

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ НА РАЗВИТИЕ ШПРОТА (*Sprattus sprattus phalericus*) (PISCES: CLUPEIDAE), ОБИТАЮЩЕГО НА ЮГО-ЗАПАДНОМ ШЕЛЬФЕ КРЫМА

© 2024 г. Е. Б. Мельникова^{а,*}, А. В. Мельников^{б,**}

^аИнститут природно-технических систем, Севастополь, Россия

^бСевастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

*e-mail: helena_melnikova@mail.ru

**e-mail: mel.anat@mail.ru

Поступила в редакцию 04.12.2022 г.

После доработки 06.09.2023 г.

Принята к публикации 13.09.2023 г.

Проведено исследование изменения температуры поверхности моря (ТПМ) на юго-западном шельфе Крыма в 2000–2020 гг. Выявлен характер трендов изменения ТПМ. По характеру изменения среднегодовой температуры моря выделено три периода: 2000–2007, 2008–2013 и 2014–2020 гг. Рассмотрено влияние изменения среднегодовой ТПМ на развитие пелагических рыб холодолюбивого комплекса на примере черноморского шпрота *Sprattus sprattus phalericus* (Risso 1826). Выявлены изменения основных показателей популяций и их связь с изменением среднегодовой ТПМ. Наблюдаемое повешение температуры моря отрицательно отразилось на развитии популяции шпрота, средний возраст рыб сократился в 1.3 раза, в целом произошло омоложение популяции, уменьшились средние размеры и масса особей.

Ключевые слова: Черное море, изменения температуры, шпрот *Sprattus sprattus phalericus*, длина, масса, уравнения роста

DOI: 10.31857/S0320965224030083, **EDN:** ZPMMGH

ВВЕДЕНИЕ

За последние 20 лет экосистема Черного моря претерпела заметные структурные и режимные изменения, вызванные сочетанием различных факторов, главные из которых — рыболовство (пресс промысла) и изменение климата (потепление). Это нашло отражение в видовом составе, размерно-массовой и возрастной структурах, численности, пространственном распределении рыбного сообщества (Daskalov et al., 2002; Зуев и др., 2004; Шульман и др., 2007; Мельникова, 2011; Шляхов, Шляхова, 2011; Goulding et al., 2014).

Известно, что термический режим водного объекта регулирует жизненный цикл рыб на всех его этапах. Температура поверхности моря определяет зимние и весенние миграции рыб, сроки и продолжительность нереста, скорость и темп роста рыб, изменения в размерно-массовой и возрастной структурах, интенсивность питания. Известно (Яблоков, 1987; Sinovčić, 2004; Froese, 2006), что один из основных показателей

состояния популяций и степени их благополучия — размерно-возрастная структура, отражающая такие важные процессы жизнедеятельности, как скорость роста и увеличение размеров особей, интенсивность их воспроизводства, уровень смертности, скорость смены поколений. Размерно-возрастная структура зависит и от внутренних особенностей популяции, и от воздействия внешних климатических (температурных) факторов (Bellido et al., 2000; Зуев, Мельникова и др., 2004; Гиригосов и др., 2006; Мельникова, 2017; Шестаков, 2021).

По мнению многих исследователей (Полонский и др., 2000; Кляшторин, Любушкин, 2005; Oguz, 2005; Панов и др., 2020; Смирнова и др., 2021), один из главных факторов, влияющих на состояние пелагической экосистемы, — климатический и, прежде всего, изменение температуры. Температура определяет интенсивность циркуляции водных масс и тем самым влияет на продукционные процессы различных трофических уровней.

Сокращения: ТПМ — температура поверхности моря.

Актуальность исследования определяется необходимостью прогнозирования изменений ресурсного потенциала северо-западной части Черного моря с учетом климатического фактора. При этом изучение связи размерно-массовых и возрастных характеристик пелагических рыб с температурными параметрами среды обитания играет важную роль при составлении краткосрочных и долгосрочных оценок изменения состояния промысловых популяций и разработке мер для долгосрочной рациональной эксплуатации водных ресурсов.

Цель работы — определить изменения характеристик роста особей и параметров популяции черноморского шпрота, обитающего на юго-западном шельфе Крыма, с учетом воздействия температурного фактора в 2000–2020 гг.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для проведения исследований послужил черноморский шпрот *Sprattus sprattus phalericus* (Risso, 1826) из траловых уловов (рыба была уже неживая) промысловых судов типов СЧС (средний черноморский сейнер) и МРТК (малый рыболовный траулер кормового траления) с юго-западного шельфа Крыма (рис. 1). Материал по черноморскому шпроту собирали в нерестовый сезон (ноябрь–март).

Во всех расчетах использовали стандартную длину (SL) тела рыб (от начала рыла до конца позвоночника), погрешность измерений 0.1 см.

При изучении размерной структуры результаты индивидуальных измерений группировали по размерным классам с интервалом длины 0.5 см. Для оценки возрастной структуры улова использовали размерно-возрастной ключ (Мельникова, 2011). Среднюю длину и средний популяционный возраст определяли как среднее взвешенное значение размерных (возрастных) групп.

Возраст рыб определяли по отолитам, согласно стандартным методикам (Правдин, 1966).

При описании линейного и массового роста применяли уравнения Берталанфи (Bertalanffy, 1938; Рикер, 1979):

$$L = L_{\infty} (1 - e^{-k(t-t_0)}) \text{ и } W = W_{\infty} (1 - e^{-k(t-t_0)})^b, \quad (1)$$

где L_{∞} — асимптотическая длина; W_{∞} — асимптотическая масса; k — константа скорости роста;

t_0 — возраст рыбы, когда ее длина и масса в рассматриваемой модели равны нулю; b — показатель степени зависимости “масса–длина”.

