

Научная статья  
УДК 639.3+574.2  
<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2024-4-79-86>  
EDN QQQQND

## Содержание химических элементов в костистых лучах плавников *Acipenser gueldenstaedtii* (Brandt, 1833)

**В. Ф. Зайцев<sup>1</sup>, В. А. Чаплыгин<sup>2</sup>, А. Д. Кудряков<sup>3</sup>, Т. С. Ершова<sup>4</sup>✉, И. В. Волкова<sup>5</sup>**

<sup>1-5</sup>*Астраханский государственный технический университет,  
Астрахань, Россия, [ershova\\_ts@mail.ru](mailto:ershova_ts@mail.ru)*

<sup>5</sup>*Каспийский институт морского и речного транспорта имени генерал-адмирала Ф. М. Апраксина –  
филиал ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта»,  
Астрахань, Россия*

**Аннотация.** Одной из причин снижения численности осетровых видов рыб является сложная экологическая обстановка в Волго-Каспийском бассейне. Изменения гидрохимического состава воды Волго-Каспийского бассейна сопровождаются критическими нарушениями микроэлементарного баланса организма рыб и приводят к необратимым патологическим последствиям в популяциях ценных видов рыб. Для сохранения популяции и осуществления мониторинга за состоянием осетровых видов рыб необходимо детальное изучение микроэлементного состава их органов и тканей. Определение концентрации химических элементов в костных лучах плавников русского осетра *Acipenser gueldenstaedtii* (Brandt, 1833) разной половой принадлежности и возрастного состава (3–10 лет) производили с помощью атомно-абсорбционного метода согласно ГОСТ 30178-96. В каждой пробе определяли концентрации железа, меди, марганца, цинка, никеля, кобальта, хрома, свинца и кадмия. Отмечено, что все девять исследуемых металлов в той или иной мере способны аккумулироваться в костных лучах осетра. Железо в костных лучах плавников осетровых рыб присутствовало в больших количествах относительно других химических элементов. Второе место по содержанию в лучах занимал свинец и далее в порядке убывания цинк и кобальт, а в наименьших концентрациях обнаружен кадмий. Показано, что медь, цинк, марганец имеют более высокие концентрации в лучах самцов, а никель, хром, кобальт, свинец и кадмий – в лучах самок русского осетра. Выявленные различия между средними концентрациями железа в изученных органах самок и самцов всех исследованных возрастных групп статистически не значимы. Отмечено, что с увеличением возраста, массы и длины в костных лучах плавников как самцов, так и самок содержание металлов возрастало.

**Ключевые слова:** химические элементы, концентрация, костные лучи плавников, русский осетр, возраст, пол

**Благодарности:** работа выполнена в ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» в рамках фундаментальных научных исследований при финансовой поддержке гранта РФФИ № 23-24-10043.

**Для цитирования:** Зайцев В. Ф., Чаплыгин В. А., Кудряков А. Д., Ершова Т. С., Волкова И. В. Содержание химических элементов в костистых лучах плавников *Acipenser gueldenstaedtii* (Brandt, 1833) // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2024. № 4. С. 79–86. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2024-4-79-86>. EDN QQQQND.

Original article

## Chemical element content in bony fin rays of *Acipenser gueldenstaedtii* (Brandt, 1833)

**V. F. Zaitsev<sup>1</sup>, V. A. Chaplygin<sup>2</sup>, A. D. Kudryakov<sup>3</sup>, T. S. Ershova<sup>4</sup>✉, I. V. Volkova<sup>5</sup>**

<sup>1-5</sup>*Astrakhan State Technical University,  
Astrakhan, Russia, [ershova\\_ts@mail.ru](mailto:ershova_ts@mail.ru)*

<sup>5</sup>*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.** One of the reasons for the decline in the number of sturgeon fish species is the complex ecological situation in the Volga-Caspian basin. Changes in the hydrochemical composition of the Volga-Caspian basin water are accompanied by critical disturbances in the microelement balance of the fish organism and lead to irreversible pathological consequences in the populations of valuable fish species. In order to preserve the population and monitor the condition of sturgeon fish species, a detailed study of the microelement composition of their organs and tissues is necessary. The concentration of chemical elements in the bony rays of the fins of Russian sturgeon *Acipenser gueldenstaedtii* (Brandt, 1833) of different sexes and age composition (3-10 years) was determined using the atomic absorption method according to GOST 30178-96. Iron, copper, manganese, zinc, nickel, cobalt, chromium, lead, cadmium were determined in each sample. It is noted that all nine studied metals are able to accumulate in sturgeon bone rays to one degree or another. Iron in sturgeon bone rays was present in large quantities relative to other chemical elements. Lead occupied the second place in terms of content in the rays, followed by zinc and cobalt in descending order, and cadmium was found in the lowest concentrations. Copper, zinc, and manganese were shown to have higher metal concentrations in the rays of males, and nickel, chromium, cobalt, lead, and cadmium in the rays of female Russian sturgeon. The differences revealed between the average iron concentrations in the studied organs of females and males of all studied age groups are statistically insignificant. It was noted that with increasing age, weight, and length, the metal content in the bone rays of both males and females increased.

