

УДК 591.4:597.556.3(262.5)

Изменение морфосоматических показателей в нерестовом периоде у ставриды *Trachurus mediterraneus ponticus* и скорпены *Scorpaena porcus*

Силкин Ю. А., Василец В. Е., Силкина Е. Н., Силкин М. Ю.

Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН
Феодосия, Республика Крым, Россия
ysilkin@mail.ru

Исследовали величины индексов сердца, жабр, печени, гонад и индекс упитанности в период нереста у быстро плавающей ставриды (*Trachurus mediterraneus ponticus* Aleev) и малоподвижной скорпены (*Scorpaena porcus* L.), обитающих в более загрязненной Коктебельской и в более чистой – Карадагской бухте Черного моря. В период нереста индекс упитанности у исследуемых видов рыб достоверно не изменялся, но при межвидовом сравнении у быстро плавающей ставриды его абсолютная величина была в 2,3 раза ниже по сравнению с малоподвижной скорпеной. Величины других индексов в нерестовом периоде у исследованных рыб изменялись следующим образом. У ставриды, выловленной из Коктебельской бухты, увеличение (прирост) с июня по июль индексов сердца, жабр и гонад было в 2 раза большим, чем у особей из более чистой Карадагской бухты. Индекс печени у ставриды в исследованном периоде незначительно изменялся и был стабилен вне зависимости от уровня загрязненности бухт. У малоподвижной скорпены в этом периоде отмечено увеличение индексов печени и гонад, причем у особей из Коктебельской бухты это увеличение было в 2 раза большим в сравнении с особями из Карадагской бухты. Индексы сердца и жабр скорпены в период нереста не изменяли своей величины от степени загрязненности вод. Половые различия величины соматических индексов от уровня загрязненности бухт исследовались лишь у ставриды. У самок быстро плавающей ставриды, обитающих в более чистых водах Карадагской бухты, увеличение (прирост) сердечного индекса было в 2 раза, а гонадотропного индекса – в 4 раза большим по сравнению с самцами. Половых различий в величинах исследуемых соматических индексов у ставриды из более загрязненной Коктебельской бухты не было отмечено.

Ключевые слова: *Trachurus mediterraneus ponticus*, *Scorpaena porcus*, нерестовый период, соматические индексы, упитанность, жабры, сердце, печень, гонады, Черное море, Карадагская бухта, Коктебельская бухта.

ВВЕДЕНИЕ

Для характеристики физиологического состояния рыб, при изменяющихся условиях окружающей среды, чаще всего используются индексы печени, гонад, селезенки. В опосредованной форме они могут оценить динамику запасания энергетических веществ, состояние репродуктивной системы и, в целом – степень устойчивости организма. В меньшей степени исследуется индекс жаберного аппарата – органа, отвечающего за интенсивность потребления кислорода и, в некоторой степени, характеризующего особенности общего метаболизма рыб. Многие исследователи показали зависимость массы жабр рыб от степени загрязненности вод (Лукьяненко, 1983; Шайдуллина, 2009). Объектами биоиндикации загрязненных вод, особенно прибрежных территорий, обычно являются рыбы, ведущие оседлый образ жизни, не способные совершать длительные миграции и тем самым – не покидающие загрязненные места обитания. Некоторыми исследованиями было показано, что активно плавающие виды рыб также могут изменять величину соматических индексов при колебании качественных и количественных параметров кормовой базы или условий обитания окружающей среды (Адуева и др., 2012; Аликин и др., 2014; Силкин и др., 2019а). Иногда такие исследования проводят в посленерестовом периоде при спокойном гормональном статусе, чтобы определить более «чистый» морфофизиологический ответ организма на изменения среды обитания (Руднева и др., 2004; Силкин и др., 2019б). Вместе с тем, было показано, что изменение величин соматических индексов тесно связано с активизацией метаболических процессов в органах в другие периоды годового цикла рыб (Моисеенко, 2000; Силкин и др.,

2017). Степень активизации метаболизма организма в естественные периоды жизни определяет способность особи противостоять неблагоприятным условиям обитания (Шульман, 1972). Работ, осящающих морфофизиологические изменения рыб различных экологических групп в период активизации метаболизма в организме (преднерест, нерест) в зависимости от уровня загрязненности мест их обитания, недостаточно.

Целью настоящего исследования явилось исследовать изменения морфосоматических показателей в нерестовом периоде у быстро плавающего вида – ставриды *Trachurus mediterraneus ponticus* L. и малоподвижной скорпены *Scorpaena porcus* L., на основе сравнения значений соматических индексов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования были взяты 2 вида рыб, резко различающихся по пространственному и биотопическому распределению в прибрежных водах Черного моря: ставрида – представитель мигрантов и оседлый вид, обитатель дна – скорпена. Исследуемые рыбы были отловлены удочкой в Коктебельской и Карадагской бухте. Бухты расположены на Юго-восточном побережье Крымского полуострова и удалены друг от друга на расстоянии 9 км. Коктебельская бухта – умеренно закрытая, ограничена с обеих сторон мысами Мальчин и Хамелеон, имеет ширину около 4 км и глубину до 20 м, к юго-востоку – открыта штормовым волнениям моря. С юго-восточной стороны она примыкает к водам Карадагского заповедника, с северо-восточной – граничит с побережьем поселка Орджоникидзе, далее, на север – с Двужорной бухтой и Феодосийским заливом. То есть, Коктебельская бухта является, как бы пограничным водоразделом между антропогенно используемой частью моря и заповедником. Карадагская бухта расположена юго-восточней Коктебельской, она более открыта господствующим восточным и северо-восточным волнениям моря, что позволяет нейтрализовать его гипоксические зоны. Это более мелководная бухта, где воды быстро прогреваются, создавая благоприятные условия для жизни фито – и зоофауны. Карадагская бухта в последние 40 лет находится в зоне Карадагского заповедника. Режим заповедника создает благоприятные условия для развития ихтиофауны, хотя воды бухты подвергаются воздействию хозяйственных сточных вод поселка Курортное. Воды обеих бухт в летнем периоде имеют постоянную соленость (17–18 ‰) и температуру (23–26 °C). В отличие от Карадагской бухты, Коктебельская бухта в большей степени подвержена влиянию загрязненности вод из Феодосийского залива и побережий поселков Орджоникидзе и Коктебель. Положение с чистотой этой бухты усугубляется большой рекреационной нагрузкой в летний период и отсутствием эффективных очистных сооружений в этих поселках. Гидрохимические показатели вод в летние месяцы у пос. Коктебель превышали величины ПДК по БПК₅, окисляемости, концентрации аммонийного азота (Ковригина, Родионова, 2018). Карадагская бухта менее подвержена загрязнению хозяйственными стоками, в ней отсутствуют рекреационные и другие сопутствующие загрязнению факторы. Большие глубины, разнообразие подводного ландшафта, наличие укрытий для гидробионтов уникального вулканического массива Карадаг, к которому с противоположных сторон примыкают Коктебельская бухта и Карадагская, создают благоприятные условия для нереста и нагула многих видов рыб. У юго-восточного побережья Крыма обитает около 90 видов и подвидов рыб, основу ихтиокомплекса формируют морские рыбы (Шаганов, 2018).

