

Научная статья
УДК 574.2
<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2024-2-65-72>
EDN HXZCNE

Содержание железа в органах и тканях каспийского рыбка *Vimba vimba persa* (Pallas)

Елизавета Александровна Степаненко¹, Ирина Владимировна Волкова^{2✉},
Владимир Александрович Чаплыгин³, Татьяна Сергеевна Ершова⁴

¹⁻⁴Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия gridasova@mail.ru

²Каспийский институт морского и речного транспорта имени генерал-адмирала Ф. М. Апраксина –
филиал ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта»,
Астрахань, Россия

Аннотация. Объектом исследования в работе является каспийский рыбец *Vimba vimba persa* (Pallas) – один из промысловых видов рыб Каспийского моря. Анализу подвергали пробы рыбы, отобранные в средней части Каспийского моря в осенний период с 2020 по 2023 г. Работа включает исследования концентрации железа в органах и тканях (мышечная ткань, гонады, печень, жабры, ЖКТ) и пищевом коме рыбка каспийского *Vimba vimba persa* (Pallas) в возрасте 2-х и 3-х лет. Выявлено, что в большей степени в организме рыбка каспийского происходит накопление железа в печени, а в меньшей – в мышечной ткани. Проведен сравнительный анализ концентрации металла в зависимости от пола и возраста рыб. Установлено, что самки накапливают железо в меньшей степени, чем самцы. Средняя концентрация железа в организме самок 2 лет составила 184,11 мг/кг сухого вещества, а у самок 3 лет 163,58 мг/кг сухого вещества. Средняя концентрация железа в организме самцов 2 лет составила 203,39 мг/кг сухого вещества, а у самцов 3 лет 225,92 мг/кг сухого вещества. Также в организме самцов отмечается увеличение концентрации железа при достижении 3-летнего возраста, а у самок незначительное снижение концентрации. Наблюдаются половые отличия в особенностях распределения металла в органах рыб (печени, жабрах, гонадах). Особый интерес представляет динамика металла в гонадах (у самок увеличивается, у самцов снижается). Происходит перераспределение металла в органах и тканях рыб.

Ключевые слова: железо, каспийский рыбец, гонады, мышечная ткань, жабры, печень

Для цитирования: Степаненко Е. А., Волкова И. В., Чаплыгин В. А., Ершова Т. С. Содержание железа в органах и тканях каспийского рыбка *Vimba vimba persa* (Pallas) // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2024. № 2. С. 65–72. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2024-2-65-72>. EDN HXZCNE.

Original article

Fe content in organs and tissues of the Caspian vimba *Vimba vimba persa* (Pallas)

Elizaveta A. Stepanenko¹, Irina V. Volkova^{2✉}, Vladimir A. Chaplygin³, Tatyana S. Ershova⁴

¹⁻⁴Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, gridasova@mail.ru

²Caspian Institute of Sea and River Transport named after Admiral F. M. Apraksin,
branch of the Volga State University of Water Transport,
Astrakhan, Russia

Abstract. The object of research in this work is the Caspian vimba *Vimba vimba persa* (Pallas), one of the commercial fish species of the Caspian Sea. Fish samples taken in the middle part of the Caspian Sea in the autumn period from 2020 to 2023 were analyzed. The work includes studies of Fe concentration in organs and tissues (muscle tissue, gonads, liver, gills, gastrointestinal tract) and food coma of the Caspian vimba *Vimba vimba persa* (Pallas) aged 2 and 3 years old. It was revealed that Fe accumulation in the liver occurs to a greater extent in the body of the Caspian vim-

ba, and to a lesser extent in muscle tissue. A comparative analysis of the metal concentration was carried out depending on the sex and age of the fish. It was found that females accumulate Fe to a lesser extent than males. The average concentration of Fe in the body of 2-year-old females was 184.11 mg/kg of dry matter, and in 3-year-old females 163.58 mg/kg of dry matter. The average concentration of Fe in the body of males aged 2 years was 203.39 mg/kg of dry matter, and in males aged 3 years 225.92 mg/kg of dry matter. There is also an increase in the concentration of Fe in the body of males upon reaching the age of 3, and a slight decrease in concentration in females. There are sexual differences in the distribution of metal in fish organs (liver, gills, gonads). Of particular interest is the dynamics of metal in the gonads (increases in females, decreases in males). There occurs redistribution of metal in the organs and tissues of fish.

Keywords: Fe, the Caspian vimba, gonads, muscle tissue, gills, liver

For citation: Stepanenko E. A., Volkova I. V., Chaplygin V. A., Ershova T. S. Fe content in organs and tissues of the Caspian vimba *Vimba vimba persa* (Pallas). *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry.* 2024;2:65-72. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2024-2-65-72>. EDN HXZCNE.

Введение

В связи с возрастающим уровнем антропогенной нагрузки на водные объекты актуальным остается вопрос изучения биогеохимических циклов [1].

Степень миграции и включение химических элементов в компоненты окружающей среды напрямую зависит от живых организмов, способствующих их вовлечению в цикл через трофические связи, способности аккумулировать и использовать в необходимых физиологических процессах.

В процессе эволюционного развития происходила постепенная настройка органогенной миграции химических элементов, а также формировалось их избирательное накопление организмами в процессе жизнедеятельности.