**Keywords:** chemical elements, concentration, bone rays of fins, Russian sturgeon, age, gender

**Acknowledgment:** the work was performed at the Astrakhan State Technical University within the framework of fundamental scientific research with the financial support of the Russian Academy of Sciences grant No. 23-24-10043.

**For citation:** Zaitsev V. F., Chaplygin V. A., Kudyakov A. D., Ershova T. S., Volkova I. V. Chemical element content in bony fin rays of *Acipenser gueldenstaedtii* (Brandt, 1833). *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry*. 2024;4:79-86. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2024-4-79-86>. EDN QQQQND.

### Введение

Осетрообразные – одна из наиболее древних групп рыб, сохранившаяся до настоящего времени с мелового периода. Основные запасы осетровых сосредоточены в Каспийском бассейне. Здесь обитает 6 видов из 11, встречающихся на территории России [1].

Одной из причин снижения численности этих ценных видов рыб является сложная экологическая обстановка в Волго-Каспийском бассейне, а именно загрязнение рек и моря промышленными и сельскохозяйственными стоками [1]. Резкие изменения гидрохимического состава воды Волго-Каспийского бассейна сопровождаются критическими нарушениями микроэлементарного баланса организма рыб и приводят к необратимым патологическим последствиям в популяциях осетровых видов рыб [2]. Тяжелые металлы накапливаются в различных органах и тканях гидробионтов, вызывая патологические изменения на клеточном и внутриклеточном уровнях [3].

По мнению Т. И. Моисеенко с соавторами [4, 5], на аккумуляцию и динамику накопления тяжелых металлов в органах и тканях рыб оказывают влияние гидрохимические показатели воды, пол, возраст и занимаемая экологическая ниша.

Для сохранения популяции и осуществления мониторинга за состоянием осетровых видов рыб необходимо детальное изучение микроэлементного состава их органов и тканей, а также способности к аккумуляции и распространению наиболее опасных токсических веществ в их организме.

В связи с этой целью исследование являлось определением концентрации химических элементов в костных лучах плавников русского осетра *Acipenser gueldenstaedtii* (Brandt, 1833).

### Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись особи русского осетра *Acipenser gueldenstaedtii* (Brandt, 1833) в возрасте 3–9 лет. Материалом для исследования служили костные лучи плавников.

Работу проводили на базе кафедры «Гидробиология и общая экология» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет». Определение концентрации химических элементов в костных лучах плавников производили у особей разной половой принадлежности и возрастного состава с помощью атомно-абсорбционного метода определения химических элементов согласно ГОСТ 30178-96. Результаты исследования обработаны статистически при помощи программного продукта Microsoft® Excel™.

### Результаты исследований и их обсуждение

На основании результатов исследования отмечено, что железо в костных лучах плавников осетров присутствовало в больших количествах относительно других химических элементов. Его значения варьировали от 21,23 до 72,55 мг/кг у самок и от 22,77 до 74,12 мг/кг сухого вещества у самцов (рис. 1).

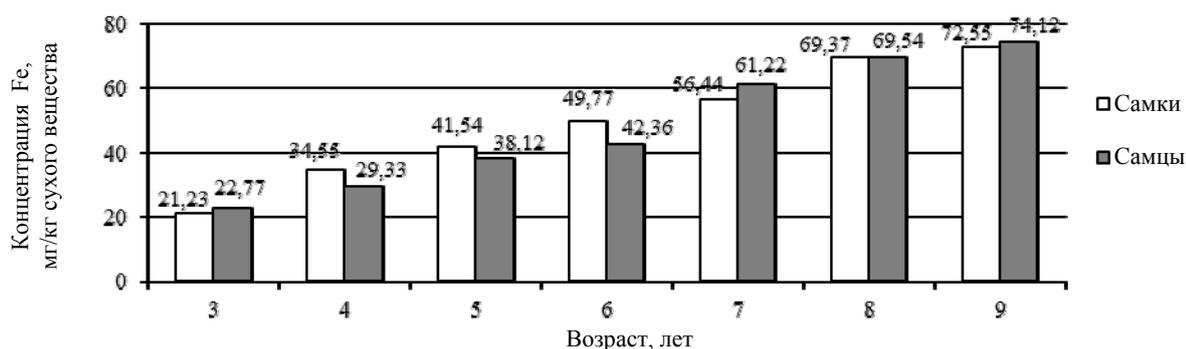


Рис. 1. Содержание железа в костных лучах плавников *Acipenser gueldenstaedtii*

Fig. 1. Content of iron in the bony rays of the fins of *Acipenser gueldenstaedtii*

Второе место по содержанию в лучах занимал и т. д. (рис. 2–4).  
 свинец, далее в порядке убывания цинк, кобальт

