

УДК 597.556.331.1: 636.05 (262.5)

## МОРФОМЕТРИЯ ОТОЛИТОВ И ИХ СВЯЗЬ С ДЛИНОЙ И ВОЗРАСТОМ ЧЕРНОМОРСКОЙ СТАВРИДЫ У ПОБЕРЕЖЬЯ КРЫМА \*

Чесалин М.В., Кузьмина Н.С.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»,  
г. Севастополь, Российская Федерация,  
e-mail: [chesalin.mikhail@yandex.ru](mailto:chesalin.mikhail@yandex.ru), [kunast@rambler.ru](mailto:kunast@rambler.ru)

Проведены измерения размеров отолигов у 534 особей черноморской ставриды, отловленной у побережья Крыма с августа 2017 г. по май 2018 г. Длина рыб варьировала от 73 до 245 мм (средняя  $138,3 \pm 0,7$  мм), возраст – от сеголеток до семилеток. Длина, ширина, периметр и площадь отолигов составляли в среднем  $4,89 \pm 0,04$  мм,  $2,68 \pm 0,02$  мм,  $12,85 \pm 0,09$  мм и  $9,12 \pm 0,11$  мм<sup>2</sup>, соответственно. Исследована изменчивость размеров отолигов у разных возрастных групп. Определены параметры зависимостей между длиной и шириной отолига с длиной, массой и возрастом рыбы. Для каждого отолига рассчитаны шесть индексов формы (отношение длины к ширине, циркулярность, прямоугольность, округлость, фактор формы и эллиптичность) и исследована их изменчивость с возрастом рыбы. Показано, что величины индексов отолигов зависят от длины и возраста рыбы, поэтому их использование для дифференциации локальных группировок черноморской ставриды можно проводить только с учетом этой зависимости.

**Ключевые слова:** черноморская ставрида, отолигометрия, возраст, Черное море.

### Введение

Средиземноморская ставрида *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868) является одной из наиболее массовых пелагических рыб Черного моря и важным объектом промышленного и любительского рыболовства. В российских водах она зимует с ноября по март у побережий Кавказа и Крыма, где облавливается конусными сетями с применением светолова, а также добывается в качестве прилова разноглубинными травами (Шляхов и др., 2018). Ставрида занимает третье место по объему вылова в регионе после хамсы и шпрота. В 2016–2017 гг. российский вылов ставриды составлял около 2 тыс. тонн (Кожурин и др., 2018; Шляхов и др., 2018). Кроме того, ставрида постоянно вылавливается местными рыбаками в бухтах и защищённых участках моря с помощью ставных сетей и донных ловушек.

Таксономический статус и внутривидовая структура средиземноморской ставриды в Черном море до сих пор вызывают дискуссии исследователей. Ю.Г. Алеев (1956) описал черноморскую ставриду как самостоятельный подвид *T. mediterraneus ponticus* Aleev, 1956, который он отличил по ряду морфометрических признаков от средиземноморского подвида *T. mediterraneus mediterraneus* Steindachner, 1868. Однако И.С. Доброволов с соавторами (Доброволов, Доброволова, 1983; Dobrovolo, 2000) не обнаружили различий между этими подвидами по электрофоретическим спектрам белков. Недавние генетические исследования также не выявили различий между средиземноморской и черноморской ставридой (Слынько и др., 2018). Кроме того, известно две формы черноморской ставриды: “мелкая” и “крупная” (Алеев, 1957; Георгиев, Коларов, 1962; Стоянов, 1963). Ю.Г. Алеев (1957) выделял четыре локальные стада в Черном море: юго-западное (босфорское), северное (крымское), восточное (кавказское) и южное (анатолийское). Согласно Prodanov *et al.* (1997) черноморская

---

\* Исследование выполнено в рамках тем НИР «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом», регистрационный номер АААА-А18-118021490093-4 и «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем», регистрационный номер ААА-А18-118020890090-2

ставрида представляет собой единую популяцию, так как условия ее обитания почти одинаковы по всему Черному морю. Недавние исследования показали, что в некоторых районах у побережья Крыма существуют обособленные стада черноморской ставриды, которые отличаются по ряду морфологических и популяционных показателей практически не смешиваются между собой (Юрахно, Кузьминова, 2012; Кузьминова, 2013; Кузьминова и др., 2016, 2018; Мельникова, Кузьминова, 2018, 2019).

В последнее время для дифференциации популяций рыб и локальных группировок стали широко использоваться “слуховые камешки” – отолиты (Афанасьев и др., 2017; Орлов, Афанасьев, 2018; Павлов, Широкова, 2020; Campana, Casselman, 1993; Mendoza, 2006; Stransky *et al.*, 2008). Отолиты рыб видоспецифичны, поэтому существует множество их атласов-определителей и коллекций, которые применяют при идентификации остатков рыб из желудков хищников и в археологических раскопках (Fitch, Brownell, 1968; Campana, 2004; Tuset *et al.*, 2008). Кроме того, размеры отолитов напрямую зависят от размеров рыбы (Boehlert, 1985; Francis, Campana, 2004). Отолиты большинства рыб линейно растут в длину и ширину с увеличением длины тела, а также линейно растут по толщине и весу с увеличением возраста рыбы (Donkers, 2004), поэтому эти соотношения могут быть описаны простыми линейными регрессиями (Harvey *et al.*, 2000). Различия в размерах и форме отолитов связаны с различиями в темпах роста при разных условиях среды и могут использоваться с целью дифференциации запасов рыб (Messieh, 1972; Janusz, 1990).

