

УДК 597.556.331.1(262.5)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФОРМЫ ОТОЛИТОВ У СТАВРИДЫ *TRACHURUS MEDITERRANEUS* (STEINDACHNER, 1868) (PERCIFORMES: CARANGIDAE) ИЗ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД СЕВАСТОПОЛЯ И БАЛАКЛАВЫ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)

© 2021 г. М. В. Чесалин*

Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН,
Севастополь 299011, Россия

*e-mail: chesalin.mikhail@yandex.ru

Поступила в редакцию 18.03.2020 г.

После доработки 11.08.2020 г.

Принята к публикации 05.10.2020 г.

С использованием двух методических подходов сравнили форму отолитов в девяти выборках черноморской ставриды *Trachurus mediterraneus*, отловленной в бухтах у Севастополя и Балаклавы в 2017–2018 гг. При первом подходе анализировали размеры отолитов (длина, ширина, периметр, площадь), приведенные к средней длине рыбы из всех выборок, и рассчитанные на их основе шесть индексов формы отолитов (отношение длины к ширине, циркулярность, прямоугольность, округлость, фактор формы, эллиптичность). При втором подходе использовали коэффициенты эллиптического анализа Фурье контуров отолитов. Достоверных различий между левым и правым отолитами, а также между отолитами самцов и самок ставриды не обнаружено. Результаты дискриминации отдельных выборок при этих двух подходах различались, однако в целом отолиты черноморской ставриды из всех исследованных бухт достоверно не различались ни по индексам формы, ни по коэффициентам Фурье.

Ключевые слова: *Trachurus mediterraneus*, отолиты, форма, индексы, коэффициенты Фурье, Чёрное море

DOI: 10.31857/S0134347521030049

Черноморская ставрида – это популяция средиземноморской ставриды *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868), обитающая в Чёрном море, которая заходит также в Азовское и Мраморное моря. Ранее Ю. Г. Алеев (1956) описал черноморскую ставриду как самостоятельный подвид, который получил название *T. mediterraneus ponticus* Aleev, 1956. Генеральная комиссия по рыболовству в Средиземном море (GFCM) и Научно-технический и экономический комитет по рыболовству (STECF) при Европейской Комиссии считают черноморскую ставриду самостоятельной единицей запаса, поэтому оценка биомассы и управление промыслом этого вида проводятся отдельно от таковых ставриды из Средиземного моря (GFCM, 2012; STECF, 2015). Однако недавние генетические исследования показали, что черноморская ставрида не является ни самостоятельным видом, ни подвидом и ее следует рассматривать как черноморское стадо средиземноморской ставриды (Слынько и др., 2018).

Черноморская ставрида имеет сложную внутривидовую структуру. В Чёрном море Ю. Г. Алеев (1957) выделял четыре локальных стада: юго-западное (босфорское), северное (крымское), восточное (кавказское) и южное (анаатолийское).

Кроме этого, известны две формы черноморской ставриды: мелкая и крупная (Алеев, 1957; Georgiev, Kolarov, 1962; Stoyanov et al., 1963), которые различаются размерами, скоростью роста, продолжительностью жизни, миграционной активностью и др. Небольшие различия отмечены и в форме отолитов (Ревина, Сафьянова, 1965). Недавние исследования ряда популяционных, морфологических, морфофизиологических и паразитологических характеристик ставриды, обитающей у побережья Крыма, показали, что в некоторых районах существуют обособленные локальные группировки, которые слабо смешиваются между собой (Юрахно, Кузьминова, 2012; Кузьминова, 2013; Кузьминова и др., 2016, 2018; Мельникова, Кузьминова, 2019). В частности, выделена локальная группировка ставриды в Балаклавской бухте, особи которой отличались от рыб из севастопольских бухт по размерам, упитанности и ряду морфометрических показателей, в том числе по отношению длины отолита к его ширине (Кузьминова и др., 2018).

Анализ формы отолитов (otolith shape analysis) – один из современных методов изучения популяционной структуры рыб и выделения их запасов. Известно, что форма отолитов определяется гене-

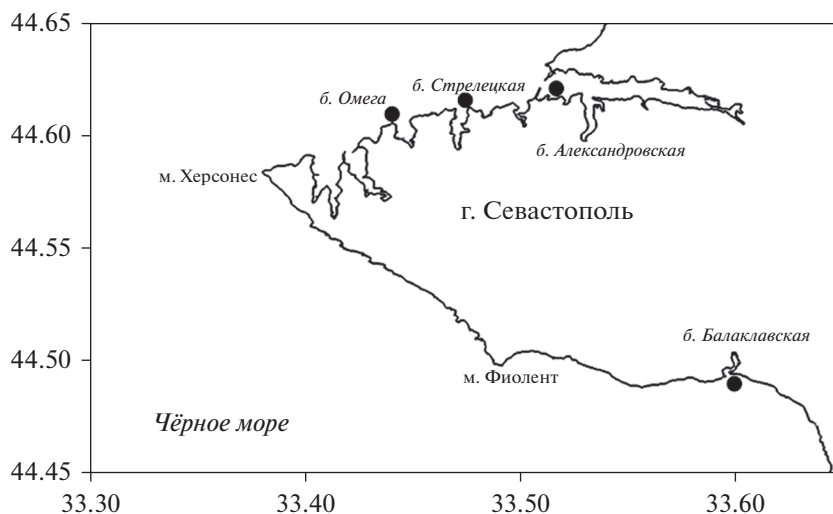


Рис. 1. Карта-схема мест отлова черноморской ставриды *Trachurus mediterraneus*.