Качественные и количественные характеристики химического состава организма отвечают за его роль в биогеохимическом цикле и демонстрируют физиологическую характеристику, что в итоге формирует видовые особенности. Существование организма изолированно от геохимических процессов биосферы невозможно [2].

Микроэлементам присуща высокая биологическая активность, а это значит, что они в малых концентрациях способны оказывать значительное биохимическое влияние на физиологические процессы в организме. Их недостаток или избыток может вызвать различные патологии в развитии или интоксикацию организма, что нередко вызывает гибель [3].

Микроэлементы не являются структурными элементами организма, но присутствие некоторых из них (например, железа) необходимо рыбам. Данный элемент присутствует в организме рыб в более высоких концентрациях по отношению к другим металлам. Уровень его содержания в компонентах водных морских экосистем также относительно высок [4].

Железо (Fe) является эссенциальным (истинным) биоэлементом, в определенных и допустимых концентрациях необходимым живым организмам для обеспечения физиологических процессов [5, 6]. На клеточном уровне данный элемент способствует протеканию биохимических процес-

сов, обеспечивая процессы дыхания (является составной частью гемоглобина), синтеза белков, а также принимает участие в углеводном, жировом обменах и др. [7, 8].

Железо входит в состав гемопротеинов, поддерживающих широкий спектр функций. Процесс индивидуального развития организма (онтогенеза) на ранних стадиях не может протекать адекватно при недостатке железосодержащих комплексов (цитохромов и железофлавопротеинов), необходимых для активации потенциальной энергии, обусловленной запасами питательных веществ желтого мешка [4, 9].

Попадание железа в окружающую среду возможно благодаря естественным процессам, сопровождающим биогеохимический цикл – взмучивание донных отложений, распад тканей падшей биоты. Но источником могут послужить и антропогенные факторы – применение стальных конструкций, частично расположенных в воде, подверженные загрязнению речные и поверхностные стоки и т. д. [10].

Каспийское море выделяют как уникальный биогеохимический объект, который обладает своим гидрохимическим режимом и геохимическими барьерами на территориях смешения речных и морских вод.

Биогеоценозы Каспийского моря испытывают серьезную антропогенную нагрузку из-за расположения на его шельфе объектов крупных нефтяных компаний. Процесс нефтедобычи часто может сопровождаться попаданием сопутствующих поллютантов (в том числе тяжелых металлов) в воду [11].

Каспийский рыбец является полупроходной рыбой и представителем семейства карповых. Представители популяции Каспийского моря обладают светло-серебристой или светло-стальной окраской, могут встречаться особи с красными пятнами.

В течение всего года рыбец обитает в Каспийском море. Преимущественно населяет среднюю и южную части Каспия. Наибольшая численность образуется у берегов Дагестана и Азербайджана. И только в период нереста – весной – мигрирует в прибрежные воды вблизи устьев рек, а также в реки Терек, Сулак,

Самур, Кура и др. Нерестовый период продолжается от 25 до 35 дней и начинается в конце апреля при прогреве воды до 10–13 °С [12, 13].

Данный вид на сегодняшний день имеет немаловажное промышленное значение для населения [14]. Уловы его возросли с 2014 по 2022 г. с 62 до 440 т [12].

Интерес к рассмотрению вопроса о микроэлементарном составе рыб Каспийского моря обусловлен постепенным ростом антропогенной нагрузки на водные объекты и отсутствием данных об уровнях содержания некоторых элементов у отдельных видов рыб, а именно у имеющего промышленное значение рыбка каспийского *Vimba vimba persa* (Pallas).

Цель работы: определить концентрации эссенци-

ального металла (Fe) в тканях и отдельных органах рыбка каспийского *Vimba vimba persa* (Pallas).

Задачи:

– изучить гендерные особенности аккумуляции железа в органах и тканях рыбка каспийского *Vimba vimba persa* (Pallas);

– проследить возрастные изменения (на примере особей 2- и 3-летнего возраста) концентрации железа в органах и тканях рыбка каспийского;

– выявить закономерности распределения железа в органах и тканях рыбка каспийского.

Материал и методы исследования

Объектом исследования являлся каспийский рыбец *Vimba vimba persa* (Pallas) (рис. 1).

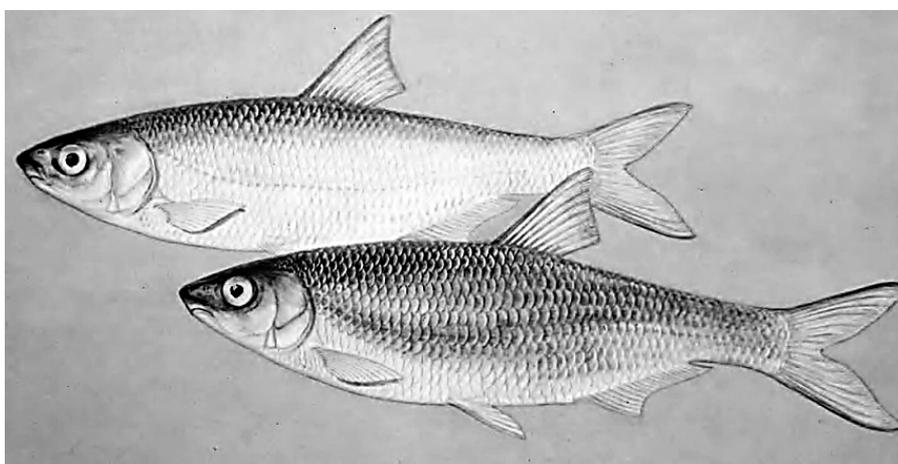


Рис. 1. Рыбец каспийский *Vimba vimba persa* (Pallas)

Fig. 1. The Caspian vimba *Vimba vimba persa* (Pallas)

Пробы были отобраны в средней части Каспия в осенний период с 2020 по 2023 г. Преимущественно встречались особи 2-х и 3-х лет.

