ИХТИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ

УДК 574.24(262.5)

Наталья Станиславовна Кузьминова

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела морской санитарной гидробиологии, SPIN-код: 9809-0393, AuthorID: 762647, Россия, Севастополь, e-mail: kunast@rambler.ru;

Севастопольский Центр эколого-натуралистического творчества учащейся молодежи, Россия, Севастополь, e-mail: kunast@rambler.ru

Нелли Петровна Ковригина

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, кандидат географических наук, старший научный сотрудник отдела морской фармакологии и аквакультуры, SPIN-код: 6785-0143, AuthorID: 861713, Россия, Севастополь, e-mail: npkovrigina@yandex.ua

Алена Юрьевна Зозуль

Севастопольский Центр эколого-натуралистического творчества учащейся молодежи, учащаяся творческого объединения «Ихтиология», Россия, Севастополь

Алла Владимировна Короткова

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, ведущий инженер отдела морской санитарной гидробиологии, Россия, Севастополь, e-mail: ya-merichlundia@ya.ru

Николай Григорьевич Волков

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, ведущий инженер отдела морской санитарной гидробиологии, Россия, Севастополь

Морфофизиологические характеристики жабр черноморской скорпены и уровень кислорода на Севастопольском взморье в 2019–2020 гг.

Аннотация. Проведены исследования ряда параметров жабр черноморской скорпены *Scorpaena porcus* L. за период 2019–2020 гг. для установления их зависимости как от длины особей, так и от хронического влияния условий обитания. В качестве основных показателей качества среды обитания и главного фактора, влияющего на дыхание рыб, были приведены данные о содержании кислорода в воде бухт Севастополя, степени насыщения им вод, а также $БПК_5$. Установлено, что длина, ширина и плотность расположения филаментов на жаберной дуге зависят от размера рыб. Отсутствие достоверных отличий в морфометрических характеристиках жабр и данные о кислороде в воде доказывают сходство экологических условий в бухтах г. Севастополя.

Ключевые слова: морфометрические параметры, жабры, скорпена, Севастополь.

Natalia S. Kuzminova

Institute of Biology of the Southern Seas of the Russian Academy of Sciences after A.O. Kovalevsky, PhD in biological science, senior researcher of the department of marine sanitary hydrobiology, SPIN-cod: 9809-0393, AuthorID: 762647, Russia, Sevastopol, e-mail: kunast@rambler.ru;

Sevastopol Center for Ecological and Naturalistic Creativity of Students, Russia, Sevastopol, e-mail: kunast@rambler.ru

Nelli P. Kovrigina

Institute of Biology of the Southern Seas of the Russian Academy of Sciences after A.O. Kovalevsky, PhD in geography, senior researcher of the department of marine pharmacology and aquaculture, SPIN-cod: 6785-0143, AuthorID: 861713, Russia, Sevastopol, e-mail: npkovrigina@yandex.ua

AlenaYu. Zozul

Sevastopol Center for Ecological and Naturalistic Creativity of Students, student of the creative association «Ichthyology» TSENTUM, Russia, Sevastopol

Alla V. Korotkova

Institute of Biology of the Southern Seas of the Russian Academy of Sciences after A.O. Kovalevsky, senior engineer of the department of marine sanitary hydrobiology, Russia, Sevastopol, e-mail: ya-merichlundia@ya.ru

Nikolay G. Volkov

Institute of Biology of the Southern Seas of the Russian Academy of Sciences after A.O. Kovalevsky, senior engineer of the department of marine sanitary hydrobiology, Russia, Sevastopol

Morphophysiological characteristics of Black sea scorpio fish and oxygen level at Sevastopol bays in 2019–2020

Abstract. A number of parameters of the gills of the Black Sea scorpionfish *Scorpaena porcus* L. were studied for the period 2019–2020 to determine their dependence both on the length of individuals and on the chronic influence of habitat conditions. As the main indicators of the quality of the habitat and the main factor affecting the respiration of fish, data on the oxygen content in the water of the Sevastopol bays, the degree of water saturation with it, and also BOD_5 were given. It was found that the length, width, and density of filaments on the gill arch depend on the size of the fish. The absence of significant differences in the gills morphometric characteristics and the data on oxygen in the water prove the similarity of the ecological conditions in the bays of Sevastopol.

Keywords: morphometric parameters, gills, scorpion fish, Sevastopol.

Введение

Использование жабр в области ихтиотоксикологии развито в меньшей степени, чем, например, печени. Выполняя функцию дыхания, этот орган способен увеличивать свой вес за счет учащения дыхательных сокращений рыб в ответ на снижение уровня кислорода и/или присутствия в воде токсикантов [1, 2]. Защитная функция жабр отражается в разрастании и утолщении их эпителия, что влияет на повышение массы органа [3, 4].

Интересно, что последние наши результаты анализа индекса жабр и их морфометрических параметров у вида-монитора – черноморской скорпены Linnaeus, 1758 – показали отсутствие достоверных отличий для рыб, обитающих в бухтах г. Севастополя, отличающихся уровнем комплексного загрязнения [4]. При этом массив данных всех биологических параметров ерша был дифференцирован по полу и возрасту.

Вместе с тем, несмотря на известные данные о существующей связи индекса жабр с возрастом рыб [5], общей дыхательной площади жабр и веса [6], очевидно, что как абсолютный, так и относительный вес этого органа не могут не зависеть от длины особей.

