



Среда обитания водных биологических ресурсов

Океанографические условия весенней миграции хамсы как фактор формирования её нерестового запаса в Азовском море

Б.Н. Панов^{1,2}, В.А. Шляхов¹, В.Н. Белоусов¹, Е.О. Спиридонова², С.С. Смирнов¹

¹ Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») ул. Бер еговая, 21 в, г. Ростов-на-Дону, 344002

² Керченский государственный морской технологический университет (ФГБОУ ВО «КГМТУ»), ул. Орджоникидзе, 82, г. Керчь, 298309

E-mail: panov_bn@mail.ru

SPIN-код: Б.Н. Панов – 4117–4780, В.А. Шляхов – 9785–6939, В.Н. Белоусов – 4922–9136, Е.О. Спиридонова – 6102–6574, С.С. Смирнов – 3909–9300

Целью работы является определение влияния циркуляции и температуры морских вод на формирование нерестового запаса хамсы в Азовском море. **Используемые материалы и методы:** промыслово-биологические данные о нерестовом запасе азовской хамсы были собраны в учетных съёмках и мониторинге биоресурсов, выполненных Азово-Черноморским филиалом ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») в бассейне Азовского моря в 2000–2021 гг. Для анализа циркуляции морских вод использовались спутниковые данные об уровне моря. Эти данные, как и спутниковая информация о температуре поверхности моря за март-июнь 2000–2021 гг. для северо-восточной части Чёрного моря и южной части Азовского моря, были взяты с сайта информационной системы Copernicus Marine Service. В работе использовались графические и статистические методы анализа многолетних изменений указанных данных. **Новизна** выполненных работ заключается в исследовании океанографических условий весенней миграции хамсы в Азовское море в качестве факторов, определяющих величину её нерестового запаса в этом море. **Результат:** интенсивный рост нерестового запаса хамсы в Азовском море наблюдался в 2008, 2010 и 2011 гг. Этому способствовали: преобладание северо-западных геострофических течений в северо-восточной части Чёрного моря в апреле 2008–2011 гг., ослабление в Керченском проливе азовских течений в апреле 2007–2010 гг. и преобладание черноморских течений в мае 2004–2012 гг., уменьшение меридионального градиента температуры воды в Керченском проливе в апреле 2007–2010 гг. **Практическая значимость:** возможность использования океанографической информации за апрель-май для прогнозирования величины нерестового и промыслового запаса хамсы в Азовском море.

Ключевые слова: хамса *Engraulis encrasicolus*, нерестовый запас, миграция, альтиметрические данные, температура воды, циркуляция вод, многолетняя изменчивость.

Oceanographic conditions of spring migration of European anchovy as a factor of formation of its spawning stock in the Sea of Azov

Boris N. Panov^{1,2}, Vladislav A. Shlyakhov¹, Vladimir N. Belousov¹, Elena O. Spiridonova², Sergey S. Smirnov¹

¹ Azov-Black Sea branch of VNIRO («AzNIIRKH»), 21B, Beregovaya st., Rostov-on-Don, 344002, Russia

² Kerch State Maritime Technological University («KSMTU»), 82, Ordzhonikidze str., Kerch, 298309, Russia

The aim of the work is to determine the influence of sea water circulation and temperature on the formation of the spawning stock of anchovy in the Sea of Azov. **Materials and methods:** Fishery and biological data on the spawning stock of the Azov anchovy were collected in surveys and bioresources monitoring carried out by the Azov-Black Sea branch of the VNIRO («AzNIIRKH») in 2000–2021. Satellite sea level data were used in the analysis of sea water circulation. These data, as well as satellite information on sea surface temperature for March-June 2000–2021 for the north-eastern part of the Black Sea and the southern part of the Azov Sea were taken from the website of the Copernicus Marine Service information system. Graphical and statistical methods of analyzing multi-year changes in the data were used in the work. **The novelty** of the performed work lies in the study of oceanographic conditions of spring migration of anchovy to the Sea of Azov as factors determining the size of its spawning stock in this sea. **Result:** intensive growth of the spawning stock of anchovy in the Sea of Azov was observed in 2008, 2010 and 2011. This was facilitated by: predominance of north-western geostrophic currents in the north-eastern part of the Black Sea in April 2008–2011, weakening of the Azov currents in the Kerch Strait in April 2007–2010 and predominance of the Black Sea currents in May 2004–2012, Decrease in the meridional gradient of water temperature in the Kerch Strait in April 2007–2010. **Practical significance:** the possibility of using oceanographic information for April-May to predict the size of the spawning and commercial stock of anchovy in the Sea of Azov.

Keywords: anchovy *Engraulis encrasicolus*, spawning stock, migration, altimetric data, water temperature, water circulation, multi-year variability.

ВВЕДЕНИЕ

Европейский анчоус, хамса *Engraulis encrasicolus* (L., 1758), относится к числу наиболее массовых видов рыб в Азово-Черноморском бассейне (АЧБ) и добывается всеми причерноморскими странами. В первой половине XX века отечественные ихтиологи разделили обитающий в АЧБ европейский анчоус на два подвида (расы) – азовский (азовская хамса *E. e. maeoticus* Pusanov, Zeeb, 1926) с нерестовым ареалом в Азовском море и черноморский (черноморская хамса *E. e. ponticus* Aleksandrov, 1927), размножающийся в Чёрном море [Пузанов, 1926; Александров, 1927].

Российский промысловый ареал азовской хамсы осенью охватывает Азовское море с Керченским проливом, а в холодные месяцы года – Чёрное море между мысами Кадош и Меганом. В последние два десятилетия, в связи с повышением температуры поверхностных вод в Чёрном море, азовская хамса в значительных количествах остается на зимовку у побережья Краснодарского края, где облавливаются разноглубинными тралами [Александрова и др., 2016; Кожурин и др., 2018].

В начале апреля зимовальные косяки распадаются, и основная масса перезимовавшей азовской хамсы возвращается в Азовское море, меньшее её количество может оставаться в прибрежных мелководьях северо-восточной и северо-западной частей Чёрного моря. Массовый нерест хамсы, как в северо-восточной части Чёрного моря, так и в Азовском море, начинается в мае [Состояние биологических ..., 1995; Надолинский, Надолинский, 2018]. В некоторых источниках указывается более ранний период распада зимовальных косяков азовской хамсы в Чёрном море, её весенней миграции и захода в Азовское море: конец марта – апрель [Состояние биологических ..., 1995; Войкина и др., 2021]. Такое поведение хамсы можно рассматривать как важнейший аргумент существования её азовского подвида [Попрова, 1954; Шульман, 1960; Троцкий, 1973; Мирзоян и др., 2023].

