

УДК 597.556.331.1:636.05(262.5)

## СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В РАЗМЕРНО-ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЕ ПОПУЛЯЦИИ СРЕДИЗЕМНОМОРСКОЙ СТАВРИДЫ *TRACHURUS MEDITERRANEUS* (STEINDACHNER, 1868) НА ЮГО-ЗАПАДНОМ ШЕЛЬФЕ КРЫМА

© 2023 г. Е. Б. Мельникова<sup>1</sup>, \* (ORCID: 0000-0001-7988-2541),  
Н. С. Кузьмина<sup>2</sup> (ORCID: 0000-0001-5453-0136), А. В. Мельников<sup>3</sup> (ORCID: 0000-0002-3732-0791)

<sup>1</sup>Институт природно-технических систем, Севастополь, 299011 Россия

<sup>2</sup>Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, 299011 Россия

<sup>3</sup>Севастопольский государственный университет, Севастополь, 299053 Россия

\*e-mail: helena\_melnikova@mail.ru

Поступила в редакцию 16.01.2023 г.

После доработки 08.04.2023 г.

Принята к публикации 08.06.2023 г.

Показано влияние среднегодовой температуры поверхности моря (ТПМ) на развитие ставриды *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868) на юго-западном шельфе Крыма. Найдены изменения основных показателей популяции и их связь с изменением среднегодовой ТПМ (0.055°C/год) в 2000–2020 гг. На фоне наблюдаемого повышения ТПМ в последние годы состояние популяции ставриды улучшилось: наблюдалось увеличение среднего возраста и соответственно доли более крупных, упитанных особей, и в целом – средних размеров и массы рыбы. Показано, что по характеру изменения среднегодовой ТПМ можно выделить три периода: 2000–2007, 2008–2013 и 2014–2020 гг.

**Ключевые слова:** Черное море, температура, ставрида *Trachurus mediterraneus*, уравнения роста, возраст

**DOI:** 10.31857/S013434752305008X, **EDN:** YVIJND

Одним из массовых обитателей Черного моря является средиземноморская ставрида *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868). Это пелагический вид с выраженной флуктуацией численности (Салехова, Гордина, 2005), широко распространенный в Средиземном море и вдоль всего побережья Черного моря, один из основных промысловых объектов причерноморских государств – Турции, Болгарии, Румынии, Украины и России. Вылов ставриды в Черноморско-Крымском промысловом районе колебался в широких пределах: от 0.5 т в 2001 г. до 1971 т в 2017 г. (Кожурин и др., 2018; Шляхов и др., 2018). Кроме того, ставриду постоянно вылавливают местные рыбаки в бухтах и защищенных участках моря. В ряде работ (Кожурин и др., 2018; Шляхов и др., 2018; Kasaroglu, 2018) отмечены положительные тренды годовых уловов средиземноморской ставриды в последние годы.

Определение и изучение возраста, скорости роста, анализ уравнений роста рыб имеют большое значение в ихтиологических исследованиях, так как эти показатели являются одними из основных характеристик, определяющих состояние

популяции и промысловый запас (Mikhailov, Prodanov, 1983; Bellido et al., 2000; Claramunt, Wahl, 2000; Yankova, Raykov, 2006; Yankova et al., 2010). Параметры уравнения “масса–длина” используют для преобразования длины отдельной рыбы в массу в условиях промысла, оценки средней массы рыбы в определенном размерном классе и других ключевых характеристик важных для оценки популяций рыб (Sinovčić, 2003; Froese, 2006; Erdoğan et al., 2016). Колебания параметров окружающей среды влияют на численность пелагических видов рыб и могут приводить к изменениям жизненного цикла и моделей роста (Зуев, Мельникова, 2003; Куцын и др., 2021; Bellido et al., 2000). Данные, полученные в результате долгосрочных исследований, имеют важное значение для определения тенденций изменения параметров рыб, что особенно важно при разработке мер устойчивого промысла с учетом наблюдаемых климатических изменений.

Цель наших исследований – оценка состояния популяции средиземноморской ставриды и ее изменений, вызванных воздействием температур-

ных факторов за последние 20 лет в районе юго-западного шельфа Крыма.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Особь средиземноморской ставриды отбирали из уловов ставных неводов в северной части прибрежных вод Гераклеийского полуострова, (между  $44.61^\circ \text{ N}$  и  $44.63^\circ \text{ N}$ ,  $33.47^\circ \text{ E}$  и  $33.52^\circ \text{ E}$ ; в бухтах Александровская, Карантинная, Стрелецкая, в открытой акватории напротив б. Песочная), а также в районе Балаклавской бухты (между  $44.491^\circ \text{ N}$  и  $44.496^\circ \text{ N}$ ,  $133.596^\circ \text{ E}$  и  $133.599^\circ \text{ E}$ ), расположенной у южного края Гераклеийского полуострова. Материал собирали в 2000–2020 гг. в весенне-осенний период (апрель–сентябрь). В основу статьи положены результаты собственных многолетних исследований, а также данные из литературных источников.

При обработке проб общую длину тела ( $TL$ ) измеряли с погрешностью до 0.1 см. Весовые характеристики (массу тела) определяли взвешиванием на электронных весах Sartorius excellence E2000D с погрешностью, не превышающей сотых долей грамма. Возраст рыб определяли по отолитам, согласно стандартным методикам (Правдин, 1966). Среднюю длину и средний популяционный возраст определяли как среднее взвешенное значение размерных (возрастных) групп.

При описании линейного и весового роста применяли уравнения Берталанфи (Рикер, 1979; Bertalanffy, 1938):  $L = L_\infty(1 - e^{-k(t-t_0)})$  и  $W = W_\infty(1 - e^{-k(t-t_0)})^b$ ; индексы роста линейных ( $\phi$ ) и весовых ( $\phi'$ ) показателей рассчитывали по формулам:  $\phi = \lg k + 2 \lg L_\infty$  и  $\phi' = \lg k + (2 \lg W_\infty)/3$ , где  $L_\infty$  – асимптотическая длина,  $W_\infty$  – 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”.