тическими факторами, а также факторами среды, условиями питания, роста и физиологическими процессами (Campana, Casselman, 1993; Cardinale et al., 2004; Stransky et al., 2008; Vignon, Morat, 2010). При этом форма отолитов не зависит от краткосрочного изменения состояния рыб, влияющего на форму их тела, например, при голодании (Campana, Casselman, 1993).

Для характеристики формы отолитов применяют несколько методов: анализ морфометрии отолитов (длина, ширина, площадь, периметр) и рассчитанных на их основе безразмерных индексов формы; сравнение расстояний между опорными точками (метками); получение координат опорных точек и их анализ методами геометрической морфометрии; описание контуров с помощью коэффициентов эллиптического анализа Фурье и дискретных вейвлет-коэффициентов. У средиземноморской ставриды анализ формы отолитов методом измерения расстояния между метками использован для дискриминации популяций в Чёрном, Мраморном, Эгейском морях и в северо-восточной части Средиземного моря (Tugan, 2006). Эллиптический анализ Фурье применен для идентификации запасов средиземноморской ставриды в северо-восточной Атлантике и Средиземном море (Abaunza et al., 2008). В отечественных исследованиях анализ формы отолитов для изучения популяционной структуры и дифференциации запасов разных видов рыб стали применять сравнительно недавно (Орлов, Афанасьев, 2013; Павлов, 2016, 2018; Афанасьев и др., 2017; Мазникова и др., 2017; Павлов, Широкова, 2020).

Цель настоящего исследования — провести сравнительный анализ формы отолитов у черноморской ставриды из Балаклавской бухты и сева-стопольских бухт, используя индексы отолитов и метод эллиптического анализа Фурье, чтобы определить возможность дискриминации локальных стад ставриды по этим показателям.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материал отбирали с ноября 2017 г. по май 2018 г. из уловов донных ловушек береговых промысловых бригад в трех сева-стопольских бухтах (Александровская, Омга, Стрелецкая), а также в расположенной в 15 км от г. Севастополя Балаклавской бухте (рис. 1). Для исследования использовали девять выборок черноморской ставриды (табл. 1).

В лаборатории Института биологии южных морей РАН (г. Севастополь) проводили биологический анализ каждой рыбы: определяли общую длину (TL), массу, пол и другие показатели. Отолиты (сагитту) извлекали из головы рыбы, тщательно очищали и использовали для определения возраста, а затем сушили и хранили в микропробирках-эппендорфах с соответствующей нумерацией. Отолиты сеголеток и годовиков ставриды длиной от 8.0 до 11.7 см не анализировали.

Для сравнения формы отбирали только целые левые и правые отолиты. Сухие отолиты по одному выкладывали на темную матовую поверхность рострумом влево и акустической бороздкой (*sulcus acusticus*) вниз и фотографировали в отраженном свете под бинокляром МБС-10 (увеличение 8×1) с помощью цифровой камеры DCM500, соединенной с компьютером. Использовали программу анализа изображений ScorePhoto; разрешение изображений 2592×1944 пикселей на дюйм.

Размеры отолитов определяли с помощью программы ImageJ (Abramoff et al., 2004). Изображение каждого отолита калибровали по изображению масштабной линейки. Программа ImageJ позволяет автоматически определять максимальную длину по Ферету (OL , мм), максимальную ширину по Ферету (OW , мм), периметр (P , мм) и площадь отолита (A , мм²). На основе этих измерений, используя формулы, приведенные в ряде работ (Tuset et al., 2003; Ponton, 2006; Zorica et al.,

Таблица 1. Места и даты отлова черноморской ставриды *Trachurus mediterraneus*; размер рыб и количество отоли- тов, взятых для анализа

Выборка	Место сбора (бухта)	Дата	*Длина рыбы, см	Число отоли- тов	
				левый	правый
V1	Балаклавская	09.11.2017	<u>13.0–17.6</u> 15.1	23	25
V2	Балаклавская	21.02.2018	<u>13.9–18.1</u> 15.8	77	74
A1	Александровская	13.04.2018	<u>11.7–18.0</u> 14.7	61	62
A2	Александровская	17.04.2018	<u>11.8–18.5</u> 13.7	43	39
O1	Омега	23.03.2018	<u>12.9–16.6</u> 14.6	64	58
O2	Омега	26.03.2018	<u>2.8–16.5</u> 14.8	47	48
S1	Стрелецкая	06.04.2018	<u>13.2–16.8</u> 14.9	34	36
S2	Стрелецкая	22.04.2018	<u>11.3–20.2</u> 13.2	58	58
S3	Стрелецкая	30.05.2018	<u>12.2–21.3</u> 14.6	45	44

*Над чертой – диапазон, под чертой – среднее значение.

2010; Zengin et al., 2015; Павлов, 2016), рассчитывали шесть безразмерных индексов формы отоли- тов: отношение длины к ширине (*Ar* – aspect ratio), циркулярность (*Cr* – circularity), прямоугольность (*Rc* – rectangularity), округлость (*Rd* – roundness), фактор формы (*Ff* – form factor) и эллиптичность (*El* – ellipticity) (табл. 2).

