УДК 504.054

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНАХ И ТКАНЯХ РЫБ БУХТАРМИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Е.В. Куликова
Н.А. Тирская

В статье представлены сведения о содержании тяжелых металлов в органах и тканях (мышцы, печень, жабры) двух видов рыб – леща и судака из Бухтарминского водохранилища. По результатам исследований выявлено, что в организмах рыб накапливаются, в основном, медь и цинк, в незначительных количествах – свинец и кадмий. Печень и жабры характеризуются интенсивной аккумуляцией элементов, что обусловлено их функциональными особенностями. Существуют различия в накоплении микроэлементов в зависимости от условий обитания, видовой принадлежности и типа питания рыб.

Основными загрязнителями водной среды в Восточном Казахстане являются тяжелые металлы, в связи с ярко выраженной специализацией региона в отраслях цветной металлургии и горнодобывающей промышленности. Загрязнению подвергается большинство водоемов Иртышского бассейна, не стало исключением и Бухтарминское водохранилище. В районе горной части водохранилища расположены рудники и перерабатывающие предприятия, которые сбрасывают загрязняющие вещества с промстоками в водоем. Кроме того, загрязняющие вещества могут поступать в озерную часть водоема (озеро Зайсан) с водами Черного Иртыша с территории Китая. На участке реки Черный Иртыш в пределах Казахстана отсутствуют прямые сбросы промышленных предприятий.

Рыбы являются важным звеном в трофической организации экосистемы. В течение всего жизненного цикла рыб металлы из окружающей среды и кормового субстрата поступают в организм и аккумулируются в различных органах и тканях, отражая гидрогеохимические условия и загрязнение водоемов. Накопление микроэлементов в организмах рыб отрицательно отражается на их жизнеспособности. В этой связи интерес пред-

ставляет выявление особенностей накопления и распределения тяжелых металлов в рыбах Бухтарминского водохранилища.

Материалы и методы исследований. В 2007 году авторами проведены исследования содержания тяжелых металлов в различных органах и тканях рыб. В качестве биообъектов были выбраны наиболее массовые в водохранилище промысловые виды рыб – лещ и судак. Лещ относится к семейству карповых, по типу питания является бентофагом. Судак – хищник, представитель семейства окуневых. Лещ и судак распространены по всей акватории Бухтарминского водохранилища. Лещ встречается во всех биотопах водохранилища, включая озеро Зайсан. Судак – обитатель открытых, свободных от растительности участков водной толщи. Основное стадо судака концентрируется в озерной и озерно-речной частях водохранилища, в глубоководной части (горной и горно-долинной), в основном, встречаются младшевозрастные особи, не охваченные промыслом.

Пробы органов и тканей рыб (печень, жабры, мышцы) отбирались у рыб разных возрастных групп из различных частей водоема (рис. 1) и в свежем виде доставлялись в лабораторию. На базе ГУ «ВКО центра санитарно-эпидемиологической экспертизы» в пробах после сухой минерализации атомно-абсорбционным методом определялись тяжелые металлы (медь, цинк, свинец, кадмий). Всего было отобрано и обработано 76 образцов органов и тканей.

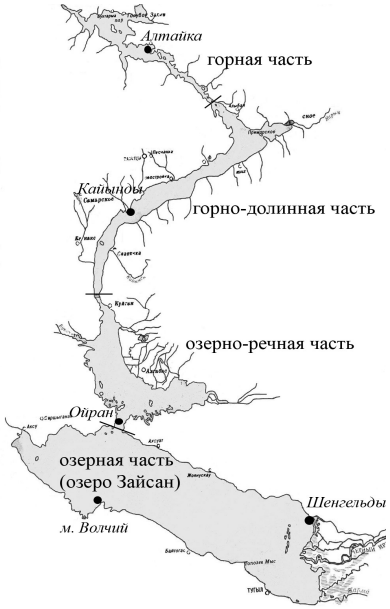

Рис. 1. Карта-схема станций отбора проб.

Результаты исследований. В табл. 1 представлены результаты токсикологических исследований в воде Бухтарминского водохранилища. Во всех зонах водохранилища, за некоторым исключением, нарушение границ рыбохозяйственных ПДК по цинку и меди не было зафиксировано [1]. Количество меди во всех частях, кроме Тарбагатайского побережья (юг озера Зайсан), было незначительным и колебалось в пределах от 0,00 до 0,06 мкг/дм^3, содержание цинка варьировало от 5,99 до 9,73 мкг/дм^3. Отмечались единичные случаи превышения пределов рыбохозяйственных ПДК (ПДК$_{рх}$): по меди – в районе Камышзавода – мыса Тополев (юго-восток озера Зайсан) – 1,5…2,1 ПДК$_{рх}$; по цинку – в районе залива Кара-Жорга (горно-долинная часть) – 1,2 ПДК$_{рх}$.