Интересно, что данные по анализу параметров жабр рыб в контексте изменения именно размера животных практически отсутствуют. Тем не менее известно, что зависимость морфометрических характеристик жабр с размером/массой особей установлена на таких представителях: слонорыл *Mormyrus kannume* Forskal, 1775 и длинноносый каменотес *Gnathonemus longibarbis* (Хильгендорф, 1888), болотная популяция камнеголового мормира *Petrocephalus catostoma* (Günther, 1866), макрозениус викторианский *Gnathonemus victoriae* Worthington, 1929, а также способный к воздушному дыханию пангасиус обыкновенный *Pangasianodon hypophthalmus* (Sauvage, 1878) [7, 8]. Показана связь возрастания длины филаментов (и сопутствующее увеличение длины и уменьшение частоты вторичных ламелл) при увеличении массы рыб [9]. Другие исследователи сделали вывод, что от размера и веса контрольных и трансгенных рыб (тихоокеанский кижуч) количество жаберных лепестков не зависит [10].

В связи с этим представлялось значимым провести аналогичный анализ, но с дифференциацией данных по критерию «длина», а не возраст, так как этот вид отличается очень широким разбросом величин веса и размера у особей одного возраста. Кроме того, это долгоживущий вид, что, возможно, должно вносить еще бóльшие коррективы в методику исследования из-за наложения влияния различных (и меняющихся во времени) естественных и антропогенных факторов на процессы роста *Scorpaena porcus* в течение всей жизни.

Известно, что в жабрах рыб также аккумулируются токсичные элементы [11, 12], но главным фактором, от которого зависит состояние данного органа, является содержание кислорода в воде, а степень связи определяется метаболизмом вида, его принадлежностью к определенной экологической группе и плавательной активностью [6, 13].

Принимая это во внимание, мы посчитали важным провести анализ различных характеристик жабр черноморского ерша (индекс жабр, плотность распределения жаберных филаментов, их длины и ширины) с учетом пола и размера рыб, а также содержания кислорода в воде из разных бухт г. Севастополя.

Объекты и методы исследования

Оценку состояния жабр проводили на *Scorpaena porcus*, отловленных в бухтах г. Севастополя (бухты Карантинная, Матюшенко, Балаклавская, Стрелецкая, Круглая, Казачья), рис. 1, с помощью ставных неводов в 2019–2020 гг. Биоанализ рыб включал определение общей и стандартной (SL) длин с точностью до 0,1 мм, массы рыбы и тушки с точностью до 0,01 г, пола и возраста рыб [14]. Возраст рыб определяли по отолитам при 20-кратном увеличении на микроскопе Микромед, МС-1, вар. 1-В. После полного биологического анализа извлекали жабры, взвешивали их, а потом высчитывали индекс жабр по формуле [15]:

$$ИЖ = \text{вес жабр} * 100\ \% / \text{вес тушки}\ (\%).$$

Изучали морфометрические параметры жабр: длину (*a*) и ширину (*b*) жаберных филаментов, их плотность распределения (*N*) на жаберной дуге с использованием микроскопа Микромед, МС-1. Для этого исследования рассматривали средний участок только на внешних (первых) дугах. Эта дуга была выбрана по причине ее большей длины, «свободы» от тканей, а

также имеющихся сведений о ее большей чувствительности к гипоксии [16]. Результаты этого анализа выражали в мм (для параметров *a* и *b*) и шт./мм (для *N*) соответственно.

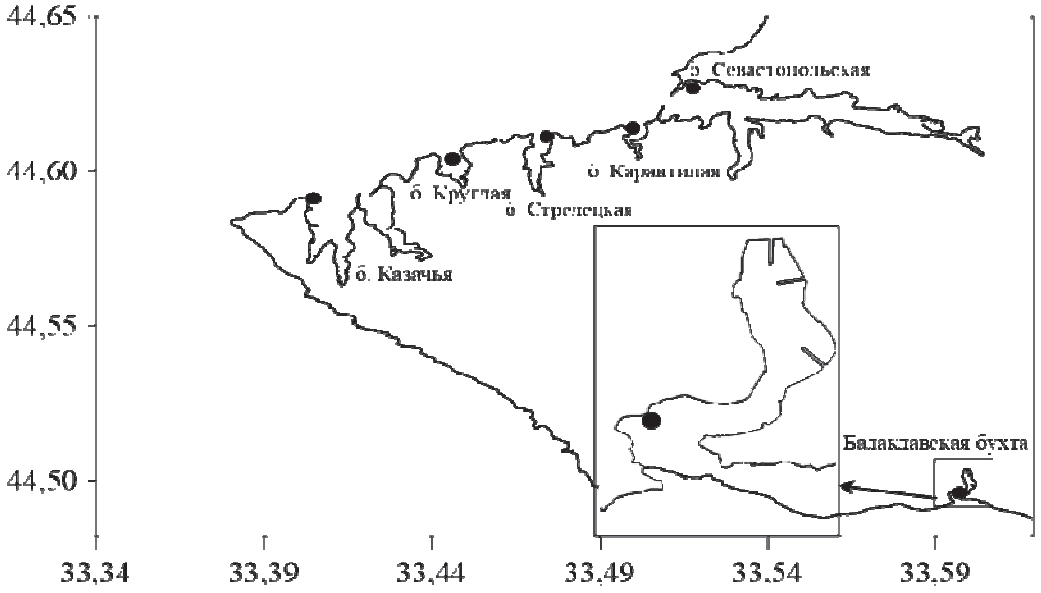

Рис. 1. Районы отлова рыб в прибрежной акватории г. Севастополя
Fig. 1. Sample points of fish in coastal area of Sevastopol

Результаты измерения показателей жабр обрабатывали статистически. Все расчеты изучаемых параметров проводили с помощью стандартной программы EXCEL.