Контуры отоли- тов анализировали с помощью пакета SHAPE ver. 1.3 (Iwata, Ukai, 2002). Изображения отоли- тов из одной выборки в графическом редакторе Photoshop собирали в два файла, соответственно для левых и правых отоли- тов. Изображения размещали вертикально одно под другим. Для сравнения отоли- тов в программе SHAPE необходимо, чтобы все отоли- ты были одинаково ориентированы, поэтому изображения правых отоли- тов переворачивали в горизонтальной плоскости так, чтобы ростумы левых и правых отоли- тов были направлены в одну сторону. Изображения преобразовывали в формат BMP (24-bit). Детально принцип работы в пакете SHAPE и возможность его использования при сравнительном анализе формы отоли- тов рыб описаны ранее (см.: Афанасьев и др., 2017). Эта программа позволяет представить замкнутый контур отоли- та в виде четырех коэффициентов Фурье для заданного числа гармоник. Чем больше число гармоник, тем точнее описывается контур отоли- та (Павлов, 2018). Для отоли- тов черноморской ставриды в программе Chc2Nef выбрали 20 гармоник. С помощью подпрограммы PrinComp были получены

значения главных компонент для каждой рыбы и реконструированные контуры.

Одномерные и многомерные статистические анализы выполняли в программе PAST 4.03 (Hammer et al., 2001). Анализ нормальности распределения отдельных морфометрических параметров отоли- тов проводили с помощью теста Шапиро–Уилка. Для сравнения абсолютных параметров левого и правого отоли- тов, а также отоли- тов самцов и самок использовали парный тест Стьюдента. Для оценки значимости различий между выборками по индексам формы отоли- тов применяли непараметрический многомерный дисперсионный анализ (one-way PERMANOVA). Классификацию рыб по форме отоли- тов проводили с помощью линейного дискриминантного анализа (LDA). При этом корректность классификации оценивали по методу складного ножа (джекнаиф – jackknife).

Таблица 2. Формулы расчета индексов формы отоли- тов

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

Примечание. Параметры отоли- та: *OL* – длина, *OW* – ширина, *P* – периметр, *A* – площадь.

Таблица 3. Сравнение морфометрических параметров левого и правого отоликов, а также отоликов самцов и самок у черноморской ставриды *Trachurus mediterraneus*

Параметр	Левый	Правый	<i>t</i>	<i>p</i>	Самцы	Самки	<i>t</i>	<i>p</i>
	\bar{X}	\bar{X}			\bar{X}	\bar{X}		
<i>OL</i> , мм	5.19	5.19	0.06	0.95	5.23	5.18	1.03	0.31
<i>OW</i> , мм	2.82	2.83	0.69	0.48	2.83	2.81	0.82	0.42
<i>P</i> , мм	13.61	13.63	0.26	0.79	13.73	13.52	1.65	0.10
<i>A</i> , мм	9.99	9.99	0.01	0.99	10.12	9.94	1.09	0.28

Примечание. \bar{X} – среднее значение; *t* – значение теста Стьюдента; *p* – уровень значимости.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Распределения по частоте морфометрических параметров (длина, ширина, периметр, площадь) для правого и левого отоликов черноморской ставриды из всех бухт не отличались от нормального согласно критерию Шапиро–Уилка ($p < 0.05$). Размеры правого и левого отоликов значимо не различались, и значения *p* в критерии Стьюдента во всех случаях были больше 0.05 (табл. 3). Не найдено также значимых различий между абсолютными параметрами отоликов самцов и самок. Поэтому в дальнейших анализах данные по отоликам самцов и самок были объединены, а для сравнения использовали только левые отолики рыб. Считается, что данные по двум парным отоликам избыточны, так как это ведет к искусственному увеличению степени дискриминации между группировками (Павлов, 2018).

Сравнение индексов формы отоликов в девяти выборках показало значимые различия между выборками из Балаклавской (B1, B2) и Стрелецкой (S1, S2, S3) бухт по всем шести индексам, за исключением выборки B1 по индексу округлости (*Rd*). Так, средняя величина индекса *Ar* у ставриды из Балаклавской бухты составляла 1.86–1.88, из Стрелецкой бухты – 1.80–1.82; *Cr* – 18.85–18.91 против 18.27–18.50; *Rc* – 0.69–0.71 и 0.67–0.68; *Ff* – 0.67 и 0.68–0.69; *El* – 0.30–0.31 и 0.28–0.29. У ставриды из бухт Александровская и Омега эти индексы имели промежуточные значения.

Однако данные различия могли быть связаны не с особенностями формы отоликов ставриды в том или ином районе, а с разным размером рыб в исследованных выборках. Чтобы определить связь индексов отоликов с длиной рыбы, были построены линии регрессии и рассчитаны параметры соответствующих уравнений (рис. 2). В одних случаях (*Ar*, *Cr*, *El*) наблюдалось положительное аллометрическое увеличение индексов по мере увеличения длины рыбы, в других случаях (*Re*, *Rd*, *Ff*) отмечена отрицательная аллометрия. Значимая регрессия между величинами индексов отоликов и длиной рыбы ($p < 0.001$, $R^2 > 0.09$) наблюдалась в пяти случаях (*Ar*, *Cr*, *Rd*, *Ff*, *El*), и только между индексом прямоугольности (*Rc*) и *TL* эта регрессия не была значимой ($R^2 = 0.0002$). Поэтому для корректного сравнительного анализа индексов отоликов в разных выборках необхо-

димо было удалить их зависимость от длины тела и пересчитать данные по индексам на длину условной среднеразмерной рыбы из всех выборок. Для этого к размерам отоликов (*OL*, *OW*, *P*, *A*) в программе PAST применили команды Transform → → Remove size from distances → Allometric vs. standard. Таким образом в соответствии с уравнением Эллиотта с соавторами (Elliott et al., 1995) все данные были приведены к единой длине рыбы 14.67 см. Затем все индексы формы отоликов пересчитали и построили графики их средних величин с доверительными интервалами для разных выборок (рис. 2). В результате различия между выборками оказались менее выраженными, чем по нетрансформированным данным, но наибольшее различие по-прежнему наблюдалось между индексами формы отоликов ставриды из Балаклавской бухты и б. Стрелецкая (табл. 4).

