**УДК 639.389:631.95 (571.14)**

# ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ И КОРРЕЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В КОСТНОЙ ТКАНИ СУДАКА НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

**Миллер И.С.[1], Короткевич О.С.[1], Петухов В.Л. [1,2], Себежко О.И.[1]**

[1]*ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет», (630039 Россия, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160), e-mail: okorotkevich@gmail.com*
[2]*ООО «Институт ветеринарной генетики и селекции»*

**Изучены особенности накопления железа, меди, цинка, марганца, кадмия и свинца и их корреляция в костной ткани судака обыкновенного Новосибирского водохранилища. Концентрации тяжелых металлов определялись методом атомно-абсорбционной спектрометрии (АСС) на атомно-абсорбционном спектрометре АА-7000 Shimadzu по ГОСТ 30178-96. По количеству тяжелых металлов в костной ткани доминируют цинк (83,89±1,10 *мг/кг*) и железо (25,25±1,55 *мг/кг*). Установлено, что в костной ткани судака Новосибирского водохранилища концентрация железа меньше, чем в чешуе, в 2,5 раза, марганца – в 1,2 раза. Концентрация меди и цинка в костной ткани превышают содержание данных микроэлементов в чешуе в 4,4 и 1,2 раза соответственно. В мышечной ткани в сравнении с костной в 1,73 раза больше железа, содержание свинца примерно на одном уровне. Выявлена высокая положительная корреляция между содержанием железа со свинцом, железом и медью. Содержание микроэлементов в костной ткани судака Новосибирского водохранилища уменьшается в ряду: Zn>Fe>Mn>Cu и Pb>Cd. Установлены средние популяционные значения тяжелых металлов в костной ткани судака Новосибирского водохранилища, которые могут быть использованы в экологии, ветеринарии, зоотехнии при оценке интерьера судака по элементному составу**.

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

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

**Miller I.S.[1], Korotkevich O.S.[1], Petukhov V.L.[1,2], Sebezhko O.I.[1]**

[1]*Novosibirsk State Agrarian University, Russia (630039, Novosibirsk, Dobrolyubova, 160), e- mail: okorotkevich@gmail.com*
[2]*Ltd «Institute of Veterinary Genetics and Breeding»*

**The paper provides the data about characteristics in accumulation of iron, copper, manganese, zinc, cadmium and lead and their correlation in the bone tissue of zander, *Stizostedion lucioperca,* in Novosibirsk water basin. The heavy metals concentration was determined for GOST 30178-96 (State Standard) with the method of atomic absorption spectrometry. Zink (83,89±1,10 mg / kg) and iron (25,25±1,55mg / kg) dominate for the amount of heavy metals in bone. It was established that iron, manganese concentrations were 2.5 and 1.2 times greater in zander scales in Novosibirsk water basin than those in bone and copper and zink concentration were 4.4 and 1.2 times greater in zander bone than those in scales, respectively. In a muscle tissue, compared with bone tissue, the content of iron is bigger in 1,73 times, content of lead is approximately the same. High positive correlations between the content of iron and lead, iron and copper were revealed. The microelements content in the bone tissue of *Stizostedion lucioperca* from Novosibirsk water basin goes down in the following range: Zn>Fe>Mn >Cu and Pb>Cd. Mean population values of heavy metals were established in zander bone in Novosibirsk water basin and they can be used in ecology, veterinary, zootechnology when evaluating zander interior for elemental composition.**

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

Экологические проблемы – это одно из основных условий развивающейся цивилизации [16]. Следствием ускоренного экономического роста является нарушение экологического равновесия. При этом убыстряется экономическое освоение природы, интенсифицируется использование природных материалов и всех ресурсов [2]. Повсеместно наиболее опасные

загрязнители окружающей среды – это соединения химической природы, включая и тяжелые металлы [1,27,28].

Многие авторы изучали содержание тяжелых металлов в кормах [29], органах и тканях различных видов животных [14,15, 32, 35], в пище человека [12,30,34] и их влияние на генетическую структуру популяций [9].