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в воде Бухтарминского водохранилища, 2007 г.

Часть водоема	Тяжелые металлы, мкг/дм^3	
	медь	цинк
озерная		
Тарбагатайское (южное) побережье	0,95	8,37
Курчумское (северное) побережье	0,00	5,99
В целом:	0,61 ± 0,2	7,51 ± 0,4
речная		
озерно-речная	0,06	7,23
горно-долинная	0,00	9,73
горная	0,00	9,13
В целом:	0,03 ± 0,0	8,54 ± 0,5

В связи с поступлением в Бухтарминское водохранилище промстоков, несущих тяжелые металлы говорить о благополучном состоянии водоема, как среды обитания водных организмов, нельзя. Кроме того, долгосрочное воздействие загрязненных вод на водоем ведет к накоплению токсикантов в донных отложениях, из-за чего происходит вторичное загрязнение водной среды за счет миграции нерастворимых форм металлов. Загрязнение среды обитания влечет за собой аккумуляцию токсикантов в органах и тканях рыб. Накопление токсикантов в организмах рыб является промежуточным звеном между содержанием загрязнителей в воде и изменениями в организме. Если содержание или отсутствие токсических элементов в воде является основополагающим фактором изменений в организмах и популяциях, то накопление этих же элементов в организме – следствием загрязнения воды.

Результаты анализа данных по содержанию тяжелых металлов в рыбе показали, что в целом во всех органах и тканях рыб из Бухтарминского водохранилища в больших количествах присутствовали два микроэлемента – медь и цинк, доля свинца и кадмия была невелика. В большинстве случаев, максимальные количества меди и кадмия обнаруживались в печени, цинка и свинца – в жабрах (табл. 2).

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в органах и тканях рыб Бухтарминского водохранилища в 2007 году (в среднем по различным органам)

Часть водоема и станция наблюдения	Вид рыбы	Органы и ткани рыб	Содержание металлов, мг/кг			
			медь	цинк	свинец	кадмий
Северо-восток озера Зайсан, Шенгельды	лещ	печень	3,00	3,17	0,13	0,24
		жабры	2,49	2,50	0,03	0,02
		мышцы	0,98	4,03	0,01	0,06
		в среднем	2,16	3,23	0,06	0,11
	судак	печень	1,71	2,80	0,01	отс.
		жабры	2,30	2,82	0,03	отс.
		мышцы	0,74	3,90	0,02	отс.
		в среднем	1,58	3,17	0,02	отс.
Юго-запад озера Зайсан, мыс Волчий	лещ	печень	9,60	2,63	0,01	0,02
		жабры	1,79	4,80	0,04	отс.
		мышцы	0,72	1,90	0,02	отс.
		в среднем	4,04	3,11	0,02	0,01
	судак	печень	5,40	3,32	отс.	отс.
		жабры	2,29	6,30	0,02	отс.
		мышцы	0,18	2,05	0,02	0,01
		в среднем	2,62	3,89	0,01	отс.
Озерно-речная часть, Ойран	лещ	печень	11,10	6,43	0,01	0,04
		жабры	1,53	5,43	0,06	отс.
		мышцы	0,49	0,70	0,01	отс.
		в среднем	4,37	4,19	0,03	0,01
	судак	печень	10,70	5,65	отс.	0,03
		жабры	1,40	3,85	0,03	отс.
		мышцы	0,86	0,68	отс.	0,02
		в среднем	4,32	3,39	0,01	0,02

Часть водоема и станция наблюдения	Вид рыбы	Органы и ткани рыб	Содержание металлов, мг/кг			
			медь	цинк	свинец	кадмий
Горно-долинная часть, Кайынды	лещ	печень	46,40	8,05	0,04	0,12
		жабры	0,23	18,8	0,01	0,14
		мышцы	6,26	0,67	0,02	0,03
		в среднем	17,63	9,17	0,02	0,10
Горная часть, Алтайка	лещ	печень	11,10	2,05	отс.	0,01
		жабры	0,77	6,60	0,07	отс.
		мышцы	отс.	1,80	0,03	отс.
		в среднем	3,96	3,48	0,03	0,00

Медь аккумулируется в значительных количествах во всех органах и тканях рыб, накопление в долевом отношении идет в следующем порядке: печень > жабры > мышцы. Выделяется из этого ряда накопление меди в горно-долинной части, где содержание в мышцах стоит на втором месте после печени (табл. 3).

