



Издатель

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г.Петрозаводск, пр.Ленина,33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<http://ecopri.ru>

№ 4 (58). Декабрь, 2025

Главный редактор

А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов
Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
А. М. Макаров

Редакционная коллегия

Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
J. P. Kurhinen
А. Ю. Мейгал
J. B. Jakovlev
В. Krasnov
А. Gugolek
В. Н. Якимов
А. В. Сони́на

Службы поддержки

Н. А. Марфицина
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г.Петрозаводск, пр. Ленина, 33. Каб. 453

E-mail: ecopri@psu.karelia.ru

<http://ecopri.ru>



© ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»



УДК 597.2/5-574.2

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ И ПЕЧЕНИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПРОМЫСЛОВЫХ РЫБ РЕКИ ИРТЫШ (ОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

ЖАРКОВА
Наталья Николаевна

доктор сельскохозяйственных наук, Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 644008, г. Омск, Институтская площадь, 1, nn.zharkova@omgau.org

БОЛТОВСКАЯ
Алена Сергеевна

Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 644008, г. Омск, Институтская площадь, 1, as.kravets2025@omgau.org

Ключевые слова:
тяжелые металлы
промысловые рыбы
мышечная ткань
печень
река Иртыш
Омская область

Аннотация: В статье рассмотрено современное содержание Zn, Cu, Cd, Pb, As и Hg в мышечной ткани и печени различных видов промысловых рыб: обыкновенный лещ (*Abramis brama*), карась серебряный (*Carassius gibelio*), обыкновенная плотва (*Rutilus rutilus*), отобранных в реке Иртыш в границах Омской области в 2024 г. Всего было исследовано 45 половозрастных, примерно одноразмерных особей, по 15 каждого вида рыб, без разделения по полу. Показано различие в уровнях содержания микроэлементов в мышечной ткани и печени рыб в зависимости от их типа питания. Так, в мышечной ткани леща обыкновенного выше концентрация Hg, в печени – Cu, по сравнению с другими видами мирных рыб (плотва обыкновенная, карась серебряный). Установлено, что максимальные концентрации Cu, Pb и Cd характерны для печени рыб, независимо от их видовой принадлежности. Мышцы рыб имели относительно низкие концентрации этих микроэлементов. Обратная ситуация складывалась по Zn, Hg и As – наибольшие концентрации данных элементов отмечены в мышцах рыб. Содержание тяжелых металлов в мышечной ткани и печени исследуемых видов рыб реки Иртыш не превышало установленных предельно допустимых уровней. Однако в мышечной ткани леща обыкновенного зафиксировано повышенное содержание Hg – 0.232 мг/кг при ПДК 0.3 мг/кг.

© Петрозаводский государственный университет

Получена: 21 августа 2025 года

Подписана к печати: 10 декабря 2025 года

Введение

Иртыш – одна из крупнейших рек, расположенных на территории Западной Сибири (Глушков, 2016). Она является главным источником хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения, рыбного промысла, основной артерией судоходных путей (Жаркова и др., 2024), обладает богатыми водными биологическими ресурсами. По литературным данным, ихтиофауна Иртыша в Омской области включает 31 вид рыб,

среди которых преобладают представители семейства карповых (Cyprinidae). Наиболее активно из карповых добываются серебряный карась, язь и лещ (в среднем – 68.3 % от общего улова). В любительском промысле местного населения существенную долю также составляют плотва и елец (в среднем 20.8 %) (Промоторова, 2019).

Рыбы занимают в биоценозах водных экосистем верхний трофический уровень и обладают ярко выраженной способностью

накапливать тяжелые металлы (Артамонов, 2016; Вундцеттель, Кузнецова, 2013; Горбунов и др., 2023; Лопарева и др., 2016), поэтому их часто используют в биомониторинге в качестве биоиндикаторов загрязнения поверхностных вод (Лобанова, 2008). Являясь мигрирующими организмами, они дают интегрированную характеристику загрязнения водного объекта (Эйрих и др., 2024). Повышенное содержание в организме рыб тяжелых металлов свидетельствует об их значительной концентрации в водной среде, возможном функциональном нарушении во всех звеньях экосистемы (Вундцеттель, 2013). Поэтому на сегодняшний день важно при оценке качества промысловых рыб принимать во внимание не только органолептические показатели (внешний вид, цвет, вкус, запах), результаты физико-химических, биологических, паразитологических исследований, но и химико-токсикологических анализов (Ефимова и др., 2018), включающих определение содержания эссенциальных (цинк, медь) и неэссенциальных (свинец, мышьяк, кадмий, ртуть) микроэлементов.

