

Научная статья
УДК 574.2
<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2025-1-95-101>
EDN VRRVIU

Содержание цинка в органах и тканях каспийского рыбца *Vimba vimba persa* (Pallas, 1814)

Елизавета Александровна Степаненко^{1✉}, Ирина Владимировна Волкова²,
Владимир Александрович Чаплыгин³, Екатерина Камалудиновна Исаева⁴

¹⁻⁴Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, liza_10.03.97@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. Представлены результаты исследования концентраций цинка в органах и тканях (жабры, печень, половые железы, мышечная ткань, желудочно-кишечный тракт) рыбца каспийского *Vimba vimba persa* (Pallas), отобранного в средней части Каспийского моря в осенний период 2020–2023 гг. Результаты получены по соответствующим методикам атомно-абсорбционным методом. Определены половые и возрастные особенности распределения металла. Отмечено перераспределение цинка при достижении рыбами половой зрелости (показательными в нашем случае стали половые железы и печень). Возрастные изменения в накоплении цинка отмечаются в икре самок при достижении 3-летнего возраста и, напротив, незначительное снижение концентрации в молоках самцов. Концентрация металла в жабрах снижается у самок и самцов при увеличении возраста, в ЖКТ, напротив, концентрация с возрастом увеличивается. Несмотря на перераспределение металла по органам и тканям максимальная концентрация цинка всегда обнаруживалась в жабрах. Минимальные концентрации обнаружены в мышечной ткани (исключением стали самцы 3-х лет, у которых отмечено резкое снижение цинка в гонадах). Средняя концентрация цинка в организме самок и самцов 2-летнего возраста примерно на одном уровне, при достижении 3-х лет концентрация в организме самцов снижается и достигает разницы в 1,3 раза по сравнению со средней концентрацией металла в организме самок 3-х лет. Соответственно, среднее содержание цинка в организме самок больше (45,62 мг/кг сухого вещества) по сравнению с самцами (40,12 мг/кг сухого вещества).

Ключевые слова: цинк, аккумуляция, органы и ткани, адсорбция, половые различия

Для цитирования: Степаненко Е. А., Волкова И. В., Чаплыгин В. А., Исаева Е. К. Содержание цинка в органах и тканях каспийского рыбца *Vimba vimba persa* (Pallas, 1814) // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2025. № 1. С. 95–101. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2025-1-95-101>. EDN VRRVIU.

Original article

Zinc content in organs and tissues of the Caspian fish *Vimba vimba persa* (Pallas, 1814)

Elizaveta A. Stepanenko^{1✉}, Irina V. Volkova², Vladimir A. Chaplygin³, Ekaterina K. Isaeva⁴

¹⁻⁴Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, liza_10.03.97@mail.ru✉

² Caspian 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 results of a study of zinc concentrations in organs and tissues (gills, liver, genitals, muscle tissue, gastrointestinal tract) of the Caspian fish *Vimba vimba persa* (Pallas) sampled in the middle part of the Caspian Sea in the autumn period of 2020–2023 are presented. The results were obtained using the appropriate atomic absorption methods. The sex and age characteristics of the metal distribution have been determined. A redistribution of zinc was noted when the fish

reached puberty (the gonads and liver became indicative in our case). Age-related changes in the accumulation of zinc are noted in the eggs of females upon reaching the age of 3 years and, conversely, a slight decrease in the concentration in the milk of males. The concentration of metal in the gills decreases in females and males with increasing age, in the gastrointestinal tract, on the contrary, the concentration increases with age. Despite the redistribution of metal across organs and tissues, the maximum concentration of zinc was always found in the gills. Minimal concentrations were found in muscle tissue (the exception was 3-year-old males, who showed a sharp decrease in zinc in the gonads). The average concentration of zinc in the body of females and males aged 2 years is approximately at the same level; at the age of 3 years, the concentration in the body of males decreases and reaches a difference of 1.3 times compared with the average concentration of metal in the body of females aged 3 years. Accordingly, the average zinc content in the body of females is higher (45.62 mg/kg of dry matter) compared with males (40.12 mg/kg of dry matter).