Существует мнение, что в северо-западной части Чёрного моря, у западных берегов Крыма, особенно в годы высокого уровня запаса азовской хамсы может происходить её массовая зимовка и гибридизация с черноморской хамсой [Chashchin et al., 2015; Зуев, 2019].

Величину сформировавшегося в Азовском море нерестового запаса и урожайность хамсы связывают преимущественно с весенним количеством липидов в теле особей [Войкина и др., 2021] и особенностями развития зоопланктона, являющегося основной пищей этого вида рыб. После 2000 г. в оценках показа-

телей запаса, определённого по данным лампарных учётных съёмок и результатам продукционного моделирования, выделяют три периода его состояния: два – с низкими показателями (2000–2006 и 2018–2021 гг.) и один – с высокими (2008–2016 гг.) [Шляхов и др., 2023]. По мнению З.А. Мирзоян с соавторами [2023], наблюдаемые изменения величины запаса и урожайности азовской хамсы объясняются вселением гребневиков *Mnemiopsis leidyi* Agassiz, 1865 и *Beroe ovata* Bruguière, 1789, увеличением солёности морских вод и появлением хищных сцифоидных медуз – *Aurelia aurita* и *Rhizostoma pulmo*. Однако очевидно, что нерестовый запас хамсы в Азовском море в значительной степени также зависит от активности её весенней миграции через Керченский пролив из северо-восточной части Чёрного моря. Поэтому, рассматривая формирование запаса хамсы, нельзя оставлять без внимания океанографические условия её весенней миграции.

Специальных исследований влияния океанографических факторов на весеннюю миграцию и преднерестовое распределение хамсы в Азовском море в научной литературе нам обнаружить не удалось. Известно только, что в начале весны при потеплении воды в Чёрном море до 9–10 °С хамса поднимается к поверхности моря [Чёрное море..., 1983] и при температуре поверхности моря (ТПМ) 11 °С начинает миграцию из мест зимовки [Панов и др., 2020].

Поэтому, основной целью представленных в данной работе исследований является определение характера влияния изменений циркуляции вод и ТПМ на формирование нерестового запаса хамсы в Азовском море.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Промыслово-биологические данные о нерестовом и промысловом запасах, использованные в настоящей работе, были собраны в ходе учётных съёмок и государственного мониторинга биоресурсов, выполненных Азово-Черноморским филиалом ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») в бассейне Азовского моря в 2000–2021 гг. Традиционно текущую численность и биомассу запаса азовской хамсы определяют площадным методом по результатам лампарной съёмки, выполняемой в Азовском море в летний период [Аксютин, 1968; Методы рыбохозяйственных..., 2005]. С 2015 г. к прямому учёту добавились аналитические оценки продукционных моделей, реализуемых в программных комплексах Combi [Бабаян и др., 2018] и JABBA [Шляхов и др., 2023; Winker et al., 2018].

Для анализа изменчивости циркуляции морских вод использовались спутниковые данные об уровне

моря, поскольку градиенты уровня характеризуют поверхностные геострофические течения в Чёрном море и сгонно-нагонные в Азовском и достаточно точно измеряются современными альтиметрами с искусственных спутников Земли [Кныш и др., 2008].

В качестве источника океанографических данных по был использован сайт информационной системы Copernicus Marine Service в формате NetCDF¹.

Аномалии уровня (А, см) для Чёрного моря рассчитаны относительно средних значений за период 1993–2012 гг. и приведены в узлы регулярной сетки с шагом 0,125° с использованием метода оптимальной интерполяции и данных нескольких спутников. Эти данные обрабатывались системой анализа спутниковой альтиметрической информации DUACS, которая традиционно используется для оперативных расчётов и формирования каталогов данных.

Альтиметрические данные для Азовского моря использовались в узлах сетки с шагом 0,25°. Методика анализа полученных значений аналогична вышеописанной для Чёрного моря.

Продукт получения данных по ТПМ Чёрного и Азовского морей предоставляет ночные инфракрасные изображения, собранные с различных спутниковых платформ. Алгоритм обработки информации включает в себя несколько этапов, от извлечения данных и предварительного контроля их качества до удаления облачных пикселей, объединения спутниковых изображений и интерполяции данных ТПМ в узлы сетки с шагом 0,05°.

Далее, все вышеописанные массивы данных, для формирования выборок по пространственным и временным критериям, были обработаны в вычислительной среде JupyterLab на программной платформе Anaconda Individual Edition и сохранены в формате TXT для последующего анализа и визуализации.

Для исследования многолетних изменений ТПМ, зональной и меридиональной компонент наклона уровня моря (ΔА, см) были использованы средние месячные значения за март – июнь 2000–2021 гг. в узлах сетки, указанных на рис. 1.

Положительные значения меридиональной компоненты наклона уровня моря между двумя точкам поверхности (к примеру: ΔА₉₋₁₀ – наклона между точками 9 и 10) соответствуют западной компоненте геострофических течений, отрицательные – восточной. Положительные значения зональной компоненты наклона уровня моря соответствуют северной компоненте геострофических течений, отрицательные –



Рис. 1. Узлы сетки спутниковых данных, в которых использовалась ежедневная информация об аномалиях уровня и температуре поверхности моря в марте – июне 2000–2021 гг.

Fig. 1. Satellite data grid nodes using daily information on sea level and sea surface temperature anomalies in March–June 2000–2021

южной. Для построения полей средних месячных значений «А» использовался полный массив базы данных Copernicus Marine Service по северо-восточной части Чёрного моря.

Исследования основывались на графических и статистических методах анализа многолетних изменений средних месячных значений указанных океанографических показателей за март-июнь 2000–2021 гг. с полиномиальным (шестой степени) сглаживанием.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Запас азовской хамсы. Лампарные съёмки пелагических рыб в Азовском море традиционно выполняются в июне и августе. Для достижения целей настоящей работы июньские съёмки могли бы дать наиболее ценную информацию о величине зашедшей весной из Чёрного моря хамсы, однако в отличие от ежегодно выполняемых августовских лампарных съёмок и аналитических оценок продукционного моделирования, они производятся нерегулярно и не позволяют построить непрерывный ряд оценок. Сопоставление же полученных оценок биомассы запаса азовской хамсы по июньскому учёту с августовским учётом и результатами продукционного моделирования свидетельствует о сходстве общей картины их динамики.