Размерно-весовые соотношения вычисляли по формуле:  $W = aTL^b$ , где  $W$  – общая масса тела, г;  $TL$  – общая длина рыбы, см;  $a$  – коэффициент, связанный с формой тела;  $b$  – показатель роста (показатель аллометрического роста).

Информация о температуре поверхности моря (ТПМ) в районе исследования получена из Севастопольского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Дополнительно ТПМ в районе исследования определяли, используя спутниковые данные с сайта Global Sea Temperature.

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  $\chi^2$ . Нормальность распределений экспериментальных данных оценивали методом Шапиро–Уилка. Математическую обработку результатов проводили на персональном компьютере с использованием программ Microsoft Excel 5.0, Statistica 6.0, SigmaPlot 12.5, Surfer 13.0.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Температура воды

Температура воды является важным показателем, определяющим продуктивность всех компонентов экосистемы Черного моря, включая разитие рыб. Многолетняя изменчивость ТПМ за последние два десятилетия (2000–2020 гг.) на юго-западном шельфе Крыма характеризовалась значительной вариабельностью среднегодовых значений. Из линии тренда (рис. 1) видно, что за последние 20 лет наблюдалась общая тенденция повышения среднегодовых значений ТПМ по сравнению со средней многолетней. Получено (см. уравнение тренда на рис. 1), что средняя скорость повышения ТПМ за 20 лет в прибрежных водах юго-западного Крыма составляет  $k = 0.055 \pm 0.017^\circ\text{C}/\text{год}$ . Отличие угла наклона тренда от нуля статистически достоверно ( $t$ -критерий,  $t = 3.119$ ,  $p > 95\%$ ). Расчеты с использованием теста Шапиро–Уилка подтвердили нормальность отклонения среднегодовой температуры от линии тренда (тест SW,  $n = 21$ ,  $W_{\text{крит}} = 0.703$ ,  $W_{\text{расчет}} = 0.968$ ,  $\alpha = 0.05$ ). Экспериментальные данные изменения ТПМ статистически не отличаются от теоретической линии тренда (критерий  $\chi^2$ ,  $\chi^2 = 0.297$ ,  $df = 20$ ,  $\alpha < 0.05$ ).

Анализ изменений ТПМ показывает, что условно 20-летние наблюдения по характеру изменения температуры можно разбить на три периода. Первый период с 2000 по 2007 гг.; в этот период линия, отображающая изменения среднегодовой ТПМ (рис. 1), располагалась в целом во все годы ниже, чем средняя за 20-летний период ( $15.5 \pm 0.128^\circ\text{C}$ ). Размах изменений температуры был наибольшим и составлял  $1.5^\circ\text{C}$  (табл. 1). Второй период с 2008 по 2013 гг.; линия изменения среднегодовой ТПМ почти ежегодно колебалась в положительную и отрицательную сторону от средней многолетней температуры, а среднегодовая ТПМ ( $15.7 \pm 0.190^\circ\text{C}$ ) была на  $0.2^\circ\text{C}$  выше относительно средней за 20-летний период. Наблюдалось также снижение размаха изменения температуры до  $1.4^\circ\text{C}$ . Третий период с 2014 по 2020 гг.; линия изменения среднегодовой ТПМ (рис. 1) находилась выше средней многолетней ТПМ (кроме 2017 г.), и среднегодовая ТПМ ( $15.9 \pm 0.148^\circ\text{C}$ ) была на  $0.3^\circ\text{C}$  выше, чем средняя за 20-летний период. На фоне общего повышения ТПМ размах

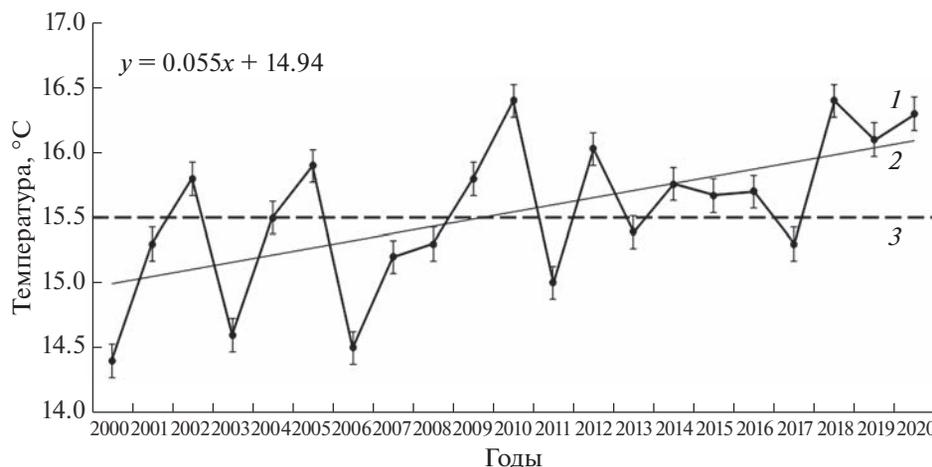


Рис. 1. Изменения среднегодовой температуры воды на юго-западном шельфе Крыма (1), среднеквадратические отклонения, линия тренда (2), средняя температура поверхности моря за период 2000–2020 гг. (3).

колебаний в третий период уменьшился до  $1.1^{\circ}\text{C}$  (табл. 1).

Для рассматриваемых временных периодов также были найдены линии трендов, которые позволили определить среднегодовые усредненные изменения ТПМ и составить уравнения линий трендов (табл. 1), из которых видно, что самый большой коэффициент при параметре “ $x$ ”  $k = 0.114$  (табл. 1), характеризующий угол наклона линии тренда, наблюдался в 2014–2020 гг. В это время повышение среднегодовой ТПМ было наибольшим. Усредненное повышение ТПМ за период возросло от  $0.231^{\circ}\text{C}$  (первый период) до  $0.684^{\circ}\text{C}$  (третий период) (табл. 1). Повышение ТПМ за третий период было более значительным, чем за первый и второй периоды (в 2.2–3.0 раза), то есть в последние годы (2014–2020 гг.) повышение ТПМ происходило более высокими темпами.

