

АККУМУЛЯЦИЯ ЦИНКА И МЕДИ В ЧЕШУЕ СУДАКА НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**К.С. Рявкина**, аспирант**О.С. Короткевич**, доктор биологических наук, профессор**В.Л. Петухов**, доктор биологических наук, профессорНовосибирский государственный аграрный
университет, Новосибирск, Россия

E-mail: kristina02021994@yandex.ru

Ключевые слова: рыбоводство, тяжелые металлы, цинк, медь, чешуя, судак, Новосибирское водохранилище

Реферат. *Одна из наиболее важных современных проблем экологии – загрязнение водоемов химическими соединениями, в частности тяжелыми металлами, которые не растворяются в воде и по цепи питания переходят в организм гидробионтов, а затем конечного потребителя – человека. Изучены особенности содержания меди и цинка, их изменчивость в чешуе судака (Sander lucioperca) Новосибирского водохранилища. Для анализа было отобрано 33 пробы чешуи. Концентрация исследуемых металлов была определена с помощью атомно-эмиссионного спектрального метода с индуктивно-связанной плазмой на спектромере iCAP-6500 фирмы Thermo Scientific. Установлена высокая фенотипическая изменчивость концентрации меди и цинка в чешуе судака. Выявлено, что в чешуе судака Новосибирского водохранилища концентрация меди ниже, чем в мышцах, в 1,8 раза, а содержание цинка больше в 4,8 раза. Отношение крайних вариантов для меди составило 1 : 24, для цинка 1 : 6. Содержание цинка и меди находилось в соотношении 48 : 1. Установлены средние популяционные значения уровня концентрации меди (1,69 мг/кг) и цинка (93,3 мг/кг) в чешуе судака Новосибирского водохранилища. Выявлен высокий уровень положительной корреляции ($r = 0,859$) между эссенциальными элементами. Полученные данные уровня концентрации меди и цинка в чешуе можно использовать в качестве референсных значений. Распределение тяжелых металлов в чешуе судака характеризуется неравномерностью. Расширение параметров оценки живых организмов по химическому составу дает возможность более точно оценить интерьер животных. Полученные данные можно использовать для прижизненной оценки интерьера судака и в экологических исследованиях. Отмечается тенденция к возрастанию уровня тяжелых металлов в водоеме Новосибирского водохранилища.*

**ZINC AND COPPER ACCUMULATION IN ZANDER SCALES
IN THE NOVOSIBIRSK RESERVOIR****K.S. Riavkina**, PhD student**O.S. Korotkevich**, Doctor of Biological Sc., Professor**V.L. Petukhov**, Doctor of Biological Sc., Professor

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

Key words: fish farming, heavy metals, zinc, copper, scales, pike-perch, Novosibirsk reservoir

Abstract. *One of the most important environmental issues is the pollution of water basins with chemicals, in particular with heavy metals, which do not dissolve in water, and pass through the food chain into the body of aquatic organisms, and then the final consumer, humans. The features of the content of copper and zinc, their variability in the scales of pike perch (Sander lucioperca) of the Novosibirsk*

reservoir were studied. 33 samples of scales were taken for analysis. The concentration of the studied metals was measured applying the atomic emission spectral method with inductively coupled plasma on an iCAP-6500 spectrometer from Thermo Scientific. A high phenotypic variability in the concentration of copper and zinc in pike perch scales was found. It was revealed that the concentration of copper in the scales of the pike perch of the Novosibirsk reservoir is 1.8 times lower than in the muscles, and the content of zinc is 4.8 times higher. The extreme ratio for copper was 1:24, for zinc 1:6. The content of zinc and copper was in a ratio of 48:1. The average population values of the concentration level of copper (1.69 mg / kg) and zinc (93.3 mg / kg) in the scales of the pike perch of the Novosibirsk reservoir were established. A high level of positive correlation ($r = 0.859$) was revealed between essential elements. The obtained data on the level of copper and zinc concentration in scales can be used as reference values. The distribution of heavy metals in zander scales is uneven. Expansion of parameters for assessing living organisms by chemical composition enables to assess more accurately the interior of animals. The data obtained can be used for intravital assessment of the interior of zander and in environmental studies. There is a tendency towards an increase in the level of heavy metals in the water body of the Novosibirsk Reservoir.