Исследования проводили при температуре воды в море, равной 23–24 °C – в июне и при 24–25 °C – в июле месяце. Физиологическое состояние рыб в этом периоде соответствовало IV–V и V стадиям развития гонад, то есть организм исследуемых рыб находился в активном метаболическом статусе, необходимом для осуществления дозревания и вымета половых продуктов. По образу жизни исследуемые виды рыб резко различались. Ставрида – представитель пелагиали, хищник, быстрый пловец, постоянно находящийся в движении – активно мигрирующий вид. Как и у всех активных пловцов, для ставриды характерен высокий уровень метаболизма с использованием высокоэнергетических субстратов: липидов, белков, углеводов (Шульман, 1972; Силкина, 1991). Скорпена – малоподвижный вид, не совершает

длительных передвижений, долгое время может находиться в неподвижном состоянии, хищник – засадчик. Этот вид для осуществления метаболических процессов использует в основном белки и углеводы (гликоген), которые он накапливает в органах и тканях. Из-за малого запаса жиров в организме скорпена относится к «тощим» рыбам (Шульман, 1972). У обоих видов рыб икротетание порционное. Исследуемые виды рыб подвергали биологическому анализу. Определение величин индексов органов у рыб проводили по общепринятой методике (Правдин, 1966). Вес исследуемых органов определяли на весах ВЛКТ-500М с погрешностью в 0,1 г. Сердце взвешивали на торсионных весах ВТ-100 (погрешность 0,01 г). Индексы органов рассчитывали по формуле:

$$X = \frac{W_o \times 100}{W},$$

где: X-индекс органа; W_o – масса органа; W – масса рыбы без внутренностей.

Индекс упитанности рассчитывали по Ф. Н. Кларку (Правдин, 1966) согласно формуле:

$$Q = \frac{W_o \times 100}{L^3},$$

где: Q – индекс упитанности; W – вес рыбы без внутренностей; L – общая длина тела рыбы.

Полученные данные статистически обработаны (Лакин, 1990) и представлены как среднее арифметическое \pm стандартное отклонение ($\bar{x} \pm S_x$). Исследовано 296 особей. Из них в опыт было взято 189 ставриды (120 – из Карадагской бухты и 69 – из Коктебельской) и 107 особей скорпены (57 – из Карадагской бухты и 50 – из Коктебельской бухты).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Размерно-весовые характеристики исследуемых видов из двух бухт с разным уровнем загрязненности представлены в таблице 1.

Таблица 1

Размер и вес исследуемых видов рыб, отловленных в Коктебельской и Карадагской бухте в период нереста

Карадагская бухта								
Вид рыбы	Масса тушки, г min–max		Средний вес тушки, г		Длина тела, см min–max		Средняя длина тела, см	
	Самка	Самец	Самка	Самец	Самка	Самец	Самка	Самец
Ставрида	13,7–34,1	14,1–35,2	23,8 \pm 0,6	24,7 \pm 0,9	10,5–18,0	12,5–16,5	14, \pm 0,1	14,5 \pm 0,1
Скорпена	41,0–300,0	35,9–117,0	151,3 \pm 10,6	56,1 \pm 1,8	12,5–26,8	12,5–17,8	20,1 \pm 0,5	14,5 \pm 1,4
Коктебельская бухта								
Вид рыбы	Масса тушки, г min–max		Средний вес тушки, г		Длина тела, см min–max		Средняя длина тела, см	
	Самка	Самец	Самка	Самец	Самка	Самец	Самка	Самец
Ставрида	19,9–66,2	11,3–63,2	38,2 \pm 3,8	37,1 \pm 2,2	13,5–20,0	11,0–20,5	16,0 \pm 0,5	16,3 \pm 0,3
Скорпена	52,7–480,0	38,0–103,0	201,0 \pm 25,0	57,2 \pm 9,8	12,5–28,0	12,5–22,8	20,1 \pm 0,9	15,5 \pm 1,4

Из данных таблицы 1 видно, что размерно-весовые характеристики в наибольшей степени изменяются от вида, половой принадлежности рыб и в меньшей степени от места лова особей. Ставрида намного мельче скорпены, вес ее тушки почти в 6 раз (самки) меньше, а длина – на 20–30 % короче не зависимо от мест обитания особей. Зависимости веса и

размера ставриды от половой принадлежности особей из обеих бухт нами не отмечено. При сравнении размерно-весовых характеристик ставриды из двух бухт, показано, что независимо от пола вес особей из Коктебельской бухты был на 36 %, а длина тела – на 12 % больше, чем у ставриды из Карадагской бухты. У скорпены четко изменяется вес особей от пола и в некоторой степени – от места обитания, а размерные характеристики особей остаются постоянными в обеих бухтах. В отличие от ставриды у скорпены наблюдается четкий диморфизм в весе особей: самки в обеих бухтах на 60–70 % имеют вес больше, чем самцы, размерные характеристики при этом менее выражены и составляют 23–25 % (табл. 1).

Исследуемые величины индексов органов в нерестовом периоде ставриды и скорпены в зависимости от пола и места обитания представлены в таблицах 2 и 3. Наибольшие изменения величин исследуемых индексов органов ставриды отмечены у особей в зависимости от места их обитания (табл. 2, рис. 1).

