



Ихтиофауна морских и континентальных водоемов

УДК 574.632(262.5)

МОРСКОЙ ЕРШ *SCORPAENA PORCUS* LINNAEUS, 1758 КАК БИОИНДИКАТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И ХЛОРООРГАНИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ АКВАТОРИЙ КАВКАЗСКОГО И КРЫМСКОГО ШЕЛЬФОВ ЧЕРНОГО МОРЯ

© 2022 А. А. Полин¹, И. В. Кораблина², Т. О. Барабашин²

¹Главное бассейновое управление по рыболовству и сохранению водных биологических ресурсов (ФГБУ «Главрыбвод»), Азово-Черноморский филиал ФГБУ «Главрыбвод», Краснодар 350038, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону 344002, Россия

E-mail: polin_a_a@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты исследования выборок морских ершей *Scorpaena porcus* из двух акваторий в пределах Крымского и четырех акваторий Кавказского шельфов Черного моря. Выбранные для исследования акватории значительно удалены друг от друга в географическом отношении; биотопы различались по комплексу воздействующих биотических и абиотических факторов, включая гидрологический режим и степень антропогенной нагрузки. В каждой из акваторий из случайных выборок морских ершей, выловленных в весенне-летний период 2020 г., для анализа отбирались по три самки старшевозрастных групп. Изучены пластические и меристические признаки морских ершей, показаны географические различия средних значений рассматриваемых параметров. Представлены диапазоны и среднее содержание хлорорганических соединений (стойких пестицидов, полихлорированных бифенилов), тяжелых металлов и мышьяка в органах и тканях морского ерша, показаны различия в их биоаккумуляции. Выявлена взаимосвязь уровня накопления токсикантов в морском ерше в зависимости от вылова в разных акваториях Кавказского и Крымского шельфов Черного моря. Отмечена зависимость между уровнем накопления токсикантов и средними показателями длины тела рыб. Не выявлена связь между накоплением токсикантов и упитанностью рыб, что может быть связано с высокими адаптационными способностями исследуемого вида рыб.

Ключевые слова: морской ерш, Черное море, Кавказский шельф, Крымский шельф, тяжелые металлы, хлорорганические пестициды, полихлорированные бифенилы

BLACK SCORPIONFISH *SCORPAENA PORCUS* LINNAEUS, 1758 AS A BIOINDICATOR FOR WATER POLLUTION OF THE CAUCASIAN AND CRIMEAN SHELVES OF THE BLACK SEA WITH HEAVY METALS AND ORGANOCHLORINE COMPOUNDS**A. A. Polin¹, I. V. Korablina², T. O. Barabashin²**

¹Main Basin Department for Fisheries and Conservation of Aquatic Biological Resources (FSBI "Glavrybvod"), Azov-Black Sea Branch of the FSBI "Glavrybvod", Krasnodar 350038, Russia

²Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI "VNIRO"), Azov-Black Sea Branch of the FSBSI "VNIRO" ("AzNIRKH"), Rostov-on-Don 344002, Russia
E-mail: polin_a_a@mail.ru

Abstract. The results of the investigation of several sets of the black scorpionfish *Scorpaena porcus* samples collected in two areas within the Crimean shelf and four areas within the Caucasian shelf of the Black Sea are presented. The sampling sites selected for this study are geographically located at a considerable distance from each other; the biotopes differed in terms of the influencing biotic and abiotic factors (including the hydrological regime and the degree of anthropogenic pressure). In each investigated area, three females belonging to the older age groups and selected from the set of random samples collected in spring and summer of 2020, have been examined. The morphometric and meristic characteristics of the black scorpionfish have been investigated, and the geographic differences in the average values of the relevant parameters have been identified. The ranges and average content of organochlorine compounds (persistent pesticides, polychlorinated biphenyls), heavy metals, and arsenic in the organs and tissues of the black scorpionfish are presented, and the differences in their bioaccumulation are elaborated. The relationship between the level of accumulation of toxicants in the black scorpionfish and the location of various sampling sites at the Caucasian and Crimean shelves of the Black Sea has been revealed. The relationship between the level of accumulation of toxicants and the average body length of fish has also been identified. Conversely, no correlation between the levels of accumulation of toxicants and fish condition factor has been found, which may result from the high adaptive capacity of the investigated fish species.

Keywords: black scorpionfish, Black Sea, Caucasian shelf, Crimean shelf, heavy metals, organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы значительное внимание специалистов, изучающих Черное море, уделялось исследованию загрязнения компонентов его экосистемы токсическими органическими веществами. Среди таких веществ наибольшее беспокойство во всем мире вызывают хлорорганические соединения (далее — ХОС), поскольку многие из них высокотоксичны и могут долгое время сохраняться в окружающей среде.

Еще в 70–80-е гг. прошлого века ХОС производились и применялись в больших количествах. Некоторые из этих соединений обладают выраженной мутагенной и канцерогенной активностью, способны накапливаться в организмах и передаваться по пищевой цепочке.

Загрязнение Черного моря хлорорганическими соединениями обусловлено своеобразием его бассейна, которое состоит в сравнительно небольших

размерах и ограниченной связи с Мировым океаном, благодаря чему поступающие в акваторию моря ХОС практически полностью аккумулируются в самом море. Оценке уровня загрязненности различных природных сред и биоты Черного моря хлорорганическими соединениями были посвящены сообщения известных специалистов в конце XX – начале XXI вв. [1–3]. Как показано в данных работах, ХОС обнаружены во всех компонентах экосистемы Черного моря: воде, донных отложениях, гидробионтах. Уровни концентраций хлорорганических пестицидов (далее — ХОП) и полихлорированных бифенилов (далее — ПХБ) варьируют от десятых долей пикограмма на литр в воде [4] до микрограммов на грамм сырой массы в жировых тканях дельфинов [5] и в донных отложениях из районов повышенного антропогенного пресса [2].

Тяжелые металлы, как и ХОС, относятся к наиболее опасным химическим загрязнителям, что

обусловлено физиолого-биохимическими особенностями их действия и передачей по трофическим цепям. Основные антропогенные источники поступления тяжелых металлов в экосистему шельфа — отходы, связанные с деятельностью промышленных предприятий различного профиля, расположенных в пределах водосборного бассейна моря [6]. В отличие от других загрязняющих веществ, металлы в естественных условиях не разрушаются, а лишь меняют форму нахождения и достаточно медленно покидают биогеохимический цикл [7], постепенно накапливаясь в различных компонентах экосистемы, в т. ч. и в рыбах [8, 9]. Даже при относительно низких концентрациях во внешней среде тяжелые металлы биоактивны и способны аккумулироваться в рыбах с характерной локализацией в отдельных органах и тканях [10, 11].

Рыбы, занимая в биоценозах водных экосистем верхние трофические уровни, обладают способностью аккумулировать вышеуказанные поллютанты, степень накопления которых зависит от гидрохимических показателей окружающей среды и принадлежности вида к той или иной экологической группе: бентофаг, планктофаг, эврифаг, хищник [10, 12–15].

В настоящее время значительное внимание уделяется поиску видов-индикаторов для оценки состояния загрязнения среды различными поллютантами. Наиболее репрезентативные результаты для конкретного участка моря могут быть получены при использовании гидробионтов, ведущих малоподвижный, оседлый образ жизни. Один из таких видов — морской ерш [16].

Благодаря ряду физиологических, биохимических, этологических и популяционных характеристик перспективы использования морского ерша в качестве эффективного вида-биоиндикатора при анализе экологической ситуации в прибрежных водах Черного моря были определены еще на рубеже XX–XXI вв. [17, 18].