Сведения о содержании тяжелых металлов в органах и тканях рыб среднего течения р. Иртыш немногочисленны (Эйрих, 2024), лучше изучены рыбы нижнего течения Иртыша (Артамонов, 2016; Артамонов и др., 2023; Чемагин и др., 2019). При этом в последнее время наблюдается тенденция увеличения загрязнения р. Иртыш тяжелыми металлами (Жаркова и др., 2025; Макарова, 2009), которые, перемещаясь по трофической цепи, способны аккумулироваться в различных живых организмах в существенно большем количестве, чем в среде обитания (Цеханович и др., 2017; Попов, Андросова, 2014). В связи с этим оценка уровня содержания тяжелых металлов в органах и тканях промысловых рыб является важной задачей, поскольку они могут накапливаться в рыбе и представлять опасность для здоровья человека при употреблении в пищу, вызывая так называемые экологически обусловленные заболевания (Теплая и др., 2024).

Цель работы – оценить содержание тяжелых металлов в мышечной ткани и печени различных видов промысловых рыб р. Иртыш в границах Омской области.

Материалы

В статье использованы материалы анализа содержания тяжелых металлов в образцах тканей и печени промысловых видов рыб, выловленных в среднем течении р. Иртыш

на территории Омской области. Отбор проб гидробионтов проводился с конца августа по сентябрь 2024 г. в трех створах наблюдений на р. Иртыш: выше г. Омска (д. Ольховка, Черлакский район, граница с Республикой Казахстан), в пределах г. Омска и ниже г. Омска (г. Тара, Тарский район) (рис. 1).

В качестве объектов исследования были выбраны: обыкновенный лещ (*Abramis brama*, Linnaeus, 1758), карась серебряный (*Carassius gibelio*, Bloch, 1782), обыкновенная плотва (*Rutilus rutilus*, Linnaeus, 1758), – как наиболее распространенные виды мирных рыб, обитающие на территории Омской области. Все изучаемые гидробионты относятся к семейству карповых (Cyprinidae). По типу питания обыкновенный лещ является бентофагом, а обыкновенная плотва и карась серебряный – эврифагами.

Всего для исследования отобрано 45 половозрастных, примерно одноразмерных особей, по 15 каждого вида рыб, без разделения по полу. Биоматериалом для исследования послужили пробы мышечной ткани, которые отбирали со спинной части тела, и печени рыб.

В каждой отдельно взятой пробе определяли содержание цинка (Zn), меди (Cu), кадмия (Cd), свинца (Pb), мышьяка (As) и ртути (Hg).

Методы

Отлов рыбы осуществляли собственноручно с помощью удочек (поплавочная, спиннинг). Частично недостаток количества рыбы для исследования восполняли покупкой у рыбаков на р. Иртыш.

Образцы очищали от внешних загрязнений, промывали дистиллированной водой, помещали в полиэтиленовые пакеты и замораживали. В таких условиях хранили до определения содержания микроэлементов. При подготовке к анализу рыбу весом от 100 до 400 г размораживали, после этого вырезали мышечную ткань, начиная от спинного плавника до начала ребер вдоль тела, далее извлекали печень. Таким образом, вес одной пробы мышечной ткани составлял 0.5 кг, а вес одной пробы печени – до 3 г.

