

УДК 574.522

УРОВЕНЬ Zn, Cu, Pb, Cd И Ni В ТКАНЯХ И ОРГАНАХ ОСНОВНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ИХТИОФАУНЫ НИЖНЕЙ ВОЛГИ

© 2020 г. Г.К. Булахтина, А.А. Баканева, А.В. Кудряшов, Н.И. Кудряшова

Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН

*Россия, 416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Соленое Займище, кв. Северный, д. 8
E-mail: solnce5508@mail.ru*

Поступила в редакцию 18.10.2019. После доработки 27.04.2020. Принята к публикации 01.06.2020

В данной статье показаны результаты исследований содержания тяжелых металлов (цинка, меди, свинца, кадмия и никеля) в мышцах и печени основных промысловых рыб, которые относятся к разным уровням трофической цепи, таких как щука, окунь, плотва и лещ, выловленных в Астраханской области Черноярского района в воде реки Волга. Распределение металлов в организме гидробионтов неравномерное и зависит от свойств самого металла и функциональных особенностей органов. Было установлено, что содержание данных металлов в воде Волги и в мышцах гидробионтов не превышает предельно допустимые концентрации. Целью нашей работы было определение содержания тяжелых металлов в тканях (мышцах) и органах (печени) важнейших промысловых рыб бассейна реки Волга в пределах Астраханской области (Черноярский район) и оценка безопасности использования их в качестве пищевого сырья. Для проведения исследований были отобраны пробы воды по ГОСТ 31861-2012. Содержание тяжелых металлов в воде определяли методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторе ТА-2М, в мышечной ткани и печени – методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе «Квант-2А». В наибольшей концентрации тяжелые металлы обнаруживаются во внутренних органах (печень) – 0.14-39.6 мг/кг, а наименьшее их количество приходится на единицу массы мышечной ткани – 0.038-8.13 мг/кг.

Ключевые слова: тяжелые металлы, река Волга, вода, гидробионты, предельно допустимая концентрация (ПДК), звенья, токсикант.

DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10131

В последнее время в результате технического прогресса в окружающей среде был нарушен баланс тяжелых металлов и произошло глобальное загрязнение природы различными химическими элементами. Наиболее распространенные из них – это свинец, кадмий, цинк, медь и никель. Попадая в водоемы со сточными водами промышленных предприятий, тяжелые металлы взаимодействуют с животным и растительным миром водоемов. Вследствие таких взаимодействий они могут накапливаться в водных организмах, нарушать их жизнедеятельность и приводить к их гибели. Среди гидробионтов рыбы занимают особое место в жизни человека, т.к. являются ценным сырьем для приготовления пищевой, кормовой, технической и фармакологической продукции. Повышенное содержание в их организме металлов свидетельствует о накоплении последних в пищевых цепях, функциональном нарушении во всех звеньях экосистемы, что в конечном итоге отражается на здоровье человека как потребителя продукции.

В соответствии с требованиями, предъявленными Объединенной Комиссией ФАО/ВОЗ по Пищевому Кодексу (Кодекс Алиментариус, 2007), важен контроль содержания в пищевых продуктах следующих микроэлементов: свинца, меди, цинка, кадмия, ртути. Для здоровья человека особо опасными являются свинец, ртуть и кадмий. При поступлении в организм эти элементы оказывают выраженное негативное воздействие даже при разовых дозах, значительно ниже допустимых (Perevoznicov, Bogdanova, 1999).

Река Волга является одним из наиболее значимых в Нижнем Поволжье водоемов рыбохозяйственного назначения. Волга берет начало на Валдайской возвышенности (на высоте 228 м) и впадает в Каспийское море. Ее устье находится на 28 м н.у.м. Общее падение – 256 м.