Морской ерш *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758 (Pisces: Scorpaenidae) — обычный, а местами доминирующий вид прибрежных черноморских ихтиоценозов. Хищный образ жизни и практически полное отсутствие врагов фактически ставят его на вершину трофической цепи аккумуляции энергии в экосистеме верхней сублиторали [19].

Икра морского ерша пелагическая и сосредотачивается в поверхностных слоях воды [20–24].

Личинки морского ерша ведут планктонный образ жизни, держась в толще воды на глубинах 20–25 м [22, 25–27]. При длине 12–15 мм сеголетки переходят к придонному образу жизни, отходя на глубины до 30 м [23, 25]. С этого момента морской ерш ведет оседлый образ жизни, не совершая значительных миграций, что подвергает данный вид антропогенным воздействиям в месте постоянного обитания [18].

Учитывая способность морского ерша аккумулировать ХОС и тяжелые металлы, его широкое распространение и доступность для изучения в разные сезоны года, а также хорошо выраженный биологический отклик на различный уровень загрязнения поллютантами донных отложений, целесообразно использовать данный вид как биоиндикатор и объект биомониторинга при оценке степени локального загрязнения морских акваторий хлорорганическими соединениями [16].

Целью данной работы являлась оценка уровня накопления тяжелых металлов, мышьяка и ХОП в органах и тканях морского ерша разных акваторий Кавказского и Крымского шельфов Черного моря, а также выявление возможной связи с линейно-массовыми характеристиками и упитанностью рыб.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для данного исследования послужили выборки морских ершей из двух акваторий в пределах Крымского и четырех акваторий Кавказского шельфов Черного моря. У берегов Крыма рыбы для исследования отбирались в районе г. Севастополь (б. Казачья) и г. Феодосия (Феодосийский залив), у берегов Кавказа — в районах с. Большой Утриш, г. Геленджик (б. Голубая), пос. Магри и г. Адлер (рисунок).

Выбранные для исследования группировки морских ершей значительно удалены друг от друга в географическом отношении, а биотопы их обитания различаются по комплексу воздействующих биотических и абиотических факторов, включая гидрологический режим и степень антропогенной нагрузки.

В каждой из вышеуказанных акваторий из случайных выборок морских ершей, добытых (выловленных) в весенне-летний период 2020 г., для анализа отбирались по три самки старшевозрастных групп. Все особи анализировались с применением стандартных ихтиологических методов [28].



Карта-схема точек отбора материала
Outline map of the sampling sites

Масса тела (M) измерялась на электронных лабораторных весах M-ER 326 AFU-3.01 LCD с точностью до 0,1 г, длина тела без хвостового плавника (SL) — до 1,0 мм, пол определялся визуально. У рыб также извлекались сагиттальные отолиты для определения возраста. Отолиты выдерживались в течение суток в глицерине, а затем просматривались в отраженном свете под необходимым увеличением с помощью бинокулярного микроскопа МБС-9.

Для оценки упитанности рыб рассчитывались коэффициенты упитанности по Т.В. Фульгону [29] по формуле:

$$k = w/l^3,$$

где k — коэффициент упитанности, l — длина тела в мм, w — общий вес тела (вместе с внутренностями, включая желудочно-кишечный тракт и гонады) в граммах.

Определение тяжелых металлов (Fe, Mn, Zn, Cr, Ni, Cu, Pb, Cd, Hg) и мышьяка (As) в органах и тканях рыб (мышцы, печень, гонады) проводилось методом атомной абсорбции в двух модифика-

циях: с электротермической атомизацией и в «холодном паре» (ртуть) в соответствии с нормативными документами «Методика выполнения измерений массовых долей кадмия, меди, свинца и цинка в пробах гидробионтов методом атомной абсорбции с электротермической атомизацией» [30], «Методика выполнения измерений массовых долей железа, марганца, мышьяка, никеля и хрома в пробах гидробионтов методом атомной абсорбции с электротермической атомизацией» [31], «Методика измерений массовых долей алюминия, бария, кадмия, кобальта, лития, мышьяка, серебра, стронция и таллия в пробах гидробионтов методом атомной абсорбции с электротермической атомизацией» [32], «Методика выполнения измерений массовой доли ртути в пробах гидробионтов методом беспламенной атомной абсорбции» [33]. Приборное обеспечение исследований — атомно-абсорбционные спектрометры МГА-915 МД («Люмэкс», Россия) и АА-860 (Nippon Jarrell-Ash, Япония), анализатор ртути РА-915М («Люмэкс», Россия).

Анализ проб рыбы на содержание ХОП проводился методом газо-жидкостной хроматографии на газовом хроматографе «Кристалл 2000М» («Хроматэк», Россия), оснащенный детектором по захвату электронов, на содержание ПХБ — с использованием хроматомасс-спектрометрической системы, включающей газовый хроматограф и масс-спектрометрический детектор высокого разрешения (GCMS-2010 Plus, Shimadzu, Япония). Оба прибора оснащены капиллярными колонками с фазой Equity®-5 (Supelco, США), 30 м × 0,25 мм. Оценка накопления ХОП проводилась по наиболее распространенным стойким ХОП: изомерам гексахлорциклогексана (α -, γ -, β -ГХЦГ) и метаболитам 4,4'-дихлордифенилтрихлорметилметана (ДДТ): дихлордифенилдихлорэтилена (ДДЕ) и дихлордифенилдихлорэтана (ДДД) и их изомерам (2,4-ДДЕ, 4,4'-ДДЕ, 4,4'-ДДД, 2,4-ДДД, 2,4-ДДТ). Оценка накопления ПХБ проводилась по индивидуальным конгенерам 28, 29, 44, 47, 49, 52, 87, 98, 99, 101, 105, 110, 118, 138, 153, 156, 157, 167, 180 (обозначения по системе ИЮПАК [34]).

При определении показателей загрязнения использовались методики, принятые и утвержденные для мониторинговых природоохранных исследований на федеральном уровне. Отбор, хранение и транспортировка проб рыбы в лабораторию выполнялись в соответствии с требованием ГОСТ 31339-2006 «Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Правила приемки и методы отбора проб (с Изменениями № 1, 2)» [35]. Безопасность уровней накопления токсикантов в морских ершах оценивалась в соответствии с нормативами, действующими на территории Российской Федерации: ТР ЕАЭС 040/2016 Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности рыбы и рыбной продукции» [36] и ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (с изменениями на 8 августа 2019 г.) [37].

При расчете средних величин концентраций исключались данные, не превышающие предел определения, т. е. минимальную концентрацию, погрешность определения которой еще соответствует нормам погрешности. Математическая и статистическая обработка полученных результатов проводилась стандартными методами вариационной статистики [38, 39] с использованием программного пакета Statistica v.10.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В исследуемой выборке встречались морские ерши с длиной тела без хвостового плавника (SL) в пределах от 160 до 233 мм и массой тела (M) в диапазоне от 209,2 до 580,7 г. Значения коэффициентов упитанности по Фульгону у исследуемых морских ершей колебались в интервале от 3,07 до 7,61. Информация о линейно-массовых показателях и упитанности морских ершей рассматриваемых акваторий представлена в табл. 1.

Как видно из данных табл. 1, средние значения длины тела морских ершей в акваториях рассматриваемых районов имели следующее ранжирование: г. Адлер ($176,0 \pm 2,87$ мм) < г. Геленджик ($183,0 \pm 13,89$ мм) < г. Севастополь ($186 \pm 4,50$ мм) < пос. Магри ($199,0 \pm 6,03$ мм) < г. Феодосия ($209,3 \pm 14,5$ мм) < с. Большой Утриш ($221,7 \pm 3,84$ мм).