Keywords: zinc, accumulation, organs and tissues, adsorption, sex differences

For citation: Stepanenko E. A., Volkova I. V., Chaplygin V. A., Isaeva E. K. Zinc content in organs and tissues of the Caspian fish *Vimba vimba persa* (Pallas, 1814). *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry*. 2025;1:95-101. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2025-1-95-101>. EDN VRRVIU.

Введение

Строительство крупных предприятий, развитие промышленности, сельского хозяйства привели к значительному увеличению антропогенной нагрузки на экосистему и отдельные биогеоценозы.

Повсеместно особое место среди загрязнителей по критериям опасности занимают химические соединения, в их число входят тяжелые металлы.

Металлы и их соединения характеризуются мутагенной активностью и способностью вызывать появление патологических образований (канцерогенная активность). При попадании в водный объект металлы и их соединения вступают в реакцию с компонентами водного биотопа: сорбируются, аккумулируются и т. д. Гидробионты, являясь частью водных биогеоценозов, также подвергаются влиянию металлов и их соединений, поглощая, аккумулируя и выводя их, участвуя тем самым в биогеохимическом цикле.

Микроэлементы выполняют роль регуляторов обменных процессов в организме гидробионтов. Их недостаток или избыток могут негативно влиять на рыбопродуктивность водоемов, вызывая различные патологические процессы, приводя к интоксикациям и летальным исходам. Содержание, например, цинка значительно влияет на развитие водных организмов [1].

Цинк является жизненно важным элементом. Он является компонентом более 40 необходимых организму ферментов, которые ускоряют реакции гидролиза пептидов, белков, некоторых эфиров и альдегидов. Наибольшее внимание привлекают два цинксодержащих фермента: карбоксипептидаза А и карбоангидраза [2].

Опираясь на многочисленные исследования, можно утверждать, что цинк отличается высоким уровнем биофильности и способен активно аккумулироваться в тканях рыб. Его повышенные концентрации способны вызывать нарушения биохимических процессов и физиологических показателей. Кроме того, некоторые авторы отмечают, что токсичность цинка проявляется в большей степени для рыб, чем для теплокровных животных [3].

Особенности распределения металлов в организме рыб напрямую связаны с физиологическим состоянием организма, уровнем концентрации металлов в остальных компонентах водного биогеоценоза. Среди гидробионтов рыбы – преобладающая группа. Как правило, рыбы являются одним из последних звеньев в трофических цепях и отличаются более развитой способностью к накоплению загрязняющих веществ [1]. Интерес к изучению вопроса о накоплении отдельных элементов (в нашем случае цинка) обусловлен отсутствием данных об уровнях содержания их у отдельных видов рыб, а именно у имеющего промысловое значение рыбца каспийского *Vimba vimba persa* (Pallas).

Цель работы: исследовать концентрации цинка в некоторых органах и тканях рыбца каспийского *Vimba vimba persa* (Pallas).

Задачи:

- изучить характерные половые закономерности аккумуляции цинка в органах и тканях исследуемого вида рыбы;
- проследить динамику возрастных изменений (на примере особей 2- и 3-летнего возраста) концентрации цинка в органах и тканях объекта исследования;
- оценить закономерности распределения цинка в органах и тканях выбранного объекта.

Материал и методы исследования

В качестве объекта исследования был выбран каспийский рыбец (*Vimba vimba persa* (Pallas)).

Пробы были отобраны в средней части Каспия в осенний период с 2020 по 2023 г. Выборка состояла из особей 2- и 3-х лет. В каждой выборке было исследовано по 50 особей.

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

У выловленных рыб отбирали органы и ткани, высушивали до постоянной массы и далее обрабатывали в соответствии с ГОСТ 26929-94, деструкцию проводили мокрым методом [4].

Концентрацию цинка определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии по соответствующей методике [5].

Параллельно все манипуляции проводили с холодной пробой (реактивы без навески тканей или органов). Контроль точности результатов осуществляли методом сравнения с калибровочными растворами и методом добавок.

Конечный результат представляли в мг/кг сухой массы как среднее значение \pm стандартное отклонение. Обработку данных проводили с использованием MS Excel.

