

УДК 661.783/.789:639.389

ЗАКОНОМЕРНОСТИ АККУМУЛЯЦИИ И КОРРЕЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЖАБРАХ СУДАКА НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

¹Миллер И.С., ¹Короткевич О.С., ^{1,2}Петухов В.Л., ¹Себежко О.И.

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

²ООО «Институт ветеринарной генетики и селекции», Новосибирск

Изучены особенности накопления железа, меди, цинка, марганца, кадмия и свинца и их корреляция в жабрах судака обыкновенного Новосибирского водохранилища. Концентрации тяжелых металлов определялись методом атомно-абсорбционной спектрометрии. Исследования были проведены на атомно-абсорбционном спектрометре AA-7000 Shimadzu по ГОСТ 30178-96. По количеству тяжелых металлов в жабрах доминируют железо ($96,93 \pm 5,65$ мг/кг) и цинк ($77,57 \pm 1,03$ мг/кг). Установлено, что в жабрах судака концентрация меди меньше, чем в костной ткани, в 1,7 раза, марганца – в 1,5 раза. Концентрация железа и цинка превышает содержание данных микроэлементов в чешуе в 1,5 и 1,1 раза соответственно. В жабрах судака в сравнении с костной тканью в 3,8 раза больше железа, свинца больше в 4,7 раза. Остальные химические элементы по концентрации преобладают в костной ткани. Выявлены высокие положительные корреляции между содержанием железа, кадмия и марганца. Содержание микроэлементов в жабрах судака Новосибирского водохранилища уменьшается в ряду: Fe > Zn > Mn > Cu и Pb > Cd в соотношении соответственно 38,5:30,8:4,1:1 и 28:1. Установлены средние популяционные значения тяжелых металлов в жабрах судака Новосибирского водохранилища, которые могут быть использованы в экологии, ветеринарии, зоотехнии при оценке интерьера судака по элементному составу.

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

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

¹Miller I.S., ¹Korotkevich O.S., ^{1,2}Petukhov V.L., ¹Sebezko O.I.

¹Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, e-mail: okorotkevich@gmail.com;

²Ltd «Institute of Veterinary Genetics and Breeding», Novosibirsk

The paper provides the data about characteristics in accumulation of iron, copper, manganese, zinc, cadmium and lead and their correlation in the gills of zander, *Stizostedion lucioperca*, in Novosibirsk water basin. The heavy metals concentration was determined with the method of atomic absorption spectrometry. Iron ($96,93 \pm 5,65$ mg/kg) and zinc ($77,57 \pm 1,03$ mg/kg) dominate for the amount of heavy metals in gills. It was established that copper, manganese concentrations were 1,7 and 1,5 times greater in zander bone in Novosibirsk water basin than those in gills and iron and zinc concentration were 1,5 and 1,1 times greater in zander gills than those in scales, respectively. In a gills, compared with bone tissue, the content of iron is bigger in 3,8 times, content of lead is bigger in 4,7 times. High positive correlations between the content of iron and cadmium, iron and manganese were revealed. The microelements content in the gills of *Stizostedion lucioperca* from Novosibirsk water basin goes down in the following range: Fe > Zn > Mn > Cu и Pb > Cd in the ratio 38,5:30,8:4,1:1 and 28:1, respectively. Mean population values of heavy metals were established in zander gills in Novosibirsk water basin and they can be used when evaluating zander interior for elemental composition.

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

В связи с антропогенным загрязнением окружающей среды все большее внимание уделяется проведению регулярного мониторинга воды, почв, растений, животных, продуктов питания [1, 2, 9, 22, 35–38].

Наибольшее количество потенциально опасных химических веществ, включая тяжелые металлы, поступает в организм с пищевыми продуктами [1, 10, 22, 47]. Это в значительной мере связано с биологической активностью химических элементов [23, 26], которые оказывают влияние не только на интерьер живых организмов [18–20, 32, 45], но и на генетическую структуру популяций [42].