Исследования проводились в ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» на кафедре «Гидробиология и общая экология».

Отобранные пробы предварительно измельчали, высушивали до постоянной массы, затем подвергали минерализации.

Деструкция проб рыб с целью последующего определения концентрации железа проводилась методом мокрой минерализации в колбах Кьельдаля в соответствии с ГОСТ 26929-94. Требуемую навеску помещали в колбу, заливали азотной кислотой и оставляли на ночь. Затем пробу упаривали и снова добавляли азотную кислоту (повторяли манипуляции несколько раз) до обесцвечивания или бледно-желтого цвета содержимого колбы. При необходимости вносили дополнительные реактивы в соответствии с методикой [15].

Определение железа осуществлялось методом атомно-абсорбционной спектрометрии в соответствии с ГОСТ 30178-96 [16].

В работе использовали атомно-абсорбционный спектрофотометр Hitachi 180-50.

Для подтверждения точности и исключения возможного загрязнения проб проводился контроль методом сравнения с калибровочными растворами и методом добавок, а также параллельно с серией рабочих проб проводили исследование холостой пробы.

Подсчеты результатов осуществляли на сухую массу навески с применением программного продукта MS Excel. Окончательный результат представляли в виде: в мг/г сухой массы как среднее значение \pm стандартное отклонение.

Результаты исследований

Результаты исследований представлены на рис. 2.

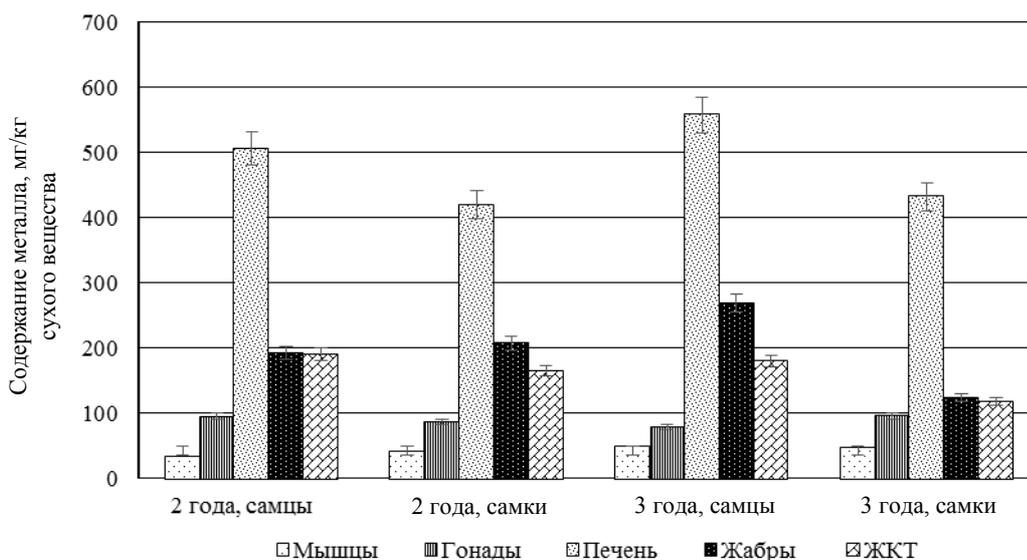


Рис. 2. Содержание Fe в органах и тканях самцов и самок каспийского рыбка 2- и 3-летнего возраста

Fig. 2. Fe content in organs and tissues of the Caspian vimba males and females aged 2 and 3 years

При сравнительном анализе содержания железа у самок и самцов 2- и 3-летнего возраста в мышечной ткани было отмечено, что у 3-леток концентрация металла увеличивается, по сравнению с его содержанием у 2-леток, с $41,61 \pm 2,02$ до $47,43 \pm 2,32$ мг/кг сухого вещества у самок, с $32,35 \pm 1,26$ до $49,5 \pm 2,55$ мг/кг сухого вещества у самцов. При этом накопление железа у самцов в мышцах происходит интенсивнее, чем у самок, в 2,9 раза. Среднее содержание металла в возрасте 2 лет выше у самок, чем у самцов, а к 3 годам содержание металла у самок и самцов находится примерно на одинаковом уровне.

Исследования концентрации железа у разновозрастных самок и самцов в гонадах показали, что у самок 3-летнего возраста концентрация металла возрастает, по сравнению с концентрацией у 2-леток, с $86,76 \pm 3,01$ до $96,26 \pm 3,21$ мг/кг сухого вещества. У самцов с увеличением возраста наблюдали обратную картину: снижение содержания элемента в гонадах с $96,52 \pm 3,42$ до $79,84 \pm 3,28$ мг/кг сухого вещества. Среднее содержание металла в возрасте 2 лет выше у самцов, а к 3 годам содержание металла у самок становится больше, чем у самцов.

