

DOI: 10.5281/zenodo.1443461

Биоаккумуляция тяжелых металлов двумя видами бентосоядных рыб: стерлядь *Acipenser ruthenus* и лещ *Abramis brama* (обзор данных)

Чемагин Андрей Александрович, кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник

Волосников Глеб Игоревич, младший научный сотрудник
Тобольская комплексная научная станция УрО РАН (г. Тобольск)

Выполнен обзор научно-исследовательских работ по изучению аккумуляции различных элементов, включая тяжелые металлы в органах и тканях бентосоядных рыб – стерляди и леща. Приведены сводные таблицы с минимальными, максимальными и средними значениями концентраций различных элементов: Fe, Cu, Zn, Mn, Co, Cr, Se, Mo, As, B, Ni, Al, Cd, Pb, Hg, Ba, Sr, Li, Ag. Показано, что биоаккумуляция дифференцирована в органах и тканях рыб, отмечены достоверные различия для самок и самцов. Интенсивное накопление различных элементов в организме рыб происходит в органах и тканях, которые принимают активное участие в протекании различных физиолого-биохимических процессов, участвуют в гемопоэзе, входят в состав ферментов, участвуют в формировании гонад, наименьшие - отмечены в мышечной ткани, употребляемой в пищу. Для токсичных элементов (Pb и Hg) накопление в мышечной ткани, характеризуется максимальными или сопоставимыми концентрациями с другими органами и тканями. Рассматриваемые виды бентосоядных рыб предлагается использовать в качестве биоиндикаторов загрязнения донных отложений водоемов.

Ключевые слова: биоаккумуляция тяжелых металлов, загрязнение водоемов, лещ, стерлядь, бентосоядные виды рыб

Исследование биоаккумуляции тяжелых металлов (ТМ) ввиду их широкого распространения в наземных и водных экосистемах проводится на различных видах организмах. В гидробиоценозах подобные работы выполнены на гидробионтах различного трофического уровня: фитопланктон, зообентос, зоопланктон, мирные и хищные виды рыб. Для последних в большинстве случаев оценивается концентрация ТМ в их мышцах и сопоставляется с санитарно-гигиеническими требованиями содержания для данных поллютантов в пище [1-4]. При этом аспекты опасности такой аккумуляции для самих гидробионтов рассматривает незначительное число авторов [5,6]. Оценку опасности аккумуляции тяжелых металлов и других элементов необходимо проводить с учетом их отнесения к той или иной группе, т.к. по данным [7] их принято делить на 3 группы: эссенциальные микроэлементы (необходимые для живого организма): Fe, Cu, Zn, Mn, Co, Cr, Se, Mo, I; условно-эссенциальные (необходимы для организма, их роль в организме изучена еще не полностью): As, B, Br, F, Ni, Si, V; токсичные (в определенной концентрации оказывающие негативное действие на организм): Al, Cd, Pb, Hg, Be, Bi.

Источниками поступления ТМ в водные экосистемы являются предприятия металлургической, нефтехимической, текстильной промышленности и др. Первоначально накопление тяжелых металлов происходит в донных отложениях (ДО), которые являются «памятью водоема», затем из воды и донных отложений ТМ переходят в органы и ткани гидробионтов по трофической цепи. Стоит отметить, что в настоящее время не разработаны нормативы, регламентирующие содержание рассматриваемых загрязнителей для донных отложений. В свою очередь в бассейне р. Иртыш на участке Тобольского и Уватского районов показано [8] наличие превышения концентрации некоторых элементов, в том числе и ТМ при сравнении с фоновыми значениями, рассчитанными как среднее между земными кларками, предельно-допустимыми концентрациями (ПДК) для почв и ПДК для водных объектов, предлагаемые различными авторами [9-16]. Наибольшие концентрации ТМ исследователи отмечают в хищных [1,17,18,19] и донных видах рыб [3,18,19] в сравнении с мирными и пела-

гическими.

В бассейне р. Иртыш широко распространены представители карповых рыб имеющих промысловое значение и в меньшей мере осетровые виды, являющиеся ценными видами рыб. В связи с этим цель нашей работы провести обзор данных накопления в двух видах рыб, которые обитают в р. Иртыш и питаются бентосными организмами: лещ и стерлядь. Рассматриваемые виды рыб широко используются местным населением в пищу, не смотря на опасность заражения описторхозом от леща и запрет на вылов для стерляди. В свою очередь питание бентосоядными видами рыб имеет потенциальную опасность поступления ТМ в организм человека.