Рыбная промышленность имеет важное значение для обеспечения продовольственной безопасности страны, включая в себя вопросы добычи и переработки рыбы, морского зверя, водорослей, китов, морских беспозвоночных в пищевую, техническую, медицинскую и кормовую продукцию [3, 26]. Рыбы – это важный объект для научных исследований [13, 15, 24, 42]. Сведения о микроэлементном составе органов и тканей рыб показывают направленность биохимических процессов, протекающих в организмах гидробионтов, позволяют судить об экологическом состоянии водной экосистемы

и о возможности применения данного вида продукта в пищу людей [4, 44].

Жабры рыб – это орган, непосредственно контактирующий с водой, который является наиболее уязвимым, так как обеспечивает активный транспорт растворенного в воде кислорода. Жабры рыб очень чувствительны к посторонним примесям и токсичным веществам в водной среде [5], что отражается на морфологии жабр [11, 25] и на изменении физико-химического состава [41]. Поэтому определение содержания тяжелых металлов в жабрах судака Новосибирского водохранилища с целью оценки гидрохимического состояния водоема является особенно актуальным.

Материалы и методы исследования

Работа выполнена на базе лаборатории биохимии ГНУ СибНИИЖ. Исследования были проведены на судаке обыкновенном в возрасте 3,3–4,4 года, который был выловлен в Новосибирском водохранилище. Для исследования были взяты 30 проб жабр. 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 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 $F(\varphi)$.

Результаты исследования и их обсуждение

Данные по содержанию тяжелых металлов в жабрах судака обыкновенного представлены в табл. 1.

Выявлены значительные различия между способностью жабр судака к аккумуляции микроэлементов. Достоверно было доказано, что основной путь поступления Zn, Sr и Cd в организм рыб происходит через жабры [39, 40]. В жабрах в наибольшей степени концентрируется железо в сравнении с другими органами и тканями судака. Повышенная аккумуляция железа в жабрах объясняется тем, что оно стимулирует

кровообразование и усиливает процессы дыхания в клетках. Нами также было изучено содержание тяжелых металлов в чешуе и костной ткани судака Новосибирского водохранилища [12–14, 17]. Исследованиями установлено, что в жабрах судака концентрация меди меньше, чем в костной ткани, в 1,7 раза, марганца – в 1,5 раза. Концентрация железа и цинка превышает содержание данных микроэлементов в чешуе в 1,5 и 1,1 раза соответственно. Основной функцией железа в организме рыб является перенос кислорода и участие в окислительных процессах. Соединения железа в больших дозах вызывают гипоксию вследствие осаждения хлопьев гидроокиси на жабрах и снижения содержания кислорода в воде при окислении закисного железа. Так, при изучении накопления в жабрах железа различными семействами рыб, обитающих в реке Уй, высокая концентрация наблюдалась у представителя семейства окуневые (род судак) [33, 34]. Под воздействием цинка установлено повышение количества эритроцитов и уровня гемоглобина, увеличивается доля больших лимфоцитов и общее количество лейкоцитов. Однако соли цинка в повышенной концентрации вызывают коагуляцию слизи жабр рыб, их гибель от удушья.

Выявлен широкий размах фенотипических изменений в уровне тяжелых металлов в жабрах. Низкая индивидуальная изменчивость характерна для содержания цинка, тогда как вариация других элементов была во много раз выше. Если в жабрах и костной ткани индивидуальная изменчивость уровня Zn была одинаковой и низкой, то в чешуе она выше в 5 раз. Различия в индивидуальной концентрации химических элементов в органах и тканях обусловлены как их функцией, условиями среды, так и наследственными факторами. Это было подтверждено в ряде исследований [6, 8, 21, 23, 46].

