторинг

DOI: 10.31857/S0205961422060082

ВВЕДЕНИЕ

Европейский анчоус, или хамса (*Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758) относится к числу наиболее массовых видов рыб в Азово-Черноморском бассейне, играет исключительно важную роль в экосистеме Черного и Азовского морей и активно вылавливается всеми причерноморскими странами. В Азово-Черноморском бассейне европейский анчоус представлен как азовским — *E. e. maeoticus* (азовская хамса), так и черноморским — *E. e. ponticus* (черноморская хамса) подвидами, являющимися двумя разными единицами запаса. Современное состояние черноморской хамсы относительно стабильное, ее биомасса оценивается в 700–800 тыс. т, рекомендуемый вылов — 200 тыс. т (Зуев и др., 2014).

Основная часть нерестового запаса черноморской хамсы и продуцируемого ею потомства распределяется в придунайском районе северо-западной части Черного моря, а традиционными районами образования зимовальных скоплений являются прибрежные воды Турции (от Синопа

до Ризе) и юго-восток Черного моря (от Батуми до Сухуми). В отдельные годы черноморская хамса массово зимует и у побережья Крыма, где ее скопления могут смешиваться со скоплениями азовской хамсы. В период 2000–2017 гг. массовая зимовка черноморской хамсы у берегов Крыма отмечалась в 2003 и 2011–2012 гг., то есть три раза за 18 лет. Иногда значительные скопления черноморской хамсы формируются и непродолжительное время облавливаются в осенний период у юго-западного побережья Крыма, а затем эта рыба уходит на юг (Кожурин и др., 2018).

Значительный научный и практический интерес вызывают условия, создавшие предпосылки активной осенней миграции черноморской хамсы в воды Крыма в 2019 и 2020 гг. Согласно существующим представлениям, миграции черноморской хамсы к берегам Крыма определяются гидрометеорологическими условиями. Ранее выполненные нами исследования влияния ветрового и температурного факторов на осенние миграции черноморской хамсы к берегам Крыма показали, что с годовой заблаговременностью положительную

роль в этом процессе играет относительно низкая температура воды у западного побережья Крыма в январе–марте, ослабление восточных атмосферных переносов в течение всего года (особенно летом), а также усиление южных переносов в западной половине моря летом и зимой. Непосредственно осенью перед путиной благоприятное влияние оказывают усиления восточных атмосферных переносов, а также высокая температура воды в декабре у южных берегов Крыма (ЮБК) (Панов, Фурса, 2010).

Причинами массового и раннего появления скоплений черноморской хамсы у юго-западного побережья Крыма в ноябре 2007 года авторы работы (Зуев и др., 2009) считают штормовые западные и юго-западные ветры, сильное ветровое течение и резкое понижение температуры поверхности моря (ТПМ) у Южного берега Крыма (ЮБК).

В климатическом аспекте в северо-западной части Черного моря в холодное время года граница между шельфовыми водами и открытым морем представляет собой ярко выраженный термический фронт. Причем, осенний контраст температуры выражен сильнее весеннего, т.к. процессы плотностной конвекции и ветрового перемешивания быстро разрушают термическую стратификацию. Акватория, прилегающая к юго-западному Крыму, характеризуется минимальной (16°C) амплитудой сезонных колебаний температуры поверхности моря. Это обусловлено тем, что летний нагрев воды здесь умеренный, а зимнее охлаждение смягчается адвекцией теплых вод от Кавказского побережья (Ильин и др., 2012).

Для сезонной изменчивости общей схемы циркуляции вод в Черном море характерно ослабление Основного Черноморского течения (ОЧТ) к октябрю–ноябрю и его усиление зимой. Генеральное направление переноса морских вод с востока на запад в южной части северо-западного района моря нарушается присутствием здесь, преимущественно, двух антициклонических вихревых образований, наиболее интенсивных в осенне-зимний период (Кныш и др., 2008).

На западе района часто возникает антициклонический вихрь, называемый Дунайским, который более выражен осенью. В центральной и восточной части района система течений формируется в процессе взаимодействия ОЧТ и Севастопольского антициклонического вихря. Сезонный ход климатической геострофической циркуляции показывает, что Дунайский антициклон образуется весной, а Севастопольский антициклон присутствует практически постоянно и наиболее интенсивен с февраля по май (Иванов, Белокопытов, 2011).

Авторы работы (Ильин и др., 2012) отмечают, что в результате увеличения после 2002 года амплитуды годового хода завихренности напряже-

ния трения ветра над Черным морем значительно возросла интенсивность течений в бассейне, максимум средней кинетической энергии течений сместился в 2003–2010 годах с декабря–января на февраль, увеличилась вихревая кинетическая энергия течений.

Значительные межгодовые и межсезонные изменения характера и интенсивности циркуляции вод в Черном море, происходящие в условиях значительных быстрых изменений климата, не могут не привести к изменениям вектора осенней миграции черноморской хамсы. Поэтому, нам представляется необходимой организация комплексного мониторинга этих изменений и их целенаправленного анализа.

Целью данного исследования является выявление особенностей сезонных и синоптических изменений циркуляции вод и температуры поверхности моря, способствующих миграции черноморской хамсы в северо-западной части Черного моря к берегам Крыма. Для достижения этой цели решались следующие задачи:

- сравнение активности выхода хамсы на шельф западного Крыма и результативности ее промысла в декабре 2019 и 2020 гг.;
- сравнение схем циркуляции вод и распределения температуры поверхности северо-западной части Черного моря в ноябре и декабре 2019 и 2020 гг.;
- выявление в ежедневной изменчивости характеристик течения и температуры условий, стимулирующих формирование на шельфе западного Крыма промысловых скоплений черноморской хамсы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При анализе результативности промысла черноморской хамсы в декабре 2019 и 2020 гг. использовалась ежедневная информация ФГБУ “Центр системы мониторинга рыболовства и связи”. Исследовались данные о ежедневных промысловых нагрузках (средний суточный вылов на одно судно – В, т), а также информация о районе работы судов у юго-западного побережья Крыма с 1 по 31 декабря 2019 и 2020 гг.