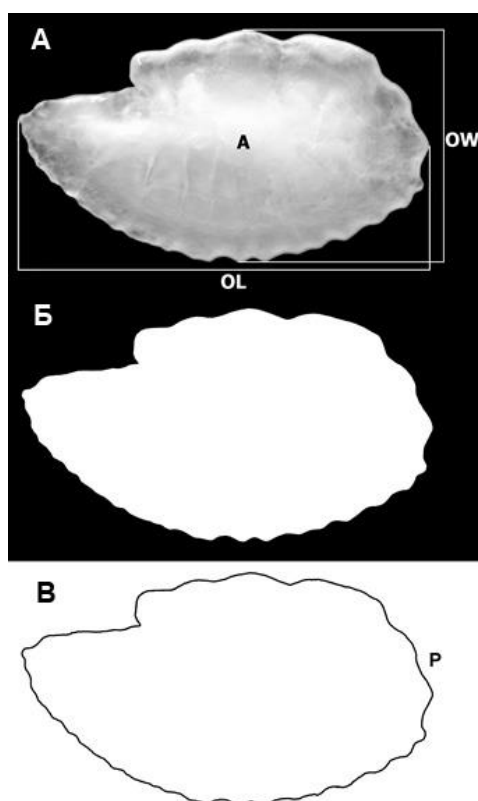
В настоящее время для характеристики формы отолитов рыб используют три основных метода: 1) морфометрии (длина, ширина, периметр и площадь) и расчета по ним безразмерных индексов формы отолита; 2) определение координат опорных точек и оценку расстояний между ними по заготовленным схемам; 3) описание замкнутых контуров отолитов по коэффициентам эллиптического анализа Фурье и дискретных вейвлет коэффициентам. В отношении средиземноморской ставриды метод опорных точек был применен С. Turan (2006) для дискриминации популяций в Черном, Мраморном, Эгейском морях и в северо-восточной части Средиземного моря. Эллиптический анализ контуров отолитов Фурье использовал Р. Abaunza с соавторами (Abaunza *et al.*, 2008) для идентификации запасов средиземноморской ставриды в северо-восточной Атлантике и Средиземном море. Морфометрические исследования отолитов черноморской ставриды и определения соотношений их размеров с длиной, массой и возрастом рыбы были проведены в турецких водах (Kasapoğlu, 2006; Atilgan *et al.*, 2012; Kasapoğlu, Duzgunes, 2013; Atilgan, Başçınar, 2015). При этом расчеты индексов формы отолитов представлены только в работе (Atilgan, Başçınar, 2015), хотя они довольно широко используются для выделения внутривидовых группировок у других видов рыб (Павлов, 2016, 2018; Tuset *et al.*, 2003; Ponton, 2006; Zorica *et al.*, 2010; Zengin *et al.*, 2015).

Целью исследований было определить зависимости между линейными размерами отолита с размерами и возрастом черноморской ставриды, а также выявить изменчивость индексов отолита по мере увеличения возраста рыб, чтобы установить как можно их использовать при выделении локальных группировок.

### Материалы и методы

Материал по черноморской ставриде был собран с августа 2017 г. по май 2018 г. из уловов донных ловушек в Севастопольских бухтах (Александровская, Балаклавская, Матюшенко, Омега, Стрелецкая), а также из разноглубинного трала промыслового судна в прилове к шпроту в прибрежной зоне Севастополя у мыса Лукулл в мае 2018 г. Всего был выполнен биологический анализ 534 экз. ставриды в лаборатории ИнБИОМ, в том числе 503 рыб из ловушек и 31 экз. из трала. Каждую рыбу взвешивали с точностью до 0,01 г и измеряли общую длину тела (*TL*) с точностью до 1 мм. Сагиттальные отолиты

извлекали из головы рыбы, тщательно очищали и помещали в каплю глицерина для определения возраста под бинокляром МБС-10. Затем отолиты высушивали и клали в пластиковые микропробирки-эппендорфы (0,5 мл) с соответствующей нумерацией. Сухие отолиты выкладывали по одному на черную матовую основу, размещая их центральной бороздой вниз, просматривали под бинокляром в отраженном свете при увеличении 8x1 и получали их изображения с помощью камеры DCM500 с разрешением 5 мегапиксель, подключенной к бинокляру и компьютеру, используя программу анализа изображений “ScopePhoto” (рис. 1). В связи с тем, что у средиземноморской ставриды может существовать флуктуирующая асимметрия отолитов (Yedier *et al.*, 2018), для анализа использовали только целые левые отолиты ставриды. Разрешение фотографий составляло 2592x1944 пикселей на дюйм.



**Рис. 1.** А – оригинальное изображение левого отолита ставриды, В – модифицированное бинарное изображение, С – контур отолита. Морфометрия: *OL* – длина, *OW* – ширина, *A* – площадь, *P* – периметр.

Измерения отолитов проводили с помощью программы анализа изображений ImageJ (Abramoff *et al.*, 2004), имеющейся в свободном доступе на сайте <https://imagej.net>. Изображения каждого отолита калибровали по изображению масштабной линейки. Оригинальные изображения отолитов преобразовывали в формат BMP (8-bit), подбирали требуемый порог оконтуривания и затем определяли их размеры: максимальную длину по Ферету (*OL*, мм), максимальную ширину по Ферету (*OW*, мм), периметр (*P*, мм) и площадь (*A*, мм<sup>2</sup>). Далее линейные измерения каждого отолита были использованы для вычисления шести безразмерных индексов (дескрипторов), характеризующих его форму: отношение длины к ширине (aspect ratio), циркулярность (circularity), прямоугольность (rectangularity), округлость (roundness), форм-фактор (form-factor) и эллиптичность (ellipticity) (табл. 1).

Статистический анализ данных проводили с помощью программы STATISTICA ver. 10 (StatSoft, 2011).