В целом, закономерно, рыбам с большими средними значениями длины тела (SL) были свойственны и большие значения массы тела (M): г. Адлер ($223,3 \pm 7,11$) < г. Севастополь ($238,6 \pm 12,40$ г) < пос. Магри ($271,5 \pm 29,47$ г) < г. Геленджик ($296,3 \pm 42,18$ г) < г. Феодосия ($424,6 \pm 93,43$ г) < с. Большой Утриш ($445,2 \pm 16,90$ г). Однако из общей закономерности выбивались средние показатели массы тела рыб прибрежной акватории района г. Геленджик (среднее значение массы тела которых было больше, чем у рыб районов Севастополя и Магри, имевших большую среднюю длину тела). Данный факт, вероятно, обусловлен значительным влиянием на общую массу особей массы пищевого комка и высокой степени развития половых продуктов рассматриваемых рыб.

Упитанность особей разных акваторий варьировала следующим образом: пос. Магри ($3,43 \pm 0,217$) < г. Севастополь ($3,71 \pm 0,459$) < с. Большой Утриш ($4,09 \pm 0,062$) < г. Адлер ($4,11 \pm 0,263$) < г. Феодосия ($4,46 \pm 0,126$) < г. Геленджик ($5,09 \pm 1,260$).

Изучение накопления стойких ХОП в органах и тканях морского ерша показало, что в мышцах рыб изучаемые пестициды отсутствовали. В икре рыб, выловленных вблизи пос. Магри, отмечено присутствие метаболита препарата ДДТ 4,4'-ДДЕ в крайне низкой концентрации ($0,2$ мкг/кг). Как и ожидалось, наибольшее число случаев обнаружения ХОП — в печени рыб, причем во всех обследованных акваториях. Содержание метаболита препарата ДДТ 4,4'-ДДЕ было отмечено в печени всех обследованных особей. Наиболее высокие

Таблица 1. Линейно-массовые показатели и коэффициенты упитанности (по Фультону) морских ершей рассматриваемых акваторий

Table 1. Length and weight parameters and Fulton’s condition factor of the black scorpionfish in the investigated areas

Признак Character	$\frac{\bar{x} \pm m_{\bar{x}}}{min-max}$					
	Севастополь Sevastopol	Феодосия Feodosia	Б. Утриш B. Utrish	Геленджик Gelendzhik	Магри Magri	Адлер Adler
SL	$\frac{186,0 \pm 4,50}{182,0-191,0}$	$\frac{209,3 \pm 14,50}{183,0-233,0}$	$\frac{221,7 \pm 3,84}{214,0-226,0}$	$\frac{183,0 \pm 13,89}{160,0-208,0}$	$\frac{199,0 \pm 6,03}{192,0-211,0}$	$\frac{176,0 \pm 2,87}{171,0-181,0}$
M	$\frac{238,6 \pm 12,40}{226,2-251,0}$	$\frac{424,6 \pm 93,43}{257,6-580,7}$	$\frac{445,2 \pm 16,90}{441,5-464,3}$	$\frac{296,3 \pm 42,18}{216,8-360,5}$	$\frac{271,5 \pm 29,47}{217,2-318,5}$	$\frac{223,3 \pm 7,11}{209,2-231,9}$
K_y	$\frac{3,71 \pm 0,459}{3,25-4,16}$	$\frac{4,46 \pm 0,126}{4,20-4,59}$	$\frac{4,09 \pm 0,062}{3,98-4,20}$	$\frac{5,09 \pm 1,260}{3,66-7,61}$	$\frac{3,43 \pm 0,217}{3,07-3,82}$	$\frac{4,11 \pm 0,263}{3,84-4,64}$

Примечание: SL — длина тела без хвостового плавника, мм; M — масса тела, г; K_y — коэффициент упитанности по Фультону, $\bar{x} \pm m_{\bar{x}}$ — среднее значение \pm ошибка среднего; min — минимальное значение; max — максимальное значение

Note: SL — body length excluding the caudal fin, mm; M — body weight, g; K_y — Fulton’s condition factor, $\bar{x} \pm m_{\bar{x}}$ — average value \pm standard error; min — minimum value; max — maximum value

показатели указанного токсиканта были характерны для рыб, выловленных в районе с. Большой Утриш (23,0 \pm 4,8 мкг/кг), а минимальное значение было отмечено для рыб района Магри (0,2 \pm 0,04 мкг/кг). В районе г. Севастополь — 5,5 \pm 1,2 мкг/кг, г. Феодосия — 10,1 \pm 2,1 мкг/кг, г. Геленджик — 11,6 \pm 2,4 мкг/кг, г. Адлер — 0,6 \pm 0,1 мкг/кг.

Кроме того, в печени рыб, выловленных вблизи г. Геленджик и г. Адлер, обнаружен и другой метаболит препарата ДДТ — 4,4'-ДДД в концентрациях от 9,9 мкг/кг сырой массы до 1,5 мкг/кг, соответственно.

Изучение накопления ПХБ в органах и тканях морского ерша показало, что в мышцах рыб изучаемые соединения отсутствовали. В икре ершей, выловленных вблизи пос. Магри, отмечено присутствие 2,2',3,4,4',5,5'-гептахлорбифенила (180 конгенер) в крайне низкой концентрации — 1,1 мкг/кг. Ожидалось, что, как и для других ХОС, наибольшее число случаев обнаружения ПХБ будет в печени рыб. Однако проведенные исследования показали, что в только в рыбах, выловленных вблизи г. Феодосия, обнаружены индивидуальные конгенеры ПХБ в суммарной концентра-

ции 2,0–20,6 мкг/кг. Поименно были идентифицированы: 2,2',4,4',5-пентахлорбифенил (99 конгенер), 2,2',4,5,5'-пентахлорбифенил (101 конгенер), 2,2',3,4,4',5'-гексахлорбифенил (138 конгенер) и в наиболее высокой концентрации — высокотоксичный диоксиноподобный 2,3',4,4',5-пентахлорбифенил (118 конгенер). Данный факт свидетельствует о наличии антропогенного загрязнения акватории, прилегающей к г. Феодосия. В печени рыб, выловленных вблизи г. Геленджик, обнаружен 2,2',3,4,4',5,5'-гептахлорбифенил (180 конгенер) в крайне низкой концентрации 1,1 мкг/кг.

Железо — эссенциальный элемент, недостаток или избыток которого в гидробионтах, как и в любых живых организмах, приводит к различным физиологическим нарушениям. Диапазон содержания железа в органах и тканях рыб довольно широк. В обследованных образцах морского ерша содержание железа колебалось от 6,2 до 466 мг/кг с более высокими показателями в печени (137,3–466,0 мг/кг сырой массы). Максимальная концентрация железа, не критичная для морской биоты, обнаружена у рыб, выловленных в районе г. Геленджик (табл. 2).