Значительная тенденция к накоплению свинца отмечена у хищников: щуки, судака и окуня [33]. В жабрах судака в сравнении с костной тканью в 3,8 раза больше железа, а свинца – в 4,7 раза. Остальные химические элементы по концентрации преобладают

Таблица 1

Содержание химических элементов в жабрах, мг/кг

Элемент	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	σ	C_v	lim	Отношение крайних вариантов
Zn	77,57 ± 1,03	5,64	7,3	65,0:88,6	1:1,4
Fe	96,93 ± 5,65	30,94	31,9	60,0:175,0	1:2,9
Mn	10,31 ± 0,60	3,29	31,9	6,7:18,3	1:2,7
Cu	2,52 ± 0,19	1,03	40,7	1,7:7,5	1:4,4
Pb	0,84 ± 0,06	0,35	41,5	0,3:1,7	1:5,8
Cd	0,03 ± 0,004	0,020	74,5	0,01:0,1	1:10

в костной ткани. Н.А. Кашулиным с соавт. (1999) при изучении содержания марганца в рыбах из ряда водоемов Кольского полуострова был сделан вывод о том, что данный металл концентрируется преимущественно в жабрах, почках и скелете, в меньшей степени – в мышцах [9].

Содержание микроэлементов в жабрах судака Новосибирского водохранилища уменьшается в ряду: Fe > Zn > Mn > Cu и Pb > Cd в соотношении соответственно 38,5:30,8:4,1:1 и 28:1. Этот ранжированный ряд по некоторым элементам совпадает с содержанием химических элементов в жабрах леща Куйбышевского водохранилища [5]. По данным А.Р. Таировой с соавт. [33], в жабрах судака реки Уй ранжированный ряд тяжелых металлов можно представить следующим образом: Fe > Mn и Pb > Cd. В жабрах судака Новосибирского водохранилища ранжированный ряд распределения тяжелых металлов существенно отличался от такового же в чешуе: Zn > Fe > Mn > Cu в соотношении 77:67:19:1 [14, 17]. По количеству тяжелых металлов в жабрах и костной ткани доминируют железо и цинк, в чешуе – цинк и железо.

Таким образом, распределение тяжелых металлов в органах и тканях рыб характеризуется неоднородностью, что определяется физико-химическими свойствами химических элементов, физиологическими особенностями организма, эколого-биологическими характеристиками изучаемого вида рыб.

Цинк является незаменимым микроэлементом для живых организмов. Он необходим для функционирования большого числа ферментов. Этот элемент требуется для синтеза белка, играет важнейшую роль в процессах регенерации кожи, секреции слюнных желез, в формировании Т-клеточного иммунитета [26]. Медь является жизненно важным элементом, входит в состав многих витаминов, гормонов, ферментов, участвует в процессах обмена веществ, в тканевом дыхании [34]. Известно, что производные кожи (волос, перо, щетина) могут быть использованы как прижизненные биомаркеры накопления тяжелых металлов в органах и тканях животных [27–31].

В табл. 2 показано, что между содержанием некоторых химических элементов в жабрах судака существуют высокие и средние положительные связи.

Высокая положительная корреляция наблюдалась в жабрах между концентрацией железа и марганца. В чешуе между этими элементами также выявлена высокая взаимосвязь. Средняя положительная сопряженность в жабрах была между Cu и Mn. В чешуе этих же рыб взаимосвязь этих

элементов была в 2 раза выше ($r = 0,822$). Если между уровнем железа в чешуе существует тесная взаимосвязь ($r = 0,726$), то в жабрах она отсутствовала. Выявлено, что увеличение содержания кадмия в жабрах ведет к уменьшению концентрации железа в молоках ($r = -0,522$), тогда как повышение уровня меди в жабрах связано с повышением концентрации железа в молоках ($r = 0,560$). Таким образом, в наиболее соприкасающихся с водной средой жабрах и чешуе наблюдаются во многих случаях различия как по концентрации некоторых тяжелых металлов, так и по величине корреляции одних и тех же элементов.

