

УДК 504.054

О.В. Савинкова \*

Н.А. Тирская \*

**СТЕПЕНЬ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНАХ И  
ТКАНЯХ ЛЕЩА И СУДАКА ОЗЕРА ЗАЙСАН***ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, СТЕПЕНЬ НАКОПЛЕНИЯ, ЗАКОНОМЕРНОСТЬ, ОРГАНЫ И ТКАНИ РЫБ, БЕНТОФАГ, ХИЩНИК, ОЗЕРО ЗАЙСАН*

*В статье представлены сведения о распределении и накоплении тяжелых металлов в органах и тканях (печень, жабры, мышцы) леща и судака, выловленных из озера Зайсан в районе Тарбагатайского побережья. Установлены закономерности распределения токсикантов (медь, цинк, кадмий, свинец) в исследованных органах рыб в зависимости от видовой принадлежности особи, возраста, типа питания, местообитания, функциональных особенностей органов и физико-химических свойств металла.*

В рыбохозяйственные водоемы поступает большое количество вредных веществ, многие из которых обладают биологической активностью и способны аккумулироваться в тканях гидробионтов. В их число входят приоритетные загрязнители как органической, так и неорганической природы. Среди всех известных поллютантов, тяжелые металлы представляют наибольший интерес ввиду их стабильности в водной среде, способности к аккумуляции, трансформации внутри биоценоза водоема и высокой токсичности для водных организмов.

Большинство тяжелых металлов в естественных условиях представляют собой микроэлементы, необходимые для развития гидробионтов и способные, подобно биогенным соединениям, вызывать лимитирование роста при их дефиците, но в больших количествах они являются ксенобиотиками [3]. При этом воздействие низких концентраций тяжелых металлов на гидробионты в условиях постоянного загрязнения водных объектов является довольно опасным: уменьшаются индексы видового разнообразия, нарушаются темпы и процессы биопродуцирования, происходит смена доминантных видов биоценоза и т.д. [5].

---

\* Алтайский филиал ТОО «КазНИИРХ», г. Усть-Каменогорск, ВКО.

Уровень накопления тяжелых металлов в различных органах и тканях рыб зависит, главным образом, от видовой принадлежности особи, ее возраста и физиологического состояния, типа питания, а также условий среды, в которой формируется доза воздействия [2]. В соответствии с требованиями, предъявляемыми Объединенной Комиссией ФАО/ВОЗ по пищевому кодексу, наиболее важен контроль содержания в рыбе следующих микроэлементов: кадмия, свинца, меди, цинка, ртути [7].

Цинк и медь – как эссенциальные элементы – имеют высокую физиологическую значимость для жизнедеятельности любого вида рыб. В частности, по степени биологического поглощения цинк сопоставим с такими элементами, как калий, кальций и магний. Кроме того, для цинка характерны синергетические свойства: комбинация цинка и меди для рыб во много раз токсичнее, чем каждый элемент в отдельности [3].

Свинец и кадмий – наиболее распространенные токсические элементы-ксенобиотики, представляющие серьезную угрозу для гидробионтов. Включаясь в метаболический цикл, могут вызывать различные физиологические, генетические нарушения. При повышенных концентрациях они проявляют высокую токсичность, оказывая вредное влияние на состояние, как отдельных организмов, так и экосистем в целом.

Среди трех основных групп рыбной части сообщества, различающихся по типу питания, фитофаги и бентофаги накапливают элементы в больших количествах, нежели хищники, что связано с накоплением тяжелых металлов в объектах их питания [1].

Знания о составе и количестве металлов в органах и тканях (прежде всего, в мышечной) промысловых рыб имеют важное практическое значение. Рыбы являются одним из компонентов пищевого рациона населения, и избыточное содержание металлов в рыбопродуктах, в конечном итоге, отражается на здоровье человека как потребителя продукции.

Целью настоящих исследований являлось определение содержания тяжелых металлов (медь, цинк, свинец, кадмий) в жабрах, печени и мышечной ткани разных видов рыб из озера Зайсан.