¹ https://data.marine.copernicus.eu/products?option=com_csw&task=results

Более низкие оценки нерестового запаса (SSB) на производственных моделях относительно лампарного учёта в 2000–2014 гг. (рис. 2) связаны с неполнотой использованных статистических данных о вылове хамсы в Чёрном море, а их более высокий уровень для 2015–2021 гг. объясняется неопределённостью оценок по прямому учёту ввиду как биологических, так и методических причин [Шляхов и др., 2023]. Принимая во внимание отсутствие принципиальных различий в динамике приведённых значений SSB, в дальнейшем анализе мы использовали непрерывные ряды оценок запаса по августовской лампарной съёмке.

После 2000 г. в динамике оценок биомассы промыслового запаса хамсы переход от периода низкого запаса к высокому начался в 2008 г., при этом устойчивый рост SSB продолжался в последующие годы, вплоть до 2011 г. Феномен столь резкого увеличения нерестового/промыслового запаса хамсы в Азовском море сложно объяснить вступлением в эти годы в его состав урожайных и высокоурожайных поколений, появившихся вследствие улучшения кормовой базы. Так, по данным учётных съёмок АзНИИРХ, проведённых собственно в Азовском море, индексы численности икры, личинок хамсы и мелкого зоопланктонного корма в 2008–2012 гг. были ниже, чем в 2006–2007 гг. [Надолинский, Надолинский, 2018], предшествующие переходу запаса от низкого к высокому его уровню.

Если сопоставить приведённые на рис. 2 значения биомассы запаса хамсы в Азовском море в 2008–

2016 гг. с численностью хамсы (SSN), нерестящейся в Керченско-Таманском районе северо-восточной части Чёрного моря, рассчитанной по данным ихтиопланктонных съёмок [Надолинский, Надолинский, 2020], то им по времени соответствуют самые низкие значения SSN. Напротив, в периоды низкого запаса хамсы в Азовском море (2000–2007 и 2017–2021 гг.) попадают годы наиболее высоких значений SSN нерестящейся в северо-восточной части Чёрного моря хамсы. Это можно объяснить существованием особо благоприятных океанографических условий для весеннего захода хамсы в Азовское море в 2008–2016 гг., после которого в Керченско-Таманском районе Чёрного моря остается лишь малая доля рыбы, которая нерестится там в июне. В 2000–2007 и 2017–2021 гг. условия для весеннего захода оказывались значительно менее благоприятными, что приводило к повышенной численности производителей, оставшихся на нерест в северо-восточной части Чёрного моря. Далее мы дадим свое объяснение наблюдаемой динамики показателей SSB хамсы в Азовском море и SSN этой рыбы в северо-восточной части Чёрного моря в исследуемый период на основе существующих представлений и анализа океанографических условий весенней миграции хамсы из Чёрного моря в Азовское.

Океанографические условия весенней миграции азовской хамсы. Сезонные изменения исследуемых океанографических показателей северо-восточной

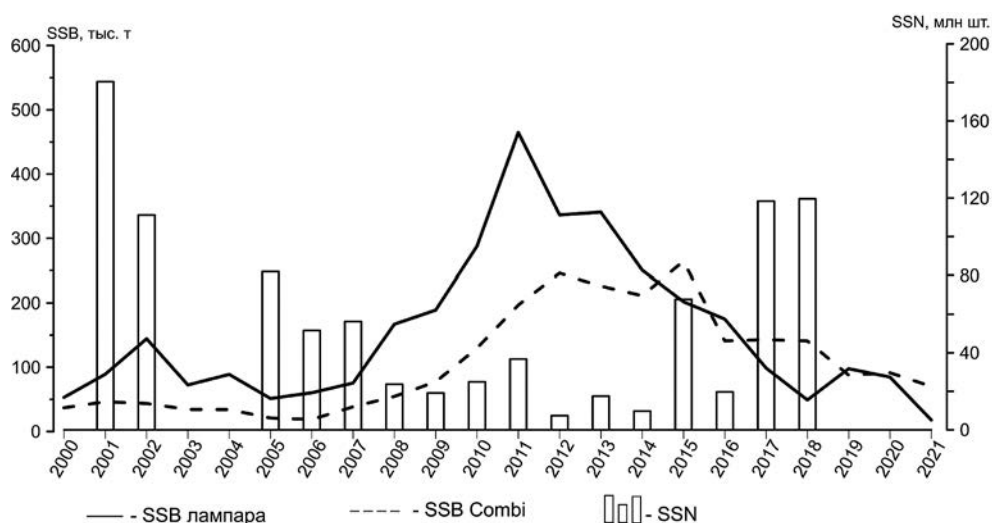


Рис. 2. Биомасса нерестового запаса (SSB, тыс. т) по лампарному учёту в Азовском море, производственному моделированию на Combi 4.0 азовской хамсы в 2000–2021 гг. и численность её нерестящихся производителей (SSN, млн шт.) в Керченско-Таманском районе Чёрного моря по ихтиопланктонным съёмкам в 2001–2018 гг. [Надолинский, Надолинский, 2020]

Fig. 2. Spawning stock biomass (SSB, thousand tonnes) based on lamp counts in the Sea of Azov, Combi 4.0 production modelling of Azov anchovy in 2000–2021 and the number of its spawners (SSN, mln pcs.) in the Kerch-Taman area of the Black Sea based on ichthyoplankton surveys in 2001–2018 [Nadolinsky, Nadolinsky, 2020]

Таблица. Средние многолетние (2000–2021 гг.) месячные значения температуры и альтиметрических показателей
Table. The long-term mean (2000–2021) monthly values of temperature and altimetric data

Месяц	Температура (ТПМ, °С)			Альтиметрия (ΔА, см)						
	№ точки			ΔА ₉₋₁₀	ΔА ₆₋₈	ΔА ₅₋₇	ΔА ₉₋₈	ΔА ₅₋₄	ΔА ₅₋₂	ΔА ₁₋₃
	9	5	2							
Март	8,9	8,3	3,2	1,50	0,71	1,17	0,48	0,21	-0,44	0,07
Апрель	10,9	10,3	8,7	0,73	-1,86	-1,09	-0,18	0,26	-1,96	-0,19
Май	15,6	14,9	15,8	-1,44	-2,79	-2,74	-0,12	-0,34	-0,67	-1,64
Июнь	21,8	21,4	22,4	-2,55	-4,56	-3,74	-0,28	-0,18	-0,08	-1,83

части Чёрного моря и южной части Азовского моря за период с марта по июнь 2000–2021 гг. представлены в таблице. При переходе от зимнего сезона к летнему закономерно увеличение значений ТПМ, наиболее интенсивное в южной части Азовского моря (точка 2). Майские ТПМ (15–16 °С) уже значительно превышают температуру начала активной весенней миграции хамсы (10–11 °С).

