

## ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ И КОРРЕЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПЕЧЕНИ СУДАКА НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Миллер И.С.<sup>1</sup>, Коновалова Т.В.<sup>1</sup>, Короткевич О.С.<sup>1</sup>, Петухов В.Л.<sup>1,2</sup>, Себежко О.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», Россия, Новосибирск, e-mail: okorotkevich@gmail.com;

<sup>2</sup>ООО «Институт ветеринарной генетики и селекции», Новосибирск

Изучены особенности накопления железа, меди, цинка, марганца и их корреляция в печени судака обыкновенного Новосибирского водохранилища. Для исследований было взято 30 проб печени судака в возрасте 3–4,4 года. Концентрации тяжелых металлов железа, меди, цинка и марганца определялись атомно-эмиссионным спектральным методом с возбуждением спектров в двухструйной дуговой плазме (ДП-АЭС). По количеству тяжелых металлов в печени доминируют железо ( $173,0 \pm 15,97$  мг/кг) и цинк ( $66,27 \pm 4,18$  мг/кг). Установлено, что в печени судака Новосибирского водохранилища концентрация железа больше, чем в чешуе, в 3,59 раза, меди – в 5,0 раз. По всем изученным тяжелым металлам наблюдалась высокая фенотипическая изменчивость ( $C_v=51,5–34,6\%$ ). Выявлены довольно высокие положительные корреляции между содержанием железа с медью, марганцем и цинком и другими элементами ( $r=0,60-0,78$ ). Содержание Mn, Cu, Zn, Fe было в соотношении 1 : 1,2 : 16,4 : 42,9 соответственно. Установлены средние популяционные значения тяжелых металлов в печени судака Новосибирского водохранилища, которые можно использовать в экологии, зоотехнии, ветеринарии.

Ключевые слова: судак, тяжелые металлы, печень, корреляция, экология, интерьер

## CHARACTERISTIC FEATURES OF HEAVY METALS ACCUMULATION AND CORRELATION IN THE LIVER OF ZANDER FROM NOVOSIBIRSK WATER BASIN

Miller I.S.<sup>1</sup>, Konovalova T.V.<sup>1</sup>, Korotkevich O.S.<sup>1</sup>, Petukhov V.L.<sup>1,2</sup>, Sebezko O.I.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Novosibirsk State Agrarian University, Russia, Novosibirsk, e-mail: okorotkevich@gmail.com;

<sup>2</sup>Ltd «Institute of Veterinary Genetics and Breeding», Novosibirsk

Characteristic features were studied in the accumulation of iron, copper, zinc, manganese and their correlations in the liver of zander (*Stizostedion lucioperca*) from Novosibirsk water basin. Concentrations of heavy metals were determined by atomic emission spectral method with excited spectra in two-jet-stream arc plasma (TAP-AES). Iron ( $173,0 \pm 15,97$  mg / kg) and zinc ( $66,27 \pm 4,18$  mg / kg) dominate for the amount of heavy metals in liver. It was established that iron, copper concentrations were 3,59 and 5.0 times greater in zander liver in Novosibirsk water basin than those in scales, respectively. High positive correlations between the content of iron and copper, zinc, manganese were revealed. The content of Mn, Cu, Zn, Fe were in the ratio 1: 1,2: 16,4: 42,9, respectively. Mean population values of heavy metals were established in zander liver in Novosibirsk water basin.

Keywords: zander, heavy metals, liver, correlation, ecology, interior

Химические элементы в свободном состоянии, а также в виде большого количества химических соединений входят в состав всех клеток и тканей живых организмов [7, 24, 25, 28, 38].

Многие авторы считают, что тяжелые металлы среди химических элементов наиболее токсичны, поэтому очень важно изучать их содержание не только в почве [32, 35], воде [2, 36, 37], растениях, но и в органах и тканях различных видов животных и продуктах питания [5, 27, 29, 40-42].

Известно, что рыбы чутко реагируют на изменение условий окружающей среды, в частности химического состава воды, донных отложений [3, 4, 20, 31, 33, 34]. Поэтому среди

существующих методов индикации экологического состояния водоемов все более востребованными становятся методы биоиндикации [8-10, 17, 18, 24]. Так, при определении степени загрязнения водоемов тяжелыми металлами в качестве биоиндикаторов используют рыб, оценивая уровень содержания и характер накопления микроэлементов в тканях и органах [12-16, 21, 39].