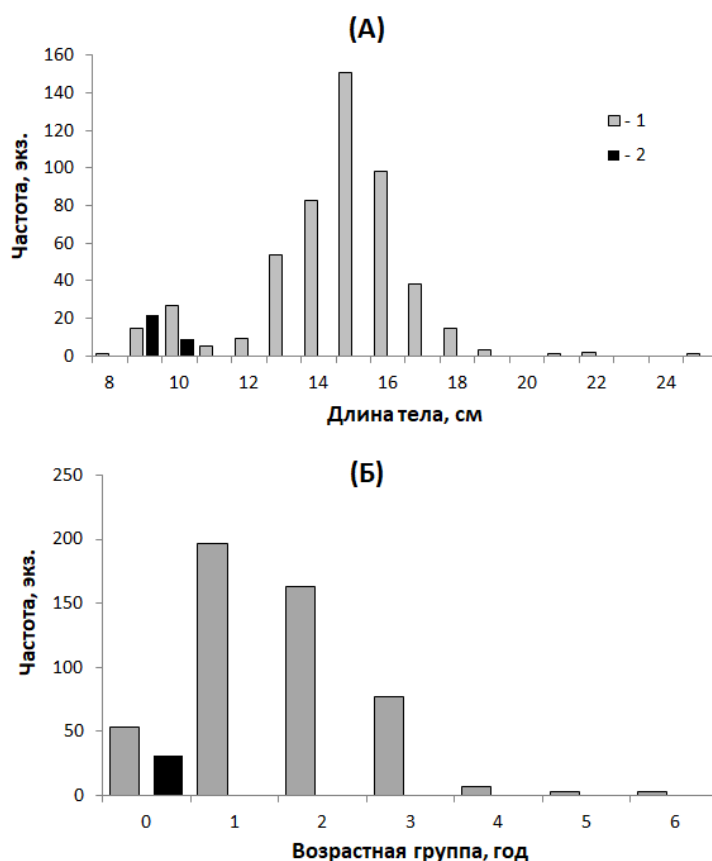
Таблица 1.

**Морфометрические измерения отоликов и формулы расчета индексов их формы**

Параметр отоликов	Индекс формы отоликов	Формула расчета
Длина ( <i>OL</i> )	Отношение длины к ширине	$Ar = OL / OW$
Ширина ( <i>OW</i> )	Циркулярность	$Cr = P^2 / A$
Периметр ( <i>P</i> )	Прямоугольность	$Rc = A / (OL \times OW)$
Площадь ( <i>A</i> )	Округлость	$Rd = 4A / \pi OL^2$
	Фактор формы	$Ff = 4\pi A / P^2$
	Эллиптичность	$El = (OL - OW) / (OL + OW)$

**Результаты исследований**

Общая длина тела исследованных особей черноморской ставриды варьировала от 73 до 245 мм (в среднем  $138,3 \pm 0,7$  мм), масса 2,40–107,19 г (в среднем  $21,58 \pm 0,31$  г). Распределение количества рыб по размерным и возрастным группам в исследованном материале показано на рис. 2. Наиболее массовую размерную группу в уловах донных ловушек составляли рыбы в размерном классе 140–150 мм, при этом в Балаклавской бухте ставриды были немного крупнее, здесь доминировали особи длиной 150–160 мм. В траловом улове в районе м. Лукулл были пойманы только годовики ставриды длиной от 73 до 99 мм.



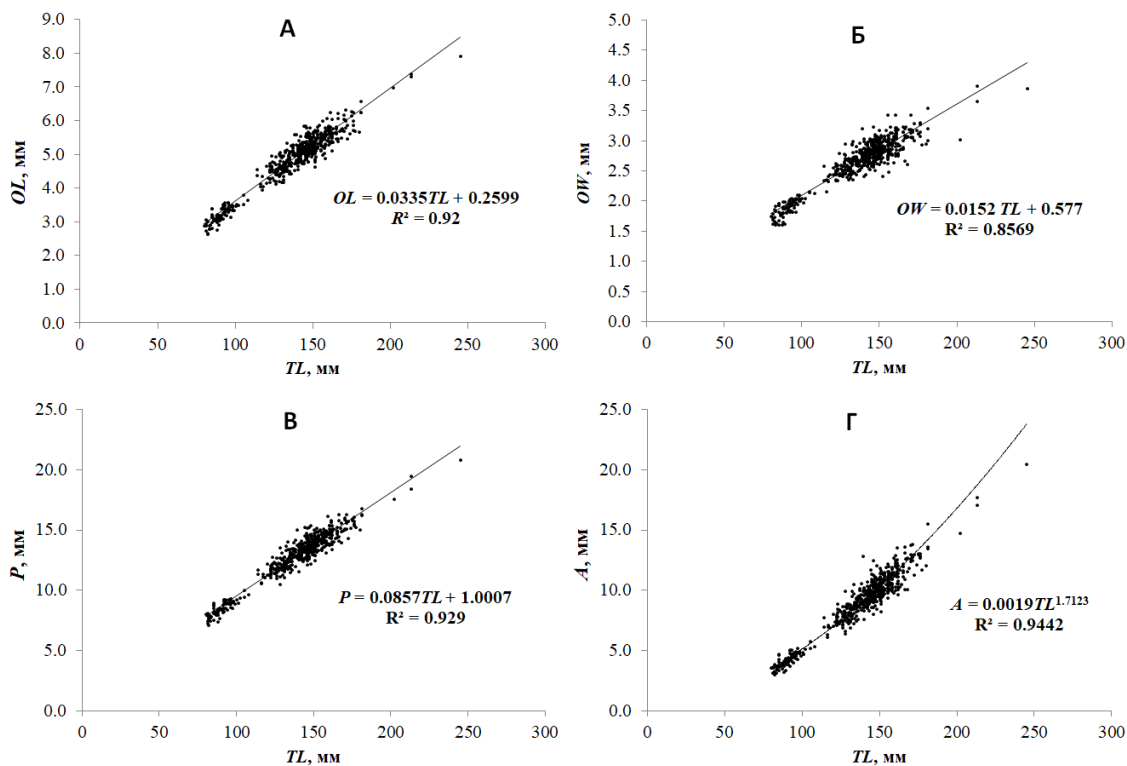
**Рис. 2.** Количество исследованного материала по размерным (А) и возрастным (Б) группам. 1 – донные ловушки, 3 – разноглубинный трал.

