

Содержание и характер накопления металлов в рыбах реки Кичеры (приток оз. Байкал)

Е. Ц. ПИНТАЕВА¹, С. В. БАЗАРСАДУЕВА¹, Л. Д. РАДНАЕВА^{1,2}, Е. А. ПЕТРОВ³, О. Г. СМИРНОВА³

¹ Байкальский институт природопользования СО РАН
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6
E-mail: e-pintaeva@yandex.ru

² Бурятский государственный университет
670000, Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а

³ ОАО «Востсибрыбцентр»
670034, Улан-Удэ, ул. Хахалова, 4-б

АННОТАЦИЯ

Исследовано содержание металлов (Mn, Zn, Pb, Cd, Co и Hg) в мышечной ткани и печени рыб различного трофического уровня р. Кичеры (Северобайкальский район, Республика Бурятия).

Ключевые слова: металлы, мышцы, печень, плотва, окунь, щука, биомониторинг.

Химическое загрязнение окружающей среды играет важную роль в биологическом круговороте, в связи с этим особое значение приобретает биомониторинг качества природной среды.

Мониторинг состояния экосистемы р. Кичеры в районе впадения ее притока (р. Холодной) актуально в связи с увеличением антропогенной нагрузки на водные экосистемы этого региона, нарушающей естественный круговорот химических элементов. В первую очередь это связано с возможным возобновлением добычи полиметаллических руд на Холоднинском месторождении, расположенном в границах Центральной экологической зоны Байкальской природной территории.

Среди биоиндикаторов уровня загрязнения поверхностных вод рыбы являются самыми подходящими объектами, поскольку занимают в биоценозах водных экосистем, как правило, верхний трофический уровень и накапливают металлы, поступающие к ним от других гидробионтов. Содержание металлов в органах и тканях рыб свидетельствует об их концентрации в водной среде, аккумуляции последних в пищевых цепях – о функциональных изменениях в экосистеме [1].

Поскольку металлы в естественных условиях не разрушаются, а лишь меняют форму нахождения [2], сведения о составе и количестве металлов в тканях промысловых рыб (прежде всего в мышечной) важны при оценке качества питания человека и для сохранения здоровья населения.

В качестве организмов-биоиндикаторов загрязнения металлами поверхностных вод р. Кичеры использованы 3 вида рыб разного трофического уровня – планктонобентософа-

Пинтаева Евгения Цыденовна
Базарсадуева Сэлмэг Владимировна
Раднаева Лариса Доржиевна
Петров Евгений Аполлонович
Смирнова Ольга Геннадьевна

ги (плотва *Rutilus rutilus* Linnaeus), весь цикл онтогенеза которых в основном проходит в поверхностных слоях воды, и хищники – окунь *Perca fluviatilis* Linnaeus и щука *Esox lucius* Linnaeus (в питании первого наряду с рыбой важное место принадлежит бентосным организмам; рацион щуки состоит исключительно из рыбы).

Цель данной работы – определить содержание и характер распределения металлов (Mn, Zn, Pb, Cd, Co и Hg) в организме промысловых рыб р. Кичеры и дать предварительную оценку уровню загрязнения речной воды этими металлами.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Рыбы отловлены в устье р. Холодная Северобайкальского сора 11–12 июля 2008 г. Образцы тканей (мышцы и печень) взяты у 14 особей разновозрастной плотвы, 17 окуней и у 4 щук. Образцы хранили при температуре -18°C . Для определения содержания Pb, Cd, Zn, Mn и Co разложение образцов выполнили по ГОСТ 26929-94 [3]. Измерения проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре “SOLAAR”.

Для определения содержания ртути деструкцию “закрытым способом” проводили по ГОСТ 26927-86 [4] на ртутном анализаторе “Юлия 2К”.

Значения концентраций металлов в пробах сравнивали с принятыми в России допустимыми остаточными концентрациями (ДОК) этих элементов в свежих рыбопродуктах [5]. Полученные данные обработаны с помощью метода главных компонент (МГК) для представления в наглядной форме данных эксперимента [6, 7]. Это способ представления многомерного распределения данных на двумерной плоскости, при котором качественно отражены основные закономерности, присущие исходному распределению, – его топологические особенности, внутренние зависимости между признаками, информация о расположении данных в исходном пространстве и т. д. Первым выбором в визуализации множества данных является ортогональное проектирование на плоскость первых двух главных компонент (ГК1, ГК2). Плоскость проектирования является, по сути, плоским двумерным “экраном”, расположенным таким

образом, чтобы обеспечить “картинку” данных с наименьшими искажениями.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведен сравнительный анализ содержания в тканях рыб шести тяжелых металлов (Pb, Cd, Zn, Mn, Co и Hg), которые являются наиболее опасными и хорошо изученными поллютантами поверхностных вод. Их содержание в мышцах и печени исследованных рыб р. Кичеры представлено в табл. 1.