Пробоподготовку биологического материала проводили согласно ГОСТ 26929-94 «Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов» (2010). Предварительная подготовка проб включала высушивание при температуре 60 °С до постоянной массы, затем проведение мо-

33824-2016 (2016), As – инверсионной вольтамперометрией на анализаторе ТА-2М (МУ 31-05/04), Hg – атомно-абсорбционной спектрометрией на спектрометре МГА-1000 (ГОСТ Р 53183-2008, 2010), Zn и Cu – атомно-эмиссионной спектрометрией с индуктивно-связанной плазмой (М-02-1702-20) на приборе Plasma 3000.

В образцах печени Cd, Pb, Zn, Cu (ГОСТ 33824-2016, 2016), As (ГОСТ 31628-2012, 2014) определяли инверсионно-вольтамперометрическим методом на анализаторе ТА-LAB, Hg – атомно-адсорбционным методом (ГОСТ 26927-86, 2010) на анализаторе Спектр-5.

Полученные концентрации четырех тяжелых металлов (кадмий, свинец, мышьяк и ртуть) в мышечной ткани рыб сравнивали с утвержденными нормативами для пресноводных нехищных видов рыб по СанПиН 2.3.2.1078–01 от 2002 года (с изменениями и дополнениями) (2025), в печени – с Техни-

ческим регламентом Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (2025). ПДК цинка и меди брали из документа «Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах» (Сборник важнейших официальных..., 1992).

Статистическую обработку данных осуществляли в программе MS Excel.

Результаты

В проведенном исследовании не установлено существенно значимых различий в содержании тяжелых металлов в образцах рыбы в зависимости от месторасположения створа, поэтому приведены усредненные показатели содержания изучаемых элементов в мышечной ткани и печени рыб.

Средние концентрации микроэлементов в мышечной ткани изучаемых видов рыб, выловленных в р. Иртыш (Омская область), представлены в табл. 1.

Таблица 1. Концентрации микроэлементов в мышечной ткани различных видов рыб, выловленных в р. Иртыш, 2024 г.

Вид рыбы	Значения концентраций, мг/кг сырой массы					
	Cd	Pb	As	Hg	Zn	Cu
Обыкновенная плотва	< 0.003	< 0.02	0.11 ± 0.03	0.0069 ± 0.002	6.47 ± 1.62	0.71 ± 0.18
Обыкновенный лещ	< 0.003	0.030 ± 0.009	0.035 ± 0.01	0.232 ± 0.069	6.74 ± 1.69	0.54 ± 0.14
Серебряный карась	< 0.003	0.030 ± 0.009	0.075 ± 0.02	0.055 ± 0.017	6.74 ± 1.69	0.54 ± 0.14
ПДК	0.2	1.0	1.0	0.3	40.0	10.0

Анализ результатов исследований показал, что среднее содержание Cd в мышечной ткани основных промысловых видов рыб р. Иртыш значительно ниже допустимого уровня 0.2 мг/кг. Так, концентрация Cd во всех изучаемых видах рыб составляла менее 0.003 мг/кг и была ниже предела обнаружения применяемого метода анализа.

Содержание Pb в мышечной ткани рыб не превышало установленного ПДК – 1.0 мг/кг. Концентрация этого элемента в плотве обыкновенной была ниже предела обнаружения и составила

При этом отмечены различия в содержании мышьяка внутри семейства: наибольшее содержание As в образцах мышечной ткани зафиксировано у плотвы обыкновенной (0.11 мг/кг), у леща и карася концентрации были в 1.5–3.0 раза ниже и варьировали от 0.035 до 0.075 мг/кг соответственно. Содержание As в исследуемых образцах мышечной ткани рыб не превышало ПДК (1.0 мг/кг).

У представителей семейства карповые, обитающих в р. Иртыш, содержание Hg значительно варьировало и составило 0.232 мг/кг у леща, 0.055 мг/кг у карася и 0.0069 мг/кг у плотвы. Сравнительно высокая концентрация Hg в мышечной ткани леща обыкновенного (но не превышающая ПДК) связана с тем, что из представленных мирных видов рыб он единственный относится к бентофагам, основу питания которых составляют донные беспозвоночные, водоросли, детрит, что способствует прогрессивному накоплению Hg в мышечной ткани.