Индексы роста линейных (ϕ) и массовых (ϕ') показателей рассчитывали по формулам (Pauly et al., 1988):

$$\phi = \lg k + 2 \lg L_{\infty}; \phi' = \lg k + (2 \lg W_{\infty})/3. \quad (2)$$

Размерно-массовые соотношения находили по формуле:

$$W = aSL^b, \quad (3)$$

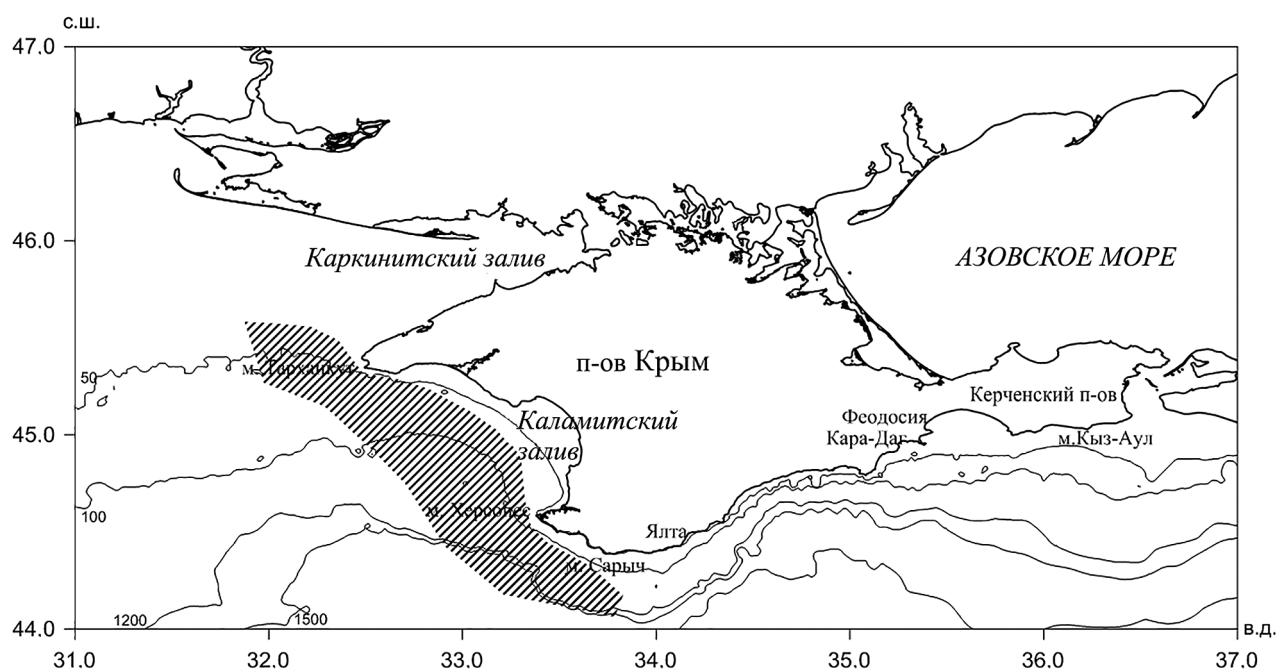


Рис. 1. Карта-схема Черного моря (п-ов Крым), штриховкой дан район исследования.

где W — общая масса тела, г; SL — стандартная длина рыбы, см; a — коэффициент, связанный с формой тела; b — показатель роста (показатель аллометрического роста).

Информация о температуре воды в районе исследования получена из Севастопольского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, также дополнительно ТПМ в районе исследования определяли, используя спутниковые данные.²

Достоверность различий средних показателей по длине, массе рыб, возрастному составу популяций определяли с помощью t -критерия Стьюдента. Достоверность линий трендов рассчитывали с помощью критерия Пирсона χ^2 -квадрат. Нормальность распределений экспериментальных данных оценивали методом Шапиро–Уилка.

Математическую обработку результатов проводили с помощью программ Microsoft Excel v. 5.0, Statistica v. 6.0, SigmaPlot v. 12.5, Surfer v. 13.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Температура воды. Температура воды — важный показатель, определяющий продуктивность всех компонентов экосистемы Черного моря, включая развитие рыб. Многолетняя изменчивость ТПМ за последние два десятилетия (2000–2020 гг.) характеризовалась значительной вари-

абельностью среднегодовых значений. Общую направленность многолетних изменений, интенсивность и амплитуду изменений среднегодовых температурных характеристик поверхности моря в рассматриваемый период иллюстрирует рис. 2. Из линии тренда видно, что за последние 20 лет наблюдалась общая тенденция повышения среднегодовых значений ТПМ по сравнению со средней многолетней. Получена (уравнение тренда на рис. 2) средняя скорость повышения ТПМ за 20 лет в прибрежных водах юго-западного Крыма ($k = 0.055 \pm 0.017^\circ\text{C}/\text{год}$). Отличие угла наклона тренда от нуля статистически достоверно (t -критерий, $p > 95\%$). Расчеты, проведенные с использованием теста Шапиро–Уилка, подтвердили нормальность отклонения среднегодовых значений температуры от линии тренда (тест SW, $n = 21$, $\alpha = 0.05$). Экспериментальные данные изменения ТПМ статистически не отличаются от теоретической линии тренда (критерий χ^2 , $\alpha < 0.05$).

Анализ изменений ТПМ показывает, что условно 20-летний период можно по характеру изменения температуры разбить на три периода: период I (2000–2007 гг.), когда линия, отображающая изменения среднегодовой ТПМ, располагалась почти во все годы ниже, и среднегодовая ТПМ ($15.2 \pm 0.208^\circ\text{C}$) была на 0.3°C ниже, чем средняя за 20 лет ($15.5 \pm 0.128^\circ\text{C}$), амплитуда колебаний температуры была наибольшей — 1.5°C ; период II (2008–2013 гг.), когда линия, отображающая изменения среднегодовой ТПМ, почти ежегодно колебалась в положительную и отрица-