По содержанию в органах и тканях металлы располагаются в следующие ранжированные ряды:

Печень: плотва – $\text{Zn} > \text{Mn} > \text{Co} > \text{Hg} \geq \text{Pb} \geq \text{Cd}$

окунь – $\text{Zn} > \text{Co} > \text{Mn} > \text{Pb} > \text{Cd} > \text{Hg}$

щука – $\text{Zn} > \text{Mn} > \text{Co} > \text{Pb} > \text{Hg} > \text{Cd}$

Мышцы: плотва – $\text{Zn} > \text{Mn} > \text{Pb} > \text{Co} > \text{Cd} > \text{Hg}$

окунь – $\text{Zn} > \text{Co} > \text{Pb} > \text{Mn} > \text{Hg} > \text{Cd}$

щука – $\text{Zn} > \text{Mn} \geq \text{Pb} > \text{Co} > \text{Hg} > \text{Cd}$

Распределение металлов по уменьшению величин их концентрации по органам специфично для каждой выборки рыб, однако имеются некоторые общие черты. В целом в печени и мышцах преобладает цинк, минимальные концентрации характерны для свинца, ртути и кадмия. Это можно объяснить интенсивной аккумуляцией в организме элементов, которые принимают активное участие в физиологических процессах (дыхании, кроветворении, депонировании, выделении и др.) [8, 9]. Высокие концентрации цинка, возможно, связаны с тем, что этот металл в основном поступает в поверхностные воды в результате разрушения и растворения горных пород и минералов, главным образом сфалерита – одного из главных рудных минералов Холодинского месторождения. Выявлено более высокое содержание марганца в печени, чем в мышечной ткани, что, по видимому, связано с его ролью в составе или активации различных ферментов, например ксантинооксидазы, аминоксил-тРНК-синтетазы, диаминооксидазы, супероксиддисмутазы и т. д. [10]. Обнаружено меньшее содержание свинца в мышцах, чем в печени, что отмечено и в ряде других исследований мышц рыб [11, 12]. Весьма значительным источником ртути и кадмия для водных объек-

Концентрации металлов в органах рыб р. Кичеры, мкг/г сырой массы $\pm m_x$

Орган	Вид	Пол	Zn	Mn	Pb	Cd	Co	Hg
Мышцы	Плотва	♂ (n = 4)	4,81±0,32	0,22±0,03	0,30±0,12	0,10±0,10	0,09±0,04	0,01±0,00
		♀ (n = 10)	5,84±1,40	0,37±0,17	0,20±0,08	0,09±0,06	0,20±0,05	0,02±0,01
	Окунь	♂ (n = 7)	4,33±0,28	0,18±0,03	0,11±0,05	–	0,26±0,16	0,04±0,01
		♀ (n = 10)	5,85±0,29	0,22±0,03	0,29±0,07	0,02±0,01	0,23±0,07	0,04±0,01
	Щука	♂ (n = 10)	2,88±0,16	0,11±0,06	0,07±0,03	–	0,10±0,07	0,07±0,02
		♀ (n = 10)	3,68±0,12	0,14±0,02	0,19±0,02	0,01±0,00	0,13±0,02	0,08±0,02
Печень	Плотва	♂ (n = 2)	18,26±8,50	4,09±3,70	–	–	1,78±1,78	0,02±0,00
		♀ (n = 5)	42,26±6,29	2,54±0,40	–	–	2,25±1,15	0,02±0,00
	Окунь	♂ (n = 6)	53,56±17,66	2,24±0,38	1,97±1,12	0,28±0,12	3,52±0,81	0,02±0,00
		♀ (n = 6)	19,42±2,97	1,46±0,63	1,53±0,58	0,03±0,03	2,00±0,32	0,02±0,00
	Щука	♂ (n = 10)	36,18±6,99	0,59±0,00	0,40±0,40	–	0,39±0,16	0,02±0,01
		♀ (n = 10)	40,36±8,71	1,11±0,41	0,56±0,15	0,02±0,02	0,87±0,69	0,03±0,01

Примечание. Прочерк – меньше предела обнаружения, составляющего для Pb 0,016 мкг/г; Cd – 0,0028 мкг/г; m_x – стандартная ошибка среднего значения.