Результаты исследований

Полученные данные представлены на рис. 1.

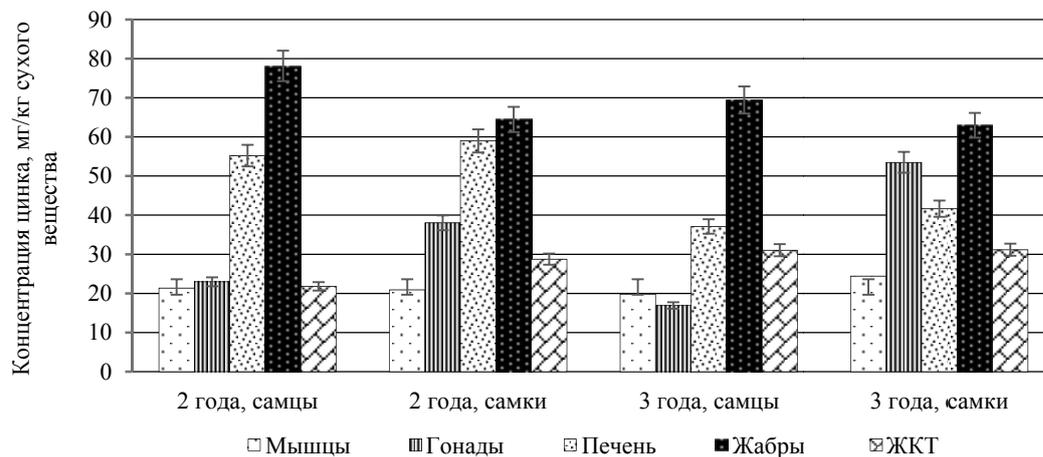


Рис. 1. Содержание Zn в органах и тканях самцов и самок каспийского рыба 2- и 3-летнего возраста

Fig. 1. Zn content in organs and tissues of males and females of 2- and 3-year-old Caspian fish

При сравнительном анализе было выявлено, что содержание цинка в жабрах значительно превысило таковое в других тканях обоих полов и возрастов. Особенность повышенного накопления цинка в жабрах, вероятно, обусловлена барьерной функцией жабр и высокой абсорбцией ими этого элемента. Поступление цинка трансжаберным путем при определенных условиях может стать приоритетным по сравнению с пероральным для снабжения организма и обеспечения его потребностей в цинке [6]. Отмечено также, что содержание цинка в жабрах имеет незначительную тенденцию к снижению по достижении особей 3-летнего возраста (с $64,45 \pm 2,95$ до $62,97 \pm 2,18$ мг/кг у самок и с $78,16 \pm 2,69$ до $69,44 \pm 2,86$ мг/кг у самцов). Из вышеприведенных данных видно, что самцы обладают большей концентрацией данного металла в жабрах по сравнению с самками.

На втором месте по содержанию цинка в организме рыба оказалась печень. Аккумуляция цинка характерна для печени, т. к. она обеспечивает обменно-депонирующие функции организма [7]. Исследования концентрации цинка в печени позволили отметить снижение содержания металла по мере достижения особями 3-летнего возраста: уровень содержания цинка в печени снизился в 1,4 раза (с $58,98 \pm 2,19$ до $41,64 \pm 1,84$ мг/кг) у самок и в 1,5 раза (с $55,23 \pm 2,07$ до $37,10 \pm 1,58$ мг/кг) у самцов. Отмечаются незначительные половые различия (концентрация цинка в печени самок выше, чем

у самцов).

Накопление цинка в гонадах происходит интенсивнее у самок. Содержание цинка в гонадах самок было заметно выше, чем у самцов: в 1,7 раза для 2-летних особей ($38,04 \pm 1,77$ и $22,97 \pm 0,91$ мг/кг соответственно) и в 3,2 раза для 3-летних особей ($53,49 \pm 1,76$ и $16,90 \pm 0,74$ мг/кг соответственно). Из полученных данных видно, что у самок наблюдается тенденция к накоплению цинка в гонадах по достижении 3-х лет (повышение концентрации в 1,4 раза по сравнению с самками 2-х лет), в то время как в гонадах самцов 3-х лет содержание металла снижается в 1,4 раза по сравнению особями 2-х лет. Данную специфичность можно объяснить усиленной потребностью в накоплении эссенциальных элементов (в том числе цинка) в отдельных органах и тканях самок в период созревания половых желез [8, 9].