Многомерный дисперсионный анализ (PERMANOVA), использованный для оценки различий между выборками по индексам формы отоликов, показал, что значимо от всех других выборок отличались только выборки S1 и S3 из б. Стрелецкая (рис. 3). Выборки из Балаклавской бухты по шести индексам формы отоликов в целом не отличались от выборок из бухт Александровская и Омега, хотя на рис. 3 хорошо заметны отличия выборки B1 по индексам *Rc* и *Rd*. Анализ объединенных выборок рыб из Балаклавской бухты (B1 и B2) и всех севастопольских бухт (A1, A2, O1, O2, S1, S2, S3) не выявил значимых различий ($p = 0.57$) по индексам отоликов.

Согласно анализу контуров отоликов в программе SHAPE, получены величины главных компонент, для визуализации которых построен график распределения особей и центроидов выборок в пространстве первых двух главных компонент (рис. 4). Центроиды восьми выборок распределены очень близко друг к другу, выделяется только выборка B1 из Балаклавской бухты. Эллипсы 95% интервалов центроидов девяти выборок на рисунке не показаны, так как они сильно перекрываются.

Контурные отолики ставриды реконструированы по результатам анализа коэффициентов Фурье (рис. 5). Первая компонента (PC1) характеризовала вытянутость формы отолика, а вторая (PC2) и третья (PC3) компоненты характеризовали выраженность роострума и углубления между

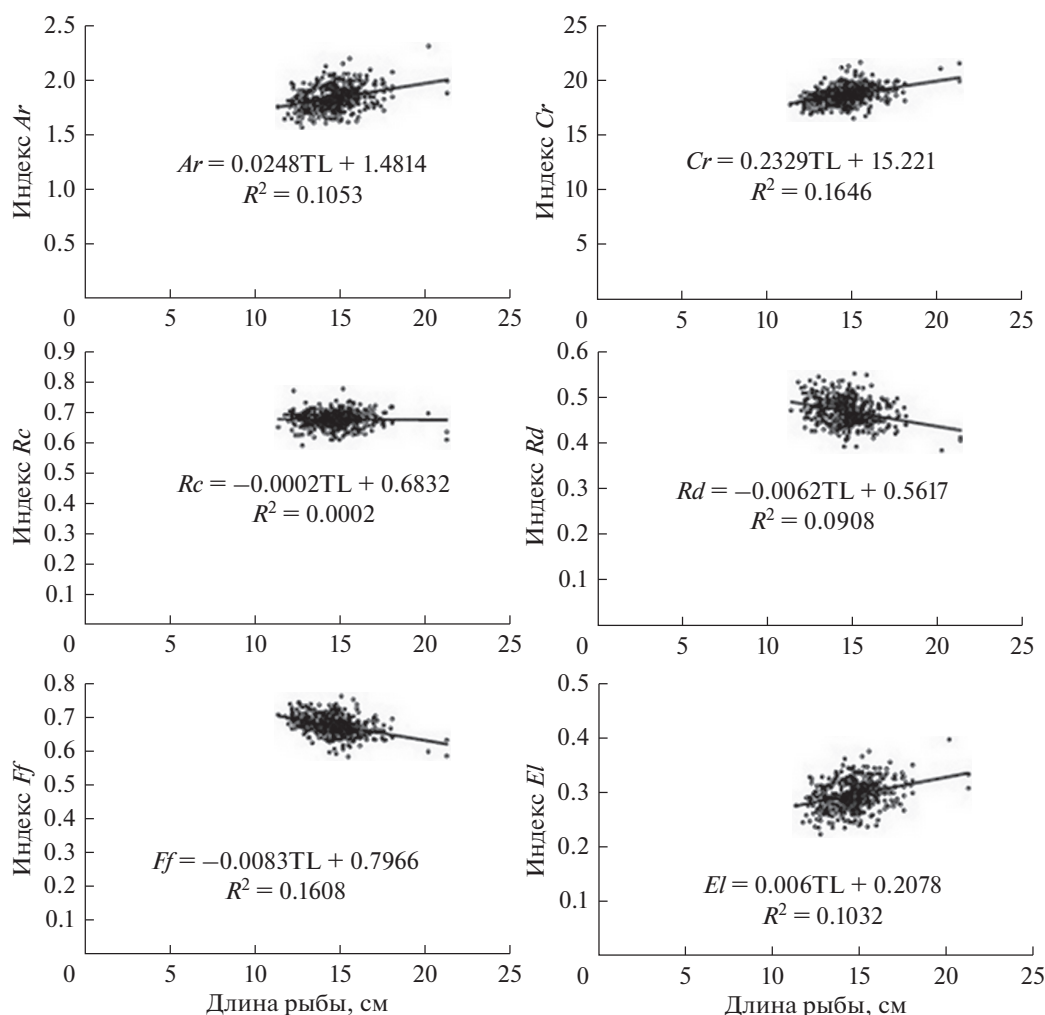


Рис. 2. Соотношение между индексами формы отоликов и длиной тела у черноморской ставриды *Trachurus mediterraneus* (обозначения индексов см. в табл. 2).