Температура, $^\circ\text{C}$

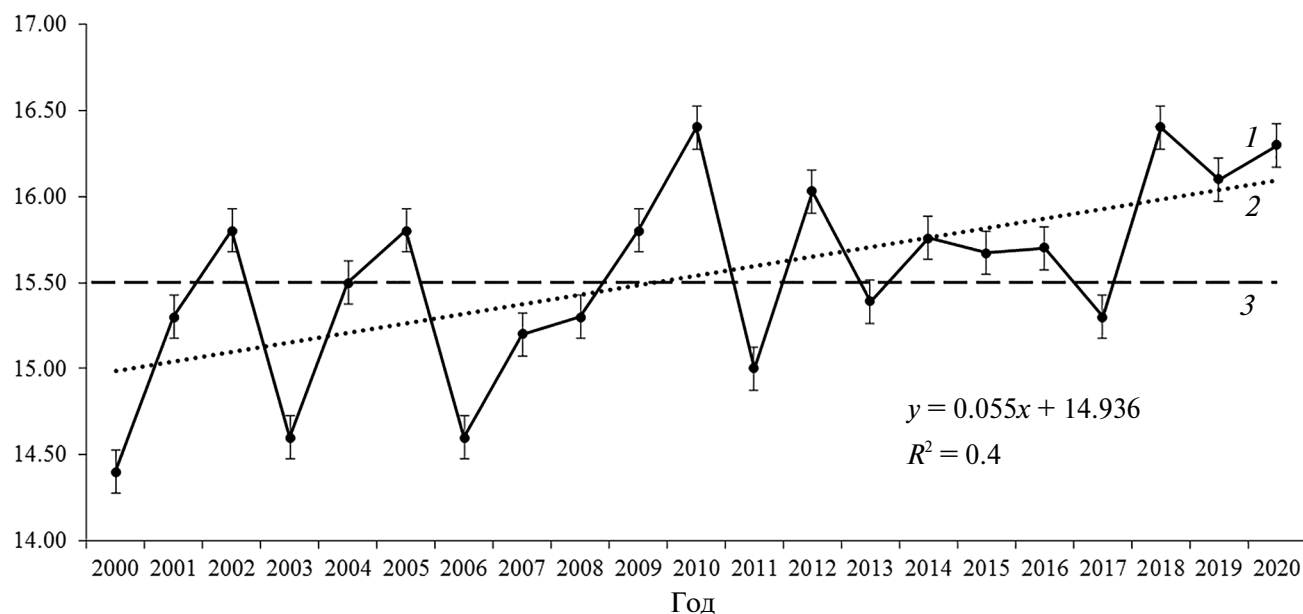


Рис. 2. Изменения среднегодовой температуры воды ($T_{\text{ср}}$) за период с 2000 по 2020 гг. (1), среднеквадратические отклонения, линия тренда (2), среднемноголетняя ТПМ за период исследования (3).

тельную сторону от средней двадцатилетней температуры, среднегодовая ТПМ (15.7 ± 0.190 °C) в этот период была на 0.2 °C выше относительно средней за 20 лет. Также размах колебаний температуры снижался до 1.4 °C; период III (2014–2020 гг.), в этот период линия, отображающая изменения среднегодовой ТПМ, находилась (кроме 2017 г.) выше, среднегодовая ТПМ (15.9 ± 0.48 °C) была на 0.3 °C выше, чем средняя за весь период наблюдений. На фоне общего повышения ТПМ размах колебаний в этот период уменьшился до 1.1 °C (табл. 1).

Для рассматриваемых временных периодов также были найдены линии трендов, которые позволили определить среднегодовые усредненные изменения ТПМ. Уравнения линий трендов приведены в табл. 1. Из уравнения трендов видно, что самый большой коэффициент при параметре “ x ” $k = 0.114$ °C/год, характеризующий угол наклона линии тренда, наблюдается в 2014–2020 гг. В этот период повышение среднегодовой ТПМ было наибольшим. Усредненное повышение ТПМ возросло с 0.231 °C (период I) до 0.684 °C (период III) (табл. 1). Повышение ТПМ в течение периода III было значительнее, чем в периоды II и I (в 2.2–3.0 раза), т. е. в последние годы (2014–2020 гг.) повышение ТПМ происходит более высокими темпами.

Для выявления связи тенденций изменения температурного режима морской среды на юго-западном шельфе Крыма и особенностей развития рыб холодолюбивого комплекса было проведено сопоставление изменений среднегодовых значений температуры воды (как в целом за последние 20 лет, так и отдельно по периодам (2000–2007; 2008–2013 и 2014–2020 гг.)) с параметрами роста черноморского шпрота.

Размерно-массовая структура. В исследованный период (2000–2020 гг.) промысловую часть популяции шпрота представляли рыбы длиной 5.0 – 11.0 см. В ее основе были особи длиной 6.0 – 8.0 см (69.1%). Рыбы длиной >9.0 см встречались единично. Средняя длина рыбы в исследуемый период достигала 6.5 ± 0.782 см, средняя масса — 3.08 ± 0.705 г, средний возраст — 1.2 ± 0.413 (табл. 2). При изучении динамики размерно-массовой структуры использовали показатели по длине и массе шпрота, усредненные за отдельные периоды — 2000–2007, 2008–2013 и 2014–2020 годы (табл. 2). Размерное распределение рыб каждого из возрастных классов в каждом из исследуемых временных периодов достоверно нормальное (тест SW, $n = 100 \div 500$, $\alpha = 0.05$). На протяжении последних 20 лет размерно-массовая структура черноморского шпрота не оставалась постоянной (табл. 2). В рассматриваемые

Таблица 1. Основные показатели изменения ТПМ для исследуемых периодов

Параметр	Период исследования		
	I	II	III
T_{cp} , °C	15.2 ± 0.208	15.7 ± 0.190	15.9 ± 0.148
Min–max, °C	14.4–15.9	15.0–16.4	15.3–16.4
Повышение T за год, °C/год	0.033	0.044	0.114
Усредненное повышение T за период исследования, °C	0.231	0.308	0.684
Уравнения трендов	$y = 0.033x + 15.0$	$y = 0.044x + 15.41$	$y = 0.114x + 15.44$

Примечание. T_{cp} – среднегодовая температура. В уравнениях линий трендов “ x ” – текущий номер года в исследуемый период. Здесь и в табл. 2: период I — 2000–2007, период II — 2008–2013, период III — 2014–2020.