При исследованиях концентраций железа у самок и самцов 2 и 3-летнего возраста в печени обнаружено, что при достижении 3-летнего возраста концентрация металла возрастает и у самок, и у самцов, по сравнению с концентрацией у 2-леток, с $419,93 \pm 7,44$ до $432 \pm 7,79$ мг/кг сухого вещества, с $505,17 \pm 8,42$ до $557,10 \pm 8,98$ мг/кг сухого вещества у особей женского и мужского пола соответственно. Средняя концентрация Fe в печени у особей самцов 2 и 3 лет выше, чем у самок, в 1,2 и 1,3 раза соответственно. При этом отмечается

более интенсивное накопление Fe у самцов в печени, чем у самок, в 4,3 раза.

Содержание железа в жабрах в большей концентрации отмечается у самцов 3-летнего возраста ($269,01 \pm 5,08$ мг/кг), превышая в 2,2 раза концентрацию в жабрах у самок 3-летнего возраста ($124,19 \pm 3,78$ мг/кг). У самцов 2-леток концентрация ($192,15 \pm 4,00$ мг/кг) ниже, чем у 3-леток, в 1,4 раза. У самок картина обратная – в 1,7 раза снижается концентрация железа в жабрах с увеличением возраста (с $207,13 \pm 4,29$ до $124,19 \pm 3,78$ мг/кг соответственно). У самок 2 лет концентрация железа значительно выше, чем у самцов 2-летнего возраста.

Исследования концентрации железа в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) демонстрируют уменьшение элемента у самок и самцов при достижении 3-летнего возраста с $165,93 \pm 3,54$ до $118 \pm 3,25$ мг/кг сухого вещества и с $190,76 \pm 4,12$ до $180,17 \pm 4,08$ мг/кг сухого вещества соответственно.

Среднее содержание металла в возрасте 2 и 3 лет преобладает у самцов. Особое внимание следует обратить на разницу между самками и самцами 3 лет (концентрация железа в ЖКТ выше в 1,5 раза у самцов, чем у самок). Также снижение концентрации железа у самок в ЖКТ протекает интенсивнее, чем у самцов, в 4,5 раза.

Концентрации железа в печени и жабрах у самок в возрасте 3 лет ниже, чем у самцов того же возраста.

Средний показатель концентрации железа в организме самок (рис. 3) (в учет не брали концентрации в ЖКТ) 2 лет составил $188,86$ мг/кг сухого вещества, а у самок 3 лет – $174,97$ мг/кг сухого вещества.

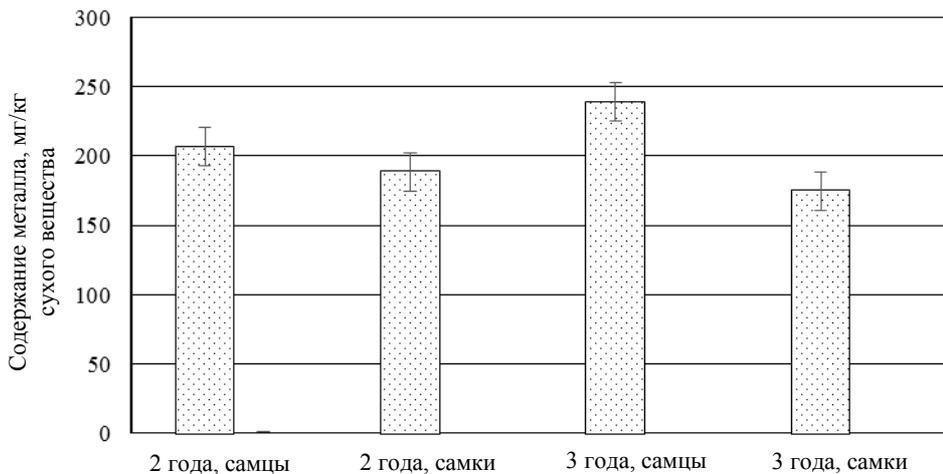


Рис. 3. Среднее содержание Fe в организме самцов и самок каспийского рыбца 2- и 3-летнего возраста

Fig. 3. The average Fe content in the body of the Caspian vimba males and females aged 2 and 3 years

Наблюдалось незначительное уменьшение средней концентрации железа в организме самок. Наибольшая концентрация отмечена в печени, минимальная – в мышечной ткани. Ряд возрастания концентрации железа в тканях и органах самок: мышцы < гонады < ЖКТ < жабры < печень.

Средняя концентрация железа в организме самцов (см. рис. 3) (без учета концентрации в ЖКТ) 2 лет составила 206,55 мг/кг сухого вещества, а у самцов 3 лет – 238,86 мг/кг сухого вещества.

Наблюдалось увеличение средней концентрации в организме самцов. Наибольшая концентрация отмечена в печени, минимальная – в мышечной ткани. Возрастающий ряд концентрации железа в тканях и органах самцов: мышцы < гонады < ЖКТ < жабры < печень.

Наибольшие концентрации металла у самок и самцов отмечаются в печени, что связано со способностью печеночного протеина апоферритина аккумулировать до 23 % данного элемента к сухому веществу.

Кроме того, клетки печени и купферовские клетки являются резервом железа в организме, накапливая его в виде ферритина [2, 5].

Органы, обеспечивающие секреторную, экскреторную и депонирующую функции, отличаются повышенным содержанием микроэлементов [4].