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в органах и тканях морских ершей разных акваторий, мг/кг сырой массы**Table 2.** Content of heavy metals in the organs and tissues of the black scorpionfish in various areas, mg/kg, wet weight

Показатель Parameter	Севастополь Sevastopol	Феодосия Feodosia	Б. Утриш B. Utrish	Геленджик Gelendzhik	Магри Magri	Адлер Adler	ДУ [39] PL [39]
содержание в мышцах / content in the muscles							
Fe	14,0±	10,9±1,0	6,2±0,6	9,1±0,8	7,7±0,7	15,1±1,4	—**
Mn	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	—**
Zn	8,8±2,3	11,9±3,1	9,7±2,5	11,0±2,9	9,4±2,4	13,8±3,6	—**
Cr	<0,50	1,1±0,1	0,50±0,14	<0,50	<0,50	<0,50	—**
Ni	<0,50	7,0±0,6	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	—**
Cu	0,30±0,11	2,5±0,5	0,40±0,14	0,30±0,11	0,60±0,12	0,30±0,11	—**
Pb	<0,05	<0,05	0,10±0,01	<0,05	0,20±0,05	0,50±0,13	1,0
As	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,20±0,03	5,0
Cd	<0,005	0,010±0,004	0,010±0,004	0,010±0,004	0,010±0,004	0,010±0,004	0,2
Hg	0,100±0,026	0,100±0,026	0,010±0,003	<0,005	0,100±0,026	0,100±0,026	0,5
содержание в печени / content in the liver							
Fe	232,0±20,9	137,3±38,6	174,3±124,7	466,0±	202,7±54,9	181,3±27,2	—**
Mn	<1,0	1,0±0,1	1,0±0,2	<1,0	1,0±0,2	1,0±0,2	—**
Zn	37,0±4,4	75,3±9,0	91,7±11,0	36,0±4,3	70,7±8,5	149,1±17,8	—**
Cr	<0,50	0,70±0,20	0,50±0,14	0,89±0,25	0,54±0,15	<0,50	—**
Ni	<0,50	0,70±0,20	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	—**
Cu	3,9±0,8	7,9±1,6	3,3±0,7	5,6±1,1	13,6±2,7	3,7±0,7	—**
Pb	<0,05	<0,05	0,10±0,01	<0,05	0,20±0,05	0,30±0,08	1,0
As	1,6±0,3	<0,50	<0,50	1,8±0,3	<0,50	<0,50	—**
Cd	0,650±0,098	0,200±0,030	0,100±0,015	<0,005	0,260±0,039	0,200±0,030	0,7
Hg	0,020±0,005	0,100±0,026	0,100±0,026	<0,005	0,170±0,044	0,100±0,026	0,5
содержание в гонадах / content in the gonads							
Fe	—*	—*	25,0±2,3	14,0±1,3	27,0±2,4	—*	—**
Mn	—*	—*	<1,0	<1,0	<1,0	—*	—**
Zn	—*	—*	85,0±10,2	92,0±11,0	111,0±13,3	—*	—**
Cr	—*	—*	<0,50	<0,50	<0,50	—*	—**
Ni	—*	—*	<0,50	<0,50	<0,50	—*	—**
Cu	—*	—*	0,83±0,17	0,99±0,2	1,2±0,2	—*	—**
Pb	—*	—*	0,14±0,04	<0,05	0,18±0,05	—*	1,0
As	—*	—*	0,85±0,14	0,54±0,08	<0,05	—*	1,0
Cd	—*	—*	0,038±0,014	0,160±0,058	0,088±0,032	—*	1,0
Hg	—*	—*	0,024±0,006	<0,005	0,025±0,007	—*	0,2

Примечание: —* Определение не проводилось; —** содержание не нормируется

Note: —* Identification has not been conducted; —** content is not regulated

В мышцах и икре обследованных ершей марганец не найден (<1,0 мг/кг сырой массы); в печени его содержание колебалось на уровне предела обнаружения.

Концентрация цинка в мышцах ершей находилась в интервале от 8,8 до 13,8 мг/кг, в печени — от 36,0 до 149,1 мг/кг (в обоих случаях — с максимальными показателями у рыб, выловленных в районе г. Адлер), в гонадах — от 85,0 до 111,0 мг/кг сырой массы (максимум — у рыб, выловленных вблизи пос. Магри). Концентрации цинка, обнаруженные в органах и тканях морского ерша, соответствуют физиологической норме.

В икре морских ершей хром не найден (<0,50 мг/кг), в мышцах значимые концентрации (1,1 мг/кг) обнаружены только у рыб, выловленных в Феодосийском заливе, в печени (0,54–0,90 мг/кг) — у рыб, выловленных вблизи пос. Магри, с. Большой Утриш и г. Геленджик. В остальных случаях содержание хрома в мышцах и печени рыб колебалось на уровне предела обнаружения и ниже (0,50 мг/кг сырой массы).

Значимые концентрации никеля обнаружены только в мышцах и печени ершей, выловленных в Феодосийском заливе (7,0 и 0,70 мг/кг, соответственно); в остальных проанализированных пробах биоматериала никель не обнаружен (<0,50 мг/кг сырой массы).

В органах и тканях морского ерша содержание меди находилось в диапазоне от 0,30 до 13,6 мг/кг сырой массы. Более высокие уровни накопления отмечены в печени рыб (максимум — у рыб, выловленных у пос. Магри). Концентрации меди в биоте на уровне 10 мг/кг обычно не вызывают опасения, свыше 10 мг/кг — могут оказывать негативное влияние (в настоящем исследовании — это рыбы, выловленные вблизи пос. Магри).

Свинец в низкой концентрации (0,10–0,50 мг/кг) обнаружен в мышцах, печени и икре морского ерша, выловленного вблизи с. Большой Утриш и пос. Магри, в мышцах и печени — в районе г. Адлер. В остальных проанализированных пробах свинец не найден (<0,05 мг/кг сырой массы). Во всех проанализированных образцах морского ерша превышение предельно допустимого уровня (далее — ДУ) концентраций свинца не обнаружено.

Содержание кадмия в органах и тканях морского ерша соответствовало диапазону <0,005–

0,650 мг/кг без превышения ДУ. В мышцах рыб концентрации низкие, в печени и гонадах — более высокие с максимумом в печени рыб, выловленных в районе г. Севастополь. Биологические нормы содержания кадмия — до 0,1 мг/кг, при их превышении требуется контроль условий среды обитания. В настоящем исследовании повышенные концентрации кадмия обнаружены у рыб, выловленных в районе г. Севастополь и г. Феодосия, вблизи пос. Магри и г. Адлер (табл. 2).

Ртуть в концентрации 0,010–0,170 мг/кг сырой массы обнаружена в органах и тканях морского ерша практически всех обследованных акваторий (кроме района г. Геленджик) с максимумом в печени рыб, выловленных вблизи пос. Магри. В проанализированных образцах морского ерша превышение ДУ концентраций ртути не обнаружено.

В мышцах морского ерша мышьяк обнаружен в низкой концентрации (0,20 мг/кг) только у рыб, выловленных в районе г. Адлер; в печени — у ершей, выловленных в акваториях районов г. Севастополь и г. Геленджик (1,6 и 1,8 мг/кг, соответственно); в икре — у рыб, выловленных вблизи с. Большой Утриш и г. Севастополь (0,85 и 0,54 мг/кг, соответственно). В остальных проанализированных биологических образцах мышьяк не обнаружен (<0,5 мг/кг сырой массы). В проанализированных образцах морского ерша превышение ДУ концентраций мышьяка не обнаружено.

В целом, проведенные исследования показали, что из перечня контролируемых соединений и элементов в морских ершах, выловленных в районе г. Севастополь, в повышенных концентрациях **не обнаружены** ПХБ, марганец, хром, никель и ртуть; в Феодосийской бухте — в повышенных концентрациях **не обнаружены** свинец и мышьяк; вблизи с. Большой Утриш — в повышенных концентрациях **не обнаружены** ПХБ, никель и мышьяк, в районе г. Геленджик — в повышенных концентрациях **не обнаружены** марганец, никель, свинец, ртуть; вблизи пос. Магри — в повышенных концентрациях **не обнаружены** никель и мышьяк; в акватории г. Адлер — в повышенных концентрациях **не обнаружены** ПХБ, хром и никель. Во всех обследованных рыбах из всех акваторий вылова **найденны** железо, цинк, медь и высокотоксичные кадмий и остаточные концентрации ХОП (4,4'-ДДЕ) (табл. 3).