Таблица 2

Величины соматических индексов ставриды в период нереста в зависимости от пола и места обитания особей (долг от сырого веса, %)

Месяц	Индекс сердца		Индекс печени		Индекс гонад		Индекс жабр		Индекс упитанности	
	самка	самец	самка	самец	самка	самец	самка	самец	самка	самец
Карадагская бухта										
VI	0,14±0,01 n=19	0,15±0,01 n=18	1,2±0,1 n=19	0,7±0,04 n=18	2,8±0,1 n=19	3,1±0,1 n=18	2,5±0,01 n=19	2,3±0,09 n=18	0,7±0,02 n=19	0,69±0,02 n=18
VII	0,17±0,01 n=13	0,16±0,01 n=19	1,5±0,01 n=13	0,9±0,04 n=17	5,2±0,6 n=13	3,5±0,4 n=17	2,5±0,08 n=13	2,8±0,1 n=13	0,7±0,01 n=13	0,7±0,03 n=17
Коктебельская бухта										
VI	0,14±0,01 n=47	0,14±0,01 n=31	1,1±0,08 n=47	0,8±0,04 n=31	5,4±0,3* n=47	7,4±0,7* n=31	2,2±0,05 n=35	2,0±0,03* n=31	0,7±0,01 n=47	0,76±0,01 n=31
VII	0,2±0,01* n=28	0,2±0,02* n=14	1,1±0,1* n=28	1,0±0,1 n=14	1,0±0,07* n=28	0,8±0,01* n=14	3,2±0,1* n=28	3,2±0,1* n=14	0,7±0,02 n=28	0,7±0,01 n=14

Примечания к таблице: n – число рыб в опыте; звездочкой (*) отмечено достоверное различие при попарном сравнении значений индексов между бухтами при $p < 0,05$.

Показано, что наибольшее увеличение соматических индексов у ставриды отмечено в июле месяце по сравнению с июнем. Прирост величин (Δ) соматических индексов в июле, выраженный в % к величинам индексов в июне, представлен на рисунке 1.

Так, у ставриды из Коктебельской бухты в период с июня по июль индекс сердца увеличился на 30 % как у самок, так и у самцов (рис. 1). У ставриды из Карадагской бухты увеличение массы сердца было менее интенсивным – на 18 % и только у самок. Изменения индекса жабр у ставриды в этот период были аналогичны изменениям индексу сердца. Так, с июня по июль индекс жабр у ставриды из бухты Коктебель увеличился на 31 % – у самок и на 38 % – у самцов. У рыб из Карадагского взморья индекс жабр был на 8 % больше – у самцов, а у самок – не изменился вовсе (рис. 1). То есть, в период нереста увеличение индексов сердца и жабр было значительно больше у ставриды из более загрязненной Коктебельской бухты, чем у особей из чистой Карадагской бухты. Различия величин индексов сердца и жабр между самками и самцами ставриды в период нереста у особей из Коктебельской бухты были недостоверными (колебания в пределах 10 %). У ставриды из более чистой бухты Карадаг изменение (прирост) индекса сердца у самок было в 2 раза, а индекса гонад – в 4 раза большим, чем у самцов (рис. 1).

Прирост величины индекса печени с июня по июль у ставриды из обеих бухт был небольшим (20–26 %) и не зависел от степени загрязненности вод бухт (рис. 1). Половые

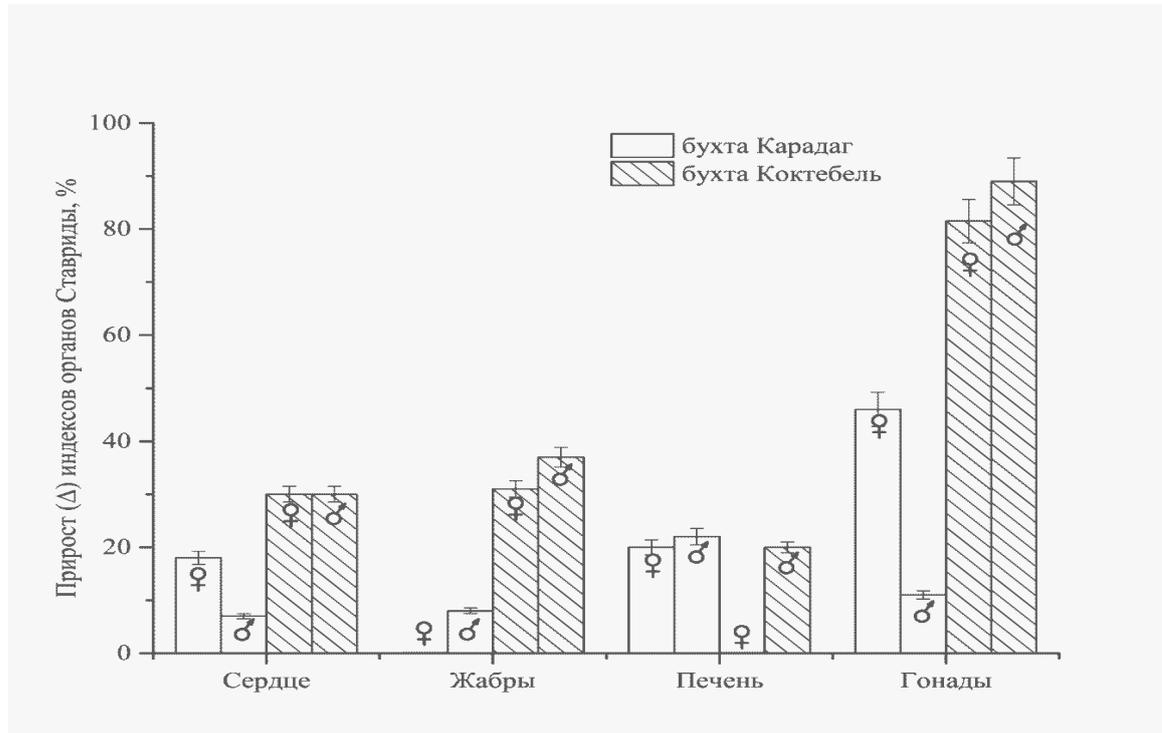


Рис. 1. Изменение прироста величин (Δ) соматических индексов ставриды в бухтах Карадаг и Коктебель в июле по отношению к июню

изменения в величинах индекса печени у ставриды в этот период отмечены только у особей из Коктебельской бухты: величина индекса печени у самцов была на 20 % выше, чем у самок. У ставриды из Карадагской бухты половых изменений прироста индекса печени в июле месяце не отмечено (табл. 2).