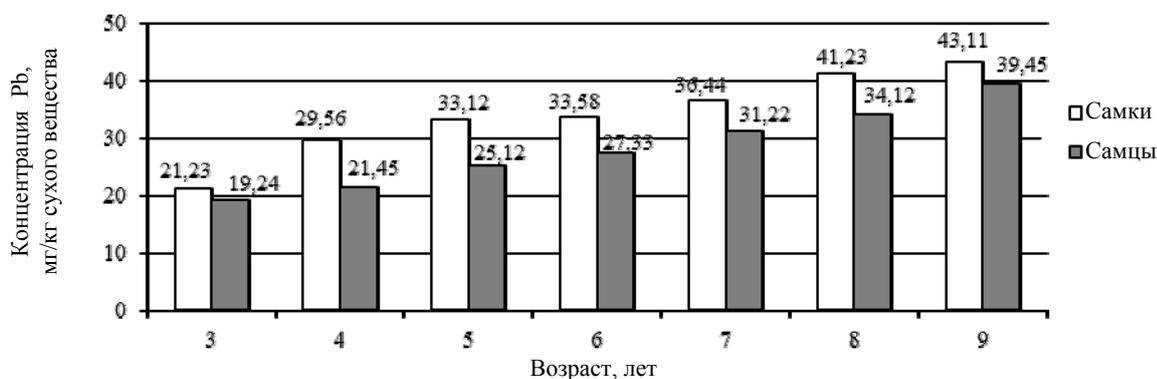


Рис. 2. Содержание свинца в костных лучах плавников *Acipenser gueldenstaedtii*

Fig. 2. Content of lead in the bony rays of the fins of *Acipenser gueldenstaedtii*

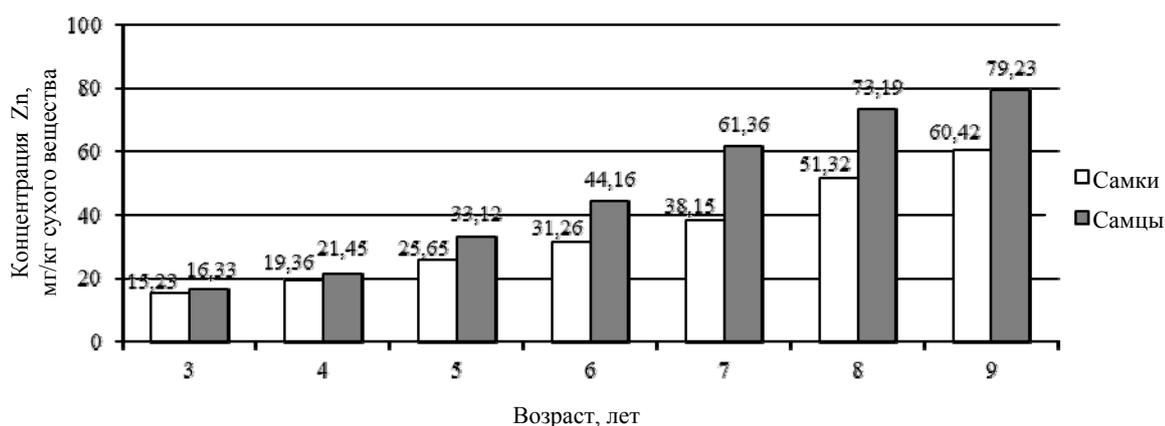


Рис. 3. Содержание цинка в костных лучах плавников *Acipenser gueldenstaedtii*

Fig. 3. Zinc content in the bony rays of the fins of *Acipenser gueldenstaedtii*

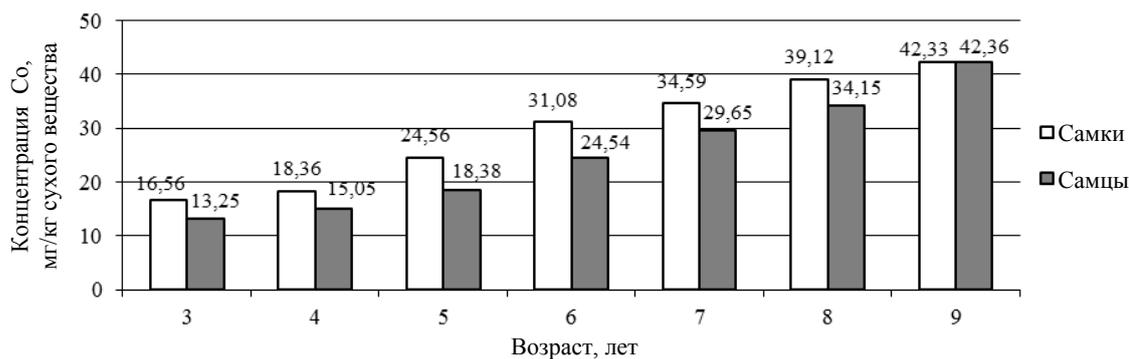


Рис. 4. Содержание кобальта в костных лучах плавников *Acipenser gueldenstaedtii*

Fig. 4. Cobalt content in the bony rays of the fins of *Acipenser gueldenstaedtii*

Концентрации железа и свинца в исследованных органах рыб в возрастной период 3–4 года вполне сопоставимы, и выявленные различия статистически не значимы ( $p > 0,05$ ). Аналогичная ситуация прослеживалась и в отношении цинка и кобальта: в возрасте с 3 до 7 лет значения этих химических

элементов изменялись одинаково ( $p > 0,05$ ).