Таблица 3. Присутствие токсикантов (+) в органах и тканях морских ершей разных акваторий
Table 3. Presence (+) of toxicants in the organs and tissues of the black scorpionfish in various areas

Показатель Parameter	Севастополь Sevastopol	Феодосия Feodosia	Б. Утриш B. Utrish	Геленджик Gelendzhik	Магри Magri	Адлер Adler
ΣХОП ΣОСР	+	+	+	+	+	+
ΣПХБ ΣРСВ	-	+	-	+	+	-
Fe	+	+	+	+	+	+
Mn	-	+	+	-	+	+
Zn	+	+	+	+	+	+
Cr	-	+	+	+	+	-
Ni	-	+	-	-	-	-
Cu	+	+	+	+	+	+
Pb	-	-	+	-	+	+
As	+	-	-	+	+	-
Cd	+	+	+	+	+	+
Hg	+	+	+	-	+	+

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно проведенным исследованиям, уровень накопления токсикантов в морском ерше в зависимости от места вылова в разных акваториях Черного моря можно выстроить в следующий убывающий ряд: пос. Магри < г. Феодосия < с. Большой Утриш < г. Адлер = г. Геленджик < г. Севастополь.

Как было указано ранее, средние значения длины тела (*SL*) морских ершей рассматриваемых акваторий в разных районах имели следующее ранжирование: г. Адлер (176,0±2,87 мм) < г. Геленджик (183,0±13,89 мм) < г. Севастополь (186,0±4,50 мм) < пос. Магри (199,0±6,03 мм) < г. Феодосия (209,3±14,5 мм) < с. Большой Утриш (221,7±3,84 мм).

Исходя из вышеуказанного, прослеживается следующая закономерность: рыбы из трех акваторий с наибольшим уровнем загрязнения токсикантами (г. Адлер, г. Геленджик, г. Севастополь) имели меньшие средние показатели длины тела, чем особи менее загрязненных акваторий (пос. Магри, г. Феодосия, с. Большой Утриш). Данный факт может указывать на влияние степени загрязненности акватории токсикантами на размеры мор-

ских ершей, обитающих в ней: чем больше влияние токсикантов — тем меньше размеры особей, и наоборот.

При сопоставлении результатов анализа уровня накопления токсикантов с данными об упитанности особей взаимосвязь не выявлена, что может свидетельствовать о высоком уровне адаптационных способностей рассматриваемого вида, успешно приспособляющегося к воздействию негативных факторов.

Дополнительно стоит отметить, что указанные данные об уровне накопления токсикантов в определенной мере согласуются с результатами проведенного нами ранее анализа флуктуирующей асимметрии меристических признаков морских ершей рассматриваемых акваторий [40]. Так, на основе анализа 611 особей морских ершей (включая рассматриваемых в данном исследовании) было установлено, что из шести акваторий (г. Севастополь, г. Феодосия, с. Большой Утриш, г. Геленджик, пос. Магри, г. Адлер) наименее благоприятные условия обитания морских ершей сложились в районах г. Севастополь и г. Геленджик, где по результатам исследования качество среды их

обитания было оценено как находящееся в критическом состоянии.

В целом, в ходе исследования была установлена способность морского ерша аккумулировать ХОС и тяжелые металлы. С учетом биологических особенностей рассматриваемого вида, хищничества, малоподвижного оседлого образа жизни, а также повсеместной распространенности в пределах Кавказского и Крымского шельфов Черного моря, морской ерш может быть использован в качестве надежного биоиндикатора при оценке степени загрязнения акваторий ХОС и тяжелыми металлами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлова И.Г., Павленко Н.Е., Коморин В.Н., Бондарь С.Б. Современное состояние химического загрязнения Северо-Западного шельфа Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2001. Вып. 1. С. 139–153.
2. Поликарпов Г.Г., Жерко Н.В. Экологические аспекты изучения загрязнения Черного моря хлороорганическими ксенобиотиками // Экология моря. 1996. Вып. 45. С. 92–100.
3. Себах Л.К., Панкратова Т.М. Оценка загрязненности Азовского и Черного морей в современных антропогенных условиях // Труды ЮгНИРО. 1995. Т. 41. С. 91–93.
4. Maldonado C., Bayona J.M. Organochlorine compounds in the North-Western Black Sea water: Distribution and water column process // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2002. Vol. 54, issue 3. Pp. 527–540. doi: 10.1006/ecss.2000.0672.
5. Tanabe S., Madhusree B., Öztürk A.A., Tatsukawa R., Miyazaki N., Özdamar E., Aral O., Samsun O., Öztürk B. Persistent organochlorine residues in harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) from the Black Sea // Marine Pollution Bulletin. 1997. Vol. 34, issue 5. Pp. 338–347.
6. Пospelова Н.В., Егоров В.Н., Приймак А.С., Пospelов С.С., Штунц А.С., Посторонюк К.М., Проскурнин В.Ю. Влияние взвешенного вещества на биогеохимический цикл тяжелых металлов в прибрежной акватории г. Севастополя // Актуальные проблемы изучения черноморских экосистем — 2020 : тезисы докл. Всерос. онлайн-конф. (г. Севастополь, 19–22 октября 2020 г.). Севастополь: Изд-во Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», 2020. С. 68–69. doi: 10.21072/978-5-6044865-4-2.
7. Лобанова Т.А. Особенности накопления тяжелых металлов промысловыми видами рыб // Вестник Костромского государственного университета. 2008. № 1. С. 18–21.
8. Бедрицкая И.Н. Влияние тяжелых металлов на организм рыб, выращиваемых на сбросных водах электростанций : дис. канд. биол. наук. СПб: Изд-во Государственного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга, 2000. 153 с.
9. Евсева А.И., Кораблина И.В., Геворкян Ж.В., Каталевский Н.И., Горгола Л.Г. Оценка загрязнения воды и донных отложений Кавказского района Черного моря тяжелыми металлами и мышьяком в современный период // Водные биоресурсы и среда обитания. 2020. Т. 3, № 3. С. 7–16. doi: 10.47921/2619-1024_2020_3_3_7.
10. Перевозников М.А., Богданова Е.А. Тяжелые металлы в пресноводных экосистемах. СПб: Изд-во Государственного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга, 1999. 228 с.
11. Короткова Л.И., Кораблина И.В., Барабашин Т.О. Аккумуляция приоритетных поллютантов в рыбах Азовского моря за последнее десятилетие // Водные биоресурсы и среда обитания. 2019. Т. 2, № 3. С. 20–32. doi: 10.47921/2619-1024_2019_2_3_20.
12. Батоян В.В., Сорокин В.Н. Микроэлементы в рыбах Куйбышевского водохранилища // Экология. 1989. № 6. С. 81–83.
13. Грубинко В.В., Смольский А.С., Коновец И.Н., Арсан О.М. Гемоглобин рыб при действии аммиака и солей тяжелых металлов // Гидробиологический журнал. 1995. Т. 31, № 4. С. 82–87.
14. Кузнецов В.А. Признаки дестабилизации в рыбном сообществе Куйбышевского водохранилища // Актуальные экологические проблемы Республики Татарстан : тезисы докл. IV респ. науч. конф. (Казань, 2000). Казань: Изд-во Института экологии природных систем Академии наук Республики Татарстан, Новое знание, 2000. С. 60.
15. Пономаренко А.М. Эколого-рыбохозяйственные аспекты ртутного загрязнения водохранилищ : дис. канд. биол. наук. Казань: Изд-во Государственного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга, 2006. 116 с.
16. Малахова Л.В., Скуратовская Е.Н., Малахова Т.В., Болтачев А.Р., Лобко В.В. Хлороорганические соединения в ерше *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758 в акватории Севастополя (Черное море): пространственное распределение и биологический отклик на уровень накопления загрязнителей // Морской биологический журнал. 2018. Т. 3, № 4. С. 51–63. doi: 10.21072/mbj.2018.03.4.06.
17. Пашков А.Н., Круглов М.В. Морской ерш (*Scorpaena porcus* L., Pisces) у Южного берега Крыма: неоднозначный ответ на воздействие антропогенных

