

УДК 574.5

doi: 10.17223/19988591/19/14

В.В. Мазур

Сыктывкарский государственный университет (г. Сыктывкар)

ХИМИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОДОТОКОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА СОДЕРЖАНИЯ МЕТАЛЛОВ В РЫБАХ

Работа выполнена при поддержке проекта № 2.1.1 / 9214 «Рентгеновские и синхротронные исследования трансформации тканей в ходе бластоогенеза (на наноструктурном уровне)», выполняемого по заданию Минобрнауки России по аналитической ведомственной целевой программе «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2011 годы)».

*Приведены результаты оценки экологического состояния водотоков в Республике Коми путем определения содержания металлов (Cu, Zn, Mg, Al, Fe, Cd, Pb, Mn) в рыбе из рек Печора, Б. Шайтановка и Човью. Установлено, что наиболее экологически благополучным водотоком является р. Б. Шайтановка, в рыбе из которого присутствуют лишь Cu, Zn и Mg (в мышцах хариуса только Mg). Обнаружено сходство процессов накопления металлов в организм рыб, о чем свидетельствуют корреляционная зависимость между накоплением металлов в рыбе из р. Печора в районе устья р. Гаревки и из участка водотока в районе пос. Якиши ($k = 0,93$) и корреляция в накоплении меди и цинка в рыбах исследуемых водотоков ($k_{Cu-Zn} = 0,80$). Исследование содержания металлов в гольяне, хариусе из р. Б. Шайтановка и их паразитах показало, что кишечные паразиты рыб, в частности плероцеркоиды *Schistoccephalus* sp., могут быть использованы для оценки состояния водных экосистем, поскольку являются концентраторами металлов в организме рыб.*

Ключевые слова: *Phoxinus phoxinus; Thymallus thymallus; паразиты рыб; закономерности накопления тяжелых металлов.*

Введение

В настоящее время не осталось участков земли, которые не подвержены прямому или косвенному негативному влиянию антропогенных факторов. Наибольшую нагрузку при загрязнении территории испытывают водные объекты, которые в силу своих особенностей являются концентраторами токсикантов [1–2].

Основными антропогенными загрязнителями водной среды являются тяжелые металлы (Cu, Zn, Al, Fe, Cd, Pb, Mn, Ni, Cr, As, Hg и их соли), многие из которых обладают высокой токсичностью для живых организмов даже в относительно низких концентрациях. Так, тяжелые металлы не могут быть подвергнуты дальнейшему разложению, а лишь перераспределяются между

биотическими и абиотическими компонентами, взаимодействуя с различными категориями живых организмов, мигрируя по общей цепи циркуляции веществ в водоеме [3].

В связи с тем что токсическое воздействие металлов начинается после их попадания в организм, то одним из показателей токсического влияния может являться элементный состав тканей. Содержание металлов в живых организмах является результатом сложных процессов их поглощения, распределения в организме, перераспределения и биотрансформации органическими соединениями [4–5].

Цель исследования – оценить содержание тяжелых металлов (Cu, Zn, Al, Fe, Cd, Pb, Mn) и Mg в рыбе из рек Човью, Печора и Б. Шайтановка для мониторинга состояния водотоков Республики Коми (РК).

Материалы и методики исследования

Исследование водоемов в РК проведено на территории бассейна р. Печора и ее притоков, расположенных на северо-востоке республики, в районе расположения объектов добывающей промышленности [6–10]. Также известно, что в основных почвообразующих породах северо-востока европейской части России содержание Cu, Ni, Zn, Fe, Cr, Mn выше по сравнению с центральными и западными районами таежной зоны России [11].

В качестве объекта исследования для мониторинга состояния окружающей среды использовали гольяна обыкновенного (*Phoxinus phoxinus* L.) и хариуса европейского (*Thymallus thymallus* L.). Для изучения закономерностей распределения металлов в рыбе и паразитах использовали системы: «хариус (мышечная ткань и печень) – цестоиды хариуса (*Proteocephalus thymalli*)» и «гольян (тушка целиком) – плероцеркоиды гольяна (*Schistocephalus* sp.)» [12].