Проведено сопоставление 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 средиземноморской ставриды для выявления связи между изменением температурного режима морской среды на юго-западном шельфе Крыма и особенностями развития этого вида рыб.

### Вылов

*Trachurus mediterraneus* является пелагической, теплолюбивой, промысловой рыбой. С 2003 г. ставрида восстанавливается в качестве промыслового объекта (Шляхов, Гришин, 2009). Выловы этой рыбы увеличились от 0.6 т в 2000 г. до 2064 т в 2020 г. (рис. 2). Построена линия тренда, характеризующая увеличение вылова ставриды в исследуемый период (рис. 2). Получен коэффициент корреляции  $r = 0.4$  между объемами вылова и ТПМ. Из линии тренда видно, что средняя скорость повышения уловов за 20 лет в прибрежных водах юго-западного шельфа Крыма высока и составляет  $k = 103.5 \pm 0.171$  т/год.

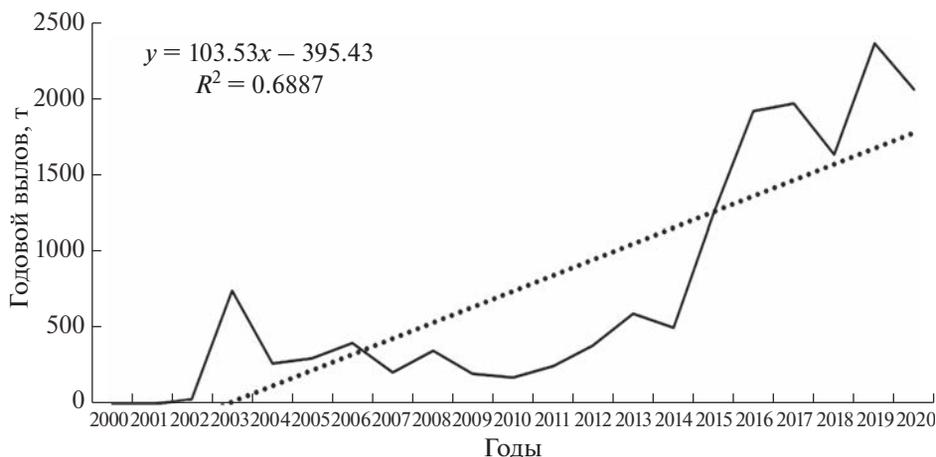
### Нерест

Средиземноморская ставрида относится к лет-ненерестующим видам. Полученные Т.В. Дехник и Р.М. Павловской эмпирические данные по интенсивности нереста теплолюбивых рыб (Дехник, Павловская, 1979) мы подвергли статистической обработке, что позволило провести интерполяцию и построить график зависимости интенсивности нереста ставриды и изменения ТПМ (рис. 3). Анализ показал, что нерест проходит в летний пе-

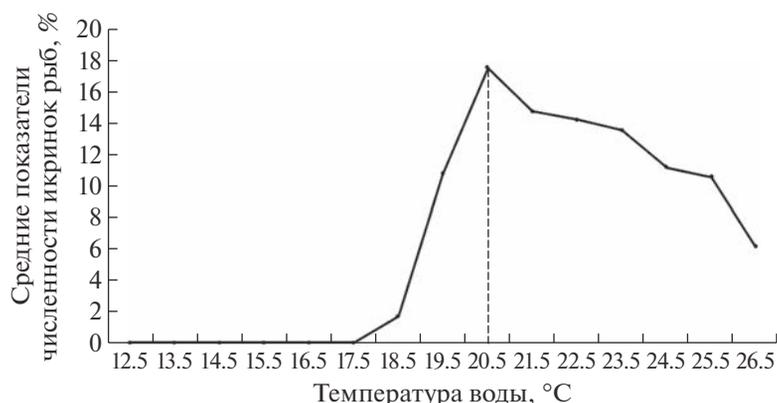
Таблица 1. Основные показатели изменения температуры поверхности моря на юго-западном шельфе Крыма

Период исследования	Среднегодовая температура, $^{\circ}\text{C}$	Min–max температура, $^{\circ}\text{C}$	Повышение температуры, $^{\circ}\text{C}/\text{год}$	Повышение температуры за период, $^{\circ}\text{C}$	Уравнения трендов
2000–2007 гг.	$15.2 \pm 0.208$	14.4–15.9	0.033	0.231	$y = 0.033x + 15.0$
2008–2013 гг.	$15.7 \pm 0.190$	15.0–16.4	0.044	0.308	$y = 0.044x + 15.41$
2014–2020 гг.	$15.9 \pm 0.148$	15.3–16.4	0.114	0.684	$y = 0.114x + 15.44$

Примечание. “ $x$ ” – номер года.



**Рис. 2.** Среднегодовой вылов средиземноморской ставриды *Trachurus mediterraneus* на юго-западном шельфе Крыма с 2000 по 2020 г.



**Рис. 3.** Зависимость относительной численности икротетаний средиземноморской ставриды *Trachurus mediterraneus* от температуры поверхности моря на юго-западном шельфе Крыма.

риод при температуре воды 17.5–26.5°C, с пиком нереста при 20.5°C. Получена достаточно высокая корреляционная связь между изменением ТПМ и интенсивностью нереста (численностью икринок), коэффициент корреляции  $r = 0.7$ . *T. mediterraneus* обладает повышенной экологической чувствительностью, сильно подвержена влиянию климатических факторов. При повышении температуры воды выше 20.5°C интенсивность нереста снижалась, а при ТПМ 26.5°C нерест фактически прекращался (рис. 3).

#### Размерно-весовая структура

Проведены исследования многолетней (2000–2020 гг.) динамики размерно-весовой и возрастной структуры *T. mediterraneus* в весенне-осенний период с учетом климатических изменений. Установлено, что размерное распределение рыб каждой из возрастных групп в каждом из исследуемых

временных периодов подчиняется нормальному закону (тест SW,  $n = 50–100$ ,  $\alpha = 0.05$ ).