По мнению ряда авторов, рыбы – это идеальный объект исследований [7,10,36]. Они доступны для отбора проб статистически достаточного объема; относительно долгоживущие организмы, что позволяет оценивать долговременные хронические воздействия неблагоприятных условий окружающей среды; удобны для оценки физиологического состояния; обладают схожестью многих фундаментальных биохимических процессов с человеком, что позволяет прогнозировать данный тип загрязнений и для людей; обитают в районах с различной степенью загрязнения; обладают определенной резистентностью к сублетальному воздействию загрязняющих веществ [5, 17, 19, 31].

Изучение содержания тяжелых металлов в рыбах Сибири – это важный аспект общеэкологического мониторинга региона [22]. Это дает возможность выявлять адаптивные механизмы рыб к высокому содержанию в их организмах тяжелых металлов и использовать ряд параметров экологии и физиологии рыб в качестве индикаторов качества воды и качества рыбопродуктов для питания человека.

**Материалы и методы**

Работа выполнена на базе лаборатории биохимии ГНУ СибНИИЖ. Исследования были проведены на судаке обыкновенном в возрасте 3,3+-4,4+ года. Судак был пойман в период с ноября по декабрь 2011 г. в Новосибирском водохранилище. Новосибирское водохранилище – крупнейшее в Западной Сибири [4]. Общая площадь водоема равна 1082 км$^2$, средняя глубина составляет 8,3 м, наибольшая глубина – 25 м. Для исследования были взяты 30 проб костной ткани. Концентрации тяжелых металлов определялись методом атомно-абсорбционной спектрометрии (АСС) на атомно-абсорбционном спектрометре AA-7000 Shimadzu по ГОСТ 30178-96.

Полученные данные обработаны методом вариационной статистики [20] с использованием программы Microsoft Excel. Тестирование соответствия имеющихся распределений нормальным проводили при помощи критерия Колмогорова—Смирнова. Достоверность разности между средними значениями оценивали с помощью критерия Стьюдента ($t_d$ -критерий) и Фишера F (φ).

**Результаты и обсуждение**

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

Таблица 1

Содержание химических элементов в костной ткани, мг/кг

| Элемент | $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$ | $\sigma$ | $C_V$ | lim | Отношение крайних вариантов |
|---|---|---|---|---|---|
| Zn | 83,89±1,10 | 6,02 | 7,2 | 75,0:100,0 | 1:1,3 |
| Fe | 25,25±1,55 | 8,49 | 33,6 | 17,5:55,0 | 1:3,1 |
| Mn | 15,0±0,35 | 1,93 | 12,8 | 10,0:18,3 | 1:1,8 |
| Cu | 4,16±0,24 | 1,32 | 31,8 | 2,9:7,1 | 1:2,5 |
| Pb | 0,18±0,40 | 0,22 | 120,1 | 0,03:1,2 | 1:40 |
| Cd | 0,05±0,01 | 0,03 | 64,9 | 0,01:0,1 | 1:10 |

Выявлены значительные различия между способностью костной ткани судака к аккумуляции микроэлементов. Ранее нами изучалось содержание тяжелых металлов в чешуе и мышцах судака Новосибирского водохранилища [13 19, 31]. Исследованиями установлено, что в костной ткани судака концентрация железа меньше, чем в чешуе, в 2,5 раза, марганца – в 1,2 раза. Концентрация меди и цинка превышает содержание данных микроэлементов в чешуе в 4,4 и 1,2 раза соответственно. Аккумуляция железа и марганца в больших количествах в чешуе – это не случайное явление, а закономерность, которую можно объяснить тем, что это сильно минерализованное белковое вещество играет определенную роль в депонировании и обмене микроэлементов между организмом рыбы и окружающей средой. Так, при изучении накопления тяжелых металлов радужной форелью было обнаружено, что чешуя радужной форели накапливает железо, медь, марганец и цинк, когда в мышцах и жабрах содержание этих элементов уменьшается [26]. Высокую концентрацию меди в костной ткани можно объяснить значительной ролью меди в процессах роста костей и необходимостью достаточной концентрации для нормального развития скелета и дифференциации костной ткани. Цинк в свою очередь значительно влияет на рост и развитие организма, является активатором ряда ферментов, включая щелочную фосфатазу костной ткани. При недостатке цинка суставы становятся малоподвижными, конечности отекают [24]. В мышечной ткани в сравнении с костной в 1,73 раза больше железа, содержание свинца примерно на одном уровне. Остальные химические элементы по концентрации преобладают в костной ткани. Давыдовой с соавт. [7] при изучении содержания ряда металлов в мышечной и костной ткани рыб Магнитогорского водохранилища был сделан вывод о том, что большинство изученных металлов накапливаются в костной ткани. По данным А.С.Ваганова [3], в мышечной ткани судака Куйбышевского водохранилища в