В сезонных изменениях средних многолетних альтиметрических показателей в Чёрном море присутствует смена западных составляющих геострофических течений (ΔА₉₋₁₀, ΔА₆₋₈, ΔА₅₋₇) восточными, и северных – южными (ΔА₉₋₈, ΔА₅₋₄). Эти перемены осложняют весеннюю миграцию хамсы к Керченскому проливу. Разница уровня моря на южной и северной границах Керченского пролива (ΔА₅₋₂) свидетельствует об уменьшении наклона водной поверхности к Чёрному морю, то есть об ослаблении азовских течений. Это способствует движению хамсы из Чёрного моря в Азовское. В южной части Азовского моря зональный наклон морской поверхности (ΔА₁₋₃) демонстрирует относительный рост уровня (нагонного течения) в восточном направлении, что, вероятнее всего, является следствием усиления от зимы к лету циклонического характера течений в Азовском море. Эти изменения способствуют распределению хамсы в восточной части Азовского моря.

Учитывая изложенные во Введении временные оценки весенней миграции азовской хамсы, апрель был выбран в качестве основного календарного месяца для анализа многолетней изменчивости средних месячных значений ТПМ и ΔА. Для Керченского пролива и юга Азовского моря дополнительно к апрельским данным были привлечены средние месячные значения этих океанографических показателей за май.

Многолетние изменения средних за апрель показателей меридиональной (ΔА_{мер. ср.}) и зональной (ΔА_{зон. ср.}) компонент наклона поверхности северо-

восточной части Чёрного моря, характеризующих, соответственно, зональные и меридиональные геострофические течения в районе весенней миграции хамсы к Керченскому проливу, представлены на рис. 3 и были рассчитаны по формулам:

$$\Delta A_{\text{мер. ср.}} = (\Delta A_{9-10} + \Delta A_{6-8} + \Delta A_{5-7})/3,$$

$$\Delta A_{\text{зон. ср.}} = (\Delta A_{9-8} + \Delta A_{5-4})/2.$$

В рассматриваемый двадцатилетний период на графике явно выделяется период с 2005 по 2016 гг. – годы перехода от преобладающих юго-восточных течений к северо-западным и обратно с наиболее интенсивными северо-западными течениями в 2011 году. Эти изменения полностью соответствуют выделенному периоду высокой численности азовской хамсы и мощного всплеска её запаса в 2011 г. (см. рис. 2). Причём, только в этом периоде четыре года подряд (2008–2011 гг.) преобладали западные течения и три года подряд (2009–2011 гг.) – северные. Такая последовательность благоприятных лет обусловила продолжительный и мощный рост запаса нерестового стада хамсы в Азовском море. После 2011 г. устойчивых многолетних преобладаний северо-западных течений не было.

Это позволяет нам рассматривать фактор весенней циркуляции вод в предпроливной зоне Чёрного моря как ключевой в группе океанографических предпосылок, влияющих на миграцию хамсы в направлении Азовского моря.

В 2001–2004 гг. в апреле преобладала северная компонента течений, но западная компонента преобладала только в 2001–2002 и 2004 гг. Этот период благоприятных течений отразился сравнительно небольшим увеличением показателя запаса в 2001–2002 и 2004 гг. Можно предположить, что зональный перенос вод в северо-восточной части Чёрного моря является более действенным фактором в процессе миграции хамсы, чем меридиональный. Также следует отметить наличие слабо выраженного (для всего рас-

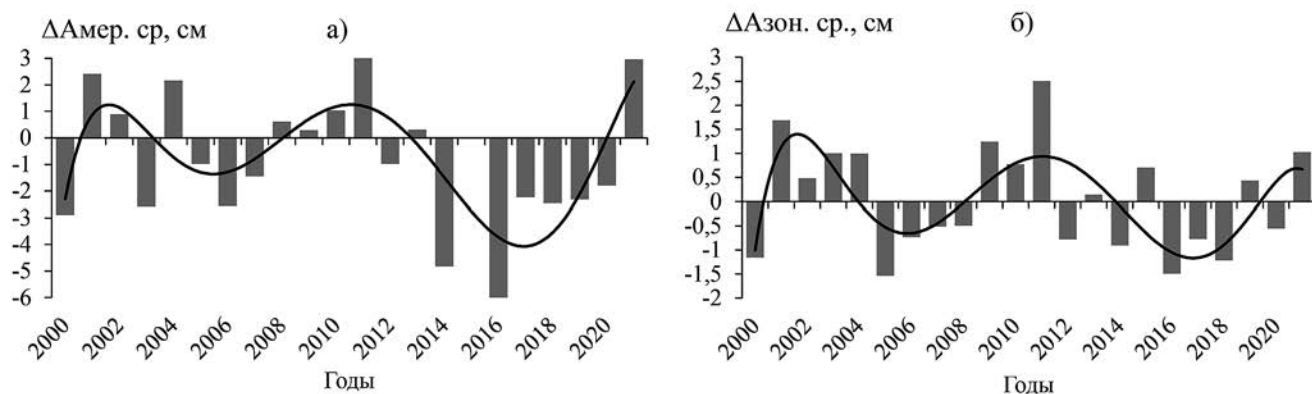


Рис. 3. Многолетние изменения средних за апрель показателей меридиональной (а) и зональной (б) составляющих наклона уровня в северо-восточной части Чёрного моря (с аппроксимацией полиномом 6-й степени)

Fig. 3. Multiyear variations of the April averages of meridional (a) and zonal (b) components of the level slope in the north-eastern part of the Black Sea (with 6th degree polynomial approximation)

смотренного периода) тренда усиления юго-восточных течений, тенденцию их ослабления после 2016 г. и преобладание северо-западных течений в 2021 г.

Представление о схеме циркуляции вод в северо-восточной части Чёрного моря в периоды преобладания северо-западных и юго-восточных течений даёт рис. 4. В апреле 2011 г. (рис. 4 а) Основное черноморское течение (ОЧТ), хорошо выраженное вдоль свала глубин, поддерживало течения северо-западного и западного направлений. Южнее Керченского пролива располагался прибрежный антициклонический вихрь (ПАВ). Его западная периферия формировала потоки черноморских вод, направленные в Керченский пролив [Иванов, Белокопытов, 2011], способствуя миграции хамсы в Азовское море. В апреле 2016 г. (рис. 4б) ОЧТ в северо-восточной части Чёрного моря отсутствовало, к югу от свала глубин рас-

полагался обширный антициклонический вихрь, а на шельфе преобладали восточное и юго-восточное течения. Следовательно, благоприятными для весенней миграции хамсы в Керченский пролив следует считать периоды усиления ОЧТ и формирования ПАВ.