Лещ. В результате выполненных исследований авторами показано, что накопление определенных ТМ для карповых рыб может быть специфическим в зависимости от исследуемой территории, при этом концентрация поллютантов в теле рыб увеличивается с возрастом [20]. Установлено, что у леща наблюдается значительная аккумуляция Cd и Pb в печени, почках, головном мозге, кости, при этом показаны относительно высокие концентрации данных элементов в глазах особей данного вида [20, 21]. Максимальные концентрации Cd, Cu, Pb и Zn обнаруживаются в печени, Fe – в почках, печени и селезенке [21], Hg и Cr в мышцах [22, 23] в других исследованиях [24] максимальные значения накопления для Co и Pb отмечают в жабрах, минимальные в печени, для Cd – наоборот, максимум в печени. При сравнительном анализе нескольких видов рыб, включая других представителей семейства карповых, а также хищников, установлено, что у леща обнаруживаются максимальные концентрации Fe [25]. Исследователи отмечают дифференцированное накопление ТМ различными органами леща [24]. Дополнительно установлено [21], что концентрация ТМ в органах и тканях зависит от пола, для самок характерны большие значения [23]. Сводные данные, по концентрации элементов, включая ТМ в различных органах и тканях леща, представлены в таблице 1.

Стерлядь. Для стерляди показано [3,4,26,27] что накопление ТМ и других элементов имеет строгую дифференциацию в тканях рыб: максимальные концентрации отмечены в печени, минимальные в мышцах, при этом относи-

тельно высокий уровень отмечен для Cd.

Таблица 1 Концентрация тяжелых металлов и других элементов в органах и тканях леща, мг/кг, по данным [1,19-25,28-30]

Элементы, их тип**		Органы и ткани*							
		Кожа	Мышцы	Жабры	Печень	Почки	Селезенка	Сердце	Гонады
Э	Fe	<u>3,100-4,200</u> 3,650	<u>1,300-84,480</u> 26,661	<u>2,100-47,500</u> 24,800	<u>7,500-71,300</u> 29,940	<u>68,300-72,100</u> 70,200	<u>106,100-152,000</u> 129,050	<u>1,200-1,500</u> 1,333	<u>1,500-8,400</u> 4,040
	Cu	<u>0,440-0,650</u> 0,545	<u>0,180-4,600</u> 1,847	<u>0,490-6,540</u> 4,862	<u>10,800-58,800</u> 37,878	<u>0,490-0,530</u> 0,510	<u>0,940-0,980</u> 0,960	-	<u>0,850-0,940</u> 0,895
	Zn	<u>36,700-46,800</u> 41,750	<u>3,300-38,000</u> 11,272	<u>12,300-42,900</u> 33,363	<u>2,200-161,800</u> 59,070	<u>7,500-8,200</u> 7,850	<u>10,900-14,300</u> 12,600	<u>1,100-1,300</u> 1,200	<u>26,700-29,300</u> 28,000
	Mn	<u>8,000-8,400</u> 8,200	<u>0,400-5,300</u> 1,968	-	0,080	0,600	<u>0,500-0,800</u> 0,650	-	<u>2,100-2,200</u> 2,150
	Co	-	0,764	2,507	0,357	-	-	-	-
	Cr	-	<u>0,040-0,400</u> 0,170	-	<u>0,020-0,050</u> 0,035	-	-	-	-
УЭ	As	-	0,023	-	-	-	-	-	
	Ni	-	0,04	-	-	-	-	-	
Т	Cd	-	<u>0,004-0,940</u> 0,235	<u>0,028-2,250</u> 1,113	<u>0,143-2,240</u> 1,599	-	-	-	
	Pb	-	<u>0,01-1,58</u> 0,439	<u>0,88-4,39</u> 2,496	<u>0,68-3,72</u> 2,078	-	-	-	
	Hg	-	<u>0,006-0,400</u> 0,117	<u>0,009-0,040</u> 0,027	<u>0,002-0,140</u> 0,082	-	-	<u>0,017-0,045</u> 0,029	

* - в числителе размах значений (минимальное-максимальное), в знаменателе - среднее
**типы элементов: Э – эссенциальные, УЭ – условно-эссенциальные, Т - токсичные

Максимальные концентрации Cu, Zn и Fe наблюдаются в печени, а Mn и Co - в жабрах. В жабрах, коже и печени рыб наиболее интенсивно концентрируются Pb и Cd. Максимальное содержание в тканях и органах стерляди характерно для Fe и Zn, а минимальное - для Cd и Co. При этом в результате канонического дискриминантного анализа установлено [31], что биоаккумуляция ТМ дифференцирована в зависимости от участка водотока, где обитала рыба. Кроме того, предлагается [6,31] представителей бентофагов, в частности, стерлядь, использовать в качестве биоиндикатора загрязнения водоема тяжелыми металлами, которые в свою очередь приводят [6] к сублетальным патологическим изменениям в органах и тканях рыб. Также установлено [32] статистически достоверное отличие в концентрации некоторых элементов (Zn) в гонадах у самок и самок. Сводные данные по концентрации элементов, включая ТМ в различных органах и тканях стерляди, представлены в таблице 2.