В 2000–2020 гг. популяция *T. mediterraneus* была представлена рыбами длиной 8.9–20.5 см, ее основой являлись особи от 13 до 15 см. Средняя длина ставриды в исследуемый период составляла  $13.70 \pm 0.13$  см, средняя масса –  $22.18 \pm 0.308$  г, средний возраст –  $2.14 \pm 0.110$  года.

При изучении многолетней динамики размерно-весовой структуры использовали показатели по длине и массе рыб, усредненные за 2000–2007, 2008–2013 и 2014–2020 гг. (табл. 2). Установлено, что на протяжении последних 20 лет изменение размерно-весовой структуры *T. mediterraneus* последовательно происходило в сторону увеличения доли крупных особей в стаде. Средняя длина рыбы за 2000–2020 гг. достоверно увеличилась в 1.2 раза (с  $12.50 \pm 0.302$  до  $14.70 \pm 0.273$  см) ( $t$ -критерий,  $t = 12.63$ ,  $p > 95\%$ ), а средняя масса – в

**Таблица 2.** Динамика возрастной и размерно-весовой структуры средиземноморской ставриды *Trachurus mediterraneus* на юго-западном шельфе Крыма

Периоды, гг.	Среднегодовая температура, °С	Относительная численность рыб разных возрастов, %						Средний возраст, годы	Средняя длина, см	Средний вес, г
		0+...1	1+...2	2+...3	3+...4	4+...5	5+...6			
2000–2007	15.2 ± 0.208	22.5 ± 0.782	50.8 ± 6.226	21.7 ± 2.462	3.76 ± 0.644	1.2 ± 0.018	–	2.10 ± 0.124	12.5 ± 0.302	17.10 ± 0.230
2008–2013	15.7 ± 0.190	17.0 ± 0.644	51.3 ± 5.734	25.1 ± 2.234	5.30 ± 1.201	1.23 ± 0.017	–	2.16 ± 0.135	13.9 ± 0.291	23.10 ± 0.345
2014–2020	15.9 ± 0.148	12.2 ± 0.933	53.3 ± 4.329	28.4 ± 2.537	6.11 ± 2.241	0.2 ± 0.025	0.1 ± 0.02	2.2 ± 0.142	14.7 ± 0.273	26.4 ± 0.458

**Таблица 3.** Параметры уравнений линейного и весового роста средиземноморской ставриды *Trachurus mediterraneus* на юго-западном шельфе Крыма

Годы	$L_{\infty}$	$k$	$t_0$	$W_{\infty}$	$\phi$	$\phi'$	$a$	$b$	$R^2$
2000–2007	18.80	0.427	–0.223	56.749	2.179	0.800	0.0055	3.15	0.86
2008–2013	19.50	0.440	–0.400	60.751	2.224	0.832	0.0048	3.18	0.88
2014–2020	20.80	0.482	–0.360	66.049	2.319	0.896	0.0040	3.20	0.92

Примечание.  $R^2$  – коэффициент детерминации, остальные обозначения см. раздел “Материал и методика”.

1.5 раза (с  $17.10 \pm 0.230$  до  $26.40 \pm 0.458$  г) ( $t$ -критерий,  $t = 8.9$ ,  $p > 95\%$ ).

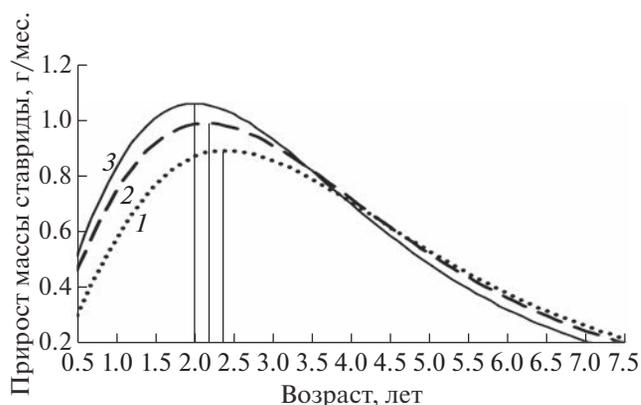
Зависимость массы ( $W$ ) от длины тела ( $TL$ ) ставриды хорошо аппроксимируется следующими уравнениями: 2000–2007 гг. –  $W = 0.0056 TL^{3.15}$ ; 2008–2013 гг. –  $W = 0.0048 TL^{3.18}$ ; 2014–2020 гг. –  $W = 0.0039 TL^{3.20}$  (табл. 3). Асимптотическая масса  $W_{\infty}$  ставриды с возрастанием ТПМ от  $15.2^{\circ}\text{C}$  (2000–2007 гг.) до  $15.9^{\circ}\text{C}$  (2014–2020 гг.) увеличилась в 1.2 раза (табл. 3). Показатели степени  $b$  в этих уравнениях последовательно повышались от 2000–2007 к 2014–2020 гг. Значение показателя степени  $b > 3$  у ставриды свидетельствует о ее аллометрическом росте. Увеличение показателя  $b$  в 2014–2020 гг. ( $b = 3.2$  при ТПМ  $15.9^{\circ}\text{C}$ ) указывает на более высокий темп наращивания массы, что хорошо согласуется с динамикой линейного роста и большей интенсивностью генеративного роста по сравнению с другими периодами, когда ТПМ была ниже. Известно, что показатель степени  $b$  связан с упитанностью (Рикер, 1979; Vagenal, Tesch, 1978), вследствие этого можно констатировать, что от периода с 2000 по 2007 гг. к периоду с 2014 по 2020 гг. упитанность ставриды возрастала.

