

УДК 574.5:631.95(571.14)

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ И КОРРЕЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЧЕШУЕ СУДАКА НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

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

¹ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет»,

Новосибирск, e-mail: okorotkevich@gmail.com;

²ООО «Институт ветеринарной генетики и селекции»

Изучены особенности накопления железа, меди, цинка, марганца, стронция и их корреляции в чешуе судака обыкновенного Новосибирского водохранилища. Концентрации тяжелых металлов определялись атомно-эмиссионным спектральным методом с возбуждением спектров в двухструйной дуговой плазме (ДДП-АЭС). По количеству тяжёлых металлов в чешуе доминируют железо ($62,83 \pm 9,38$ мг/кг) и цинк ($72,43 \pm 4,83$ мг/кг). Установлено, что в чешуе судака Новосибирского водохранилища концентрация железа больше, чем в мышцах, в 1,4 раза, цинка – в 3,5 раза, марганца – в 11,1 раза. Выявлены высокие положительные корреляции между содержанием меди с марганцем, стронцием и железом. Содержание Zn, Fe, Sr, Mn и Cu было в соотношении 77:67:46:19:1 соответственно. Установлены средние популяционные значения тяжелых металлов в чешуе судака Новосибирского водохранилища, которые могут быть использованы в экологии, ветеринарии, зоотехнии при оценке интерьера судака по элементному составу.

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

CHARACTERISTIC FEATURES OF HEVY METALS ACCUMULATION AND CORRELATION IN THE SCALES OF ZANDER FROM NOVOSIBIRSK WATER BASIN BASIN

¹Miller I.S., ¹Konovalova T.V., ¹Korotkevich O.S., ^{1,2}Petukhov V.L., ¹Sebezshko O.I.

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

²Ltd «Institute of Veterinary Genetics and Breeding»

Characteristic features were studied in the accumulation of iron, copper, zinc, manganese, strontium and their correlations in the scales 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 ($62,83 \pm 9,38$ mg/kg) and zinc ($72,43 \pm 4,83$ mg/kg) dominate for the amount of heavy metals in scales. It was established that iron, zinc and manganese concentrations were 1,4; 3,5 and 11,1 times greater in zander scales in Novosibirsk water basin than those in muscles, respectively. High positive correlations between the content of copper and manganese, strontium and iron were revealed. The content of Zn, Fe, Sr, Mn and Cu were in the ratio 77:67:46:19:1, respectively. Mean population values of heavy metals were established in zander scales in Novosibirsk water basin and they can be used in ecology, veterinary, zootechnology when evaluating zander interior for elemental composition.

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

В последнее время интенсивно нарастает число публикаций по содержанию химических элементов в тканях и жидкостях животных и человека, находящихся в непрерывной взаимосвязи с окружающей природной средой [1, 6, 24].

Многие авторы изучали содержание тяжелых металлов в воде и почве [32], кормах [25, 36], органах и тканях различных видов животных [2–4, 11, 16, 18, 21, 34, 36], в продуктах питания [11, 27–29, 34], их влияние на интерьерные параметры [8] и генетическую структуру популяций [7, 17].

Известно, что рыбы способны накапливать тяжелые металлы [10, 12, 19, 23, 29–31]. При этом количество металлов в тканях рыб зависит от степени и продолжительности их воздействия, а также от метаболизма, протекающего в их организме. Кроме того, по мнению ряда авторов, распределе-

ние токсикантов в организме рыб и других организмов зависит и от функционального состояния организма, геохимии среды обитания, характера пищевых цепей водоемов, объединяющих в единую систему миграции элементы растительного и животного мира конкретных регионов [22, 37].

Поэтому выявление особенностей накопления и распределения химических элементов в организме рыб вызывает несомненный интерес с точки зрения оценки степени загрязнения водоема этими элементами, а также при изучении их миграции в экосистеме.

Материалы и методы исследования

Работа выполнена на базе аналитической лаборатории Института неорганической химии СО РАН. Исследования были 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 км², средняя глубина составляет 8,3 м, наибольшая глубина – 25 м. Для исследования были взяты 20 проб чешуи. Концентрации тяжелых металлов определялись атомно-эмиссионным спектральным методом с возбуждением спектров в двухструйной дуговой плазме (ДДП-АЭС).