Таким образом, в результате обзора исследований выполненных, как отечественными, так и зарубежными авторами установлено, что:

- биоаккумуляция тяжелых металлов и других элементов дифференцирована для различных органов и тканей

рыб, различия по данному показателю отмечают для самок и самок одного вида;

- рыб-бентофагов предлагается использовать в качестве биоиндикаторов загрязнения донных отложений, т.к. накопление определенных ТМ для рыб специфично в зависимости от исследуемой территории;

- наиболее интенсивная аккумуляция различных элементов, включая ТМ в организме рыб отмечена в органах и тканях, которые принимают активное участие в протекании различных физиолого-биохимических процессов (дыхание, кроветворение, депонирование, выделение и др.), при этом многие из них непосредственно участвуют в гемопозе (Fe, Cu, Mn, Co, Ni), входят в состав ферментов (Zn, Mn), регулируя обмен веществ, а также участвуют в формировании гонад. Наименьшие концентрации отмечены в мышечной ткани, употребляемой в пищу;

- для токсичных элементов (Pb и Hg) накопление в мышечной ткани, употребляемой в пищу человеком, как у леща, так и у стерляди характеризуется максимальными или сопоставимыми концентрациями с другими органами и тканями, что в свою очередь подтверждает потенциальную опасность употребления в пищу мышечной ткани данных видов рыб.

Таблица 2 Концентрация тяжелых металлов и других элементов в органах и тканях стерляди, мг/кг, по данным [3,4,19,26,27,31,32]

Элементы, их тип**		Органы и ткани*						
		Кожа	Мышцы	Жабры	Печень	Почки	Кишечник	Плавники
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Э	Fe	20,140	<u>8,860-58,000</u> 22,043	<u>29,300-379,439</u> 113,357	<u>32,040-380,318</u> 183,964	<u>24,220-159,930</u> 92,075	<u>12,440-1148,180</u> 51,147	25,330
	Cu	1,300	<u>0,400-7,850</u> 1,955	<u>2,046-24,870</u> 13,458	<u>8,570-104,019</u> 42,324	1,570	<u>0,750-10,556</u> 2,967	0,200

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Zn	9,130	<u>5,100-25,176</u> 10,797	<u>11,261-62,392</u> 28,931	<u>10,320-123,999</u> 65,193	4,840	<u>5,74-159,755</u> 46,599	6,100
	Mn	0,370	<u>0,700-4,000</u> 2,043	<u>3,093-5,720</u> 4,198	1,640	-	<u>0,350-6,040</u> 3,273	0,280
	Co	-	<u>0,040-0,340</u> 0,190	0,260	<u>0,040-1,870</u> 0,955	0,070	-	-
	Cr	-	<u>0,010-1,900</u> 0,900	-	-	-	-	-
	Se	-	2,017	2,061	4,535	-	2,142	-
	Mo	-	<u>0,180-1,110</u> 0,667	-	<u>0,032-0,090</u> 0,061	-	-	-
УЭ	As	-	<u>0,133-2,200</u> 0,608	<u>0,045-1,875</u> 0,483	<u>0,086-2,419</u> 0,675	-	<u>0,093-48,466</u> 12,220	-
	B	-	<u>0,145-1,040</u> 0,593	<u>1,087-2,740</u> 1,914	<u>1,100-1,373</u> 1,237	-	0,969	-
	Ni	0,730	<u>0,061-9,110</u> 1,940	<u>0,051-1,110</u> 0,362	<u>0,034-0,670</u> 0,352	0,620	<u>0,133-0,714</u> 0,356	0,910
Т	Al	-	33,710	85,799	6,208	-	-	-
	Cd	0,160	<u>0,003-0,090</u> 0,034	<u>0,004-0,147</u> 0,058	<u>0,021-2,826</u> 0,755	<u>0,140-0,890</u> 0,515	<u>0,004-1,210</u> 0,387	0,09
	Pb	-	<u>0,008-1,810</u> 0,551	<u>0,014-3,760</u> 1,100	<u>0,017-1,68</u> 0,451	0,890	<u>0,007-1,320</u> 0,337	1,490
	Hg	-	<u>0,030-0,730</u> 0,226	<u>0,003-0,006</u> 0,005	<u>0,006-0,630</u> 0,236	-	-	-
Другие	Ba	-	<u>1,730-3,631</u> 2,681	<u>2,65-4,281</u> 3,466	<u>0,270-1,368</u> 0,819	-	2,732	-
	Sr	-	<u>2,360-4,173</u> 3,267	<u>7,86-10,569</u> 9,215	0,328	-	2,356	-
	Li	-	0,122	1,563	3,143	-	7,370	-
	Ag	-	-	-	0,447	-	-	-