Пищеварительная система играет очень важную роль в поступлении и выведении цинка из организма рыб. Как отмечал в своих трудах Д. В. Воробьев, рыбы могут контролировать обмен цинка в организме благодаря вариации активности всасывания металла кишечной стенкой [6]. При анализе результатов было выявлено накопление цинка в ЖКТ по мере достижения 3-летнего возраста у обоих полов: у самок концентрация повысилась незначительно (с $28,75 \pm 1,10$ до $31,16 \pm 1,19$ мг/кг), у самцов – в 1,4 раза (с $21,79 \pm 0,81$ до $31,05 \pm 1,22$ мг/кг). Как видно из результатов, ЖКТ самцов аккумулирует цинк интенсивнее по мере достижения 3-х лет, од-

нако содержание металла у 2-летних самок превысило таковое у самцов этого же возраста в 1,3 раза.

Возрастные и половые различия в накоплении цинка в мышцах были незначительными. У самок наблюдали накопление металла в мышцах ($20,92 \pm 0,89$ до $24,43 \pm 0,92$ мг/кг), в то время как у самцов концентрация металла незначительно снизилась ($21,37 \pm 0,95$ до $19,81 \pm 0,84$ мг/кг).

Таким образом, наибольшая концентрация отмечена в жабрах, минимальная – в мышечной ткани. Возрастающий ряд концентрации цинка в тканях и органах самок меняется в зависимости от возраста. У двухлеток он имеет вид: мышцы < ЖКТ < гонады < печень < жабры; у трехлеток: мышцы < ЖКТ < печень < гонады < жабры.

У самцов также отмечается перераспределение металла. Возрастающий ряд концентрации для мужских особей 2-х лет идентичен описанному ряду

возрастания у самок 2-х лет, у трехлетних он имеет вид: гонады < мышцы < ЖКТ < печень < жабры.

Из полученных рядов видно, что распределение металла по органам и тканям меняется у самок и самцов при достижении возраста 3-х лет. По данным некоторых авторов [10], половой зрелости каспийский рыбец *Vimba vimba persa* (Pallas) достигает в возрасте 2–3 лет, и можно предположить, что перераспределение цинка в организме связано с процессом полового созревания особей.

Средняя концентрация цинка в организме самок и самцов 2-летнего возраста примерно одинакова, при достижении 3-х лет концентрация в организме самцов снижается и достигает разницы в 1,3 раза по сравнению со средней концентрацией металла в организме самок 3-х лет ($45,6$ у 2-летних и $45,63$ мг/кг у 3-летних самок; $44,43$ у 2-летних и $35,81$ мг/кг у 3-летних самцов) (рис. 2).

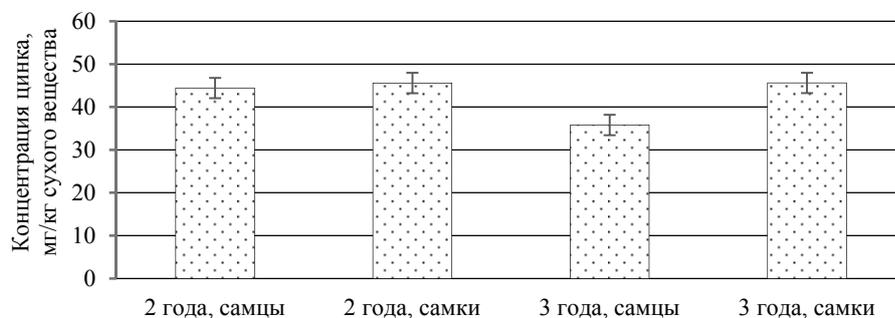


Рис. 2. Среднее содержание Zn в организме самцов и самок каспийского рыбка 2- и 3-летнего возраста

Fig. 2. The average Zn content in the body of males and females of 2- and 3-year-old Caspian fish

Среднее содержание цинка в организме самок составило $45,62$ мг/кг, самцов – $40,12$ мг/кг сухого вещества (рис. 3).