На втором месте по содержанию железа находятся жабры и ЖКТ, что связано с ролью этих органов в процессе проникновения железа в организм рыб [5]. Кроме того, повышенное содержание железа в жабрах рыб можно объяснить необходимостью аккумуляции достаточно высоких концентраций этого металла в организме для стимуляции дыхательного процесса в клетках.

Также были проведены исследования пищевого кома рыбца каспийского *Vimba vimba persa* (Pallas). Установлено, что концентрация железа в пищевом коме у рыбца в среднем составила $202,16 \pm 5,29$ мг/кг. Концентрация металла в пищевом коме свидетельствует о достаточно высоком уровне содержания железа в пищевых объектах рыбца.

Рыбец относится к бентофагам и отличается широким разнообразием в пищевых предпочтениях. На ранних этапах (личинки, мальки) созревания в его рацион входят мелкие формы зоопланктона, затем более крупные, а при достижении 2-летнего возраста особи начинают питаться бентосными организмами, которых они способны проглотить (олигохеты). Начиная с 3-летнего возраста мягкий бентос постепенно замещается моллюсками, процент которых в рационе рыбца каспийского *Vimba vimba persa* (Pallas) плавно достигает 80 % [17].

По данным некоторых авторов [13], половой зрелости каспийский рыбец *Vimba vimba persa* (Pallas) достигает в возрасте 2–3 лет. И можно предположить, что перераспределение железа в органах и тканях связано с процессом полового созревания особей.

Наличие гендерных различий в концентрации железа в гонадах одного вида рыб, являющихся представителями одной популяции, было отмечено ранее и другими авторами [9, 18–20]. Подобные различия могут объясняться сочетанием факторов: особенностями пищевого поведения и диетическими предпочтениями рыб, физиологическим обменом веществ по отношению к этапу репродуктивного цикла [21]. Некоторые авторы также отмечали, что перед нерестом в гонадах наблюдалось увеличение содержания Fe, а в печени и мышцах рыб, наоборот, уменьшалось [9, 20].

Заключение

Результаты исследования демонстрируют наличие половых и возрастных отличий, связанных с содержанием железа в органах и тканях каспийского рыбка *Vimba vimba persa* (Pallas).

Следует отметить, что средняя концентрация железа в организме самок ниже, чем у самцов, что, вероятно, связано с нерестом и сезонными изменениями, т. к. пробы были отобраны в осенний период. Особенно заметна разница между концентрациями в печени и жабрах – самцы аккумулируют в этих органах больше железа.

В гонадах самок наблюдался рост содержания железа, в то время как у самцов, наоборот, проис-

ходит снижение концентрации. В других органах у самцов регистрировалось увеличение содержания исследуемого показателя, тогда как у самок содержание железа в жабрах и ЖКТ с возрастом значительно снижается.

Изучение средней концентрации железа в организме рыб в зависимости от возраста показало, что в организме самок происходит незначительное снижение элемента, а в организме самцов концентрация возрастает.

Содержание железа может значительно отличаться в разных органах и тканях. Так, наибольшая концентрация в организме у рыбка каспийского наблюдается в печени, а минимальная в мышечной ткани.