В сравнении с исследованными индексами изменения гонадотропного индекса в период нереста были наибольшими. Так, значительное увеличение (на 85 %) индекса гонад в июле месяце отмечено у ставриды, обитающей в Коктебельской бухте (рис. 1). У рыб из Карадагской бухты прирост массы гонад было менее значительным: на 46 % (у самок), причем эти изменения произошли в июне месяце, то есть на месяц раньше, чем у особей из Коктебельской бухты. Половые изменения индекса гонад ставриды также были неоднозначны. У особей из Коктебельской бухты половые изменения гонадотропного индекса были недостоверными, а у ставриды из Карадагского побережья прирост массы гонад у самок было в 4 раза больше, чем у самцов.

Индекс упитанности у ставриды за исследованный период не изменялся от пола, места и времени лова. Однако при сравнении со скорпеной, видно, что индекс упитанности у быстро плавающей ставриды был на 40 % меньше, чем у малоподвижного вида, находящегося в тех же условиях (табл. 2 и 3).

У другого исследуемого вида рыб – малоподвижной скорпены в исследуемом периоде изменения соматических индексов были не так ярко выражены, как у активного пловца ставриды. Величины соматических индексов скорпен из Коктебельской и Карадагской бухты в период нереста представлены в таблице 3.

Наибольшие изменения величин индексов во время нереста скорпены отмечены в печени и гонадах (табл. 3). Причем, в отличие от ставриды, у скорпены увеличение индексов отмечено не в июле, а в июне месяце. Прирост величин соматических индексов скорпены в двух бухтах в исследуемых месяцах, выраженный в %, представлен на рисунке 2. Показано, что прирост величины индекса печени у скорпен из загрязненной бухты (Коктебель) был в 2

Таблица 3

Индексы органов скорпены в нерестовом периоде в зависимости
от пола и места вылова рыб (%)

Месяц	Индекс сердца		Индекс печени		Индекс гонад		Индекс жабр		Индекс упитанности	
	самка	самец	самка	самец	самка	самец	самка	самец	самка	самец
Карадагская бухта										
VI	0,11±0,01 n=26	0,09±0,01 n=16	1,8±0,1 n=26	1,49±0,2 n=22	3,9±0,2 n=26	1,5±0,1 n=18	3,1±0,1 n=26	2,5±0,1 n=18	1,5±0,03 n=26	1,5±0,0 n=18
VII	0,09±0,004 n=15	-	1,4±0,1 n=15	-	2,8±0,3 n=18	-	2,6±0,08 n=18	-	1,5±0,06 n=18	-
Коктебельская бухта										
VI	0,11±0,01 n=17	-	4,4±0,4* n=17	-	2,2±0,1* n=19	-	3,5±0,1* n=118	-	1,7±0,09 n=7	-
VII	0,09±0,006 n=17	0,1±0,03 n=16	2,4±0,3* n=17	1,8±0,1 n=16	1,1±0,1* n=14	-	3,2±0,3 n=17	2,9±0,08 n=16	1,6±0,06 n=17	1,6±0,1 n=16

Примечания к таблице: n – число рыб в опыте; звездочкой (*) отмечено достоверное различие при парном сравнении значений индексов между бухтами при $p < 0,05$; - – отсутствие данных.

раза больше, чем у особей из более чистой Карадагской бухты. Следует отметить, что представленные данные по скорпене были получены в основном от самок, так как самцы нечасто попадались в уловах. Тем не менее, имеющиеся данные по изменению величин индексов печени в связи с полом свидетельствуют о том, что у самок скорпен индекс печени выше, чем у самцов: в Коктебельской бухте – на 25 %, в бухте Карадаг – на 17 % (табл. 3).

Изменения индекса гонад у скорпен в обеих бухтах были аналогичны изменениям индексу печени (рис. 2). Показано, что прирост величины гонадотропного индекса у скорпен из бухты Коктебель был в 2 раза больше, в сравнении с особями из более чистой бухты Карадаг (рис. 2). Половые различия величин индекса гонад в исследуемом периоде у скорпен из обеих бухт были незначительными (табл. 3).

Изменения величин индексов сердца и жабр у скорпен из обеих бухт в период нереста были не столь значительны, как у быстро плавающей ставриды (табл. 3). Показано, что масса сердца и жабр у скорпен в период нереста увеличивается на 18 % независимо от степени загрязнения вод в обитаемых бухтах (рис. 2). В сравнении с самцами индекс жабр у самок скорпены из Карадагской бухты был выше на 18 %, а у особей из Коктебельской бухты – на 10 %. Достоверных половых различий в величинах индекса сердца у скорпены от уровня загрязненности вод нами не отмечено (табл. 3).

Индекс упитанности в период нереста у малоподвижной скорпены изменялся незначительно: у особей из Коктебельской бухты он был на 8 % выше, в сравнении с особями из Карадагской бухты. Однако при сравнении двух видов рыб оказалось, что у скорпен он был на 40 % больше, чем у активно плавающей ставриды не зависимо от степени загрязненности бухт (табл. 3).

ОБСУЖДЕНИЕ

Как известно, период размножения – это ключевой момент в жизни популяций рыб. Нерест определяет характер динамики важнейших метаболических процессов в организме. Дозревание и выметывание половых продуктов у рыб связано с большими энергетическими затратами. У большинства азовско-черноморских видов период нереста характеризуется высоким уровнем метаболизма за счет активизации ферментного пула, интенсификации использования депонированных энергетических субстратов, а также за счет интенсивного потребления пищи в этот ответственный период жизни (Шульман, 1972). К таким видам