В наименьших концентрациях в лучах обнаружен кадмий с концентрацией в диапазоне от 0,41 до 1,26 мг/кг у самок и от 0,23 до 1,15 мг/кг сухого вещества у самцов (рис. 5).

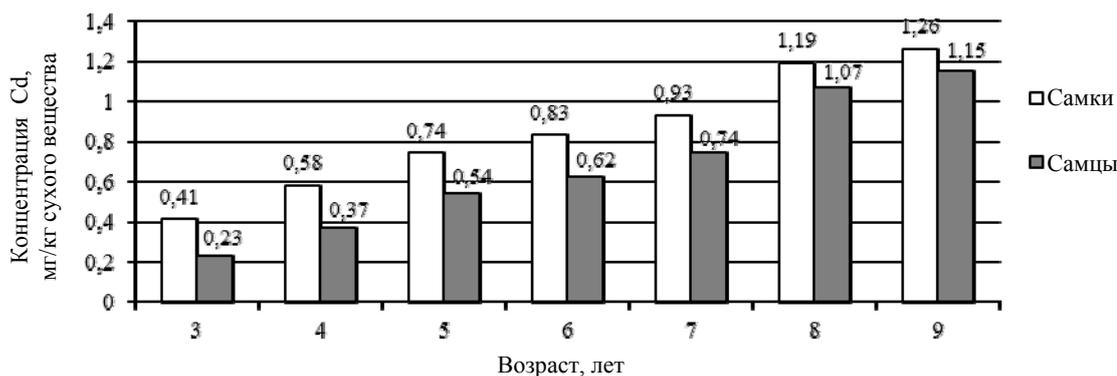


Рис. 5. Содержание кадмия в костных лучах плавников *Acipenser gueldenstaedtii*

Fig. 5. Cadmium content in the bony rays of the fins of *Acipenser gueldenstaedtii*

В работе [6] И. С. Миллер с соавторами, изучая особенности накопления и корреляции тяжелых металлов в костной ткани судака Новосибирского водохранилища, отмечали, что по количеству доминируют цинк и железо, а в наименьшем количестве встречается кадмий. Выявленные средние популяционные значения тяжелых металлов в костной ткани судака они рекомендовали использовать в экологии, ветеринарии и зоотехнии при оценке элементного состава судака.

В зависимости от возраста рыб химические элементы по концентрации в костных лучах плавников русского осетра составляли следующие убывающие ряды:

- 3–4 года:  $Fe \geq Pb > Zn \geq Co > Ni > Mn \geq Cu \geq Cr > Cd$ ;
- 5 лет:  $Fe > Pb \geq Zn \geq Co > Ni > Cu \geq Mn \geq Cr > Cd$ ;
- 6 лет:  $Fe > Pb \geq Zn \geq Co > Ni \geq Cu > Mn \geq Cr > Cd$ ;
- 7 лет:  $Fe > Zn \geq Pb \geq Co > Ni > Cu > Mn \geq Cr > Cd$ ;

– 8–9 лет:  $Fe > Zn > Pb \geq Co > Cu \geq Ni > Mn \geq Cr > Cd$ .

Динамика количественного содержания химических элементов в костных лучах плавников русского осетра, которую отражают убывающие ряды, свидетельствует о становлении костного состава лучей рыб. Показано, что в более ранний возрастной период, с 3 до 6 лет, достаточно велика концентрация свинца. В 7 лет на вторую позицию перемещается цинк, на третью – свинец. Возможно, это объясняется тем, что цинк значительно влияет на рост и развитие организма, является активатором ряда ферментов, включая щелочную фосфатазу костной ткани [7].

Сравнительный анализ накопления меди (рис. 6), цинка, марганца (рис. 7) в костной ткани русского осетра показал более высокие концентрации металлов в лучах плавников самцов всех исследованных возрастных групп.