Сбор ихтиологических проб производился на промысловых судах, а их камеральная обработка с выполнением ихтиологического анализа (определение размера, массы, пола и возраста особей) были выполнены по методикам ФГУП “АзНИИРХ” (Методы..., 2005).

Для оценки характера циркуляции вод в северо-западной части Черного моря использовались данные об уровне моря, которые характеризуют поверхностные геострофические течения и достаточно точно определяются современными альтиметрами ИСЗ (Кныш и др., 2008). Данные

по аномалиям уровня моря (А) и по температуре его поверхности (ТПМ, °С) были получены с помощью информационной системы Copernicus Marine Service для акватории северо-западной части Черного моря, выделенной на рис. 1. В использованной информационной системе ежедневные данные приведены без пропусков; для анализа, в соответствии с информацией о промысле черноморской хамсы у берегов Крыма (Кожурин и др., 2018), был выбран временной интервал с 2000 по 2020 годы.

Для получения данных по аномалиям уровня был использован продукт “Sea Surface Heights and Derived Variables Reprocessed”, который содержит значения “А” в узлах сетки с шагом 0.125 градуса. Данные получены на основе спутниковой альтиметрии относительно среднего значения за период 1993–2012 гг. и рассчитаны методом оптимальной интерполяции с использованием альтиметрических данных нескольких спутников. Указанные данные обрабатывались системой анализа спутниковых альтиметрических данных DUACS, которая традиционно используется для оперативных расчетов и формирования каталогов данных (Sea Surface Heights and Derived Variables Reprocessed, дата обращения 10.10.2021).

Для получения данных по температуре поверхности моря был использован продукт “Black Sea – High Resolution L4 Sea Surface Temperature Reprocessed”. Этот продукт состоит из ежедневных (ночных), оптимально интерполированных спутниковых оценок базовой температуры поверхности воды в узлах сетки с разрешением 0.05° (Black Sea – High Resolution L4 Sea Surface Temperature Reprocessed, дата обращения 10.10.2021).

Все вышеописанные массивы данных были загружены с сайта информационной системы Copernicus Marine Service в формате NetCDF. Далее, для формирования выборок по пространственным и временным критериям, они были обработаны в вычислительной среде JupyterLab на программной платформе Anaconda Individual Edition и сохранены в формат TXT.

В дальнейшем анализе использовались данные за ноябрь и декабрь указанных выше лет. В качестве средних многолетних полей аномалий уровня моря (А, см) и ТПМ рассматривались осредненные поля периода 2000–2018 гг., для сравнительного анализа условий миграции и промысла хамсы — средние поля за ноябрь и декабрь 2019 и 2020 гг.

Для исследования ежедневных изменений зональной компоненты геострофических течений и ТПМ у западного побережья Крыма были использованы ежедневные данные в узлах сетки, указанных на рис. 1 в виде показателя наклона уровня поверхности моря ΔA_{1-3} и ΔA_{4-5} между

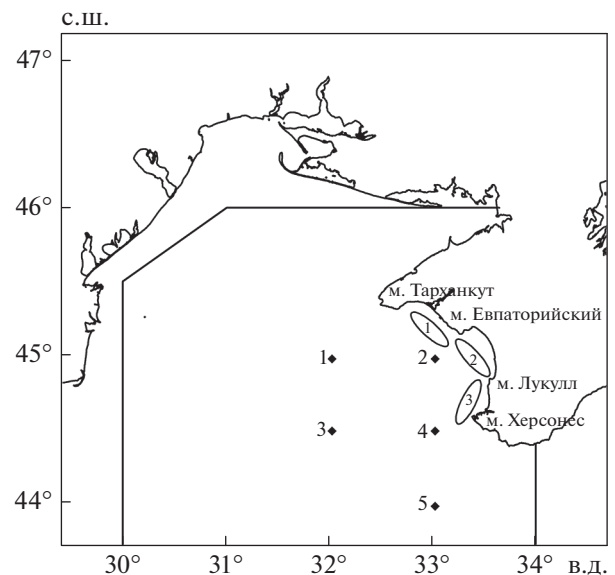


Рис. 1. Границы района исследований полей аномалий уровня моря и температуры его поверхности по спутниковым данным в северо-западной части Черного моря в ноябре-декабре 2000–2020 гг. ♦ — узлы сетки, в которых использовались ежедневные данные за ноябрь-декабрь 2019 и 2020 гг. ○ — основные участки промысла черноморской хамсы у западных берегов Крыма в декабре 2019 и 2020 гг.

точками, соответственно, 1 и 3, 4 и 5; ТПМ в точках 2 и 3; разницы ТПМ в этих точках (ΔTPM_{3-2}).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Обзор промысла. В первой пятидневке декабря 2019 г. черноморская хамса сформировала плотные промысловые скопления на участке шельфа Западного Крыма в районе оз. Донузлав — м. Евпаторийский (промысловый участок 1 на рис. 1), обеспечив результативный судовой траловый промысел (рис. 2, табл. 1). В конце первой декады промысел переместился в Каламитский залив (промысловый участок 2 на рис. 1), где его результативность была наиболее высокой. До 18 декабря суда работали на первом и втором промысловых участках с относительно высокой результативностью. Затем промысловый флот переместился к югу от м. Лукулл (на третий промысловый участок на рис. 1). Во второй половине декабря результативность промысла снижалась (см. табл. 1). По-видимому, в этот период черноморская хамса уходила в более теплые воды у ЮБК и рассеивалась.