тов служат некоторые районы залегания минералов-концентраторов, к числу которых относится сфалерит. Замечено превалирование ртути над кадмием в мышцах, что, возможно, связано с высоким сродством ртути с белками, содержание которых в мышечной ткани выше, чем в других органах и тканях [13–15].

Металлы в органах и тканях рыб распределены неравномерно, что связано с их разными физиологическими функциями и, следовательно, с различной “биохимией” тканевых процессов, а межвидовые различия обус-

ловлены преимущественно характером питания [16, 17]. Так, метод главных компонент позволил нам различить разные таксономические виды рыб по накоплению металлов в печени (рис. 1).

Увеличение концентрации токсиканта при переходе от низших трофических уровней экосистемы к высшим в нашем случае наблюдается только по ртути и наиболее выражено в мышечной ткани (рис. 2). В мышцах плотвы содержание ртути составляет в среднем 0,013 мкг/г, а в мышцах окуня и щуки – 0,041 и 0,074 мкг/г соответственно. Этот металл является чрезвычайно опасным для жизнедеятельности гидробионтов. Он накапливается в различных звеньях трофических цепей за счет способности живых организмов аккумулировать этот металл до концентраций, в сотни и тысячи раз превосхо-

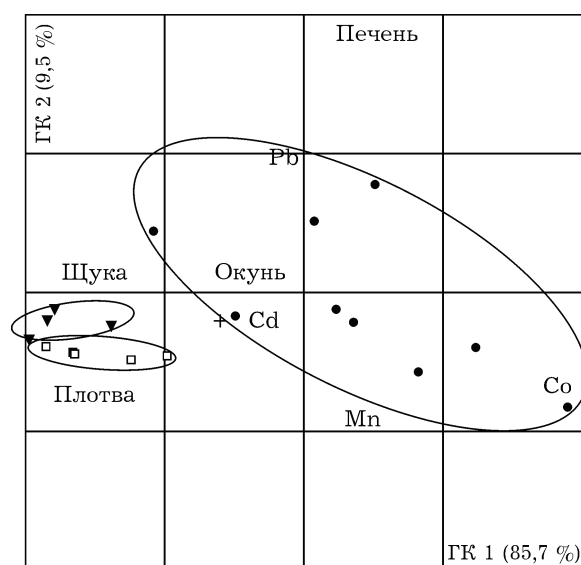


Рис. 1. Метод главных компонент. Распределение образцов рыб различного трофического уровня по накоплению металлов в печени