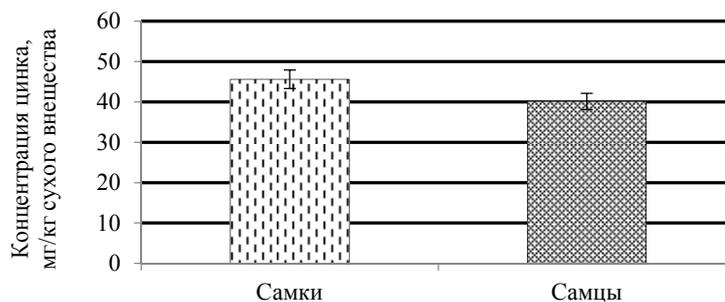


Рис. 3. Среднее содержание Zn в организме самок и самцов каспийского рыбка

Fig. 3. The average Zn content in the body of female and male Caspian fish

Также были проведены исследования пищевого комка рыбка каспийского *Vimba vimba persa* (Pallas). Установлено, что концентрация цинка в пищевом комке у рыбка в среднем составила $64,33$ мг/кг. Концентрация металла в пищевом комке свидетельствует о достаточно высоком уровне содержания цинка в пищевых объектах рыбка, который является преимущественно бентофагом.

Заключение

Полученные данные демонстрируют некоторые особенности в содержании и распределении цинка в зависимости от возрастной и половой категорий в органах и тканях каспийского рыбка *Vimba vimba persa* (Pallas).

Анализ содержания цинка у самок и самцов привел к обнаружению признаков полового диморфизма.

ма. Так, например, содержание цинка в организме самок выше, чем у самцов. А особое внимание привлекают разные концентрации цинка в репродуктивных железах и печени рыб. Самки содержат высокую концентрацию цинка в икре, по сравнению с молоками самцов, отчетливо разница заметна у особей 3-летнего возраста (в 3,2 раза). Содержание цинка в печени характеризуется половыми и возрастными особенностями. Заметно меняется его концентрация при достижении особями 3-летнего возраста. У 2-леток (самцов и самок) концентрации отличаются незначительно, но у 3-летних рыб замечено снижение средней концентрации цинка в печени и у самцов, и у самок, а также появление половых отличий (самцы интенсивнее теряют цинк, чем самки).

К особенностям возрастных изменений следует отнести резкое увеличение концентрации цинка

в икре самок при достижении 3-летнего возраста и, напротив, незначительное снижение концентрации в молоках самцов. Небольшие изменения заметны в жабрах (концентрация снижается у самок и самцов при увеличении возраста). В ЖКТ, напротив, концентрация увеличивается с возрастом.

При распределении цинка в организме рыба каспийского *Vimba vimba persa* (Pallas) ведущая роль досталась жабрам, на втором месте – печень, а минимальная концентрация отмечена в мышечной ткани. Концентрации цинка разнятся по половому и возрастному признаку (отчетливо становится видна разница при достижении возраста 3-х лет особями), соответственно, возрастающие ряды концентрации цинка у самцов и самок выглядят по-разному.