Список источников

1. Вернадский В. И. Проблемы биогеохимии // Тр. биогеохим. лаб. 1980. Т. 16. 320 с.
2. Чаплыгин В. А., Хурсанов А. С., Ершова Т. С., Зайцев В. Ф. Видовые особенности накопления металлов в организме русского (*Acipenser gueldenstaedtii*, Brandt, 1833) и персидского (*Acipenser persicus*, Borodin, 1897) осетров Каспийского моря // Рыбное хозяйство. 2020. № 6. С. 47–52. DOI: 10.37663/0131-6184-2020-6-47-52.
3. Таирова А. Р., Галатова Е. А. Особенности накопления и распределения тяжелых металлов в жабрах рыб различных семейств // АБУ. 2009. № 11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-nakopleniya-i-raspre-deleniya-tyazhelyh-metallov-v-zhabrah-ryb-razlichnyh-semeystv> (дата обращения: 17.12.2023).
4. Ковековдова Л. Т., Сим М. В. Содержание химических элементов в органах трех видов морских рыб // НАУ. 2020. № 58-3 (58). С. 4–8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-himicheskikh-elementov-v-organah-troyoh-vidov-morskih-ryb> (дата обращения: 20.04.2024).
5. Войнар А. И. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. М.: Высш. шк., 1960. 544 с.
6. Христофорова Н. К., Цыганков В. Ю., Боярова М. Д., Лукьянова О. Н. Отражение биогеохимических условий морской среды на содержании микроэлементов в тихоокеанских лососях // Успехи наук о жизни. 2014. № 8. С. 91–100.
7. Гамов М. К., Бизбородов В. О., Метревели В. Е., Цыганков В. Ю. Содержание эссенциальных элементов (Fe, Zn, Cu, Mn) в органах малоглазого макрurusа (*Albatrossia pectoralis*) из Берингова моря // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана: материалы VII Междунар. науч.-техн. конф. (Владивосток, 19–20 мая 2022 г.). Владивосток: Изд-во Дальневосточ. гос. техн. рыбохозяйств. ун-та, 2022. С. 72–76.
8. Ширяева М. М. Изменение содержания эссенциальных элементов в растениях разных сортов // Изв. Оренбург. гос. аграр. ун-та. 2021. № 4 (90). С. 93–99.
9. Литвиненко А. В., Салимзянова К. Р., Христофорова Н. К., Данилин Д. Д., Цыганков В. Ю. Половые различия в содержании микроэлементов в органах и тканях нерки из восточных заливов полуострова Камчатка // Вестн. КамчатГТУ. 2023. № 65. URL: <https://cyberlenin-ka.ru/article/n/polovoye-razlichiya-v-soderzhanii-mikroelemen-tov-v-organah-i-tkanyah-nerki-iz-vostochnyh-zalivov-poluost-rova-kamchatka> (дата обращения: 09.11.2023).
10. Христофорова Н. К., Литвиненко А. В., Цыганков В. Ю., Ковальчук М. В. Сравнение микроэлементного состава кеты *Oncorhynchus keta* Walbaum, 1792 из Японского и Охотского морей // Мор. биол. журн. 2021. Т. 6. № 4. С. 92–104. <https://doi.org/0.21072/mbj.2021.06.4.08>.
11. Неваленный А. Н., Ершова Т. С., Зайцев В. Ф., Чаплыгин В. А. Биогеохимический мониторинг содержания химических элементов Каспийского моря // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2022. № 4. С. 22–28. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-4-22-28>.
12. Абдусаматов А. С., Шабанова М. М., Гаджиева Д. Г. Промыслово-биологическая характеристика каспийского рыбка *Vimba vimba persa* (Pallas, 1814) Терско-Каспийского рыбохозяйственного подрайона // Проблемы сохранения экосистемы Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений: материалы IX Науч.-практ. конф. с междунар. участием (Астрахань, 10 ноября 2023 г.). Астрахань: Волж.-Каспийс. филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»), 2023. С. 4–10. URL: <https://www.cnsnb.ru/content/2023/04278038.pdf> (дата обращения: 23.04.2024).
13. Гусейнов А. Д., Шихшабекова Б. И., Мусаева И. В., Алиева Е. М. Некоторые данные нереста рыба водоемов Каспия // Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации в свете импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности страны: материалы Национ. науч.-практ. конф. (Саратов, 4–5 октября 2016 г.). Саратов: Науч. книга, 2016. С. 31–34.
14. Шихшабекова Б. И., Рихави А., Нуралиев М. А., Абдулаева А. А. Некоторые данные восстановления промысла некоторых видов рыб бассейна Каспия // Состояние и перспективы научно-технологического развития рыбопромышленного комплекса Российской Федерации: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Махачкала, 19 мая 2021 г.). Махачкала: Изд-во Дагестан. ГАУ, 2021. 233 с. URL: https://xn--80aaia8g.xn--plai/images/sbomiki_statei/sbor_mater_19.05.2021.pdf (дата обращения: 05.09.2023).
15. ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов [Raw material and food-stuffs. Preparation of samples. Decomposition of organic matters for analysis of toxic elements]. М.: Изд-во стандартов, 2002. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200021120> (дата обращения: 23.08.2020).

16. ГОСТ 30178-96. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов [Raw material and food-stuffs. Atomic absorption method for determination of toxic elements]. М.: Изд-во стандартов, 1997. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200021152> (дата обращения: 23.08.2020).

17. Романова М. В. Перспективы вселения рыба в Горьковское водохранилище и его естественная кормовая база // Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации: материалы IV Национ. науч.-практ. конф. (Калининград, 8–10 октября 2019 г.). Саратов: Амирит, 2019. С. 211–216. URL: <http://aquacultura.org/> (дата обращения: 05.09.2023).

18. Al-Yousuf M. H., El-Shahawi M. S., Al-Ghais S. M. Trace metals in liver, skin and muscle of *Lethrinus lentjan*

fish in relation to body length and sex // Science of the Total Environment. 2000. V. 256 (2–3). P. 87–97.

19. Alquezar R., Markich S. J., Booth D. J. Metal accumulation in a common estuarine fish, *Tetractenos glaber* in the Sydney region Australia // Environmental Pollution. 2006. V. 142. P. 123–131.

20. Sandor Z., Csengeri I., Oncsik M. B. Trace metal levels in freshwater fish, sediment and water // Environmental Science and Pollution Research. 2001. V. 8. P. 265–268.

21. Authman M. N., Abbas H. H. Accumulation and distribution of copper and zinc in both water and some vital tissues of two fish species (*Tilapia zillii* and *Mugil cephalus*) of Lake Qarun, Fayoum Province, Egypt // Pakistan Journal of Biological Sciences. 2007. V. 10. P. 2106–2122.

References

1. Vernadskii V. I. Problemy biogeokhimii [Problems of biogeochemistry]. *Trudy biogeokhimicheskoi laboratorii*, 1980, vol. 16, 320 p.

2. Chaplygin V. A., Khursanov A. S., Ershova T. S., Zaitsev V. F. Vidovye osobennosti nakopleniya metallov v organizme russkogo (*Acipenser gueldenstaedtii*, Brandt, 1833) i persidskogo (*Acipenser persicus*, Borodin, 1897) osetrov Kaspiiskogo moria [Specific features of metal accumulation in the body of Russian (*Acipenser gueldenstaedtii*, Brandt, 1833) and Persian (*Acipenser persicus*, Borodin, 1897) sturgeons of the Caspian Sea]. *Rybnoe khoziaistvo*, 2020, no. 6, pp. 47–52. DOI: 10.37663/0131-6184-2020-6-47-52.