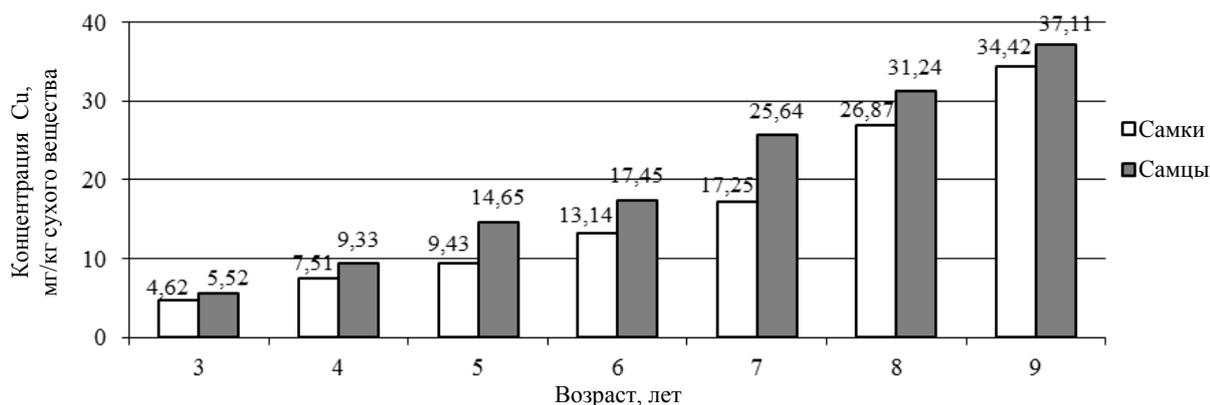


Рис. 6. Содержание меди в костных лучах плавников *Acipenser gueldenstaedtii*

Fig. 6. Copper content in the bony rays of the fins of *Acipenser gueldenstaedtii*

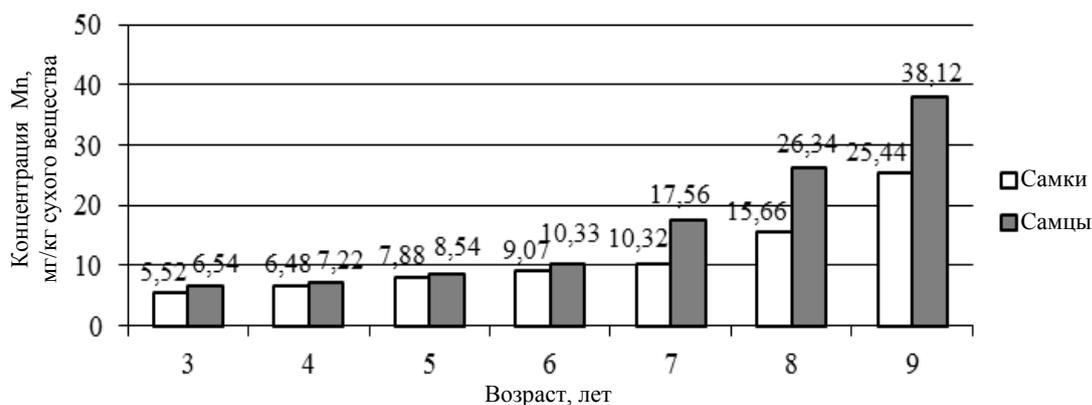


Рис. 7. Содержание марганца в костных лучах плавников *Acipenser gueldenstaedtii*

Fig. 7. Manganese content in the bony rays of the fins of *Acipenser gueldenstaedtii*

Аккумуляция никеля (рис. 8), хрома (рис. 9), в большей мере происходила в костных лучах кобальта, свинца и кадмия в объектах изучения плавников самок.