Установлено, что среднемесячный прирост массы ставриды зависит от возраста и значений ТПМ (рис. 4). В 2000–2007 гг. (ТПМ  $15.2^{\circ}\text{C}$ ) максимальный месячный прирост массы *T. mediterraneus* происходил в возрасте 2.4 года и составлял 0.888 г/мес. В этом возрасте масса особей составляла 16.40 г,  $TL$  – 12.7 см. В последующие периоды с дальнейшим повышением ТПМ в 2014–2020 гг. (ТПМ  $15.9^{\circ}\text{C}$ ) максимальный месячный прирост массы рыб увеличился до 1.058 г/мес. и отмечен в более раннем возрасте – 2.0 года, составив 19.16 г,  $TL$  – 14.1 см. Отсюда следует, что с повышением

ТПМ увеличивались месячный прирост массы тела рыбы и ее длина. В дальнейшем темп линейного роста половозрелых особей замедлялся. К концу жизненного цикла (6 лет) ставрида, обитающая в прибрежных водах юго-западного Крыма, достигала в среднем длины 19.8 см при массе 56.65 г. Прирост в этом возрасте в среднем составлял 0.380 мм/мес., массы – 0.317 г/мес. (2014–2020 гг. при ТПМ  $15.9^{\circ}\text{C}$ ) (рис. 4).

#### Рост

До начала полового созревания у *T. mediterraneus* наблюдался наиболее высокий темп линейного роста. К концу 1-го года созревали первые особи обоих полов (Алеев, 1959; Овен, 1976;



**Рис. 4.** Прирост массы средиземноморской ставриды *Trachurus mediterraneus*, обитающей в прибрежных водах юго-западного Крыма в периоды: 1 – 2000–2007, 2 – 2008–2013, 3 – 2014–2020 гг.

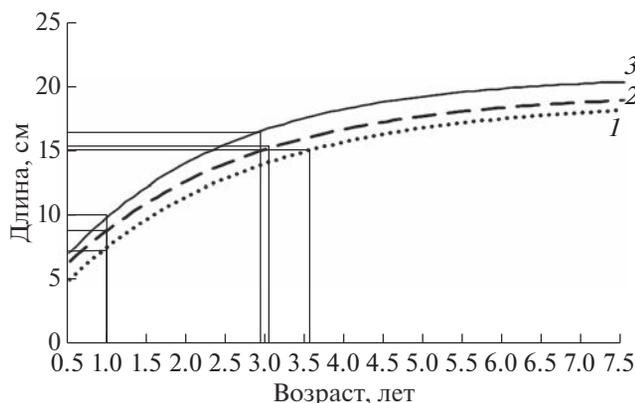


Рис. 5. Рост средиземноморской ставриды *Trachurus mediterraneus*, обитающей в прибрежных водах юго-западного Крыма в периоды: 1 – 2000–2007, 2 – 2008–2013, 3 – 2014–2020 гг.

Зуев, Мельникова, 2003). В 2000–2007 гг. при ТПМ 15.2 средняя длина ставриды в этом возрасте составляла 7.6 см и масса – 3.40 г. В 2008–2013 гг. при ТПМ 15.7°С ее размеры и масса увеличились до 9.0 см и 5.20 г соответственно. В 2013–2020 гг. размерно-весовые параметры рыб составляли  $TL = 10.0$  см,  $W = 6.20$  г. В период от 2000–2007 до 2014–2020 гг. длина годовалых особей увеличилась в 1.3, а масса в 1.8 раза (рис. 5).

Ставрида при более высоких среднегодовых температурных показателях – 15.9°С (2014–2020 гг.) достигла длины 15 см в возрасте 2.3 года при массе 23.30 г, тогда как при температуре воды 15.2°С (2000–2007 гг.) наблюдался ее более медленный рост, и длины  $TL = 15$  см она достигала в более позднем возрасте – 3.5 года при массе 27.80 г (рис. 5).

Изменение температуры среды обитания проявляется в изменчивости параметров уравнения роста. В составленных уравнениях роста Бергаланфи для популяции средиземноморской ставриды, обитающей в прибрежных водах юго-западного Крыма, коэффициент  $k$ , характеризующий скорость линейного и весового роста, оказался самым высоким –  $k = 0.482$  в 2014–2020 гг. (табл. 3). Увеличение коэффициента  $k$  в периоды, характеризующиеся более высокими среднегодовыми ТПМ, показывает положительное влияние температуры на скорость роста *T. mediterraneus*. Это можно объяснить тем, что ставрида является теплолюбивым видом. Значения индексов линейного ( $\phi$ ) и весового ( $\phi'$ ) роста у нее также увеличивались при повышении ТПМ и достигли наибольших значений  $\phi = 2.319$ ,  $\phi' = 0.896$  в 2014–2020 гг., характеризующихся более высокой ТПМ (табл. 1, 3).

Установлена положительная корреляционная связь между предельной длиной  $L_\infty$  и ТПМ ( $r = 0.89$ ,  $p < 0.001$ ). Среднее значение асимптотической

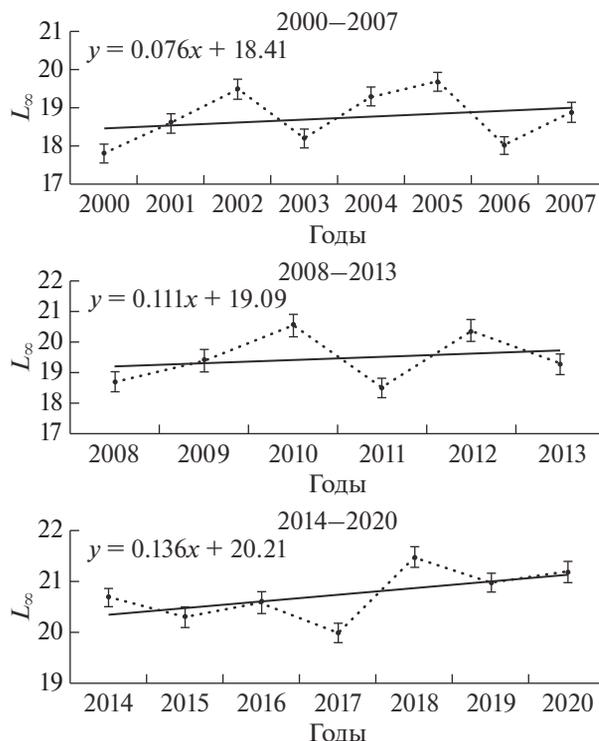


Рис. 6. Изменение асимптотической длины средиземноморской ставриды *Trachurus mediterraneus*, обитающей в прибрежных водах юго-западного Крыма. “•” – расчетные значения  $L_\infty$  соответствующего года.