Таблица 2

Корреляция между уровнями тяжелых металлов в жабрах

Коррелирующие элементы	$r \pm Sr$
Fe–Cd	0,405 ± 0,16
Fe–Mn	0,784 ± 0,07
Cd–Pb	0,466 ± 0,14
Cu–Mn	0,404 ± 0,16

Выводы

Установлены средние популяционные значения тяжелых металлов в жабрах судака Новосибирского водохранилища, которые могут быть использованы при оценке интерьера судака по элементному составу, а также использоваться в экологии и ветеринарии. Содержание микроэлементов в жабрах судака Новосибирского водохранилища уменьшается в ряду: Fe > Zn > Mn > Cu и Pb > Cd в соотношении соответственно 39:31:4:1 и 28:1. Высокие положительные корреляции наблюдались между содержанием железа и марганца, также кадмия и свинца.

По уровню содержания тяжелых металлов в жабрах судака доминируют железо и цинк. Концентрация меди в жабрах меньше, чем в костной ткани, в 1,7 раза, марганца – в 1,5 раза. Концентрация железа и цинка превышает содержание данных микроэлементов в чешуе в 1,5 и 1,1 раза соответственно.

Исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда (проект № 15-16-30003).

Список литературы

1. Баранников В.Д. Распределение приоритетных загрязнителей атмосферы в органах и тканях сельскохозяйственных животных // Ветеринарная патология. – 2005. – № 1. – С. 81–83.
2. Бикташева Ф.Х. Оценка риска по тяжелым металлам в организме представителей ихтиофауны озера

- Асылыкуль // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2009. – Т. 4. – № 21–1. – С. 184–186.
3. Ваганов А.С. Сравнительная характеристика содержания тяжелых металлов в промысловых видах рыб Куйбышевского водохранилища // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13. – № 5 (2). – С. 144.
4. 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.
5. Есимситова З.Б., Нуртазин С.Т., Базарбаева Ж.М., Решетова О.А. Гистологическое изучение жабр радужной форели, обитающей в реке Турген // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 6. – С. 34–37.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Кашулин Н.А., Лукин А.А., Амундсен П.А. Рыбы пресных вод субарктики как биоиндикаторы техногенного загрязнения. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1999. – 142 с.
10. Кудрин А.В., Скальный А.А., Жаворонков и др. Иммунофармакология микроэлементов. – М.: КМК, 2003. – 537 с.
11. Лепилина И.Н., Романов А.А. Гистоморфологические нарушения у волжской стерляди в современных экологических условиях // Экология. – 2005. – № 2. – С. 157–160.
12. 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.
13. Миллер И.С. Особенности содержания и распределения тяжелых металлов в костной ткани судака Новосибирского водохранилища // Природа, экология и народное хозяйство: сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. – Воронеж: ООО «ВЭЛБОРН», 2015. – Т. 1. – № 2 (22). – С. 15–19.
14. Миллер И.С. Особенности содержания и распределения тяжелых металлов в чешуе судака Новосибирского водохранилища // Инновационные разработки молодых ученых – развитию агропромышленного комплекса: сборник научных трудов по материалам III международной конференции: ГНУ СНИИЖК. – Ставрополь, 2014. – Т. 2. – Вып. 7. – С. 163–165.
15. Миллер И.С. Содержание кадмия, свинца и цинка в мышцах судака обыкновенного (*Stizostedion lucioperca*) Новосибирского водохранилища // Экологические проблемы животных и человека: сборник докладов по материалам III международного симпозиума. ФГБОУ НГАУ. – Новосибирск, 2013. – С. 102–104.
16. Миллер И.С. Сопряженность уровня тяжелых металлов в мышцах и кости судака обыкновенного Новосибирского водохранилища // Уникальные исследования XXI века. – 2015. – № 7(7).
17. Миллер И.С., Коновалова Т.В., Короткевич О.С., Петухов В.Л., Себежко О.И. Особенности накопления и корреляции тяжелых металлов в чешуе судака Новосибирского водохранилища // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9 (Часть 11). – С. 2469–2473.
18. 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.
19. 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.
20. Нарожных К., Ефанова Н.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.
21. Нарожных К.Н., Коновалова Т.В., Миллер И.С., Стрижкова М.В., Зайко О.А., Назаренко А.В. Межвидовые различия по концентрации тяжелых металлов в производных кожи животных // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2 (часть 26). – С. 5815–5819.
22. Перепелкин С.В. Комплексная гигиеническая оценка природных и антропогенных геохимических провинций в агропромышленном регионе Южного Урала: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – Оренбург, 2001. – 41 с.
23. 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.
24. 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, № 2(23). – С. 49–52.
25. Решетников Ю.С., Попова О.А. и др. Оценка благополучия рыбной части водного сообщества по результатам морфологического анализа рыб // Успехи современной биологии. – 1999. – Т. 119. – № 2. – С. 165–177.
26. Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементы в медицине. – М.: Издательский дом «ОНИКС 21 век»: Мир, 2004. – 272 с.
27. Способ определения содержания кадмия в мышечной ткани крупного рогатого скота / Петухов В.Л., Короткевич О.С., Петухова Т.В. и др. Патент на изобретение RU 2426119 24.03.2010.
28. 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 RU 2421726 08.04.2010.
29. 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., Кулцов А.В., Гревцов Д.С., Миллер И.С., Стрижкова М.В. Патент на изобретение RU № 2548774. 25.03.2014.
30. Способ определения содержания меди в мышечной ткани рыбы / Короткевич О.С., Миллер И.С., Коновалова Т.В., Петухов В.Л., Нарожных К.Н., Себежко О.И., Рудой Е.В. Патент на изобретение RU № 2555518. 28.07.2014.
31. Способ определения содержания кадмия в органах и мышечной ткани свиней / Петухов В.Л., Желтикова О.А., Желтиков А.И., Короткевич О.С., Камалдинов Е.В., Себежко О.И. Патент на изобретение RU № 2342659. 28.03.2007.
32. Стрижкова М.В., Петухова Т.В., Короткевич О.С. Содержание свинца в органах и тканях бычков чернопестрой породы // Главный зоотехник. – 2011. – № 6. – С. 66–68.
33. Таирова А.Р., Галатова Е.А. Особенности накопления и распределения тяжелых металлов в жабрах рыб различных семейств // Аграрный вестник Урала. – 2009. – № 11(65). – С. 116–118.
34. Улитко 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.
35. 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.