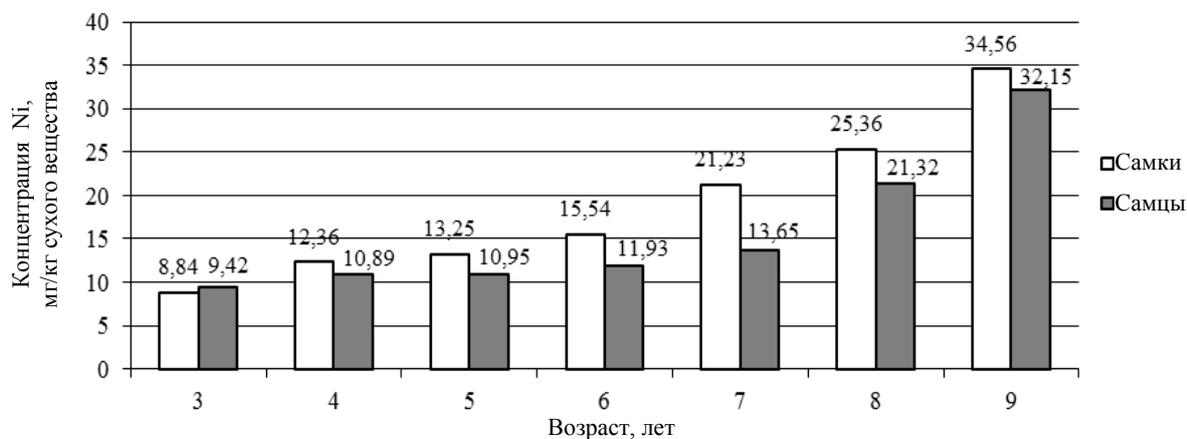


Рис. 8. Содержание никеля в костных лучах плавников *Acipenser gueldenstaedtii*

Fig. 8. Nickel content in the bony fin rays of *Acipenser gueldenstaedtii*

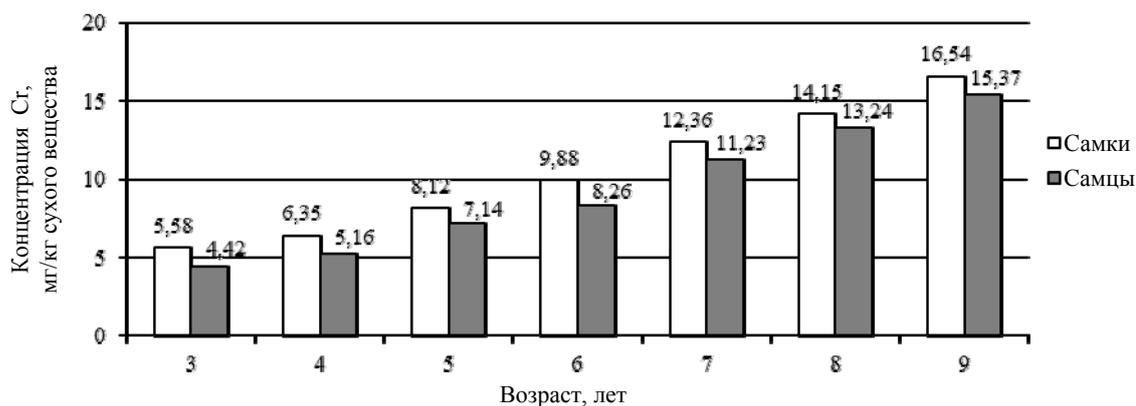


Рис. 9. Содержание хрома в костных лучах плавников *Acipenser gueldenstaedtii*

Fig. 9. Chromium content in the bony rays of the fins of *Acipenser gueldenstaedtii*

Выявленные различия между средними концентрациями железа в изученных органах самок и самцов всех исследованных возрастных групп статистически не значимы ( $p > 0,05$ ).

С увеличением возраста, массы и длины в костной ткани как самцов, так и самок содержание металлов в лучах плавников возрастало. Так, в период с 3 до 9 лет концентрация меди в ткани увеличивалась в 10 раз, цинка – в 5 раз, железа, никеля и кад-

мия – более чем в 4 раза, марганца, хрома и кобальта – в 3 раза, свинца – в 2 раза.

Корреляционный анализ полученных данных показал тесную связь между содержанием всех исследованных химических элементов в костных лучах русского осетра и морфологическими показателями (длина и масса рыб) как у самок, так и у самцов. Значения корреляции варьировали от 0,90 до 0,99 (табл.).

#### Значения корреляционного анализа данных\*

#### The values of correlation analysis of data

Показатель	Fe	Zn	Cu	Mn	Ni	Cr	Co	Cd	Pb
Длина	0,99/0,98	0,99/0,99	0,96/0,99	0,93/0,91	0,99/0,95	0,90/0,96	0,94/0,95	0,98/0,99	0,95/0,99
Масса	0,97/0,98	0,98/0,98	0,99/0,96	0,98/0,98	0,97/0,99	0,97/0,92	0,99/0,99	0,98/0,97	0,98/0,99

\* Самка/самец.

В работе [8] А. А. Чемагин с соавторами ранее отмечали аналогичную закономерность в костной ткани стерляди, только в отношении кадмия: для скелета концентрация кадмия возрастала в зависимости от массы и длины рыб. Кроме того, эти же авторы, анализируя концентрации свинца в осевом скелете стерляди, выявили зависимость как от массы, так и от длины рыб: чем крупнее организм, тем больше концентрация. При этом в нашем случае диапазон концентраций свинца в костных лучах плавников русского осетра составил у самок от 21,23 мг/кг (3 года) до 43,11 мг/кг сухого вещества (9 лет), у самцов от 19,24 мг/кг (3 года) до 39,45 мг/кг сухого вещества (9 лет).

С возрастом рыб скорость аккумуляции костными лучами плавников кадмия выше в 2 раза, чем свинца. Это можно объяснить тем, что в водоемах свинец может быть прочно адсорбирован частицами донных отложений и поэтому в основном неусвояем, тогда как ионы кадмия могут непосредственно поглощаться из воды [9]. Опасность накопления Cd для организма рыб показана в работах зарубежных исследователей [3]. Кадмий активно замещает каль-

ций в клеточных механизмах регулирования концентрации кальция (через кальциевые каналы). Данный механизм проникновения Cd установлен для рыб [10].

В работах [11, 12] С. Р. McCahon и D. Pascoe, а также J. Arce-Funck с соавторами отмечали, что в период линьки гидробионты, имеющие экзоскелет, наиболее чувствительны к накоплению токсиантов, включая Cd. В [8] А. А. Чемагин с соавторами сделали предположение, что ряды костных пластинок стерляди также способствуют поверхностному проникновению кадмия в их организм. Частичная замена ионов кальция кадмием обуславливает его достаточно высокую концентрацию в скелетных образованиях, поэтому он способен накапливаться в организме. Это находит подтверждение и в нашем исследовании.