Таблица 2. Динамика возрастной и размерно-массовой структур черноморского шпрота в 2000–2020

Параметр	Период исследования		
	I	II	III
Усредненная T , °C	15.2 ± 0.208	15.7 ± 0.190	15.9 ± 0.148
Доля, %:			
годовиков	62.8 ± 5.644	84.13 ± 2.356	93.3 ± 1.438
двухгодовиков	34.7 ± 5.278	15.6 ± 1.441	6.6 ± 2.070
трехгодовиков	2.5 ± 1.761	0.27 ± 0.433	0.1 ± 0.286
Средний возраст, год	1.4 ± 0.482	1.16 ± 0.181	1.07 ± 0.232
Средняя длина, см	7.2 ± 0.903	6.4 ± 0.752	6.0 ± 0.324
Средняя масса особи, г	3.65 ± 0.863	2.82 ± 0.622	2.76 ± 0.513

периоды прослеживается тенденция снижения средней длины и массы шпрота. Средняя длина рыбы за период (2000–2020 гг.) достоверно уменьшилась в 1.2 раза ($с\ 7.2 \pm 0.903\text{ см}$ до $6.0 \pm 0.324\text{ см}$) (t -критерий, $p > 95\%$), средняя масса — в 1.32 раза ($с\ 3.65 \pm 0.863\text{ г}$ до $2.76 \pm 0.513\text{ г}$) (t -критерий, $p > 95\%$). Снижение размеров и массы особенно четко проявилось в последние годы (2014–2020 гг.). Анализ размерно-возрастной структуры показал, что это связано с относительным увеличением (в 1.5 раза) доли мелких особей в стаде (t -критерий, $p > 95\%$).

Зависимость массы от длины тела хорошо аппроксимируется следующими уравнениями: для 2000–2007 гг. — $W = 0.0085SL^{2.95}$; 2008–2013 гг. — $W = 0.009SL^{2.82}$; 2014–2020 гг. — $W = 0.0102SL^{2.78}$ (табл. 3). Невысокие показатели степени $b < 3$ свидетельствуют, что среднегодовая длина шпрота в процессе развития увеличивается несколько быстрее, чем среднегодовые поперечные размеры, то есть рыба, имеющие большую длину, характеризуется более вытянутой формой и более медленным темпом наращивания массы. При этом степени b в этих уравнениях последовательно уменьшаются от периода I до периода III. Учитывая связь параметра b с упитанностью (Bagenal, Tesch, 1978, Рикер, 1979), можно констатировать, что наименьшее значение показателя степени b у шпрота в 2014–2020 гг. при самой высокой ТПМ $15.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ свидетельствует о снижении упитанности черноморского шпрота с повышением температур.

Асимптотическая масса W_{∞} черноморского шпрота с увеличением температурных показате-

телей ТПМ от $15.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2000–2007 гг.) до $15.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2014–2020 гг.) уменьшилась в 1.4 раза (табл. 3).

Рост рыбы. Рост рыб тесно связан с температурой окружающей среды, что проявляется в изменчивости параметров уравнений роста Берталанфи. В составленных уравнениях роста Берталанфи для популяции шпрота коэффициент k , характеризующий скорость линейного и массового роста, оказался самым низким ($k = 0.311$) в 2014–2020 гг. при ТПМ $15.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, по сравнению с другими периодами (табл. 2, 3). Уменьшение коэффициента k в периоды, характеризующиеся более высокими среднегодовыми ТПМ, свидетельствует об отрицательном влиянии температуры на скорость роста шпрота. Это можно объяснить тем, что шпрот бореально-атлантический реликт и относится к холодолюбивым видам.

Черноморский шпрот в исследуемый период при более высокой среднегодовой температуре $15.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2014–2020 гг.) достигает 80%-ной предельной длины 9 см в возрасте 5 лет, при более низкой температуре $15.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2000–2007 гг.) — в более раннем возрасте (3–3.5 года) (рис. 3). Соответственно, значения индексов линейного (ϕ) и массового (ϕ') роста у черноморского шпрота уменьшаются и достигают наименьших значений $\phi = 1.576$, $\phi' = 0.095$ в период 2014–2020 гг. с более высокой ТПМ (табл. 2, 3).

Получены зависимости предельной длины L_{∞} от среднегодовой ТПМ в исследуемые периоды (рис. 4). Среднее значение асимптотической длины за 2000–2020 гг. было $11.2 \pm 0.582\text{ см}$. Анализ линий трендов показал, что асимптотическая длина шпрота за исследуемый период 2000–2020 гг. уменьшалась (рис. 4). Выявлена отрицательная корреляционная связь между изменениями L_{∞} и ТПМ ($r = -0.86$, $p < 0.001$). Наибольшую скорость уменьшения наблюдали в период 2014–2020 гг. (угол наклона тренда $k = -0.15\text{ см/год}$) по сравнению с 2000–2007 и 2008–2013 гг. ($k = -0.13$ и $k = -0.14\text{ см/год}$ соответственно) (рис. 4).

Согласно результатам анализа показателей линейного L_{∞} , k , ϕ и массового ϕ' роста, повышение ТПМ отрицательно сказывается на состоянии популяции черноморского шпрота — скорость роста замедляется, рыба мельчает.

Возрастная структура. Черноморский шпрот относится к числу короткоживущих видов рыб. Максимальная продолжительность его жизни у крымского побережья не превышает трех лет, средняя — полтора года. Вследствие этого возрастная структура черноморского шпрота достаточно быстро реагирует на изменение условий среды.

В период исследований наряду с изменениями размерно-массовых характеристик шпрота, изменялась и возрастная структура. Возрастной состав

Таблица 3. Параметры уравнений линейного и массового роста черноморского шпрота

Параметр	Период исследования		
	I	II	III
L_{∞}	11.5	11.3	11.0
k	0.345	0.321	0.311
t_0	–1.123	–0.85	–0.53
W_{∞}	11.441	9.026	8.011
ϕ	1.659	1.613	1.576
ϕ'	0.243	0.144	0.095
a	0.0085	0.009	0.0102
b	2.95	2.82	2.78
R^2	0.90	0.86	0.85

Примечание. L_{∞} — асимптотическая длина; W_{∞} — асимптотическая масса; k — константа скорости роста; t_0 — возраст рыбы, когда ее длина и масса в рассматриваемой модели равны нулю; b — показатель степени зависимости масса–длина; a — коэффициент, связанный с формой тела.

популяции шпрота у крымского побережья представлен тремя годовыми классами (поколениями): годовиками, двух- и трехгодовиками. Четырехгодовики встречались единично и не каждый год (табл. 2).

Наиболее многочисленный возрастной класс — годовики. В среднем за весь период исследований 2000–2020 гг. их доля достигала 80.1%, увеличиваясь с повышением среднегодовой ТПМ от 62.8 (2000–2007 гг.) до 93.3% (2014–2020 гг.). Второй по численности возрастной класс — двухгодовики; их доля в популяции в среднем за 2000–2020 гг. не превышала 19.0%, варьируя от 34.7% (2000–2007 гг.) до 6.6% (2014–2020 гг.). На трехгодовиков приходится лишь ~1% общей численности.