Возраст ставриды в уловах варьировал от 0+ до 6+ лет. Все рыбы для анализа были сгруппированы в семь возрастных групп от нулевой, включающей сеголеток и годовиков, до шестой возрастной группы, в которую вошли самые старшие семилетние особи. В целом, в исследованных выборках наиболее часто встречались особи первой возрастной группы (36,9%), представленной двухлетками (1+) и двухгодовиками (2) (рис. 2Б). На втором месте находилась возрастная группа 2 (30,5%), состоящая из

трехлеток (2+) и трехгодовиков (3). Третью позицию занимали сеголетки (0+) и годовики (1) (15,7%) нулевой возрастной группы. Доля старших возрастных групп (> 4 лет) не превышала 2,5%.

Длина отолитов ставриды изменялась от 2,63 до 7,92 мм (в среднем  $4,89 \pm 0,04$  мм), ширина – 1,60–3,91 мм (в среднем  $2,68 \pm 0,02$  мм), периметр – 7,12–20,81 мм ( $12,85 \pm 0,09$  мм) и площадь – 3,07–20,47 мм<sup>2</sup> ( $9,12 \pm 0,11$  мм<sup>2</sup>). Относительная длина отолита к длине тела рыбы в среднем составляла 3,53%, однако у самых крупных ставрид длиной более 20 см она уменьшалась до 3,40%.

Рост рыбы и рост чешуи (а также костей и отолитов) закономерно связаны между собой и продолжаются всю жизнь (Чугунова, 1959). В результате проведенных исследований выявлено, что зависимости между длиной ставриды ( $TL$ ) с длиной ( $OL$ ), шириной ( $OW$ ) и периметром ( $P$ ) ее отолита хорошо описываются линейным регрессионным уравнением, а для площади отолита ( $A$ ) более подходит степенное уравнение (рис. 3). Коэффициенты детерминации ( $R^2$ ) были высокими во всех случаях, варьируя от 0,86 до 0,94.



**Рис. 3.** Зависимости между длиной черноморской ставриды ( $TL$ ) и морфометрическими параметрами ее отолитов: А – длиной ( $OL$ ), Б – шириной ( $OW$ ), В – периметром ( $P$ ) и Г – площадью ( $A$ ).

В табл. 2 представлены размерные характеристики отолитов для разных возрастных групп черноморской ставриды. Для приблизительной оценки длины, массы и возраста черноморской ставриды по длине и ширине отолита были рассчитаны параметры регрессионных уравнений и коэффициенты корреляции, которые приведены в табл. 3. Между линейными размерами отолитов, длиной и массой рыбы наблюдалась сильная корреляционная связь ( $r = 0,93–0,96$ ). Все коэффициенты корреляции были значимы.

Зависимость же между длиной отолита и возрастом рыбы нелинейная, поэтому следуя (Kasaroglu, Duzgunes, 2013) она была определена отдельно для ставрид возрастом до 3 лет и более старших рыб. В обоих случаях коэффициенты корреляции между возрастом рыбы и длиной отолита были довольно высокими (0,77–0,84).

Таблица 2.

**Средние размеры черноморской ставриды ( $\pm$ SE) и средние величины морфометрических параметров ее отоликов у разных возрастных групп**

Возрастная группа	<i>n</i>	<i>TL</i> , см	<i>W</i> , г	<i>OL</i> , мм	<i>OW</i> , мм	<i>P</i> , мм	<i>A</i> , мм <sup>2</sup>
0	84	97,3 $\pm$ 2,5	6,92 $\pm$ 0,69	3,45 $\pm$ 0,06	1,93 $\pm$ 0,02	9,20 $\pm$ 0,15	4,92 $\pm$ 0,16
1	197	132,7 $\pm$ 0,6	18,01 $\pm$ 0,27	4,74 $\pm$ 0,02	2,63 $\pm$ 0,01	12,46 $\pm$ 0,06	8,50 $\pm$ 0,07
2	163	149,0 $\pm$ 0,5	24,68 $\pm$ 0,21	5,28 $\pm$ 0,02	2,87 $\pm$ 0,01	13,82 $\pm$ 0,05	10,25 $\pm$ 0,05
3	84	161,3 $\pm$ 1,0	31,47 $\pm$ 0,61	5,68 $\pm$ 0,03	3,01 $\pm$ 0,01	14,87 $\pm$ 0,08	11,58 $\pm$ 0,13
4	12	176,7 $\pm$ 3,2	40,46 $\pm$ 2,71	6,18 $\pm$ 0,12	3,17 $\pm$ 0,06	16,06 $\pm$ 0,27	13,46 $\pm$ 0,37
5	4	202,3 $\pm$ 3,3	71,08 $\pm$ 2,71	7,08 $\pm$ 0,19	3,53 $\pm$ 0,19	18,08 $\pm$ 0,58	16,29 $\pm$ 0,69
6	3	223,7 $\pm$ 5,7	95,47 $\pm$ 7,08	7,55 $\pm$ 0,19	3,81 $\pm$ 0,08	19,59 $\pm$ 0,69	18,44 $\pm$ 1,03

Таблица 3.

