

В. М. Зубкова, Л. А. Розумная, В. П. Болотов

## СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ТКАНЯХ И ОРГАНАХ РАЗНЫХ ВИДОВ РЫБ ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Приведены данные по содержанию тяжелых металлов (железо, хром, медь, цинк, марганец) в мышечной ткани и печени рыб разных экологических групп Волгоградского водохранилища: лещ (*Abramis brama*), судак (*Sander lucioperca*), окунь (*Perca fluviatilis*), плотва (*Rutilus rutilus*). Показано, что содержание металлов в органах и тканях рыб с разным типом питания различно: так, печень и мышцы леща отличаются более высоким содержанием металлов, чем печень и мышцы окуня, судака и плотвы. Максимальная концентрация тяжелых металлов характерна для печени рыб, при этом во всех рассмотренных органах и тканях максимальную концентрацию имели железо и медь, для хрома характерны относительно низкие концентрации. Содержание железа в мышцах рыб превышает санитарные показатели в 2–2,8 раза, содержание меди, хрома и цинка соответствует норме.

**Ключевые слова:** лещ, судак, окунь, плотва, тяжелые металлы, накопление.

### Введение

Отрицательное влияние тяжелых металлов на водные экосистемы относится к ряду наиболее значимых. При повышенных концентрациях тяжелые металлы проявляют высокую токсичность, оказывая вредное воздействие на состояние как отдельных гидробионтов, так и экосистемы водоема в целом.

Волгоградское водохранилище и его водосбор расположены в бассейне Нижней Волги на юго-востоке Европейской части Российской Федерации на территории Саратовской и Волгоградской областей в зоне недостаточного увлажнения. Волгоградское водохранилище, аккумулирующее потоки веществ из вышерасположенных участков бассейна, имеет большое хозяйственное значение как источник питьевого водоснабжения многочисленных населенных пунктов, в том числе таких крупных городов, как Волгоград, Саратов, Волжский и Камышин, а также как источник воды для орошения сельскохозяйственных угодий. Поскольку к наиболее распространенным загрязнителям волжских водохранилищ на протяжении многих лет относятся тяжелые металлы [1], для сохранения устойчивости экосистем Волгоградского водохранилища в условиях техногенного воздействия необходимо изучение содержания и распределения тяжелых металлов в их компонентах.

Рыбы выступают в роли важнейшего и наиболее чувствительного биотического компонента водных экосистем, они занимают в биоценозах водных экосистем верхний трофический уровень и обладают ярко выраженной способностью накапливать металлы. Повышенное содержание в организме рыб тяжелых металлов свидетельствует об их значительной концентрации в водной среде, о возможных функциональных нарушениях во всех звеньях экосистемы [2, 3].

Основными способами накопления металлов в организме рыб являются хемосорбция, механический захват взвешенных частиц, поступление в процессе питания, поглощение жабрами. Процесс питания – основной путь поступления тяжелых металлов в организм. Жабры рыб, являясь органом водного дыхания, извлекают из водной толщи, помимо растворенного кислорода, целый ряд ионов. В процессе сорбции из воды поступают также такие микроэлементы, как железо, медь, марганец, цинк. При высоких концентрациях этих элементов в водной среде происходит их аккумуляция в организме, что впоследствии приводит к отравлению рыб [4].

В связи с вышеизложенным **целью исследования** являлось определение уровня содержания металлов в тканях и органах рыб в соответствии с их возрастом, районом обитания и типом питания.

### Материал и методы исследований

Для проведения исследований были выбраны представители различных экологических групп и возрастов икhtiофауны Волгоградского водохранилища: лещ (*Abramis brama*), судак (*Sander lucioperca*), окунь (*Perca fluviatilis*), плотва (*Rutilus rutilus*). Рыб отбирали из промысловых и любительских уловов в трех точках нижней части Волгоградского водохранилища: в заливе Осадный, у поселка Краснооктябрьский и в заливе Дубовка. Данные точки испытывают различную антропогенную нагрузку и характеризуются разным гидрологическим режимом. Материалом для изучения послужили образцы печени и мышечной ткани рыб. Микроэлементы (железо, марганец, медь, хром, цинк) определяли атомно-абсорбционным методом.