Полученные данные обработаны методом вариационной статистики [13] 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 исследования и их обсуждение

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

Таблица 1

Содержание химических элементов в чешуе, мг/кг

Элемент	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	σ	C_v	lim	Отношение крайних вариантов
Fe	62,83 ± 9,38	51,37	81,7	1,4:250,0	1:1,78
Cu	0,937 ± 0,062	0,34	36,1	0,49:1,6	1:3,3
Zn	72,43 ± 4,83	26,48	36,6	44,0:145,0	1:3,3
Mn	17,58 ± 1,49	8,17	42,0	6,8:34,0	1:5
Sr	43,53 ± 3,18	17,43	40,0	10,0:77,0	1:77

Выявлены значительные различия между способностью чешуи судака аккумулировать микроэлементы. Ранее нами изучалось содержание тяжелых металлов в мышцах судака Новосибирского водохранилища [12, 23]. Исследованиями установлено, что в чешуе судака концентрация железа больше, чем в мышцах, в 1,4 раза, цинка – в 3,5 раза, марганца – в 11,1 раза [12, 23], что сопоставимо с данными, полученными Черновой Е.Н. и др. [19]. Повышенные концентрации того или иного металла в организме рыб можно объяснить загрязнением водоема органическими и другими соединениями или ослабленным состоянием рыб при инфекционных, паразитарных и иной этиологии заболеваний. Содержание микроэлементов в чешуе судака Новосибирского водохранилища умень-

шается в ряду Zn > Fe > Sr > Mn > Cu в соотношении 77:67:46:19:1. В мышцах судака Новосибирского водохранилища ранжированный ряд был Fe > Zn > Cu > Mn, в соотношении 27,6:13:11,9:1 [12, 23]. По данным Bashir F.H. et al. [31] в мышцах рыб, отловленных около полуострова Малайзия, этот ряд выглядит так: Zn > Cu > Mn. По количеству тяжелых металлов в чешуе судака доминируют железо, цинк и стронций, а в мышцах – железо и цинк. Это связано с закономерностями распределения химических элементов в разных органах и тканях рыб. Распределение химических элементов в чешуе изучаемого вида рыбы характеризуется неоднородностью, что зависит от физико-химических свойств самих элементов и функциональных особенностей чешуи (табл. 2).

Таблица 2

Корреляция между уровнями тяжелых металлов в чешуе

Коррелирующие элементы	r	Коррелирующие элементы	r
Fe–Cu	0,726	Cu–Sr	0,749
Fe–Mn	0,673	Sr–Mn	0,699
Cu–Mn	0,822		

В чешуе судака выявлена высокая положительная корреляция концентраций железа и меди ($r = 0,726$). Уровень железа положительно коррелирован также с марганцем. Железо находится во всех органах и тканях животных и человека и входит в состав гемоглобина и нуклеопротеидов ядерной субстанции клеток. Этот металл является

жизненно важным в регуляции различных уровней обмена в организме.

Высокая прямая связь установлена между медью с марганцем и стронцием. Медь входит в состав многих ферментов и биологически активных металлопротеинов. Уровень стронция положительно коррелировал с марганцем. Как марганец, так и стронций

участвуют в образовании костистых структур, поэтому, очевидно, и прослеживается их высокая положительная корреляция.

Установлено, что наследственность играет определенную роль в способности аккумулировать в организме различные химические элементы [4, 5, 14].

Во многих исследованиях было установлено, что производные кожи: перо, волос, щетина – могут быть использованы как прижизненные маркеры накопления тяжелых металлов в органах и тканях животных [9, 15, 20, 25]. В наших исследованиях также показано, что между содержанием некоторых химических элементов в чешуе судака и уровнем тяжелых металлов в мышцах существует связь. Так, коэффициент корреляции между концентрацией цинка в чешуе и уровнем кадмия в мышцах был равен 0,514.