**Зависимости между длиной, массой и возрастом черноморской ставриды с длиной и шириной ее отоликов**

Зависимость	<i>a</i> $\pm$ SE	<i>b</i> $\pm$ SE	<i>r</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
<i>TL</i> – <i>OL</i>	3,916 $\pm$ 1,7436	27,474 $\pm$ 0,351	0,96	4,33	0,0000
<i>OL</i> – <i>TL</i>	0,260 $\pm$ 0,060	0,033 $\pm$ 0,001	0,96	2,24	0,025
<i>W</i> – <i>OL</i>	0,121 $\pm$ 0,034	3,199 $\pm$ 0,202	0,96	–35,6	0,0000
<i>TL</i> – <i>OW</i>	–12,76 $\pm$ 2,705	56,41 $\pm$ 0,996	0,93	–4,72	0,0000
<i>OL</i> – <i>OW</i>	–0,445 $\pm$ 0,087	1,993 $\pm$ 0,032	0,94	–5,09	0,001
<i>OL</i> – <i>AG</i>	3,316 $\pm$ 0,051	0,683 $\pm$ 0,020	0,74	64,57	0,0000
<i>OL</i> – <i>AG</i> (0–3 года)	2,783 $\pm$ 0,075	0,983 $\pm$ 0,042	0,84	43,92	0,0000
<i>OL</i> – <i>AG</i> (3–6 года)	3,653 $\pm$ 0,185	0,523 $\pm$ 0,046	0,77	19,61	0,0000

Примечание: *TL* – общая длина рыбы, мм; *W* – масса рыбы, г; *AG* – возраст, лет; *OL* – длина отолика, мм; *OW* – ширина отолика, мм. SE – стандартная ошибка, *t* – ошибка коэффициента корреляции.

Для определения возможности использования индексов формы отолика с целью выделения локальных группировок черноморской ставриды была прослежена их изменчивость у разных возрастных групп (табл. 4).

Таблица 4.

**Изменение средних величин индексов отоликов черноморской ставриды по мере увеличения возраста**

Возрастная группа	Индекс формы отолика					
	<i>Ar</i>	<i>Cr</i>	<i>Rc</i>	<i>Rd</i>	<i>Ff</i>	<i>El</i>
0	1,71 $\pm$ 0,01	17,37 $\pm$ 0,06	0,70 $\pm$ 0,01	0,52 $\pm$ 0,01	0,72 $\pm$ 0,01	0,26 $\pm$ 0,01
1	1,80 $\pm$ 0,01	18,32 $\pm$ 0,06	0,68 $\pm$ 0,01	0,48 $\pm$ 0,01	0,68 $\pm$ 0,01	0,29 $\pm$ 0,01
2	1,84 $\pm$ 0,01	18,66 $\pm$ 0,06	0,68 $\pm$ 0,01	0,47 $\pm$ 0,01	0,67 $\pm$ 0,01	0,29 $\pm$ 0,01
3	1,89 $\pm$ 0,01	19,10 $\pm$ 0,08	0,68 $\pm$ 0,01	0,46 $\pm$ 0,01	0,66 $\pm$ 0,01	0,31 $\pm$ 0,01
4	1,95 $\pm$ 0,04	19,20 $\pm$ 0,25	0,69 $\pm$ 0,01	0,45 $\pm$ 0,01	0,65 $\pm$ 0,01	0,32 $\pm$ 0,01
5	2,04 $\pm$ 0,10	20,09 $\pm$ 0,54	0,67 $\pm$ 0,01	0,42 $\pm$ 0,01	0,63 $\pm$ 0,02	0,34 $\pm$ 0,02
6	2,06 $\pm$ 0,08	20,83 $\pm$ 0,48	0,65 $\pm$ 0,02	0,40 $\pm$ 0,01	0,60 $\pm$ 0,02	0,35 $\pm$ 0,02
Среднее	1,83 $\pm$ 0,01	18,46 $\pm$ 0,04	0,68 $\pm$ 0,00	0,48 $\pm$ 0,00	0,68 $\pm$ 0,00	0,29 $\pm$ 0,00
CV	6,0	5,1	3,8	7,4	5,0	10,1

Как оказалось, все эти индексы формы отолика зависят от возраста рыбы и изменяются по мере роста ставриды. При этом для одних индексов наблюдалась положительная аллометрическая изменчивость (отношение длины к ширине, циркулярность, эллиптичность), тогда как другие индексы (прямоугольность, округлость, фактора формы) имели отрицательную аллометрию и уменьшались с увеличением возраста рыбы. В целом, средние величины индексов формы отоликов в одновозрастных группах изменялись в небольших пределах. Максимальный коэффициент вариации (CV) был отмечен для показателя эллиптичности (10,1%), тогда

как изменчивость других индексов составляла не более 7,4%. Наибольшие изменения от нулевой возрастной группы к максимальному возрасту наблюдались в показателе эллиптичности (около 35%), а наименьшие – прямоугольности (7%). Другие индексы изменялись по мере роста рыб в пределах 20%.

### Обсуждение и выводы

Зависимости между размерами рыб и размерами их отолитов хорошо известны и установлены для многих видов. Ранее параметры регрессионных уравнений таких зависимостей для черноморской ставриды были определены в турецких водах (Kasapoğlu, 2006; Bostancı, 2009; Atilgan *et al.*, 2012; Kasapoğlu, Duzgunes, 2013) (табл. 5). Сравнение наших материалов с турецкими данными (Şahin *et al.*, 2009; Kasapoğlu, Duzgunes, 2013) показывает, что длина и масса тела рыб в соответствующих возрастных группах черноморской ставриды из российских и турецких вод довольно близки. Соотношение между длиной и массой тела ставриды из этих районов были также близкими. Однако существенные различия были обнаружены в размерах и форме отолитов ставриды.

Таблица 5.

#### Параметры уравнений зависимости между размерами отолитов и размерами черноморской ставриды в разных исследованиях

Автор	Параметр	Зависимость			
		$W - TL$	$OL - TL$	$OW - TL$	$OL - OW$
Kasapoğlu (2006)	$a$	0,0089	2,1513	–	0,923
	$b$	2,955	2,6263	–	0,367
	$R^2$	–	0,64	–	0,65
Bostancı (2009)	$a$	0,0115	2,0186	0,1801	0,4514
	$b$	2,936	2,2080	4,7834	0,4496
	$R^2$	–	0,83	0,82	0,92
Atilgan <i>et al.</i> (2012)	$a$	0,0093	1,8744	1,2367	0,3902
	$b$	2,9565	2,4729	4,7025	0,4678
	$R^2$	0,97	0,73	0,67	0,86
Kasapoğlu, Duzgunes (2013)	$a$	0,0062	1,0832*	0,0997*	0,9076
	$b$	3,1054	0,2397*	0,1113*	0,3714
	$R^2$	–	0,90	0,80	0,83
Наши данные	$a$	0,0049	0,384	-1,276	0,5244
	$b$	3,1569	2,7466	5,6412	0,4402
	$R^2$	0,95	0,92	0,86	0,87

Примечание: Обозначения как в табл. 3. \* авторами даны значения обратных соотношений  $TL - OL$  и  $TL - OW$ .