В Керченском проливе мигрирующая хамса оказывается под влиянием преобладающих меридиональных течений, формирующихся ветровыми и плотностными факторами, основной характеристикой которых является разница уровня моря на северной и южной границах пролива. Изменения средних за апрель и май показателей меридионального наклона уровня моря в Керченском проливе представлены на рис. 5 а.

В апреле в течение всего рассматриваемого периода преобладал наклон уровня в сторону Чёрного моря (азовские течения), имеющий общий тренд на

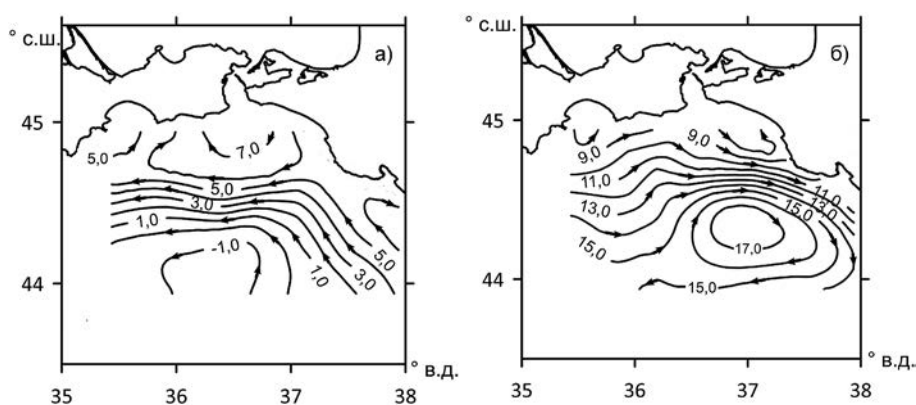


Рис. 4. Поля средних месячных значений альтиметрических данных (А, см) об уровне в северо-восточной части Чёрного моря в апреле 2011 г. (а) и 2016 г. (б) (стрелочками показано направление линий тока геострофической компоненты течений)

Fig. 4. Fields of monthly mean values of altimetric data (A, cm) of the level in the north-eastern part of the Black Sea in April 2011 (a) and 2016 (b) (arrows show the direction of the current lines of the geostrophic component of the currents)

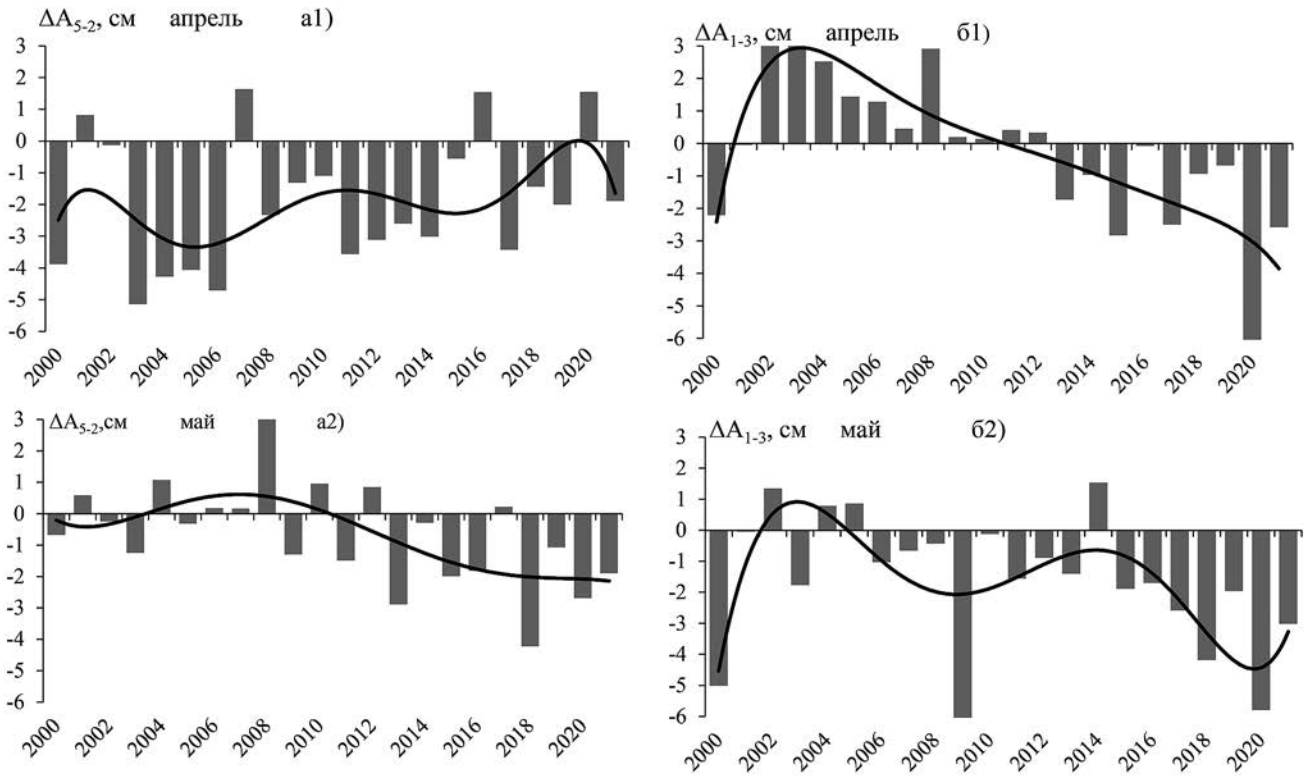


Рис. 5. Изменения средних за апрель и май показателей меридионального наклона уровня моря в Керченском проливе (а) и зонального наклона в южной части Азовского моря (б) (с аппроксимацией полиномом 6-й степени)

Fig. 5. Changes in the April and May averages of the meridional sea level tilt in the Kerch Strait (a) and zonal tilt in the southern part of the Sea of Azov (b) (with polynomial 6th degree approximations)

уменьшение. Благоприятные для миграции хамсы северные (черноморские) течения преобладали в апреле всего в четырёх случаях. Первый период ослабления азовских течений (2001–2002 гг.) был прерван аномальным их усилением в 2003 г. Второй период ослабления (2007–2010 гг.) совпал с периодом увеличения нерестового запаса хамсы в Азовском море. Ослабление азовских течений в 2015–2016 гг. сопровождалось относительной стабилизацией запаса.