Волга – крупнейшая в мире река внутреннего стока, не впадающая в мировой океан. В нижнем течении после впадения Камы Волга становится могучей рекой. Она протекает вдоль Приволжской возвышенности. Дельта Волги начинается в месте, где от ее русла отделяется рукав Бузан (в 46 км севернее Астрахани), и является одной из самых крупных в России и крупнейшей в Европе. В дельте насчитывается до 500 рукавов, мелких речек и протоков. Главные из них: Бузан, Бахтемир, Камызяк, Старая Волга, Болда, Ахтуба; среди них в судоходном состоянии поддерживается Бахтемир, образуя Волго-Каспийский канал. К Нижней Волге относятся Саратовская область (кроме крайних северных районов), Волгоградская область, республика Калмыкия и Астраханская область (Волга, 2019).

В настоящее время ученые бьют тревогу по поводу усиления загрязнения реки Волга тяжелыми металлами (ТМ). Попадают они в реку в результате сброса промышленных сточных вод, талых вод с сельскохозяйственных полей, где применяются ядохимикаты и минеральные удобрения. Особенно велико превышение предельно-допустимых концентраций (ПДК) для водоемов рыбохозяйственного назначения по марганцу – в 1-1.4 раза, меди – в 2-4 раза, цинку – на уровне ПДК (Воробьев и др., 2007). Опасность тяжелых металлов заключается в том, что они устойчивы к процессам разрушения, что приводит к постоянному накоплению их в водных экосистемах. Сохраняясь в течение длительного времени, ТМ мигрируют по звеньям общей цепи циркуляции веществ в водоеме и в конечном итоге аккумулируются в ее завершающих звеньях – рыбах, водных млекопитающих и других (Мухаметшин, 2005).

Тяжелые металлы, попадая в организм животных (в том числе и рыб) в количествах, превышающих определенные дозы, могут вызвать не только множество различных заболеваний непосредственно данного индивида, но и отрицательно влиять на его потомство, поэтому ТМ относятся к наиболее опасным токсикантам.

Материал и методы

Для определения содержания тяжелых металлов были выбраны несколько видов рыб, относящихся к различным уровням трофической цепи: преимущественно хищники – щука (*Esox lucius*) и окунь (*Perca fluviatilis*), а также плотва (*Rutilus rutilus*) и лещ (*Abramis brama*), питающиеся основном беспозвоночными. Отлов производился в бассейне реки Волга в Черноярском районе Астраханской области в 2016-2018 гг. Также были отобраны пробы воды по ГОСТ 31861-2012 (2019). Заборы проб воды и ихтиофауны были произведены после половодья в период нереста – май-июль.

Образцы мышечной ткани и печени рыб были приготовлены стандартными методами, содержание валовых форм меди, никеля, цинка, свинца и кадмия определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе «Квант-2А» (Зубков, Шилин, 2015). В гидрохимической лаборатории Управления эксплуатации Волгоградского водохранилища методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторе ТА-2М определяли содержание валовых и растворенных форм цинка, кадмия и меди в воде реки Волга (Гигиенические нормативы, 2003).

Результаты и обсуждение

Тяжелые металлы в воде. В период нереста на протяжении 3 лет (май-июль 2016-2018 гг.) были произведены заборы проб воды. Среднегодовые данные отражены в таблице.

Полученные данные показали, что содержание в воде таких тяжелых металлов, как цинк, свинец и кадмий, находятся в пределах нормы ПДК. Однако содержание валовой формы меди в воде превысило допустимое для рыбохозяйственных водоемов значение в 4-5 раз (табл.).

Тяжелые металлы в тканях и органах рыб. Отбор проб ихтиофауны проводился в течение 3 лет в тот же период. По годам содержание металлов в исследуемых материалах не имело существенных различий, поэтому мы представляем усредненные данные за весь срок.

Цинк. Хотя он и является важным микроэлементом, его повышенное содержание оказывает на организмы токсическое воздействие. В результате интоксикации цинком нарушаются репродуктивные и поведенческие функции, снижаются темпы роста рыб. При хронической интоксикации он накапливается в тканях, контактирующих с окружающей средой (кожные покровы, жабры). Соединения цинка вызывают повышенное образование слизистого секрета (Воробьев и др., 2006).

В изученных образцах содержание цинка варьировало от 3.12 до 39.6 мг/кг (рис. 1). Самые большие концентрации отмечены в печени изученных видов рыб, особенно у щуки (39.6 мг/кг) и окуня (31.58 мг/кг), что можно объяснить барьерной ролью этого органа, который участвует в различных

процессах обмена: кроветворении, синтезе белков и углеводов. Роль печени очень важна, в ней происходит накопление запасных питательных веществ – гликогена и жира (Кочеров и др., 2010).

Таблица. Среднее содержание тяжелых металлов в воде реки Волга в мае-июле 2016-2018 гг. в сравнении с их ПДК, Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия (ФГБНУ «ПНИИАЗ»).

Тяжелый металл	Концентрация ТМ, мг/л			ПДК рыбохозяйственных водоемов, мг/л	ПДК санитарно-гигиенических норм, мг/л
	2016 г.	2017 г.	2018 г.		
Zn	0.0023 (валовая форма)	0.0025 (валовая форма)	0.0025 (валовая форма)	0.01	1
Cu	0.004 (валовая форма)	0.005 (валовая форма)	0.005 (валовая форма)	0.001	1
Pb	0.0006 (валовая форма)	0.0008 (валовая форма)	0.0006 (валовая форма)	0.006	0.03
Cd	0.0001 (растворенная форма)	0.0001 (растворенная форма)	0.0001 (растворенная форма)	0.005	0.001

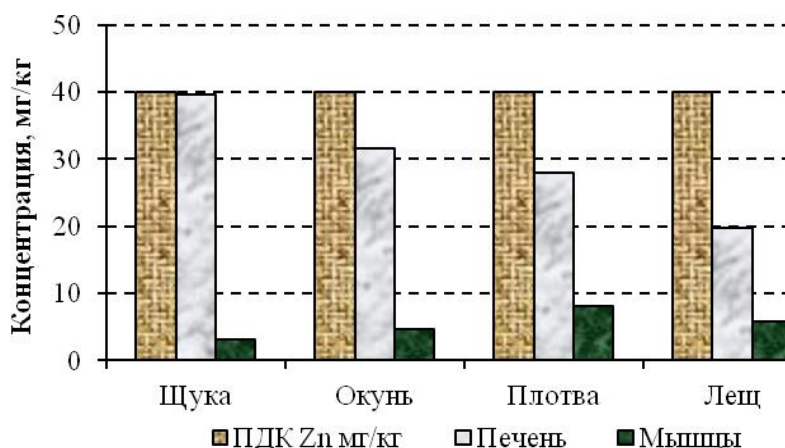


Рис. 1. Концентрация цинка в органах и тканях рыб, выловленных в реке Волга в Черноярском районе, средние данные за 2016-2018 гг., ФГБНУ «ПНИИАЗ»

Уровень содержания цинка в печени леща (19.79 мг/кг) и плотвы (27.9 мг/кг) значительно ниже, чем у щуки и окуня. Это может быть связано с тем, что щука и окунь относятся к хищным рыбам и являются завершающим звеном в трофической цепи, где происходит наибольшая аккумуляция токсикантов.

Медь является достаточно опасным токсикантом, ее избыточное накопление в организме ведет к отложению в органах (Euskmans et al., 2011). Плохо растворимый комплекс меди с аминокислотами, который откладывается в клетках печени, развивает цирроз (Al Vairuty et al., 2013).

Из проведенных нами исследований обнаружено, что медь в наибольшем количестве была отмечена в печени у окуня (9.6 мг/кг) и щуки (9.7 мг/кг). В мышцах содержание меди было минимальным у всех видов рыб (рис. 2).

Свинец – это микроэлемент, который легко проникает в организм, скапливаясь в печени.

Основным путем его выведения является желудочно-кишечный тракт, куда он поступает из печени. Содержание свинца в тканях и органах рыб относительно невелико.

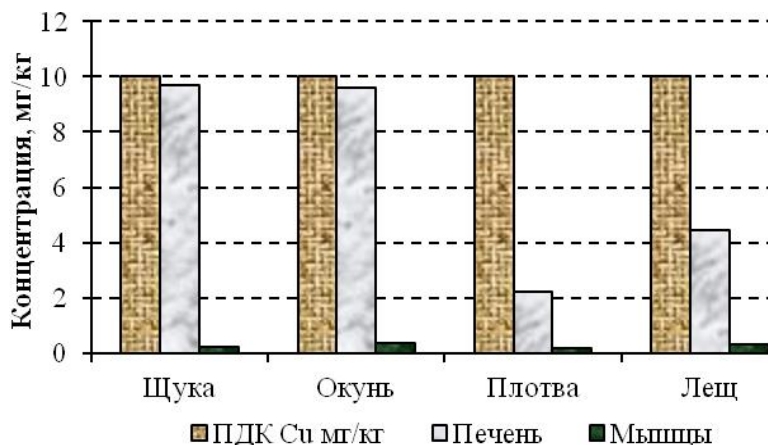


Рис. 2. Концентрация меди в органах и тканях рыб, выловленных в реке Волга в Черноярском районе, средние данные за 2016-2018 гг., ФГБНУ «ПНИИАЗ».

Хроническое отравление свинцом у рыб способствует развитию сколиоза, раковых заболеваний почек и ведет к изменению нормального количественного соотношения аминокислот в белках головного мозга, биосинтеза гемоглобина, нуклеиновых кислот и гормонов (Справочник ..., 2019). Согласно полученным данным, накопление микроэлемента в тканях и органах происходило равномерно (рис. 3).

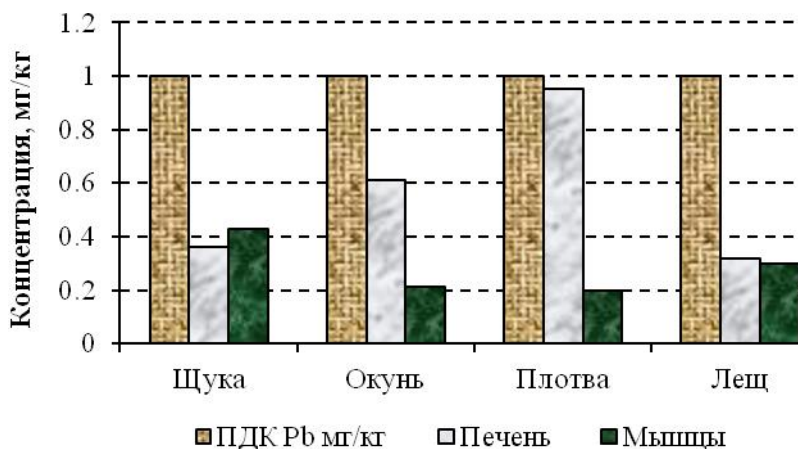


Рис. 3. Концентрация свинца в органах и тканях рыб, выловленных в реке Волга в Черноярском районе, средние данные за 2016-2018 гг., ФГБНУ ПНИИАЗ».

Концентрация свинца у леща в мышцах достигла 0.30 мг/кг, в печени – 0.32 мг/кг, у щуки – 0.43 мг/кг (мышцы) и 0.36 мг/кг (печень). Наибольшее количество металла было обнаружено в печени планктофага (плотва) – 0.95 мг/кг.

Кадмий. По своим биологическим воздействиям и химическим свойствам он подобен цинку. Его воздействие на организм приводит к нарушению функционирования ферментативных процессов. Кадмий характеризуется с долгим периодом полувыведения и длительным удержанием в организме (около 30 лет). Избыток этого микроэлемента в организме приводит к угнетению антитоксической функции печени, нарушению углеводного обмена. Кадмий, попадая в организм посредством респираторного эпителия жабр, утилизируется преимущественно печенью, жабрами и почками (Воробьев и др., 2007).

По результатам наших исследований, в печени всех изученных видов рыб отмечены повышенные значения концентрации кадмия (рис. 4). Наибольшие его количества были обнаружены в печени у бентофагов (лещ) – 0.34 мг/кг и у планктофагов (плотва) – 0.27 мг/кг.

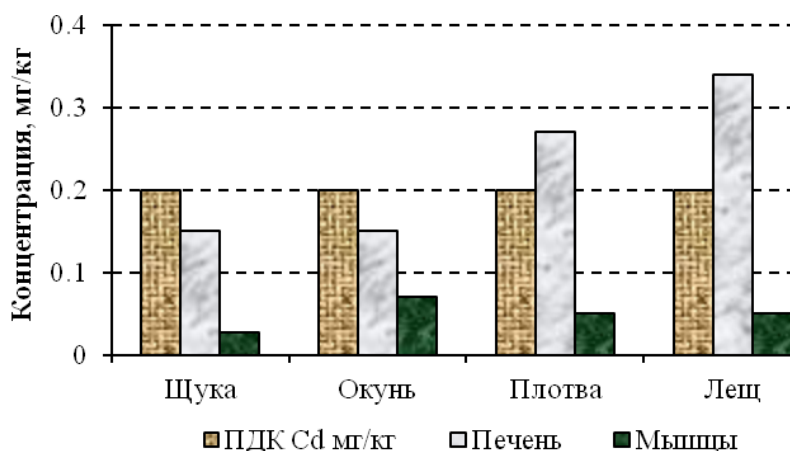


Рис. 4. Концентрация кадмия в органах и тканях рыб, выловленных в реке Волга в Черноярском районе, средние данные за 2016-2018 гг., ФГБНУ «ПНИИАЗ».

Никель. Его соединения играют важную положительную роль в процессах обезвреживания токсинов в организме, в кроветворных процессах, являясь катализаторами. Никель также оказывает специфическое действие на сердечнососудистую систему. Однако его избыток вызывает отравление, при котором жабры у рыб приобретают темную окраску и покрываются слизью (Горайнов и др., 2004).

По результатам нашего исследования в печени плотвы была обнаружена наибольшая концентрация никеля – 2.41 мг/кг, мышечная ткань содержала значительно меньше данного металла – 0.50 мг/кг. Наименьшая концентрация никеля была в мышцах щуки – 0.038 мг/кг (рис. 5).

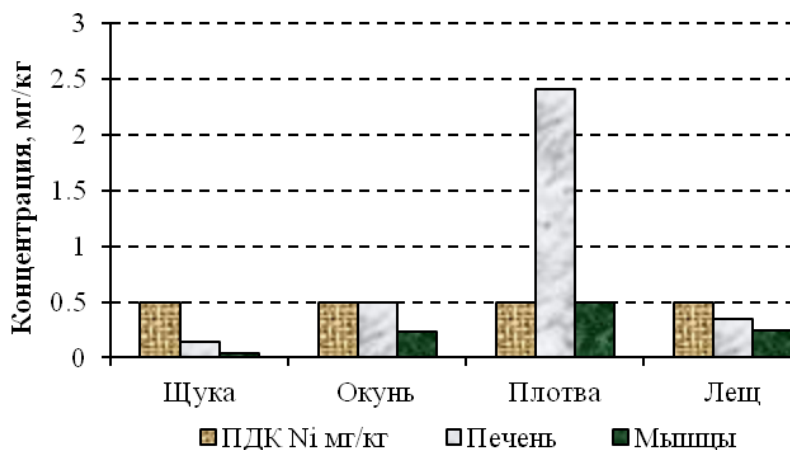


Рис. 5. Концентрация никеля в органах и тканях рыб, выловленных в реке Волга в Черноярском районе, средние данные за 2016-2018 гг., ФГБНУ «ПНИИАЗ».

Выводы

Сравнительный анализ концентраций тяжелых металлов в воде, печени и мышечной ткани рыб показал следующее.

1. Содержание ТМ в организмах выше, чем в воде, по некоторым элементам в десятки тысяч раз: так, например содержание цинка в воде составило 0.0023 мг/л, а в печени щуки концентрация увеличилась до 39.6 мг/кг. Это означает, что цинк может накапливаться в тканях гидробионтов до опасных уровней даже при содержании элемента в воде в небольших концентрациях.

2. Содержание ТМ в печени и мышцах различных видов рыб отличались, тем не менее, ПДК в печени превышали аналогичные показатели для мышц практически для всех токсикантов. Однако распределение ТМ в организмах хищных рыб (щуки и окуня) было сходным и отличалось от такового у плотвы и леща. У хищных видов по сравнению с бентофагами повышенным в печени было содержание меди (щука – 9.7 мг/кг, окунь – 9.6 мг/кг) и цинка (щука – 39.6 мг/кг, окунь – 31.58 мг/кг).

3. Содержание цинка в мышечной ткани леща (19.79 мг/кг) и плотвы (27.9 мг/кг) оказалось выше, чем у хищников.

4. Наибольшее количество тяжелых металлов по абсолютным величинам содержится в мышечной ткани, т.к. основную часть массы рыбы составляют мышцы (у костистых рыб они достигают 50% от общей массы, а внутренние органы – меньше 15%).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Волга. 2019 [Электронный ресурс <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%BB%D0%B3%D0%B0> (дата обращения 01.09.2019)].
- Воробьев Е.Б., Новиков В.В., Лопатин Р.И. 2006. Тяжелые металлы в Волгоградском водохранилище // Экологические системы и приборы. № 2. С. 11-13.
- Воробьев В.И., Зайцев В.Ф., Щербакова Е.Н. 2007. Биогенная миграция тяжелых металлов в организме русского осетра (монография). Астрахань: ООО «ЦНТЭП». С. 15-24.
- Горайнов В.В., Филиппов О.В., Плякин А.В., Золотарев Д.В. 2004. Волго-Ахтубинская пойма: Особенности гидрографии и водного режима. Волгоград: Волгоградское научное издательство. 112 с.
- ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб. 2014 [Электронный ресурс <http://docs.cntd.ru/document/1200097520> (дата обращения 25.09.2019)].
- Зубков М.В., Шилин А.В. 2015. Использование метода атомно-абсорбционной спектроскопии для определения тяжелых металлов // Обеспечение комплексной безопасности предприятий: проблемы и решения. Сборник тезисов докладов IV Международной научно-практической конференции. М. С. 40-41.
- Кодекс Алиментариус. 2007. Гигиена пищевых продуктов. М.: Весь Мир. С. 122.
- Кочеров В.И., Козицина А.Н., Иванова А.В., Митрофанова Т.С., Матерн А. 2010. Инверсионная вольтамперометрия: учебно-методическое пособие по курсу «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа». Екатеринбург: УрФУ. 110 с.
- Мухаметшин А.М. 2005. Оценка содержания металлов в тканях и органах рыб Куйбышевского водохранилища // Вестник Татарстанского отделения Российской Экологической Академии / Ред. Н.Ю. Степанова, В.З. Латыпова, А.М. Мухаметшин. № 4. С. 41-45.
- Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03. 2003. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации. С. 154.
- Справочник химика 21. 2019 [Электронный ресурс <https://chem21.info/info/793941> (дата обращения 09.10.2019)].
- Al-Bairuty G., Shaw B.J., Handy R.D., Henry T.B. 2013. Histopathological Effects of Waterborne Copper Nanoparticles and Copper Sulphate on the Organs of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Aquatic Toxicology. Vol. 126. P. 104-115.
- Eyckmans M., Celis N., Horemans N., Blust R., De Boeck G. 2011. Exposure to Waterborne Copper Reveals Differences in Oxidative Stress Response in Three Freshwater Fish Species // Aquatic Toxicology. Vol. 103. P. 112-120.
- Perevoznicov M.A., Bogdanova E.A. 1999. Heavy Metals in the Freshwater Ecological Systems. Saint-Petersburg. P. 188-216.