Для оценки экологического состояния вод Севастопольского взморья 08.10.2020 г. была проведена съемка от бухты Казачьей до Севастопольской. Отобрано 5 проб в поверхностном слое, в которых определяли величины абсолютного содержания кислорода, процент насыщения и биохимическое потребление кислорода на пятые сутки ($БПК_5$). Следует отметить, что точки отбора данных проб практически совпадали с местами отлова рыб в каждой из бухт (ставные невода расположены на выходе из бухт). Анализы выполнены по общепринятым методикам [17]. Распределение величин содержания растворенного кислорода и величин $БПК_5$ представлено в табл. 1.

Таблица 1

Величины растворенного кислорода (мл/л, %) и $БПК_5$, полученные во время съемки 08.10.2020 г.

Table 1

The values of dissolved oxygen (ml/l, %) and BOD_5 obtained during sampling on 08.10.20

Бухты	O_2, мл/л	O_2, %	$БПК_5$, мг/л
Казачья	5,66	103,5	0,70
Омега	5,56	101,7	0,57
Стрелецкая	5,85	106,9	0,60
Карантинная	5,67	103,9	0,66
Севастопольская (бухта Матюшенко)	5,60	102,3	1,11

Результаты и их обсуждение

Величины абсолютного содержания кислорода изменялись в пределах от 5,56 до 5,85 мл/л. Минимальная величина отмечена в бухте Омега, но она была выше предельно допустимой концентрации (ПДК), равной 4,2 мл/л по рыбохозяйственным нормативам. Максимальное содержание кислорода зафиксировано в бухте Стрелецкой. Разница между максимальным и минимальным содержанием кислорода в бухтах очень незначительная и составила всего 0,29 мл/л. Средняя по съемке величина равнялась 5,66 мл/л.

Относительное содержание кислорода, %, так же, как и абсолютное, изменялось в небольшом диапазоне, от 101,7 до 106,9 % насыщения, при среднем по съемке значении, равном 103,6. Минимальные и максимальные величины насыщения кислородом совпадали с таковыми величинами абсолютного содержания кислорода: минимальные – в бухте Омега, максимальные – в бухте Стрелецкой. Все величины насыщения кислородом имели высокие значения, превышающие нормальное (100 %) на 1,7–6,9 %, при ПДК = 40 % по рыбохозяйственным нормативам.

Величины $БПК_5$, так же, как и содержания растворенного кислорода, имели низкие значения, они изменялись в пределах от 0,57 до 1,11 мг/л и были гораздо ниже (от 1,8 до 3,5 раза) ПДК (2,0 мг/л) по рыбохозяйственным нормативам. Среднее по съемке значение $БПК_5$ составляло 0,73 мг/л.

Ранее, в осенний период 2015 г., насыщение вод кислородом в среднем по всей Большой Севастопольской бухте составляло 91,4 %, что в целом меньше, чем в современный период, такая же тенденция отмечена по уровню кислорода [18].

Так как в современный период в съемку не входила Балаклавская бухта, можно было ориентироваться только на ряд последних опубликованных данных по этой акватории. Так, по данным 2000–2001 гг., отмечено низкое содержание кислорода во всех сезонах в мелководной части бухты. Абсолютный минимум составил 4,94 мл/л и 90 % насыщения. Мелководная часть бухты (а ставник находится ближе к выходу из Балаклавской бухты) была наиболее загрязненной по сравнению с глубоководной и взморьем. Величины $БПК_5$ невысоки, их средние значения практически не отличались друг от друга, но по сравнению с периодом 1991–1993 гг. они ниже примерно на 0,50–0,88 мг/л. Все величины $БПК_5$ гораздо ниже ПДК (2,0 мг/л). Авторы сделали вывод о снижении уровня концентрации органического вещества в бухте [19], а позже сообщалось, что индекс трофности в данной акватории низкий, что позволяет относить район к чистым [20]. Еще позже, в феврале 2015 г., средняя величина насыщения вод кислородом составила 94,6 %, а концентрация кислорода – 6,7 мл $O_2/дм^3$ [18]. Следовательно, величина насыщения кислородом, хоть и ниже нормальной (100 %), но более чем в 2 раза выше ПДК. Нормальными являлись и значения кислорода в воде Балаклавской бухты. Как и в случае с Большой Севастопольской бухтой, можно говорить о небольшой тенденции к улучшению качества вод.

Как видно из рис. 2, ширина и длина жаберных филаментов достоверно увеличиваются с возрастанием длины рыб. Плотность распределения филаментов жабр самок и самцов скорпены плавно снижается ($p \leq 0{,}05$) у рыб со стандартной длиной от 6,1 до 20 см.

У представителей большинства размерных групп количество жаберных филаментов в 1 мм выше в бухте Стрелецкой, в то же время достоверными при этом являются величины N для рыб со стандартной длиной только 10,1–12,0 см (табл. 2). Частое отсутствие достоверных отличий для скорпены из разных бухт выявлено и в отношении длины жаберных филаментов, кроме случаев: самцы с длинами 10,1–12,0 и 12,1–14,0 см из бухт Стрелецкой и Балаклавской, а при длине 14,1–16,0 см также для самцов из акваторий Стрелецкая–Круглая и Круглая–Балаклавская. При этом в большинстве случаев у ерша из бухты Балаклавской данный параметр выше.

У самок ширина жаберного филамента больше у экземпляров из бухты Стрелецкой, у самцов – из бухт Карантинной и Круглой. Длина филаментов варьировала у представителей разных размерных групп и пола (табл. 2).