Таблица 3

Распределение меди и цинка в органах и тканях рыб (в порядке убывания их содержания) в различных частях Бухтарминского водохранилища

Токсиканты	Озерная часть		Озерно-речная часть	Горная часть	Горно-долинная часть
	Тарбагатайское побережье	Курчумское побережье			
Медь	п > ж > м				п > м > ж
Цинк	ж > п > м	м > п > ж	п > ж > м	ж > п > м	

Примечание: п – печень; ж – жабры; м – мышцы.

Концентрации цинка, так же как и меди, в значительных количествах были обнаружены во всех органах и тканях, но наблюдались отличия в накоплении в рыбах из различных частей водоема. Так, в озерно-речной части водоема по цинку наибольшие концентрации сосредоточены в печени, наименьшие – в мышцах. В юго-западной части озера Зайсан и в глубоководной части, на первом месте по уровню накопления цинка были жабры, а на последнем – мышцы. Северо-восточная часть озера Зайсан несколько отличалась от остальных частей Бухтарминского водохранилища, тем, что там отмечалось высокое содержание цинка в мышцах и печени, и, незначительное – в жабрах (см. табл. 3).

Прослеживая способность металлов к накоплению в органах и тканях рыб, необходимо учитывать их трофический уровень, определяющий механизм поступления и особенности накопления металлов, а также видовую принадлежность особи и место обитания. Исходя из этого, нами построены ранжируемые ряды по убыванию содержания различных металлов в рыбах с учетом пространственного распределения (рис. 2).

Лещ из озерной части Бухтарминского водохранилища
Zn > Cu > Cd > Pb

Лещ из речной части Бухтарминского водохранилища
Cu > Zn > Cd > Pb

Судак из озерной части Бухтарминского водохранилища
Zn > Cu > Pb

Судак из речной части Бухтарминского водохранилища
Cu > Zn > Cd > Pb

Рис. 2. Схема распределения содержания металлов в организмах исследуемых видов рыб.

На схеме видно, что в озерной части в организмах и судака, и леща по содержанию превалирует цинк, а в речной части – медь. Кроме того, необходимо отметить, что в судаке из озерной части не было отмечено аккумуляции кадмия, оказывающего наиболее токсичное действие на организм рыбы, нежели медь и цинк, а содержания последних двух элементов были ниже, чем в судаке из речной части. Следовательно, судак из озерной части водоема, по сравнению с судаком из речной части, находится в более благополучном состоянии.

Существуют различия и в накоплении металлов по участкам озерной и речной зон. Так, по озеру Зайсан (озерная часть) обнаружено, что в пробах органов леща с северо-востока (близ дельты р. Черный Иртыш) среднее содержание свинца и кадмия было в 3…11 раз выше, а меди – в 1,9 раз ниже, чем в аналогичных пробах с юго-запада (см. табл. 2). В отношении судака наблюдалась аналогичная картина: близ дельты идет накопление свинца, а на противоположной оконечности озера – меди. В речной части водохранилища наиболее высокие концентрации по всем токсикантам были зафиксированы у леща (Кайынды), где среднее содержание

меди в 4…4,5 раза, цинка в 2…2,5 раза, кадмия в 10 раз больше, чем в озерно-речной (Ойран) и горной частях (Алтайка) (см. табл. 2).

Выявлены некоторые особенности накопления тяжелых металлов в органах и тканях рыб в зависимости от их видовой принадлежности и возраста. Лещ обладает свойством накапливать медь в несколько больших количествах, чем другие микроэлементы. У младше- и средневозрастных особей накопление идет в печени, у старшевозрастных – в жабрах. Судак же в больших количествах аккумулирует другой биофильный элемент – цинк. У младшевозрастных судаков более высокие концентрации цинка наблюдались в мышцах и жабрах, у средневозрастных – в жабрах и печени. Максимальные концентрации свинца и кадмия обнаружены в печени старшевозрастных лещей, минимальные – в печени младшевозрастных групп судака (табл. 4).

Таблица 4

Особенности распределения тяжелых металлов в органах и тканях рыб различных возрастных групп

Вид рыб	Возрастная группа	Органы и ткани	Содержание тяжелых металлов, мг/кг			
			цинк	медь	свинец	кадмий
Лещ	младше-возрастные	печень	2,25	7,30	0,08	0,01
		жабры	5,60	0,35	0,05	0,03
		мышцы	1,55	0,48	0,02	0,03
		в среднем	3,13	2,71	0,05	0,02
	средне-возрастные	печень	2,95	9,35	отс.	0,03
		жабры	1,20	1,13	0,06	0,01
		мышцы	2,45	0,65	отс.	0,02
		в среднем	2,20	3,71	0,02	0,02
	старше-возрастные	печень	3,50	2,25	0,13	0,35
		жабры	4,15	4,95	0,02	отс.
		мышцы	4,91	1,42	0,03	0,05
		в среднем	4,19	2,87	0,06	0,13
Судак	младше-возрастные	печень	1,57	2,95	отс.	отс.
		жабры	3,32	2,29	0,05	отс.
		мышцы	3,95	0,48	0,03	0,03
		в среднем	2,95	1,91	0,03	0,01
	средне-возрастные	печень	4,55	4,16	0,01	отс.
		жабры	5,80	2,30	0,01	отс.
		мышцы	2,00	0,44	0,03	0,01
		в среднем	4,12	2,30	0,02	0,00