Средние майские оценки течений в Керченском проливе до 2012 г. демонстрируют общее ослабление азовских течений с квазидвухлетней периодичностью и с усилением черноморских течений в период 2004–2012 гг., который также совпадает с периодом увеличения запаса хамсы. Следует отметить, что показатель майских течений имеет отрицательный тренд, что делает в последнее десятилетие май менее благоприятным, чем апрель, для миграции хамсы в Азовское море.

Выходящая из Керченского пролива хамса начинает распределяться по акватории Азовского моря под влиянием преобладающих в южной части моря зональных течений. Исследования распределения по районам моря биомассы зоопланктона (основной

кормовой базы хамсы) [Мирзоян и др., 2023] показали, что в июне в годы низкой численности хамсы (2001–2006 гг.) концентрация зоопланктона в восточном и северном районах моря была в несколько раз меньше, чем в западном и южном, а в период высокого запаса хамсы (2008–2016 гг.) — зоопланктон распределялся по морю сравнительно равномерно. Поэтому, для успешного преднерестового нагула может оказаться важным направление миграции хамсы в южной части Азовского моря. В качестве основного показателя циркуляции вод на этой акватории в наших исследованиях была использована зональная компонента наклона уровня моря, изменения которой в апреле и мае представлены на рис. 5 б.

В апреле можно выделить три периода: 2002–2008 гг. с понижением уровня моря в восточном направлении (западные нагонные течения); 2009–2012 гг. с отсутствием преобладающего наклона; 2013–2021 гг. с преобладанием наклона уровня моря на запад (восточные нагонные течения). Похожая тенденция изменения наблюдалась и в майских значениях показателя ΔA_{1-3} , с общим преобладанием наклона на запад. Такая изменчивость зональных течений на юге Азовского моря в преднерестовый период могла

способствовать равномерному распределению по акватории моря как зоопланктона, так и хамсы в июне 2007–2012 гг.

Характеризуя многолетние изменения средних месячных значений ТПМ в апреле (рис. 6), следует отметить общий положительный тренд, квазидвухлетнюю периодичность и синхронность изменений в рассматриваемых точках акватории (рис. 6а). Особое внимание следует обратить на период относительно устойчивых высоких значений ТПМ (с 2004 по 2010 гг.), где четыре года подряд (с 2007 по 2010 гг.) отмечалась сравнительно небольшая разница ТПМ на южной и северной границах пролива (рис. 6б). Этому периоду предшествовал холодный апрель 2003 г., а закончился он холодными апрелеми 2011 и 2012 гг. Позднее, с 2013 по 2021 г., следовал период чёткой двухлетней цикличности изменения ТПМ (особенно проявившейся в Чёрном море). Отметим, что в годы пониженных значений ТПМ, как правило, увеличивался градиент ΔT_{5-2} (см. рис. 6б), ухудшая условия для миграции хамсы через Керченский пролив.

Возможно, именно такая последовательность условий миграции хамсы в апреле стала главной причиной резкого увеличения её численности в Азовском море с 2008 по 2011 гг. и устойчивого уменьшения её численности после 2015 г. Феномен быстрого, ранее не нашедшего удовлетворительного объяснения роста запаса азовской хамсы в течение 3–4 лет после 2008 г. может быть также связан с дополнительным заходом в Азовское море большого количества черноморской хамсы, когда её доля в нерестящейся хамсе в районе м. Казантип в мае-июле 2010–2013 гг. по оценкам Г.В. Зуева [Зуев, 2019] составляла 31–80%. Массовое присутствие в Азовском море черномор-

ской хамсы и её гибридов с азовским подвидом отмечалось и ранее, в 1980-е гг. [Chashchin et al., 2015].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интенсивный рост нерестового запаса азовской хамсы наблюдался в 2008, 2010 и 2011 гг. и высокая биомасса запаса поддерживалась на сравнительно высоком уровне до 2016 г.

В средних многолетних (за 2000–2021 гг.) оценках океанографических условий миграции хамсы из Чёрного моря в Азовское от марта к июню наблюдались: увеличение ТПМ, смена преобладающих в северо-восточной части Чёрного моря северо-западных геострофических течений на юго-восточные, ослабление в Керченском проливе азовских течений, смена преобладающих на юге Азовского моря западных течений на восточные. Основными океанографическими факторами, способствующими активной миграции хамсы из Чёрного моря в Азовское в рассматриваемый период были: преобладание в северо-восточной части Чёрного моря в апреле 2008–2011 гг. северо-западных геострофических течений; ослабление азовских течений в Керченском проливе в апреле 2007–2010 гг. и преобладание черноморских течений в мае 2004–2012 гг.; отсутствие преобладания какого-либо направления зональных сгонно-нагонных течений в южной части Азовского моря в апреле и мае периода 2009–2012 гг.; относительно устойчивых повышенных значений ТПМ в апреле 2004–2010 гг. и уменьшение меридионального градиента ТПМ в Керченском проливе в 2007 по 2010 гг.

Сделанные выводы позволяют предположить, что комплекс относительно благоприятных океанографи-

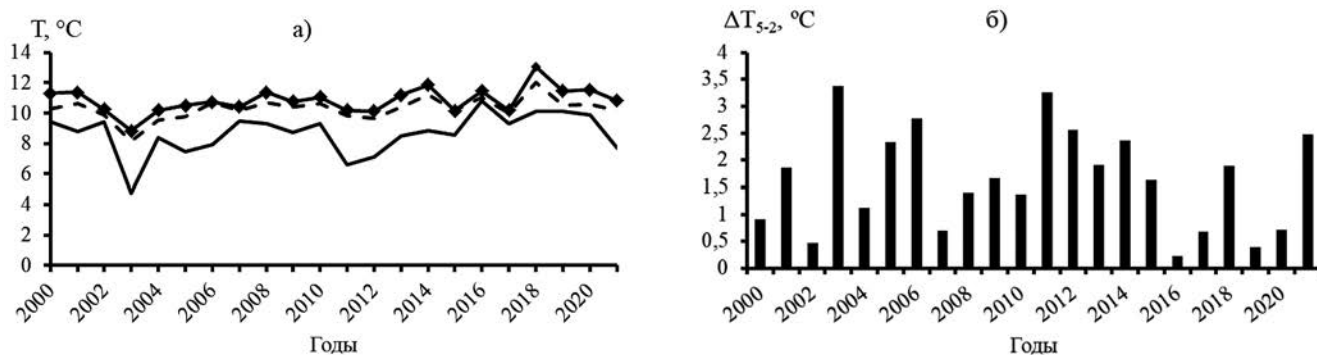


Рис. 6. Изменение средней за апрель ТПМ в Чёрном и Азовском морях (а) и разности температуры (ΔT_{5-2}) на южной и северной границах Керченского пролива (б)

а) точка 2 – —; точка 5 – - -; точка 9 – - · -

Fig. 6. Variations of mean April SST in the Black Sea and the Sea of Azov (a) and temperature difference (ΔT_{5-2}) at the southern and northern boundaries of the Kerch Strait (b)

а) point 2 – —; point 5 – - -; point 9 – - · -

ческих условий для весенней миграции хамсы в Азовское море в период с 2004 до 2012 гг. стал главной причиной резкого увеличения её численности в Азовском море с 2008 по 2011 гг., в том числе за счёт дополнительного захода в Азовское море большого количества черноморской хамсы.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Государственная работа: «Осуществление государственного мониторинга водных биологических ресурсов» (часть II, раздел 6 государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» № 076–00004–23–00, 2023 г.).