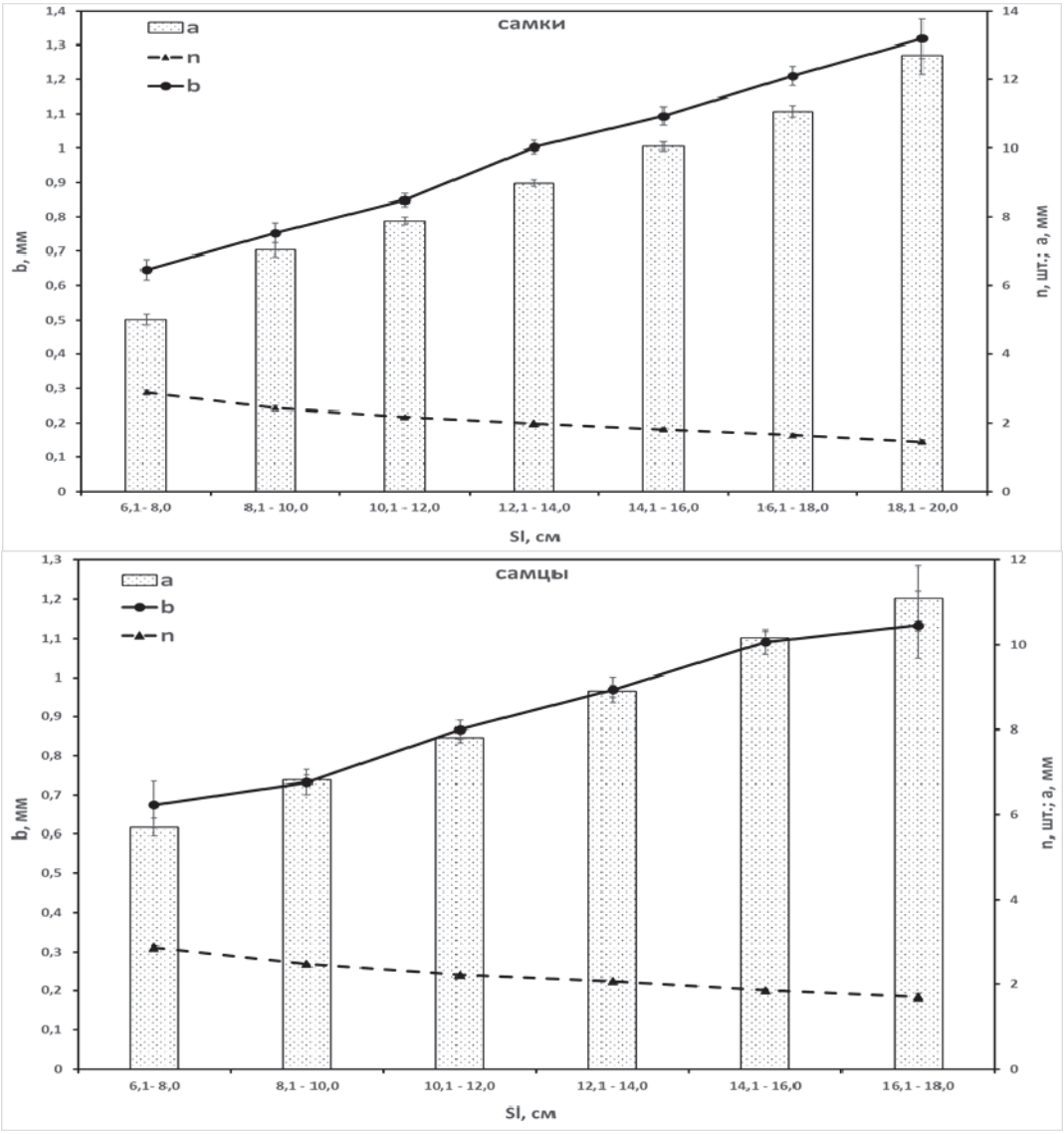

Рис. 2. Морфометрические параметры жабр черноморской скорпены разного пола и размера
Fig. 2. Morphometric parameters of the gills of the Black Sea scorpion fish of different sex and size

При расчете ИЖ скорпены установлено, что у рыб со стандартной длиной после 10,0 см этот параметр не только не имел достоверных отличий у самок и самцов, но и практически не изменялся в ходе дальнейшей жизни у особей обоих полов (рис. 3). Это дало основание отразить влияние условий обитания на исследованный индекс без учета пола и размера ершей (рис. 4).

Тот факт, что у рыб с SL 6,1–10,0 см индекс жабр выше, чем у особей последующих возрастных групп, может быть связан с тем, что вес тушки еще невысокий в отличие от нарастающей его величины у последующих размерных групп, и это сказалось на расчетной величине изученного параметра.

Далее мы представили анализ влияния условий обитания на индекс жабр скорпены с SL 10,1 см и выше (рис. 4).

Величина ИЖ скорпены из бухты Матюшенко (4,41±0,07 %) достоверно ниже, чем в других акваториях (рис. 4). Ерш из бухт Круглой и Карантинной имеет наивысшие значения исследованного параметра, достоверно отличающиеся от величин ИЖ рыб из остальных бухт г. Севастополя.

В целом можно констатировать, что величины абсолютного содержания кислорода, насыщения кислородом и биохимического потребления кислорода на пятые сутки во время съемки имели равномерное распределение по бухтам, низкие значения и не превышали предельно допустимые концентрации, установленные для рыбохозяйственных водоемов, что позволяет считать их «чистыми» акваториями.