Список источников

1. Галатова Е. А. Сравнительная характеристика содержания экотоксикантов в репродуктивных органах рыб семейства Percidae, Cyprinidae, Esocidae, Siluridae (на примере реки Уй) // Вестн. Челябин. гос. ун-та. 2010. № 8. С. 59–62. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitel'naya-harakteristika-soderzhaniya-ekotoksikantov-v-reproduktivnyh-organah-ryb-semeystva-percidae-cyprinidae-esocidae> (дата обращения: 08.10.2024).
2. Сальникова Е. В. Цинк – эссенциальный микроэлемент (обзор) // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. 2012. № 10 (146). С. 170–172. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsink-essentsialnyy-mikroelement-obzor> (дата обращения: 09.10.2024).
3. Чаплыгин В. А., Ершова Т. С., Зайцев В. Ф. Содержание некоторых микроэлементов в гидробионтах Каспийского моря // Юг России: экология, развитие. 2017. № 3. С. 138–144. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-nekotoryh-mikroelementov-v-gidrobiontah-kaspiyskogo-morya> (дата обращения: 09.10.2024).
4. ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. М.: Изд-во стандартов, 2002. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200021120> (дата обращения: 23.08.2020).
5. ГОСТ 30178-96. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. М.: Изд-во стандартов, 1997. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200021152> (дата обращения: 23.08.2020).
6. Воробьев Д. В. Функциональные особенности метаболизма металлов у рыб в современных биогеохимических условиях дельты р. Волги: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Астрахань, 2008. 21 с.
7. Ишбулатова С. Р., Казачкова Н. М. Загрязнение реки Урал тяжелыми металлами и их аккумуляция в органах-мишенях рыб // Междунар. студенч. науч. вестн. 2017. № 4-3. С. 263–265. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=17511> (дата обращения: 08.10.2024).
8. Зайцев В. Ф., Шипулин С. В., Щербакоева Е. Н. Минеральный состав осетровых рыб Каспийского моря // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2010. № 2. С. 101–105. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mineralnyy-sostav-osetrovyh-ryb-kaspiyskogo-morya> (дата обращения: 08.10.2024).
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. Камчат. гос. техн. ун-та. 2023. № 65. С. 111–122. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/polovye-razlichiya-v-soderzhanii-mikroelementov-v-organah-i-tka-nyah-nerki-iz-vostochnykh-zalivov-poluostrova-kamchatka> (дата обращения: 20.04.2024).
10. 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 Нац. науч.-практ. конф. (Саратов, 04–05 октября 2016 г.). Саратов: Изд-во Саратов. ГАУ им. Н. И. Вавилова, 2016. С. 31–34.
11. Гомбоева С. В., Пронин Н. М. Возрастные изменения содержания тяжелых металлов (Cu, Zn, Cd, Pb) в органах и тканях плотвы сибирской и щуки Селенгинского мелководья оз. Байкал // Экология. 2007. № 4. С. 314–316.
12. Макарова Т. Н., Валеева Г. Б. Содержание тяжелых металлов в органах и тканях рыб ООО «Ирдягинское рыбоводное хозяйство» // Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов: V Балт. мор. форум. Всерос. науч. конф.: тр. (Калининград, 23–24 мая 2017 г.). Калининград: Изд-во Калинингр. гос. техн. ун-та, 2017. С. 126–129.

References

1. Galatova E. A. Sravnitel'naya kharakteristika soderzhanii ekotoksikantov v reproduktivnykh organakh ryb semeystva Percidae, Cyprinidae, Esocidae, Siluridae (na primere reki Ui) [Comparative characteristics of the content of ecotoxicants in the reproductive organs of fish of the Percidae, Cyprinidae, Esocidae, Siluridae families (using the example of the

2. Sal'nikova E. V. Tsink – essentsial'nyi mikroelement (obzor) [Zinc is an essential trace element (review)]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, no. 10 (146), pp. 170-172. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsink-essentsialnyy-mikroelement-obzor> (accessed: 09.10.2024).

3. Chaplygin V. A., Ershova T. S., Zaitsev V. F. Soderzhanie nekotorykh mikroelementov v gidrobionтах Каспийского моря [The content of some trace elements in the hydrobionts of the Caspian Sea]. *Iug Rossii: ekologiya, razvitiye*, 2017, no. 3, pp. 138-144. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-nekotorykh-mikroelementov-v-gidrobionтах-каспийского-моря> (accessed: 09.10.2024).

4. GOST 26929-94. Syr'e i produkty pishchevye. Podgotovka prob. Mineralizatsiya dlia opredeleniia soderzhanii toksichnykh elementov [SS 26929-94. Raw materials and food products. Sample preparation. Mineralization to determine the content of toxic elements]. Moscow, Izd-vo standartov, 2002. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200021120> (accessed: 23.08.2020).

5. GOST 30178-96. Syr'e i produkty pishchevye. Atomno-absorbtsionnyi metod opredeleniia toksichnykh elementov [SS 30178-96. Raw materials and food products. Atomic absorption method for the determination of toxic elements]. Moscow, Izd-vo standartov, 1997. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200021152> (accessed: 23.08.2020).