* - в числителе размах значений (минимальное-максимальное), в знаменателе - среднее
 ***-типы элементов: Э – эссенциальные, УЭ – условно-эссенциальные, Т - токсичные

Литература:

- Газина И. А., Темерев С. В., Индошкин И. В. Содержание ртути в рыбах Верхней и Средней Оби // Известия Алтайского государственного университета 2003. №3(29). С.93-95
- Глазунова И. А. Содержание и особенности распределения тяжелых металлов в органах и тканях рыб верхней Оби // Известия Алтайского государственного университета .2007. №3(55). С.20-22
- Jarić I., Vranjić-Jeftić Ž., Cvijanović G., Gačić Z., Jovanović L., Skorić S., Lenhardt M. Determination of differential heavy metal and trace element accumulation in liver, gills, intestine and muscle of sterlet (*Acipenser ruthenus*) from the Danube River in Serbia by ICP-OES // Microchemical journal. Vol. 98 (1). 2011. P. 77-81. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2010.11.008>.
- Simionov I.-A., Cristea V., Petrea Ş.-M., Sorbu (Bocioc) E., Coadă M. T., Cristea D. The presence of heavy metals in fish meat from Danube River: an overview // AACL Bioflux. 2016. №9(1). P. 1388-1399.
- Селюков А. Г., Моисеенко Т. И., Шуман Л. А., Некрасов И. С. Морфофункциональное состояние сиговых рыб (Coregonidae) в устье Оби как интегральная оценка условий их обитания // Вестник Тюменского государственного университета. 2012. №12. С.135-147.
- Lenhardt M., Smederevac-Lalić M., Djikanovic V., Cvijanović G., Vukovic-Gacic B., Gačić Z., Jarić I. Biomonitoring and genetic analysis of sturgeons in Serbia: A Contribution to their conservation // Acta zoologica Bulgarica. 2014. №66. P. 69-73.
- Андреев В. В. Видовые особенности содержания микроэлементов и показателей крови осетровых рыб в период нерестовой миграции // Роль микроэлементов в жизни водоемов. – М., 1980. – С. 122–139.
- Чемагин А. А. Современное экологическое состояние реки Иртыш в нижнем течении: дис. канд. биолог. наук: 03.02.08. Тюмень, 2015. - 231 с.
- Forstner U. Metal concentration in freshwater sediments – natural background effects // Proceedings of Int. Conf. "Interaction between sediments and fresh water". – Amsterdam, 1977. P. 94-103.
- Московченко Д. В. Нефтегазодобыча и окружающая среда: Эколого-геохимический анализ Тюменской области. Новосибирск: Наука, 1998. - 112 с.
- Комов В. Т., Томилина И. И. Токсичность донных отложений озер Северо-Запада России: влияние закисления и тяжелых металлов // Биология внутренних вод. 1999. № 1(3). С. 141-147.
- Перевозников М. А., Богданова Е. А. Тяжелые металлы в пресноводных экосистемах. С.-Пб., 1999. - 228 с.