### Результаты исследования и их обсуждение

Содержание тяжелых металлов в тканях и печени рыб определялось типом их питания, а также условиями мест нагула (табл. 1).

Таблица 1

#### Содержание тяжелых металлов в печени и мышечной ткани рыб Волгоградского водохранилища

Район исследования	Вид рыб, возраст	Элемент, мг/кг							
		Fe	Mn	Cu	Cr	Zn	Cu	Cr	Zn
		Мышцы				Печень			
Залив Осадный (левый берег)	Окунь, 3+	79,63 ± 12,98	5,9 ± 1,10	0,6 ± 0,1	0,02 ± 0,004	6,8 ± 1,19	12,5 ± 2,24	0,02 ± 0,003	16,5 ± 3,12
	Плотва, 3+	69,48 ± 12,71	4,9 ± 0,88	0,4 ± 0,07	0,01 ± 0,002	4,8 ± 0,86	9,8 ± 1,82	0,02 ± 0,004	11,6 ± 2,05
Поселок Краснооктябрьский (левый берег)	Лещ, 6+	84,48 ± 14,19	4,8 ± 0,88	2,7 ± 0,48	0,04 ± 0,007	7,6 ± 1,41	21,7 ± 3,65	0,05 ± 0,008	20,9 ± 3,45
	Плотва, 3+	60,70 ± 11,11	3,5 ± 0,63	1,1 ± 0,21	0,11 ± 0,02	7,6 ± 1,42	8,5 ± 1,44	0,08 ± 0,01	22,6 ± 3,86
	Судак, 6+	78,56 ± 13,51	3,6 ± 0,61	1,3 ± 0,23	0,01 ± 0,001	3,9 ± 0,75	10,5 ± 1,93	0,01 ± 0,001	18,4 ± 3,33
Залив Дубовка (правый берег)	Окунь, 3+	80,28 ± 13,01	5,5 ± 1	0,4 ± 0,23	0,03 ± 0,005	5,4 ± 1,02	11,9 ± 2,23	0,05 ± 0,007	14,0 ± 2,46
	Лещ, 3+	73,55 ± 12,88	5,3 ± 1,02	0,8 ± 0,13	0,04 ± 0,006	5,3 ± 1,01	10,8 ± 1,87	0,02 ± 0,004	16,5 ± 2,77
	Плотва, 3+	68,45 ± 12,53	7,6 ± 1,28	0,5 ± 0,09	0,04 ± 0,007	3,7 ± 0,66	4,0 ± 0,74	0,04 ± 0,008	15,5 ± 2,96

Как показали результаты исследования, максимальное количество металлов накапливается в печени рыб. Печень интенсивно аккумулирует химические элементы, включая металлы, по этому показателю значительно превосходит остальные органы [5]. Максимальное накопление металлов отмечено в рыбах, выловленных у левого берега Волгоградского водохранилища, т. е. в районах, по данным 2013 г. [6], наиболее подверженных загрязнению тяжелыми металлами (табл. 2).