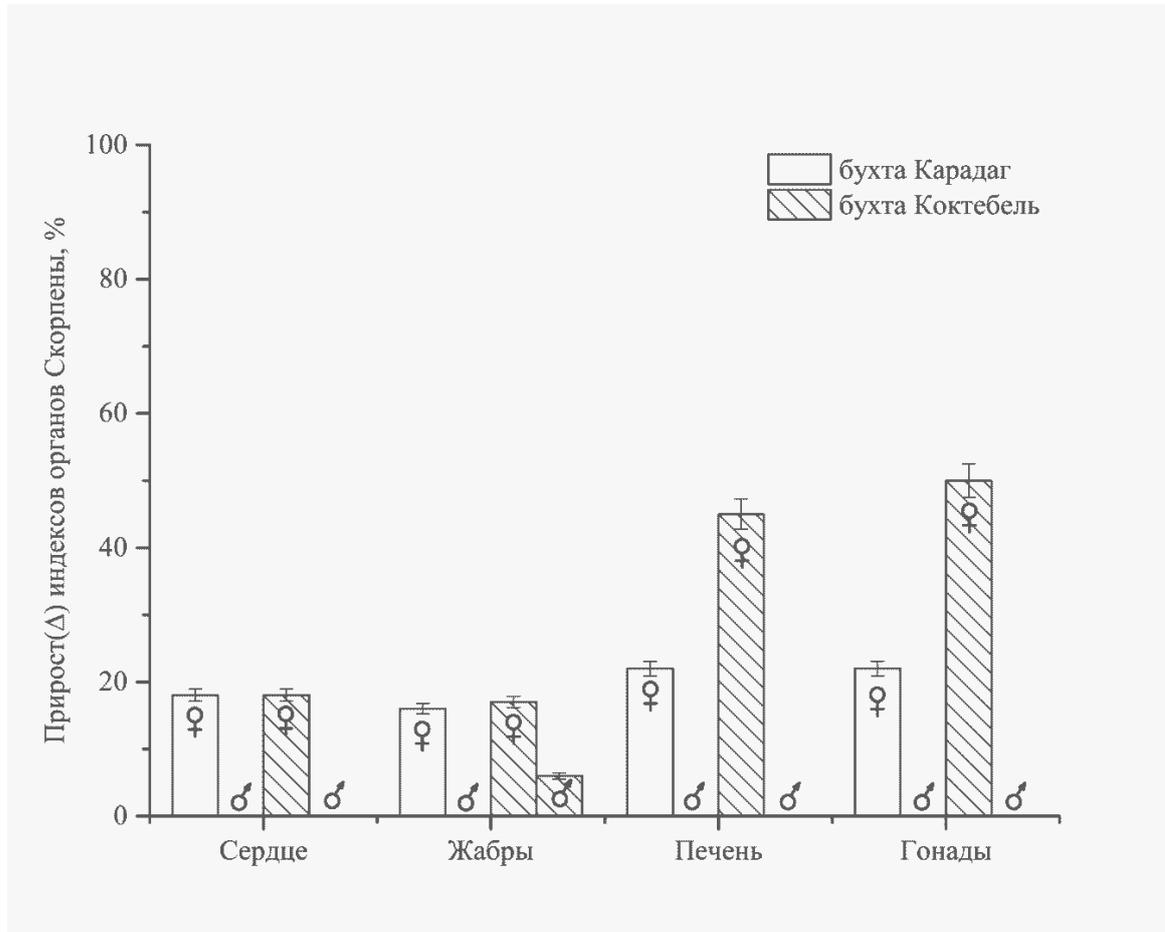


Рис. 2. Изменение величины (Δ) соматических индексов скорпены в бухтах Карадаг и Коктебель в период нереста

относится и черноморская ставрида, у которой в этот период интенсивность питания увеличивается, наступает так называемый нерестовый «жор». У скорпены метаболизм менее интенсивен, она относится к «тощим» рыбам, основным «депо» энергии у нее является печень. В период нереста у этого вида отмечена наибольшая встречаемость «пустых» желудков, то есть для ерша характерны длительные периоды между приемами пищи (Хирина, 1950). Активизация метаболических процессов в организме происходит за счет более интенсивного потребления кислорода. У рыб основными органами, участвующими в доставке кислорода к органам являются жабры и сердце. Значительное увеличение индекса сердца у ставриды, обитающей в более загрязненных водах Коктебельской бухты, видимо, связано с изменением интенсивности движения особей в этой среде в период нереста. Масса сердца – показатель консервативный, являющийся отражением состояния сердечно – сосудистой системы. Как известно, индекс сердца у активно плавающих морских и пресноводных костистых видов больше, чем у малоподвижных рыб (Астахова, 1983; Grim et al., 2012; Болгарев, Кузьмина, 2017). Сезонные изменения массы сердца у рыб в литературе освещены незначительно. Увеличение массы сердца у черноморской ставриды в летнем периоде было показано В. Ивановым (Иванов, 1983). Ранее нами было показано, что в осеннем периоде индекс сердца у ставриды из Карадагской бухты был на 20 % меньше, чем в июле месяце (Силкин и др., 2019в). При исследовании загрязненных мест обитания этот показатель используется редко. Однако если в местах обитания уменьшается количество кислорода, то для выживания особи организм увеличивает интенсивность метаболизма. Для более быстрой доставки кислорода в органы усиливается сердцебиение, что и приводит к увеличению массы органа. Вероятнее всего, увеличение массы сердца в летнем периоде у ставриды из более

загрязненной бухты является отражением усиления двигательной активности, не только необходимой для осуществления процесса нереста, но и увеличения сердцебиения в условиях низкой насыщенности воды кислородом. Как известно, нерест у ставриды протекает довольно активно: самцы поднимаются в верхние слои воды и выпускают молоки, а самки быстро опускаются на глубину, выметывают икру, которая поднимается вверх и, проходя через слои воды с молоками, оплодотворяется (Световидов, 1964). Активизация движения большого количества моторных лодок, катеров и других плавательных средств, а также неблагоприятная гидрохимическая характеристика вод Коктебельского взморья в летнем периоде видимо способствует усилению двигательной активности ставриды в этой бухте (Ковригина, Родионова, 2018). Исследованиями А. Фаррелля (Farrell, 2007) было показано, что ответной реакцией рыб на экологическую гипоксию является увеличение объема сердца для более полного извлечения кислорода из крови. Увеличение кардиосоматического индекса у русского осетра в морской период было отмечено в связи с загрязнением среды обитания (Фунг, 2014).