длины за весь период (2000–2020 гг.) составляло  $19.6 \pm 0.235$  см. Для каждого из рассматриваемых периодов были найдены линии трендов (рис. 6), анализ которых показал, что асимптотическая длина ставриды увеличивалась. Наибольшая скорость роста наблюдалась в 2014–2020 гг. (угол наклона тренда  $k = 0.14$  см/год) по сравнению с предыдущими периодами ( $k = 0.08$  см/год в 2000–2007 и  $k = 0.11$  см/год в 2008–2013 гг.) (рис. 6).

Проанализировав изменения показателей линейного  $L_\infty$ ,  $k$ ,  $\phi$  и весового  $W_\infty$ ,  $\phi'$  роста, установили, что повышение ТПМ положительно сказывается на состоянии популяции ставриды – скорость роста, длина и масса увеличиваются, рыба становится крупнее.

### Возрастная структура

Максимальная продолжительность жизни ставриды у крымского побережья не превышает 6 лет, средняя – 2–2.5 года (Алеев, 1959; Зуев, Мельникова, 2003; Kuzminova et al., 2014). Наряду с изменениями размерно-весового состава *T. mediterraneus*, изменения претерпела и его возрастная структура. В 2000–2020 гг. в составе уловов ставриды у крымского побережья преобладали двухлетки и двухгодовики (1+...2), их доля со-

ставляла более 50%, от 51% (2000–2007 гг.) до 53% (2014–2020 гг.). Второй по численности возрастной группой были трехлетки и трехгодовики (2+...3), их доля в среднем за 2000–2020 гг. составляла 25.1%, варьируя от 21.7% (2000–2007 гг.) до 28.4% (2014–2020 гг.). Третья по численности возрастная группа – сеголетки и годовики (0+...1), их доля в среднем за 2000–2020 гг. была 17.2%, варьируя от 22.5% (2000–2007 гг.) до 12.2% (2014–2020 гг.). Четвертую по численности возрастную группу составляли четырехлетки и четырехгодовики (3+...4), их доля в среднем за 2000–2020 гг. – 5.1%, варьируя от 3.8% (2000–2007 гг.) до 6.1% (2014–2020 гг.). В исследуемый период около 1.0% от общей численности составляли пятилетки и пятигодовики (4+...5), единично и не каждый год встречались особи 5+...6.

Средний возраст ставриды увеличивался от 2.10 (2000–2007 гг.) до 2.20 (2014–2020 гг.) и в целом за весь период исследований составил 2.15 года. Наши исследования показали, что в 2000–2020 гг. возрастная структура *T. mediterraneus* претерпела изменения, которые характеризовались в общей численности сокращением относительной численности сеголеток и годовиков (0+...1) в 1.8 раза ( $t$ -тест  $\alpha < 0.05$ ,  $p > 95\%$ ) и увеличением трехлеток и трехгодовиков (2+...3), а также четырехлеток и четырехгодовиков (3+...4) более чем в 1.3 и 1.6 раза соответственно ( $t$ -тест  $\alpha < 0.05$ ,  $p \geq 90\%$ ). С повышением средней ТПМ изменения возрастной структуры ставриды выразились в последовательном преобладании в уловах доли старших возрастных групп и уменьшении младших (сеголеток). При этом средний возраст ставриды в целом за исследуемый период увеличился в 1.1 раза.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ литературных данных показал, что в юго-восточной части Черного моря (Trabzon и Rize, Турция) в 1991–1992 и 1996–1997 гг. в уловах преобладали особи ставриды длиной до 13 см, составляя в среднем 60% от вылова (Kalauci, 1998). В летний период 2004–2005 гг. в этом же районе доля особей с длиной менее 13 см уменьшилась до 54%, и возросла доля более крупных особей (Şahin et al., 2009). По нашим данным, в 2000–2007 гг. преобладали младшие возрастные группы (сеголетки-двухлетки) и средняя длина особей в уловах была не высокой – 12.5 см, что согласуется с предыдущими исследованиями (Kalauci, 1998; Yankova, Raykov, 2006; Şahin et al., 2009).

Преобладание в уловах рыб младших возрастных групп ранее объясняли переловом (Şahin et al., 2009). В то же время отмечено улучшение условий обитания и состояния ставриды. Средние длина и масса рыб в промысловых уловах составляли от 11.80 см и 14.76 г в 1991–1992 гг. до

13.52 см и 19.10 г в 2004–2005 гг. (Şahin et al., 2009). В водах Болгарии в 2004–2005 гг. по сравнению с 1994–1999 гг. также отмечали увеличение средней длины ставриды в разных возрастных группах (Yankova, Raykov, 2006). С 2007 по 2011 гг. увеличились размеры сеголеток и годовиков (0+...1) (Кузьмина, 2012) и с ростом объемов вылова возросли средняя длина и масса особей *T. mediterraneus*.

Рост рыб тесно связан с температурой окружающей среды, что проявлялось в изменении параметров уравнения роста Бергаланфи. Отмечено увеличение коэффициента  $k$  от 0.287 (1994–1999 гг.), далее 0.307 (2000–2004 гг.), 0.440 (2009 г.) до 0.53–0.61 (2012 г.) объясняя это быстрым ростом ставриды (Yankova, Raykov, 2006; Yankova, 2013). Показано, что асимптотическая длина  $L_\infty = 18.90$  см ( $k = 0.440$ ) увеличивалась до значения  $L_\infty = 19.10$  см с повышением коэффициента  $k$  ( $k = 0.53$ ) (Yankova, 2013). Чем больше коэффициент  $k$ , тем быстрее ставрида достигала предельной длины. В наших исследованиях на юго-западном шельфе Крыма с повышением ТПМ также зарегистрировано увеличение коэффициента  $k$  и асимптотической длины ( $k = 0.427$   $L_\infty = 18.80$  см в 2000–2007 гг.,  $k = 0.482$   $L_\infty = 20.80$  см в 2014–2020 гг.).