Выводы

Установлены средние популяционные значения тяжелых металлов в чешуе судака Новосибирского водохранилища, которые могут быть использованы в экологии, ветеринарии, зоотехнии при оценке интерьера судака по элементному составу. Содержание Zn, Fe, Sr, Mn и Cu было в соотношении 77:67:46:19:1 соответственно. Высокие положительные корреляции наблюдались между содержанием меди с марганцем, стронцием и железом.

По количеству тяжелых металлов в чешуе судака доминируют цинк и железо. Концентрация цинка, железа и марганца и меди в чешуе была выше, чем в мышечной ткани.

Список литературы

1. Генетика: учеб. для вузов / Петухов В.Л., Короткевич О.С., Стамбеков С.Ж., Бакай А.И., Жигачёв. – 2-е изд. – Министерство образования и науки республики Казахстан: Семипалатинский государственный педагогический институт. – Новосибирск, 2007. – 628 с.
2. Желтикова О.А., Короткевич О.С. Аккумуляция некоторых макро- и микроэлементов в органах свиней // Сибирский вестник с.-х. науки. – 2007. – № 8. – С. 48–50.
3. Желтикова О.А., Короткевич О.С., Петухов В.Л. Аккумуляция макро- и микроэлементов в печени свиней скороспелой мясной породы (СМ-1) // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. – 2007. – № 6. – С. 50–56.
4. 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.
5. 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.
6. 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.

7. Иммуногенетические системы сывороточных белков крови свиней / В.Л. Петухов [и др.] // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2003. – № 5. – С. 38–40.

8. Короткевич О.С., Желтикова О.А., Петухов В.Л. Биохимические, гематологические параметры и аккумуляция тяжелых металлов в органах и тканях свиней скороспелой мясной породы // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2009. – № 4. – С. 41–43.

9. 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 России № 2421726.2010.

10. Накопление ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в рыбе, полученной из водоемов Новосибирской области / Н.И. Мармулева [и др.] // Вестник НГАУ. – 2011. – Т. 1. – № 17. – С. 70–74.

11. 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.

12. 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.

13. Петухов В.Л., Жигачёв А.И., Назарова Г.А. Ветеринарная генетика с основами вариационной статистики. – М.: Агропромиздат, 1985. – 368 с.

14. Петухов В.Л., Жигачёв А.И., Назарова Г.А. Ветеринарная генетика. – М.: Колос, 1996. – 384 с.

15. 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 России № 2342659.2007.

16. Петухов В.Л., Короткевич О.С., Желтиков А.И., Петухова Т.В. Способ определения содержания кадмия в мышечной ткани крупного рогатого скота // Патент России № 2426119.2010.

17. Полиморфизм белков сыворотки крови свиней сибирской северной породы / Е.В. Камалдинов [и др.] // Доклады Российской академии сельскохозяйств. наук – 2010. – № 4. – С. 49–51

18. Содержание железа в некоторых органах и мышечной ткани бычков герефордской породы / К. Нарожных [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. – 2013. – № 1. – С. 24–20.

19. Содержание тяжелых металлов в органах караса серебряного (CARASSUS AURATUS GIBELIO) из водоемов южного приморья / Е.Н. Чернова [и др.] // Известия тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра. – 2008. – Т. 154. – С. 214–230.

20. Содержание тяжелых металлов в волосе животных из разных экологических зон / Р.Б. Чысыма [и др.] // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2004. – № 1(151). – С. 75–76.

21. 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.

22. Проблемы сельскохозяйственной экологии / А.Г. Незавитин, В.Л. Петухов, А.Н. Власенко, О.С. Короткевич и др. – Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 2000. – 255 с.

23. Accumulation of heavy metals in the muscles of Zander from Novosibirsk water basin / I.S. Miller, V.L. Petukhov, O.S. Korotkevich, G.N. Korotkova, I.S. Konovalov // E3S Web of Conferences 1,11007 (2013). DOI: 10.1051/e3sconf/20130111007.

24. Content of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in the Forages of Various Ecological Zones of Western Siberia / O.S. Korotkevich, V.L. Petukhov, O.I. Sebezko, Ye.Ya. Barinov, and T.V. Konovalova // Russian Agricultural Sciences. – 2014. – Vol.4. – № 3. – P. 195–197 (DOI) 10.3103/S1068367414030094.