Рыбу отлавливали из следующих участков (рис. 1):

1. Река Човью является левым притоком р. Вычегда, протекает в черте г. Сыктывкара и испытывает значительную антропогенную нагрузку. Известно, что речная вода в районе Сыктывкара содержит в концентрациях выше предельно-допустимых нормативов медь и цинк [13].

2. Река Печора относится к крупным рекам. В нижнем течении испытывает высокую антропогенную нагрузку, и обитающие здесь организмы находятся в состоянии хронического стресса [14]. В районе пос. Якша вода характеризуется как умеренно загрязненная, наблюдается содержание железа, меди, цинка, аммонийного азота. Согласно Государственному докладу о состоянии окружающей среды в РК [15] до 2001 г. отмечалось наличие дихлордифенилтрихлорэтана.

3. Река Большая Шайтановка является правым притоком р. Печора в верхнем течении. На всем протяжении река протекает по территории Печоро-Илычского биосферного заповедника и не испытывает антропогенной нагрузки в связи с отсутствием объектов хозяйственной деятельности.

Определение содержания металлов в рыбе проводили на базе Воронежского государственного университета при помощи энергодисперсионной рентгеновской приставки INCA Energy 250 (Oxford Instruments, Великобритания) на сканирующем электронном микроскопе JSM-6380 LV (JEOL Ltd., Япония) [16–17].

Для статистической обработки результатов использовали программу StatSoft STATISTICA 5.5. Рассчитывали среднее арифметическое, доверительный интервал, стандартное отклонение. Корреляционный анализ проводили с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена.

Результаты исследования и обсуждение

Сравнение содержания металлов в гольяне исследуемых водотоков показало отсутствие таких элементов, как Mn и Fe (табл. 1). Исследования показали наличие повышенных концентраций Cu и Zn, по сравнению с остальными участками, для гольяна из р. Печора, в районе 2,7 км выше пос. Якши, составляющих 650,0 и 390,0 мкг/г сух. массы соответственно ($p < 0,05$). Известно, что медь и цинк, несмотря на биогенность и участие в качестве регуляторов многих биохимических процессов в организме живых существ, присутствуя в избытке, токсичны для живых организмов [18–21]. Кроме того, проведенные исследования показали, что изучаемые образцы рыбы из р. Печора характеризуются повышенным содержанием меди по сравнению с цинком. Без дополнительных исследований нельзя сделать однозначных выводов о причинах и источниках повышенных концентраций Cu и Zn в приведенном участке р. Печора. Можно предположить, что источником металлов в рыбе являются остаточные стоки от заброшенных сельхозугодий [15].

Таблица 1

Содержание металлов в гольяне из различных водотоков Республики Коми, мкг/г сух. массы

Элемент	Mg	Cu	Zn	Al	Cd	Pb
р. Човью	100,0± 16,7	100,0± 11,1	190,0± 12,3	70,0± 17,6	9,0± 3,5	–
р. Печора, 2,7 км выше п. Якша	70,0± 14,4	650,0± 13,1	390,0± 19,3	60,0± 16,9	–	13,0± 4,5
р. Б. Шайтановка	90,0± 13,6	230,0± 14,3	280,0± 11,7	–	–	–
р. Печора, устье р. Гаревки	50,0± 9,3	170,0± 10,9	100,0± 15,6	70,0± 9,5	3,0± 1,0	9,0± 4,0

Отмечено наличие свинца в рыбе из р. Печоры в концентрациях 13,0 мкг/г для района пос. Якша и 9,0 мкг/г для района устья р. Гаревка. Река Печора в верхнем течении имеет горный характер. Известно, что для горных почв Печорского района РК наличие «природного» свинца максимально [22].

Полученные в данной работе результаты показали наличие кадмия в гольяне р. Печора, в районе устья р. Гаревка – 3,0 мкг/г. Известно, что кадмий представляет собой один из самых опасных токсикантов (токсичнее свинца). Он содержится в мазуте и дизельном топливе, сплавах, гальванических покрытиях, кадмиевых пигментах, аккумуляторах и т.д. [22]. Таким образом, поступление кадмия в указанные водотоки имеет различные источники.