рострумом и антирострумом. Заметных различий в усредненных контурах отоликов у рыб из Балаклавской бухты и трёх севастопольских бухт не отмечено. Различия в форме контуров при откло-

нении от средней, особенно по первой компоненте, вероятно, связаны с высокой вариабельностью формы отоликов у ставриды, а также с разным количеством проанализированного материала.

Таблица 4. Значимость различий между индексами формы отоликов у черноморской ставриды *Trachurus mediterraneus* из разных выборок по критерию p в многомерном дисперсионном анализе

Выборка	B1	B2	A1	A2	O1	O2	S1	S2	S3
B1		0.66	0.86	0.89	0.60	0.67	0.13	0.56	0.04
B2	0.66		0.47	0.47	0.20	0.95	0.12	0.91	0.02
A1	0.86	0.47		0.94	0.51	0.49	0.02	0.36	0.002
A2	0.89	0.47	0.94		0.62	0.47	0.02	0.34	0.004
O1	0.60	0.20	0.51	0.62		0.19	0.01	0.12	0.000
O2	0.67	0.95	0.49	0.47	0.19		0.09	0.88	0.013
S1	0.13	0.12	0.02	0.02	0.01	0.09		0.11	0.47
S2	0.56	0.91	0.36	0.34	0.12	0.88	0.11		0.02
S3	0.04	0.02	0.002	0.004	0.0004	0.01	0.47	0.02	

Примечание. Жирным шрифтом выделены значимые различия между выборками ($p < 0.05$). Обозначения выборок, как в табл. 1.

Таблица 5. Классификационная матрица дискриминантного анализа выборок черноморской ставриды *Trachurus mediterraneus* по коэффициентам Фурье контуров отолитов

Выборка	B1	B2	A1	O1	O2	A2	S1	S2	S3	Всего
B1	15	0	1	2	0	1	0	4	0	23
B2	10	21	5	10	9	5	5	7	5	77
A1	11	8	11	3	11	7	3	7	0	61
O1	8	6	3	10	7	2	0	7	0	43
O2	10	13	6	12	15	3	0	5	0	64
A2	7	10	3	6	5	5	5	5	1	47
S1	7	6	3	8	3	1	1	4	1	34
S2	9	7	5	5	3	4	4	16	5	58
S3	13	5	4	7	4	3	1	7	1	45
Всего	90	76	41	63	57	31	19	62	13	452

Примечание. Обозначения выборок, как в табл. 1.

Коэффициенты Фурье отолитов каждой рыбы далее использовали для дисперсионного (PERMANOVA) и линейного дискриминантного

(LDA) анализов. При дисперсионном анализе выделилась выборка B1 из Балаклавской бухты; эта выборка достоверно отличалась от всех других