- факторов // Проблемы общей биологии и прикладной экологии : сб. трудов молодых ученых. Саратов: Изд-во Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского, 1997. С. 31–35.
18. Овен Л.С., Руднева И.И., Шевченко Н.Ф. Ответные реакции морского ерша *Scorpaena porcus* (Scorpaenidae) на антропогенное воздействие // Вопросы ихтиологии. 2000. Т. 40, № 1. С. 75–78.
 19. Пашков А.Н. Ихтиофауна прибрежного шельфа Черного моря в полигалинных акваториях : автореф. дис. канд. биол. наук. М.: Изд-во ВНИРО, 2001. 25 с.
 20. Водяницкий В.А. Пелагические яйца и личинки рыб в районе Новороссийской бухты // Труды Новороссийской биологической станции. 1930. Вып. 4. С. 93–130.
 21. Косьякина Е.Г. Пелагическая икра рыб в районе Новороссийска // Труды Новороссийской биологической станции. 1938. Т. 2, вып. 2. С. 7–29.
 22. Дехник Т.В., Павловская Р.М. Распределение икры и личинок некоторых рыб Черного моря // Труды Азово-Черноморского научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии. 1950. Вып. 14. С. 151–167.
 23. Павловская Р.М., Архипов А.Г. Указания по определению пелагических личинок и мальков рыб Черного моря. Керчь: Изд-во Азово-Черноморского научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии, 1989. 125 с.
 24. Овен Л.С. Особенности оогенеза и характер нереста морских рыб. К.: Наукова думка, 1976. 186 с.
 25. Световидов А.Н. Рыбы Черного моря. М.–Л.: Наука, 1964. 550 с.
 26. Дехник Т.В. Особенности строения, развития и экологии пелагических икринок и личинок рыб Черного моря // Биология моря. 1971. Вып. 25. С. 3–29.
 27. Дехник Т.В. Ихтиопланктон Черного моря. К.: Наукова думка, 1973. 234 с.
 28. Пряхин Ю.В., Шкицкий В.А. Методы рыбохозяйственных исследований : учеб. пособие. Краснодар: Изд-во Кубанского государственного университета, 2006. 214 с.
 29. Fulton T.W. Rate of growth of sea fish // 20th Annual Report of the Fishery Board for Scotland. 1902. No. 3. Pp. 226–334.
 30. ФР.1.31.2007.04014 Методика выполнения измерений массовых долей кадмия, меди, свинца и цинка в пробах гидробионтов методом атомной абсорбции с электротермической атомизацией. Ростов-н/Д.: Изд-во АЗНИИРХ, Вираз, 2007. 14 с.
 31. ФР.1.31.2019.32870 Методика выполнения измерений массовых долей железа, марганца, мышьяка, никеля и хрома в пробах гидробионтов методом атомной абсорбции с электротермической атомизацией. Ростов-н/Д.: Изд-во АЗНИИРХ, Вираз, 2018. 16 с.
 32. Методика измерений массовых долей алюминия, бария, кадмия, кобальта, лития, мышьяка, серебра, стронция и таллия в пробах гидробионтов методом атомной абсорбции с электротермической атомизацией. Ростов-н/Д.: Изд-во Гидрохимического института, 2021. 25 с.
 33. ФР.1.31.2015.21649 Методика выполнения измерений массовой доли ртути в пробах гидробионтов методом беспламенной атомной абсорбции. Ростов-н/Д.: Изд-во Гидрохимического института, 2015. 13 с.
 34. Клюев Н.А., Бродский Е.С. Определение полихлорированных бифенилов в окружающей среде и биоте // Полихлорированные бифенилы. Супертоксиканты XXI века. Информационный выпуск № 5. М.: Изд-во Всероссийского института научной и технической информации Российской академии наук, 2000. С. 31–63.
 35. ГОСТ 31339-2006 Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Правила приемки и методы отбора проб (с Изменениями № 1, 2). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200049977> (дата обращения 20.05.2022).
 36. ТР ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции». URL: <http://docs.cntd.ru/document/420394425> (дата обращения 20.05.2022).
 37. ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (с изменениями на 8 августа 2019 г.). URL: <https://docs.cntd.ru/document/564134628> (дата обращения 20.05.2022).
 38. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
 39. Животовский Л.А. Популяционная биометрия. М.: Наука, 1991. 271 с.
 40. Полин А.А. Стабильность развития и флуктуирующая асимметрия морских ершей *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758 (Pisces: Scorpaenidae) Кавказского и Крымского шельфов Черного моря // Экология и природопользование. 2022. Вып. 19. С. 66–70.

REFERENCES

1. Orlova I.G., Pavlenko N.E., Komorin V.N., Bondar S.B. Sovremennoe sostoyanie khimicheskogo zagryazneniya Severo-Zapadnogo shel'fa Chernogo morya [Current status of chemical pollution of the Northwestern Shelf in the Black Sea]. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fovoy zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa* [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources], 2001, issue 1, pp. 139–153. (In Russian).
2. Polikarpov G.G., Zherko N.V. Ekologicheskie aspekty izucheniya zagryazneniya Chernogo morya khlrororganicheskimi ksenobiotikami [Ecological aspects of studying of pollution of the Black Sea by organochlorine xenobiotics]. *Ekologiya morya* [Ecology of the Sea], 1996, issue 45, pp. 92–100. (In Russian).