ЛИТЕРАТУРА

- Аксютин А. М. 1968. Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях. М.: Пищ. пром-ть. 288 с.
- Александров А. И. 1927. Анчоусы Азовско-Черноморского бассейна, их происхождение и таксономические обозначения // Труды Керченской научной рыбохозяйственной станции. Т. 1, № 2–3. С. 37–99.
- Александрова У. Н., Игнатенко А. С., Перевалов О. А., Поверенная А. А., Рогов С. Ф., Леонтьев С. Ю., Бондаренко М. В. 2016. Состояние сырьевой базы в Азово-Черноморском рыбохозяйственном бассейне в 2013 г. и её использование промыслом // труды ВНИРО. Т. 160. С. 12–25.
- Бабаян В. К., Бобырев А. Е., Булгакова Т. И., Васильев Д. А., Ильин О. И., Ковалев Ю. А., Михайлов А. И., Михеев А. А., Петухова Н. Г., Сафаралиев И. А., Четыркин А. А., Шереметьев А. Д. 2018. Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. М.: Изд-во ВНИРО. 312 с.
- Войкина А. В., Бугаев Л. А., Кириченко О. В., Цыбульская М. А., Ружинская Л. П., Белоусов В. Н., Сергеева С. Г., Лисовская В. В., Мосеян Г. В. 2021. Сезонная динамика содержания общих липидов в теле хамсы *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758) в период 2017–2020 гг. // Труды АЗНИИРХ. Т. 3. С. 42–50.
- Зуев Г. В. 2019. Современная популяционная структура европейского анчоуса *Engraulis encrasicolus* L. (Engraulidae: Pisces) в Чёрном и Азовском морях и история ее формирования // Морской экологический журнал. Т. 4. № 1. С. 45–62.
- Кныш В. В., Кубряков А. И., Инюшина Н. В., Коротаев Г. К. 2008. Восстановление климатической сезонной циркуляции Черного моря на основе модели в σ -координатах с использованием ассимиляции данных о температуре и солёности // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. № 16. С. 243–265.
- Жоурин Е. А., Шляхов В. А., Губанов Е. П. 2018. Динамика уловов промысловых рыб Крыма в Черном море // Труды ВНИРО. Т. 171. С. 157–169.
- Методы рыбохозяйственных и природоохранных исследований в Азово-Черноморском бассейне. 2005. Сб. науч.-метод. работ / Воловик С. П., Корпакова И. Г. (ред.). Краснодар: ФАР, АЗНИРХ. 351 с.
- Мирзоян З. А., Надолинский В. П., Мартынюк М. Л., Надолинский Р. В. 2023. Трофические основы формирования запасов хамсы в Азовском море // Водные биоресурсы и среда обитания. Т. 6. № 2. С. 78–96.
- Надолинский В. П., Надолинский Р. В. 2018. Изменения в видовом составе и численности ихтиопланктона Азовского и северо-восточной части Черного моря за период 2006–2017 гг. под воздействием природных и антропогенных факторов // Водные биоресурсы и среда обитания. Т. 1. № 1. С. 51–66.
- Надолинский В. П., Надолинский Р. В. 2020. Оценка численности и биомассы производителей хамсы (*Engraulis encrasicolus*) в северо-восточной части Чёрного моря по данным ихтиопланктонных съёмок // Водные биоресурсы и среда обитания. Т. 3. № 1. С. 20–26.
- Панов Б. Н., Спиридонова Е. О., Пятинский М. М., Арутюнян А. С. 2020. Результаты мониторинга температурных условий миграции и промысла азовской хамсы // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. № 1. С. 71–78.
- Попова В. П. 1954. Черноморский период жизни азовской хамсы. Рыбохозяйственные исследования Черноморской научно-промысловой экспедиции ВНИРО // Труды ВНИРО. Т. 28. С. 65–74.
- Пузанов И. И., Цеев Я. Я. 1926. О расах анчоуса, водящихся в Черном и Азовском морях // Труды Крымского научно-исследовательского института. Т. 1. С. 86–95.
- Состояние биологических ресурсов Чёрного и Азовского морей. 1995. Керчь: Изд-во ЮГНИРО. 64 с.
- Троцкий С. К. 1973. Рассказ об азовской и донской рыбе. Ростов-на-Дону: Ростовское книжное издательство. 192 с.
- Чёрное море. 1983. Сборник. Пер. с болг. / Сост. А. Вылканов и др. Л.: Гидрометеиздат. 407 с.
- Шляхов В. А., Негода С. А., Пятинский М. М., Шляхова О. В. 2023. Оценка состояния запасов хамсы и шпрота в российских водах Чёрного моря в 2022–2023 гг. // Труды АЗНИИРХ. Т. 4. С. 9–27.
- Шульман Г. Е. 1960. Динамика химического состава азовской хамсы в связи с особенностями ее биологии // Труды АЗЧерНИРО. Вып. 18. С. 130–144.
- Bonhomme F., Meyer L., Arbiol C., Banaru D., Bahri-Sfar L., Fadhloui-Zid K., Strelkov P., Arculeo M., Soulier L., Quignard J.-P., Gagnaire P.-A. 2022. Systematics of European coastal anchovies (genus *Engraulis* Cuvier) // J. Fish Biol. 100:594–600.
- Chashchin A., Shlyakhov V. A., Dubovik V. E., Negoda S. 2015. Chapter 6 Stock Assessment of Anchovy (*Engraulis*

encrasicolus L) in Northern Black Sea and Sea of Azov // Progressive Engineering Practices in Marine Resource Management / I. Zlateva, V. Raykov, N. Nikolov eds. Published by Engineering Science Reference (an imprint of IGI Global), Hershey, USA. P. 209–243.