Антропогенное загрязнение многих водоемов тяжёлыми металлами приводит к снижению уровня качественных товарных характеристик добываемой и разводимой рыбы. С каждым годом уровень сосредоточения токсикантов, попадающих в реки, озера, моря, океаны, со стоками промышленных, бытовых и хозяйственных отходов, возрастает в связи с тем, что список взаимодействующих между собой химических соединений дополняется новыми, синтетическими, представляющими угрозу для человека, животных и гидробионтов [1, 2]. Большинство химических соединений обладают мутагенными и канцерогенными свойствами, они способны вызвать изменения структурного и функционального характера в клетках, а также оказывать непосредственное воздействие на мембранные системы, генетический и ферментный аппарат [3].

В ходе целого ряда научных исследований установлено, что токсиканты воздействуют на гидробионтов прямым и косвенным путем, снижая рыбные запасы водоемов, влияя на каждый уровень их жизненного цикла, включая нерест, кормовую базу, область распространения, а также на физико-химические и ихтиологические системы водоемов [4]. Тяжелые металлы, попавшие в воду водохранилища, преимущественно депонируются в донных отложениях, а остальная часть при определенных услови-

ях внедряется в пищевые цепи, а затем в другие компоненты среды обитания. На данный процесс оказывают влияние индивидуальные особенности гидробионтов, в частности физиологические и биохимические, так как этот переход является достаточно сложным процессом [5, 6].

Одним из направлений в генетике и селекции является комплексное исследование фенофона и генофона различных видов животных [7]. Изучение аккумуляции химических элементов у популяции рыб, а также иных гидробионтов относится к одной из главных задач данных экспериментов. [8–10]. Определяется содержание тяжелых металлов в воде, органах и тканях животных, а также в пищевых продуктах [11, 12]. Концентрация химических элементов в гидробионтах, как установлено, зависит от экспозиции изучаемых металлов, а также от индивидуальных физиологических способностей рыб [13].

Следовательно, выявление особенностей аккумуляции и распределения тяжелых металлов в организме рыб можно использовать для оценки степени загрязнения водоемов. Чешуя также широко используется в качестве биомаркера прижизненной оценки содержания тяжелых металлов в органах и тканях рыб [14]. Изучение интерьера рыб по содержанию химических элементов, поиск связей между ними, а также между уровнем некоторых эко-

поллюантов с показателями роста, изучение влияния генофонда и фенофонда рыб на содержание химических элементов в органах и тканях, является актуальной проблемой, имеющей большое значение [15].

Цель исследований – определение содержания меди и цинка в чешуе судака Новосибирского водохранилища.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом изучения являлся судак (*Sander lucioperca*) Новосибирского водохранилища. Возраст рыб составил 3–4,5 года. Они были выловлены в период с октября по ноябрь 2019 г. Отобраны и обработаны 33 пробы чешуи (каждая по 2 г). Содержание цинка и меди в данных пробах рыб было определено методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре iCAP-6500 фирмы Thermo Scientific [16, 17]. Преимущество метода заключается в малых пределах обнаружения, многоэлементности, а также в отсутствии необходимости в сильном разбавлении.

Исследования чешуи были проведены на базе сертифицированной аналитической лаборатории Института неорганической химии им. А. М. Николаева СО РАН. Результаты были обработаны на персональном компьютере IBM с использованием программы STAT-1STICA 6.

Нормальность распределения определяли по критерию Шапиро-Уилка. Так как по уровню цинка и меди отмечено ненормальное распределение, мы использовали метод Hozo [18]:

$$\bar{x} \approx \frac{a + 2m + b}{4} + \frac{a - 2n + b}{4n};$$

$$\sigma^2 \approx \left(\frac{1}{n-1} a^2 + m^2 + b^2 + \left(\frac{n-3}{2} \right) \frac{(a+m)^2 + (m+b)^2}{4} - n \left(\frac{a + 2m + b}{4} + \frac{a - 2m + b}{4n} \right)^2 \right),$$

где $\bar{x}$ – средняя арифметическая; σ^2 – варианса; n – величина выборки; a – минимальная величина признака; b – максимальная величина признака; m – медиана.

Был рассчитан также межквартильный размах (IQR).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено среднее популяционное значение содержания цинка и меди в чешуе судака (табл. 1).

Таблица 1

Содержание меди и цинка в чешуе судака
Copper and zinc content in zander scales

Элемент	n	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	Me	Q ₁	Q ₃
Медь	33	1,69±0,45	1,0	0,63	
Цинк	33	93,3±9,54	74	62	95,5

Следует предположить, что данные концентрации меди и цинка в чешуе можно использовать в качестве референсных значений. Расширение параметров оценки живых организмов по химическому составу дает возможность более точно оценить интерьер животных. Полученные средние концентрации меди и цинка в чешуе можно использовать и в экологических исследованиях.