При количественном сравнении суммарного накопления тяжелых металлов в организмах рыб выявлено, что более подвержены аккумуляции органы и ткани леща, чем судака. В качественном отношении, лещ также в более тяжелом положении – идет накопление как биофильных элементов (меди и цинка), так и ксенобиотических (кадмия).

Согласно Санитарным правилам и нормам [2], содержание свинца в проанализированных пробах находилось в пределах нормы. По содержанию кадмия обнаружено превышение МДУ в печени леща в 3,5 раза (в районе с. Шенгельды). В настоящее время, в существующих нормативных документах, содержание меди и цинка в рыбе не оговаривается. В прежних «Санитарных правилах…» [3], действовавших до 2003 г., и утративших силу в настоящее время, содержание меди и цинка в рыбе нормировалось в 10 и 40 мг/кг, соответственно. Если сравнивать с этими значениями, то нами зарегистрировано 6 случаев превышения МДУ по меди, в основном, у леща (1,1…8,3 МДУ), для судака случай был единичным (1,9 МДУ).

Выводы. Уровень накопления металлов в рыбе во многом определяется видовыми и возрастными особенностями рыб, типом питания и местом обитания особей.

По результатам исследований было выявлено следующее:

1. Высокое содержание в организмах рыб Бухтарминского водохранилища меди и цинка, по сравнению, со свинцом и кадмием.

2. Установлена неоднородность содержания тяжелых металлов в органах и тканях рыб. Распределение идет в следующем убывающем порядке: печень > жабры > мышцы.

3. Видовая специфичность в накоплении металлов: лещ накапливает медь, судак – цинк.

4. Обнаружены особенности аккумуляции в зависимости от типа питания. Бентофаги (лещ) более подвержены накоплению тяжелых металлов в организме, чем хищники (судак). Это выражается как в количественном (суммарное содержание токсикантов в органах и тканях леща значительно выше, чем у судака), так и в качественном (у леща кроме биофильных элементов – меди и цинка, идет накопление ксенобиотика – кадмия) отношении.

5. Выяснены отличия в содержании токсикантов в организмах рыб из двух зон водохранилища – озерной и речной. В органах леща из речной части содержание меди и цинка гораздо выше, чем из озерной. Свинец и кадмий присутствуют в более высоких концентрациях в леще из озерной

части. Судак из речной части, по сравнению с «озерным», накапливает большее количество меди и кадмия и меньшее – свинца.

6. Отмечено повышение концентраций металлов в организмах рыб от младших возрастных групп к старшим.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обобщенный перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов: Утв. Нач. Главрыбвода Минрыбхоза СССР В.А. Измайловым 09.08.90. – М.: 1990. – 46 с.
2. Санитарные правила и нормы № 4.01.071.03 «Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов»: Утв. Прик. Мин. здравоохранения РК 11.06.2003 № 447. – Астана.: 2003. – 157 с.
3. Санитарные правила и нормы № 2.3.2.560-96/4.01.047-97 «Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов»: Утв. Пост. Госкомсанэпеднадзора 24.10.1996 № 27. – М.: 1996. – 267 с.

Алтайский филиал КазНИИ рыбного хозяйства, г. Усть-Каменогорск

БҰҚТЫРМА СУ ҚОЙМАСЫНДАҒЫ БАЛЫҚТАРДЫҢ МҮШЕЛЕРІ МЕН ҰЛПАЛАРЫНДАҒЫ АУЫР МЕТАЛДАРДЫҢ ТАРАЛУЫ МЕН ЖИНАЛУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Е.В. Куликова
Н.А. Тирская

Бұл мақалада Бұқтырма су қоймасындағы көксерке мен табан балықтарының (бұлшық ет, бауыр, желбезек) мүшелері мен ұлпаларындағы ауыр металдардың құрамы туралы мәліметтер көрсетілген. Зерттеулердің нәтижесі аз мөлшерде қорғасын мен кадмий және мыс пен мырыш негізінен балықтардың ағзасында жиналатынын анықталды. Күшті аккумулятивті элемент ретінде бауыр мен желбезек сипатталып, бұндай болуы олардың функционалды ерекшеліктеріне байланысты болды. Қоректену түріне және түрдік жатуына, мекен ету ортасына байланысты микроэлементтердің жиналуында айырмашылық байқалды.