Средний возраст черноморского шпрота в целом за весь период исследований был 1.2 года. Исследования показали, что с возрастанием среднегодовой ТМП средний возраст снизился с 1.4 (2000–2007 гг.) до 1.07 года (2014–2020 гг.), в среднем за весь период — в 1.3 раза (табл. 2).

В целом за период 2000–2020 гг. произошло сокращение относительной численности трехгодовиков в 25 раз (t -тест $\alpha < 0.05$, $p > 95\%$), двухгодовиков — в > 5 раз и возрастание относительной численности годовиков в 1.5 раза (t -тест $\alpha < 0.05$,

$p > 95\%$). Отсюда следует, что изменения возрастной структуры шпрота выразились в последовательном снижении доли старших возрастов и увеличении младших. Таким образом, на фоне наблюдаемого потепления (увеличения ТПМ) происходит омолаживание популяции шпрота, что ведет в целом к уменьшению средних размеров и массы особей.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Относительная холодолюбивость шпрота определила изменение его биологического ритма в Черном море и обусловила размножение в позднее осеннее и зимние месяцы. Проведенные ранее исследования (Гирагосов и др., 2006; Климова и др., 2021) показали, что более половины всех индивидуальных икротетаний шпрота на юго-западном шельфе Крыма приходится на температурный интервал 8–9°C. Эта особенность икротетания шпрота сохранилась и в исследуемый период (Мельникова, 2017).

Следует отметить, что для размерно-массовой и возрастной структур вида характерна как популяционная, так и пространственно-временная специфичность, вызванные тем, что биологические показатели вида меняются в соответствии

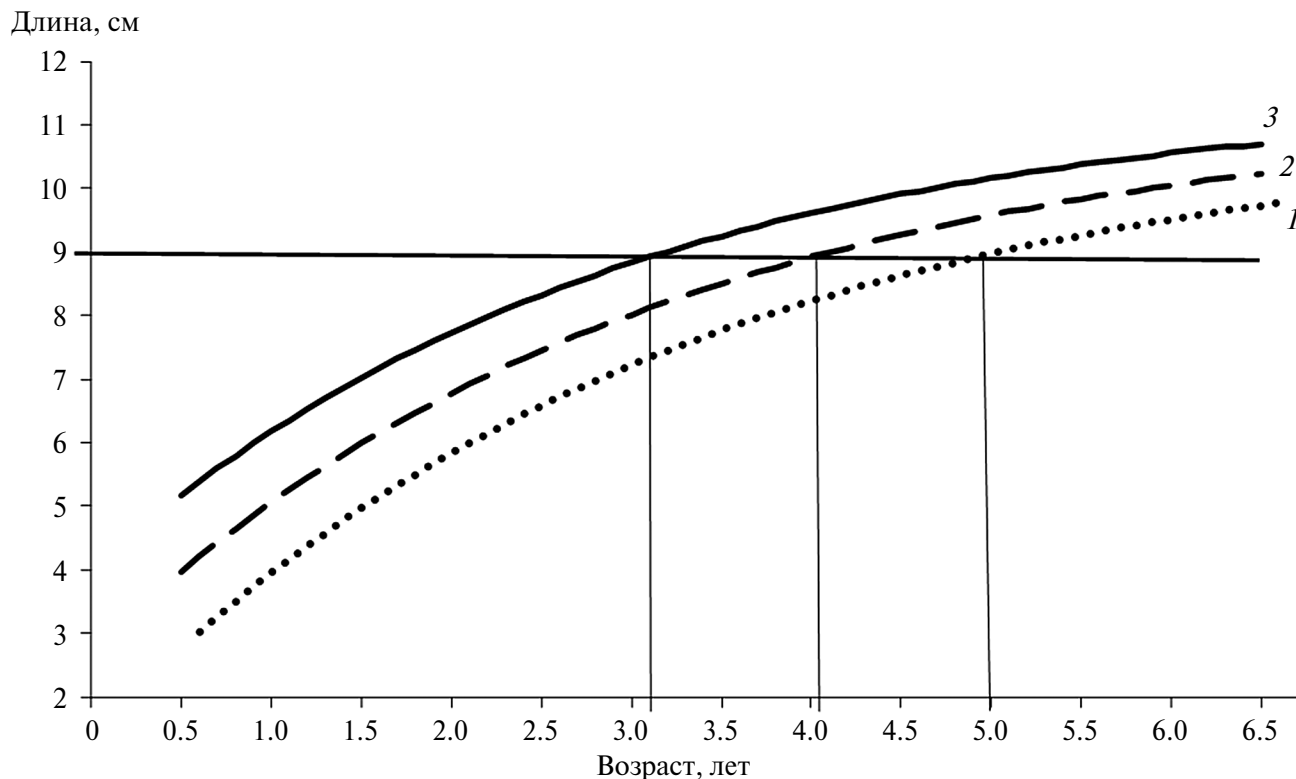


Рис. 3. Рост черноморского шпрота, обитающего в прибрежных водах юго-западного Крыма. 1 — 2014–2020 гг.; 2 — 2008–2013 гг.; 3 — 2000–2007 гг.