В декабре 2019 г. вылов черноморской хамсы в крымских водах по оценке специалистов АЗНИИРХ, основанной на расовой идентификации проб хамсы из промысловых уловов, соста-

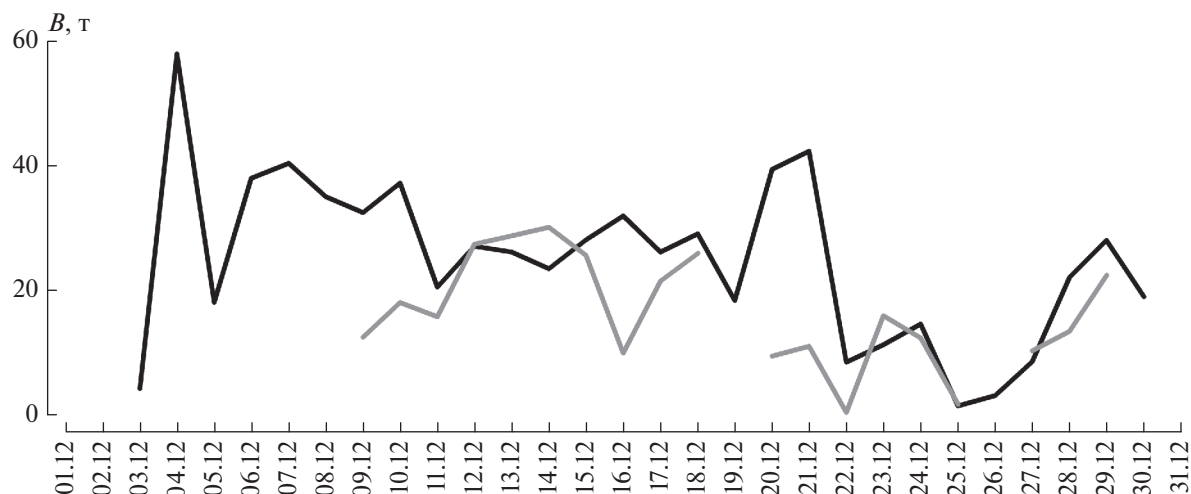


Рис. 2. Средний суточный вылов одного судна на промысле черноморской хамсы в декабре 2019 и 2020 гг. (2019 г. — график черного цвета, 2020 г. — серого).

вил 6.6 тыс. т. В декабрьских уловах преобладала крупная рыба длиной до 125 мм, особи более 95 мм составляли 61.4%. Структура уловов свидетельствует об относительно высоком проценте рыб в возрасте 0+ и 1+.

Промысел черноморской хамсы успешно продолжался у ЮБК до середины февраля 2020 г. В целом за путину 2019/2020 гг. было выловлено около 18 тыс. т черноморской хамсы. Такой ее вылов у берегов Крыма является беспрецедентно высоким, а подход на зимовку — самым массовым за всю историю наблюдений.

В декабре 2020 г. промысел черноморской хамсы у западных берегов Крыма начался 9 декабря, развивался на участке шельфа от м. Евпаторий-

ский до м. Херсонес (на промысловых участках 2 и 3), преимущественно в Каламитском заливе, с худшей результативностью, чем в декабре 2019 г. (см. рис. 2, табл. 1). Всего в декабре было выловлено 2.2 тыс. т черноморской хамсы. В январе промысловая обстановка вдоль западного побережья и у ЮБК постоянно контролировалась одним—двумя судами, но не позволяла организовать результативный промысел.

В феврале 2021 года размер черноморской хамсы из уловов трала колебался от 41 до 130 мм, модальную группу составляли особи размером 85—115 мм (около 72%), а средняя масса особей составила 9.2 г. Доля сеголеток черноморской хамсы в январе-марте 2021 г. на акватории от м. Тарханкут

Таблица 1. Показатели промысла черноморской хамсы у западных берегов Крыма в декабре 2019 г. и декабре 2020 г.

Промысловый участок	Период промысла	Вылов, т	Средний суточный вылов, т
2019 год			
1	3—8 декабря	1634	272
2	9—13 декабря	1752	350
1	14—16 декабря	933	311
2	17—18 декабря	546	272
3	19—26 декабря	1374	172
2	27—30 декабря	360	90
		Σ 6600	
2020 год			
2	9—12 декабря	479	120
3	13—18 декабря	1391	232
2	20—29 декабря	330	33
		Σ 2200	

до м. Херсонес составляла 54.7%, старших возрастных групп (3+...4+) — 8.1%.

В целом за путину 2020/2021 годов было выловлено 9.3 тыс. т черноморской хамсы, что является вторым после путины 2019/2020 показателем объемов вылова черноморской хамсы у берегов Крыма за последние 20 лет.

Таким образом, в ноябре—декабре 2019 и 2020 гг. к западным берегам Крыма подошли значительные массы черноморской хамсы, которые зимовали в этом районе в путину 2020/2021 годов, а в путину 2019/2020 — в значительных объемах и у ЮБК. По размерно-весовым и возрастным характеристикам вылавливаемая в обеих путинах хамса была в значительной степени схожа, но промысловый запас выловленной (а, вероятнее всего, и зимовавшей) у юго-западных берегов Крыма черноморской хамсы в путину 2019/2020 гг. был в два раза больше, а промысловые скопления в декабре 2019 г. хамса создавала раньше и активнее.

Для выявления причин, обусловивших различия в поведении черноморской хамсы в период осенней миграции и начала ее промысла, рассмотрим ноябрьские и декабрьские океанографические условия в северо-западной части Черного моря.

Циркуляция вод. Нам представляется, что основным фактором, определившим аномальное поведение черноморской хамсы осенью 2019 и 2020 гг., являются морские течения (рис. 3).

На средних многолетних картах течений в северо-западной части моря (рис. 3, а, 3, б) явно преобладает циклоническое движение вод, в большей степени выраженное в ноябре.

В 2019 г. циклоническое движение вод также охватывало северо-западную часть моря, но в южной части исследуемой акватории (в отличие от средней многолетней схемы циркуляции) присутствуют антициклонические вихри: Дунайский и Севастопольский в ноябре и Севастопольский в декабре. В результате чего западнее м. Херсонес сформировалось восточное течение, интенсивность которого от ноября к декабрю увеличилась (рис. 3, в, 3, г). Это течение могло быть фактором, обеспечившим в ноябре и декабре 2019 г. миграцию значительной массы черноморской хамсы к юго-западному побережью Крыма.

В 2020 году признаки антициклонической завихренности течений к юго-западу от м. Херсонес наблюдались только в ноябре (см. рис. 3, в), а интенсивность восточных течений западнее м. Херсонес была примерно в 2 раза меньше, чем в ноябре 2019 г. В декабре 2020 г. вся исследуемая акватория находилась под влиянием циклонического круговорота (см. рис. 3, г), что соответствует средней многолетней схеме циркуляции вод, и к западу от м. Херсонес преобладало западное течение. Это дает

возможность предполагать, что слабое восточное течение к западу от м. Херсонес в ноябре и его отсутствие в декабре 2020 г. не позволило мигрировать к Крыму столь же значительной массе хамсы, как в 2019 г.