36. 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.

37. Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Sebezsko O.I. et al. Content of 137 Cs and 90 Sr in the forages of various ecological zones of Western Siberia // *Russian Agricultural Sciences*. – 2014. – Vol.4. – № 3. – pp. 195-197 (DOI) 10.3103/S1068367414030094.

38. 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.

39. Everall N., Macfarlane N., Sedgwick R. The effects of water hardness upon the uptake, accumulation and excretion of zinc in the brown trout (*Salmo trutta*) // *J. Fish. Biol.* – 1989. – Vol. 33. – P. 881–892.

40. Ishikawa R. Strontium – calcium discrimination in rainbow trout // *Rec. Oceanogr. Wks Jap.* 1960. – Vol. 5. – № 2. – P. 120–131.

41. Khanna D.R., Sarkar P., Ashutosh Gautam, Bhutiani R. Fish scales as bioindicator of water quality of River Ganga // *Environ Monit Assess.* – 2007. – № 134. – P. 153–160.

42. 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.

43. Korotkevich O.S. Single nucleotide polymorphism in dairy cattle populations of West Siberia / O.S. Korotkevich, M.P. Lyukhanov, V.L. Petukhov et al. // *Proceeding of the 10th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*. – 2014. – P. 487.

44. 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. *ICHMET. E3S Web of conferences* 1,11007 (2013). DOI: 10.1051/C/s3conf/20130111007.

45. Miller I., Korotkevich O.S., Korotkova G.N. Heavy metals in the water supply of Novosibirsk water-basin // *Proceedings of the scientific English conference to honor the 20th anniversary of scientific English conferences in biology «Biology and the modern world – 2»*. NSAU, Novosibirsk, 2011. – P. 155–157.

46. 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.

47. 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. – C. 1065–1066.

References

1. Barannikov V.D. Распределение приоритетных загрязнителей атмосферы в органах и тканях сельскохозяйственных животных // *Veterinarnaja patologija*. 2005. no. 1. pp. 81–83.