Таблица 2

#### Содержание тяжелых металлов в компонентах экосистемы Волгоградского водохранилища, 2013 г.

Компонент экосистемы	Металл, мг/кг	Район исследований		
		У поселка Краснооктябрьский	Залив Осадный	Залив Дубовка
Донные отложения	Fe	81,62 ± 14,34	54,55 ± 9,71	47,83 ± 7,60
	Mn	2,10 ± 0,39	2,71 ± 0,51	1,85 ± 0,30
	Cu	1,02 ± 0,19	1,24 ± 0,21	0,97 ± 0,27
	Cr	1,22 ± 0,20	1,66 ± 0,30	1,43 ± 0,32
	Zn	0,13 ± 0,02	0,20 ± 0,03	0,17 ± 0,03
Вода	Fe	10,39 ± 0,92	1,47 ± 0,22	0,29 ± 0,04
	Mn	0,07 ± 0,004	0,09 ± 0,006	0,09 ± 0,01
	Cu	0,02 ± 0,001	0,09 ± 0,004	Не обнаружено
	Cr	0,02 ± 0,001	0,03 ± 0,003	0,02 ± 0,002
	Zn	0,03 ± 0,001	0,05 ± 0,004	0,05 ± 0,003

Содержание химических элементов в органах и тканях рыб с разным типом питания (биомагнификация) может различаться больше чем на порядок, имеют значение также скорость обменных процессов, ассоциированность с субстратом, пол и возраст (биоцентрирование)

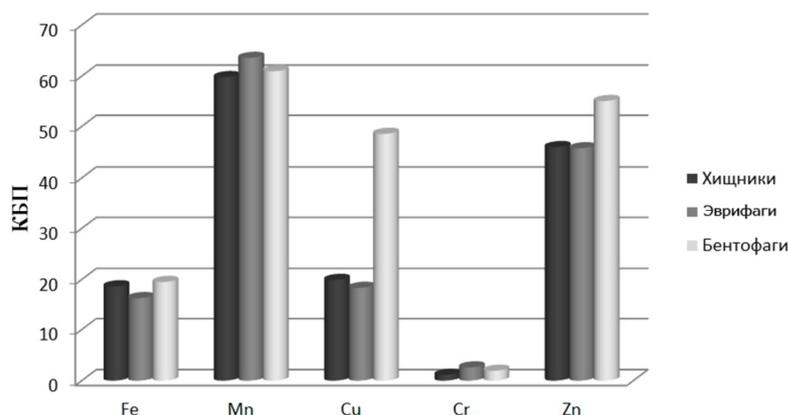
[7, 8]. По степени накопления тяжелых металлов доминируют бентофаги. Как видно из табл. 1, в органах и тканях леща тяжелые металлы концентрируются в большей степени, чем в органах и тканях других видов рыб.

О накоплении металлов судили также по коэффициентам биологического поглощения (КБП), которые рассчитывали по формуле

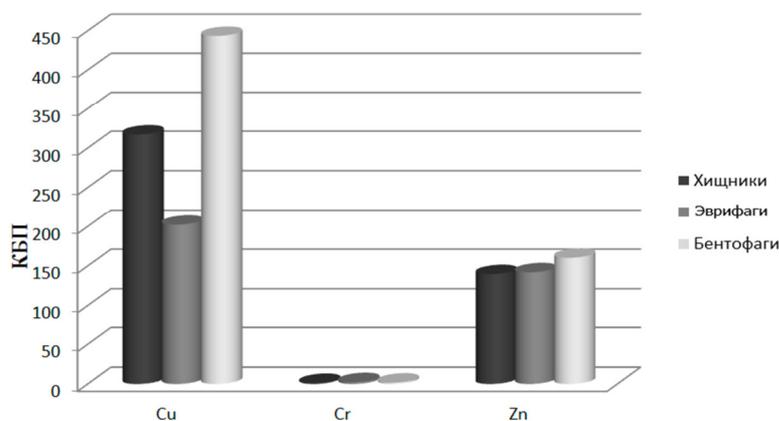
$$\text{КБП} = C_p / C_v,$$

где  $C_p$  – содержание металлов, мг/кг сырой массы;  $C_v$  – содержание металлов в воде, мг/л.

Коэффициент биологического поглощения определяли для каждой экологической группы рыб в мышцах и печени (рис.).