сравнении с костной железа больше в 1,38 раза, свинца – в 2 раза, цинка – в 1,23 раза соответственно. По мнению данного исследователя, на аккумуляцию и динамику накопления тяжелых металлов в органах и тканях рыб оказывают влияние гидрохимические показатели воды, пол, возраст и занимаемая экологическая ниша.

Содержание микроэлементов в костной ткани судака Новосибирского водохранилища уменьшается в ряду: Zn>Fe>Mn>Cu и Pb>Cd, что сопоставимо с содержанием химических элементов в чешуе судака, где ранжированный ряд выглядел так: Zn >Fe>Sr>Mn> Cu [12]. По данным Галатовой Е.А. [6], в чешуе судака реки Уй ранжированный ряд можно представить следующим образом: Zn>Fe>Mn и Pb>Co. В мышцах судака Новосибирского водохранилища ранжированный ряд был Fe>Zn>Cu>Mn в соотношении 27,6:13:11,9:1 [19, 31]. По количеству тяжелых металлов в костной ткани судака доминируют цинк, железо и марганец, в мышцах – железо и цинк, а в чешуе — железо, цинк и стронций. Это связано с закономерностями распределения химических элементов в разных органах и тканях рыб. Распределение химических элементов в костной ткани изучаемого вида рыбы характеризуется неоднородностью и зависит от геохимии среды обитания, функционального состояния организма и характера пищевых цепей водоемов.

Железо играет важную роль в процессах выделения энергии, в ферментативных реакциях, в обеспечении иммунных реакций [23]. Железо находится во всех органах и тканях и входит в состав гемоглобина и нуклеопротеидов ядерной субстанции клеток. Этот металл является жизненно важным в регуляции различных уровней обмена в организме [8, 18]. Во многих исследованиях было установлено, что производные кожи волос, щетина могут быть использованы как прижизненные маркеры накопления тяжелых металлов в органах и тканях животных [11, 21, 25]. В таблице 2 показано, что между содержанием некоторых химических элементов в костной ткани судака и уровнем тяжелых металлов в мышцах и чешуе существует связь. В костной ткани судака выявлена средняя положительная корреляция концентраций железа и свинца, а также железа и меди.

Таблица 2

Корреляция между уровнями тяжелых металлов в костной ткани

| Коррелирующие элементы | r |
|---|---|
| Fe-Pb | $0{,}515^{xx}$ |
| Fe-Cu | $0{,}478^{xx}$ |

Так, коэффициент корреляции между концентрацией железа в чешуе и уровнем марганца в кости был равен 0,409. Это означает, что концентрация марганца в чешуе может быть малоинвазивным прижизненным маркером накопления железа в костной ткани судака.

**Выводы**

Установлены средние популяционные значения тяжелых металлов в костной ткани судака Новосибирского водохранилища, которые могут быть использованы в экологии, ветеринарии и зоотехнии при оценке интерьера судака по элементному составу. Содержание микроэлементов в костной ткани судака Новосибирского водохранилища уменьшается в ряду: Zn>Fe>Mn>Cu>Pb>Cd. Высокие положительные корреляции наблюдались между содержанием железа и свинца, а также железа и меди

По количеству тяжелых металлов в костной ткани судака доминируют цинк и железо. Концентрация железа в костной ткани меньше, чем в чешуе, в 2,5 раза, марганца – в 1,2 раза. Концентрация меди и цинка превышает содержание данных микроэлементов в чешуе в 4,4 и 1,2 раза соответственно. В мышечной ткани в сравнении с костной железа было больше в 1,73 раза.