Проведенные исследования показали явную корреляционную зависимость между накоплением металлов в рыбе из р. Печора в районе устья р. Гаревка и из участка водотока в районе пос. Якши (коэффициент ранговой корреляции $k = 0,93$), расстояние между которыми составляет более 100 км. Также показана корреляционная зависимость между накоплением меди и цинка в гольяне из всех исследуемых водотоков ($k_{\text{Cu-Zn}} = 0,80$), что отражает сходную направленность биохимических процессов для данных металлов в организме рыб.

Для рыбы из р. Печора ряд ранжирования концентраций металлов имеет следующий вид: в районе устья р. Гаревки $\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Al} > \text{Mg} > \text{Pb} > \text{Cd}$, в районе пос. Якши $\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Mg} > \text{Al}$.

Т а б л и ц а 2

Содержание микроэлементов в рыбе и паразитах из р. Б. Шайтановка

Элемент	Cu	Zn	Mg
Гольян (тушка)	190,0±11,3	220,0±10,5	90,0±13,4
S (плероц) гольяна	340,0±14,7	290,0±13,2	320,0±11,1
Хариус (мышцы)	–	–	20,0±4,7
Хариус (печень)	148,0±8,5	70,0±4,6	30,0±4,5
Pg (цестода) хариуса	220,0±12,1	150,0±19,5	30,0±4,5

В отличие от Верхней Печоры, для которой наличие антропогенного фактора минимально, для р. Човью, протекающей в черте г. Сыктывкара, поступление кадмия (9,0 мкг/г) может носить как техногенный, так и природный характер, связанный с естественным геохимическим фоном приведенной территории. Концентрация металлов в тушках гольяна из р. Човью убывает в ряду $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Mg} > \text{Al} > \text{Cd}$.

Содержание металлов в гольяне из р. Б. Шайтановка можно представить в виде ряда $\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Mg}$. Не обнаружены Al, Cd и Pb, что свидетельствует об отсутствии источников указанных токсичных элементов как в руслообразующих породах водотока, так и от источников хозяйственной деятельности.

В мышцах хариуса европейского из р. Б. Шайтановка из исследуемых металлов отмечен только магний в концентрации 20,0 мкг/г. Остальные металлы находятся вне диапазона чувствительности используемой методики. В печени хариуса также обнаружены Cu, Zn, Mg. Ранжированный ряд этих металлов имеет вид $\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Mg}$.

Исследование содержания металлов в гольяне и хариусе и их кишечных паразитах показало (табл. 2), что наибольшая концентрация металлов характерна для паразитов гольяна, наименьшая – для печени хариуса.

Ранжированный ряд металлов, содержащихся в тканях *P. thymalli*, в оба года проведения работ выглядит как $\text{Ca} \gg \text{Cu} > \text{Zn} \gg \text{Mg}$ и совпадает с таковым для металлов из печени рыб. Для гольяна и его паразитов данной закономерности не обнаружено. Так, для гольяна концентрация металлов уменьшается в ряду $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Mg}$, а для *Schistocephalus* sp. $\text{Cu} > \text{Mg} > \text{Zn}$. Распределение меди, цинка и магния в рыбе и паразитах имеет общую тенденцию (коэффициенты ранговой корреляции $k_{\text{Mg-Zn}} = 0,95$; $k_{\text{Cu-Zn}} = 0,8$; $k_{\text{Cu-Mg}} = 0,65$). Можно предположить, что плероцеркоиды ремнецов вызывают нарушение механизмов, регулирующих баланс металлов в организме гольяна. Таким образом, в плероцеркоидах *Schistocephalus* sp. концентрация Cu, Zn, Mg статистически значимо выше, чем в тушках гольяна, тогда как в *P. thymalli*, по сравнению с печенью хариуса, выше содержание только Zn и Cu.

Заключение

Результаты исследования показали, что главной причиной различия в содержании ТМ и Mg в рыбе изученных участков является специфика руслообразующих пород. По набору металлов и их ранжированным рядам водотоки относятся к разным геохимическим районам. Устье р. Гаревка и р. Б. Шайтановка – это Верхняя Печора; р-н пос. Якши – Средняя Печора; р. Човью – Средняя Вычегда.