*a*



*б*

Коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов для различных экологических групп рыб: *a* – мышцы; *б* – печень

По величине КБП металлы в печени и мышечной ткани рыб располагаются в определенной последовательности:

- хищники: в мышцах – Mn > Zn > Cu > Fe > Cr; в печени – Cu > Zn > Cr;
- эврифаги: в мышцах – Mn > Zn > Cu > Fe > Cr; в печени – Cu > Zn > Cr;
- бентофаги: в мышцах – Mn > Zn > Cu > Fe > Cr; в печени – Cu > Zn > Cr.

Полученные ряды имеют общие закономерности. Так, например, выявлено, что цинк накапливается и в печени, и в мышцах. Это говорит о его высокой биофильности и способности к интенсивному биологическому накоплению в тканях рыб. Наименьшие значения КБП характерны для хрома, что определяется его низкой биофильностью.

В целом во всех рассмотренных органах и тканях разных видов рыб максимальные значения концентрации имели железо и медь. Для хрома характерны относительно низкие значения концентрации.

Содержание тяжелых металлов в печени и мышечной ткани исследуемых рыб, за исключением железа, не превышает допустимого остаточного количества и соответствует санитарным нормам (табл. 3). Содержание железа в мышцах рыб превышает санитарные показатели в 2–2,8 раза.

Таблица 3

### Концентрация тяжелых металлов в мышечной ткани рыб Волгоградского водохранилища

Металл	Допустимое остаточное количество в основных группах пищевых продуктов, мг/кг [9]	Концентрация тяжелых металлов в мышцах рыб, мг/кг							
		Залив Осадный (левый берег)		Поселок. Краснооктябрьский (левый берег)			Залив Дубовка (правый берег)		
		Окунь, 3+	Плотва, 3+	Лещ, 6+	Плотва, 3+	Судак, 6+	Окунь, 3+	Лещ, 3+	Плотва, 3+
Cu	10	0,6 ± 0,1	0,4 ± 0,07	2,7 ± 0,48	1,1 ± 0,21	1,3 ± 0,23	5,4 ± 1,02	5,3 ± 1,01	3,7 ± 0,66
Zn	40	6,8 ± 1,19	4,8 ± 0,86	7,6 ± 1,41	7,6 ± 1,42	3,9 ± 0,75	0,4 ± 0,23	0,8 ± 0,13	0,5 ± 0,09
Fe	30	79,63 ± 12,98	69,48 ± 12,71	84,48 ± 14,19	60,7 ± 11,11	78,56 ± 13,51	80,28 ± 13,01	73,55 ± 12,88	68,45 ± 12,53
Cu	0,3	0,02 ± 0,004	0,01 ± 0,002	0,04 ± 0,007	0,11 ± 0,02	0,01 ± 0,001	0,03 ± 0,005	0,04 ± 0,006	0,04 ± 0,007

Уровень содержания металлов в печени и мышцах леща и судака Волгоградского водохранилища зависит от возраста рыб. Для исследования этой зависимости были выбраны трехлетки и шестилетки леща и судака. Более высокие концентрации Fe, Cu, Cr и Zn выявлены у шестилеток.

### Заключение

Таким образом, результаты исследований показали, что максимальное количество тяжелых металлов концентрировалось в печени рыб исследуемых рыб. По значению коэффициента биологического накопления изучаемых элементов рыбы всех экологических групп располагаются в убывающем ряду одинаково: КБН в мышцах – Mn > Zn > Cu > Fe > Cr; в печени – Cu > Zn > Cr. Кроме того, выявлены закономерности распределения тяжелых металлов в печени и мышцах рыб, обусловленные возрастом, видом рыб и содержанием металлов в воде и донных отложениях. Так, органы и ткани леща отличаются более высоким содержанием металлов, чем органы и ткани окуня, судака и плотвы. Питание бентосными организмами, в которых эти микроэлементы аккумулируются в высокой степени, приводит к их большому накоплению в тканях и органах леща. Сравнение концентраций железа, меди, хрома и цинка у шестилеток и трехлеток выявило их большие значения у шестилеток. Максимальная концентрация тяжелых металлов в печени и мышечной ткани исследуемых видов рыб характерна для железа и меди. Для хрома характерны относительно низкие концентрации. В ряде случаев содержание железа в рыбе превышает допустимый остаточный уровень. Концентрация остальных металлов в печени и мышечной ткани соответствует санитарным нормам.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спирин В. Ф., Орлов А. А., Мосияш С. А., Е. А. Шашуловская. Ретроспективная характеристика Волгоградского водохранилища как источника водоснабжения городского и сельского населения // Фундаментальные исследования. 2015. № 2 (ч. 25). С. 5605–5609.