В табл. 2 показана изменчивость уровня меди в чешуе судака.

Установлена высокая фенотипическая изменчивость концентрации цинка и меди в чешуе судака. Она обусловлена значительным влиянием условий среды. Можно предположить, что в этой изменчивости в какой-то степени присутствует и генетическая компонента.

Содержание цинка в чешуе судака Новосибирского водохранилища, больше, чем меди, а их соотношение составляет 48 : 1. Интересно сравнить это соотноше-

Таблица 2

Изменчивость уровня меди и цинка в чешуе судака
Variation in copper and zinc levels in zander scales

Элемент	IQR	σ	lim	Отношение крайних вариант
Медь	0,77	2,58	0,49–12,0	1:24
Цинк	33,5	54,7	47–260	1:6

ние у разных видов животных: у крупного рогатого скота герефордской породы 146 : 1 [19], а у свиней скороспелой мясной породы 70,5 : 1 [20]. Следовательно, соотношение данных эссенциальных элементов ближе у рыб и свиней.

Установлен высокий уровень положительной корреляции ($r = 0,859$) между данными элементами. Возможно, это связано с тем, что медь совместно с цинком обеспечивает поддержание минеральной плотности костной массы.

Сравнивая полученные результаты с исследованиями И.С. Миллер [21], можно сделать вывод, что уровни концентрации меди и цинка, по нашим данным, выше в 1,8 и 1,3 раза соответственно. Увеличение концентрации данных металлов в организме рыб может быть связано с загрязнением водоема органическими и иными соединениями. Если сопоставить полученные данные концентрации меди и цинка в чешуе с уровнем аккумуляции их в мышцах судака [22], то содержание меди ниже в 1,8 раза, а цинка – выше в 4,8 раза. Очевидно, это связано с определенными индивидуальными физиологическими особенностями чешуи, а также физическими и хими-

ческими свойствами химических элементов. В ряде работ показана возможность использования производных кожи для прижизненной диагностики содержания тяжелых металлов в органах и тканях животных. Так, было показано, что по концентрации марганца можно определить концентрацию меди в мышечной ткани судака [23].

ВЫВОДЫ

1. Установлены средние популяционные значения уровня меди и цинка в чешуе судака Новосибирского водохранилища, которые могут применяться в экологических исследованиях и зоотехнии при оценке интерьера *Sander lucioperca* по элементному составу. Содержание цинка в чешуе судака выше, чем меди, а их соотношение составляет 48 : 1.

2. Установлен высокий уровень положительной корреляции между цинком и медью ($r = 0,859$), а также высокая фенотипическая изменчивость их концентрации в чешуе судака.

3. Отмечается тенденция к возрастанию уровня тяжелых металлов в воде Новосибирского водохранилища.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голованова И.Л. Влияние тяжелых металлов на физико-биохимический статус рыб и водных беспозвоночных // Биология внутренних вод. – 2008. – № 1. – С. 99–108.
2. Мармулева Н.И., Короткевич О.С., Петухов В.Л. Накопление Cs_{137} и Sr_{90} в рыбе, полученной из водоемов Новосибирской области // Вестник НГАУ. – 2011. – № 1 (17). – С. 70–74.
3. Ефанова Ю.В., Нарожных К.Н., Короткевич О.С. Содержание марганца в некоторых органах бычков герефордской породы // Зоотехния. – 2013. – № 4. – С. 18.
4. Рявкина К.С. Содержание цинка в мышечной ткани сеголеток пеляди // Гуманитарные и правовые проблемы современной России: материалы XV межвуз. студ. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию Великой Победы. – Новосибирск, 2020. – С. 39–41.
5. Состояние рыбоводства в некоторых областях Западной Сибири / И.В. Морузи, У.В. Пищенко, Л.А. Осинцева, В.Л. Петухов // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2019. – № 11 (166). – С. 4–11.
6. Рявкина К.С. Соотношение линейного и весового роста у атлантического лосося // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий. – 2019. – № 4. – С. 95–96.
7. Нарожных К.Н., Ефанова Ю.В., Короткевич О.С. Содержание кадмия в некоторых органах и ткани бычков герефордской породы // Мир науки, культуры, образования. – 2012. – № 4 (35) – С. 315–318.
8. Биохимический состав мышечной ткани судака *Lucioperca lucioperca* (L.) Новосибирского водохранилища / И.В. Морузи, В.С. Токарев, П.Н. Смирнов, Е.В. Пищенко // Вестник НГАУ. – 2012. – № 1–2 (22). – С. 74–76.
9. Рявкина К.С. Аккумуляция кадмия в органах рыб // Теория и практика современной аграрной науки: сб. III нац. (всерос.) науч. конф. с междунар. участием. – Новосибирск, 2020. – С. 544–546.