Наиболее характерными ТМ для исследуемых водотоков РК являются Cu и Zn. Установленные особенности накопления ТМ и Mg на основе рассчитанных коэффициентов корреляции показали, что на протяжении р. Печора сохраняется сходство механизмов аккумуляции Zn и Cu рыбой.

Также отмечена достаточно тесная связь между жизненной стратегией паразита, его способностью накапливать металлы и ранжированными рядами последних, аккумулированных в гельминте и теле его хозяина.

Литература

1. Линник П.Н. Тяжелые металлы в поверхностных водах Украины: содержание и формы миграции // Гидробиологический журнал. 1999. Т. 35, № 1. С. 22–42.
2. Даувальтер В.А., Кашулин Н.А., Сандимиров С.С., Раткин Н.Е. Оценка баланса тяжелых металлов (Ni и Cu) на водосборе субарктического озера (на примере Чунозера) // Вестник Московского государственного технического университета. 2009. Т. 12, № 3. С. 507–515.
3. Веницианов Е.В., Кочарян А.Г., Серенькая Е.Г. Формы миграции тяжелых металлов и их влияние на качество воды в Куйбышевском водохранилище // Вода: экология и технология. Материалы международного конгресса. М., 1994. Т. 1. С. 98–105.
4. Grahl K., Franke P., Halbach R. The excretion of heavy metals by fish // Symposia Biologia Hungarica. 1985. Vol. 29. P. 357–365.
5. Гомбоева С.В., Пронин Н.М., Цыренов В.Ж. Распределение тяжелых металлов в органах и тканях рыб с различным типом питания в прибрежно-соровой зоне Байкала // Сибирский экологический журнал. 2003. № 10(5). С. 561–564.
6. Хохлова Л.Г. Изменение химического состава воды рек Коми АССР под влиянием антропогенного воздействия // Труды Коми филиала Академии наук СССР. 1979. № 42. С. 62–71.

7. Братцев А.П., Гладков В.П., Вотошкина Н.Н. и др. Изменение природной среды Европейского Северо-Востока СССР под влиянием деятельности человека // Труды Коми филиала Академии наук СССР. 1979. № 42. С. 3–7.
8. Лукин А.А., Даувальтер В.А. Распределение тяжелых металлов, алюминия и нефтепродуктов в донных отложениях и рыбах бассейна реки Печоры // Биология внутренних вод. 1997. № 2. С. 70–78.
9. Даувальтер В.А., Хлопцева Е.В. Гидрологические и гидрохимические особенности озер Большеземельской тундры // Вестник Московского государственного технического университета. 2008. Т. 11, № 3. С. 407–414.
10. Walker T.R., Crittenden P.D., Dauvalter V.A. et al. Multiple indicators of human impacts on the environment in the Pechora Basin, north-eastern European Russia // Ecological indicators. 2009. Vol. 9. P. 765–779.
11. Шихова Л.Н., Егошина Т.Л. Тяжелые металлы в почвах и растениях таежной зоны Северо-Востока Европейской России. Киров : Зонал. НИИСХ Сев.-Востока, 2004. 263 с.
12. Воробьев В.И. Микроэлементы и их применение в рыбоводстве. М. : Пищевая промышленность, 1979. 182. с.
13. Илларионов В.А., Власов И.Д. Подготовка промышленных запасов подземных вод для водоснабжения Сыктывкара // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2009. № 9. С. 7–8.
14. Лукин А.А., Даувальтер В.А., Новоселов А.П. Экосистема реки Печоры в современных условиях. Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2000. 192 с.
15. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Коми в 2001 году / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми, РГУ НТЦ АГИКС РК. Сыктывкар, 2002. 97 с.
16. Бабкина И.В., Габриельс К.С., Гусев А.Л. и др. Термическая устойчивость и газовая чувствительность нанокристаллических пленок In-Y-O-C // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». 2010. № 7(87). С. 10–17.
17. Адеева Л.Н., Струнина Н.Н., Коваленко Т.А., Байсова Б.Т. Исследование состава минеральной части сапропеля озера Жилой Рям // Омский научный вестник. 2006. № 7. С. 68–70.
18. Папина Т.С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряду: вода – взвешенное вещество – донные отложения речных экосистем : аналитический обзор / ГПНТБ СО РАН; ИВЭП СО РАН. Новосибирск, 2001. Сер. Экология. Вып. 3. 58 с.
19. Ливинская С.А., Владимирский П.В., Данильчук В.П., Паронян В.Х. Разработка метода подготовки проб к атомно-абсорбционному спектральному анализу для определения содержания тяжелых металлов в растительных маслах // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Химия. Биология. Фармация. 2005. № 2. С. 38–42.
20. Кондратьева Л.М., Канцыбер В.С., Зазулина В.Е., Боковенко Л.С. Влияние крупных притоков на содержание тяжелых металлов в воде и донных отложениях реки Амур // Тихоокеанская геология. 2006. Т. 25, № 6. С. 103–114.
21. Голованова И.Л. Влияние тяжелых металлов на физиолого-биохимический статус рыб и водных беспозвоночных // Биология внутренних вод. 2008. № 1. С. 99–108.
22. Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д., Кондратенко Б.М. Оценка фоновое содержания тяжелых металлов в почвах Европейского Северо-Востока России // Почвоведение. 2007. № 9. С. 1064–1070.