25. Content of heavy metals in the hair / S.A. Patrashkov, V.L. Petukhov, O.S. Korotkevich, I.V. Petukhov // *Journal De Physique IV: JPXX International Conference on Heavy Metals in the Environment*. Editors C. Boutron, C. Ferrari. – Grenoble, 2003. – C. 1025–1027.
26. Cs-137 and Sr-90 level in diary products / V.L. Petukhov, Y.A. Dukhanov, I.Z. Sevryuk et al. // *Journal De Physique IV: JPXX International Conference on Heavy Metals in the Environment*. Editors: Boutron, C. Ferrari. – Grenoble, 2003. – C. 1065–1066.
27. Cu influence on hens weight / V.L. Petukhov, S.A. Patrashkov, I.A. Afonina, E.S. Kleptsyna // *Journal De Physique IV: JXII International Conference on Heavy Metals in the Environment*. Editors: C. Boutron, C. Ferrari. – Grenoble, 2003. – C. 1–2.
28. Cu influence on hens egg productivity / V.L. Petukhov, S.A. Patrashkov, G.N. Korotkova et al. // *Journal De Physique IV: JPXX International Conference on Heavy Metals in the Environment*. Editors: C. Boutron, C. Ferrari. – Grenoble, 2003. – C. 3–5.
29. Cusimano R.F., Brakke D.F., Chapman G.A. Effects of pH on the toxicities of cadmium, copper and zinc to steelhead trout (*Salmo gairdneri*) // *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, 43. – P. 1497–1503 (1986).
30. Influence of pH and water hardness upon nickel accumulation in edible fish *Cirrhinus mrigala* S. Karthikeyan et al. // *J. Environ. Biol.* – 2007. – № 28. – C. 484–492.
31. Heavy metal concentration in fishes from the coastal waters of Kapar and Mersing, Malaysia / F.H. Bashir, M.S. Othman, A.G. Mazlan et al. // *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.* – 2013. – № 13. – P. 375–382.
32. Heavy metal concentration in water and soil of different ecological areas of Tyva Republic / R.B. Chysyma, Y.Y. Bakhtina, V.L. Petukhov, G.N. Korotkova, M.L. Kochneva // *Jornal De Physique IV: JPXX International Conference on Heavy Metals in the Environment*. Editors: C. Boutron, C. Ferrari. – Grenoble, 2003. – C. 301–302.
33. Marmuleva N.I., Barinov E.Y., Petukhov V.L. Radionuclides accumulation in milk and its products // *Journal De Physique IV: JPXX International Conference on Heavy Metals in the Environment*. Editors C. Boutron, C. Ferrari. – Grenoble, 2003. – C. 827–829.
34. 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.
35. The content of heavy metals in feeds of the Tyva Republic / R.B. Chysyma, V.L. Petukhov, E.E. Kuzmina, E.Ya. Barinov, Yn.A. Dukhanov, G.N. Korotkova // *Journal De Physique IV: JPXX International Conference on Heavy Metals in the Environment*; Editors: C. Boutron, C. Ferrari. – Grenoble, 2003. – C. 297–299.
36. The content of lead in some organs and tissues of Hereford bull-calves / K.N. Narozhnyh, Y.V. Efanova, V.L. Petukhov, O.S. Korotkevich et al. // *E3S Web of Conferences* 1, 15003 (2013). DOI: 10.1051/e3sconf/201301115003.
37. Zhimin A.Y., Plotitsyna N.F. and Lapteva A.M. Heavy Metals in Commercial Fish from the Barents Sea (Winter 2011) // *E3S Web of conferences* 1, 11008 (2013). DOI: 10.1051/e3sconf/201301111008.
1. Petuhov V.L., Korotkevich O.S., Stambekov S.Zh., Bakaj A.I., Zhigachjov A.I. *Genetika*. [Genetics]. Uchebnyk (2-e izdanie). Ministerstvo obrazovanija i nauki respubliki Kazahstan: Semipalatskij gosudarstvennyj pedagogicheskij institut. Novosibirsk, 2007, 628 p.
2. Zheltikova O.A., Korotkevich O.S., Sibirskij vestnik s-h. nauki, 2007, no.8, pp. 48–50.
3. Zheltikova O.A., Korotkevich O.S., Petuhov V.L., *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2007, no.6, pp. 50–56.