2. Вундцеттель М. Ф., Кузнецова Н. В. Содержание тяжелых металлов в органах и тканях рыб реки Яхрома // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2013. № 2. С. 155–158.
3. Лопарева Т. Я., Шарипова О. А., Петрушенко Л. В. Уровень накопления токсикантов в мышечной ткани рыб в водных бассейнах Республики Казахстан // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2016. № 2. С. 115–122.
4. Филенко О. Ф., Михеева И. В. Основы водной токсикологии. М.: Колос, 2007. 144 с.
5. 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 (1). С. 34–36.
6. Еськов Е. К., Зубкова В. М., Белозубова Н. Ю., Болотов В. П. Содержание и миграция тяжелых металлов в компонентах экосистем Волгоградского водохранилища // Аграрная наука. 2015. № 1. С. 14–15.
7. Крылов А. В. Гидробиология малых рек. Введение. Рыбинск: Рыбинский Дом печати, 2006. 110 с.
8. Леонов В. А., Дубина Т. Л. Цинк в организме человека и животных. Минск: Наука и техника, 1997. 128 с.
9. Лесцова Н. А. Роль факторов среды обитания в формировании рисков здоровья населения при контаминации продуктов питания: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Оренбург, 2004. 24 с.

Статья поступила в редакцию 9.11.2016

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Зубкова Валентина Михайловна** – Россия, 129226, Москва; Российский государственный социальный университет; г-р биол. наук, профессор; профессор кафедры техносферной безопасности и экологии; [vzubkova@ Rambler.ru](mailto:vzubkova@ Rambler.ru).

**Розумная Любовь Анатольевна** – Россия, 142460, Московская область, Ногинский район, пос. им. Воровского; Всероссийский научно-исследовательский институт аквакультуры; канд. биол. наук, доцент; старший научный сотрудник; [rozumnaya65@mail.ru](mailto:rozumnaya65@mail.ru).

**Болотов Владимир Петрович** – Россия, 129226, Москва; Российский государственный социальный университет; аспирант кафедры техносферной безопасности и экологии; [pok75@yandex.ru](mailto:pok75@yandex.ru).



*V. M. Zubkova, L. A. Rozumnaya, V. P. Bolotov*

### CONTENT OF HEAVY METALS IN TISSUES AND ORGANS OF DIFFERENT FISH SPECIES OF THE VOLGOGRAD RESERVOIR

**Abstract.** The paper presents the data on the content of heavy metals (iron, chrome, copper, zinc, manganese) in muscular tissue and a liver of fishes of different ecological groups of the Volgograd reservoir: bream (*Abramis brama*), walleye pike (*Sander lucioperca*), perch (*Perca fluviatilis*), roach (*Rutilus rutilus*). It is shown that the content of metals in organs and tissues of fishes with various type of food is different, so bream differs in higher content of metals, than perch, pike perch and roach. The maximum concentration of heavy metals is typical of fish liver, at the same time in all the examined organs and tissues iron and copper had the maximum concentration, but chrome was in rather low concentration. Content of iron in fish muscles exceeds sanitary parameters by 2-2.8 times, while content of copper, chrome and zinc corresponds to the standard.