Согласно нашим данным, размеры отолитов черноморской ставриды у российского побережья Черного моря оказались крупнее, чем у побережья Турции. Так, по данным Е. Atilgan с соавторами (Atilgan *et al.*, 2012) у рыб со средней длиной 127 мм и массой 18,05 г средняя длина отолитов была 4,38 мм, по данным (Kasapoğlu, Duzgunes, 2013) у более крупных рыб со средней длиной 135 мм и массой 20,72 г отолиты были мельче и их средняя длина равнялась 4,31 мм, а по нашим данным у рыб со средней длиной 138 мм и массой 21,42 г средняя длина отолитов составила 4,86 мм. Таким образом, по нашим данным отношение длины отолита к длине тела рыбы в среднем составило 3,52%, а по турецким данным – 3,45% (Atilgan *et al.*, 2012) и 3,19% (Kasapoğlu, Duzgunes, 2013). Согласно (Tuset *et al.*, 2008) относительная длина отолитов средиземноморской ставриды в Средиземном море еще меньше – 2,7–3,0%. Далее, по нашим данным отношение длины отолита к его ширине составило в среднем 1,81, по данным (Atilgan, Başçınar, 2015) – 1,78, а согласно (Kasapoğlu, Duzgunes, 2013) отолиты

ставриды более округлые и это отношение равно 1,72. Для объяснения данных различий в размерах и форме отолитов нужны дополнительные исследования. Возможно, что они связаны с различиями в солености воды.

Рассчитанные нами параметры линейного регрессионного уравнения зависимости между длиной отолита и длиной ставриды ( $OL-TL$ ) оказались очень близкими с данными Atilgan *et al.* (2012), при этом разница оцениваемых значений не превышала 3%. Сходные результаты также получились при расчетах по параметрам, представленным D. Bostanci (2009). Однако размеры отолитов, оцененные по результатам исследований N. Kasapoglu (Kasapoglu, 2006; Kasapoglu, Duzgunes, 2013), оказались существенно меньше.

Величина коэффициента корреляция между длиной отолита и длиной тела черноморской ставриды была наиболее высокой в наших исследованиях, т.е. по нашим результатам можно более точно оценивать длину и массу рыб по размерам отолита. Зависимость между возрастом ставриды и длиной отолита значительно слабее, поэтому определять возраст рыбы по размерам ее отолита не рекомендуется. Хотя в наших исследованиях коэффициент корреляции для молоди ставриды был довольно высокий (0,84), а согласно (Kasapoglu, Duzgunes, 2013) он равнялся 0,69.

Индексы формы отолитов у черноморской ставриды существенно зависят от длины и возраста рыбы. Вероятно, это связано с тем, что отолиты ставриды становятся более вытянутыми по мере увеличения длины рыбы. Таким образом, использовать данные индексы формы отолитов для выделения локальных группировок черноморской ставриды надо с большой осторожностью, учитывая эту зависимость, поэтому рекомендуется сравнивать между собой одноразмерных рыб. Другим подходом, может стать пересчет этих индексов через длину условной “средней” рыбы, которая получается путем осреднения длин рыб из всех выборок, используя формулу Н.Г. Эллиотта с соавторами (Elliott *at al.*, 1995), что позволяет нивелировать зависимость индексов от длины рыбы.

### Список литературы

1. Алеев Ю.Г. О систематическом положении ставриды Черного моря // Вопр. ихтиологии. – 1956. – Вып. 7. – С. 174–184.
2. Алеев Ю.Г. Ставриды (*Trachurus*) морей СССР // Тр. Севастоп. биол. станции. – 1957. – Том 9. – С. 167–242.
3. Афанасьев П.К., Орлов А.М., Рольский А.Ю. Сравнительный анализ формы отолитов как инструмент видовой идентификации и изучения популяционной организации различных видов рыб // Зоол. журн. – 2017. – Том 96, № 2. – С. 192–200.
4. Доброволов И.С., Доброволова С.Г. Биохимичен полиморфизъм при сафрида от Черно и Средиземно море // Изв. на инст. по риб. ресурси. Варна. – 1983. – Том 20. – С. 101–107.
5. Георгиев З.М., Коларов П. За миграцията и разпространението на сафрид (*Trachurus ponticus* Aleev) в западната част на Черно море // Arbeiten des Zentralen Forschungsinstitutes fur Fishzucht und Fisheries. – 1962. – Vol. 2. – С. 148–172 р.
6. Кожурин Е.А., Шляхов В.А., Губанов Е.П. Динамика уловов промысловых рыб Крыма в Чёрном море // Тр. ВНИРО. – 2018. – Том 171. – С. 157–169.
7. Кузьминова Н.С. Популяционные параметры ставриды в различных акваториях Черного моря в современный период // Рыбн. хоз-во Украины. – 2013. – № 3. – С. 35–45.
8. Кузьминова Н.С. Долговременные изменения популяционных и морфофизиологических параметров некоторых видов черноморских рыб из прибрежной зоны Севастополя и Крыма // Экотоксикологические исследования прибрежной черноморской ихтиофауны в районе Севастополя. М.: ГЕОС, 2016. – С. 31–46.