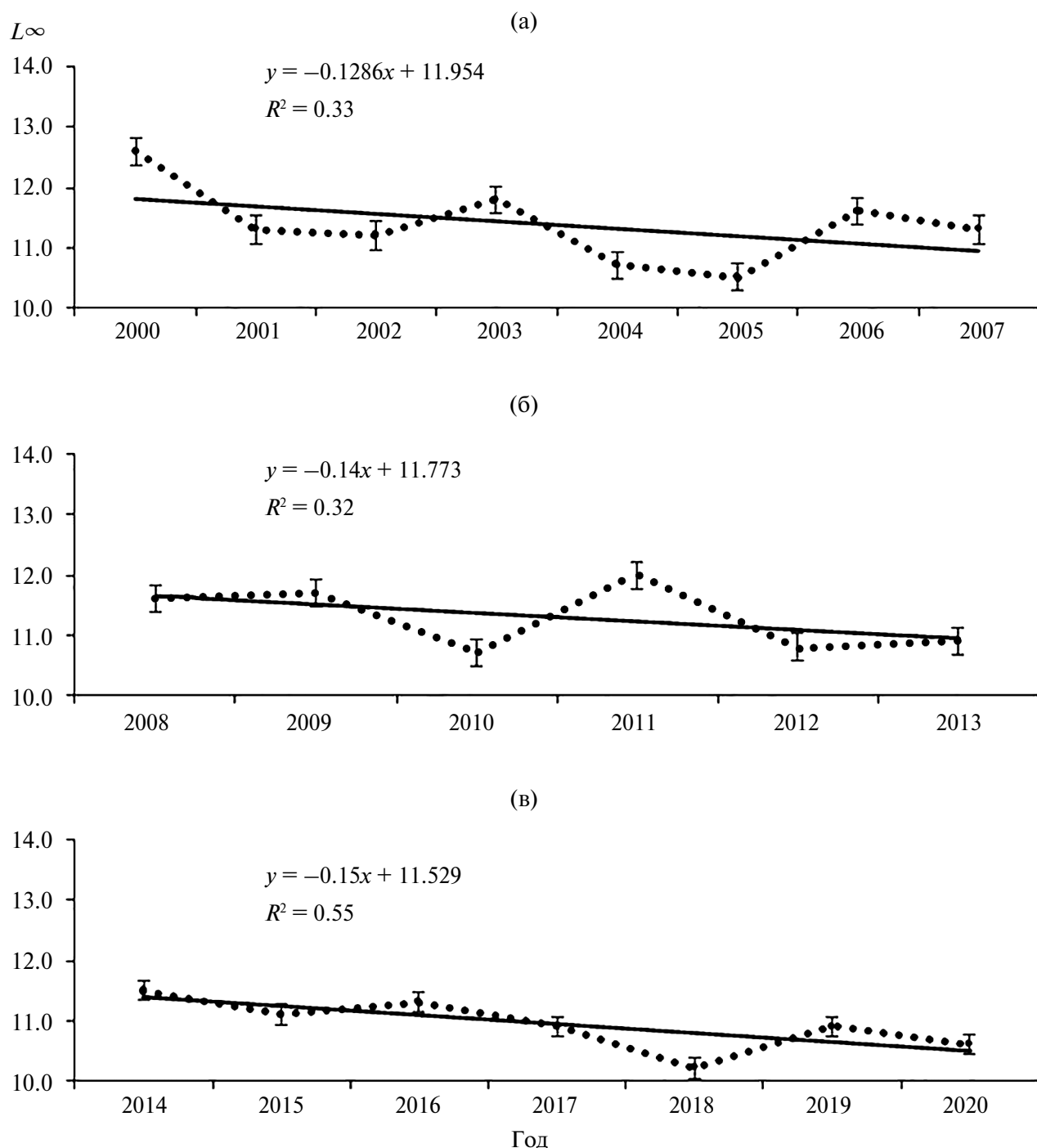


Рис. 4. Изменение асимптотической длины черноморского шпрота в 2000–2020 годы: а — 2000–2007 гг., б — 2008–2013 гг., в — 2014–2020 гг. Точками показаны расчетные значения L_{∞} соответствующего года.

с изменениями среды обитания (Никольский, 1974; Bellido et al., 2000; Sinovčić, 2004; Froese, 2006; Goulding et al., 2014). Вследствие этого, с учетом тенденций климатических изменений, анализ временной изменчивости размерно-массовой и возрастной структур рыб позволяет выявить направления адаптивных изменений биологических параметров вида.

Проведенные исследования показали, что в 2000–2020 гг. среднегодовая ТПМ повышалась в среднем со скоростью $0.055^{\circ}\text{C}/\text{год}$. Это отразилось на изменении размерно-массовых параметров холодолюбивого шпрота. Как и ранее (Зуев и др., 2002), в наших исследованиях максимальная продолжительность жизни шпрота у крымского побережья ≤ 3 года, средняя — 1.5. При

этом, в 2000–2020 гг. у шпрота отмечено снижение среднего возраста, средней длины и средней массы в 1.3, 1.2 и в 1.32 раза соответственно.

Анализ литературных данных показал, что аналогичная тенденция изменения длины шпрота наблюдали и в других регионах Черного моря. Так, если в 1991 г. минимальная длина шпрота в уловах из восточных районов Черного моря достигала 7.2 см, то в 2002–2003 гг. — 6.4 см; в 2006–2008 гг. в западной части Черного моря — 6.0 см, в 2014 г. — 5.5 см и в 2017–2019 гг. — 4.5 см (Sahin, 1999; Satilmis et al., 2014; Yankova et al., 2011, Özsandıkçı, 2020; Dagtekin et al., 2022). Таким образом, за 20 лет длина шпрота, встречаемая в черноморских уловах, сократилась в 1.6 раза, увеличилась доля младших возрастных групп, что отмечено и в наших исследованиях.

Заметное изменение в возрастной структуре промыслового стада шпрота в 1996–2012 гг. отмечали В.Д. Дахно и О.А. Перевалов (2013). Они установили, что в 1996–2000 гг. в мае–июне доминировали двух–четырёхлетки, в 2001–2012 гг. — двух–трехлетки, в отдельные годы — сеголетки–двухлетки. Тенденция снижения средней длины и массы наиболее многочисленных возрастных групп (от сеголетков до трехлеток) особенно четко проявляется в последнее десятилетие. По нашему мнению, это указывает на ухудшение условий обитания популяции шпрота, в частности, на ухудшение условий нагула холодолюбивого шпрота, поскольку интенсивный прогрев прибрежных мелководий моря в летний период приводит к существенному сокращению нагульного ареала, усилению пищевой конкуренции с теплолюбивым комплексом рыб, увеличению численности хищных рыб теплолюбивого средиземноморского комплекса (ставриды, луфаря) и конкурента в питании хамсы.

По данным Т.И. Глушенко (2011), в рационе рыб старших возрастных групп в 2009–2010 гг. практически отсутствовали холодолюбивые организмы, представлявшие категорию “основной пищи” в предыдущие годы. По нашим данным (табл. 1), в 2008–2013 гг. среднегодовая ТПМ возросла по сравнению с предыдущим периодом 2000–2007 гг. на 0.5°C. Возможно, это отрицательно сказалось на организмах холодолюбивого комплекса, о которых указывала Глушенко (2011), и на состоянии популяции холодолюбивого шпрота.