В качестве объекта исследования были выбраны представители основных промысловых видов рыб, различающихся по типу питания – лещ и судак. Судак – ценный объект промысла, хищник. Данный вид плохо переносит загрязнение водоемов и при попадании в них токсических веществ гибнет раньше большинства других видов рыб [4]. Лещ – ценная промысловая рыба с широким ареалом распространения. Данный вид яв-

ляется детритофагом и уровень накопления в нем химических веществ зависит не только от концентраций их в воде, но и в донных отложениях и в бентосных беспозвоночных.

Материалом исследований послужили органы и ткани рыб, отловленных в озере Зайсан в районе Тарбагатайского побережья (мыс Волчий и мыс Актубек). Пробы отбирались у свежепойманной рыбы у младше- и средневозрастной категории (по длине) рыб во время летних контрольных уловов ставными сетями. После отбора проб исследуемых гидробионтов органы и ткани рыбы были упакованы в герметичные полиэтиленовые пакеты и хранились в морозильной камере холодильника.

Определение меди, свинца, кадмия, цинка в пробах биологических образцов проводилось на базе санитарно-гигиенической лаборатории РГКП «ВКО ЦСЭЭ» с помощью атомно-абсорбционного и инверсионного вольтамперометрических методов. Результаты исследований представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в органах и тканях леща разных возрастных групп из озера Зайсан Тарбагатайского побережья за ряд лет

Органы рыб	Год исследования	Содержание тяжелых металлов, мг/кг			
		медь	цинк	кадмий	свинец
младшевозрастные					
Печень	2007	7,30	1,10	0,011	0,0440
	2013	1,70	0,18	0,036	0,0038
Жабры	2007	0,18	11,00	0,000	0,0470
	2013	0,00	0,02	0,000	0,0000
Мышцы	2007	0,27	2,70	0,000	0,0230
	2013	0,00	0,00	0,000	0,0006
средневозрастные					
Печень	2007	17,00	4,40	0,052	0,0000
	2010	4,60	5,10	0,039	0,0000
	2013	0,97	0,25	0,038	0,0320
Жабры	2007	1,60	1,00	0,000	0,0850
	2010	0,00	4,10	0,120	0,1200
	2013	0,40	0,31	0,042	0,0550
Мышцы	2007	0,00	2,20	0,000	0,0000
	2010	0,00	2,20	0,000	0,0260
	2013	1,51	0,10	0,000	0,0000
В среднем	2007	4,39	5,07	0,011	0,0330
	2013	0,76	0,14	0,019	0,0150

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в органах и тканях судака разных возрастных групп из озера Зайсан Тарбагатайского побережья за ряд лет

Органы рыб	Год исследования	Содержание тяжелых металлов, мг/кг			
		медь	цинк	кадмий	свинец
младшевозрастные					
Печень	2007	3,300	0,730	0,000	0,0000
	2013	0,000	0,092	0,026	0,0000
Жабры	2007	0,480	5,900	0,000	0,0470
	2013	0,001	0,230	0,043	0,0180
Мышцы	2007	0,360	1,300	0,005	0,0003
	2013	0,043	0,006	0,000	0,0060
средневозрастные					
Печень	2007	7,500	5,900	0,000	0,0000
	2013	0,000	0,017	0,002	0,0000
Жабры	2007	0,480	5,900	0,000	0,0470
	2013	0,000	0,210	0,005	0,0120
Мышцы	2007	0,002	2,800	0,023	0,0350
	2013	0,027	0,070	0,000	0,0000
В среднем	2007	2,020	3,760	0,005	0,0220
	2013	0,012	0,100	0,013	0,0060

В результате исследований выявлено, что среди определяемых элементов медь и цинк характеризовались наибольшими содержаниями во всех исследуемых органах и тканях, содержание свинца и кадмия было невелико. Данная закономерность проявлялась как у судака, так и у леща, причем независимо от их возрастных категорий и местообитания.

При сопоставлении полученных данных за разные годы исследований можно отметить, что среднее содержание тяжелых металлов в биологических образцах рыб в 2007 г. было значительно выше, чем в 2013 г.

По степени накопления в органах и тканях рыб (относительно среднего содержания) исследуемые тяжелые металлы можно расположить в следующий убывающий ряд:

Лещ:  $Cu (Zn) > Pb (Cd)$ ,  
Судак:  $Zn > Cu > Pb (Cd)$ .