Концентрации эссенциальных микроэлементов Zn и Cu в мышцах изучаемых видов рыб были примерно на одном уровне и изменялись для цинка от 6.47 до 6.74 мг/кг (ПДК = 40 мг/кг), для меди от 0.54 до 0.71 мг/кг (ПДК = 10 мг/кг). Стоит отметить, что относительно других элементов Zn и Cu в мышечной ткани присутствовали в большем количестве.

Таким образом, в ходе проведенных исследований выявлена следующая закономерность распределения микроэлементов в мышечной ткани мирных видов рыб:

плотва обыкновенная – $Zn > Cu > As > Pb > Hg > Cd$;
лещ обыкновенный – $Zn > Cu > Hg > As >$

$Pb > Cd$;

серебристый карась – $Zn > Cu > As > Hg > Pb > Cd$.

Концентрации микроэлементов в печени промысловых видов рыб р. Иртыш приведены в табл. 2.

Таблица 2. Концентрации микроэлементов в печени различных видов рыб, выловленных в р. Иртыш, 2024 г.

Вид рыбы	Значения концентраций, мг/кг сырой массы					
	Cd	Pb	As	Hg	Zn	Cu
Обыкновенная плотва	0.119 ± 0.05	0.097 ± 0.04	<0.03	<0.0040	–	3.10 ± 0.81
Обыкновенный лещ	0.278 ± 0.07	0.126 ± 0.05	<0.03	<0.0040	–	3.40 ± 0.86
Серебряный карась	0.470 ± 0.09	0.400 ± 0.07	<0.03	<0.0040	2.22 ± 0.62	2.41 ± 0.76
ПДУ	0.7	1.0	1.0	0.5	–	–
ПДК	–	–	–	–	40.0	10.0

Примечание. «–» – элемент не определялся.

В ходе проведенных лабораторных испытаний установлено, что содержание Cd в печени исследуемых видов рыб выше, чем в мышечной ткани (см. табл. 2). Превышение содержания Cd в печени по сравнению с мышцами у разных видов рыб изменялось от 39 раз (плотва обыкновенная) до 157 раз (карась серебристый). Способность к значительному накоплению Cd в печени рыб обусловлена активным участием этого органа в процессах детоксикации с участием металлопротеинов (Fernandes et al., 2008). Во всех образцах печени анализируемых видов рыб концентрация Cd не превышала установленный уровень ПДУ 0.7 мг/кг сырой массы (ТР ТС 021/2011). В пробах печени серебряного карася концентрация кадмия составляла 0.470 (0.67 ПДК), обыкновенного леща – 0.278 (0.40 ПДК), плотвы обыкновенной – 0.119 (0.17 ПДК) мг/кг сырой массы.

Внутри семейства отмечены различия по содержанию свинца в печени рыб. Его наибольшие концентрации наблюдались у карася – 0.400 мг/кг, что в 3–4 раза выше, чем у леща и плотвы. Содержание Pb так же, как и Cd, было выше в печени в 4.2–13.3 раза по сравнению с мышечной тканью.

Мышьяк и ртуть во всех пробах печени мирных видов рыб находились ниже предела обнаружения метода:

Концентрация Cu изменялась от 2.41 (серебристый карась) до 3.40 (обыкновенный лещ) мг/кг сырой массы, не превышая установленный норматив (10 мг/кг). Содержание Zn в печени серебряного карася составило 2.22 мг/кг при ПДК 40 мг/кг.

Анализ накопления ТМ в изучаемых образцах мышечной ткани и печени показал, что металлы распределились неравномерно в зависимости от свойств элемента и функциональных особенностей органов и тканей, а также от уровня загрязнения окружающей среды (Теплая и др., 2024). Так, концентрации Cd, Pb и Cu в печени изучаемых видов рыб были значительно выше, чем в мышечной ткани (например, у серебристого карася концентрация Cd была выше в 157 раз), а концентрация Hg (у леща в 58 раз) и Zn (у серебристого карася в 3 раза) ниже, чем в мышцах рыб.