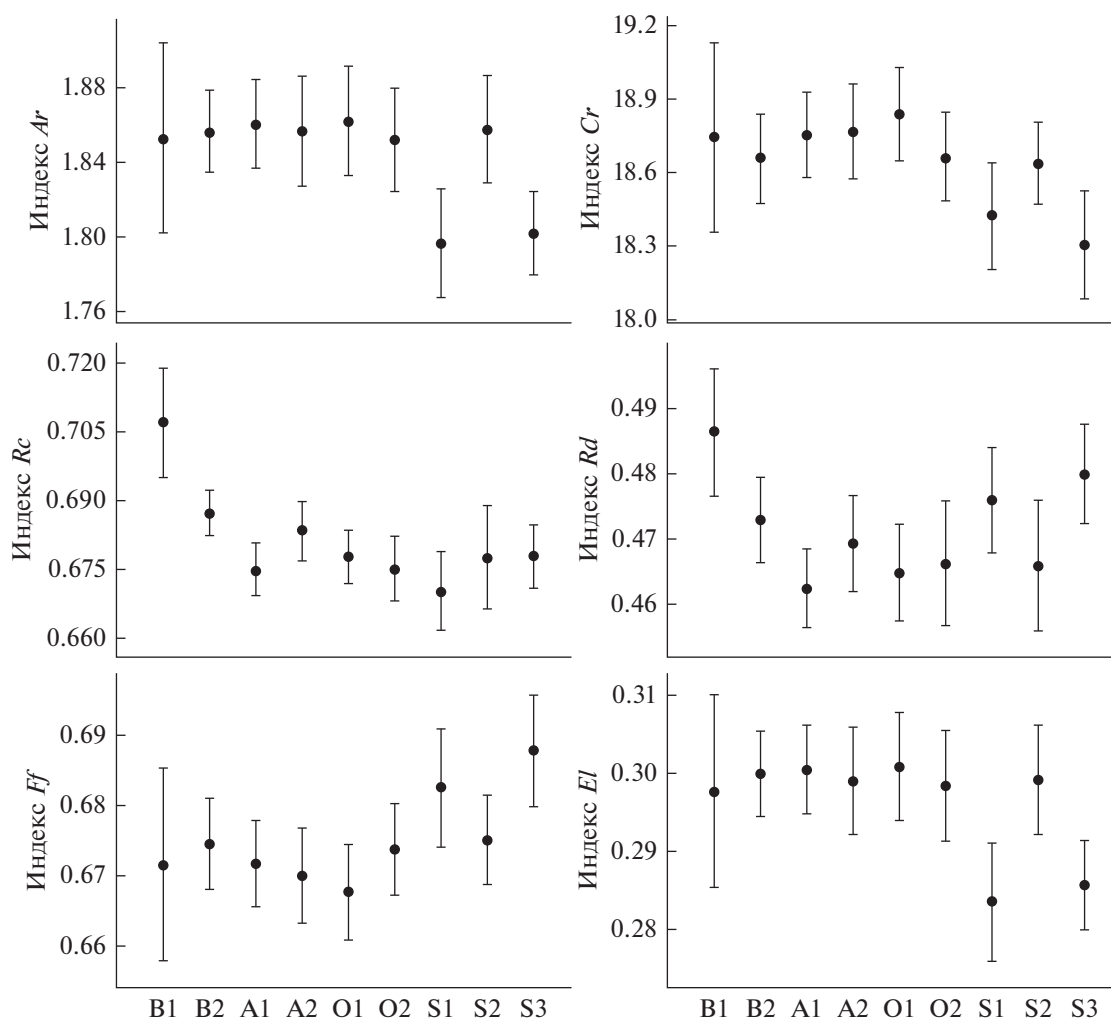


Рис. 3. Индексы формы левого отолита черноморской ставриды *Trachurus mediterraneus* из разных выборок (обозначения выборок см. в табл. 1, индексов формы отолитов – в табл. 2). На рисунке показаны средние значения индексов и их 95% доверительные интервалы.

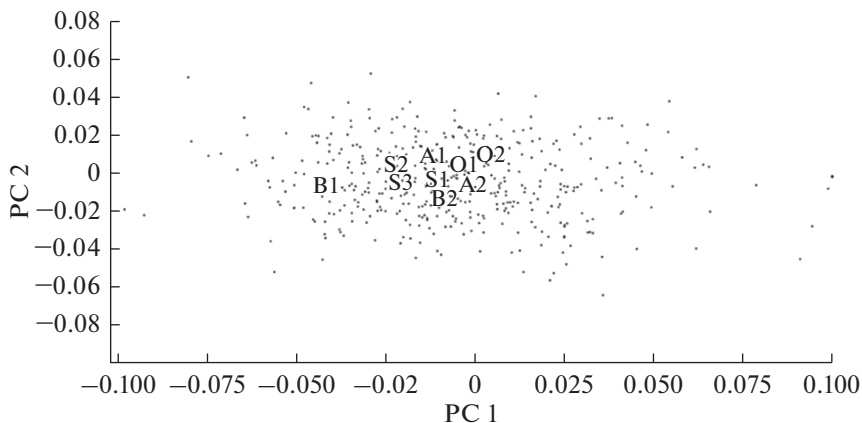


Рис. 4. Распределение особей (точки) и центроидов выборок по контурам отолитов черноморской ставриды *Trachurus mediterraneus* в пространстве первых двух главных компонент (PC 1 и PC 2) (обозначения выборок см. в табл. 1).

выборок ($p < 0.001$). Достоверные различия обнаружены также между выборкой S3 из б. Стрелецкая с выборками A2, B2 и O2, тогда как все остальные выборки не различались между собой.

Пространственное распределение центроидов выборок, построенных методом дискриминантного анализа, незначительно отличалось от такового при использовании метода главных компонент. Корректность классификации выборок оказалась наиболее высокой для выборки B1 (65.2%) и составляла не более 29% для других восьми выборок (табл. 5). В целом корректность

классификации девяти выборок методом джек-найф не превышала 12.0%.

При объединении всех выборок из севастопольских бухт (A1, A2, O1, O2, S1, S2, S3) и при сравнении их с объединенной выборкой из Балаклавской бухты (B1, B2) дискриминантный анализ не показал различий между данными выборками, а гистограммы их частотного распределения были приблизительно одинаковыми (рис. 6). Корректность классификации “севастопольских” и “балаклавских” выборок методом джекнайф составила 55.9%.

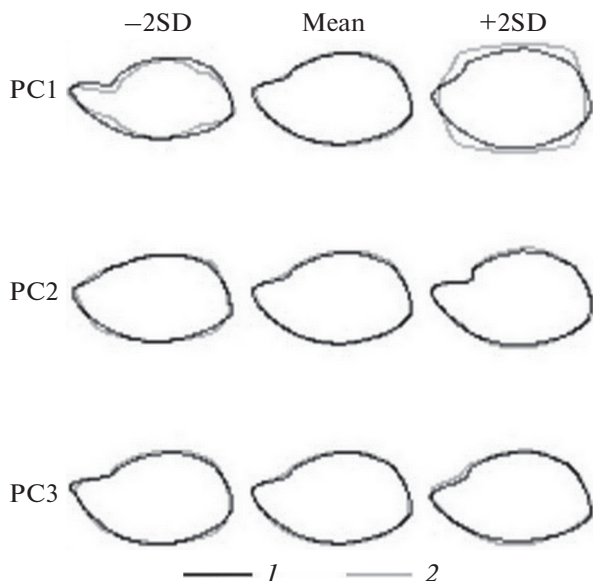


Рис. 5. Реконструированные контуры отолитов черноморской ставриды *Trachurus mediterraneus*, соответствующие первым трем главным компонентам (PC 1–3). Mean – усредненный контур, $\pm 2SD$ – два стандартных отклонения. 1 – Балаклавская бухта; 2 – севастопольские бухты.