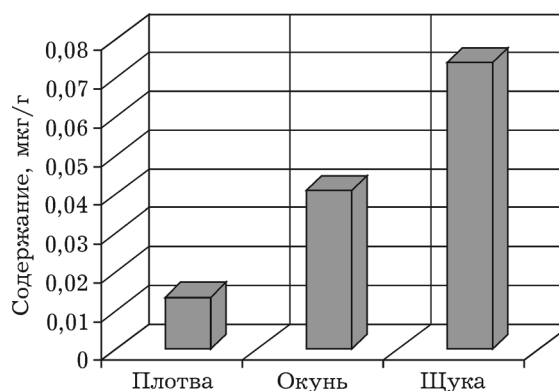


Рис. 2. Содержание ртути в мышцах рыб различного трофического уровня

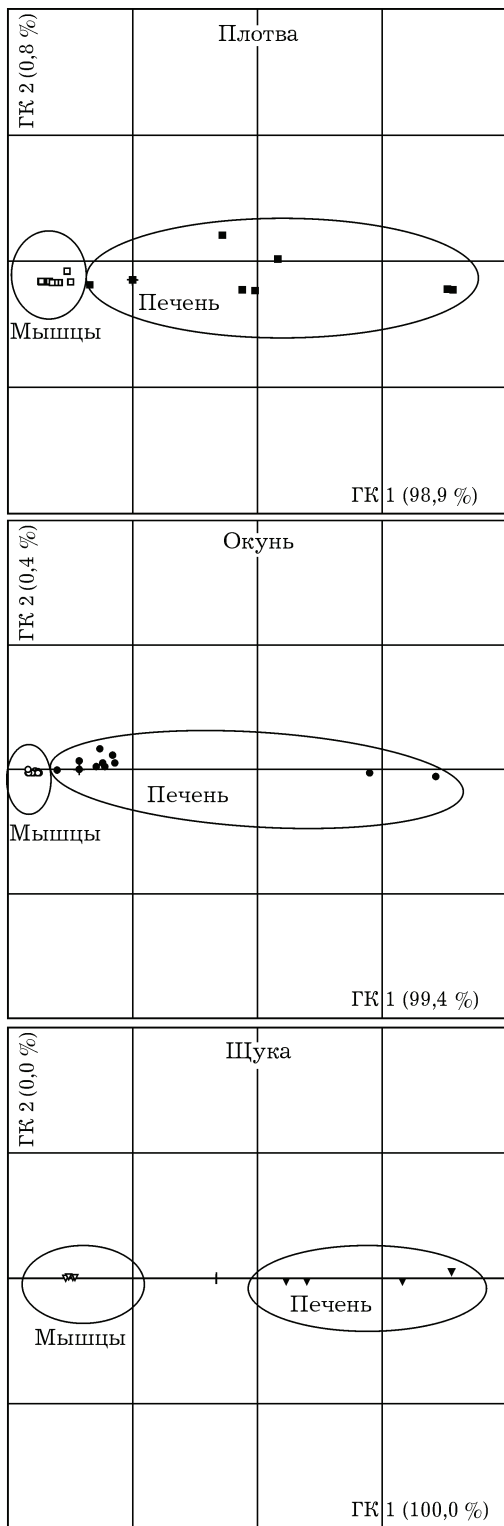


Рис. 3. Метод главных компонент. Распределение образцов по накоплению металлов в мышцах и печени

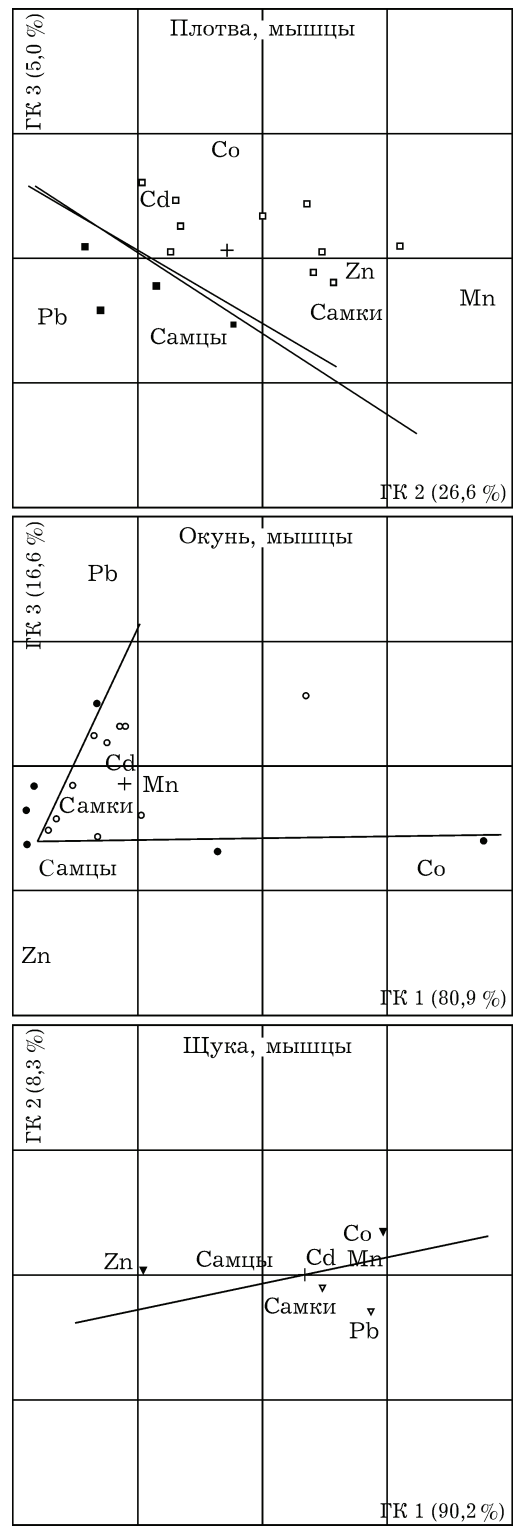


Рис. 4. Метод главных компонент. Распределение образцов в мышцах различных рыб в зависимости от пола