Таблица 2

Морфометрические параметры жабр черноморской скорпены (в числителе – самки, в знаменателе – самцы)

Table 2

Morphometric parameters of the gills of Black Sea scorpion fish (females - in the numerator, males - in the denominator)

SL, см	Параметр	Бухта				
		Матюшенко	Карантинная	Стрелецкая	Круглая	Балаклавская
6,1–8,0	*N*, шт./мм	2,88±0,07		2,93±0,08 2,87±0,11		2,84±0,11
	a, мм	5,49±0,23		4,98±0,20		5,35±0,31
	b, мм	0,54±0,02		**0,72±0,04**		**0,56±0,03**
8,1–10,0	*N*, шт./мм	2,49±0,09 2,41±0,06	2,67±0,14	2,41±0,12 2,54±0,05	2,38±0,06	2,45±0,09 2,47±0,06
	a, мм	6,55±0,25 6,89±0,22	6,83±0,38	7,48±0,46 6,83±0,23	6,53±0,37	6,94±0,28 6,77±0,21
	b, мм	0,73±0,03 0,72±0,03	0,78±0,08	0,83±0,06 0,76±0,03	0,78±0,05	0,72±0,04 0,69±0,03
10,1–12,0	*N*, шт./мм	2,17±0,04 2,25±0,05	2,07±0,06	***2,46±0,14**** 2,25±0,05	*2,09±0,07** 2,20±0,06	**2,13±0,04** 2,23±0,04
	a, мм	8,18±0,19 7,46±0,34	8,07±0,28	7,41±0,36 **7,53±0,12**	7,69±0,36 7,86±0,29	7,90±0,16 **8,39±0,31**
	b, мм	0,83±0,03 **0,79±0,03**	**0,99±0,04** *	0,82±0,06 0,85±0,03 *	0,89±0,04 0,89±0,04	0,82±0,03 0,89±0,03
12,1–14,0	*N*, шт./мм	1,92±0,04 2,09±0,07	1,93±0,05 2,02±0,06	2,06±0,06 2,17±0,10	1,97±0,05 1,99±0,09	1,97±0,05 2,03±0,05
	a, мм	8,94±0,23 8,62±0,35	8,98±0,29 8,67±0,44	8,96±0,15 **8,25±0,43**	8,68±0,21 9,11±0,91	9,25±0,22 **9,43±0,15**
	b, мм	0,95±0,04 **0,9±0,03**	1,01±0,04 **0,99±0,01**	1,07±0,04 0,95±0,07	0,98±0,04 0,99±0,05	0,97±0,04 0,96±0,04
14,1–16,0	*N*, шт./мм			1,89±0,09 1,83±0,05	1,90±0,08 1,88±0,06	1,73±0,06 1,87±0,05
	a, мм			10,13±0,36 **10,60±0,26**	10,41±0,23 **9,63±0,22***	10,16±0,18 10,53±0,15*
	b, мм			1,16±0,07 1,21±0,06	1,08±0,05 1,07±0,06	1,04±0,05 1,07±0,06
16,1–18,0	*N*, шт./мм				1,66±0,06	1,59±0,08
	a, мм				**11,34±0,26**	**10,45±0,18**
	b, мм				1,19±0,02	1,19±0,08

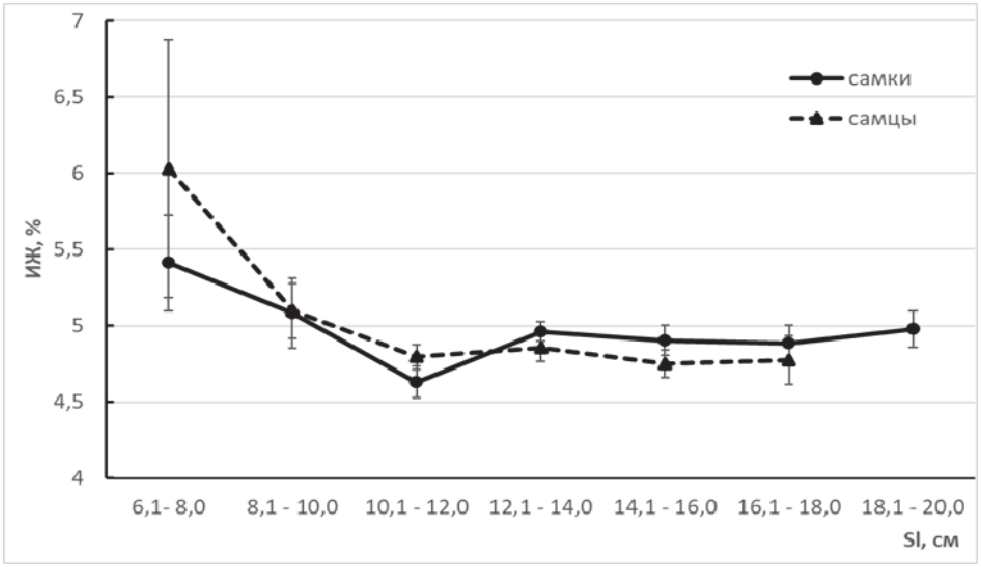

Рис. 3. Индекс жабр самок и самцов черноморской скорпены из разных бухт г. Севастополя
Fig. 3. Index of gills of females and males of the Black Sea scorpion fish from different bays of Sevastopol