Поступила в редакцию 26.05.2012 г.

Viktoriya V. Masur

Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia

CHEMICAL AND ECOLOGICAL ESTIMATION OF WATER CURRENTS CONDITION ACCORDING TO THE RESULTS OF THE ANALYSIS OF MICROCELLS CONTENT IN HYDROBIONTS

The basic anthropogenous pollutants of water environment are metals (Mn, Ni, Cr, Zn, As, Fe, Hg, Cd, Pb, Cu, Al, Mg and their salts), many of which are highly toxic for live organisms even in a rather low concentration. Metals can not be subject to further decomposition and are only redistributed between biotic and abiotic components cooperating with various categories of live organisms and migrating on the general chain of circulation of substances in a reservoir. Since toxic influence of metals begins after their penetration in an organism, one of toxic influence indicators can be a microelement structure of tissues.

The research objective was to estimate the content of microcells (Cu, Zn, Mg, Al, Fe, Cd, Pb, Mn) in the fish from the Chovju river, the Pechora river and the Big Shajtanovka river of the Komi Republic for monitoring the state of the environment. The research included the following tasks: 1) to define the content of microcells (Cu, Zn, Mg, Al, Fe, Cd, Pb, Mn) in the minnow of the Chovju river, the Pechora river and the Big Shajtanovka river; 2) to reveal correlation dependences between accumulation of separate microcells in the minnow from the specified water currents; 3) to compare the content of metals in muscles of the fish from the B.Shajtanovka river and the Chovju river; 4) to investigate the content and to define laws of accumulation of microcells in the minnow and the grayling from the Big Shajtanovka river and their intestinal parasites.

In the presented work the results of the estimation of the state of the environment in the Republic of Komi by means of defining microcells (Cu, Zn, Mg, Al, Fe, Cd, Pb, Mn) in the fish from the Pechora river, the Chovju river and the B. Shajtanovka river are given. Owing to the conducted experiments, it is established that the most ecologically safe waterway is the B. Shajtanovka rouble, whose fish only contain Cu, Zn and Mg (only Mg being in the muscles). Also it is shown that the greatest concentration of copper and zinc is found in the minnow from the Pechora river, around the village of Jaksha; in the minnow of the Chovju river and the Pechora river (around the mouth of the river of Garevka) cadmium was found whose presence is caused by both natural and anthropogenous factors. Between accumulation of microcells in the fish from the Pechora river around the mouth of the Garevka river and from the site of the waterway around the village of Jakshi there is no obvious correlation dependence ($k=0,93$). The research of the content of microcells in the minnow and the grayling from the Big Shajtanovka river and their parasites has shown that intestinal parasites of fish are concentrators of microcells in the organisms of the grayling and the minnow.

Key words: minnow *Phoxinus phoxinus* (L.); grayling *Thymallus thumallus* (L.); fish parasites; microcells; dependence of the accumulation.

Received May 26, 2012