Возрастной состав *T. mediterraneus* в юго-восточной части Черного моря с 1991 по 2005 гг. не менялся и был представлен 5 возрастными группами (Şahin et al., 2009). Увеличение возрастных групп до 7 в популяции ставриды отмечали в 2011–2012 гг. (Ordu, Турция) (Aydin, Karadurmuş, 2012). В наших исследованиях (2014–2020 гг.) *T. mediterraneus* представлен 6 группами, что согласуется с авторами других работ (Yankova et al., 2010; Куцын, 2021).

Значения коэффициента  $b$  позволяют сопоставить относительное изменение продольного размера (длины) особи и его поперечных размеров в процессе роста. Сравнительный анализ коэффициента  $b$  уравнения зависимости “масса–длина”, полученных для ставриды, обитающей в различных акваториях, может позволить выявить отклонения в развитии рыб, связанные с региональными климатическими особенностями. По данным статистического анализа установлено, что в материалах 1991–2005 гг. коэффициент  $b$  варьировал (в доверительных пределах 95%):  $b = 2.87–3.025$  (Şahin et al., 2009). В наших исследованиях коэффициент  $b$  находился в пределах 3.15–3.20, что согласуется с рядом работ:  $b = 3.14$  в 2008–2011 гг. (Kasapoğlu, 2018),  $b = 3.17$  в 2011–2012 гг. (Aydin, Karadurmuş, 2012), но от некоторых коэффициентов несколько отличался:  $b = 3.3$  (Yankova et al., 2010) и  $b = 3.4$  (Куцын, 2021). Это можно объяснить тем, что коэффициент соотношения “масса–длина” изменялся в зависимости от времени года, времени вылова и физиологиче-

ского состояния рыбы, места нагула популяций, пола, зрелости гонад.

Таким образом, расчеты показали, что с 2000 по 2020 гг. температура поверхности моря на юго-западном шельфе Крыма повышалась в среднем со скоростью  $0.055^{\circ}\text{C}/\text{год}$ . По характеру изменения ТПМ условно можно выделить 3 периода: 2000–2007 гг. (средняя ТПМ  $15.2^{\circ}\text{C}$ ), 2008–2013 гг. (средняя ТПМ  $15.7^{\circ}\text{C}$ ) и 2014–2020 гг. (средняя ТПМ  $15.9^{\circ}\text{C}$ ). Повышение ТПМ оказало влияние на параметры роста ставриды: возросли индексы линейного ( $\phi$ ) и весового ( $\phi'$ ) роста, увеличились асимптотические длина ( $L_{\infty}$ ) и масса ( $W_{\infty}$ ), возросли константа скорости роста ( $k$ ) и показатель аллометрического роста ( $b$ ), изменился и сам характер роста. Так, если наибольший ежемесячный прирост массы особей в 2000–2007 гг. составлял  $0.888$  г/мес. в возрасте 2.4 года, то в 2014–2020 гг. он возрос до  $1.058$  г/мес. и наблюдался в более раннем возрасте (2.0 года). Установлено, что на фоне повышения ТПМ состояние популяции *T. mediterraneus* улучшилось: увеличились средний возраст рыб, доля более крупных и упитанных особей и средние размеры и масса средиземноморской ставриды на юго-западном шельфе Крыма.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ НОРМ

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках Госзадания Института природно-технических систем “Фундаментальные исследования процессов в климатической системе, определяющих пространственно-временную изменчивость природной среды глобального и регионального масштабов”, № госрегистрации 121122300074-7, а также государственного гранта, выделенного Институту биологии южных морей по проекту “Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем” (№ 075-007-44-21-00, регистрационный номер 121031500515-8).

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность сотрудникам Института биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН с. н. с., к. б. н. Л.П. Салеховой, с. н. с., к. б. н. Н.Ф. Шевченко, с. н. с., к. б. н. И.И. Чесноковой, ведущему инженеру Ю.В. Самотой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алеев Ю.Г. О размножении черноморской ставриды южного стада в северных районах Черного моря // Тр. Севастопольской биол. ст. 1959. Т. 12. С. 271–284.
- Дехник Т.В., Павловская Р.М. Сезонные изменения видового состава, распределения и численности ихтиопланктона // Основы биологической продуктивности Черного моря / Под общ. ред. В.Н. Грезе. Киев: Наукова думка. 1979. Гл. 12. Рыбы и их воспроизводство. С. 268–272.
- Зуев Г.В., Мельникова Е.Б. Эколого-географическая гипотеза происхождения крупной черноморской ставриды (Carangidae, Pisces) // Мор. экол. журн. 2003. Т. 2. № 1. С. 59–73.
- Кожурин Е.А., Шляхов В.А., Губанов Е.П. Динамика уловов промысловых рыб Крыма в Черном море // Тр. ВНИРО. 2018. Т. 171. С. 157–169.
- Кузьминова Н.С. Современное состояние молоди массовых промысловых видов рыб в прибрежной зоне Черного моря // Вісник Запорізького національного університету. 2012. № 3. С. 57–65.
- Куцын Д.Н. Жизненный цикл ставриды *Trachurus mediterraneus* (Carangidae) Крыма (Черное море) // Вопр. ихтиологии. 2021. Т. 61. № 2. С. 143–152.
- Куцын Д.Н., Аблязов Э.Р., Чыонг Ба Хай, Ку Нгуен Динь. Размерно-возрастная структура, рост и созревание пятнистого сома *Arius maculatus* (Thunberg, 1792) (Siluriformes: Ariidae) из эстуария реки Меконг (Вьетнам) // Биол. моря. 2021. Т. 47. № 1. С. 54–62.
- Овен Л.С. Особенности оогенеза и характер нереста морских рыб. Киев: Наукова Думка. 1976. 132 с.
- Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: Пищ. пром-ть. 1966. 391 с.
- Рикер У.Е. Методы оценки и интерпретация биологических показателей популяций рыб. М.: Пищ. пром-ть. 1979. 408 с.
- Салехова Л.П., Гордина А.Д. О современном состоянии крымской популяции черноморской ставриды (*Trachurus mediterraneus ponticus*) у юго-западного побережья Крыма // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. Спеціальний випуск “Гідроекологія”. 2005. № 4 (27). С. 207–208.
- Шляхов В.А., Гришин А.Н. Состояние планктонного сообщества и промысла пелагических рыб в Черном море после вселения гребневиков *Mnemiopsis leidyi* и *Beroe ovata* // Рыбное хозяйство Украины. 2009. № 5 (64). С. 53–61.
- Шляхов В.А., Шляхова О.В., Надолинский В.П., Перевазов О.А. Промыслово-биологические показатели рыболовства для важнейших распределенных запасов водных биоресурсов Черного моря как основа их регионального оценивания // Водные биоресурсы и среда обитания. 2018. Т. 1. № 1. С. 86–103.
- Aydin M., Karadurmuş U. Age, growth, length-weight relationship and reproduction of the Atlantic horse mackerel (*Trachurus trachurus* Linnaeus, 1758) in Ordu (Black Sea) // Ordu Univ. J. Sci. Technol. 2012. V. 2. № 2. P. 68–77.