Печень интенсивно аккумулирует химические элементы, включая металлы, и по этому показателю значительно превосходит остальные органы. Согласно исследованиям П.А. Попова [23], по способности к аккумуляции тяжелых металлов (кроме Hg) печень располагается на первом месте. Это подтверждается и исследованиями И.Н. Андрусишиной [2]. Поэтому сравнительный анализ элементного состава печени рыб очень важен.

### Материалы и методы

Работа выполнена на базе аналитической лаборатории Института неорганической химии СО РАН. Исследования проведены на судаке обыкновенном в возрасте 3–4,4 года. Судак был пойман в период с ноября по декабрь 2011 г. в Новосибирском водохранилище. Общая площадь водохранилища равна 1082 км<sup>2</sup>, средняя глубина составляет 8,3 м, наибольшая глубина – 25 м. Для исследования были взяты 30 проб печени. Концентрации тяжелых металлов определялись атомно-эмиссионным спектральным методом с возбуждением спектров в двухструйной дуговой плазме (ДДП-АЭС).

Полученные данные обработаны методом вариационной статистики с использованием программы Microsoft Excel. Тестирование соответствия имеющихся распределений проводили при помощи критерия Колмогорова—Смирнова. Достоверность разности между средними значениями оценивали с помощью критерия Стьюдента ( $t_d$  –критерий) и Фишера F ( $\phi$ ).

### Результаты и обсуждение

Данные по содержанию тяжелых металлов в печени судака обыкновенного представлены в таблице 1.

**Таблица 1**

Содержание химических элементов в печени, мг/кг

Элемент	$\bar{x} \pm S_x$	$\sigma$	$C_v$	lim	Отношение крайних вариантов
Fe	173±16,0	87,5	50,6	62,0-390,0	1:6,3
Mn	4,03±0,31	1,69	41,9	1,5-8,9	1:5,9
Cu	4,73±0,44	2,43	51,5	1,8-12,0	1:6,7
Zn	66,3±4,2	22,9	34,6	37,0-130,0	1:3,5

Выявлены значительные различия по аккумуляции микроэлементов в печени судака. По уровню содержания микроэлементов в печени выстраивается следующий ряд: марганец < медь < цинк < железо. Их соотношение составляет 1 : 1,2 : 16,4 : 42,9. Таким образом,

концентрация железа в печени судака в 2,6 раза выше, чем железа ( $P < 0,001$ ), а уровни меди и марганца были одинаковы. Известно, что часть белков, депонирующих железо (ферритин, гемосидерин), находятся в гепатоцитах. При небольших запасах железа оно хранится в виде ферритина. При избыточном поступлении в клетку железо откладывается в виде гемосидерина [26]. Однако печень играет главную роль в метаболизме меди. Концентрация меди в печени показывает общий статус организма в отношении данного химического элемента и уровень усваиваемости [30].

Ранее нами изучалось содержание тяжелых металлов в чешуе судака Новосибирского водохранилища [13]. Было установлено, что в печени судака концентрация железа больше, чем в чешуе, в 2,8, а меди – в 5,0 раз [13]. Остальные микроэлементы содержатся в чешуе в больших количествах. Концентрация марганца в чешуе больше, чем в печени, в 4,4 раза, цинка – в 1,2 раза. Чешую и другие производные кожи можно использовать в качестве маркеров накопления тяжелых металлов в органах и тканях животных [26-30, 41].

Содержание тяжелых металлов в организме рыб зависит от характера их питания, а также интенсивности обменных процессов [11]. На организм человека и животных физиологическое действие металлов различно и зависит от природы металла, типа соединения, в котором он существует в природной среде, а также его концентрации. По количеству тяжелых металлов в печени, как и в чешуе судака, преобладают железо, цинк и медь.

Между изученными тяжелыми металлами в печени существуют довольно высокие положительные корреляции (табл. 2).