10. *Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Shishin N.I.* Iron content in soil, water, fodder, grain, organs and muscular tissues in cattle of Western Siberia (Russia) // *Indian Journal of Ecology*. – 2017. – Vol. 44, N 2. – P. 217–220.
11. *Petukhov V.L., Narozhnykh K.N., Konovalova T.V.* Cadmium content variability in organs of West Siberian Hereford bull-calves // *17th International Conference of Heavy Metals in the Environment. Proceeding of Abstract*. – Guiang, China, 2014. – P. 74.
12. *Correlation of some biochemical and hematological parameters with polymorphism in α S1-casein and β -lactoglobulin in Romanov sheep breed / T.V. Konovalova, O.I. Sebezko, Wernong Li, Mingjun Liu, R.T. Saurbaeva* // *Proceeding International Symposium on Animal Science 2018 (ISAS) 22nd-28rd November 2018*. – Zemun, Belgrade, 2018. – P. 47.
13. *Konovalova T.V., Narozhnykh K.N., Petukhov V.L.* Cooper content in hair, bristle and feather in different species reared in Western Siberia // *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. – 2017. – T. 44, N 5. – P. 74.
14. *Syso A.I., Lebedeva M.A., Cherevko A.S.* Ecological and biochemical evolution of elements content in soil and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Vol. 9, N 4. – P. 368–374.
15. *Стрижкова М.В.* Содержание, изменчивость и корреляции макроэлементов в органах и тканях крупного рогатого скота черно-пестрой породы: дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2018. – 131 с.
16. *Skiba T.V., Tsygankova A.R., Borisova N.S.* Direct determination of copper, lead and cadmium in the whole bovine blood using thick film modified graphite electrodes // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Vol. 9, N 6. – P. 958–964.
17. *Tsygankova A.R., Kuptsov A.V., Saprykin A.I.* Analysis of trace elements in the hair of farm animals by atomic emission spectrometry with DC ARC excitation sources // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Vol. 9, N 5. – P. 601–605.
18. *Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Petukhov V.L.* Cadmium accumulation in soil, fodder, grain, organs and muscle tissue of cattle in West Siberia. // *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*. – 2016. – T. 7, N 4. – P. 1758–1764.
19. *Нарожных К.Н.* Изменчивость, корреляции и уровень тяжелых металлов в органах и тканях герефордского скота в условиях Западной Сибири: дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2019. – 163 с.
20. *Зайко О.А.* Изменчивость и корреляция химических элементов в органах и тканях свиней скороспелой мясной породы СМ-1: дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2014. – 182 с.
21. *Миллер И.С., Коновалова Т.В., Короткевич О.С.* Особенности накопления и корреляции тяжелых металлов в чешуе судака Новосибирского водохранилища // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 9–10. – С. 2469–2473.
22. *Miller I.S., Petukhov V.L., Korotkevich O.S.* Accumulation of heavy metals in the muscles of Zander from Novosibersk water basin // *E3S Web of Conferences. Proceedings of the 16th International Conference on Heavy Metals in the Environment: electronic edition*. – 2013. – P. 11007.
23. *Способ определения содержания меди в мышечной ткани рыбы: пат. RUS 2555518 C1 / О.С. Короткевич, И.С. Миллер, Т.В. Коновалова [и др.]; опубл. 10.07.2017.*

REFERENCES

1. Golovanova I.L., *Biologija vnutrennih vod*, 2008, No. 1, pp. 99–108. (In Russ.)
2. Marmuleva N.I., Korotkevich O.S., Petuhov V.L., *Vestnik NGAU*, 2011, No. 1 (17), pp. 70–74. (In Russ.)
3. Efanova Ju.V., Narozhnyh K.N., Korotkevich O.S., *Zootekhnika*, 2013, No. 4, p. 18. (In Russ.)
4. Rjavkina K.S., *Gumanitarnye i pravovye problemy sovremennoy Rossii* (Humanitarian and legal problems of modern Russia), Proceedings of the Conference Title, Novosibirsk, 2020, pp. 39–41. (In Russ.)
5. Moruzi I.V., Pishhenko U.V., Osinceva L.A., Petuhov V.L., *Rybovodstvo i rybnoe hozjajstvo*, 2019, No. 11 (166), pp. 4–11. (In Russ.)