4. Zajko O.A., Korotkevich O.S., Petuhov V.L., *Glavnyj zootehnik*, 2013, no. 6, pp. 35–40.
5. Zajko O.A., Konovalova T.V., Svinovodstvo, 2013, no. 8, pp. 11–12.
6. Zajko O.A., Konovalova T.V., *Mir nauki, kul'tury, obrazovanija*, 2013, no. 4 (41), pp. 432–434.
7. Petuhov V.L., Zheltikov A.I., Kochneva M.L., Sebezko O.I., Gart V.V., Korotkevich O.S., Kamaldinov E.V., *Doklady Rossijskoj akademii sel'skhozajstvennyh nauk*, 2003, no. 5, pp. 38–40.
8. Korotkevich O.S., Zheltikova O.A., Petuhov V.L., *Doklady Rossijskoj akademii sel'skhozajstvennyh nauk*, 2009, no. 4, pp. 41–43.
9. Korotkevich O.S., Petuhov V.L., Strizhkova M.V., Kamaldinov E.V., Sebezko O.I., Petuhova T.V. Sposob opredelenija soderzhanija svinca v organah krupnogo rogatogo skota // Patent Rossii no. 2421726.2010.
10. Marmuleva N.I., Korotkevich O.S., Petuhov V.L. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2011, Vol. 1, no. 17, pp. 70–74.
11. Narozhnyh K.N., Efanova Ju.V., Korotkevich O.S., *Mir nauki, kul'tury, obrazovanija*, 2012, no. 4, pp. 315–318.
12. Petuhov V.L., Miller I.S., Korotkevich O.S., *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2012, Vol. 2, no. 23-2, pp. 49–52.
13. Petuhov V.L., Zhigachjov A.I., Nazarova G.A. *Veterinarnaja genetika s osnovami variacionnoj statistiki* [Veterinary Genetics with the basics of variation statistics]. M.: Agropromizdat, 1985. 368 p.
14. Petuhov V.L., Zhigachjov A.I., Nazarova G.A. *Veterinarnaja genetika* [Veterinary genetics]. M.: Kolos, 1996. 384 p.
15. Petuhov V.L., Zheltikova O.A., Zheltikov A.I., Korotkevich O.S., Kamaldinov E.V., Sebezko O.I. Sposob opredelenija soderzhanija kadmija v organah i myshechnoj tkani svinnej // Patent Rossii no. 2342659. 2007.
16. Petuhov V.L., Korotkevich O.S., Zheltikov A.I., Petuhova T.V. Sposob opredelenija soderzhanija kadmija v myshechnoj tkani krupnogo rogatogo skota // Patent Rossii no. 2426119.2010.
17. Kamaldinov E.V., Korotkevich O.S., Petuhov V.L., Zheltikov A.I., Fridcher A.A., *Doklady Rossijskoj akademii sel'skhozajstvennyh nauk*, 2010, no.4, pp.49–51.
18. Narozhnyh K.N., Efanova Ju.V., Korotkevich O.S., Petuhov V.L., *Molochnoe i mjasnoe skotovodstvo*, 2013, no.1, pp. 20–24.
19. Chernova E.N., Marchenko A.L., Hristoforova N.K., Kavun V.Ja., Kovalev M.Ju., *Izvestija tihookeanskogo nauchno-issledovatel'skogo rybohozajstvennogo centra*, 2008, Vol.154, pp. 214–230.
20. Chysyma R.B., Patrashkov S.A., Petuhov I.V., Petuhov B.L., *Sibirskij vestnik sel'skhozajstvennoj nauki*, 2004, no. 1(151), pp. 75–76.
21. Strizhkova M.V., Petuhova T.V., Korotkevich O.S., *Glavnyj zootehnik*, 2011, no. 6, pp. 66–68.
22. Nezavitin A.G., Petuhov V.L., Vlasenko A. N., Korotkevich O.S. i dr., *Problemy sel'skhozajstvennoj jekologii* [Problems of Agricultural Ecology]. Novosibirsk: Nauka, Siberian Publishing House of RAS, 2000, 255 p.
23. Miller I.S., Petukhov V.L., Korotkevich O.S., Korotkova G.N., Konovalov I.S., *E3S Web of Conferences* 1,11007 (2013). DOI: 10.1051/e3sconf/20130111007.
24. Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Sebezko O.I., Barinov Ye.Ya., and Konovalova T.V., *Russian Agricultural Sciences*, 2014, Vol. 2, no. 3, pp. 195–197 (DOI) 10.3103/S1068367414030094.
25. Patrashkov S.A., Petukhov V.L., Korotkevich O.S., Petukhov I.V., *Journal De Physique IV: JPXX International Conference on Heavy Metals in the Environment*. Editors C. Boutron, C. Ferrari, Grenoble, 2003, pp. 102–1027.