9. Кузьминова Н.С., Мурзин Ю.Л., Самотой Ю.В. Популяционные, морфофизиологические и морфометрические отличия черноморской ставриды из прибрежной зоны Севастополя и Балаклавы // Уч. зап. Крымск. федер. универ. им. В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2018. – Том 4(70), № 4. – С. 97–107.
10. Мельникова Е.Б., Кузьминова Н.С. Сравнительная оценка характеристик роста ставриды юго-западного шельфа Крыма в осенне-зимний и весенне-летний периоды // Экосистемы. – 2018. – Вып. 13 (43). – С. 59–67.
11. Мельникова Е.Б., Кузьминова Н.С. Индивидуальный рост и продукционные характеристики стад ставриды *Trachurus mediterraneus*, обитающих на юго-западном шельфе Крыма // Уч. зап. Крымск. федер. универ. им. В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2019. – Том 5 (71), № 3. – С. 33–48.
12. Орлов А.М., Афанасьев П.К. Отолитометрия как инструмент анализа популяционной структуры тихоокеанской трески *Gadus macrocephalus* (Gadidae, teleostei) // Амурский зоол. журн. – 2013. – № 3. – С. 327–331.
13. Павлов Д.А. Дифференциация трех видов рода *Upeneus* (Mullidae) по форме отолитов // Вопр. ихтиологии. – 2016. – Том 56, № 1. – С. 41–55.
14. Павлов Д.А. Дифференциация чернополосой козобородки *Upeneus tragula* Richardson, 1846 (Perciformes: Mullidae) в прибрежной зоне Вьетнама на основе анализа формы отолитов // Биол. моря. – 2018. – Том 44, № 5. – С. 347–356.
15. Павлов Д.А., Широкова Е.А. Изменчивость структуры отолитов в популяциях ротана *Percottus glenii* (Odontobutidae) Центральной России // Вопр. ихтиологии. – 2020. – Том 60, № 1. – С. 52–62.
16. Слынько Ю.В., Болтачев А.Р., Карнова Е.П., Слынько Е.Е. Таксономический статус и внутривидовая дифференциация черноморской ставриды *Trachurus mediterraneus ponticus* (Aleev, 1956) (Carangidae) // Биол. моря. – 2018. – Том 44, № 2. – С. 106–114.
17. Стоянов С. Состав и характер на рибната фауна на Българското Черноморие // Изв. ЦНИИ рибов. и рибол (Варна). – 1963. – Том 3. – С. 73–101.
18. Чугунова Н.И. Руководство по изучению возраста и роста рыб. – М., Изд-во АН СССР, 1959. – 164 с.
19. Шляхов В.А., Шляхова О.В., Надолинский В.П., Перевалов 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. – Том 1, № 1. – С. 86–103.
20. Юрахно В.М., Кузьминова Н.С. О существовании возможных локальных группировок черноморской ставриды в прибрежье Севастополя // Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона: материалы VII Междунар. конф. – Керчь, 2012. – Том 1. – С. 100–103.
21. Abaunza P., Murta A.G., Campbell N., Cimmaruta R., Comesana A.S. et al. Stock identity of horse mackerel (*Trachurus trachurus*) in the Northeast Atlantic and Mediterranean Sea: Integrating the results from different stock identification approaches // Fish. Research. – 2008. – Vol. 89. – P. 196–209.
22. Abramoff M.D., Magalhaes P.J., Ram S.J. Image Processing with ImageJ // Biophotonics Intern. – 2004. – Vol. 11, № 7. – P. 36–42.
23. Atılgan E., Başçınar N.S., Erbay M. Otolith characteristics and some population parameters of eastern Black Sea horse mackerel, *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868) // J. FisheriesSciences.com. – 2012. – Vol. 6, № 2. – P. 114–124.
24. Atılgan E., Başçınar N.S. Age and some ring characteristics and morphometric analyses of Mediterranean horse mackerel's otoliths (*Trachurus mediterraneus* Steindachner, 1868) in the Black Sea // Yunus Araştırma Bülteni. – 2015. – Vol. 4. – P. 3–12.
25. Boehlert G.W. Using objective criteria and multiple regression models for age determination in fishes // Fish. Bull. 1985. – Vol. 83. – P. 103–117.