Ежедневные изменения интенсивности отмеченных выше восточных и западных геострофических течений к западу от юго-западного побережья Крыма демонстрируют графики показателей наклона морской поверхности между парами точек, представленные на рис. 4. Пара точек 1 и 3 (см. рис. 1) характеризует зональный перенос вод в северной части района (см. рис. 4, а), пара точек 4 и 5 — в южной (см. рис. 4, б).

Отрицательные значения указанных показателей обозначают на графиках восточные течения, положительные — западные.

Прежде всего, следует отметить усиление восточных течений во второй декаде ноября в северном районе и в третьей декаде ноября в южном, причем как в 2019, так и в 2020 годах. По-видимому, именно эти течения стали основной причиной подхода хамсы к берегам Крыма и начала ее промысла в первой декаде декабря. Более интенсивными эти течения были в 2019 г., что может объяснить более раннее и более результативное начало промысла в декабре 2019 года. В декабре в северном районе (см. рис. 4, а) преобладали западные течения, особенно ярко это проявилось в 2020 г. В конце второй декады декабря 2020 г. западный поток значительно ослаб, в южном районе в это время такого ослабления не было. Возможно, это ослабление западных течений позволило хамсе в конце декабря 2020 г. подойти в район м. Тарханкут и обеспечить здесь результативный промысел во второй половине путины. В южном районе (см. рис. 4, б) восточное течение после ослабления (в первой декаде декабря) резко усилилось в середине декабря 2019 года, что позволило значительным массам черноморской хамсы пройти к ЮБК, где ее промысел активно начался уже 8 января 2020 г. и продлился до конца путины. В декабре 2020 г. в южном районе преобладало западное течение, что ослабило миграцию хамсы на шельф юго-западного Крыма.

Температура поверхности моря. Поля температуры поверхности моря, представленные на рис. 5, свидетельствуют о том, что тепловой фон поверхности моря в ноябре и декабре 2019 и 2020 гг. был выше среднего многолетнего (аномалии ТПМ ср. мес. см. в табл. 2). В большей степени это касается западной части акватории и ноября 2020 года (рис. 5, д), в меньшей — восточной и декабря 2020 г. (рис. 5, е). Наиболее вероятно, что эти особенности обусловлены адвекцией теплых вод с юго-запада и сравнительно холодных — с востока.

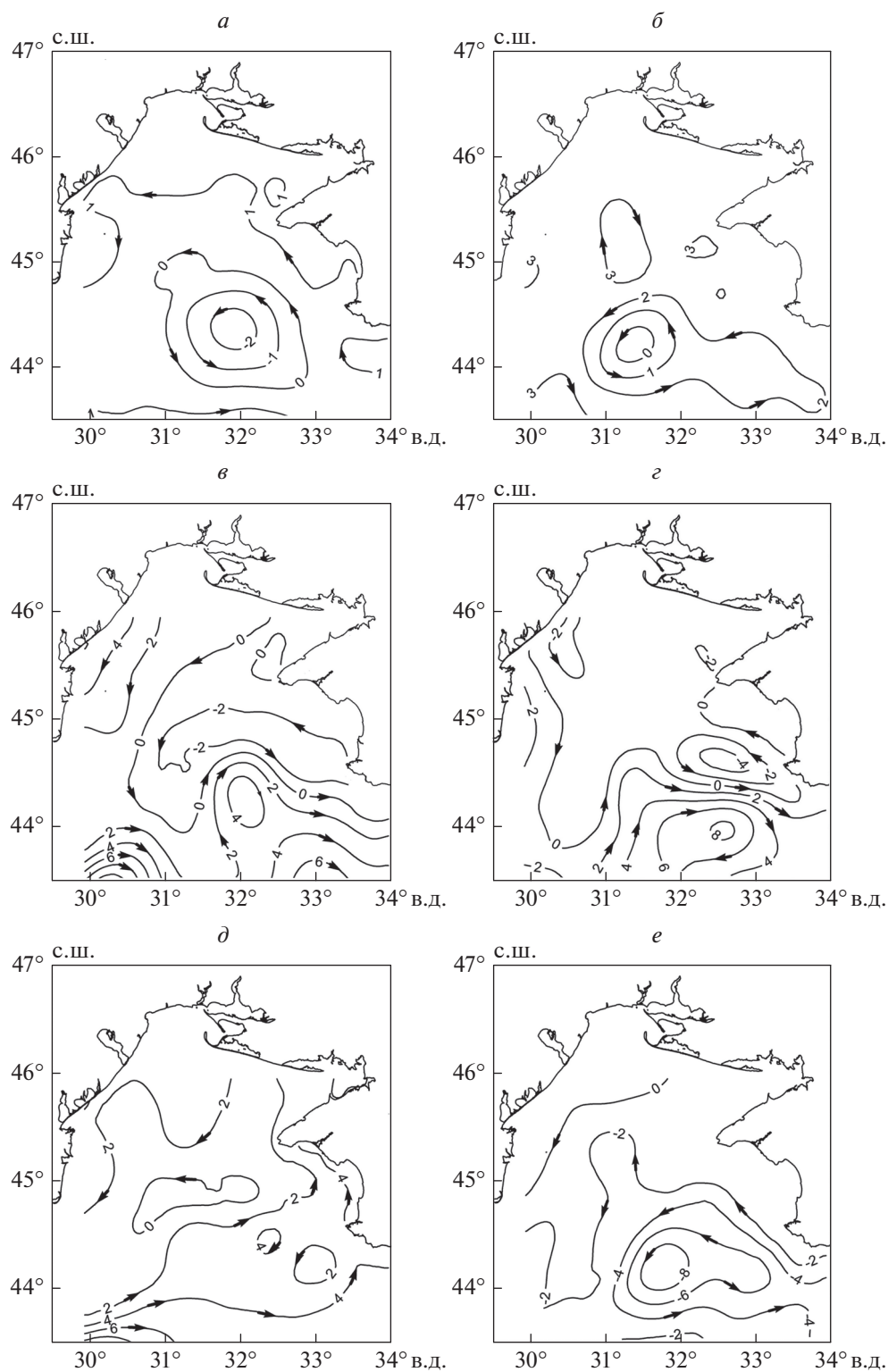


Рис. 3. Аномалия уровня поверхности северо-западной части Черного моря по данным спутниковой альтиметрии (см). Средние многолетние (2000–2018 гг.) поля за ноябрь (а) и декабрь (б) и средние месячные поля, соответственно, за ноябрь (в, г) и декабрь (д, е) 2019 и 2020 годов (стрелочками показано направление линий тока геострофической компоненты течений).