Изменения индекса жабр у исследуемых ставрид в этот период аналогичны изменениям индексу сердца. Также как и индекс сердца, индекс жабр был в 2 раза больше у ставрид из более загрязненной бухты Коктебель в сравнении с особями из чистой бухты Карадаг. Функцией жабр является обеспечение организма кислородом, этот орган способен чутко реагировать на изменение содержания кислорода в окружающей среде. С физиологической точки зрения функции сердца и жабр тесно связаны и являются в некоторой степени характеристикой уровня метаболизма организма. При активизации метаболизма у активно плавающего вида (форель) ионы лактата, приносимые кровью в жабры, раздражают в них чувствительные к кислороду клетки, в результате чего увеличивается вентиляция жабр, а также и объем сердца (Thomsen et al., 2019). Другими исследователями было также показано, что коэффициент переноса кислорода у тунцов был в 10–50 раз больше, чем у других костистых видов рыб, вследствие большей площади поверхности жабр (Bushnell, Brill, 1992). У рыб с высоким уровнем метаболизма (судак, форель) отмечен довольно высокий индекс жабр (Хрусталева и др., 2016; Молчанов, 2018). Однако у некоторых черноморских рыб четкой зависимости массы жабр от уровня естественной подвижности не было отмечено (Силкин и др., 2019а). Сезонные изменения величин индекса жабр в литературе освящены слабо. Ранее нами было показано, что в посленерестовом периоде индекс жабр у ставриды из Карадагской бухты был на 20% ниже (Силкин и др., 2019в) в сравнении с ныне исследуемым периодом нереста. Другие исследователи отмечают увеличение массы жабр у рыб, обитающих в загрязненных водоемах (Лукьяненко, 1987; Шайдуллина, 2009; Спирина, 2011). Считается, что это защитная реакция организма, направленная на увеличение интенсивности метаболизма, необходимого для нейтрализации токсикантов среды. При этом усиленное потребление кислорода, сопровождающееся учащением дыхательных движений, создает нагрузку на жабры, в результате чего происходит разрастание и утолщение жаберного эпителия и, в конечном счете – увеличение массы органа. Отмеченное нами увеличение массы жабр (на 31–38 %) у ставриды из Коктебельской бухты, видимо отражает увеличение уровня общего метаболизма, связанного не только с осуществлением процесса нереста, но и необходимого для детоксикации загрязненных вод, омывающих жабры.

Несмотря на увеличение индексов органов кардиореспираторной функции у ставриды из загрязненных вод, изменений индекса печени от степени загрязненности вод, исследуемых бухт в этом периоде нами не было отмечено. Сходные результаты были получены Н. Кузьминой при исследовании ставрид из разных бухт города Севастополя в период нереста (Кузьмина, 2006). Как известно, печень является депонирующим органом. В подготовке к нересту и его осуществлению метаболизм рыб активизируется для синтеза и аккумуляции энергетических веществ в организме, и в первую очередь – в печени. Это мы и наблюдаем в наших исследованиях, показывающих, что индекс печени в период нереста рыб увеличивается на 20 %. Многими исследователями было отмечено увеличение массы печени в преднерестовом периоде и в состоянии нереста рыб (Руднева, 2004; Кузьмина, 2006). Вес печени у рыб также может увеличиваться в ответ на обитание в загрязненных водах. Это было

показано многочисленными работами на морских и пресноводных видах (Лапирова и др., 2003; Кузьминова, 2005; Кузьминова, 2006). Отсутствие реакции массы печени ставриды на степень загрязненности вод обитания, видимо отражает характер метаболизма ее организма. Известно, что ставрида характеризуется высоким уровнем обмена, который поддерживается усиленным питанием даже в период нереста. Видимо, у ставриды в поставке энергетического материала, необходимого для осуществления генеративной функции и детоксикации загрязнений среды участвует не только печень, но и такие метаболически активные органы как мышцы (их количество в теле составляет около 50 %), а также жабры и почки (Силкина, 1991; Силкин и др., 2017).

Как известно, величина гонадотропного индекса и индекса печени отражают степень готовности организма к вымету половых продуктов. Значительное увеличение индекса гонад у ставриды из Коктебельской бухты в июне месяце указывает на то, что пик нереста в этой бухте произошел на месяц раньше, чем в чистой бухте Карадаг. У ставриды, обитающих в Карадагской бухте, увеличение индекса гонад и печени было отмечено в июле месяце, то есть видимо пик нереста в этой бухте произошел в этом месяце. Подобный факт был отмечен А. Световидовым (1964) еще в то время, когда воды этой бухты были намного чище, чем в настоящее время. Неоднозначные изменения величин индекса гонад ставриды из обеих бухт, скорее всего, связаны с особенностями экологии вод обитания. Известно, что ухудшение экологических условий пресноводных и морских водоемов может влиять на генеративную функцию рыб, изменяя продолжительность и качество эмбриогенеза, и в итоге – формирование половых продуктов (Руднева, 2016; Минеев, 2017). В нашем случае, сдвиг пика нереста у ставриды из двух бухт с разным уровнем загрязненности можно объяснить тем, что при влиянии экстренных ситуаций (изменение температуры, солености, кислородной насыщенности вод, загрязнением их поллютантами) организм старается быстрее активизировать усилия для осуществления продолжения рода. Возможно, поэтому нерест ставриды в Коктебельской бухте произошел раньше, чем в более чистых водах Карадагского побережья.

Индекс упитанности у ставриды за исследованный период не изменялся от пола, места и времени лова. Как известно, упитанность организма является отражением степени запаса энергетических веществ, необходимых для переживания неблагоприятных условий существования. Период нереста характеризуется высокой степенью энергетических затрат для осуществления процесса генеративной функции. В этот период многие виды рыб даже прекращают питание, поэтому естественно, масса тела в период нереста имеет низкие показатели. При сравнении со скорпеной, видно, что индекс упитанности у быстро плавающей ставриды был на 40 % меньше, чем у малоподвижного вида, находящегося в тех же условиях (табл. 1 и 2). Указанный факт характерен для многих активно плавающих видов рыб и связан не только с уровнем интенсивности обмена веществ в организме, но и особенностями депонирования питательных веществ. Быстро плавающие рыбы, имеют возможность не депонировать большое количество энергетических веществ в органах и тканях (Шульман, 1972; Морозова и др., 1978) ввиду того, что они не прекращают питание в этот ответственный период жизни. За счет питания формирование гонад идет быстро и эффективно без использования ранее накопленных резервов, как это имеет место у малоподвижных видов рыб.

Таким образом, в период нереста быстро плавающая ставрида на загрязнение окружающей среды реагирует усилением кардиореспираторной функции и ускорением процесса нереста.