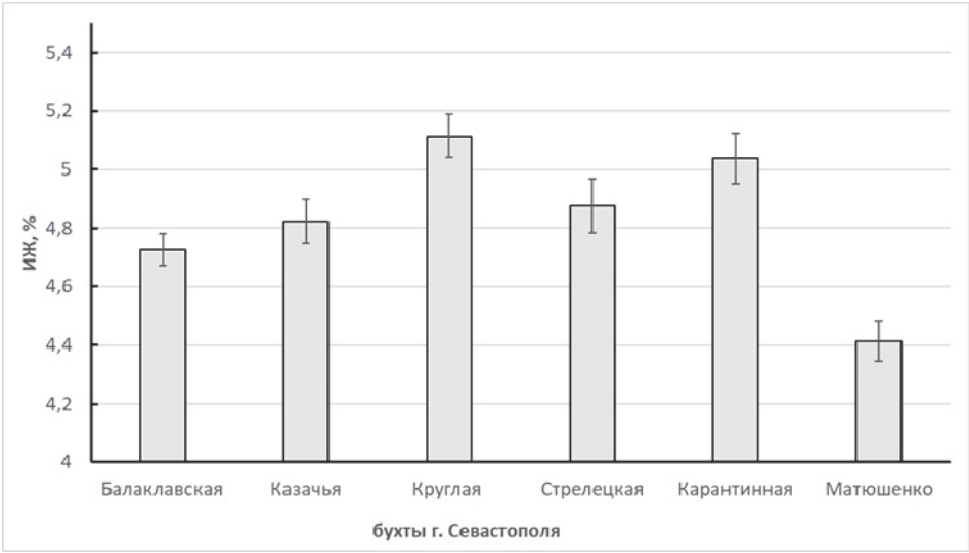

Рис. 4. Индекс жабр черноморской скорпены из разных бухт г. Севастополя
Fig. 4. Index of gills of the Black Sea scorpion fish from different bays of Sevastopol

Известно, что ранее при визуальном осмотре прибрежных видов рыб, в том числе скорпены, патологии жабр были отмечены только у одного ласкиря *Diplodus annularis Linnaeus,* 1758 и одного темного горбыля *Sciaena umbra Linnaeus*, 1758 [21].

По нашему анализу жабр в 2019–2020 гг. состояние жабр скорпены также удовлетворительное. Тем не менее ерш из бухты Матюшенко находится в лучшем функциональном состоянии: индекс жабр, длина и ширина жаберных филаментов у рыб в большинстве случаев имеют более низкие значения. Достаточно близки величины морфометрических показателей жабр рыб из других акваторий и в сочетании с данными о значениях ИЖ, можно говорить о сходстве воздействия условий обитания в них. Несмотря на то, что ИЖ у ерша из бухты Стрелецкой имеет промежуточное значение, у особей большинства размерных групп длина и ширина филаментов выше, чем в других бухтах, что в совокупности указывает на более не-

благоприятные условия обитания, хотя концентрация кислорода здесь 5,85 мл/л, что незначительно превышает величины кислорода в других бухтах.

В то же время именно параметр «индекс жабр» ерша из бухты Круглая имел максимальную величину, что, по-видимому, связано с меньшим уровнем кислорода в данной акватории. Ранее гидрохимики ИнБЮМ, изучая некоторые акватории г. Севастополя, расположили бухты по степени убывания уровня загрязнения в таком порядке: Карантинная > Стрелецкая > Камышовая > Круглая > Казачья [22], что близко и с полученными нами данными о состоянии жабр скорпены.

При проведении математического анализа связи средних величин всех исследованных характеристик жабр и содержания кислорода и насыщения им вод в каждой бухте были оценены коэффициенты корреляции. Высокие величины установлены для параметра длины жаберного филамента в таких случаях: для самцов, стандартная длина которых 10,1–12,0 см, r=0,70 и r=0,75 по отношению к содержанию кислорода и насыщенности им соответственно; а длиной 12,1–14,0 см – высокая положительная корреляция (r=0,92) с насыщением кислородом. Для самок параметр *a* имел высокую степень зависимости у рыб с SL 12,1–14,0 см как с содержанием, так и степенью насыщения кислородом (86 и 100 % соответственно), а для особей длиной 14,1–16,0 см эта связь менее выражена (r=0,62).

При аналогичном расчете для параметра ширины филамента было показано, что для самцов с SL=8,1–10,0 см связь с уровнем O_2 r =-0,75, а с насыщением кислородом – r=0,73. У рыб последующих размерных групп высокие значения r отмечены для самок и самцов только по отношению к насыщенности вод кислородом.

Степень зависимости плотности распределения жаберных филаментов от насыщенности бухт кислородом установлена для самок длиной 12,1–14,0 и 14,1–16,0 см (r=0,72 и r=0,88), а для самцов длиной 14,1–16,0 см эта связь имела обратную зависимость (r=-0,69). Интересно, что обратная зависимость (r=-0,98) показана и для самок с SL 14,1–16,0 см с уровнем кислорода в воде.

При аналогичном статистическом подходе к установлению связи уровня кислорода (и/или насыщенности им вод из разных бухт) и индекса жабр ерша обнаружено, что коэффициент корреляции крайне низкий.

Складывается впечатление, что у черноморской скорпены адаптация жабр именно к колебаниям кислорода в воде такова: при достаточных (повышенных в сравнительном аспекте) концентрациях кислорода в воде жаберные филаменты длиннее, у́же, расположены на жаберной дуге плотнее. Тем не менее близость величин как морфометрических параметров жабр и морфофизиологического индекса скорпены из разных акваторий, так и содержания кислорода в воде севастопольских бухт свидетельствуют о сходстве условий обитания в годы проведения анализа.