2. Biktasheva F.H. Ocenka riska po tjazhelym metallam v organizme predstavitelej ihtiofauny ozera Asylykul // *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2009. T. 4. no. 21-1. pp. 184–186.

3. Vaganov A.S. Sravnitel'naja harakteristika sodержaniya tjazhelyh metallov v promyslovyyh vidah ryb Kujbyshevskogo

vodohranilishha // *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*. 2011. T.13. no. 5 (2). pp. 144.

4. Davydova N.A., Nohrin D.Ju., Gribovskij Ju.G. Osobennosti mikrojelementnogo sostava organov i tkanej ryby Magnitogorskogo vodohranilishha // *Problemy veterinarnoj sanitarii, gigeny i jekologii*. 2009. no. 2. pp. 1–7.

5. Esimsitova Z.B., Nurtazin S.T., Bazarbaeva Zh.M., Reshetova O.A. Gistologicheskoe izuchenie zhabr raduzhnoj foreli, obitajushhej v reke Turgen // *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij*. 2013. no. 6. pp. 34–37.

6. Zajko O.A., Korotkevich O.S., Petuhov V.L. Osobennosti akumuljatsii makro- i mikrojelementov v miokarde svinej skorospeloj mjasnoj porodny // *Glavnyj zootehnik*. 2013. no. 6. pp. 35–40.

7. Zajko O.A., Konovalova T.V. Harakteristika genofonda linij porodny svinej SM-1 po akumuljatsii svinca v organah i tkanjah // *Svinovodstvo*. 2013. no. 8. pp. 11–12.

8. Zajko O.A., Konovalova T.V. Vlijanie genofonda semejstv skorospeloj mjasnoj porodny na akumuljatsiju svinca v nekotoryh organah i tkanjah svinej // *Mir nauki, kultury, obrazovanija*. 2013. no. 4 (41). pp. 432–434.

9. Kashulin N.A., Lukin A.A., Amundsen P.A. Ryby presnyh vod subarktiki kak bioindikatory tehnogennogo zagraznenija. *Apatity: Izd-vo KNC RAN*, 1999. 142 p.

10. Kudrin A.V., Skalnyj A.A., Zhavoronkov I. dr. *Immunofarmakologija mikrojelementov*. M.: KMK, 2003. 537 p.

11. Lepilina I.N., Romanov A.A. Gistomorfologicheskie narusheniya u volzhskoj sterljadi v sovremennyh jekologicheskikh uslovijah // *Jekologija*. 2005. no. 2. pp. 157–160.

12. Miller I.S., Korotkevich O.S., Petuhov V.L., Sebezsko O.I. Osobennosti nakoplenija i korrelyatsii tjazhelyh metallov v kostnoj tkani sudaka Novosibirskogo vodohranilishha // *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*. 2015. no. 1.

13. Miller I.S. Osobennosti sodержaniya i raspredelenija tjazhelyh metallov v kostnoj tkani sudaka Novosibirskogo vodohranilishha / *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Priroda, jekologija i narodnoe hozjajstvo»: Sbornik statej. OOO «VJeLBORN», Voronezh*, 2015. Tom 1. no. 2 (22). pp. 15–19.

14. Miller I.S. Osobennosti sodержaniya i raspredelenija tjazhelyh metallov v cheshue sudaka Novosibirskogo vodohranilishha / *Materialy III mezhdunarodnoj konferencii «Innovacionnye razrabotki molodyh uchenykh razvitiyu agropromyshlennogo kompleksa»: Sbornik nauchnyh trudov. GNU SNIIZhK, Stavropol*, 2014. tom 2. vyp. 7. pp. 163–165.

15. Miller I.S. Soderzhanie kadmija, svinca i cinka v myshchah sudaka obyknovennogo (*Stizostedion lucioperca*) Novosibirskogo vodohranilishha / *Materialy III mezhdunarodnogo simpoziuma «Jekologicheskie problemy zhivotnyh i cheloveka». Sbornik dokladov. FGBOU NGAU, Novosibirsk*, 2013. pp. 102–104.