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования показали, что средние размеры черноморской ставриды в Балаклавской бухте немного больше, чем в севастопольских бухтах, что согласуется с данными, полученными

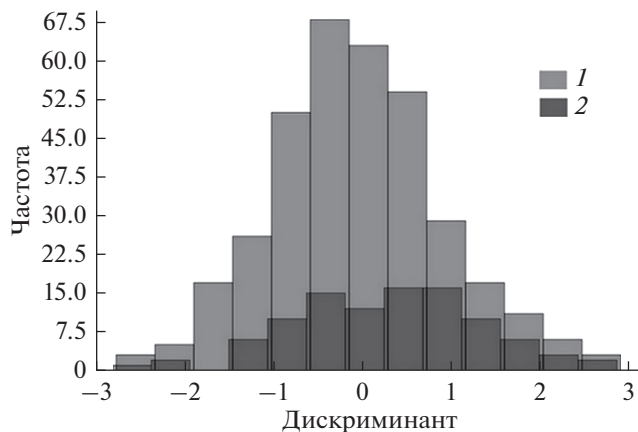


Рис. 6. Гистограммы частот распределения формы контуров отолитов черноморской ставриды *Trachurus mediterraneus* при дискриминантном анализе. 1 – севастопольские бухты; 2 – Балаклавская бухта.

для этих акваторий в 2014–2017 гг. (Кузьминова и др., 2018), когда авторы, указывая на различия средних величин отношения длины отолита к его ширине, не учитывали её зависимость от длины тела рыбы.

Два методических подхода — использование индексов формы отолитов и анализ контуров отолитов по коэффициентам Фурье — показали несколько разные результаты дифференциации отдельных выборок. Так, по результатам дисперсионного анализа при использовании шести индексов формы отолитов от всех других выборок достоверно отличались только две выборки (S1, S3) из б. Стрелецкая. При сравнении же формы контуров отолитов в девяти выборках с помощью методов главных компонент, дисперсионного и дискриминантного анализа достоверно от всех других выборок выделилась лишь выборка В1 из Балаклавской бухты.

В целом оба подхода не выявили значимых различий между двумя объединенными выборками из севастопольских бухт и Балаклавской бухты. Таким образом, исследование формы отолитов свидетельствует об относительной однородности стад ставриды в севастопольских бухтах и Балаклавской бухте. Возможно, в этих районах существуют локальные группировки ставриды, которые различаются по размерно-возрастному и половому составу, ряду морфологических и других характеристик, однако степень их изоляции и устойчивости недостаточна, чтобы выделять данные группировки в отдельные популяции и единицы запаса.

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 по теме “Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты гидробионтов и их популяций в биотопах с различными физико-химическими режимами”, регистрационный номер НИОКТР: АААА-А18-118021490093-4, а также при поддержке проекта РФФИ “Отклик черноморской пелагической экосистемы на изменение климата в регионе (на примере медуз, гребневиков и мелких пелагических рыб)”, № 18-44-920022p_a.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность сотруднику ИнБЮМ Н.С. Кузьминовой за помощь в сборе отолитов и за данные по биоанализам черноморской ставриды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алеев Ю.Г. О систематическом положении ставриды Черного моря // *Вопр. ихтиологии*. 1956. Вып. 7. С. 174–184.
- Алеев Ю.Г. Ставриды (*Trachurus*) морей СССР // *Тр. Севастоп. биол. ст.* 1957. Т. 9. С. 167–242.
- 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. Т. 96. № 2. С. 192–200.
- Кузьминова Н.С. Популяционные параметры ставриды в различных акваториях Черного моря в современный период // *Рыб. хоз-во Украины*. 2013. № 3. С. 35–45.
- Кузьминова Н.С., Овен Л.С., Салехова Л.П. и др. 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.
- 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. фед. ун-та им. В.И. Вернадского. Биология. Химия*. 2018. Т. 4(70). № 4. С. 97–107.
- Мазникова О.А., Афанасьев П.К., Орлов А.М. и др. Сравнительный анализ формы отолитов, пространственное распределение и размерный состав черного палтуса *Reinhardtius hippoglossoides matsuurae* в западной части Берингова моря // *Изв. ТИНРО*. 2017. Т. 191. С. 97–113.
- Мельникова Е.Б., Кузьминова Н.С. Индивидуальный рост и продукционные характеристики стад ставриды *Trachurus mediterraneus*, обитающих на юго-западном шельфе Крыма // *Уч. зап. Крымск. фед. ун-та им. В.И. Вернадского. Биология. Химия*. 2019. Т. 5(71). № 3. С. 33–48.
- Орлов А.М., Афанасьев П.К. Отолитометрия как инструмент анализа популяционной структуры тихоокеанской трески *Gadus macrocephalus* (Gadidae, Gadosteii) // *Амур. зоол. журн.* 2013. № 3. С. 327–331.
- Павлов Д.А. Дифференциация трех видов рода *Upeneus* (Mullidae) по форме отолитов // *Вопр. ихтиологии*. 2016. Т. 56. № 1. С. 41–55.
- Павлов Д.А. Дифференциация чернополосой козобродки *Upeneus tragula* Richardson, 1846 (Perciformes: Mullidae) в прибрежной зоне Вьетнама на основе анализа формы отолитов // *Биол. моря*. 2018. Т. 44. № 5. С. 347–356.
- Павлов Д.А., Широкова Е.А. Изменчивость структуры отолитов в популяциях ротана *Percottus glenii* (Odontobutidae) Центральной России // *Вопр. ихтиологии*. 2020. Т. 60. № 1. С. 52–62.
- Ревина Н.И., Сафьянова Т.Е. К вопросу разделения “мелкой” и “крупной” ставриды по отолитам // *Рыб. хоз-во*. 1965. № 6. С. 11–13.
- Слынько Ю.В., Болтачев А.Р., Карпова Е.П., Слынько Е.Е. Таксономический статус и внутривидовая дифференциация черноморской ставриды *Trachurus mediterraneus ponticus* (Aleev, 1956) (Carangidae) // *Биол. моря*. 2018. Т. 44. № 2. С. 106–114.
- Юрахно В.М., Кузьминова Н.С. О существовании возможных локальных группировок черноморской ставриды в прибрежье Севастополя // *Современ-*