Необходимо отметить, что в исследованных органах леща наблюдалось замещение одних металлов другими. При доминирующей роли ионов меди над цинком доля кадмия над свинцом возрастала, и наоборот. Распределение металлов в организме судака носило более стабильный характер: среднее содержание цинка превалировало над медью, происходило

лишь замещение свинца кадмием, и наоборот. Ниже представлена характеристика леща и судака по уровню накопления в них тяжелых металлов.

*Лещ.* Наибольшие концентрации поллютантов в организме леща отмечены в печени и жабрах. Это объясняется тем, что жабры непосредственно контактируют с водной средой, а печень является депонирующим органом, где накапливаются многие микроэлементы.

В отношении накопления цинка в органах и тканях леща каких-либо закономерностей не выявлено. Высокие концентрации этого элемента наблюдались как у рыб младшевозрастных групп, так и у средневозрастных групп в печени и жабрах в изучаемые годы исследований.

Медь аккумулировалась преимущественно в печени рыб. Для рыб с длиной тела до 21 см (младшевозрастная категория) прослеживалась некоторая особенность по степени накопления: печень > мышцы ≥ жабры. Для рыб с длиной тела от 22 до 29 см (средневозрастная категория) аналогичной закономерности не выявлено, высокие содержания отмечались, как в печени, так и в мышцах (табл. 1).

Кадмий и свинец являются наиболее токсичными элементами. Распределение кадмия по степени накопления в различных органах зависит от возраста рыбы. На рис. 1 представлены ряды по убыванию обнаруженных в них средних концентраций кадмия в органах и тканях разных возрастных категорий леща.

<i>Младшевозрастная группа</i>	<i>Средневозрастная группа</i>
<i>печень &gt; мышцы = жабры</i>	<i>жабры &gt; печень &gt; мышцы</i>

*Рис. 1. Схема распределения содержания кадмия в органах и тканях леща разных возрастных групп из озера Зайсан Тарбагатайского побережья.*

Основным депо по накоплению свинца для средневозрастной группы леща являются жабры, для младшевозрастной группы наряду с жабрами, повышенные концентрации отмечены также в печени (см. табл. 1).

*Судак.* При сопоставлении уровня накопления тяжелых металлов в органах и тканях судака, по сравнению с лещом, прослеживаются более четкие закономерности. Не зависимо от возрастной категории судака степень аккумуляции меди, свинца и кадмия выглядит следующим образом (рис. 2). По меди и кадмию выявлены различия в зависимости от местобитания данного представителя ихтиофауны.

На рис. 2 видно, что у судака озера Зайсан свинец в больших количествах накапливается в жабрах, медь – в печени и мышцах, кадмий – в жабрах и мышцах.

<i>Медь</i>	<i>печень &gt; мышцы &gt; жабры (мыс Волчий)</i> <i>мышцы &gt; жабры ≥ печень (мыс Актубек)</i>
<i>Свинец</i>	<i>жабры &gt; мышцы &gt; печень</i>
<i>Кадмий</i>	<i>мышцы &gt; жабры = печень (мыс Волчий)</i> <i>жабры &gt; печень &gt; мышцы (мыс Актубек)</i>

*Рис. 2. Схема распределения содержания свинца и кадмия в органах и тканях судака из озера Зайсан Тарбагатайского побережья.*

Наибольшие содержания цинка у судака отмечены в жабрах. Распределение цинка в двух других органах в пределах ранжированного ряда не выявило каких-либо закономерностей не зависимо от мест обитания и возраста (см. табл. 2).

При количественном сравнении среднего содержания тяжелых металлов в организмах разных видов рыб, выловленных в одной части озера, обнаружены различия в накоплении микроэлементов в зависимости от трофических групп рыб. Лещ (бенитофаг) обладает свойством аккумулировать рассматриваемые тяжелые металлы в несколько больших количествах, нежели судак (хищник). Следовательно, лещ, по сравнению с судаком, находится в менее благополучном состоянии.

Согласно Санитарным правилам и нормам [6], концентрации свинца и кадмия в проанализированных органах и тканях рыб не превышало максимально допустимый уровень (МДУ по свинцу = 1,0 мг/кг; по кадмию = 0,2 мг/кг для всех органов, кроме печени, 0,7 мг/кг – только для печени). Поскольку в данном нормативном документе отсутствуют сведения по МДУ содержания ионов меди и цинка, судить о превышении указанных элементов в органах рыб не представляется возможным.