**Key words:** bream, walleye pike, perch, roach, heavy metals, accumulation.

#### REFERENCES

1. Spirin V. F., Orlov A. A., Mosiash S. A., Shshulovskaia E. A.. Retrospektivnaia kharakteristika Volgogradskogo vodokhranilishcha kak istochnika vodosnabzheniia gorodskogo i sel'skogo naseleniia [Retrospective characteristics of the Volgograd reservoir as a source of water supply of civil and country population]. *Fundamental'nye issledovaniia*, 2015, no. 2 (part 25), pp. 5605–5609.

2. Vundtsettel' M. F., Kuznetsova N. V. Soderzhanie tiazhelykh metallov v organakh i tkaniakh ryb reki Iakhroma [Content of heavy metals in organs and tissues of fishes in the river Yakhroma]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khoziaistvo*, 2013, no. 2, pp. 155–158.
3. Lopareva T. Ia., Sharipova O. A., Petrushenko L. V. Uroven' nakopleniia toksikantov v myshechnoi tkani ryb v vodnykh basseinakh Respubliki Kazakhstan [Level of accumulation of toxicants in muscular tissues of fish in water basins of the Republic of Kazakhstan]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khoziaistvo*, 2016, no. 2, pp. 115–122.
4. Filenko O. F., Mikheeva I. V. *Osnovy vodnoi toksikologii* [The fundamentals of aquatic toxicology]. Moscow, Kolos Publ., 2007. 144 p.
5. Miller I. S., Korotkevich O. S., Petukhov V. L., Sebezhenko O. I. Osobennosti nakopleniia i korreliatsii tiazhelykh metallov v kostnoi tkani sudaka Novosibirskogo vodokhranilishcha [Peculiarities of accumulation and correlation of heavy metals in bony tissues of pike in the Novosibirsk reservoir]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia*, 2015, no. 1 (1), pp. 34–36.
6. Es'kov E. K., Zubkova V. M., Belozubova N. Iu., Bolotov V. P. Soderzhanie i migratsiia tiazhelykh metallov v komponentakh ekosistem Volgogradskogo vodokhranilishcha [Content and migration of heavy metals in components of ecosystems of the Volgograd reservoir]. *Agrarnaya nauka*, 2015, no. 1, pp. 14–15.
6. Krylov A. B. *Gidrobiologiia mal'kh rek. Vvedenie* [Hydrobiology in small rivers. Introduction]. Rybinsk, Rybinskii Dom pečati, 2006. 110 p.
7. Leonov V. A., Dubina T. L. *Tsink v organizme cheloveka i zhivotnykh* [Zinc in human and animal body]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1997. 128 p.
8. Lestsova H. A. *Rol' faktorov sredy obitaniia v formirovanii riskov zdorov'ia naseleniia pri kontaminatsii produktov pitaniia. Avtoreferat dis. ... kand. med. nauk* [Role of the factors of the environment in the formation of risks to population health when food stuff contamination. Abstract of dis. cand. med. sci.]. Orenburg, 2004. 24 p.

The article submitted to the editors 9.11.2016

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Zubkova Valentina Mikhailovna** – Russia, 129226, Moscow; Russian State Social University; Doctor of Biology, Professor; Professor of the Department of Technospheric Safety and Environment; [vzubkova@rambler.ru](mailto:vzubkova@rambler.ru).

**Rozumnaya Lyubov Anatolievna** – Russia, 142460, Moscow region, Noginsk region, village named after Vorovskiy; All-Russian Scientific Research Institute of Irrigational Fish Breeding; Candidate of Biology, Assistant Professor; Senior Researcher; [rozumnaya65@mail.ru](mailto:rozumnaya65@mail.ru).

**Bolotov Vladimir Petrovich** – Russia, 129226, Moscow; Russian State Social University; Postgraduate Student of the Department of Technospheric Safety and Environment; [nok75@yandex.ru](mailto:nok75@yandex.ru).