#### Заключение

Таким образом, в результате исследования выявлены особенности накопления химических элементов в костной ткани лучей плавников русского осетра в зависимости от возраста и морфологиче-

ских показателей, а также половой принадлежности. Отмечено, что все девять исследованных металлов в той или иной мере способны аккумулироваться в костных лучах плавников осетра. В связи с этим с целью осуществления мониторинга за со-

стоянием осетровых видов рыб необходимо учитывать содержание химических элементов в их органах и тканях, в том числе и в костных лучах плавников.

### Список источников

1. Иванов В. П., Комарова Г. В. Рыбы Каспийского моря (систематика, биология, промысел). Астрахань: Изд-во АГТУ, 2008. 256 с.
2. Гераскин П. П. Нарушение обмена веществ у русского осетра в современных условиях Волго-Каспия. Волгоград, 1986. 54 с.
3. Mohanty B. P., Mahananda M. R., Pradhan S. Cadmium induced toxicity and antioxidant activities in *Labeo rohita* (Hamilton) // Environment and Ecology Research. 2013. V. 1. Iss. 2. P. 41–47. DOI: 10.13189/ eer.2013.010203.
4. Моисеенко Т. И., Кудрявцева Л. П., Гашкина Н. А. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология. М.: Наука, 2006. 261 с.
5. Моисеенко Т. И., Гашев С. Н. Биогеохимическая индикация загрязнения металлами и радионуклидами в регионах нефтедобычи // Докл. Акад. наук. 2012. Т. 441. № 12. С. 1338–1341.
6. Миллер И. С., Короткевич О. С., Петухов В. Л., Себежко О. И., Петухов В. Л. Особенности накопления и корреляции тяжелых металлов в костной ткани судака Новосибирского водохранилища // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=18106> (дата обращения: 26.07.2024).
7. Войнар А. И. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. М.: Высш. шк., 1960. 544 с.

8. Чемагин А. А., Волосников Г. И., Кыров Д. Н., Либерман Е. Л. Тяжелые металлы Hg, Cd, Pb в организме стерляди (*Acipenser ruthenus* L.), Нижний Иртыш // Вестн. МГТУ. Тр. Мурман. гос. техн. ун-та. 2019. Т. 22. № 2. С. 225–233. DOI: 10.21443/1560-9278-2019-22-2-225-233.
9. Мур Дж. В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: контроль и оценка влияния: пер. с англ. Д. В. Гричука и др. М.: Мир, 1987. 288 с.
10. Reader J. P., Morris R. Effects of aluminium and pH on calcium fluxes, and effects of cadmium and manganese on calcium and sodium fluxes in brown trout (*Salmo trutta* L.) // Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Comparative Pharmacology. 1988. V. 91. Iss. 2. P. 449–457. DOI: [https://doi.org/10.1016/0742-8413\(88\)90058-8](https://doi.org/10.1016/0742-8413(88)90058-8).
11. Иванченко Т. В. Патологические изменения тканей и органов русского осетра под действием тяжелых металлов // Физиология и токсикология гидробионтов: сб. науч. тр. Ярославль: Изд-во ЯрГУ, 1989. С. 89–98.
12. McCahon C. P., Pascoe D. Cadmium toxicity to the freshwater amphipod *Gammarus pulex* (L.) during the moult cycle // Freshwater Biology. 1988. V. 19. Iss. 2. P. 197–203. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1988.tb00342.x>.
13. Arce-Funck J., Crenier C., Danger M., Billoir E. High stoichiometric food quality increases moulting organism vulnerability to pollutant impacts: An experimental test with *Gammarus fossarum* (Crustacea: Amphipoda) // Science of the Total Environment. 2018. V. 645. P. 1484–1495. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.227>.

### References

1. Ivanov V. P., Komarova G. V. *Ryby Kaspijskogo morja (sistematika, biologiya, promysel)* [Fish of the Caspian Sea (taxonomy, biology, fishery)]. Astrahan', Izd-vo AGTU, 2008. 256 p.
2. Geraskin P. P. *Narushenie obmena veshchestv u russkogo osetra v sovremennyh usloviyah Volgo-Kaspiya* [Metabolic disorders in Russian sturgeon in modern conditions of the Volga-Caspian Sea]. Volgograd, 1986. 54 p.
3. Mohanty B. P., Mahananda M. R., Pradhan S. Cadmium induced toxicity and antioxidant activities in *Labeo rohita* (Hamilton). *Environment and Ecology Research*, 2013, vol. 1, iss. 2, pp. 41-47. DOI: 10.13189/ eer.2013.010203.
4. Moiseenko T. I., Kudryavceva L. P., Gashkina N. A. *Rasseyannye elementy v poverhnostnyh vodah суши: tekhnofil'nost', bioakkumulyaciya i ekotoksikologiya* [Scattered elements in the surface waters of the land: technophilicity, bioaccumulation and ecotoxicology]. Moscow, Nauka Publ., 2006. 261 p.
5. Moiseenko T. I., Gashev S. N. Biogeoхимическая индикация загрязнения металлами и радионуклидами в регионах нефтедобычи [Biogeochemical indication of pollution by metals and radionuclides in oil production regions]. *Doklady Akademii nauk*, 2012, vol. 441, no. 12, pp. 1338-1341.