16. Miller I.S. Sopryazhennost urovnja tjazhelyh metallov v myshchah i kosti sudaka obyknovennogo Novosibirskogo vodohranilishha / *Unikalnye issledovanija XXI veka*. 2015. no. 7(7).

17. Miller I.S., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Petuhov V.L., Sebezsko O.I. Osobennosti nakoplenija i korrelyatsii tjazhelyh metallov v cheshue sudaka Novosibirskogo vodohranilishha // *Fundamentalnye issledovanija*. 2014. no. 9 (Chast 11). pp. 2469–2473.

18. Narozhnyh K.N., Efanova Ju., Korotkevich O. Soderzhanie medi v nekotoryh organah i myshhechnoj tkani bychkov gerefordskoj porodny // *Vestnik NGAU*. 2013. no. 2(2). pp. 73–76.

19. Narozhnyh K.N., Efanova Ju.V., Korotkevich O.S. Soderzhanie kadmija v nekotoryh organah i tkanjah bychkov gerefordskoj porodny // *Mir nauki, kultury, obrazovanija*. 2012. no. 4. pp. 315–318.

20. Narozhnyh K., Efanova N.Ju., Korotkevich O.S., Petuhov V.L. Soderzhanie zheleza v nekotoryh organah

i myshechnoj tkani bychkov gerefordskoj porody // Molochnoe i mjasnoe skotovodstvo. 2013. no. 1. pp. 24–25.

21. Narozhnyh K.N., Konovalova T.V., Miller I.S., Strizhkova M.V., Zajko O.A., Nazarenko A.V. Mezhvidovye razlichija po koncentracii tzhzhelyh metallov v proizvodnyh kozhi zhivotnyh// Fundamentalnye issledovanija. 2015. no. 2 (chast 26).pp. 5815–5819.

22. Perepelkin S.V. Kompleksnaja gigienicheskaja ocenka prirodnyh i antropogennyh geohimicheskikh provincij v agropromyshlennom regione Juzhnogo Urala: avtoref. dis. ... d-ra med. nauk. Orenburg, 2001. 41 p.

23. Petuhov V.L., Kamaldinov E.V., Korotkevich O.S. Vlijanie porody na ustojchivost krupnogo rogatogo skota k nekotorym boleznyam // Glavnyj zootehnik. 2001. no. 1. pp. 10–12.

24. Petuhov V.L., Miller I.S., Korotkevich O.S. Soderzhanie tzhzhelyh metallov v myshcah sudaka (STIZOSTEDION LUCIOPERCA) // Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2012. T. 2, no. 2(23). pp. 49–52.

25. Reshetnikov Ju.S., Popova O.A i dr. Ocenka blagopoluchija rybnaj chasti vodnogo soobshhestva po rezul'tatam morfologicheskogo analiza ryb // Uspehi sovremennoj biologii. 1999. T. 119. no. 2. pp. 165–177.

26. Skalnyj A.V., Rudakov I.A. Biojelementy v medicine. M.: Izdatelskij dom «ONIKS 21 vek»: Mir, 2004. 272 p.

27. Sposob opredelenija sodержanija kadmija v myshechnoj tkani krupnogo rogatogo skota / Petuhov V.L., Korotkevich O.S., Petuhova T.V. i dr. Patent na izobretenie RUS 2426119 24.03.2010.

28. Sposob opredelenija sodержanija svinca v organah krupnogo rogatogo skota / Korotkevich O.S., Petuhov V.L., Strizhkova M.V., Kamaldinov E.V., Sebezsko O.I., Petuhova T.V. Patent na izobretenie RUS 2421726 08.04.2010.

29. Sposob ocenki kadmija v pecheni i legkih krupnogo rogatogo skota / Korotkevich O.S., Narozhnyh K.N., Konovalova T.V., Petuhov V.L., Sebezsko O.I., Zajko O.A., Kupcov A.V., Grevcov D.S., Miller I.S., Strizhkova M.V. Patent na izobretenie RUS no. 2548774. 25.03.2014.