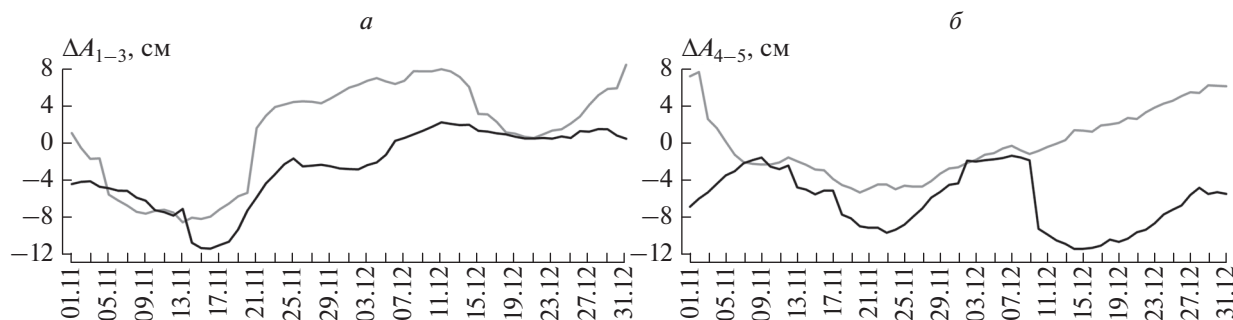


Рис. 4. Меридиональная составляющая наклона морской поверхности в северо-восточном (а) и юго-восточном (б) районах открытых вод северо-западной части Черного моря по данным спутниковой альтиметрии (2019 г. — график черного цвета, 2020 г. — серого).

В ноябре 2019 г. в зоне миграции хамсы ТПМ составляла в среднем 15.0–15.5°C, в ноябре 2020 г. — 16.0–16.5°C. В декабре эти показатели составили, соответственно, около 12.0 и 11.0–11.5°C.

Поскольку принято считать, что ТПМ 15°C является верхним температурным порогом ослабления миграционной активности хамсы в Черном море, а 12.0°C — нижним порогом ее активной миграции (Панов и др., 2020), то ноябрь 2020 г. по температурным условиям был более благоприятен для миграции хамсы, чем ноябрь 2019 г., а декабрь 2020 г. — не благоприятен.

В результате совместного влияния течения и температуры первые промысловые скопления появились в декабре у западных берегов Крыма в 2019 г. на шесть дней раньше и в большем количестве, чем в 2020 г.

Для исследования ежедневных изменений ТПМ у западного побережья Крыма были выбраны узлы сетки (см. рис. 1), отражающие процессы на кромке шельфа (т. 2) и за его пределами (т. 3) в направлении миграции хамсы. Для представленных температурных графиков обеих точек (рис. 6, а, б, в) характерно устойчивое уменьшение ТПМ от 16–17 до 11°C в 2019 г. и от 20 до 10–11°C в 2020 г. В сравнительном анализе графиков следует выделить три периода: с 1 по 17 ноября

(уменьшение ТПМ от 20 до 16°C, температура начала миграции хамсы); с 17 ноября по 13 декабря (уменьшение ТПМ от 16 до 12°C, температура активной миграции хамсы); с 13 по 31 декабря (ТПМ 12–11°C, температура формирования зимовальных скоплений). В первом периоде ТПМ 2019 г. очевидно меньше ТПМ 2020 года, причем эта разница больше на шельфе. Во втором периоде на шельфе температуры двух лет практически равны, за пределами шельфа в 2019 г. они становятся выше значений 2020 года. В третьем периоде ТПМ 2019 г. в обеих точках выше ТПМ 2020 года. Указанные температурные превышения были незначительны, но на каждом этапе это могло способствовать более активной миграции хамсы на шельфе в ноябре и формированию скоплений в декабре 2019 г. по сравнению с 2020 г.

Изменения разности ТПМ в точках 3 и 2 представлены на рис. 6, в. Положительные значения этого показателя соответствуют периодам более высоких ТПМ за пределами шельфа по сравнению с ТПМ на шельфе, отрицательные — периодам сравнительно высоких ТПМ на шельфе. Очевидно, что в ноябре и декабре 2019 г., практически постоянно, ТПМ за пределами шельфа была выше, чем в шельфовых водах (наибольшие различия достигали 1.5°C). В 2020 г. положительная разность наблюдались только в течение 5 дней в

Таблица 2. Вылов черноморской хамсы и средние месячные значения некоторых спутниковых показателей альтиметрии и температуры поверхности моря* для ноября и декабря 2019 и 2020 гг. в северо-западной части Черного моря

Параметры	Вылов, тыс. т	ΔA_{1-3} , см	ΔA_{4-5} , см	Аномалии ТПМ ср. мес., °C	$\Delta T_{PM_{3-2}}$ ср. мес., °C
Ноябрь 2019	—	–5.81	–5.69	1.80	0.53
Ноябрь 2020	—	–2.45	–2.25	2.24	–0.31
Декабрь 2019	6.6	0.60	–6.85	1.36	0.29
Декабрь 2020	2.2	4.82	1.66	0.95	–0.07

* — обозначения показателей описаны в тексте; —затонированы серым цветом значения сравнительно благоприятных океанографических условий для промысла черноморской хамсы у юго-западных берегов Крыма.

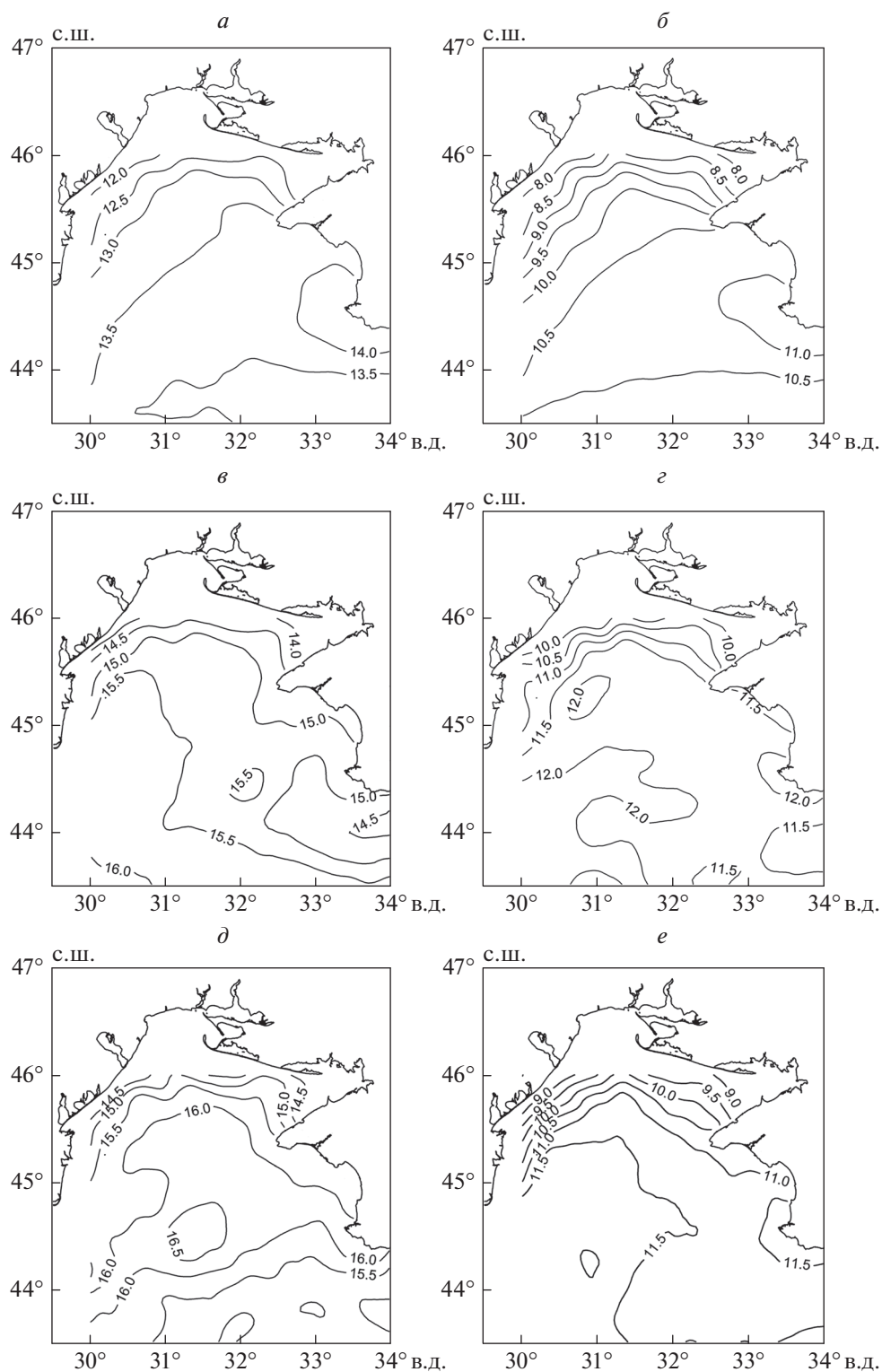


Рис. 5. Температуры поверхности северо-западной части Черного моря по данным с ИСЗ (°C). Средние многолетние (2000–2018 гг.) поля за ноябрь (а) и декабрь (б) и средние месячные поля, соответственно, за ноябрь (в, г) и декабрь (д, е) 2019 и 2020 гг.

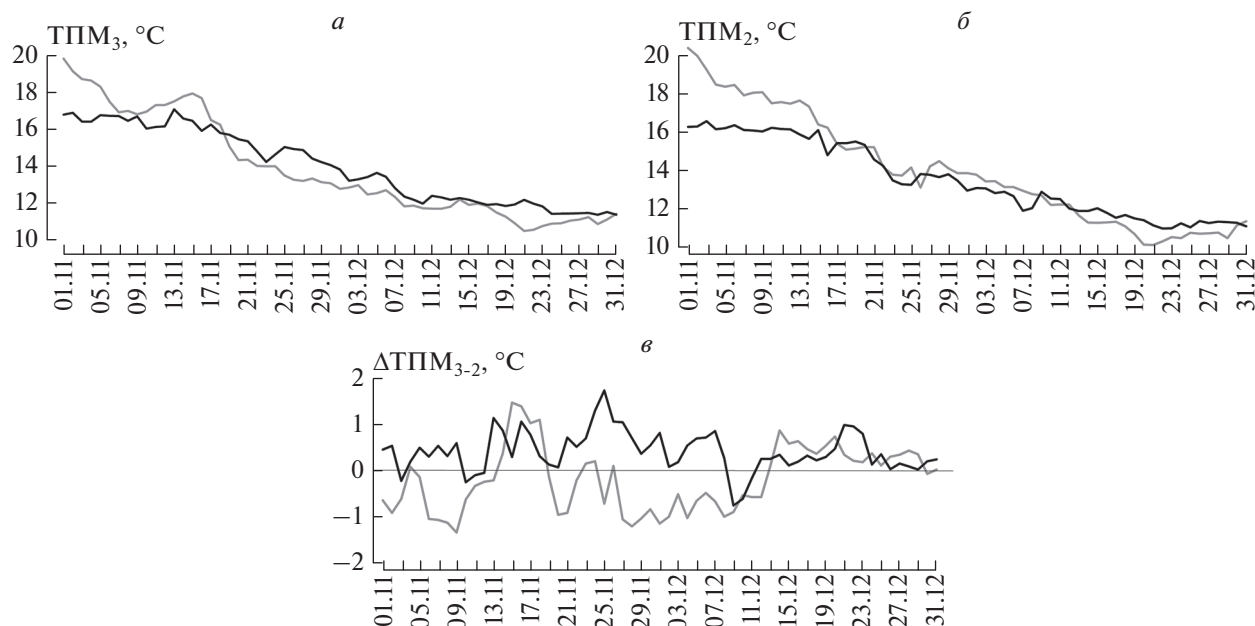


Рис. 6. Изменения ежедневных температур в точках 3 (а) и 2 (б), а также их разницы (в) по данным с ИСЗ (2019 г. — график черного цвета, 2020 г. — серого).

середине ноября и после 13 декабря, когда в 2020 году начался промысел черноморской хамсы. В 2019 г., в конце ноября—начале декабря, то есть в период выхода хамсы на шельф и начала ее массового промысла, положительная разница температур в море и на шельфе была наиболее высокой, в 2020 г. в этот период ситуация была максимально противоположной. Это дает основание предполагать, что у западных берегов Крыма снижение ТПМ в направлении от открытых вод к шельфу способствует формированию здесь зимовальных скоплений черноморской хамсы. Это отличает поведение черноморской хамсы от поведения азовской, которая в ходе осенней миграции выходит из холодных вод Азовского моря в теплые воды Черного моря.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании рассмотренных океанографических условий в северо-западной части Черного моря в ноябре и декабре 2019 и 2020 гг., некоторые характеристики которых представлены в табл. 2 можно заключить, что:

- наличие сравнительно устойчивого восточного течения на юге северо-западной части Черного моря в ноябре и декабре 2019 г. могло способствовать выходу на шельф Крыма беспрецедентно большой массы черноморской хамсы;
- причиной более активной миграции черноморской хамсы в направлении Крыма осенью 2019 и 2020 гг. может быть и более высокая в эти

годы (по сравнению со средней многолетней) ТПМ в северо-западной части Черного моря;

- синоптические усиления восточных течений в декабре 2019 и 2020 гг. активизировали выход хамсы на шельф и увеличивали плотность ее скоплений;
- температурные условия в ноябре—декабре 2019 г. (относительно медленное уменьшение ТПМ) были более благоприятны для активной миграции хамсы на западный шельф Крыма, чем в 2020 г.;
- благоприятным фактором для формирования скоплений хамсы на шельфе и ее зимовки в районе выхода могла быть также ситуация пониженной температуры поверхности моря на шельфе по сравнению с ТПМ мористых акваторий;
- сравнительно яркое проявление указанных факторов в ноябре и декабре 2019 г. позволило выловить на западном шельфе Крыма в декабре 2019 г. в 3 раза больше черноморской хамсы, чем в декабре 2020 г.

Результаты выполненных исследований согласуются с ранее высказанными предположениями о благоприятном влиянии на миграцию черноморской хамсы к Крыму относительно высокой температуры воды у берегов Крыма в декабре (Панов, Фурса, 2010), штормовых западных и юго-западных ветров и сильного ветрового течения (Зуев и др., 2009).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Зуев Г.В., Бондарев В.А., Мурзин Ю.Л., Самотой Ю.В. Многолетняя динамика промысла и размерно-возрастной структуры уловов черноморской хамсы (*ENGRAULIS ENCRASICOLUS PONTICUS ALEKS*) в Украине // Морський екологічний журн. № 1. Т. XIII. 2014. С. 27–33.
- Зуев Г.В., Гуцал Д.К., Репетин Л.Н., Салехова Л.П., Мельникова Е.Б., Бондарев В.А., Мурзин Ю.Л. Популяционная структура и условия формирования промыслового запаса хамсы *engraulis encrasicolus* у побережья Крыма в осенне-зимний сезон 2007/2008 гг. // Морський екологічний журнал. № 1. Т. VIII. 2009. С. 42–53.
- Иванов В.А., Белокопытов В.Н. Океанография Черного моря / НАН Украины, Морской гидрофизический институт. Севастополь, 2011. 212 с.
- Ильин Ю.П., Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н., Горячкин Ю.Н., Дьяков Н.Н., Кубряков А.А., Станичный С.В. Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 2: Черное море / МЧС и НАН Украины, Морское отделение Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института. Севастополь, 2012. 421 с.
- Кныш В.В., Кубряков А.И., Инюшина Н.В., Коротаев Г.К. Восстановление климатической сезонной циркуляции Черного моря на основе модели в σ -координатах с использованием ассимиляции данных о температуре и солености // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. № 16. 2008. С. 243–265.
- Кожурин Е.А., Шляхов В.А., Губанов Е.П. Динамика уловов промысловых рыб Крыма в Черном море. Труды ВНИРО. 2018. Т. 171. С. 157–169.
- Панов Б.Н., Фурса В.Н. Возможности прогнозирования вылова азовской и черноморской хамсы в период зимовки у берегов Крыма. Вопросы промысловой океанологии. Вып. 7. № 1. М: Изд-во ВНИРО, 2010. С. 240–256.
- Панов Б.Н., Спиридонова Е.О., Пятинский М.М., Арутюнян А.С. Результаты мониторинга температурных условий миграции и промысла азовской хамсы // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. № 1. 2020. С. 71–78.
- Методы рыбохозяйственных и природоохранных исследований в Азово-Черноморском бассейне. сб. науч.-методич. работ. Федеральное агентство по рыболовству, Федеральное гос. унитарное предприятие “Азовский науч.-исслед. ин-т рыбного хоз-ва (ФГУП “АзНИИРХ”); / науч. ред.: С.П. Воловик, И.Г. Корпакова. Краснодар, 2005. 352 с.
- Black Sea – High Resolution L4 Sea Surface Temperature Reprocessed // E.U. Copernicus Marine Service Information. URL: https://resources.marine.copernicus.eu/product-detail/SST_BS_SST_L4_REP_OBSERVATIONS_010_022/INFORMATION (дата обращения 10.10.2021).
- Sea Surface Heights and Derived Variables Reprocessed // E.U. Copernicus Marine Service Information. URL: https://resources.marine.copernicus.eu/product-detail/SEALEVEL_EUR_PHY_L4_MY_008_068/INFORMATION (дата обращения 10.10.2021).