**Выводы:**

1. Отмечено высокое содержание во всех рассмотренных органах и тканях рыб меди и цинка, минимальное – свинца и кадмия.
2. Содержание практически всех токсических веществ в анализируемых органах рыб в 2013 г., по сравнению с 2007 г., значительно снизилось, за исключением кадмия.
3. Установлены ранжированные ряды по степени накопления тяжелых металлов (относительно среднего содержания) для леща и судака.
4. Содержание тяжелых металлов находится в прямой зависимости от возраста рыбы. С увеличением возрастной категории возрастают концентрации металлов. Обнаружена особенность распределения кадмия в органах леща в зависимости от их возраста.

5. Распределение тяжелых металлов в органах леща и судака характеризуется неоднородностью, что определяется физико-химическими свойствами элементов, функциональными особенностями тканей и органов, эколого-биологическими характеристиками рыб. Аккумуляция тяжелых металлов у леща в большей степени наблюдается в печени и жабрах: медь концентрируется преимущественно в печени, свинец – в жабрах, цинк и кадмий – в печени и жабрах. Установленная закономерность у судака следующая: цинк накапливается преимущественно в жабрах, медь – в печени и мышцах, кадмий – в жабрах и мышцах, свинец – в жабрах.

6. Выявлено, что лещ (бентофаг) накапливает тяжелые металлы в большей степени, чем судак (хищник), что вызвано более высокими концентрациями элементов в объектах их питания.

7. Определена зависимость степени аккумуляции токсикантов (медь, кадмий) в различных органах судака от местообитания. Наибольшее содержание меди отмечено в печени и мышцах, кадмия – в мышцах и жабрах.

8. Выявлена видовая специфичность в накоплении металлов: лещ накапливает в больших количествах медь и цинк, судак – цинк.

9. Концентрации нормируемых токсичных элементов (свинец, кадмий) в органах и тканях обследованных рыб не превышали МДУ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов М.Я. Миграция тяжелых металлов в системе «водосбор-озеро Воже» и их накопление в рыбе // Экологическое состояние континентальных водоемов северных территории. – СПб.: Наука, 2005. – С. 248-257.
2. Зубкова Н.Н. Закономерности накопления микроэлементов и металлов в органах и тканях карповых рыб // Академику Л.С. Бергу 125 лет. Сб. научн. стат. – 2001. – С. 69-73.
3. Кленкин А.А., Кораблина И.В., Корпакова И.Г. Тяжелые металлы в промысловых рыбах Азовского моря // Вопросы рыболовства. – 2008. – Т. 9. – №2(34). – С. 503-512.
4. Никольский Г.В. Частная ихтиология. – М.: Высшая школа, 1971. – 471 с.
5. Патин С.А. Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа. – М.: ВНИРО, 1997. – 350 с.
6. Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к пищевой продукции». – Алматы: Министерство здравоохранения РК, 2010.
7. Эйхлер В. Яды в нашей пище. – М., 1993. – 188 с.

Поступила 27.09.2013

О.В. Савинкова  
Н.А. Тирская

### **ЗАЙСАН КӨЛІНДЕГІ КӨКСЕРКЕ МЕН ТЫРАННЫҢ ҰЛПАЛАРЫ МЕН АҒЗАЛАРЫНДАҒЫ АУЫР МЕТАЛДАРДЫҢ ЖИНАЛУ ДЕҢГЕЙІ**

*Тарбағатай ауданының жағалауындағы Зайсан көлінде ауланған көксерке мен тыранның (бауыры, қанаты, бұлиық ет) ұлпалары мен арзаларындағы ауыр металдардың жиналуы және таралуы бойынша мағлұмат мақалады көрсетілген. Металдың физика-химиялық қасиеті және мүшелерінің функционалды ерекшеліктері, мекенету жері, қоректену түрі, жасы дара түріне байланысты балықтар мүшесінен зерттелген (мыс, мырыш, кадмий, қорғасын) токсиканттар таралуының заңдылықтары бекітілген.*