Winker H., Carvalho F., Kapur M. 2018. JABBA: just another Bayesian biomass assessment // Fisheries Research. V. 204. P. 275–288.

REFERENCES

Aksyutina Z.M. 1968. Elements of mathematical evaluation of the results of observations in biological and fisheries research. M.: Food Industry. 288 p. (In Russ.)

Aleksandrov A.I. 1927. Anchovies of the Azov-Black Sea basin, their origin and taxonomic designations // Trudy Kerchenskoi nauchnoi rybokhozyaistvennoi stantsii. V. 1. No. 2–3. P. 37–99. (In Russ.)

Alexandrova U.N., Ignatenko A.S., Perevalov O.A., Attorney A.A., Rogov S.F., Leontiev S.Yu., Bondarenko M.V. 2016. The state of the raw material base in the Azov-Black Sea fisheries basin in 2013 and its use by fisheries // Trudy VNIRO. V. 160. P. 12–25. (In Russ.)

Babayan V.K., Bobyrev A.E., Bulgakova T.I., Vasiliev D.A., Ilyin O.I., Kovalev Yu.A., Mikhailov A.I., Mikheev A.A., Petukhova N.G., Safaraliev I.A., Chetyrkin A.A., Sheremetyev A.D. 2018. Methodological recommendations on the assessment of reserves of priority types of aquatic biological resources. Moscow: VNIRO Press. 312 p. (In Russ.)

Voikina A.V., Bugaev L.A., Kirichenko O.V., Tsybul'skaya M.A., Ruzhinskaya L.P., Belousov V.N., Sergeeva S.G., Lisovskaya V.V., Mosesyan G.V. 2021. Seasonal dynamics of total lipid content in the body of anchovy *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758) in the period 2017–2020 // Trudy AzNIIRKH. V. 3. P. 42–50. (In Russ.)

Zuev G.V. 2019. The modern population structure of the European anchovy *Engraulis encrasicolus* L. (Engraulidae: Pisces) in the Black and Azov Seas and the history of its formation // Marine Ecological Journal. V. 4. No. 1. P. 45–62. (In Russ.)

Knysh V.V., Kubryakov A.I., Inyushina N.V., Korotaev G.K. 2008. Restoration of the climatic seasonal circulation of the Black Sea based on a model in σ coordinates using the assimilation of temperature and salinity data // Environmental safety of coastal and shelf zones and integrated use of shelf resources. No. 16. P. 243–265. (In Russ.)

Kozhurin E.A., Shlyakhov V.A., Gubanov E.P. 2018. Dynamics of catches of commercial fish of the Crimea in the Black Sea // Trudy VNIRO. V. 171. P. 157–169. (In Russ.)

Methods of fisheries and environmental research in the Azov-Black Sea basin: collection of scientific method. works'. 2005. / Volovik S.P., Korpakova I.G. eds. Krasnodar: FAF, AzNIIRKH. 351 p. (In Russ.)

Mirzoyan Z.A., Nadolinsky V.P., Martynyuk M.L., Nadolinsky R.V. 2023. Trophic foundations of the formation of anchovy reserves in the Sea of Azov // Aquatic bioresources and habitat. V. 6. No. 2. P. 78–96. (In Russ.)

Nadolinsky V.P., Nadolinsky R.V. 2018. Changes in the species composition and abundance of ichthyoplankton of the Azov and northeastern Black Seas over the period 2006–2017 under the influence of natural and anthropogenic factors // Aquatic bioresources and habitat. V. 1. No. 1. P. 51–66. (In Russ.)

Nadolinsky V.P., Nadolinsky R.V. 2020. Estimation of the number and biomass of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) producers in the northeastern part of the Black Sea according to ichthyoplankton surveys // Aquatic bioresources and habitat. V. 3. No. 1. P. 20–26. (In Russ.)

Panov B.N., Spiridonova E.O., Pyatinsky M.M., Harutyunyan A.S. 2020. The results of monitoring the temperature conditions of migration and fishing of the Azov anchovy // Izvestiya vuzov. North Caucasus region. No. 1. P. 71–78. (In Russ.)

Popova V.P. 1954. The Black Sea period of the life of the Azov anchovy. Fisheries research of the Black Sea scientific and fishing expedition VNIRO // Trudy VNIRO. V. 28. P. 65–74. (In Russ.)

Puzanov I.I., Tseeb Ya.Ya. 1926. About the anchovy races found in the Black and Azov Seas // Trudy Krymskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta. V. 1. P. 86–95.

The state of the biological resources of the Black and Azov Seas (reference guide). 1995. Kerch: YugNIRO Press. 64 p. (In Russ.)

Trotsky S.K. 1973. A story about the Azov and Don fish. Rostov-on-Don: Rostov Book Publishing House. 192 p. (In Russ.)

The Black Sea. 1983. A collection [Trans. from bolg. / Comp. A. Vylkanov et al.]. Leningrad: Hydrometeoizdat. 407 p. (In Russ.)

Shlyakhov V.A., Negoda S.A., Pyatinsky M.M., Shlyakhova O.V. 2023. Assessment of the state of stocks of anchovy and sprat in the Russian waters of the Black Sea in 2022–2023 // Trudy AzNIIRKH. V. 4. P. 9–27. (In Russ.)

Shulman G.E. 1960. Dynamics of the chemical composition of the Azov anchovy in connection with the peculiarities of its biology // Trudy Azcherniro. V. 18. P. 130–144. (In Russ.)

Bonhomme F., Meyer L., Arbiol C., Banaru D., Bahri-Sfar L., Fadhlouzi-Zid K., Strelkov P., Arculeo M., Soulier L., Quignard J.-P., Gagnaire P.-A. 2022. Systematics of European coastal anchovies (genus *Engraulis* Cuvier) // J. Fish Biol. 100:594–600.

Chashchin A., Shlyakhov V.A., Dubovik V.E., Negoda S. 2015. Chapter 6 Stock Assessment of Anchovy (*Engraulis encrasicolus* L) in Northern Black Sea and Sea of Azov // Progressive Engineering Practices in Marine Resource Management / I. Zlateva, V. Raykov, N. Nikolov eds. Published by Engineering Science Reference (an imprint of IGI Global), Hershey, USA. P. 209–243.

Winker H., Carvalho F., Kapur M. 2018. JABBA: just another Bayesian biomass assessment // Fisheries Research. V. 204. P. 275–288.

Поступила в редакцию 10.04.2024 г.
Принята после рецензии 17.07.2024 г.