Если делать заключение о степени благополучия условий обитания ерша, т.е. о комплексном загрязнении акваторий, то можно отметить, что индекс жабр оказался достаточно чувствительным параметром состояния особей при малом, но хроническом загрязнении бухт, а величины морфометрических измерений жабр варьировали. Возможно, что такая «нечеткая» реакция морского ерша объясняется тем, что этот вид относится к гипоксически толерантным [16].

Известно, что связь морфометрических показателей жабр рыб с обеспеченностью условий обитания кислородом очевидна [10], как и с влиянием ксенобиотиков различной химической природы. Например, при воздействии гербицида глифосата на представителей четырехглазок *Jenynsia multidentata* (Jenyns, 1842) индекс жабр также слабо изменялся, но при этом происходили малые нарушения кровообращения в жабрах: высокая частота и распространение застойных явлений в сосудах и аневризмы [23]. Литературных данных о морфометрических параметрах именно жаберных филаментов крайне мало. Преимуще-

ственно эффект воздействия отдельных токсикантов, комплексного загрязнения, а также микробиоценоза или конкретных патогенов воды изучался по отношению к жаберным ламеллам [23–25]. Известно, что в условиях гипоксии у мормирид длина жаберных филаментов и общая поверхность жабр увеличиваются [7]. Сходные механизмы реагирования (увеличение длины филаментов и их количества) были описаны при анализе адаптации цихлид *Oreochromis alcalicus graham* (Boulenger, 1912) к защелачиванию среды обитания [26]. У трансгенных экземпляров тихоокеанского кижуча на второй дуге жабр наблюдали тенденцию к повышению длины филаментов, сопровождающуюся снижением их плотности расположения. Авторы объяснили, что это могло быть следсвием адаптации трансгенных лососевых к свойственному им бóльшему потреблению кислорода [10]. Имеются сведения, что расстояние между ламеллами, как и их длина, уменьшались при нахождении рыб (гладкий единорог *Naso hexacanthus* (Bleeker, 1855) в загрязненной воде [25]. Аналогичный эффект был отмечен и для эстуарного бычка *Boleophthalmus boddaerti* (Pallas, 1770), что авторы, наравне с возрастанием дыхательной поверхности, рассматривали как адаптивный эффект при дыхании рыб в воде [6].

На основании проделанной работы можно заключить:

- имеются четкие зависимости морфометрических характеристик жабр от размера скорпены;

- индекс жабр у взрослых экземпляров слабо отличается у представителей разной стандартной длины;

- как отсутствие достоверных отличий в длине, ширине и плотности расположения жаберных филаментов, так и данные о кислороде в воде доказывают сходство экологических условий в бухтах г. Севастополя в 2019–2020 гг. Тем не менее на основании приведенного химического анализа акваторий, а также комплекса изученных параметров жабр скорпены условия обитания в бухтах Стрелецкая и Круглая менее благоприятны.

В дальнейшем следует продолжать такие работы по биоиндикации, используя характеристики жабр прибрежных видов рыб, учитывая не возрастные, а размерные отличия.

Работа выполнена в рамках выполнения тем госзадания № 075-00744-21-00 «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем, а также «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса» (№ гос. регистрации АААА-А18 -118021350003-6).

Список литературы

1. Романова, Е.М. Морфофизиологические адаптации *Carassius auratus gibelio* Bloch. в биоиндикации состояния пресноводных экосистем / Е.М. Романова, Е.В. Спирина // Вестн. УГСХА. 2010. № 2(12). С. 31–36.

2. Шайдуллина Ж.М. Сезонная и возрастная динамика морфофизиологических показателей леща реки Урал: автореф. дис. … канд. биол. наук по специальности: 03.00.10 «Ихтиология». Астрахань, 2009. 24 с.

3. Timmerman, C.M. Hypoxia and interdemic variation in *Poecilia latipinna* / C.M. Timmerman, L.J. Chapman // J. of Fish Biology. 2004. Vol. 65. P. 635–650. doi:10.1111/j.1095-8649.2004.00474.x,availableonlineathttp://www.blackwell-synergy.com.

4. Кузьминова, Н.С. Морфофизиологический анализ жабр черноморских рыб для диагностики состояния прибрежной ихтиофауны / Н.С. Кузьминова, А.Ю. Зозуль // Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды: сб. докл. Международ. науч.-техн. конф., Алушта, 3–7 июня, 2019 г. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2019. Ч. 1. С. 46–53.

5. Дзюбук, И.М. Морфофизиологические исследования ерша Лахтинской губы Онежского озера / И.М. Дзюбук, Е.А. Клюкина // Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов: материалы III Междунар. конф. с элементами школы для молодых ученых, аспирантов и студентов 22 июня – 26 июня 2010 г. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2010. С. 46−48.

6. Niva, B. Morphometrics of the respiratory organs of an estuarine goby, *Boleophthalmus boddaerti* / B. Niva, J. Ojha, J. S. Datta Munshi // Japanese J. of Ichthyology. 1981. Vol. 27, № 4. P. 315–329.

7. Chapman, L.J. Implications of hypoxia for the brain size and gill morphometry of mormyrid fishes / L.J. Chapman, K.G. Hulen // J. Zool., Lond. 2001. Vol. 254. P. 461−472.

8. Phuong, L.M. Ontogeny and morphometrics of the gills and swim bladder of air-breathing striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus* / L.M. Phuong, D.T. Thanh Huong, H. Malte, J.R. Nyengaard, M. Bayley, Thanh Huong D.T., H. Malte, J.R. Nyengaard, M. Bayley // J. of Experimental Biology. 2018. Vol. 221. jeb168658. doi:10.1242/jeb.168658.