**Таблица 2**

Корреляция между уровнями тяжелых металлов в печени

Коррелирующие элементы	$r \pm Sr$	Коррелирующие элементы	$r \pm Sr$
Fe-Cu	0,776*** $\pm$ 0,073	Cu-Mn	0,695*** $\pm$ 0,095
Fe-Mn	0,597*** $\pm$ 0,118	Cu-Zn	0,688*** $\pm$ 0,097
Fe-Zn	0,748*** $\pm$ 0,080	Zn-Mn	0,764*** $\pm$ 0,077

В печени судака выявлена высокая положительная корреляция концентраций железа и меди ( $r=0,776$ ). Уровень железа также положительно коррелирован с марганцем, цинком. Железо играет важную роль в процессах выделения энергии, в ферментных реакциях, в обеспечении иммунных реакций, в окислительных процессах.

Высокая положительная связь установлена между медью с марганцем и цинком. Медь – жизненно важный элемент, входящий в состав многих витаминов, ферментов, дыхательных пигментов, участвует в процессах обмена веществ. Цинк в умеренных физиологических дозах повышает усвоение меди организмом. Уровень цинка положительно коррелировал с марганцем. Цинк и медь являются кофакторами большой группы ферментов и участвуют во

многих видах обмена. По мнению ряда авторов, способность аккумулировать в организме различные химические элементы передается из поколения в поколение [6-7, 17], поэтому путем селекции можно оптимизировать их содержание в органах и тканях [5-7, 19, 20].

### **Выводы**

Установлены средние популяционные значения тяжелых металлов в печени судака из Новосибирского водохранилища, которые можно использовать при последующих мониторингах. Содержание Mn, Cu, Zn, Fe было в соотношении 1 : 1,2 : 16,4 : 42,9 соответственно. Высокие положительные корреляции были обнаружены между содержанием железа с марганцем и цинком.

По количеству тяжелых металлов в печени, как и в чешуе судака, преобладают железо, цинк и медь. Концентрация цинка, железа в печени судака выше, чем в чешуе.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект РНФ № 15-16-30003).*

### **Список литературы**

1. Агабабова Н.Г., Э.И. Мелякина Сравнительная характеристика микроэлементного состава прудовых рыб Астраханской области // Весник АГТУ. — 2007. — № 3 (38). — С. 48–50.
2. Андрусишина И.Н. Андрейченко С.В. Голуб И.А. Ихтиофауна р. Днепр как биоиндикатор загрязнения экосистемы тяжелыми металлами // Актуальные проблемы транспортной медицины. – 2005. — № 1. – С. 106–109.
3. Бобров В.А., Леонова Г.А., Маликов Ю.И. Геохимические особенности илистого осадка Новосибирского водохранилища // Водные ресурсы. – 2009. – Т. 36. Вып.5. – С. 551–563.
4. Васильев О.Ф., Савкин В.М., Двуреченская С.Я., Попов П.А. Экологическое состояние Новосибирского водохранилища // Сибирский экологический журнал. – 2000. – Т. 7, № 2. – С. 149–163.
5. Зайко О.А., Короткевич О.С., Петухов В.Л. Особенности аккумуляции макро- и микроэлементов в миокарде свиней скороспелой мясной породы // Главный зоотехник. – 2013. – № 6. – С. 35–40.
6. Зайко О.А., Коновалова Т.В. Характеристика генофонда линий породы свиней СМ-1 по аккумуляции свинца в органах и тканях // Свиноводство. – 2013. – № 8. – С. 11–12.
7. Зайко О.А., Коновалова Т.В. Влияние генофонда семейств скороспелой мясной породы на аккумуляцию свинца в некоторых органах и тканях свиней // Мир науки, культуры, образования. – 2013. – № 4 (41). – С. 432–434.
8. Котова Л.И., Рыжков Л.П., Полина А.В. Биологический контроль качества вод. – М.: Наука, 1989. – 140 с.