3. Tairova A. R., Galatova E. A. Osobennosti nakopleniya i raspredeleniya tiashelykh metallov v zhabrakh ryb razlichnykh semeistv [Features of accumulation and distribution of heavy metals in the gills of fish of various families]. *AVU*, 2009, no. 11. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-nakopleniya-i-raspredeleniya-tyazhelykh-metallov-v-zhabrah-ryb-razlichnykh-semeystv> (accessed: 17.12.2023).

4. Kovekovdova L. T., Sim M. V. Soderzhanie khimicheskikh elementov v organakh trekh vidov morskikh ryb [The content of chemical elements in the organs of three species of marine fish]. *NAU*, 2020, no. 58-3 (58), pp. 4–8. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-khimicheskikh-elementov-v-organah-tryoh-vidov-morskikh-ryb> (accessed: 09.11.2023).

5. Voinar A. I. *Biologicheskaya rol' mikroelementov v organizme zhivotnykh i cheloveka* [The biological role of trace elements in the body of animals and humans]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1960. 544 p.

6. Khristoforova N. K., Tsygankov V. Iu., Boiarova M. D., Luk'ianova O. N. Otrazhenie biogeokhimicheskikh uslovii morskoi sredy na soderzhanii mikroelementov v tikhookeanskikh lososiakh [Reflection of biogeochemical conditions of the marine environment on the content of trace elements in Pacific salmon]. *Uspekhi nauk o zhizni*, 2014, no. 8, pp. 91–100.

7. Gamov M. K., Bizborodov V. O., Metreveli V. E., Tsygankov V. Iu. Soderzhanie essential'nykh elementov (Fe, Zn, Cu, Mn) v organakh maloglazogo makrurusa (*Albatrossia pectoralis*) iz Beringova moria [The content of essential elements (Fe, Zn, Cu, Mn) in the organs of the small-eyed macrurus (*Albatrossia pectoralis*) from the Bering Sea]. *Aktual'nye problemy osvoeniya biologicheskikh resursov Mirovogo okeana: materialy VII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnikeskoi konferentsii (Vladivostok, 19–20 maia 2022 g.)*. Vladivostok, Izd-vo Dal'nevostoch. gos. tekhn. rybnokhoziaistv. un-ta, 2022. Pp. 72–76.

8. Shiriaeva M. M. Izmenenie soderzhanii essential'nykh elementov v rasteniyakh raznykh sortov [Changes in the content of essential elements in plants of different varieties]. *Izvestia Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, no. 4 (90), pp. 93–99.

9. Litvinenko A. V., Salimzianova K. R., Khristoforova N. K., Danilin D. D., Tsygankov V. Iu. Polovye razlichii v soderzhanii mikroelementov v organakh i tkaniakh nerki iz vostochnykh zalivov poluostrova Kamchatka [Sex differences in the content of trace elements in the organs and tissues of sockeye salmon from the eastern bays of the Kamchatka Peninsula]. *Vestnik KamchatGTU*, 2023, no. 65. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/polovye-razlichiya-v-soderzhanii-mikroelementov-v-organah-i-tkanyah-nerki-iz-vostochnykh-zalivov-poluostrova-kamchatka> (accessed: 09.11.2023).

10. Khristoforova N. K., Litvinenko A. V., Tsygankov V. Iu., Koval'chuk M. V. Sravnenie mikroelementnogo sostava kety *Oncorhynchus keta* Walbaum, 1792 iz Iaponskogo i Okhotskogo morei [Comparison of the trace element composition of chum salmon *Oncorhynchus keta* Walbaum, 1792 from the Seas of Japan and Okhotsk]. *Morskoi biologicheskii zhurnal*, 2021, vol. 6, no. 4, pp. 92–104. <https://doi.org/0.21072/mbj.2021.06.4.08>.

11. Nevalenyyi A. N., Ershova T. S., Zaitsev V. F., Chaplygin V. A. Biogeokhimicheskii monitoring soderzhanii khimicheskikh elementov Kaspiiskogo moria [Biogeochemical monitoring of the content of chemical elements of the Caspian Sea]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khoziaistvo*, 2022, no. 4, pp. 22–28. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-4-22-28>.

12. Abdusamadov A. S., Shabanova M. M., Gadzhieva D. G. Promyslovo-biologicheskaya kharakteristika kaspiiskogo rybtsa *Vimba vimba persa* (Pallas, 1814) Tersko-Kaspiiskogo rybnokhoziaistvennogo podraiona [Commercial and biological characteristics of the Caspian vimba *Vimba vimba persa* (Pallas, 1814) of the Tersk-Caspian fisheries subdistrict]. *Problemy sokhraneniya ekosistemy Kaspiya v usloviakh osvoeniya neftegazovykh mestorozhdenii: materialy IX Nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (Astrakhan', 10 noiabria 2023 g.)*. Astrakhan', Volzh.-Kaspiis. filial FGBNU «VNIRO» («Kasp-NIRK»), 2023. Pp. 4–10 Available at: <https://www.cnsb.ru/content/2023/04278038.pdf> (accessed: 12.11.2023).