Малоподвижный вид – скорпена на загрязнение среды обитания в период нереста реагировал значительным увеличением массы печени и гонад (табл. 3). Увеличение индекса печени у скорпен, обитающих в загрязненных бухтах отмечали многие исследователи и связывали это с усилением метаболизма в печени, необходимого для детоксикации загрязнителей вод (Кузьминова, 2016; Руднева, 2016). Кардиореспираторная функция в период нереста у скорпены из более загрязненной бухты не изменялась, по сравнению с особями из более чистой бухты. Видимо в этом периоде двигательная и дыхательная

активности скорпены в загрязненных водах были аналогичны особям из более чистой бухты. Скорпена, как было указано выше – постоянный обитатель прибрежных вод. Для этой области обитания характерны такие параметры, как резкое изменение температуры, солености, кислородного насыщения воды, многомесячное голодание, загрязненность бытовыми и химическими отходами. Многочисленными исследованиями было показано, что организм скорпены хорошо приспособлен к переживанию резких негативных изменений среды обитания (Белокопцын, 1978; Солдатов и др., 2014; Руднева, 2016). Исследователями было показано, что организм скорпены имеет физиолого-морфологические и биохимические приспособительные реакции, которые позволяют этому виду выжить в довольно суровых условиях. По всей видимости, уровень загрязненности вод Коктебельской бухты являлся не столь сильным стрессовым воздействием для скорпены, который бы затрагивал соматические изменения организма в период генеративной функции. Видимо, ввиду низкого уровня общего метаболизма скорпены, в недолгий период нереста, у нее происходит активизация метаболизма, необходимого лишь для обеспечения процесса продолжения рода, без реакции организма на степень загрязненности вод обитания. В то время как, у активно подвижных рыб отмечается четкий ответ морфологических изменений органов на качество окружающей среды в период активизации метаболизма, обеспечивающего процесс нереста.

ВЫВОДЫ

1. У быстро плавающей ставриды, обитающей в загрязненных водах Коктебельской бухты прирост величины индексов сердца, жабр и гонад в период с июня по июль был в 2 раза большим, чем у особей из чистой бухты. Индекс печени ставриды на протяжении всего периода нереста был стабилен в Коктебельской и Карадагской бухте. В этот период индекс упитанности у ставриды был на 40 % ниже, чем у скорпены.

При сравнении особенностей морфосоматических показателей в зависимости от пола было установлено, что у самок ставриды, по сравнению с самцами из более чистых вод Карадагской бухты, изменения величин сердечного индекса было в 2 раза, а гонадотропного индекса – в 4 раза большими. Напротив, половых различий величин этих индексов у ставрид из загрязненных вод Коктебельской бухты не было установлено.

2. У малоподвижной скорпены в период нереста отмечено увеличение индексов печени и гонад. При этом, у особей из Коктебельской бухты это увеличение было в 2 раза большим по сравнению с особями из Карадагской бухты. Индексы упитанности, сердца и жабр скорпены в период нереста не изменяли своей величины и были стабильны вне зависимости от уровня загрязненности вод Коктебельской и Карадагской бухт.

Работа выполнена в рамках темы гос. задания № АААА-А19-1190124900045-0 Изучение фундаментальных физических, физиолого-биохимических, репродуктивных, популяционных и поведенческих характеристик морских гидробионтов.

Список литературы

- Адуева Д. Р., Крючков В. Н., Аль-Бурай А. М. Морфофизиологические особенности кефалей рода *Liza* из бассейнов Каспийского и Красного морей // *Естественные науки*. – 2012. – № 2 (39). – С. 118–122.
- Аликин Ю. С., Щелкунов И. С., Щелкунова Т. И. Проблемы отечественной вирусной ихтиопатологии и пути их решения // *Рыбоводство и рыбное хозяйство*. – 2014. – № 1. – С. 56–59.
- Астахова Л. П. Зависимость индекса сердца и мозга черноморских рыб от их естественной подвижности // *Журнал эволюционной биохимии и физиологии* – 1983. – № 6. – С. 294–296.
- Белокопцын Ю. С. Уровни энергетического обмена у взрослых рыб // *Элементы физиологии и биохимии общего и активного обмена у рыб*. – К.: Наукова Думка, 1978. – С. 46–63.
- Иванов В. А. Морфофизиологические индексы рыб Черного моря разной экологии. Рукопись дипломной работы биологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова. – М, 1983. – 68 с.
- Ковригина Н. П., Родионова Н. Ю. Гидрохимические особенности // *Биология Черного моря у берегов Юго-Восточного Крыма* [Ред. Н. С. Костенко]. – Симферополь: АРИАЛ, 2018. – С. 59–76.