3. Sebakh L.K., Pankratova T.M. Otsenka zagryaznennosti Azovskogo i Chernogo morey v sovremennykh antropogennykh usloviyakh [Black and Azov Seas pollution assessment in modern anthropogenic conditions]. *Trudy YugNIRO [Proceedings of the Southern Scientific Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography]*, 1995, vol. 41, pp. 91–93. (In Russian).
4. Maldonado C., Bayona J.M. Organochlorine compounds in the North-Western Black Sea water: Distribution and water column process. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2002, vol. 54, issue 3, pp. 527–540. doi: 10.1006/ecss.2000.0672.
5. Tanabe S., Madhusree B., Öztürk A.A., Tatsukawa R., Miyazaki N., Özdamar E., Aral O., Samsun O., Öztürk B. Persistent organochlorine residues in harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) from the Black Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 1997, vol. 34, issue 5, pp. 338–347.
6. Pospelova N.V., Egorov V.N., Priymak A.S., Pospelov S.S., Shtrunts A.S., Postoronyuk K.M., Proskurnin V.Yu. Vliyanie vzveshennogo veshchestva na biogeokhimicheskiy tsikl tyazhelykh metallov v pribrezhnoy akvatorii g. Sevastopolya [The effect of suspended matter on the biogeochemical cycle of heavy metals in the coastal waters of the city of Sevastopol]. In: *Aktual'nye problemy izucheniya chernomorskikh ekosistem — 2020 : tezisy dokladov Vserossiyskoy onlayn-konferentsii (g. Sevastopol', 19–22 oktyabrya 2020 g.) [Pressing issues of the Black Sea ecosystem research — 2020. Abstracts of the All-Russian Online Conference (Sevastopol, 19–22 October, 2020)]*. Sevastopol: Federal'nyy issledovatel'skiy tsentr “Institut biologii yuzhnykh morey im. A.O. Kovalevskogo RAN” [Federal Research Center “A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas”] Publ., 2020, pp. 68–69. doi: 10.21072/978-5-6044865-4-2.
7. Lobanova T.A. Osobennosti nakopleniya tyazhelykh metallov promyslovymi vidami ryb [Features of the accumulation of heavy metals by commercial fish species]. *Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Kostroma State University]*, 2008, no. 1, pp. 18–21. (In Russian).
8. Bedritskaya I.N. Vliyanie tyazhelykh metallov na organizm ryb, vyrashchivaemykh na sbrosnykh vodakh elektrostantsiy : dis. kand. biol. nauk [The influence of heavy metals on the organism of fish reared in the waste waters of power plants. Candidate's (Biology) Thesis]. Saint Petersburg: Gosudarstvennyy nauchno-issledovatel'skiy institut ozernogo i rechnogo rybnogo khozyaystva im. L.S. Berga [State Research Institute on Lake and River Fisheries] Publ., 2000, 153 p. (In Russian).
9. Evseeva A.I., Korablina I.V., Gevorkyan Zh.V., Katalevskiy N.I., Gorgola L.G. Otsenka zagryazneniya vody i donnykh otlozheniy Kavkazskogo rayona Chernogo morya tyazhelymi metallami i mysh'yakom v sovremenny period [Assessment of water and bottom sediment pollution with heavy metals and arsenic in the Caucasus Region of the Black Sea at the present time]. *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya [Aquatic Bioresources & Environment]*, 2020, vol. 3, no. 3, pp. 7–16. doi: 10.47921/2619-1024_2020_3_3_7. (In Russian).
10. Perevoznikov M.A., Bogdanova E.A. Tyazhelye metally v presnovodnykh ekosistemakh [Heavy metals in freshwater ecosystems]. Saint Petersburg: Gosudarstvennyy nauchno-issledovatel'skiy institut ozernogo i rechnogo rybnogo khozyaystva im. L.S. Berga [State Research Institute on Lake and River Fisheries] Publ., 1999, 228 p. (In Russian).
11. Korotkova L.I., Korablina I.V., Barabashin T.O. Akkumulyatsiya prioritetnykh pollyutantov v rybkakh Azovskogo morya za poslednee desyatiletie [Accumulation of priority pollutants in the fish of the Azov Sea over the last decade]. *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya [Aquatic Bioresources & Environment]*, 2019, vol. 2, no. 3, pp. 20–32. doi: 10.47921/2619-1024_2019_2_3_20. (In Russian).
12. Batoyan V.V., Sorokin V.N. Mikroelementy v rybkakh Kuybyshevskogo vodokhranilishcha [Trace elements in the fish of Kuybyshev Reservoir]. *Ekologiya [Ecology]*, 1989, no. 6, pp. 81–83. (In Russian).
13. Grubinko V.V., Smolskiy A.C., Konovets I.N., Arsan O.M. Gemoglobin ryb pri deystvii ammiaka i soley tyazhelykh metallov [Fish hemoglobin under the effect of ammonia and the salts of heavy metals]. *Gidrobiologicheskii zhurnal [Hydrobiological Journal]*, 1995, vol. 31, no. 4, pp. 82–87. (In Russian).
14. Kuznetsov V.A. Priznaki destabilizatsii v rybnoy soobshchestve Kuybyshevskogo vodokhranilishcha [Signs of destabilization in the fish community of the Kuybyshev Reservoir]. In: *Aktual'nye ekologicheskie problemy Respubliki Tatarstan : tezisy dokladov IV respublikanskoy nauchnoy konferentsii (Kazan, 2000) [Pressing environmental problems of the Republic of Tatarstan. Abstracts of the 4th Republican Scientific Conference (Kazan, 2000)]*. Kazan: Institut ekologii prirodnykh sistem Akademii nauk Respubliki Tatarstan [Institute of Ecology of Nature Systems, Tatarstan Academy of Science] Publ., Novoe znanie [New Knowledge], 2000, pp. 60. (In Russian).
15. Ponomarenko A.M. Ekologo-rybokhozyaystvennyye aspekty rtutnogo zagryazneniya vodokhranilishch : dis. kand. biol. nauk [Ecological and fishery aspects of mercury pollution of reservoirs. Extended abstract of Candidate's (Biology) Thesis]. Kazan: Gosudarstvennyy nauchno-issledovatel'skiy institut ozernogo i rechnogo rybnogo khozyaystva im. L.S. Berga [State Research Institute on Lake and River Fisheries] Publ., 2006, 116 p. (In Russian).
16. Malakhova L.V., Skuratovskaya E.N., Malakhova T.V., Boltachev A.R., Lobko V.V. Khlrororganicheskie soedineniya v ershe *Scorpaena porcus* Linnaeus,