- ные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона: Материалы VII Международ. конф. Керчь 20–23 июня 2012 г. Керчь. 2012. Т. 1. С. 100–103.
- Abaunza P., Murta A.G., Campbell N. 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. V. 89. P. 196–209.
- Abramoff M.D., Magalhaes P.J., Ram S.J.* Image Processing with ImageJ // *Biophotonics Int*. 2004. V. 11. № 7. P. 36–42.
- Campana S.E., Casselman J.M.* Stock discrimination using otolith shape analysis // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1993. V. 50. P. 1062–1083.
- Cardinale M., Doering-Arjes P., Kastowsky M., Mosegaard H.* Effects of sex, stock, and environment on the shape of known-age Atlantic cod (*Gadus morhua*) otoliths // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2004. V. 61. P. 158–167.
- Elliott N.G., Haskard K., Koslow J.A.* Morphometric analysis of orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) off the continental slope of southern Australia // *J. Fish Biol.* 1995. V. 46. № 2. P. 202–220.
- Georgiev Z., Kolarov P.* On the migration and distribution of horse mackerel (*Trachurus ponticus*, Aleev) in the western part of Black Sea // *Arbeiten des Zentralen Forschungsinstitutes für Fischzucht und Fischerei*. Varna. 1962. V. 2. P. 148–172 p.
- GFCM (General Fisheries Commission for the Mediterranean), SAC, Report of the working group on stock assessment of small pelagic species, Split, Croatia, 5–9 November 2012. P. 1–258.
- Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D.* PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // *Paleontol. Electron*. 2001. V. 4. № 1. P. 1–9.
- Iwata H., Ukai Y.* SHAPE: a computer program package for quantitative evaluation of biological shapes based on elliptic Fourier descriptors // *J. Heredity*. 2002. V. 93. № 5. P. 384–385.
- Ponton D.* Is geometric morphometrics efficient for comparing otolith shape of different fish species? // *J. Morphol.* 2006. V. 267. № 6. P. 750–757. <https://doi.org/10.1002/jmor.10439>
- STECF (Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries). Black Sea assessments (STECF-15-16). 2015. Publications Office of the European Union. Luxembourg. EUR 27517 EN. JRC 98095.
- Stoyanov S., Georgiev Z., Ivanov L. et al.* Fishes in Black Sea. Varna: State Publishing House. 1963. 101 p.
- 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. V. 89. P. 159–166. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2007.09.017>
- Turan C.* The use of otolith shape and chemistry to determine stock structure of Mediterranean horse mackerel *Trachurus mediterraneus* (Steindachner) // *J. Fish Biol.* 2006. V. 69. P. 165–180.
- Tuset V.M., Lozano I.J., González J.A. et al.* Shape indices to identify regional differences in otolith morphology of comber, *Serranus cabrilla* (L., 1758) // *J. Appl. Ichthyol.* 2003. V. 19. P. 88–93. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0426.2003.00344.x>
- Vignon M., Morat F.* Environmental and genetic determinant of otolith shape revealed by a non-indigenous tropical fish // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2010. 411. P. 231–241. <https://doi.org/10.3354/meps08651>
- Zengin M., Saygın S., Polat N.* Otolith shape analyses and dimensions of the anchovy *Engraulis encrasicolus* L. in the Black and Marmara Seas // *Sains Malays.* 2015. V. 44. № 5. P. 657–662. <https://doi.org/10.17576/jsm-2015-4405-03>
- 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 Adriat.* 2010. V. 51. № 1. P. 89–96.

Otolith Shape Analysis of the Mediterranean Horse Mackerel, *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868) (Perciformes: Carangidae) from the Coastal Waters of Sevastopol and Balaklava (the Black Sea)

M. V. Chesalin

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences, Sevastopol 299011, Russia

Otolith shape analysis was conducted with the use of two methods in nine samples of the Mediterranean horse mackerel *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868) caught in Sevastopol and Balaklava bays in 2017–2018. The first method was based on the otolith morphometric measurements: length, width, perimeter, and area which were adjusted to the average fish length from all studied samples and the six otolith shape indices were obtained for the analysis: aspect ratio, circularity, rectangularity, roundness, form factor, and ellipticity. The second approach used coefficients of the elliptical Fourier analysis of otolith contours. No significant differences were found between left and right otoliths as well as between otoliths of males and females. The results of discrimination between the samples were different for these two methods, but in general, otoliths of the horse mackerel from all studied bays did not differ significantly in both shape indices and Fourier coefficients.

Keywords: *Trachurus mediterraneus*, otolith, shape, indices, Fourier analysis, Black Sea