- Кузьмина Н. С. Биоразнообразие. Экология. Адаптация: Материалы II международной научной конференции посвященной 140-летию Одесского национального ун-та им. М. М. Мечникова (Одесса, 28 марта 2005 г.). – Одесса, 2005. – С. 134.
- Кузьмина Н. С. Индекс печени черноморской ставриды как индикатор ее физиологического состояния // Рыбное хозяйство Украины. – 2006. – № 2 (43). – С. 36–38.
- Кузьмина Н. С., Овен Л. С., Салехова Л. П., Шевченко Н. Ф., Самой Ю. В. 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. 31–124.
- Лакин Г. Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
- Лапирова Т. Б., Балабанова Л. В., Микряков В. Р. // Проблемы иммунологии, патологии и охраны здоровья рыб: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Борок 16-18 июля 2003г.) – М., 2004. – С. 112–122.
- Лукьяненко В. И. Общая ихтиотоксикология. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 320 с.
- Минеев А. К. Современное морфофизиологическое состояние массовых видов рыб в экологических условиях водоемов и водотоков бассейна средней и нижней Волги: автореф. дис. ... док. биол. наук. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2017. – 37 с.
- Моисеенко Т. И. Морфофизиологические перестройки организма рыб под влиянием загрязнения (в свете теории С. С. Шварца) // Экология. – 2000. – № 6. – С. 463–472.
- Молчанов К. А. Рыбоводно-биологические особенности формирования маточного стада радужной форели в установках замкнутого водоснабжения: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Калининград: КГТУ, 2018. – 24 с.
- Морозова А. Л., Астахова Л. П., Силкина Е. Н. Углеводный обмен при плавании рыб // Элементы физиологии и биохимии общего и активного обмена у рыб. – Киев: Наукова думка, 1978. – С. 122–144.
- Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. – М.: Пищевая промышленность, 1966. – 375 с.
- Руднева И. И., Шевченко Н. Ф., Залевская И. Н., Овен Л. С., Скуратовская Е. Н. Комплексная оценка качества водной среды с помощью биомаркеров разного уровня // Актуальные проблемы водной токсикологии: (сб. статей) / [Ред. Б. А. Флеров]. – Борок, 2004. – С. 124–149.
- Руднева И. И. Экотоксикологические исследования прибрежной черноморской ихтиофауны в районе Севастополя. – М.: ГЕОС, 2016. – 360 с.
- Световидов А. Н. Рыбы Черного моря. – М.: Наука, 1964. – 552 с.
- Силкина Е. Н. Особенности углеводного обмена в скелетных мышцах и печени рыб различной естественной подвижности: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Ленинград: ИЭФиБ АН СССР РАН, 1991. – 24 с.
- Силкин Ю. А., Василец В. Е., Черняева В. Н., Силкина Е. Н., Петрова Т. Н. Динамика величин гонадосоматического индекса, индекса печени и индекса упитанности в весенне-летний период у некоторых черноморских рыб разной экологии // Актуальные проблемы биоразнообразия и природопользования: Материалы конференции (Керчь, 26 сентября 2017 г.). – Симферополь, 2017. – С. 134–135.
- Силкин Ю. А., Василец В. Е., Силкина Е. Н., Черняева В. Н. Морфофизиологические характеристики черноморского саргана (*Belone belone euxini* Günter, 1866) в посленерестовом периоде у берегов Юго-восточного Крыма // Экосистемы. – 2019. – № 17 (48). – С. 77–86.
- Силкин Ю. А., Василец В. Е., Силкина Е. Н. Особенности соматических индексов некоторых черноморских рыб разной экологии в осеннем периоде // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – природного заповедника РАН. – 2019. – Вып. 2 (10). – С. 22–29.
- Солдатов А. А., Андреева А. Ю., Новицкая В. Н., Парфенова И. А. Содержание мембранных и метаболических функций в ядерных эритроцитах *Scorpaena porcus* L. При гипоксии (эксперименты *in vivo* и *in vitro*) // Журнал эволюционной биохимии и физиологии – 2014. – Т. 50, № 5. – С. 358–363.
- Спирина Е. В. Морфофизиологический гомеостаз *Carrasius auratus gibelio* Bloch // Проблемы региональной экологии. – 2011. – № 1. – С. 57–62.
- Трощенко О. А., Ковригина Н. П. Особенности распределения гидролого-гидрохимических показателей в прибрежной зоне Карадагского природного заповедника и Коктебельской бухте в теплый период 2005-2014 годов // Заповедники Крыма: Мат. VIII между. науч. конф. (Симферополь, 28 апреля 2016 г.). – Симферополь, 2016. – С. 169–171.
- Хирина В. А. Материалы по питанию некоторых бентосоядных рыб прибрежной зоны Черного моря у Карадага // Труды Карадагской Биологической Станции АН УССР. – 1950. – Вып. 10. – С. 53–65.
- Хрусталева Е. И., Курапова Т. М., Молчанов К. А. Возрастные изменения морфофизиологических показателей у судака первой генерации при выращивании в условиях замкнутого водообеспечения // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2016. – № 12 (200). – С. 85–91.
- Шаганов В. В. Рыбы // Биология Черного моря у берегов Юго-Восточного Крыма / [Ред. Н. С. Костенко]. – Симферополь: АРИАЛ, 2018. – С. 130–143.
- Шайдуллина Ж. М. Сезонная возрастная динамика морфологических показателей леща реки Урал: автореф. канд. дис. ... канд. биол. наук. – Астрахань: АГТУ, 2009. – 24 с.
- Шульман Г. Е. Физиолого-биохимические особенности годовых циклов рыб. – М.: Пищевая промышленность, 1972. – 368 с.

Фунг Н. Д. Исследование популяции русского осетра (*Acipenser gueldens taedtii*) в Волго-Каспийском бассейне методом морфофизиологических индикаторов: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Астрахань: АГТУ, 2014. – 29 с.

Bushnell P. G., Brill R. W. Oxygen transport and cardiovascular responses in skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) and yellow fin tuna (*Thunnus albacares*) exposed to acute hypoxia // *Journal of Comparative Physiology B*. – 1992. – Vol. 162, N 2. – P. 131–143.

Farrell A. P., Tribute to P. L. Lutz: a message from the heart why hypoxic bradycardia in fishes? // *Journal of Experimental Biology*. – 2007. – Vol. 210, N 10. – P. 1715–1725.

Grim J. M., Ding A. A., Bennett W. A. Differences in activity level between cow nose rays (*Rhynoptera bonasus*) and Atlantic Sting rays (*Dasyatis sabina*) are related to differences in heart mass, hemoglobin concentration, and gill surface area. // *Fish Physiology and Biochemistry*. – 2012. – Vol. 38, N 5. – P. 1409–1417.

Thomson M. T., Lefevre S., Niesson G. E., Whand T., Bayley M. Effects of lactate ions on the cardiorespiratory system in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // *AJP Regulatory Integrative and Comparative Physiology*. – 2019. – Vol. 316, N 5. – P. 607–620.

Silkin Yu. A., Vasilets V. E., Silkina E. N., Silkin M. Yu. Changes in morphosomatic parameters during the spawning period in horse mackerel *Trachurus mediterraneus ponticus* and scorpion fish *Scorpaena porcus* caught in Koktebel and Karadag bays // *Ekosistemy*. 2020. Iss. 24. P. 158–169.

We studied the values of the indices of the heart, gills, liver, gonads and the fatness index during the spawning period in the fast-swimming horse mackerel (*Trachurus mediterraneus ponticus* Aleev) and the sedentary scorpionfish (*Scorpaena porcus* L.) living in the more polluted Koktebel Bay and in the cleaner Karadag Bay of the Black Sea ... During the spawning period, the body condition index in the studied fish species did not change significantly, but in interspecific comparison in the fast-swimming horse mackerel, its absolute value was 2.3 times lower than in the sedentary scorpion fish. The values of other indices in the spawning period in the studied fish changed as follows. In horse mackerel caught from Koktebel Bay, the increase (increase) from June to July in the indices of the heart, gills and gonads was 2 times greater than in individuals from the cleaner Karadag Bay. The liver index in horse mackerel in the study period changed slightly and was stable regardless of the level of pollution of the bays. In the sedentary scorpionfish, an increase in the indices of the liver and gonads was noted in this period, and in individuals from the Koktebel Bay this increase was 2 times greater in comparison with individuals from the Karadag Bay. The indices of the heart and gills of the scorpion fish during the spawning period did not change their value from the degree of water pollution. Sex differences in the value of somatic indices from the level of pollution of bays were studied only in horse mackerel. In females of the fast-swimming horse mackerel living in the cleaner waters of the Karadag Bay, the increase (increase) in the cardiac index was 2 times, and the gonadotropic index was 4 times greater than in males. There were no sex differences in the values of the studied somatic indices in horse mackerel from the more polluted Koktebel Bay.

Key words: *Trachurus mediterraneus ponticus*, *Scorpaena porcus*, spawning period, somatic indices, fatness, gills, heart, liver, gonads, Black Sea, Karadag Bay, Koktebel Bay.

Поступила в редакцию 05.09.20