13. Guseinov A. D., Shikhshabekova B. I., Musaeva I. V., Alieva E. M. Nekotorye dannye neresta rybtsa vodoemov Kaspiya [Some data on vimba spawning in the Caspian reser-

voirs]. Sostoianie i puti razvitiia akvakul'tury v Rossiiskoi Federatsii v svete importozameshcheniia i obespecheniia prodovol'stvennoi bezopasnosti strany: materialy Natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Saratov, 4-5 oktiabria 2016 g.). Saratov, Nauchnaia kniga Publ., 2016. Pp. 31-34.

14. Shikhshabekova B. I., Rikhavi A., Nuraliev M. A., Abdulaeva A. A. Nekotorye dannye vosstanovleniia promysla nekotorykh vidov ryb basseina Kaspii [Some data on the restoration of fishing of some species of fish in the Caspian basin]. *Sostoianie i perspektivy nauchno-tekhnologicheskogo razvitiia rybpromyshlennogo kompleksa Rossiiskoi Federatsii: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (Makhachkala, 19 maia 2021 g.)*. Makhachkala, Izd-vo Dagestan. GAU, 2021. 233 p. Available at: https://xn--80aaiac8g.xn--p1ai/images/sborniki_statei/sbor_mater_19.05.2021.pdf (accessed: 15.09.2023).

15. GOST 26929-94. Syr'e i produkty pishchevye. Podgotovka prob. Mineralizatsiia dlia opredeleniia sodержaniia toksichnykh elementov [Raw material and food-stuffs. Preparation of samples. Decomposition of organic matters for analysis of toxic elements]. Moscow, Izd-vo standartov, 2002. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200021120> (accessed: 23.08.2020).

16. GOST 30178-96. Syr'e i produkty pishchevye. Atomno-absorbtsionnyi metod opredeleniia toksichnykh elementov [Raw material and food-stuffs. Atomic absorption method for determination of toxic elements]. Moscow,

Izd-vo standartov, 1997. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200021152> (accessed: 23.08.2020).

17. Romanova M. V. Perspektivy vseleniia rybtsa v Gor'kovskoe vodokhranilishche i ego estestvennaia kormovaia baza [Prospects for the introduction of vimba into the Gorky reservoir and its natural food supply]. *Sostoianie i puti razvitiia akvakul'tury v Rossiiskoi Federatsii: materialy IV Natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Kaliningrad, 8-10 oktiabria 2019 g.)*. Saratov, Amirit Publ., 2019. Pp. 211-216. Available at: <http://aquacultura.org/> (accessed: 15.09.2023).

18. Al-Yousuf M. H., El-Shahawi M. S., Al-Ghais S. M. Trace metals in liver, skin and muscle of *Lethrinus lentjan* fish in relation to body length and sex. *Science of the Total Environment*, 2000, vol. 256 (2-3), pp. 87-97.

19. Alquezar R., Markich S. J., Booth D. J. Metal accumulation in a common estuarine fish, *Tetractenos glaber* in the Sydney region Australia. *Environmental Pollution*, 2006, vol. 142, pp. 123-131.

20. Sandor Z., Csengeri I., Oncsik M. B. Trace metal levels in freshwater fish, sediment and water. *Environmental Science and Pollution Research*, 2001, vol. 8, pp. 265-268.

21. Authman M. N., Abbas H. H. Accumulation and distribution of copper and zinc in both water and some vital tissues of two fish species (*Tilapia zillii* and *Mugil cephalus*) of Lake Qarun, Fayoum Province, Egypt. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2007, vol. 10, pp. 2106-2122.

Статья поступила в редакцию 09.01.2024; одобрена после рецензирования 06.06.2024; принята к публикации 13.06.2024
The article was submitted 09.01.2024; approved after reviewing 06.06.2024; accepted for publication 13.06.2024

Информация об авторах / Information about the authors

Елизавета Александровна Степаненко – аспирант кафедры гидробиологии и общей экологии; Астраханский государственный технический университет; liza_10.03.97@mail.ru

Ирина Владимировна Волкова – доктор биологических наук, доцент; профессор кафедры гидробиологии и общей экологии; Астраханский государственный технический университет; профессор кафедры математических и естественно-научных дисциплин; Каспийский институт морского и речного транспорта имени генерал-адмирала Ф. М. Апраксина – филиал ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта»; gridasova@mail.ru

Владимир Александрович Чаплыгин – кандидат биологических наук; доцент кафедры гидробиологии и общей экологии; Астраханский государственный технический университет; wladimirchap@yandex.ru

Татьяна Сергеевна Еришова – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры гидробиологии и общей экологии; Астраханский государственный технический университет; ershova_ts@mail.ru

Elizaveta A. Stepanenko – Postgraduate Student of the Department of Hydrobiology and General Ecology; Astrakhan State Technical University; liza_10.03.97@mail.ru

Irina V. Volkova – Doctor of Biological Sciences, Assistant Professor; Professor of the Department of Hydrobiology and General Ecology; Astrakhan State Technical University; Professor of the Department of Mathematical and Natural Sciences disciplines; Caspian Institute of Sea and River Transport named after Admiral F. M. Apraksin, branch of the Volga State University of Water Transport; gridasova@mail.ru

Vladimir A. Chaplygin – Candidate of Biological Sciences; Assistant Professor of the Department of Hydrobiology and General Ecology; Astrakhan State Technical University; wladimirchap@yandex.ru

Tatyana S. Ershova – Candidate of Biological Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Hydrobiology and General Ecology; Astrakhan State Technical University; ershova_ts@mail.ru