## Список литературы


1. Алимов А.Ф. Основные положения теории функционирования водных экосистем // Гидробиологический журнал. – 1990. – Т. 26. – № 6. – С. 3–12.
2. Асонов А.М., Ильясов О.Р. Водоохранные системы в сельском хозяйстве / Екатеринбург: УрГУПС, 2003. – 156 с.
3. Ваганов А.С. Накопление тяжелых металлов тканями и органами промысловых видов рыб различных экологических групп Куйбышевского водохранилища / Нижний Новгород, 2012. – С. 8–9.
4. Васильев О.Ф., Савкин В.М., Двуреченская С.Я. и др. Экологическое состояние Новосибирского водохранилища // Сибирский экологический журнал. – 2000. – № 2. – С. 149–163.
5. Галатова Е.А. Сравнительная характеристика содержания экотоксикантов в репродуктивных органах рыб семейства PERCIDAE, CYPRINIDAE, ESOCIDAE, SILURIDAE (на примере реки Уй) // Вестник Челябинского государственного университета. – 2010. – № 8(189). – С. 59–62.
6. Галатова Е.А. Биологические особенности содержания тяжелых металлов в чешуе рыб семейства Percidae, Cyprinidae, Esocidae, Siluridae // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 9 (59). – С. 46–49.
7. Давыдова Н.А., Нохрин Д.Ю., Грибовский Ю.Г. Особенности микроэлементного состава органов и тканей рыбы Магнитогорского водохранилища // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. – 2009. – № 2. – С. 1–7.

8. Ершов Е.А. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов. – М.: Высшая школа, 2003. – 556 с.

9. Камалдинов Е.В., Короткевич О.С., Петухов В.Л., Желтиков А.И. Полиморфизм белков сыворотки крови свиней сибирской северной породы // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2010.– № 4. – С. 49–51.

10. Катанаева В.Г., Ларина Н.С., Машошина А.А., Коверзнева А.. Изучение микроэлементного состава органов и тканей рыб / Материалы VII конференции «Аналитика Сибири и Дальнего Востока — 2004». – Новосибирск.: Изд-во Ин-та катал. СО РАН, 2004. – Т. 2. – С. 240.

11. Короткевич О.С., Петухов В.Л., Стрижкова М.В., Камалдинов Е.В., Себежко О.И., Петухова Т.В. Способ определения содержания свинца в органах крупного рогатого скота // Патент на изобретение RUS № 2421726. 08.04.2010.

12. Мармулева Н.И., Короткевич О.С., Петухов В.Л., Подзорова Н.Н. Накопление $^{137}$Cs и $^{90}$Sr в рыбе, полученной из водоемов Новосибирской области // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. – 2011. – Т. 1. – № 17. – С. 70–74.

13. Миллер И.С. 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.

14. Нарожных К.Н., Ефанова Ю.В., Короткевич О.С. Содержание кадмия в некоторых органах и тканях бычков герефордской породы // Мир науки, культуры, образования. – 2012. – № 4. – С. 315–318.

15. Нарожных К., Н. Ефанова Ю., Короткевич О.С., Петухов В.Л. Содержание железа в некоторых органах и мышечной ткани бычков герефордской породы // Молочное и мясное скотоводство. – 2013. – № 1. – С. 24–25.

16. Незавитин А.Г., Петухов В.Л., Власенко А.Н., Захаров Н.Б., Кобцев М.Ф., Короткевич О.С., Наплекова Н.Н. Проблемы сельскохозяйственной экологии. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. – 255 с.

17. Нюкканов А.Н., Колесников В.А.Воздействие природных экотоксикантов на гидробионты Республики Саха (Якутия). – Красноярск: изд. центр КГАУ, 2004. — 240 с.

18. Орлов Р.С. Нормальная физиологи. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – С. 496–497.