6. Miller I. S., Korotkevich O. S., Petuhov V. L., Sebezko O. I., Petuhov V. L. Osobennosti nakopleniya i korrelyacii tyazhelyh metallov v kostnoj tkani sudaka Novosibirskogo vodohranilishcha [Features of accumulation and correlation of heavy metals in the bone tissue of walleye of the Novosibirsk reservoir]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2015, no. 1-1. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=18106> (accessed: 26.07.2024).
7. Vojnar A. I. *Biologicheskaya rol' mikroelementov v organizme zhivotnyh i cheloveka* [The biological role of trace elements in the body of animals and humans]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1960. 544 p.
8. Chemagin A. A., Volosnikov G. I., Kyrov D. N., Liberman E. L. Tyazhelye metally Hg, Cd, Pb v organizme sterlyadi (*Acipenser ruthenus* L.), Nizhnij Irtysh [Heavy metals Hg, Cd, Pb in the body of sterlet (*Acipenser ruthenus* L.), Lower Irtysh]. *Vestnik MGTU. Trudy Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2019, vol. 22, no. 2, pp. 225-233. DOI: 10.21443/1560-9278-2019-22-2-225-233.
9. Mur Dzh. V., Ramamurti S. *Tyazhelye metally v prirodnyh vodah: kontrol' i ocenka vliyaniya* [Heavy metals in natural waters: control and impact assessment]. *Perevod s anglijskogo D. V. Grichuka i dr.* Moscow, Mir Publ., 1987. 288 p.

10. Reader J. P., Morris R. Effects of aluminium and pH on calcium fluxes, and effects of cadmium and manganese on calcium and sodium fluxes in brown trout (*Salmo trutta* L.). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Comparative Pharmacology*, 1988, vol. 91, iss. 2, pp. 449-457. DOI: [https://doi.org/10.1016/0742-8413\(88\)90058-8](https://doi.org/10.1016/0742-8413(88)90058-8).

11. Ivanchenko T. V. Patologicheskie izmeneniya tkanej i organov russkogo osetra pod dejstviem tyazhelyh metallov [Pathological changes in tissues and organs of the Russian sturgeon under the influence of heavy metals]. *Fiziologiya i toksikologiya gidrobiontov: sbornik nauchnyh trudov*. Ya-

rosavl', Izd-vo YarGU, 1989. Pp. 89-98.

12. McCahon C. P., Pascoe D. Cadmium toxicity to the freshwater amphipod *Gammarus pulex* (L.) during the moult cycle. *Freshwater Biology*, 1988, vol. 19, iss. 2, pp. 197-203. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1988.tb00342.x>.

13. Arce-Funck J., Crenier C., Danger M., Billoir E. High stoichiometric food quality increases moulting organism vulnerability to pollutant impacts: An experimental test with *Gammarus fossarum* (Crustacea: Amphipoda). *Science of the Total Environment*, 2018, vol. 645, pp. 1484-1495. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.227>.

Статья поступила в редакцию 12.09.2024; одобрена после рецензирования 23.10.2024; принята к публикации 14.11.2024  
The article was submitted 12.09.2024; approved after reviewing 23.10.2024; accepted for publication 14.11.2024

### Информация об авторах / Information about the authors

**Вячеслав Федорович Зайцев** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; заведующий кафедрой гидробиологии и общей экологии; Астраханский государственный технический университет; [viacheslav-zaitsev@yandex.ru](mailto:viacheslav-zaitsev@yandex.ru)

**Владимир Александрович Чаплыгин** – кандидат биологических наук; доцент кафедры гидробиологии и общей экологии; Астраханский государственный технический университет; [wladimirchap@yandex.ru](mailto:wladimirchap@yandex.ru)

**Артур Дамир оглы Кудьяков** – магистрант кафедры гидробиологии и общей экологии; Астраханский государственный технический университет; [arturka1408@mail.ru](mailto:arturka1408@mail.ru)

**Татьяна Сергеевна Ершова** – доктор биологических наук, доцент; профессор кафедры гидробиологии и общей экологии; Астраханский государственный технический университет; [ershova\\_ts@mail.ru](mailto:ershova_ts@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](mailto:gridasova@mail.ru)

**Viacheslav F. Zaitsev** – Doctor of Agricultural Sciences, Professor; Head of the Department of Hydrobiology and General Ecology; Astrakhan State Technical University; [viacheslav-zaitsev@yandex.ru](mailto:viacheslav-zaitsev@yandex.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](mailto:wladimirchap@yandex.ru)

**Arthur D. Kudyakov** – Master's Course Student of the Department of Hydrobiology and General Ecology; Astrakhan State Technical University; [arturka1408@mail.ru](mailto:arturka1408@mail.ru)

**Tatiana S. Ershova** – Doctor of Biological Sciences, Assistant Professor; Professor of the Department of Hydrobiology and General Ecology; Astrakhan State Technical University; [ershova\\_ts@mail.ru](mailto:ershova_ts@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](mailto:gridasova@mail.ru)