References

26. V.L. Petukhov, Y.A. Dukhanov, I.Z. Sevryuk et al., *Journal De Physique. IV: JPXII International Conference on Heavy Metals in the Environment*. Editors: Boutron, C. Ferrari. Grenoble, 2003, pp.1065-1066.
27. Petukhov V.L., Patrashkov S.A., Afonina I.A., Kleptsyna E.S., *Journal De Physique. IV: JXII International Conference on Heavy Metals in the Environment*. Editors: C. Boutron, C. Ferrari. Grenoble, 2003, pp. 1–2.
28. Petukhov V.L., Patrashkov S.A., Korotkova G.N. et al., *Journal De Physique. IV: JPXII International Conference on Heavy Metals in the Environment*. Editors: C. Boutron, C. Ferrari. Grenoble, 2003, pp. 3–5.
29. Cusimano R.F., Brakke D.F., Chapman G.A., *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, 43, 1497–1503 (1986).
30. Karthikeyan S. et al., *J. Environ. Biol.*, 2007, no. 28, pp. 484–492.
31. Bashir F.H., Othman M. S., Mazlan A. G. et al., *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2013, no. 13, pp. 375–382.
32. Chysyma R.B., Bakhtina Y.Y., Petukhov V.L., Korotkova G.N., Kochneva M.L., *Jornal De Physique IV: JPXII International Conference on Heavy Metals in the Environment*. Editors: C. Boutron, C. Ferrari. Grenoble, 2003, pp. 301–302.
33. Marmuleva N.I., Barinov E.Y., Petukhov V.L., *Journal De Physique. IV: JPXII. International Conference on Heavy Metals in the Environment*. Editors C. Boutron, C. Ferrari. Grenoble, 2003, pp. 827–829.
34. Petukhova T.V., *E3S Web of Conferences* 1, 15002 (2013). DOI: 10.1051 /e3sconf / 201301115002.
35. Chysyma R.B., Petukhov V.L., Kuzmina E.E., Barinov E.Ya., Dukhanov Yn.A., Korotkova G.N. *Journal De Physique IV: JPXII International Conference on Heavy Metals in the Environment*. Editors: C. Boutron, C. Ferrari. Grenoble, 2003, pp. 297–299.
36. Narozhnyh K.N., Efanova Y.V., Petukhov V.L., Korotkevich O.S. et al., *E3S Web of Conferences* 1, 15003 (2013). DOI: 10.1051 /e3sconf /201301115003.
37. Zhimin A.Y., Plotitsyna N.F. and Lapteva A.M., *E3S Web of conferences* 1, 11008 (2013). DOI: 10.1051/e3sconf/201301111008.

Рецензенты:

Дементьев В.Н., д.с.-х.н., профессор кафедры разведения, кормления и частной зоотехнии Новосибирского государственного аграрного университета, г. Новосибирск;

Желтиков А.И., д.с.-х.н., профессор кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии Новосибирского государственного аграрного университета, г. Новосибирск.

Работа поступила в редакцию 15.09.2014.