Assessment of Autumn Migration Conditions of the Black Sea Khamsa to the Shores of Crimea in 2019 and 2020 According to the Data from the Satellite

B. N. Panov^{1, 2}, S. S. Smirnov¹, E. O. Spiridonova², and S. A. Negoda¹

¹Azov-Black Sea branch of VNIRO (AzNIIRKH), Rostov-on-Don, Russia

²Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Russia

The work presents the results of the analysis of the spatial and temporal variability of the circulation elements and the surface temperature field of the waters of the northwestern part of the Black Sea during the autumn migration of the Black Sea anchovy (khamsa) in 2019 and 2020. Black Sea anchovy, being the main fishery object of the Black Sea countries, very rarely comes for the winter and is caught by Russian fishermen off the coast of Crimea. Anchovy fishing season 2019/2020 was the most successful in the modern history of fishing for the Black Sea anchovy off the coast of Crimea. Analysis of the main abiotic factors determining the character of the migration of anchovy from the northwestern part of the sea to the shores of Crimea shows that its massive exit to the Crimean shelf is primarily facilitated by the formation in November and December of eastern currents in the south of the northwestern part of the Black Sea, and the increased December heat background of surface waters outside the shelf of this part of the sea. Strengthening of the eastern flows activates the exit of anchovy to the shelf, and the western direction of the surface water temperature gradient increases the density of its commercial accumulations on the southwestern shelf of the Crimea. The carried out researches are of scientific interest and stipulate the necessity of regular monitoring of conditions of khamsa migration with the use of information from satellite images for forecasting possibilities of its fishing off the coast of Crimea.

Keywords: The Black Sea, Crimean shelf, khamsa fishery, altimetric data, sea surface temperature, spatial and temporal variability, monitoring

REFERENCES

- Il'in Yu.P., Repetin L.N., Belokopytov V.N., Goryachkin YU.N., D'yakov N.N., Kubryakov A.A., Stanichnyy S.V.* Gidrometeorologicheskiye usloviya morey Ukrainy. Tom 2: Chernoye more [Hydrometeorological conditions of the seas of Ukraine. Volume 2: Black Sea] / MCHS i NAN Ukrainy, Morskoye otdeleniye Ukrainskogo nauchno-issledovatel'skogo gidrometeorologicheskogo instituta. Sevastopol'. 2012. 421 p. (In Russian).
- Ivanov V.A., Belokopytov V.N.* Okeanografiya Chernogo morya [Oceanography of the Black Sea] / NAN Ukrainy, Morskoy gidrofizicheskyy institut. Sevastopol'. 2011. 212 p. (In Russian).
- Knyshev V.V., Kubryakov A.I., Inyushina N.V., Korotayev G.K.* Vosstanovleniye klimaticheskoy sezonnoy tsirkulyatsii Chernogo morya na osnove modeli v σ -koordinatakh s ispol'zovaniyem assimilyatsii dannykh o temperature i solednosti [Restoration of the climatic seasonal circulation of the Black Sea based on the model in σ -coordinates using the assimilation of data on temperature and salinity] // *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fovoy zon i kompleksnoye ispol'zovaniye resursov shel'fa*. 2008. № 16. P. 243–265. (In Russian).
- Kozhurin E.A., Shlyakhov V.A., Gubanov E.P.* Dinamika ulovov promyslovyykh ryb Kryma v Chernom more [Dynamics of catches of commercial fish of the Crimea in the Black Sea]. *Trudy VNIRO*. 2018. T. 171. P. 157–169. (In Russian).
- Metody rybokhozyaystvennykh i prirodookhrannykh issledovaniy v Azovo-Chernomorskom bassejne [Methods of fishery and environmental research in the Azov-Black Sea basin]. sb. nauch.-metodich. rabot. Federal'noye agent-stvo po rybolovstvu, Federal'noye gos. unitarnoye predpriyatiye "Azovskiy nauch.-issled. in-t rybnogo khoz-va (FGUP "AzNIIRKH") / nauch. red.: S.P. Volovik, I.G. Korpakova. 2005. Krasnodar. 352 p. (In Russian).
- Panov B.N., Fursa V.N.* Vozmozhnosti prognozirovaniya vylova azovskoy i chernomorskoy khamisy v period zimovki u beregov Kryma [Possibilities of forecasting the catch of the Azov and Black Sea anchovy during wintering off the coast of Crimea] // *Voprosy promyslovoy okeanologii*. 2010. V. 7. № 1. P. 240–256. (In Russian).
- Zuev G.V., Bondarev V.A., Murzin Yu.L., Samotoy Yu.V.* Mnogoletnyaya dinamika promysla i razmerno-vozrastnoy struktury ulovov chernomorskoy khamisy (ENGRAULIS ENCRASICOLUS PONTICUS ALEKS) v Ukraine [Long-term dynamics of the fishery and the size-age structure of catches of the Black Sea anchovy (ENGRAULIS ENCRASICOLUS PONTICUS ALEKS) in Ukraine] // *Mors'kyy ekolohichnyy zhurnal*. 2014. № 1. T. XIII. P. 27–33. (In Russian).
- Zuev G.V., Gutsal D.K., Repetin L.N., Salekhova L.P., Mel'nikova E.B., Bondarev V.A., Murzin Yu.L.* Populyatsionnaya struktura i usloviya formirovaniya promyslovogo zapasa khamisy engraulis encrasicolus u poberezh'ya Kryma v osenne-zimniy sezon 2007/2008 gg. [Population structure and conditions for the formation of the commercial stock of anchovy engraulis encrasicolus off the Crimean coast in the autumn-winter season of 2007/2008] // *Mors'kyy ekolohichnyy zhurnal*. 2009. № 1. T. VIII. P. 42–53. (In Russian).
- Black Sea high resolution and ultra high resolution sea surface temperature analysis // E.U. Copernicus Marine Service Information. URL: https://resources.marine.copernicus.eu/?option=com_csw&view=details&product_id=SST_BS_SST_L4_NRT_OBSERVATIONS_010_006 (accessed 10.10.2021).
- European Ocean gridded L4 sea surface heights and derived variables NRT // E.U. Copernicus Marine Service Information. URL: https://resources.marine.copernicus.eu/?option=com_csw&view=details&product_id=SEALEVEL_EUR_PHY_L4_NRT_OBSERVATIONS_008_060 (accessed 10.10.2021).