6. Vorob'ev D. V. Funktsional'nye osobennosti metabolizma metallov u ryb v sovremennykh biogeokhimičeskikh usloviakh del'ty r. Volgi. Avtoreferat dissertatsii ... kand. biol. nauk [Functional features of metal metabolism in fish in modern biogeochemical conditions of the Volga River delta. Abstract of the dissertation ... cand. biol. sciences]. Astrakhan', 2008. 21 p.

7. Ishbulatova S. R., Kazachkova N. M. Zagriaznenie reki Ural tiazhelymi metallami i ikh akumulatsiia v organakh – misheniakh ryb [Pollution of the Ural River with heavy metals and their accumulation in the target organs of fish]. *Mezhdunarodnyi studentcheskii nauchnyi vestnik*, 2017, no. 4-3, pp. 263-265. Available at: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=17511> (accessed: 08.10.2024).

8. Zaitsev V. F., Shipulin S. V., Shcherbakova E. N. Mineral'nyi sostav osetrovnykh ryb Kaspiiskogo moria [Mineral

composition of sturgeon fishes of the Caspian Sea]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khoziaistvo*, 2010, no. 2, pp. 101-105. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/mineralnyy-sostav-osetrovykh-ryb-kaspiyskogo-morya> (accessed: 08.10.2024).

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 Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2023, no. 65, pp. 111-122. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/polovye-razlichiya-v-soderzhanii-mikroelementov-v-organakh-i-tkanyah-nerki-iz-vostochnykh-zalivov-poluostrova-kamchatka> (accessed: 20.04.2024).

10. Guseinov A. D., Shikhshabekova B. I., Musaeva I. V., Alieva E. M. Nekotorye dannye neresta rybtsa vodoemov Kaspiia [Some data on the spawning of fish from the Caspian reservoirs]. *Sostoianie i puti razvitiia akvakul'tury v Rossiiskoi Federatsii v svete importozameshcheniia i obespecheniia proizvodstvennoi bezopasnosti strany: materialy Natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Saratov, 04–05 oktiabria 2016 g.)*. Saratov, Izd-vo Sarat. GAU im. N. I. Vavilova, 2016. Pp. 31-34.

11. Gomboeva S. V., Pronin N. M. Vozrastnye izmeneniia soderzhanii tiazhelykh metallov (Cu, Zn, Cd, Pb) v organakh i tkaniakh plotvy sibirskoi i shchuki Selenginskogo melkovod'ia oz. Baikal [Age-related changes in the content of heavy metals (Cu, Zn, Cd, Pb) in the organs and tissues of Siberian roach and pike of the Selenginsky shoal lake. Baikal]. *Ekologiya*, 2007, no. 4, pp. 314-316.

12. Makarova T. N., Valeeva G. B. Soderzhanie tiazhelykh metallov v organakh i tkaniakh ryb OOO «Irdyaginskoe rybovodnoe khoziaistvo» [The content of heavy metals in the organs and tissues of fish of LLC Irdyaginsky fish farming]. *Vodnye bioresursy, akvakul'tura i ekologiya vodoemov: V Baltiiskii morskoi forum. Vserossiiskaia nauchnaia konferentsiia: trudy (Kaliningrad, 23–24 maia 2017 g.)*. Kaliningrad, Izd-vo Kaliningr. gos. tekhn. un-ta, 2017. Pp. 126-129.

Статья поступила в редакцию 14.10.2024; одобрена после рецензирования 28.11.2024; принята к публикации 13.02.2025

The article was submitted 14.10.2024; approved after reviewing 28.11.2024; accepted for publication 13.02.2025

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

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

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

Екатерина Камалудиновна Исаева – магистрант кафедры гидробиологии и общей экологии; Астраханский государственный технический университет; isaeva.ekaterina.k@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

Ekaterina K. Isayeva – Master's Course Student of the Department of Hydrobiology and General Ecology; Astrakhan State Technical University; isaeva.ekaterina.k@mail.ru