9. Лобанова Т.А. Сезонные особенности накопления тяжелых металлов промысловыми видами рыб // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова. – 2008. – Т. 14, № 3. – С. 22–24.
10. Миллер И.С., Короткевич О.С., Петухов В.Л., Себежко О.И. Особенности накопления и корреляции тяжелых металлов в костной ткани судака Новосибирского водохранилища // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1.
11. Миллер И.С. Короткова Г.Н. Особенности содержания и распределения тяжелых металлов в чешуе судака Новосибирского водохранилища // Материалы III международной конференции «Инновационные разработки молодых ученых – развитию агропромышленного комплекса»: Сборник научных трудов» – ГНУ СНИИЖК, Ставрополь, 2014. – Том 2. – Вып. 7. – С. 163–165.
12. Миллер И.С. Особенности содержания и распределения тяжелых металлов в костной ткани судака Новосибирского водохранилища // Материалы международной научно-практической конференции «Природа, экология и народное хозяйство»: сборник статей. – Воронеж: ООО «ВЭЛБОРН». – 2015. – Т. 1. – № 2 (22). – С. 15–19.
13. Миллер И.С. Содержание кадмия, свинца и цинка в мышцах судака обыкновенного (*Stizostedion lucioperca*) Новосибирского водохранилища // Материалы III международного симпозиума «Экологические проблемы животных и человека». Сборник докладов. – Новосибирск: ФГБОУ «НГАУ». – 2013. – С. 102–104.
14. Моисеенко Т.И. Водная экотоксикология. Теоретические и прикладные аспекты. – М.: Наука, — 2009. – 400 с.
15. Нарожных К.Н., Ефанова Ю., Короткевич О. Содержание меди в некоторых органах и мышечной ткани бычков герефордской породы // Вестник НГАУ. – 2013. — № 2(2). – С. 73–76.
16. Нарожных К.Н., Ефанова Ю., Короткевич О., Петухов В. Содержание железа в некоторых органах и мышечной ткани бычков герефордской породы // Молочное и мясное скотоводство. – 2013. – № 1. – С. 24–25.
17. Нарожных К.Н., Ефанова Ю., Короткевич О. Содержание кадмия в некоторых органах и тканях бычков герефордской породы // Мир науки, культуры и образования. – 2012. – № 4. – С. 315–318.
18. Никаноров А.М., Жулидов А.В., Покаржевский А.Д. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 312 с.
19. Петухов В.Л., Миллер И.С., Короткевич О.С. Содержание тяжелых металлов в мышцах судака (*STIZOSTEDION LUCIOPERCA*) // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. – 2012. – Т. 2, № 23-2. – С. 49–52.

20. Петухов В.Л., Камалдинов Е.В., Короткевич О.С. Влияние породы на устойчивость крупного рогатого скота к некоторым болезням // Главный зоотехник. – 2001. – № 1. – С. 10–12.
21. Попов П.А. Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2002. – 270 с.
22. Попов П.А. Визер А.М., Андросова Н.В. Содержание металлов в мышечной ткани промысловых видов рыб из Новосибирского водохранилища и реки Оби на приплотинном участке // Сибирский экологический журнал. – 2012. – № 4. – С. 479–783.
23. Попов П.А., Андросова Н.В., Аношин Г.Н. Накопление и распределение тяжелых и переходных металлов в рыбах Новосибирского водохранилища // Вопр. ихтиологии. – 2002. – Т. 42, № 2. – С. 264–270.
24. Северин Е.С. Биохимия. М.: ГЭОТАР-МЕД, 2004. – 784 с.
25. Скальный А.В., Рудаков И.С. Биоэлементы в медицине. М: Издательский дом «ОНИКС 21 век»: Мир, 2004. – 272 с.
26. Способ определения содержания меди в мышечной ткани рыб / Короткевич О.С., Миллер И.С., Коновалова Т.В., Петухов В.Л., Нарожных К.Н., Себежко О.И. Патент на изобретение RUS 2555518 28.07.2014.
27. Способ определения содержания кадмия в органах и мышечной ткани свиней / Петухов В.Л., Желтикова О.А., Короткевич О.С., Камалдинов Е.В., Себежко О.И. патент на изобретение RUS 2342659 28.03.2007.
28. Способ определения содержания кадмия в мышечной ткани крупного рогатого скота / Петухов В.Л., Короткевич О.С., Петухова Т.В. и др. Патент на изобретение RUS 2426119 24.03.2010.
29. Способ определения содержания свинца в органах крупного рогатого скота / Короткевич О.С., Петухов В.Л., Стрижкова М.В., Камалдинов Е.В., Себежко О.И., Петухова Т.В.. Патент на изобретение RUS 2421726 08.04.2010.
30. Способ оценки кадмия в печени и легких крупного рогатого скота / Короткевич О.С., Нарожных К.Н., Коновалова Т.В., Петухов В.Л., Себежко О.И., Зайко О.А., Купцов А.В., Гревцов Д.С., Миллер И.С., Стрижкова М.В. Патент на изобретение RUS 2548774 25.03.2014.
31. Стрижкова М.В., Петухова Т.В., Короткевич О.С. Содержание свинца в органах и тканях бычков черно-пестрой породы // Главный зоотехник. – 2011. – № 6. – С. 66–68.
32. Филиппович Ю.Б. Основы биохимии. М.: Агар, 1999. – 512 с.