26. *Bostanci D.* Otolith characteristics and some population parameters of Mediterranean horse mackerel, *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868) // *Firat Univ. Journal of Science*. – 2009. – Vol. 21, № 1. – P. 53–60.
27. *Campana S.E., Casselman J.M.* Stock discrimination using otolith shape analysis // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* – 1993. – Vol. 50. – P. 1062–1083.
28. *Campana S.E.* Photographic atlas of fish otoliths of the Northwest Atlantic Ocean. – NRC Research Press, Ottawa, Ontario, 2004. – 284 p.
29. *Dobrovolev I.S.* Genetic divergence between the scad subspecies *Trachurus mediterraneus* (Carangidae, Pisces) from the Black Sea and the Mediterranean // *Medit. Mar. Sci.* – 2000. – Vol. 1, № 1. – P. 133–139.
30. *Donkers P.D.* Age, growth and maturity of European carp (*Cyprinus carpio*) in Lakes Sorell and Crescent. Technical Report No.4 Inland Fisheries Service, Hobart, 2004. – 18 p.
31. *Elliott N.G., Haskard K., Koslow J.A.* Morphometric analysis of orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) off the continental slope of southern Australia // *J. of Fish Biol.* – 1995. – Vol. 46. – P. 202–220.
32. *Fitch J.E., Brownell J.R.L.* Fish otoliths in cetacean stomachs and their importance in interpreting feeding habits // *J. Fish. Res. Board Can.* – 1968. – Vol. 25, № 12. – P. 2561–2574.
33. *Francis C., Campana S.E.* Inferring age from otolith measurements: a review and a new approach // *Can. J. of Fish. Aquat. Sci.* – 2004. – Vol. 61. – P. 1269–1284.
34. *Harvey J.T., Loughlin T.R., Perez M.A., Oxman D.S.* Relationship between fish size and otolith length for 63 species of fishes from the eastern North Pacific Ocean. NOAA Tech. Rep. NMFS. 2000. № 150. – 35 p.
35. *Janusz J.* Differences in the growth of otoliths of walleye pollock *Theragra chalcogramma* from the Bering Sea and the Gulf of Alaska // *Bull. Sea Fish. Inst.* – 1990. – Vol. 5–6. – P. 13–18.
36. *Kasapoğlu N.* Stock structure and population parameters of horse mackerel (*Trachurus mediterraneus*, Steindachner, 1868) in the Eastern Black Sea Region. Master's Thesis. KTÜ, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Fisheries Department, Trabzon, 2006. – 60 p.
37. *Kasapoğlu N., Duzgunes E.* The relationship between somatic growth and otolith dimensions of Mediterranean horse mackerel (*Trachurus mediterraneus*) from the Black Sea // *J. of App. Ichth.* – 2013. – Vol. 29, № 1. – P. 230–233.
38. *Mendoza R.P.R.* Otoliths and their applications in fishery science // *Ribarstvo*. – 2006. – Vol. 64. – P. 89–102.
39. *Messieh S.N.* Use of otoliths in identifying herring stocks in the Southern Gulf of St. Lawrence and adjacent waters // *J. Fish. Res. Board Can.* – 1972. – Vol. 29. – P. 1113–1118.
40. *Ponton D.* Is geometric morphometrics efficient for comparing otolith shape of different fish species? // *J. of Morphology*. – 2006. – Vol. 267. – P. 750–757.
41. *Prodanov K., Mikhaylov K., Daskalov G., Maxim K., Ozdamar E., Shlyakhov V., Chashchin A., Arkhipov A.* // Environmental management of fish resources in the Black Sea and their rational exploitation. Studies and Reviews, Rome, FAO. – 1997. – Vol. 68. – 178 p.
42. *Şahin C., Kasapoğlu N., Gözler A.M., Kalayci F., Hacimurtazaoğlu N., Mutlu C.* Age, growth, and gonadosomatic index (GSI) of Mediterranean horse mackerel (*Trachurus mediterraneus* Steindachner, 1868) in the Eastern Black Sea // *Turk. J. Zool.* – 2009. – Vol. 33. – 157–167.
43. *StatSoft.* STATISTICA data analysis software system, ver. 10. 2011. www.statsoft.com.
44. *Stransky C., Murta A.G., Schlickeisen J., Zimmermann C.* Otolith shape analysis as a tool for stock separation of horse mackerel (*Trachurus trachurus*) in the Northeast Atlantic and Mediterranean // *Fish. Res.* – 2008. – Vol. 89. – P. 159–166.

45. Turan C. The use of otolith shape and chemistry to determine stock structure of Mediterranean horse mackerel *Trachurus mediterraneus* (Steindachner) // J. of Fish Biol. – 2006. – Vol. 69. – P. 165–180.
46. Tuset V.M., Lozano I.J., González J.A., Pertusa J.F., García-Díaz M.M. Shape indices to identify regional differences in otolith morphology of comber, *Serranus cabrilla* (L., 1758) // J. Appl. Ichthyol. – 2003. – Vol. 19. – P. 88–93.
47. Tuset V.M., Lombarte A., Assis C.A. Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic // Scientia Marina. – 2008. – Vol. 72, № 1. – P. 7–198.
48. Yedier S., Bostanci D., Kondaş S., Kurucu G., Polat N. Fluctuating asymmetry in otolith dimensions of *Trachurus mediterraneus* collected from the Middle Black Sea // Acta Biologica Turcica. – 2018. – Vol. 31, № 4. – P. 152–159.
49. Zengin M., Saygın S., Polat N. Otolith shape analyses and dimensions of the anchovy *Engraulis encrasicolus* L. in the Black and Marmara Seas // Sains Malaysiana. – 2015. Vol. 44, № 5. – P. 657–662.
50. Zorica B., Sinovčić G., Čikeš Keč V. Preliminary data on the study of otolith morphology of five pelagic fish species from the Adriatic Sea (Croatia) // Acta Adriatica. – 2010. – Vol. 51, № 1. – P. 89–96.

## OTOLITH MORPHOMETRY AND THEIR RELATIONSHIP TO THE LENGTH AND AGE OF THE BLACK SEA HORSE MACKEREL OF THE COAST OF CRIMEA

Chesalin M.V., Kuzminova N.S.

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,  
e-mail: [chesalin.mikhail@yandex.ru](mailto:chesalin.mikhail@yandex.ru), [kunast@rambler.ru](mailto:kunast@rambler.ru)

Otoliths were measured in 534 specimens of the Black Sea horse mackerel (*Trachurus mediterraneus*) collected from commercial catches off the Crimean coast from August 2017 to May 2018. The length of the fish ranged from 73 to 245 mm (average  $138.3 \pm 0.7$  mm), age was from 0+ to 6+ years. The average length, width, perimeter and area of the otoliths were  $4.89 \pm 0.04$  mm,  $2.68 \pm 0.02$  mm,  $12.85 \pm 0.09$  mm and  $9.12 \pm 0.11$  mm<sup>2</sup> respectively. Variability of the different otolith sizes for different age groups was studied. The parameters of regression equations between the length and width of the otoliths with the length, weight and age of fish have been determined. Six indices of otolith shape (length-width ratio, circularity, rectangularity, roundness, form factor and ellipticity) were calculated for each otolith and their variability with fish age was investigated. It is shown that values of the otolith shape indices depend on the length and age of fish, therefore their use for differentiation of local groups of the Black Sea horse mackerel can only be carried out taking into account this dependence.

**Key words:** Black Sea horse mackerel, otolith, morphometry, age, Black Sea.

Чесалин Михаил Валерьевич	Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела физиологии животных и биохимии, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», e-mail: <a href="mailto:chesalin.mikhail@yandex.ru">chesalin.mikhail@yandex.ru</a>
Кузьминова Наталья Станиславовна	Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела морской санитарной биологии, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», e-mail: <a href="mailto:kunast@rambler.ru">kunast@rambler.ru</a>

Поступила в редакцию 16.03.2020 г.