9. Hughes, G.M. Morphometry of the gills of the Elasmobranch *Scyliorhinus stellaris* in relation to body size / G.M. Hughes, S.F. Perry, J. Piiper // Y. exp. Biol. 1986. Vol. 121. P. 27−42.

10. Stevens, E.D. Gill morphometry in growth hormone transgenic Pacific coho salmon, *Onchorhynchus kisutch*, differs markedly from that in GH transgenic Atlantic salmon / E.D. Stevens, R.H. Devlin // Environmental Biology of Fishes. 2000. Vol. 58. P. 113–117.

11. Говоркова Л.К. Выявление факторов накопления тяжелых металлов в органах рыб различных трофических групп (на примере Куйбышевского водохранилища): автореф. дис. …канд. биол. наук по специальности: 03.00.16 «Экология». Казань, 2004. 24 с.

12. Мамонтова, Е.А. Хлорорганические пестициды и полихлорированные бифенилы в тканях жилой формы нерки Толмачёвского водохранилища, п-ов Камчатка / Е.А. Мамонтова, Е.В. Лепская, Е.Н. Тарасова, М.В. Коваль, А.А. Мамонтова // Биология внутренних вод. 2018. № 2. С. 76–83.

13. Wegner, N.C. Gill morphometrics in relation to gas transfer and ram ventilation in high-energy demand teleosts: Scombrids and Billfishes / N.C. Wegner, C.A. Sepulveda, K.B. Bull, B. Jeffrey, J.B. Graham // Journal of morphology. 2010. Vol. 271. P. 36–49.

14. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1966. 376 с.

15. Шварц С.С. Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных // Тр. Ин-та экологии растений и животных. 1968. Вып. 58. 386 с.

16. Солдатов, А.А. Активность ферментов энергетического обмена и содержание АТФ в тканях мозга и жабр морского ерша *Scorpaena porcus* Linnaeus при кратковременной гипоксии / А.А. Солдатов, И.В. Головина, Е.Э. Колесникова, И.В. Сысоева, А.А. Сысоев, Т.А. Кухарева, Е.С. Кладченко // Журн. эволюционной биохимии и физиологии. 2020. Т. 56, № 3. С. 213–223.

17. Методы гидрохимических исследований основных биогенных элементов. М.: ВНИРО, 1988. 119 с.

18. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2015 / под ред. А.Н. Коршенко. М.: Наука, 2016. 184 с.

19. Попов, М.А. Комплексный мониторинг вод Балаклавской бухты / М.А. Попов, Н.П. Ковригина, Е.В. Лисицкая // Тр. Южного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (Основные результаты комплексных исследований в Азово-Черноморском бассейне и Мировом океане (Юбилейный выпуск). 2008. Т. 46. С. 118–124.

20. Губанов, В.И. Оценка уровня трофности морских вод в районе Карадагского природного заповедника (Черное море) / В.И. Губанов, Н.П. Ковригина, Н.Ю. Родионова, Т.В. Царина // Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского

региона: материалы VII Междунар. конф. Керчь, 20–23 июня 2012 г. Керчь: ЮгНИРО, 2012. Т. 1. С. 192–196.

21. Гаврюсева, Т.В. Исследование визуальных патологий у рыб юго-западного побережья Черного моря // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15, № 1. С. 118−129. DOI: 10.18470/1992-10982020-1-118-129.

22. Куфтаркова, Е.А. Гидрохимическая характеристика отдельных бухт Севастопольского взморья / Е.А. Куфтаркова, Н.Ю. Родионова, В.И. Губанов, Н.И. Бобко // Тр. Южного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (Основные результаты комплексных исследований в Азово-Черноморском бассейне и Мировом океане (Юбилейный выпуск). 2008. Т. 46. С. 110–117.

23. Hued, A.C. Exposure to a Commercial Glyphosate Formulation (Roundup) Alters Normal Gill and Liver Histology and Affects Male Sexual Activity of *Jenynsia multidentata* (Anablepidae, Cyprinodontiformes) / A.C. Hued, S. Oberhofer, M. Bistoni // Arch. Environ. Contam. Toxicol. − 2012. Vol. 62. P. 107–117.

24. Бонк, А.А. Комплексное обследование тихоокеанской сельди Карагинского залива / А.А. Бонк, Е.В. Бочкова, Т.В. Гаврюсева, С.Л. Рудакова // Вестн. Камчатского гос. техн. ун-та. 2008. № 7. С. 132–137.

25. Montaser, M. Toxicity of heavy metals on fish at Jeddah Coast KSA: metallothionein expression as a biomarker and histopathological study on liver and gills / M. Montaser, M.E. Mahfouz, S.A.M. El-Shazly, G. H. Abdel-Rahman, S. Bakry // World J. of Fish and Marine Sciences. 2010. Vol. 2(3). P. 74−185.

26. Maina, J.N. A comparative allometric study of the morphometry of the gills of an alkalinity adapted cichlid fish, *Oreochromis alcalicus grahami*, of Lake Magadi, Kenya / J.N. Maina, S.M. Kisia, C.M. Wood, Ar. Narahara, H.L. Bergman, P. Laurent, P. J. Walsh // International J. of Salt Lake Research. 1996. Vol. 5. P. 131−156.

© Кузьминова Н.С., Ковригина Н.П., Зозуль А.Ю., Короткова А.В., Волков Н.Г., 2021

Для цитирования: Морфофизиологические характеристики жабр черноморской скорпены и уровень кислорода на Севастопольском взморье в 2019–2020 гг. // Научные труды Дальрыбвтуза. 2021. Т. 55, № 1. С. 23–34.

Статья поступила в редакцию 15.03.2021, принята к публикации 22.03.2021.