В работе (Шляхов, Шляхова, 2011) показана тенденция к прогрессирующему снижению средней массы особей шпрота в траловом промысле от 1976–1980 гг. к современным годам (2005–2009 гг.). Для характеристики массового роста шпрота вычислены параметры зависимости “масса–длина”. В 1976–1980 гг. степенной коэффициент b был в среднем более трех (при средне-

месячных значениях 2.96–3.28). В 1990–1994 гг. значения коэффициента b варьировали в более широком диапазоне — от 2.80 до 3.45, а в 2005–2009 гг. его среднемесячные значения уменьшились и стали <3.00.

Уменьшение параметра b в соотношении “масса–длина” при повышении ТПМ регистрировали также в южных и западных районах Черного моря. Так, в 1991 г. в юго-восточной части Черного моря у шпрота наблюдали положительный аллометрический рост — $b = 3.46$ (Sahin, 1999). В дальнейшем (2002–2003 гг.) с повышением ТПМ уменьшился параметр роста — $b = 3.00$ (Satilmis et al., 2022). В 2004–2005 гг. авторы работы (Kalayci et al., 2007) отмечали отрицательный аллометрический рост — $b = 2.87$. В 2006–2008 гг. в болгарских водах Черного моря Янкова (Yankova et al., 2011) показала дальнейшее уменьшение этого параметра ($b = 2.73$), что свидетельствует о снижении упитанности. Приведенные выше данные, характеризующие состояние популяции шпрота, согласуются с нашими оценками для периодов 2000–2007 и 2008–2013 гг. Среди множества факторов, способных повлиять на размерную и массовую структуры уловов шпрота, авторы указывали на климат, кормовую базу и рыболовство, хотя следует отметить, что эти факторы взаимосвязаны. Также, по мнению авторов, наибольшее воздействие первых двух факторов (климата и кормовой базы) может проявляться в массовом росте, сезонной и межгодовой динамике его показателей (средней массы особей, жирности и упитанности), а последнего (рыболовства) — в изменениях размерной (и возрастной) структуры уловов. Все эти результаты подтверждают полученные нами выводы об отрицательном влиянии повышения ТПМ, наблюдаемого в последние годы, на биологическое состояние популяции черноморского шпрота — скорость роста замедляется, рыба мельчает.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлен характер трендов изменения ТПМ на юго-западном шельфе Крыма. В среднем за период 2000–2020 гг. ТПМ повышалась со скоростью 0.055°C/год. Показано, что 20-летний период по характеру изменения ТПМ можно разбить на три периода: 2000–2007, 2008–2013 и 2014–2020. Наблюдаемое повышение среднегодовой ТПМ отрицательно сказалось на росте черноморского шпрота, относящегося к холодолюбивому комплексу рыб. Так, в период 2014–2020 гг. по сравнению с периодом 2000–2007 гг. средняя длина черноморского шпрота уменьшилась в 1.2 раза, средняя масса — в 1.32 раза, средний возраст — в 1.3 раза, снизились значения индексов линейного и массового роста. Выявлена отрицательная корреляционная связь ($r = -0.86$) между измене-

нием ТПМ и предельной длиной. В 2000–2020 гг. на фоне наблюдаемого потепления происходило снижение в популяции шпрота доли старших возрастных групп и увеличение младших, средний возраст популяции шпрота сократился в 1.3 раза (с 1.4 до 1.07 года). В целом, произошло омоложение популяции шпрота, уменьшились средние размеры и масса особей.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках Госзадания Института природно-технических систем “Фундаментальные исследования процессов в климатической системе, определяющих пространственно-временную изменчивость морской среды и прилегающих территорий в широком диапазоне масштабов”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гирагосов В.Е., Зуев Г.В., Репетин Л.Н. 2006. Изменчивость репродуктивного потенциала черноморского шпрота (*Sprattus sprattus phalericus*) связи с температурными условиями среды // Морский экологический журнал. № 4. С. 5.
- Глуценко Т.И. 2011. Питание и оценка рациона черноморского шпрота в 2009–2010 годах // Тр. ЮГНИРО. Т. 49. С. 34.
- Дахно В.Д., Перевалов О.А. 2013. Современное состояние стада черноморского шпрота, обитающего в российской части Черного моря // Вopr. рыболовства. Т. 14. № 4(56). С. 644.
- Зуев Г.В., Мельникова Е.Б., Салехова Л.П. и др. 2002. Новый подход к изучению возрастной структуры черноморского шпрота (*Sprattus sprattus phalericus*) (Pisces: Clupeidae) // Морск. экол. журн. Т. 1. № 1. С. 90.
- Зуев Г.В., Мельникова Е.Б., Репетин Л.Н. и др. 2004. Влияние температуры воды на выживание молоди и формирование промыслового запаса черноморского шпрота *Sprattus sprattus phalericus* (Risso); (Pisces: Clupeidae) // Мормельников. экол. журн. Т. 3. № 2. С. 45.
- Климова Т.Н., Вдович И.В., Аннинский Б.Е. и др. 2021. Влияние некоторых абиотических и биотических факторов на нерест европейского шпрота *Sprattus sprattus* (Linnaeus, 1758) в Черном море в ноябре 2016–2017 гг. // Океанология. Т. 61. № 1. С. 67. <https://doi.org/10.31857/S0030157421010081>
- Кляшторин Л.Б., Любушкин А.А. 2005. Циклические изменения климата и рыбопродуктивности. М.: ВНИРО.
- Мельникова Е.Б. 2011. Определение возрастного состава уловов в условиях промысла // Рыбогосподарська наука України. № 1. С. 27.
- Мельникова Е.Б. 2017. Использование интенсивности свечения гидробионтов в нерестовый период шпрота для оценки пополнения промысловых стад молодь // Тр. ВНИРО. Т. 166. С. 109.
- Никольский Г.В. 1974. Теория динамики стада рыб. М.: Пищ. пром-сть.
- Панов Б.Н., Спиридонова Е.О., Пятинский М.М., Стыцук Д.Р. 2020. О роли температурного фактора в поведении и эффективности промысла черноморского шпрота // Водные биоресурсы и среда обитания. Т. 3. № 1. С. 106. https://doi.org/10.47921/2619-1024_2020_3_1_106
- Полонский А.Б., Воскресенская Е.Н., Башарин Д.В. 2000. О влиянии океана на изменчивость температуры Европейского и Средиземноморского регионов // Морск. гидрофиз. журн. № 5. С. 30.
- Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть.
- Рикер У.Е. 1979. Методы оценки и интерпретации биологических показателей популяций рыб. М.: Пищ. пром-сть.
- Смирнова Л.Л., Кошкарров А.А., Сизова О.С. 2021. Развитие сообществ обрастания на антропогенных поверхностях в прибрежных водах Черного моря // Биология внутр. вод. № 5. С. 461. <https://doi.org/10.31857/S0320965221040136>
- Шестаков А.В. 2021. Размерно-возрастная структура и рост сиговых рыб (Coregonidae) арктического оз. Иони (восточная Чукотка) // Биология внутр. вод. № 2. С. 171. <https://doi.org/10.31857/S0320965221010125>
- Шляхов В.А., Шляхова О.В. 2011. Динамика структуры траловых уловов шпрота на украинском шельфе Черного моря и воздействие на нее природных факторов и рыболовства // Тр. ЮГНИРО. Т. 49. С. 12.
- Шульман Г.Е., Никольский В.Н., Юнева Т.В. и др. 2007. Воздействие глобальных климатических и региональных факторов на мелких пелагических рыб Черного моря // Морск. экол. журн. Т. 6. № 4. С. 18.
- Яблоков А.В. 1987. Популяционная биология. М.: Высш. шк.
- Bagenal T.B., Tesch F.W. 1978. Age and growth // Methods for assessment of fish production in fresh waters. Oxford: Blackwell Scientific Publ. P. 101.
- Bellido J.M., Pierce G.J., Romero J.L., Millan M. 2000. Use offrequency analysis methods estimate growth of anchovy in the Gulf of Cadis (SW Spain) // Fish. Res. V. 48. P. 107. [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(00\)00183-1](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(00)00183-1)
- Bertalanffy L.Von. 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws II) // Human Biol. V. 10. P. 181.
- Dagtekin M., Genc Y., Kasapoglu N. et al. 2022. Length-weight relationships of 28 fish species caught from demersal trawl survey in the Middle Black Sea, Turkey // Turk. J. Zool. V. 46. P. 67. <https://doi.org/10.3906/zoo-2109-21>
- Daskalov G.M. 2002. Overfishing drives a trophic cascade in the Black Sea // Mar. Ecol. Prog. Ser. V. 225. P. 53. <https://doi.org/10.3354/meps225053>