6. Rjavkina K.S., *Rol» agrarnoj nauki v ustojchivom razvitii sel'skih territorij*, 2019, No. 4, pp. 95–96. (In Russ.)
7. Narozhnyh K.N., Efanova Ju.V., Korotkevich O.S., *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*, 2012, No. 4 (35), pp. 315–318. (In Russ.)
8. Moruzi I.V., Tokarev V.S., Smirnov P.N., Pishhenko E.V., *Vestnik NGAU*, 2012, No. 1–2 (22), pp. 74–76. (In Russ.)
9. Rjavkina K.S. *Teorija i praktika sovremennoj agrarnoj nauki* (Theory and practice of modern agricultural science), Proceedings of the Conference Title, Novosibirsk, 2020, pp. 544–546. (In Russ.)
10. Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Shishin N.I., Iron content in soil, water, fodder, grain, organs and muscular tissues in cattle of Western Siberia (Russia), *Indian Journal of Ecology*, 2017, Vol. 44, No. 2, pp. 217–220.
11. Retukhov V.L., Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Cadmium content variability in organs of West Siberian Hereford bull-calves, *17th International Conference of Heavy Metals in the Environment. Proceeding of Abstract*. Guiang, China, 2014, P. 74.
12. Correlation of some biochemical and hematological parameters with polymorphism in α S1-casein and β -lactoglobulin in Romanov sheep breed, T.V. Konovalova, O.I. Sebezsko, Wernong Li, Mingjun Liu, R. T. Saurbaeva, *Proceeding International Symposium on Animal Science 2018 (ISAS)* 22nd-28rd November 2018, Zenum, Belgrade, 2018, P. 47.
13. Konovalova T.V., Narozhnykh K.N., Petukhov V.L., Cooper content in hair, bristle and feather in different species reared in Western Siberia, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2017, T. 44, No. 5, P. 74.
14. Syso A.I., Lebedeva M. A., Cherevko A.S., Ecological and biochemical evolution of elements content in soil and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, Vol. 9, No. 4, pp. 368–374.
15. Strizhkova M.V., *Soderzhanie, izmenchivost» i korrelyatsii makroelementov v organakh i tkanyakh krupnogo rogatogo skota cherno-pestroy porody* (Content, variability and correlations of macronutrients in organs and tissues of black-and-white cattle), Candidate's thesis, Novosibirsk, 2018, 131 p. (In Russ.)
16. Skiba T.V., Tsygankova A.R., Borisova N.S., Direct determination of copper, lead and cadmium in the whole bovine blood using thick film modified graphite electrodes, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, Vol. 9, No. 6, pp. 958–964.
17. Tsygankova A.R., Kuptsov A.V., Saprykin A.I., Analysis of trace elements in the hair of farm animals by atomic emission spectrometry with DC ARC excitation sources, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, Vol. 9, No. 5, pp. 601–605.
18. Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Petukhov V.L., Cadmium accumulation in soil, fodder, grain, organs and muscle tissue of cattle in West Siberia. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*, 2016, T. 7, No. 4, pp. 1758–1764.
19. Narozhnyh K.N., *Izmenchivost», korrelyatsii i uroven» tyazhelykh metallov v organakh i tkanyakh gerefordskogo skota v usloviyakh Zapadnoy Sibiri* (Variability, correlations, and levels of heavy metals in organs and tissues of Hereford cattle in Western Siberia), Candidate's thesis, Novosibirsk, 2019, 163 p. (In Russ.)
20. Zajko O.A., *Izmenchivost» i korrelyatsiya khimicheskikh elementov v organakh i tkanyakh sviney skorospeloy myasnoy porody SM-1* (Variability and correlation of chemical elements in organs and tissues of precocious meat pigs SM-1), Candidate's thesis, Novosibirsk, 2014, p.182. (In Russ.)
21. Miller I.S., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., *Fundamental'nye issledovaniya*, 2014, No. 9–10, pp. 2469–2473. (In Russ.)
22. Miller I.S., Petukhov V.L., Korotkevich O.S., Accumulation of heavy metals in the muscles of Zander from Novosibersk water basin, *E3S Web of Conferences. Proceedings of the 16th International Conference on Heavy Metals in the Environment*, electronic edition, 2013, p. 11007.
23. Korotkevich O.S., Miller I.S., Konovalova T.V. [at al.], Patent na izobretenie RUS 2555518 S1 10.07.2015. (In Russ.)