13. Анохина О.К. Экологическое нормирование содержания загрязняющих веществ в донных отложениях Куйбышевского водохранилища: автореф. дис. ... канд. хим. наук: 03.00.16 - Казань, 2004. - 24 с.
14. Разработка нормативов предельно допустимых вредных воздействий на реку Туру: отчет о НИР / Михайлова Л. В. — Тюмень: ФГУП «Госрыбцентр», 2005. - 127 с.
15. Степанова Н. Ю., Говоркова Л. К., Анохина О. К., Латыпова В. З. Оценка уровня загрязнения донных отложений Куйбышевского водохранилища в местах повышенного антропогенного пресса методом триады // Актуальные проблемы водной токсикологии. Борок, 2004. - С. 224-247.
16. Степанова Н.Ю., Латыпова В.З., Яковлев В.А. Экология Куйбышевского водохранилища, донные отложения, бентос и бентосоядные рыбы. Казань: Изд-во: ФЭН, 2004.- 327с.
17. Singh S. M., Ferns P. N. Accumulation of heavy metals in rainbow trout *Salmo gairdneri*(Richardson) maintained on a diet containing activated sewage sludge // Journal of fish biology. 1978. №13. P. 277-286. doi:10.1111/j.1095-8649.1978.tb03435.x
18. Wei Y., Zhang J., Zhang D., Tu T., Luo L. Metal concentrations in various fish organs of different fish species from Poyang Lake, China // Ecotoxicology and environmental safety. 2014. №104. P. 182–188. doi:10.1016/j.ecoenv.2014.03.001
19. Попов П.А., Андросова Н.В. Содержание тяжелых металлов в мышечной ткани рыб из водоемов бассейна реки Оби // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2014. № 4 (28). С. 108–122
20. Badsha K. S., Goldspink C. R. Preliminary observations on the heavy metal content of four species of freshwater fish in NW England // Journal of fish biology. 1982. №21. P. 251-267. doi:10.1111/j.1095-8649.1982.tb02831.x
21. Rajkowska M., Protasowicki M. Distribution of metals (Fe, Mn, Zn, Cu) in fish tissues in two lakes of different trophy in Northwestern Poland // Environmental monitoring and assessment. 2012. №185 (4). P. 3493-3502. doi:10.1007/s10661-012-2805-8.
22. Farkas A., Salbnki J., Speczibr A., Varanka I. Metal pollution as health indicator of lake ecosystems // International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health. 2001. Vol. 14, №. 2. P. 163-170.
23. Ваганов А. С. Особенности распределения тяжелых металлов в тканях и органах рыб рода *Abramis* Куйбышевского водохранилища // Вода: химия и экология. 2012. № 1. С. 90-93.
24. Stanek M., Janicki B. Distribution of heavy metals in the meat, gills and liver of common bream (*Abramis brama* L.) caught from Żnińskie duże lake (Poland) Journal of Elementology. 2016. №21. P. 1141-1150. 10.5601/jelem.2015.20.2.920.
25. Jovanović D. A., Marković R. V., Teodorović V. B., refer D. S., Krstić M. P., Radulović S. B., Ivanović Ćirić J. S., Janjić J. M., Baltić M. Ž. Determination of Heavy Metals in muscle tissue of six fish species with different feeding habits from the Danube river, Belgrade—public health and environmental risk assessment // Environmental science and pollution research. 2017. Vol. 24 (12). P. 11383–11391. doi:10.1007/s11356-017-8783-1.
26. Ralković B., Poleksić V., Vilnjić-Jeftić Ž., Skorić S., Gačić Z., Djikanović V., Jarić I., Lenhardt M. Use of histopathology and elemental accumulation in different organs of two benthophagous fish species as indicators of river pollution // Environmental toxicology. 2015. №30 (10). P. 1153-1161. doi: 10.1002/tox.21988.
27. Sytnik Yu., Pilipenko Yu., Shevchenko P., Plugatarev V., Kolesnyk N., Simon M., Melnyk A., Dorofey N. Heavy metals in organs and tissues of sterlet (*Acipenser ruthenus* L.) in the Dnieper-Bug Estuary // Fisheries science of Ukraine. 2016. Vol.37 (3). P. 5-21.
28. Зубкова В.М., Розумная Л.А., Болотов В.П. Содержание тяжелых металлов в тканях и органах разных видов рыб волгоградского водохранилища // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2016. №4. С.93-98
29. Ваганов А.С. Сравнительная характеристика содержания тяжелых металлов в промысловых видах рыб Куйбышевского водохранилища // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011.Т.13,№ 5(2).С. 143-146
30. Farkas A., Salbnki J., Speczibr A. Relation between growth and the heavy metal concentration in organs of bream *Abramis brama* L. populating lake Balaton // Archives of environmental contamination and toxicology. 2002. №43 (2). P. 236–243. doi.org/10.1007/s00244-002-1123-5.
31. Poleksic V., Lenhardt M., Jaric I., Djordjevic D., Gacic Z., Cvijanovic G., Raskovic B. Liver, gills, and skin histopathology and heavy metal content of the Danube sterlet (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758) // Environmental toxicology and chemistry. 2010. №29 (3). P. 515–521. doi:10.1002/etc.82
32. Зайцев В. Ф., Щербакова Е. Н. Содержание некоторых тяжелых металлов в органах и тканях волжской стерляди (*A. stellatus*) // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2006. № 3 (32). С. 119-124.