Средние значения концентраций металлов в органах и допустимые остаточные концентрации для разных видов рыб, мкг/г сырой массы

Орган	Образец	Zn	Mn	Pb	Cd	Co	Hg
Мышцы	Плотва	5,54	0,33	0,23	0,09	0,17	0,01
	ДОК (для нехищных)	40,00	*	1,00	0,20	0,5	0,30
	Окунь	5,22	0,20	0,22	0,01	0,24	0,04
	Щука	3,28	0,12	0,13	≤	0,11	0,07
	ДОК (для хищных)	40,00	*	1,00	0,20	0,5	0,60
Печень	Плотва	35,40	2,98	≤	≤	2,11	0,02
	ДОК (для нехищных)	*	*	1,00	0,20	0,5	0,30
	Окунь	39,90	1,93	1,79	0,18	2,91	0,02
	Щука	38,27	0,85	0,48	0,01	0,63	0,02
	ДОК (для хищных)	*	*	1,00	0,20	0,5	0,60

П р и м е ч а н и е. ≤ – меньше предела обнаружения (Pb 0,016 мкг/г; Cd 0,0028 мкг/г); * – не нормируется.

дящих его содержание в окружающей среде. Исследования [18–19] показали, что содержание ртути в пище и окружающей среде определяет его уровень в гидробионтах. Так, характер питания беспозвоночных практически не влияет на содержание ртути в их теле [18, 20], и лишь хищные гидробионты, находящиеся в конце пищевой цепи, накапливают более высокие концентрации ртути [21–23].

Наибольший интерес для нашего исследования представляет печень, как орган, где происходит детоксикация ксенобиотиков. Из исследованных нами металлов в большем количестве в печени накапливаются цинк, марганец, свинец, кадмий и кобальт. Однако, несмотря на относительно низкие концентрации металлов в мышцах, их вполне можно отнести к депонирующим органам из-за значительно большей (по сравнению с печенью) относительной массы.

Применение метода главных компонент показало различие в накоплении металлов органами рыб, наиболее выраженное в образцах щук (рис. 3). Выявлены половые различия в депонировании металлов в мышцах всех исследованных рыб (рис. 4), тогда как в печени подобное не наблюдалось.

В проведенном ранее исследовании [2] выявлено, что различные виды рыб отличаются значительной гетерогенностью: одни виды предпочитают находиться в зоне загрязнения (плотва), другие обладают ярко выраженной реакцией избегания районов загрязнения (щука). Из исследованных видов плотва накапливает максимальные кон-

центрации металлов. Так, по снижению уровня Zn, Mn, Pb и Cd в мышечной ткани плотва стоит на первом месте, затем следуют окунь и щука.

Концентрации металлов в мышцах и печени исследованных рыб не превышают допустимые остаточные, исключением является свинец (табл. 2). По содержанию свинца в печени наблюдается превышение ДОК у половины из исследованных окуней. Известно, что при длительном воздействии на рыб, находящихся на верхних уровнях трофической цепи, даже малых концентраций свинца происходит нарастание токсического влияния, а не адаптация к нему [24]. Механизм участия свинца в обменных процессах и его токсическое действие при этом недостаточно изучены. Однако надо помнить, что ДОК в рыбопродуктах определяют их качество по отношению к здоровью человека. Каково влияние металлов в тех или иных концентрациях на самих рыб, остается неизвестным.