30. Sposob opredelenija sodержanija medi v myshechnoj tkani ryby / Korotkevich O.S. Miller I.S. Konovalova T.V. Petuhov V.L. Narozhnyh K.N. Sebezsko O.I. Rudoj E.V. Patent na izobretenie RUS no. 2555518. 28.07.2014.

31. Sposob opredelenija sodержanija kadmija v organah i myshechnoj tkani svincej / Petuhov V.L., Zheltikova O.A., Zheltikov A.I., Korotkevich O.S., Kamaldinov E.V., Sebezsko O.I. Patent na izobretenie RUS no. 2342659. 28.03.2007.

32. Strizhkova M.V., Petuhova T.V., Korotkevich O.S. Soderzhanie svinca v organah i tkanjah bychkov cherno-pestroj porody // Glavnyj zootehnik. 2011. no. 6. pp. 66–68.

33. Tairova A.R. Galatova E.A. Osobennosti nakoplenija i raspredelenija tzhzhelyh metallov v zhabrah ryb razlichnyh semejstv // Agrarnyj vestnik Urala. 2009. no. 11(65). pp. 116–118.

34. Ulitko V.E., Lukicheva L.N., Pyhtin L.A. Atlas raspredelenija tzhzhelyh metallov v kormah i organizme selskohozjajstvennyh zhivotnyh, ptic i ryb. Uljanovsk, 2005. 84 p.

35. Chysyma R.B., Bakhtina Y.Y., Petuhov 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. pp. 301–302.

36. Chysyma R.B., Petuhov 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. pp. 297–299.

37. Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Sebezsko O.I. et al. Content of 137 Cs and 90 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.

38. 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. pp. 827–829.

39. Everall N., Macfarlane N., Sedgwick R. The effects of water hardness upon the uptake, accumulation and excretion of zinc in the brown trout (Salmo trutta) // J. Fish. Biol., 1989. Vol. 33. pp. 881–892.

40. Ishikawa R. Strontium calcium discrimination in rainbow trout // Rec. Oceanogr. Wks Jap. 1960. Vol. 5. no. 2. pp. 120–131.

41. Khanna D.R., Sarkar P., Ashutosh Gautam, Bhutiani R. Fish scales as bioindicator of water quality of River Ganga // Environ Monit Assess. 2007. no. 134. pp. 153–160.

42. 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/20130115003.

43. Korotkevich O.S. Single nucleotide polymorphism in dairy cattle populations of West Siberia / O.S. Korotkevich, M.P. Lyukhanov, V.L. Petukhov et al. // Proceeding of the 10th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. 2014. pp. 487.

44. 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. ICHMET. E3S Web of conferences 1,11007 (2013). DOI: 10.1051/C/s3econ/20130111007.

45. Miller I., Korotkevich O.S., Korotkova G.N. Heavy metals in the water supply of Novosibirsk water-basin // Proceedings of the scientific English conference to honor the 20th anniversary of scientific English conferences in biology «BIOLOGY AND THE MODERN WORLD 2». NSAU, Novosibirsk, 2011. pp. 155–157.

46. 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. pp. 1025–1027.

47. Petukhov V.L. Cs-137 and Sr-90 level in dairy products / V.L. Petukhov, Yu.A. Dukhanov, I.Z. Sevryuk, S.A. Patrashkov, O.S. Korotkevich, T.S. Gorb, I.V. Petukhov // Journal De Physique. IV: JP XII International Conference on Heavy Metals in the Environment. Editors: C. Boutron, C. Ferrari. Grenoble. 2003. pp. 1065–1066.

Рецензенты:

Пичугин А.П., д.т.н., профессор, зав. кафедрой теоретической и прикладной физики, Новосибирский государственный аграрный университет, г. Новосибирск;

Виколов С.В., д.т.н., профессор кафедры сопроствления материалов и подъемно-транспортных машин, Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск.