



Научный обзор

# Микроэлементный состав в промысловых рыбах бассейна реки Амур: обзор литературы

В.О. Бизбородов\*<sup>id</sup>, В.Д. Петишкина<sup>id</sup>, В.Ю. Цыганков<sup>id</sup>

Институт Мирового океана, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Россия, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10

\*bizborodov.vo@mail.ru

Поступила в редакцию: 11.05.2022  
Доработана: 19.05.2022  
Принята к печати: 20.05.2022  
Опубликована онлайн: 15.07.2022

DOI: 10.23859/estr-220511  
УДК 574.64

**Аннотация.** В обзоре представлены литературные данные, касающиеся содержания тяжелых металлов в промысловых видах рыб бассейна р. Амур. Результаты исследований демонстрируют неравномерность микроэлементного состава рыб на разных участках бассейна Амура, кроме того, отмечаются превышения допустимых концентраций по нормируемым элементам. Однако фактическое отсутствие свежих данных о содержании тяжелых металлов в гидробионтах затрудняет оценку экологического состояния р. Амур и анализ рисков для здоровья населения.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, загрязнение, поллютанты, аккумуляция, гидробионты, ихтиофауна, эссенциальные и токсичные элементы, предельно допустимые концентрации

**Для цитирования.** Бизбородов, В.О. и др., В.Ю., 2022. Микроэлементный состав в промысловых рыбах бассейна реки Амур: обзор литературы. *Трансформация экосистем* 5 (3), 109–118. <https://doi.org/10.23859/estr-220511>

## Введение

Амур – одна из крупнейших рек России. В результате серьезного антропогенного пресса, в том числе со стороны Китая, проблема загрязнения тяжелыми металлами (ТМ) бассейна Амура, а также их накопление в гидробионтах (в особенности рыбах) становится особо актуальной (Чижикова и др., 2011). Помимо того, что рыбы служат удобными объектами исследования, многие из них являются ценными промысловыми видами. Следовательно, они могут использоваться для прогнозирования различного рода воздействий на водные экосистемы и здоровье человека, употребляющего их в пищу (Кашулин, 2000).

Тяжелые металлы – редкие (рассеянные, следовые) элементы (металлы) с атомной массой более 50 а.е.м., в повышенных экзогенных концен-

трациях содержащиеся в объектах окружающей среды (почва, вода, атмосфера, организмы); они могут либо выполнять определенные биологические функции в организме, либо не осуществлять таковых (Дабахов и др., 2005).

Как известно, ТМ в водных экосистемах не подвержены разложению и деградации. Они способны аккумулироваться в тканях и органах гидробионтов, при этом становясь высокотоксичными для живых организмов всех трофических уровней, в том числе и для человека (Курамшина и др., 2012).

Рыбы – оптимальные маркеры, позволяющие составить представление об антропогенном влиянии на водные экосистемы, в частности, о содержании в воде тяжелых металлов и других микроэлементов (Воробьев и Самилкин, 1980).

Несмотря на масштаб и серьезность проблемы, количество работ по исследованию ТМ в рыбах бассейна р. Амур невелико (Зубарев и Бурик, 2019; Лучшева и др., 2000; Поляков и Ревуцкая, 2015; Ревуцкая и Чеглокова, 2015; Чернова и др., 2008; Чухлебова и Бердников, 2011; Чухлебова и Панасенко, 2010; Rakusina et al., 2019 и др.). Кроме того, разрозненность мест исследований затрудняет формирование общего представления о состоянии промысловых объектов данного района. В связи с этим целью нашего обзора явились анализ и систематизация имеющихся литературных сведений по содержанию микроэлементов в промысловых рыбах бассейна р. Амур, а также оценка безопасности рыбного сырья.

### Краткая географическая характеристика бассейна р. Амур

В списке самых великих рек мира Амур находится на десятом месте, а его бассейн (после Енисея, Оби и Лены) занимает четвертое положение среди рек России. Площадь бассейна составляет 1861 тыс. км<sup>2</sup>, длина реки – 4444 км (от слияния ее двух истоков – Шилки и Аргуни – 2824 км) (Готванский, 2007).

Бассейн р. Амур располагается в пределах трех государств (Рис. 1). Российская часть занимает 1003 тыс. км<sup>2</sup> территории; часть, приходящаяся на КНР, составляет 820 тыс. км<sup>2</sup>; на МНР – 32 тыс. км<sup>2</sup> (Готванский, 2007; Николаева, 2005).

Водный режим рек бассейна р. Амур характеризуется довольно неравномерным внутригодовым распределением. Зимний сток (с ноября по март) составляет обычно 5–10 % годовой величины, в то время как в летне-осенний период он достигает 75–80 % (Симонов и др., 2015).

Среднемноголетний годовой модуль стока р. Амур равен 6.1 л/(с × км<sup>2</sup>), что соответствует расходу воды в устье 11330 м<sup>3</sup>/с, или 357 км<sup>3</sup>/год. Объем стока с территории сопредельных стран (КНР и Монголии) в сумме составляет 28%. Межгодовая амплитуда годовых объемов стока Амура достигает 314 км<sup>3</sup> (Калугин и Мотовилов, 2018).

Бассейн р. Амур расположен в зоне умеренного климата, где явно преобладает муссонный характер циркуляции атмосферы в совокупности с циклонической деятельностью. Летние осадки муссонного типа охватывают колоссальные площади (100–200 тыс. км<sup>2</sup> и более). Их продолжительность составляет 20–30 суток, а количество за дождливый день нередко превышает месячные нормы в 2–3 раза (200–400 мм). Благодаря обильным осадкам, а также наличию многолетнемерзлых и водонепроницаемых горных пород горная р. Амур характеризуется быстрым поверхностным стоком. Это, в свою очередь, приводит к усиленному подъему уровня воды (1–3 м/сут) и образованию дождевых паводков.

Реки бассейна р. Амур по условиям водного режима относятся к дальневосточному типу, для



Рис. 1. Бассейн реки Амур.

которого четко характерен дождевой тип питания. Его доля в бассейне Верхнего и Среднего Амура составляет 50–70 %, в бассейне Нижнего Амура – 60–85 %. На долю снегового питания приходится 5–10 % стока, а подземного – 10–20 % (Симонов и др., 2015).

Наиболее интенсивное осадконакопление характерно для Среднеамурской низменности. Поверхность дна речной долины здесь повышается на 1.7–1.8 мм/год, или 17–18 см за 100 лет (Симонов и др., 2016).

Значения годового водопотребления бассейна р. Амур в пределах государств, где он располагается, различны. Например, объем годового водопотребления в его российской части, где проживает менее 5 млн человек, в 2010 г. достигал 1.18 км<sup>3</sup>, в то время как в китайской части бассейна этот показатель составил 36 км<sup>3</sup> (при населении около 70 млн человек).

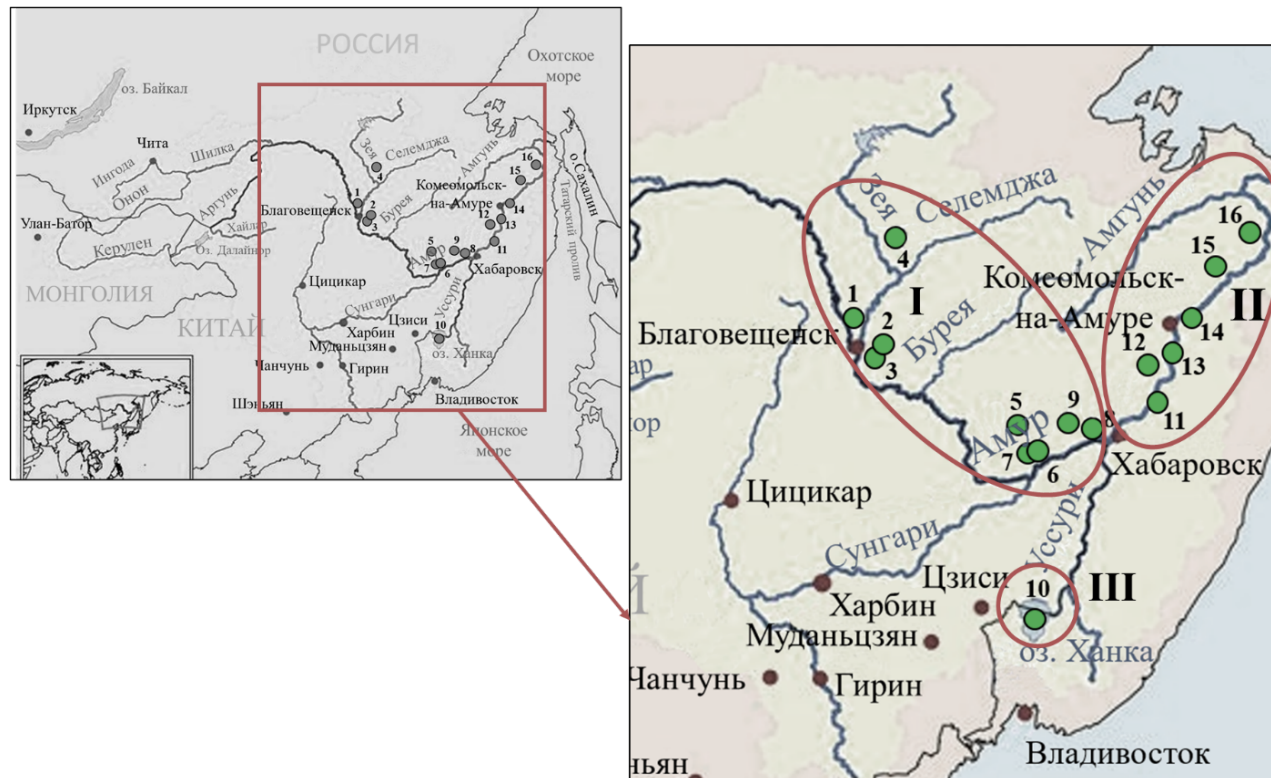
Значения объемов водопотребления на душу населения в бассейне р. Амур также сильно разнятся. В автономном округе Внутренняя Монголия они составляют 734.5 м<sup>3</sup>/чел, в провинции Хэйлунцзян – 712.9 м<sup>3</sup>/чел, а в провинции Цзилин эти величины в несколько раз ниже. Объем водопотребления на душу населения в российской части

бассейна р. Амур в среднем составляет 216 м<sup>3</sup>/чел. в год. Прежде всего, это связано с использованием воды для сельского хозяйства (Симонов и др., 2015).

### Микроэлементный состав рыб бассейна р. Амур: обзор по районам

Водные биологические ресурсы, в частности рыба, используются для употребления в пищу благодаря высокому содержанию в них белка, полиненасыщенных жирных кислот, витаминов и микроэлементов. Однако при этом необходим контроль микроэлементного состава, поскольку накопление ТМ в тканях гидробионтов ведет к повышению их концентраций, а значит, употребление таких организмов в пищу крайне нежелательно и может приводить к различным патологиям (Шульгин и др., 2007). По этой причине важен регулярный анализ качества промысловых рыб на содержание эссенциальных (железо, кобальт, медь, хром, марганец, цинк и др.) и неэссенциальных (мышьяк, кадмий, ртуть, свинец и др.) элементов в них.

Для удобства и более корректного сравнения результатов было решено разделить бассейн р. Амур на районы (Рис. 2).



**Рис. 2.** Карта-схема районов работ исследований с 2000 по 2019 гг.: I – Верхнеамурский; II – Нижнеамурский; III – оз. Ханка. Точки отбора проб: 1 – р. Грязнушка, 2 – Козьмодемьяновское водохранилище, 3 – Тамбовское водохранилище, 4 – р. Ушумун, 5 – р. Бира, 6 – р. Вертопрашиха, 7 – р. Солонечная, 8 – р. Урми, 9 – р. Ин, 10 – оз. Ханка, 11 – основное русло р. Амура (пос. Синда), 12 – р. Харпи, 13 – пос. Малмыж, 14 – пос. Бельго, 15 – р. Лимури, 16 – оз. Удыль.

### **Микроэлементный состав в рыбах Нижнеамурского района**

Исследования концентраций ТМ, обнаруженных во внутренних органах карася серебряного (*Carassius auratus gibelio* (Bloch, 1782)), полученного из различных водных объектов бассейна р. Амур показали, что их максимальные значения отмечались в органах, отвечающих за процессы репродукции и депонирования веществ – гонадах и печени. В наибольшем количестве накапливалось железо, его максимальная концентрация наблюдалась в печени рыб из основного русла Амура ( $537.2 \pm 93.0$  мг/кг сырой массы); кроме того, в печени было зафиксировано повышенное содержание меди, а концентрация кадмия превышала ПДК<sup>1</sup> и достигала 0.4 мг/кг. Уровень цинка в тканях рыб близок к показателю количества железа; в гонадах рыб концентрация цинка варьировала в широких пределах – от 2.6 мг/кг (основное русло) до 37.41 мг/кг сырой массы (оз. Удыль). Содержание остальных металлов было наименьшим в органах карасей из оз. Удыль и р. Лимури (Чухлебова и Панасенко, 2010).

В Табл. 1 представлены годовые изменения концентраций тяжелых металлов в мышцах рыб из основного русла р. Амур (пос. Синда) (Чухлебова и Бердников, 2011; Чухлебова и Панасенко, 2010). В период 2006–2008 гг. содержание ТМ в мышцах амурских видов рыб оставалось на одном уровне (с преобладанием цинка), что свидетельствует о постоянном антропогенном воздействии на экосистему. Концентрации нормируемых ТМ (например, свинца и кадмия – свидетельств индустриального пресса на окружающую среду) находились в пределах допустимых значений (кроме концентрации Cd в тканях коня пестрого (*Hemibarbus maculatus* (Bleeker, 1871)), отловленных летом и осенью 2007 г., а также концентрации Pb в серебряном карасе и уссурийской косатке (*Pseudobagrus ussuriensis* (Dybowski, 1872)), выловленных осенью того же года). Поскольку для бассейна р. Амур характерно половодье и частые паводки в летне-осенний период, можно предположить, что миграция кадмия и свинца происходит в тканях гидробионтов, являющихся основой кормовой базы этих видов рыб (Чухлебова и Бердников, 2011).

Е.Н. Чернова с соавторами (2008) исследовали содержание тяжелых металлов в органах серебряного карася из водоемов южного Приморья. В работе также приводятся данные по р. Харпи, принадлежащей бассейну Амура. Высокие уровни содержания биофильных элементов – цинка и железа – отмечены в чешуе, коже, почках, жабрах и в почках, жабрах, печени и селезенке соответственно. Из нормируемых элементов подвергались ана-

лизу только кадмий и свинец; их концентрации не превышали ПДК в мясе рыб, используемых в пищу.

На основании представленных результатов можно сделать вывод о том, что Нижнеамурский район подвержен загрязнению тяжелыми металлами. В тканях выловленных здесь рыб зафиксированы единичные случаи превышения ПДК по кадмию и свинцу. Т.е., употребление их в пищу нельзя считать полностью безопасным для здоровья человека.

### **Микроэлементный состав в рыбах Верхнеамурского района**

Основу водосбора р. Амур составляют малые реки; следовательно, ухудшение качества их вод оказывает отрицательное воздействие на экосистему реки в целом. По этой причине необходимо изучать содержание микроэлементов в водах малых рек и населяющих их гидробионтах (Платонова и др., 2013).

В.Ю. Поляков и И.Л. Ревуцкая (2015) исследовали концентрацию наиболее опасных, экотоксичных ТМ (Hg, Pb, Cd, As) в рыбе, выловленной в 2010 и 2012 гг. в реках Урми и Ин (Табл. 2). В ходе анализа было обнаружено, что в организмах рыб наблюдалось преобладание ртути над другими элементами (0.2369 мг/кг), хотя превышения ПДК при этом не отмечалось. Мы полагаем, что такое соотношение связано с несколькими факторами: геохимическими особенностями подстилающей поверхности, стоками с сельскохозяйственных полей и/или атмосферным переносом. Кроме того, выявлены незначительные изменения в концентрациях кадмия, свинца и мышьяка. Их максимальные показатели не превышали допустимых и составляли 0.018, 0.036 и 0.0226 мг/кг соответственно.

В 2019 г. проведено исследование, иллюстрирующее влияние осушительной мелиорации на накопление ТМ в гидробионтах, в частности, в жабрах голяна Лаговского (*Phoxinus lagowskii* (Dybowski, 1869)), обитающего в притоках среднего течения р. Амур (реки Ушумун, Грязнушка, Вертопрашиха, Солонечная) (Зубарев и Бурик, 2019). В бассейне р. Ушумун полностью отсутствуют объекты хозяйственной деятельности; ее гидрологический, гидрогеологический и гидрохимический режимы находятся в естественном состоянии, поэтому данный водоем выступал в качестве фонового района.

Содержание железа, марганца, цинка, меди и свинца в жабрах голяна Лаговского в верхних течениях рек находилось в пределах допустимого, но под влиянием осушительной мелиорации в нижних течениях происходит увеличение концентраций всех ТМ, в особенности свинца (2.5–3 ПДК) и железа (Рис. 3). Среднее количество марганца составило 11.5 мг/кг, однако были отмечены значительные колебания концентрации металла в нижних течениях рек – 18–31 мг/кг. В жабрах рыб из низовьев

<sup>1</sup> ТР ТС 021/2022. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции».



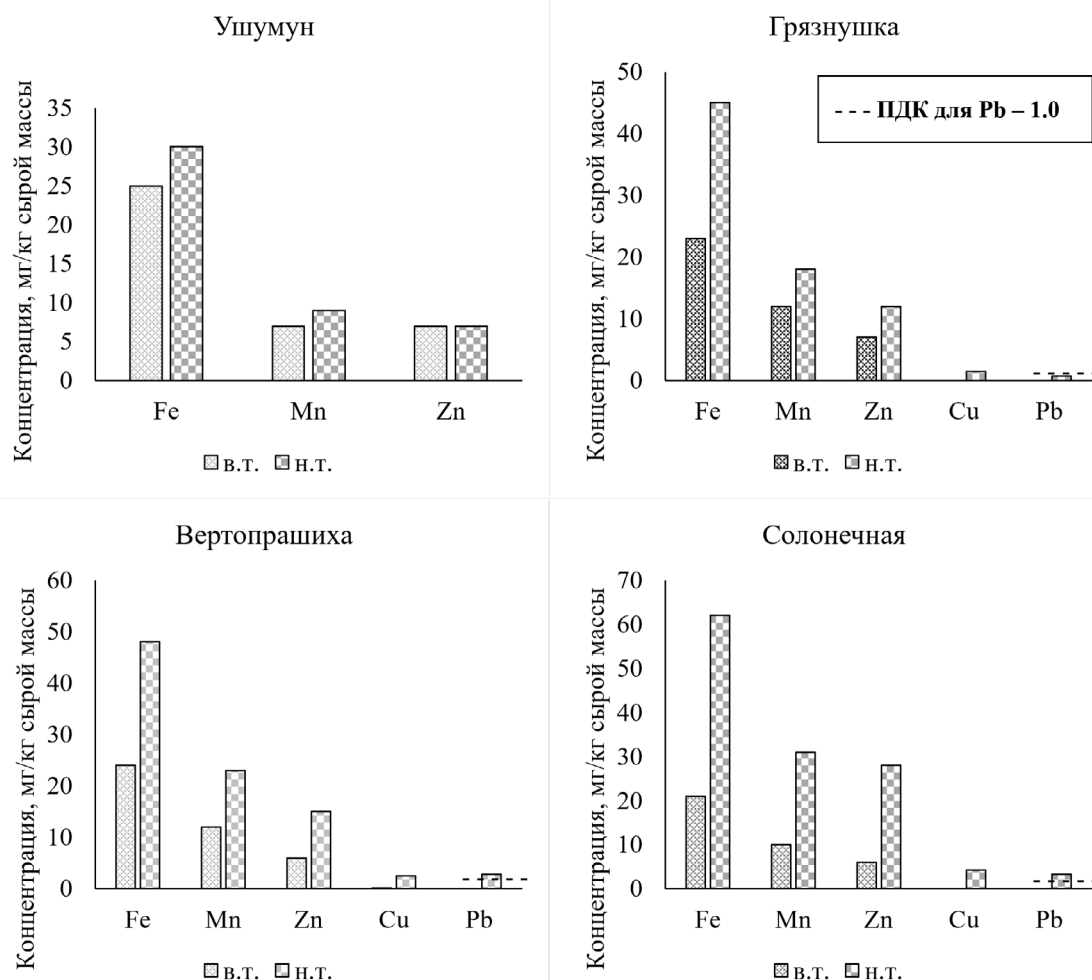


Рис. 3. Концентрации ТМ в жабрах голяна Лаговского (*Phoxinus lagowskii*) (Зубарев и Бурик, 2019); в.т. – верхнее течение, н.т. – нижнее течение.

рек Вертопрашихи и Солонечной выявлен высокий уровень свинца, значительно превышающий ПДК для промысловых рыб (Зубарев и Бурик, 2019).

Результаты исследований ТМ, обнаруженных в мышцах карася серебряного (*Carassius gibelio* (Bloch, 1782)), свидетельствуют о том, что концентрации микроэлементов не достигали ПДК для рыб и ранжировались следующим образом:  $Cd < Pb < Mn < Cu < Fe < Zn$ . Однако в мышцах карася из Козьмодемьяновского водохранилища осенью 2015 г. была зафиксирована концентрация свинца, достигающая 1–1.2 мг/кг, что превышает значения ПДК для рыбы<sup>2</sup>, т.е. ее употребление в пищу потенциально опасно для здоровья человека (Pakusina et al., 2019).

Таким образом, микроэлементный состав рыб Верхнеамурского района не позволяет считать безопасным их употребление в пищу. Зафиксированы случаи превышения ПДК по нормируемым элементам, связанные с антропогенной деятель-

ностью. Однако вывод о безопасности рыбной продукции можно считать условным, поскольку данные исследований малых рек не дают общего представления о р. Амур в целом.

### Микроэлементный состав в рыбах оз. Ханка

Озеро Ханка – самое крупное дальневосточное озеро; оно является важной частью ресурсов пресноводного рыболовства и принадлежит водосборному бассейну р. Амур (Туранов и др., 2019). В результате возрастающего загрязнения воды из-за сельскохозяйственного и промышленного освоения территории запасы рыбной продукции постепенно снижаются. Тем не менее водоем продолжает играть огромную роль в рыболовстве Приморского края (Лучшева и др., 2000) и является международным объектом природы (часть его принадлежит КНР). Следовательно, проведение мониторинга содержания ТМ в промысловых рыбах озера крайне важно.

Существует два исследования, касающихся микроэлементного состава органов и тканей ка-

<sup>2</sup> СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов.

Табл. 2. Концентрации микроэлементов в пробах рыбы, выловленной в реках Урми и Ин в 2010 и 2012 гг (Поляков и Ревуцкая, 2015).

Вид	Концентрация, мг/кг сырой массы							
	Pb		Cd		Hg		As	
	2010	2012	2010	2012	2010	2012	2010	2012
Хариус амурский	< 0.0003	< 0.0003	< 0.0003	0.0118 ± 0.002	0.1672 ± 0.0251	0.0777 ± 0.012	< 0.0005	< 0.0001
Карась серебряный	< 0.0003	< 0.0003	< 0.0003	0.018 ± 0.002	0.1772 ± 0.0266	0.0968 ± 0.015	< 0.0005	0.0094 ± 0.003
Ленок	< 0.0003	0.1808 ± 0.0271	< 0.0003	0.0103 ± 0.002	0.1461 ± 0.0219	0.0994 ± 0.0149	< 0.0005	< 0.0001
Щука обыкновенная	0.0024 ± 0.0006	< 0.0003	< 0.0003	0.018 ± 0.002	0.2186 ± 0.0328	0.0777 ± 0.012	< 0.0005	< 0.0001
Змеёголов	< 0.0003	< 0.0003	0.0015 ± 0.0004	0.003 ± 0.0006	0.1808 ± 0.0271	0.2369 ± 0.036	< 0.0005	< 0.0001

Табл. 3. Содержание ртути в промысловых видах рыб из оз. Ханка, мг/кг сырой массы (Лучшева и др., 2000). \* – максимальные концентрации превышали ПДК для пищевых продуктов.

Вид	Органы			
	Печень	Кишечник	Почки	Мышцы
Толстолобик амурский	0.11–2.95*	0.07–0.40*	0.04–0.42*	0.02–0.16
Сазан амурский	0.08–3.15*	0.04–0.66*	0.07–2.30*	0.04–0.60*
Конь пестрый	0.09–0.31*	0.06–0.87*	0.05–0.78*	0.06–0.30*
Сом амурский	0.09–0.68*	0.02–0.51	0.10–0.32	0.17–0.56
Щука амурская	0.18–0.73*	0.10–0.96*	0.10–0.79*	0.08–1.18*
Верхогляд	0.10–3.25*	0.05–0.89*	0.15–1.34*	0.08–1.30*

рася серебряного (*Carassius auratus gibelio*), обитающего в водоемах юга Приморского края, в том числе в оз. Ханка (Марченко и др., 2006; Чернова и др., 2008). В первой работе на содержание ТМ исследовались чешуя, мышцы, кожа, гонады, почки, жабры, печень, селезенка (Марченко и др., 2006); во второй публикации объектом изучения выступали только мышцы (Чернова и др., 2008). В целом концентрации тяжелых металлов в мышечной ткани карасей в 2006 и 2008 г. были сходны и характеризовались незначительным разбросом величин (Рис. 4). В органах наблюдалась противоположная картина. Содержание металлов варьировало в широких диапазонах с превышением ПДК для кадмия в чешуе, жабрах и почках (0.28, 0.34 и 0.52 мг/кг сырой массы соответственно). Из биофильных элементов высокими концентрациями отметились железо (в жабрах и селезенке) и цинк (в почках, коже, жабрах и чешуе), что свидетельствует об антропогенном воздействии на данную акваторию.

Загрязнение водной среды и гидробионтов ртутью является одной из серьезных экологических проблем нашего времени. Рыбы, являющиеся конечным звеном пищевой цепи в большинстве пресноводных экосистем, способны накапливать в себе концентрации ртути, в тысячи раз превышающие содержание этого элемента в водной среде. Кроме того, более 90 % ртути в органах и тканях рыб находится в наиболее токсичных органических формах (Кочарян и др., 1989; Кузубова и др., 2000; Сухенко, 1995; Lucotte et al., 1999). Следовательно, знания о количестве этого металла в органах и тканях промысловых рыб имеют принципиальное значение (как известно, именно рыба и другие водные организмы являются основным источником метилртути для человека (Myers et al., 2007)).

В работе Л.Н. Лучшевой с соавторами (2000) исследовалось содержание ртути в органах и тканях промысловых рыб из оз. Ханка. В ходе работы

было зафиксировано значительное накопление данного металла в рыбах. В частности, в 22 % случаев концентрации ртути превысили ПДК для пресноводных рыб (0.6 и 0.3 мг/кг сырой массы для хищных и нехищных видов соответственно) (Табл. 3). Ее минимальное значение (0.02 мг/кг) выявлено в кишечнике амурского сома (*Parasilurus asotus* (Linnaeus, 1758)) и мышцах толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix* (Valenciennes, 1844)), максимальное – в печени сазана (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) и верхогляда (*Chanodichthys erythropterus* Basilewsky, 1855) (3.15 и 3.25 мг/кг сырой массы соответственно). Авторы полагают, что столь высокие концентрации ртути в рыбах оз. Ханка обусловлены с поступлением органических соединений металла со сливными водами рисовых чеков.

Таким образом, в соответствии с гигиеническими нормативами России употребление в пищу рыб из оз. Ханка нельзя считать безопасным. Однако важно учесть, что на сегодняшний день рассмотренные работы утратили свою актуальность, следовательно, для корректного заключения необходимо проводить новые исследования.

## Заключение

Одной из наиболее важных и острых экологических проблем во всем мире является загрязнение водных экосистем. С каждым годом антропогенный пресс возрастает, в водоемы поступают различные поллютанты, способные мигрировать на большие расстояния, аккумулироваться гидробионтами, в частности рыбами, и передаваться по трофическим цепям, конечным звеном которых является человек. Тяжелые металлы, попадающие в водные объекты со стоками и смывами с территорий городов, промышленных предприятий, сельхозугодий и т.д., служат важным объектом экологического мониторинга.

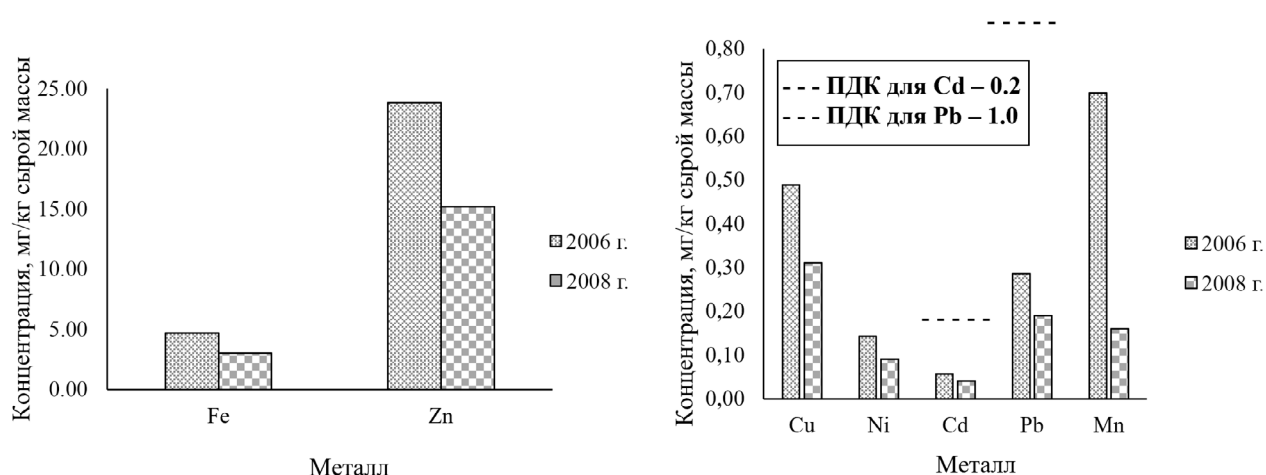


Рис. 4. Межгодовые изменения концентрации ТМ в мышцах карася серебряного (*Carassius auratus gibelio*) (Марченко и др., 2006; Чернова и др., 2008).

Бассейн р. Амур расположен в пределах трех государств, а сама река играет ведущую роль в рыбохозяйственной сфере среди внутренних водоемов России. Несмотря на международный статус р. Амур и оз. Ханка, данных о микроэлементном составе промысловых рыб крайне мало и часть из них утратила свою актуальность. Однако по имеющимся данным, концентрации некоторых ТМ в тканях рыб превышают ПДК, и их употребление в пищу может быть опасно. Следовательно, необходимо регулярно проводить мониторинг акватории на содержание нормируемых элементов и давать оценку безопасности рыбной продукции.

## ORCID

В.О. Бизбородов [ID 0000-0002-0411-4983](https://orcid.org/0000-0002-0411-4983)

В.Д. Петишкина [ID 0000-0001-9377-6024](https://orcid.org/0000-0001-9377-6024)

В.Ю. Цыганков [ID 0000-0002-5095-7260](https://orcid.org/0000-0002-5095-7260)

## Список литературы

- Воробьев, В.И., Самилкин, Н.С., 1980. Динамика микроэлементов в органах и тканях рыб дельты р. Волги. В: Воробьев, В.И. (ред.), *Микроэлементы в жизни населения водоемов*. Наука, Москва, СССР, 3–28.
- Готванский, В.И., 2007. Бассейн Амура: осваивая – сохранить. Архипелаго Файн Принт, Хабаровск, Россия, 200 с.
- Дабахов, М.В., Дабахова, Е.В., Титова, В.И., 2005. Тяжелые металлы: Экотоксикология и проблемы нормирования. ВВАГС, Нижний Новгород, Россия, 165 с.
- Зубарев, В.А., Бурик, В.Н., 2019. Гидрохимическая характеристика рек Еврейской автономной области и содержание тяжелых металлов в жабрах гольяна (*Phoxinus lagowskii*). *Региональные проблемы* 22 (1), 31–37.
- Калугин, А.С., Мотовилов, Ю.Г., 2018. Модель формирования стока для бассейна реки Амур. *Водные ресурсы* 45 (2), 121–132.
- Кашулин, Н.А., 2000. Ихтиологические основы биоиндикации загрязнения среды тяжелыми металлами. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук. Петрозаводск, Россия, 42 с.
- Кочарян, А.Г., Морковкина, И.К., Сафронова, К.И., 1989. Поведение ртути в водохранилищах и озерах. В: Васильев, О.Ф. (ред.), *Поведение ртути и других тяжелых металлов в экосистемах*. ГПНТБ СО АН СССР, Новосибирск, СССР, 88–127.
- Кузубова, Л.И., Шуваева, О.В., Аношин, Г.Н., 2000. Метилртуть в окружающей среде: распространение, образование в природе, методы определения (Серия аналитических обзоров мировой литературы «Экология». Т. 85). ГПНТБ СО РАН, Новосибирск, Россия, 82 с.
- Курамшина, Н.Г., Курамшин, Э.М., Николаева, С.В., 2012. Биоаккумуляция ТМ в рыбе водных объектов РБ. *Тезисы докладов международной научно-практической конференции «Экологическая безопасность и охрана природной среды»*. Уфа, Россия, 91–94.
- Лучшева, Л.Н., Ковековдова, Л.Т., Назаров, В.А., 2000. Содержание ртути в промысловых видах рыб озера Ханка. *Известия Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра* 127, 559–568.
- Марченко, А.Л., Чернова, Е.Н., Христофорова, Н.К., 2006. Содержание тяжелых металлов в мышцах карася серебряного *Carassius auratus gibelio* из водоемов юга Приморского края. *Исследовано в России* 9, 759–768.
- Николаева, Г.М., 2005. Амур. Большая российская энциклопедия. Электронный ресурс. URL: <https://bigenc.ru/geography/text/1819205> (дата обращения: 01.05.2022).
- Платонова, Т.П., Пакулина, А.П., Тарасенко, О.В., Лобарев, С.А., 2013. Содержание микроэлементов в водах левобережных притоков Амура. *Проблемы экологии Верхнего Приамурья* 15, 25–29.
- Поляков, В.Ю., Ревуцкая, И.Л., 2015. Тяжелые металлы в речной рыбе некоторых поверхностных водотоков Приамурья. *Глобальный научный потенциал* 1 (46), 93–95.
- Ревуцкая, И.Л., Чеглокова, Н.С., 2015. Содержание токсичных элементов в рыбе поверхностных водотоков Еврейской автономной области. *Тезисы VIII Всероссийской школы-семинара молодых ученых, аспирантов и студентов «Территориальные исследования: цели, результаты и перспективы»*. Биробиджан, Россия, 85–87.
- Симонов, Е.А., Егидарев, Е.Г., Меньшиков, Д.А., Халяпин, Л.Е., Королев, Г.С., 2015. Комплексная эколого-экономическая оценка развития гидроэнергетики бассейна реки Амур. WWF России, Москва, 279 с.

- Симонов, Е.А., Никитина, О.И., Осипов, П.Е., Егидарев, Е.Г., Шаликовский, А.В., 2016. Мы и амурские наводнения: невыученный урок? WWF России, Москва, Россия, 216 с. <https://doi.org/10.17513/np.196>
- Сухенко, С.А., 1995. Ртуть в водохранилищах: новый аспект антропогенного загрязнения биосферы (Серия аналитических обзоров мировой литературы «Экология». Т. 36). ГПНТБ СО РАН, Новосибирск, Россия, 54 с.
- Туранов, С.В., Картавец, Ю.Ф., Шаповалов, М.Е., 2019. Первый опыт исследования видового разнообразия рыб озера Ханка с использованием методов ДНК-штрихкодирования. *Генетика* 55 (4), 439–448. <https://doi.org/10.1134/S0016675819040155>
- Чернова, Е.Н., Христофорова, Н.К., Марченко, А.Л., Кавун, В.Я., Ковалев, М.Ю., 2008. Содержание тяжелых металлов в органах карася серебряного (*Carassius auratus gibelio*) из водоемов южного Приморья. *Известия ТИНРО* 154, 214–230.
- Чижикова, Н.П., Сиротский, С.Е., Харитоновна, Г.В., Уткина, Е.В., 2011. Микроэлементы в водных экосистемах реки Амур. *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева* 67, 32–39.
- Чухлебова, Л.М., Бердников, Н.В., 2011. Особенности накопления тяжелых металлов в воде, донных отложениях и мышцах рыб среднего течения р. Амур. *Региональные проблемы* 14 (1), 54–58.
- Чухлебова, Л.М., Панасенко, Н.М., 2010. Содержание тяжелых металлов в органах и тканях рыб из приамурских водоемов. *Рыбоводство* 11, 59–63.
- Шульгин, Ю.П., Лаженцева, Л.Ю., Шульгина, Л.В., 2007. Гигиеническая оценка потребления и качества рыбных продуктов. *Гигиена и санитария* 2, 39–42.
- Lucotte, M., Schetagne, R., Therien, N., Langlois, C., Tremblay, A., 1999. Mercury in the biogeochemical cycle. Springer, Berlin, Germany, 334 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-60160-6>
- Myers, G.J., Davidson, P.W., Strain, J.J., 2007. Nutrient and methyl mercury exposure from consuming fish. *The Journal of Nutrition* 137 (12), 2805–2808. <https://doi.org/10.1093/jn/137.12.2805>
- Pakusina, A.P., Platonova, T.P., Lobarev, S.A., 2019. The impact of land use on heavy metal pollution of the small Gilchin River of Zeya–Bureya Plain, Russia. *Ekoloji* 28 (108), 2693–2704.

## Review

# Trace element composition of commercial fish of the Amur River Basin: A review

Vyacheslav O. Bizborodov<sup>id</sup>, Victoria D. Petishkina<sup>id</sup>,  
Vasiliy Yu. Tsygankov<sup>id</sup>

*Institute of the World Ocean, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, Primorsky Krai, 690922 Russia*

\*bizborodov.vo@mail.ru

**Abstract.** This review presents literature data on the presence of heavy metals in commercial fish species from the Amur River basin. The results of the research show that the trace element composition of fish differs in different parts of the Amur basin; it can exceed permissible concentrations for standardized elements. However, a lack of actual fresh data on heavy metal content of hydrobionts makes it difficult to assess the ecological state of the Amur River or analyze the risks to public health.

**Keywords:** heavy metals, pollution, pollutants, accumulation, hydrobionts, ichthyofauna, essential and toxic elements, maximum permissible concentrations