Таким образом, выявлено, что даже в относительно чистом районе оз. Байкал наблюдается накопление тяжелых металлов у пресноводных видов рыб. Концентрации металлов (за исключением свинца) не превышают принятых санитарных нормативов. В случае продолжения работ, связанных с разработкой Холоднинского месторождения полиметаллических руд, необходимо вести мониторинг дальнейшей динамики накопления металлов в организме гидробионтов, что позволит, используя методы ихтиоиндикации, оценивать антропогенную нагрузку на экосистему.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руднева Н. А. Тяжелые металлы и микроэлементы в гидробионтах Байкальского региона. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2001. 136 с.
2. Давыдова С. Л., Тагасов В. И. Тяжелые металлы как сверхтоксиканты 21 века. М.: РУДН, 2002. 140 с.
3. ГОСТ 26929-94 "Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов".
4. ГОСТ 26927-86 "Сырье и продукты пищевые. Методы определения ртути".
5. Санитарные правила и нормы (СанПиН) 2.3.2.560-96. М.: Пищевая пром-сть, 1997.
6. Зиновьев А. Ю. Визуализация многомерных данных. Красноярск: КГТУ, 2000. 180 с.
7. Померанцев А. Л. Анализ многомерных данных: [сайт]. URL: <http://www.chemometrics.ru/materials/textbooks/pca.htm>
8. Патин С. А., Морозов Н. П. Микроэлементы в морских организмах и экосистемах. М., 1981.
9. Попов П. А., Андросова Н. В., Аношин Г. Н. Накопление и распределение тяжелых и переходных металлов в рыбах Новосибирского водохранилища // Вопросы ихтиологии. 2002. Т. 42, № 2. С. 264–270.
10. Sures B., Steiner W., Rydlo M., Taraschewski H. Concentrations of 17 elements in Zebra mussel (*Dreissena polymorpha*), in different tissues of Perch (*Perca fluviatilis*), and in perch intestinal parasites (*Acanthocephalus lucii*) from the subalpine lake Mondsee (Austria) // Environmental Toxicology and Chemistry. 1999. N 18 (11). P. 2574–2579.
11. Bradley R. W., Morris J. R. Heavy metals in fish from a series of metal contaminated lakes near Sudbury Ontario // Water Air Soil Pollut. 1986. N 27. P. 341–354.
12. Wagner A., Boman J. Biomonitoring of trace elements in muscle and liver tissue of freshwater fish // Spectrochimica Acta, Part B: Atomic Spectroscopy. 2003. N 58. P. 2215–2226.
13. Лукьяненко В. И. Общая ихтиотоксикология. М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1983. 320 с.
14. Петухов С. А., Морозов Н. П. К вопросу о "видовых" различиях микроэлементного состава рыб // Вопросы ихтиологии. 1983. Т. 23, № 5. С. 870–873.
15. Богдановский Г. А. Химическая экология: учебное пособие. М.: МГУ, 1994. 237 с.
16. Морозов Н. П., Петухов С. А. Микроэлементы в промышленной ихтиофауне Мирового океана. М.: Агропромиздат, 1986. 160 с.
17. Сторожук А. Я., Никоненко Е. М. // Научные доклады высшей школы. Биологические науки. 1978. № 12. С. 84–88.
18. Никаноров А. М., Жулидов А. В. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 312 с.
19. Balogh K., Salanki J., Varanka I. Heavy metals in freshwater organisms in the catchment area of Lake Balaton // Conserv. and Manag. Lakes. Budapest: Akadémiai Kiadó, 1989. P. 281–289.
20. Cushing D. H. A balanced science of renewable resources with particular reference to fisheries // Marine Policy. 1979. Vol. 3, Issue 3. P. 245–246.
21. Bache C. A., Gutenmann W. H., Lisk D. J. Residues of total mercury and methylmercuric salts in lake trout as a function of age // Science. 1971. Vol. 172(986). P. 951–952.
22. Fagerstrom T., Jernelov A. Some aspects of the quantitative ecology of mercury // Water Res. 1972. Vol. 6. P. 1193–1202.
23. Potter L., Kidd D., Standiford D. Mercury levels in Lake Powell – Bioamplification of mercury in man-made desert reservoir // Environmental Science Technology. 1975. Vol. 9. P. 41–46.
24. Ноздрюхина Л. П. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. М.: Наука, 1977. 183 с.

Content and Character of the Accumulation of Metals in Fish from the Kichera River (a Tributary of Lake Baikal)

E. Ts. PINTAEVA¹, S. V. BAZARSADUEVA¹, L. D. RADNAEVA^{1,2},
E. A. PETROV³, O. G. SMIRNOVA³

¹ Baikal Institute of Nature Management SB RAS
670047, Ulan-Ude, Sakhyanova str., 6
E-mail: e-pimtaeva@yandex.ru

² Buryat State University
670000, Ulan-Ude, Smolin str., 24a

³ PC "Vostsibrybtsentr"
670034, Ulan-Ude, Khakhalov str., 4-b

Metal content (Mn, Zn, Pb, Cd, Co and Hg) in the muscular tissue and liver of the fish of different trophic levels from the Kichera river (Severobaikal'sky Region, Republic of Buryatia) was investigated.

Key words: roach, perch, ged, biomonitoring.