- Froese R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations // J. Appl. Ichthyol. V. 22. P. 241. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x>
- Goulding I.C., Stobberup K.A., O'Higgins T. 2014. Potential economic impacts of achieving good environmental status in Black Sea fisheries // Ecol. Soc. V. 19. № 3. <https://doi.org/10.5751/ES-06817-190332>
- Kalayci F., Samsun N., Bilgin S. & Samsun O. 2007. Length weight relationship of 10 fish species caught by bottom trawl and midwater trawl from the Middle Black Sea, Turkey // Turkish J. Fish. and Aquat. Sci. V. 7. № 1. P. 33.
- Oguz T. 2005. Black Sea ecosystem response to climatic teleconnections // Oceanography. V. 18. Iss. 2. P. 122. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2005.47>
- Özsandıkçı U. 2020. Estimation of exploitable sprat (*Sprattus sprattus* Linnaeus, 1758) biomass along Black Sea Coasts of Turkey (Samsun Region): This paper is dedicated to the memory of Sedat GÖNENER // J. New Results in Sci. (JNRS). V. 9. Iss. 3. P. 1.
- Pauly D., Moreau J., Prein M. 1988. A comparison of overall growth performance of tilapia in open waters and aquaculture // ICLARM Conf. Proc. V. 15. P. 469.
- Sahin T. 1999. Some biological characteristics of sprat (*Sprattus sprattus phalericus* Risso, 1826) on the Eastern Black Sea coast // Turk. J. Zool. V. 23. Iss. 5. P. 249.
- Satilmis H.H., Sumer C., Ozdemir S., Bayrakli B. 2014. Length-weight relationships of the three most abundant pelagic fish species caught by mid-water trawls and purse seine in the Black Sea // Cah. Biol. Mar. V. 55. P. 259.
- Sinovič G. 2004. Growth and length-weight relationship of the juvenile anchovy, *Engraulis encrasicolus*, in the nursery ground (Zrmanja River estuary-eastern Adriatic Sea) // J. Appl. Ichthyol. V. 20. Iss. 1. P. 79. <https://doi.org/10.1046/j.0175-8659.2003.00517.x>
- Yankova M., Pavlov D., Raykov V. et al. 2022. Length-weight relationships of ten fish species from the Bulgarian Black Sea waters // Turk. J. Zool. V. 35. P. 265. <https://doi.org/10.3906/zoo-0912-44>

Influence of Sea Surface Temperature Changes on the Development of Sprat (*Sprattus sprattus phalericus*) (Pisces: Clupeidae) Living on the South-Western Shelf of Crimea

E. B. Melnikova^{1, *}, A. V. Melnikov^{2, **}

¹Institute of Natural and Technical Systems, Sevastopol, Crimea

²Sevastopol State University, Sevastopol, Crimea

*e-mail: helena_melnikova@mail.ru

**e-mail: mel.anat@mail.ru

A study of changes in sea surface temperature (SST) on the South-Western shelf of the Crimea in 2000–2020 was conducted. The equations of trends in the change of SST are found. It is shown that according to the nature of changes in the average annual sea temperature, three periods can be divided: 2000–2007, 2008–2013 and 2014–2020. The influence of changes in the average annual SST on the development of pelagic fish of the cold-waters complex (on the example of the Black Sea sprat) is considered. Changes in the main parameters of populations and their relationship with the change in the average annual SST were found. It was found that the observed increase in sea temperature negatively affected the development of the sprat population, the average age of the population decreased by 1.3 times, in general, the population was rejuvenated, the average size and weight of individuals decreased.

Keywords: Black Sea, temperature changes, sprat, length, mass, growth equations