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., Жигачев А.И., Назарова Г.А. Ветеринарная генетика с основами вариационной статистики. – М.: Агропромиздат, 1985. – 368 с.

21. Петухов В.Л., Желтикова О.А., Желтиков А.И., Короткевич О.С., Камалдинов Е.В., Себежко О.И. Способ определения содержания кадмия в органах и мышечной ткани свиней // Патент на изобретение RUS №2342659. 28.03.2007.

22. Попов П.А. О необходимости мониторинга тяжелых металлов и радионуклидов в рыбах Сибири Фундаментальные и прикладные проблемы охраны окружающей среды – ПООС-95: Тезисы докладов международной конференции (Томск, 12–16 сентября 1995 г.). – Томск, 1995. – С. 282.

23. Скальный А.В.,С. Рудаков. Биоэлементы в медицин. – М: Издательский дом «ОНИКС 21 век»: Мир, 2004. – 272 с.

24. Улитько В.Е., Лукичева Л.Н., Пыхтин Л.А. Атлас распределения тяжелых металлов в кормах и организме сельскохозяйственных животных, птиц и рыб. – Ульяновск, 2005. – 84 с.

25. Чысыма Р.Б., Патрашков С.А., Петухов И.В., Петухов В.Л. Содержание тяжелых металлов в волосе животных из разных экологических зон // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2004. – № 1(151). – С. 75–76.

26. Шкодин Н.В., Щербакова Е.Н. Диагностика синдрома гиперэлементозов металлов у русского осетра, судака, сазана и леща дельты р. Волги (монография). – Астрахань: издатель – Сорокин Р.В., 2011. – 174 с.

27. Chysyma R.B., Bakhtina Y.Y, Petukhov V.L.,Korotkova G.N., Kochneva M.L. Heavy metals concentration in water and soil of different ecological areas of Tyva Republic // Journal De Physique IV: JPXII International Conference on Heavy Metals in the Environment; Editors: C. Boutron, C. Ferrari. – Grenoble, 2003. – С. 301–302.

28. Chysyma R.B., Petukhov V.L., Kuzmina E.E., Barinov E.Ya., Dukhanov Yu.A., Korotkova G.N. The content of heavy metals in feeds of the Tyva Republic // Journal De Physique IV: JPXII International Conference on Heavy Metals in the Environment; Editors: C. Boutron, C. Ferrari. – Grenoble, 2003. – С. 297–299.

29. Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Sebezhko O.I., Barinov Ye.Ya., and Konovalova T.V. Content of $^{137}$Cs and $^{90}$Sr in the forages of various ecological zones of Western Siberia // *Russian Agricultural Sciences.* – 2014. – Vol.2. – №.3. – pp.195-197(DOI) 10.3103/S1068367414030094.

30. Marmuleva N.I , Barinov E.Y., Petukhov V.L. Radionuclides accumulation in milk and its products // Journal De Physique. IV: JPXII. International Conference on Heavy Metals in the Environment. Editors C. Boutron, C. Ferrari. – Grenoble, 2003. – С. 827–829.

31. 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.
32. 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.
33. Patrashkov S.A., Petukhov V.L., Korotkevich O.S., Petukhov I.V. Content of heavy metals in the hair // Journal De Physique IV: JPXX International Conference on Heavy Metals in the Environment. Editors C. Boutron, C. Ferrari. – Grenoble, 2003. – C. 1025-1027.
34. Petukhov V.L., DukhanovY.A., Sevryuk I.Z., Patrashkov S.A., Korotkevich O.S. et al. Cs-137 and Sr-90 level in diary products // Journal De Physique. IV: JPXII International Conference on Heavy Metals in the Environment. Editors: Boutron, C. Ferrari. – Grenoble, 2003. – C. 1065-1066.
35. Petukhova T.V. Content of heavy metals in the muscle tissue of cattle. E3S Web of Conferences 1, 15002 (2013). DOI: 10.1051 /e3sconf /201301115002.
36. Waiwood K., Beamish F. Effect of copper, pH and hardness on the critical swimming performance of rainbow trout// Water Research. – 1978. – Vol.12. – P. 611–619.

**Рецензенты:**

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

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