- 1758 v akvatorii Sevastopolya (Chernoe more): prostranstvennoe raspredelenie i biologicheskii otklik na uroven' nakopleniya zagryazniteley [Organochlorine compounds in scorpion fish *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758 in the Sevastopol marine area (Black Sea): Spatial distribution and biological response]. *Morskoy biologicheskii zhurnal* [Marine Biological Journal], 2018, vol. 3, no. 4, pp. 51–63. doi: 10.21072/mbj.2018.03.4.06. (In Russian).
17. Pashkov A.N., Kruglov M.V. Morskoy ersh (*Scorpaena porcus* L., Pisces) u Yuzhnogo berega Kryma: neodnoznachnyy otvet na vozdeystvie antropogennykh faktorov [Black scorpionfish (*Scorpaena porcus* L., Pisces) near the Southern Coast of Crimea: An ambiguous response to the impact of anthropogenic factors]. In: *Problemy obshchey biologii i prikladnoy ekologii: sbornik trudov molodykh uchenykh* [Problems of general biology and applied ecology. Collection of research works of young scientists]. Saratov: Saratovskiy gosudarstvennyy universitet im. N.G. Chernyshevskogo [Saratov Chernyshevsky State University] Publ., 1997, pp. 31–35. (In Russian).
 18. Oven L.S., Rudneva I.I., Shevchenko N.F. Otvetnye reaktsii morskogo ersha *Scorpaena porcus* (Scorpaenidae) na antropogennoe vozdeystvie [Responses of the black scorpionfish *Scorpaena porcus* (Scorpaenidae) to anthropogenic impact]. *Voprosy ikhtiologii* [Journal of Ichthyology], 2000, vol. 40, no. 1, pp. 75–78. (In Russian).
 19. Pashkov A.N. Ikhtiofauna pribrezhnogo shel'fa Chernogo morya v poligalinnnykh akvatoriakh: avtoref. dis. kand. biol. nauk [Ichthyofauna of the coastal shelf of the Black Sea in polyhaline water areas. Extended abstract of Candidate's (Biology) Thesis]. Moscow: VNIRO Publ., 2001, 25 p. (In Russian).
 20. Vodyanitskiy V.A. Pelagicheskie yaytsa i lichinki ryb v rayone Novorossiyskoy bukhty [Pelagic eggs and fish larvae in the Novorossiysk Bay area]. *Trudy Novorossiyskoy biologicheskoy stantsii* [Proceedings of the Novorossiysk Biological Station], 1930, issue 4, pp. 93–130. (In Russian).
 21. Kosyakina E.G. Pelagicheskaya ikra ryb v rayone Novorossiyska [Pelagic fish egg in Novorossiysk area]. *Trudy Novorossiyskoy biologicheskoy stantsii* [Proceedings of the Novorossiysk Biological Station], 1938, vol. 2, issue 2, pp. 7–29. (In Russian).
 22. Dekhnik T.V., Pavlovskaya R.M. Raspredelenie ikry i lichinok nekotorykh ryb Chernogo morya [Distribution of eggs and larvae of some Black Sea fish species]. *Trudy Azovo-Chernomorskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta morskogo rybnogo khozyaystva i okeanografii* [Proceedings of the Azov-Black Sea Research Institute for Marine Fisheries and Oceanography], 1950, issue 14, pp. 151–167. (In Russian).
 23. Pavlovskaya R.M., Arkhipov A.G. Ukazaniya po opredeleniyu pelagicheskikh lichinok i mal'kov ryb Chernogo morya [Guidelines for the identification of pelagic larvae and fry of Black Sea fish species]. Kerch: Azovo-Chernomorskiy nauchno-issledovatel'skiy institut morskogo rybnogo khozyaystva i okeanografii [Azov-Black Sea Research Institute for Marine Fisheries and Oceanography] Publ., 1989, 125 p. (In Russian).
 24. Oven L.S. Osobennosti oogeneza i kharakter neresta morskikh ryb [Features of oogenesis and the nature of spawning of marine fish]. Kyiv: Naukova dumka [Scientific Thought], 1976, 186 p. (In Russian).
 25. Svetovidov A.N. Ryby Chernogo morya [The fishes of the Black Sea]. Moscow–Leningrad: Nauka [Science], 1964, 550 p. (In Russian).
 26. Dekhnik T.V. Osobennosti stroeniya, razvitiya i ekologii pelagicheskikh ikrinok i lichinok ryb Chernogo morya [Features of morphology, development and ecology of pelagic eggs and larvae of the Black Sea fish species]. *Biologiya morya* [Biology of the Sea], 1971, issue 25, pp. 3–29. (In Russian).
 27. Dekhnik T.V. Ikhtioplankton Chernogo morya [Ichthyoplankton of the Black Sea]. Kyiv: Naukova dumka [Scientific Thought], 1973, 234 p. (In Russian).
 28. Pryakhin Yu.V., Shkitskiy V.A. Metody rybokhozyaystvennykh issledovaniy: uchebnoe posobie [Methods of fishery research. Study guide]. Krasnodar: Kubanskiy gosudarstvennyy universitet [Kuban State University] Publ., 2006, 214 p. (In Russian).
 29. Fulton T.W. Rate of growth of sea fish. *20th Annual Report of the Fishery Board for Scotland*, 1902, no. 3, pp. 226–334.
 30. FR.1.31.2007.04014 Metodika vypolneniya izmereniy massovykh doley kadmiya, medi, svintsya i tsinka v probakh gidrobiontov metodom atomnoy absorbtzii s elektrotermicheskoy atomizatsiey [Methodology for measurement of mass fractions of cadmium, copper, lead, and zinc in the samples of hydrobionts with application of the method of atomic absorption spectroscopy with electrothermal atomization]. Rostov-on-Don: AzNIIRKH Publ., Virazh [Virage], 2007, 14 p. (In Russian).
 31. FR.1.31.2019.32870 Metodika vypolneniya izmereniy massovykh doley zheleza, margantsa, mysh'yaka, nikelya i khroma v probakh gidrobiontov metodom atomnoy absorbtzii s elektrotermicheskoy atomizatsiey [Methodology for measurement of mass fractions of iron, manganese, arsenic, nickel, and chrome in the samples of hydrobionts with application of the method of atomic absorption spectroscopy with electrothermal atomization]. Rostov-on-Don: AzNIIRKH Publ., Virazh [Virage], 2019, 16 p. (In Russian).
 32. Metodika izmereniy massovykh doley alyuminiya, bariya, kadmiya, kobal'ta, litiya, mysh'yaka, serebra, strontsiya i talliya v probakh gidrobiontov metodom atomnoy absorbtzii s elektrotermicheskoy atomizatsiey [Methodology for measurement of mass fractions of aluminum, barium, cadmium, cobalt, lithium,

- arsenic, silver, strontium, and thallium in the samples of hydrobionts with application of the method of atomic absorption spectroscopy with electrothermal atomization]. Rostov-on-Don: Gidrokhimicheskiy institut [Hydrochemical Institute] Publ., 2021, 25 p. (In Russian).
33. FR.1.31.2015.21649 Metodika vypolneniya izmereniy massovoy doli rtuti v probakh gidrobiontov metodom besplamennoy atomnoy absorbtzii [Methodology for measurement of mass fractions of mercury in the samples of hydrobionts with application of the method of flameless atomic absorption spectrometry]. Rostov-on-Don: Gidrokhimicheskiy institut [Hydrochemical Institute] Publ., 2015, 13 p. (In Russian).
34. Klyuev N.A., Brodskiy E.S. Opredelenie polikhlorirovannykh bifenilov v okruzhayushchey srede i biote [Determination of polychlorinated biphenyls in the environment and biota]. In: *Polikhlorirovannyye bifenyly. Supertoksikanty XXI veka. Informatsionnyy vypusk N 5 [Polychlorinated biphenyls. Supertoxicants of the 21st century. Informational Bulletin No. 5]*. Moscow: Vserossiyskiy institut nauchnoy i tekhnicheskoy informatsii Rossiyskoy akademii nauk [All-Russian Institute for Scientific and Technical Information] Publ., 2000, pp. 31–63. (In Russian).
35. GOST 31339-2006 Ryba, nerybnye ob"ekty i produktsiya iz nikh. Pravila priemki i metody otbora prob (s Izmeneniyami N 1, 2) [State Standard 31339-2006 Fish, non-fish objects and products of their processing. Acceptance rules and sampling methods (with Amendments No. 1, 2)]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200049977> (accessed 20.05.2022). (In Russian).
36. TR EEU 040/2016 "On safety of fish and fish products". Available at: <https://globexpert.ru/upload/tcu/10.pdf> (accessed 20.05.2022).
37. TR CU 021/2011 "Safety of food products" (amended August 8, 2019). Available at: http://www.rustandard.com/images/CU_TR/TR_CU_021.2011_Safety_of_Food_Products.pdf (accessed 20.05.2022).
38. Lakin G.F. Biometriya [Biometry]. Moscow: Vysshaya shkola [Higher School], 1990, 352 p. (In Russian).
39. Zhivotovskiy L.A. Populyatsionnaya biometriya [Population biometrics]. Moscow: Nauka [Science], 1991, 271 p. (In Russian).
40. Polin A.A. Stabil'nost' razvitiya i fluktuiruyushchaya asimmetriya morskikh ershey *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758 (Pisces: Scorpaenidae) Kavkazskogo i Krymskogo shel'fov Chernogo morya [Stability of development and fluctuating asymmetry of the black scorpionfish *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758 (Pisces: Scorpaenidae) of the Caucasian and Crimean shelves of the Black Sea]. *Ekologiya i prirodopol'zovanie [Ecology and Nature Management]*, 2022, issue 19, pp. 66–70. (In Russian).

Поступила 03.06.2022

Принята к печати 01.08.2022