- Bagenal T.B., Tesch F.W. Age and growth // Methods for assessment of fish production in fresh waters / Eds T.B. Bagenal. Oxford: Blackwell Scientific Publ. 1978. P. 101–136.
- Bellido J.M., Pierce G.J., Romero J.L., Millan M. Use of frequency analysis methods to estimate growth of anchovy (*Engraulis encrasicolus* L. 1758) in the Gulf of Cádiz (SW Spain) // Fish. Res. 2000. V. 48. P. 107–115.
- Claramunt R.M., Wahl D.H. The effects of abiotic and biotic factors in determining larval fish growth rates: a comparison across species and reservoirs // Trans. Am. Fish. Soc. 2000. V. 129. № 3. P. 835–851.
- Erdoğan Z., Torcu Koç H., Ulunehir G., Joksimović A. Some biological properties of different populations of the Atlantic horse mackerel *Trachurus trachurus* (L.) in Turkish Seas // Acta Adriatica. 2016. V. 57. № 1. P. 51–62.
- Froese R. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations // J. Appl. Ichthyol. 2006. V. 22. P. 241–253.
- Kasapoğlu N. Age, growth, and mortality of exploited stocks: anchovy, sprat, Mediterranean horse mackerel, whiting, and red mullet in the southeastern Black Sea // Aquat. Sci. Eng. 2018. V. 33. № 2. P. 39–49.
- Kayalı E. Doğu Karadeniz'deki İstavrit (*Trachurus mediterraneus* Steindachner, 1868) ve Hamsi (*Engraulis encrasicolus* Linnaeus, 1758) Balıklarının Bazı Populasyon Parametreleri ve Beslenme Ekolojileri. Yüksek Lisans Tezi. KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. Bal. Tekn. Müh. Anabilim Dalı. Trabzon. 1998. 238 p.
- Kuzminova N., Dorokhova I., Rudneva I. Age-dependent changes of Mediterranean *Trachurus mediterraneus* male and female from coastal waters of Sevastopol (Black Sea, Ukraine) // Turk. J. Fish. Aquat. Sci. 2014. V. 14. P. 183–192.
- Mikhailov K., Prodanov K. Approximate assessment of the natural mortality rate of the anchovy in the Bulgarian Black Sea coast // Proceedings of Institute of Fish Resources. Varna. 1983. V. 20. P. 173–182.
- Şahin C., Kasapoğlu N., Gözler A.M. et al. Age, growth, and gonadosomatic index (GSI) of Mediterranean horse mackerel (*Trachurus mediterraneus* Steindachner, 1868) in the eastern Black Sea // Turk. J. Zool. 2009. V. 33. P. 157–167.
- Sinovčić G. The length-weight relationship of anchovy, *Engraulis engrasicolus* (L.), in the eastern Adriatic Sea // Acta Adriat. 2003. V. 44. P. 183–191.
- Von Bertalanffy L. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II) // Hum. Biol. 1938. V. 10. P. 181–213.
- Yankova M. A study on the growth of horse mackerel (*Trachurus mediterraneus* Aleev, 1956) from Bulgarian waters of the Black Sea using length frequency analysis // J. Black Sea/Mediterr. Environ. 2013. V. 19. № 1. P. 111–120.
- Yankova M., Raykov V. Approximate assessment of the horse mackerel natural mortality rate, *Trachurus mediterraneus ponticus* Aleev, in the Bulgarian Black Sea territorial waters // Cercetări marine INCDM. 2006. V. 36. P. 341–348.
- Yankova M.H., Raykov V.S., Gerdzhikov D.B., Frateva P.B. Growth and length-weight relationships of the horse mackerel, *Trachurus mediterraneus ponticus* (Aleev, 1956), off the Bulgarian Black Sea coast // Turk. J. Zool. 2010. V. 34. P. 85–92.

## Recent Variations in the Size and Age Structure of the Population of Horse Mackerel *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868) on the South-Western Shelf of Crimea

E. B. Melnikova<sup>a</sup>, N. S. Kuzminova<sup>b</sup>, and A. V. Melnikov<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Institute of Natural and Technical Systems, Sevastopol, 299011 Russia

<sup>b</sup>A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, RAS, Sevastopol, 299011 Russia

<sup>c</sup>Sevastopol State University, Sevastopol, 299053 Russia

The influence of the average annual sea surface temperature (SST) on the development of horse mackerel *Trachurus mediterraneus* on the south-western Crimean shelf has been shown. The changes in the main indicators of the population and their relationship with the change in the average annual SST (0.055°C/year) in 2000–2020 have been identified. Against the background of the observed increase in SST in recent years, the state of the horse mackerel population has improved: there has been an increase in the average age and, accordingly, the proportion of larger, well-fed individuals, and, in general, the average size and weight of fish. It has been shown that according to the nature of the change in the average annual SST, three periods can be distinguished: 2000–2007, 2008–2013 and 2014–2020.

**Keywords:** Black Sea, temperature, horse mackerel *Trachurus mediterraneus*, growth equations, age