33. Цибульчик В.М., Аношин Г.Н., Маткова И.Н., Маликов Ю.И. Тяжелые металлы и  $^{137}\text{Cs}$  в донных осадках Новосибирского водохранилища // Современные проблемы исследований водохранилищ. – 2005. – С. 109-113.
34. Chysyma R.B., Bakhtina Y.Y., Petukhov V.L. et al. Heavy metals concentration in water and soil of different ecological areas of Tyva Republic // Journal De Physique. IV: JP XII International Conference on Heavy Metals in the Environment; editors: C. Boutron, C. Ferrari. Grenoble, 2003. – P. 301-302.
35. Chysyma R.B., Petukhov V.L., Kuzmina E.E. The content of heavy metals in feed of the Tyva Republic // Journal De Physique. IV: JP XII International Conference on Heavy Metals in the Environment; editors: C. Boutron, C. Ferrari. Grenoble, 2003. – P. 297–299.
36. Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Sebezhko O.I. et al. Content of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in the forages of various ecological zones of Western Siberia // Russian Agricultural Sciences, –2014. – Vol. 4. – No.3. – pp. 195-197 (DOI) 10.3103/S1068367414030094.
37. Marmuleva N.I., Barinov E.Ja, Petukhov V.L. Radionuclides accumulation in milk and its products // Journal De Physique IV: JP XII International Conference on Heavy Metals in the environment. Editors C. Boutron, C. Ferrari. – Grenoble. – 2003. – P. 827–829.
38. Miller I.S., Petukhov V.L., Korotkevich O.S., Korotkova G.N., Konovalov I.S. accumulation of heavy metals in the muscles of Zander from Novosibirsk water basin // E3S Web of Conferences 1,11007 (2013). DOI: 10.1051/ e3sconf/20130111007.
39. Miller I.S., Petukhov V.L., Korotkevich O.S., Korotkova G.N., Konovalov I.S. Accumulation of heavy metals in the muscles of Zander from Novosibirsk water basin // E3S Web of Conferences 1,11007 (2013). DOI: 10.1051/ e3sconf/20130111007.
40. Narozhnyh K. N., Efanova Y. V., Petukhov V. L., Korotkevich O. S. et al. The content of lead in some organs and tissues of Hereford bull-calves // E3S Web of Conferences 1, 15003 (2013). DOI: 10.1051 /e3sconf /201301115003.
41. Patrashkov S.A., Petukhov V. L., Korotkevich O. S., Petukhov I.V. Content of heavy metals in the hair // // Journal De Physique. IV: JP XII International Conference on Heavy Metals in the Environment; editors: C. Boutron, C. Ferrari. Grenoble, 2003. – P. 1025-1027.
42. Petukhov V.L. Cs-137 and Sr-90 level in diary products / V.L. Petukhov, Yu.A. Dukhanov, I.Z. Sevryuk, S.A. Patrashkov, O.S. Korotkevich, T.S. Gorb, I.V. Petukhov // В сборнике: Journal De Physique. IV: JP XII International Conference on Heavy Metals in the Environment. Editors: C. Boutron, C. Ferrari. Grenoble. – 2003. – С. 1065–1066.

**Рецензенты:**

Солошенко В.А., д.с-х.н., профессор, директор Сибирского научно-исследовательского и проектно-технологического института животноводства, п. Краснообск;

Желтиков А.И., д.с-х.н., профессор, профессор кафедры разведения, кормления и частной зоотехнии Новосибирского государственного аграрного университета, г. Новосибирск.