Среднее содержание тяжелых металлов в порядке их убывания в печени исследуемых рыб можно представить в виде следующих рядов:

плотва обыкновенная, лещ обыкновенный: $Cu > Cd > Pb > As > Hg$;

серебристый карась: $Cu > Zn > Cd > Pb > As > Hg$.

Обсуждение

Оценка формирования микроэlementного состава рыб невозможна без изучения закономерностей распределения элементов в различных органах и тканях (Ковековдова, Симоконов, 2010). Распределение микроэлементов в организме рыб происходит неодинаково. В наших исследованиях изучалось содержание тяжелых металлов в мышцах, используемых человеком в пищу, и в печени рыб – органе, который накапливает и депонирует вредные вещества, выполняя функцию детоксикации и выведения этих веществ из организма.

На участке р. Иртыш (Омская область) содержания ТМ в мышечной ткани и печени рыб до настоящего времени не проводилось, исключением является работа С. С. Эйрих с соавторами (2024), в которой приведены данные 2022 г.

Наибольшую экологическую опасность представляют неэссенциальные элементы, такие как Cd, Hg и Pb, которые могут накапливаться в организме или включаться в метаболические процессы, оказывая токсичное воздействие на организм (Моисеенко, 2015; Эйрих и др., 2024).

Согласно данным С. С. Эйрих с соавторами (2024), содержания Pb и Cd в мышечной ткани рыб, выловленных в р. Иртыш в районе Омской области в 2022 г., находились ниже предела обнаружения метода.

Диапазоны концентраций Hg, по данным С. С. Эйрих с соавторами (2024), в 2022 г. составляли: 0.007–0.084 мкг/г для мирных и 0.007–0.117 мкг/г для хищных видов рыб. В наших исследованиях 2024 г. концентрация Hg изменялась в зависимости от вида рыбы от 0.0069 до 0.232 мг/кг сырой массы, увеличиваясь в ряду: плотва обыкновенная < серебряный карась < лещ обыкновенный, что не противоречит представленным им данным (Эйрих и др., 2024), согласно которым среди мирных видов рыб наибольшие концентрации Hg в мышечной ткани были отмечены у леща обыкновенного, который относится к бентофагам. Это связано с эффектом биомагнификации, т.е. Hg, попадая в водные объекты, аккумулируется в трофических структурах экосистем, и ее концентрация в организме увеличивается при переходе к более высокому уровню пищевой цепи.

В работе Houserova et al., 2006 показано, что содержание Hg у представителей карповых рыб достигает максимальных значений в мышечной ткани и сердце, а минимальных в печени. Наши исследования тоже подтверждают это заключение. Так, содержание Hg в 1.73 (плотва) – 58.0 (лещ) раз выше в мышечной ткани по сравнению с печенью изучаемых видов рыб. В исследованиях С. С. Эйрих с соавторами (2024), проведенных в 2022 г., концентрация Hg в мышечной ткани леща обыкновенного, обитающего в р. Иртыш, варьировала от 0.023 до 0.084 мкг/г. При этом авторы отмечают высокую степень биоаккумуляции Hg у бентофагов (ерш, лещ). В исследованиях, проводимых нами, в мышечной ткани леща отмечено повышенное содержание Hg (0.232 мг/кг), близкое к максимальному уровню этого элемента в

рыбе, используемой в пищу (0.3 мг/кг). Это, вероятно, связано с неоднократным превышением в последние годы нормативных показателей содержания ртути в природной воде и донных отложениях р. Иртыш в границах Омской области (Жаркова и др., 2025; Жаркова, Болтовская, 2025). Таким образом, высокая степень биоаккумуляции Hg в организмах бентофагов и хищных видов рыб может служить индикатором загрязнения вод.

Концентрации Zn и Cu в образцах мирных видов рыб, по данным С. С. Эйрих с соавторами (2024), в 2022 г. варьировали от 2.2 до 7.0 и от 0.10 до 0.50 мкг/г соответственно. Приведенные значения сопоставимы с нашими результатами – концентрация Zn в зависимости от вида рыб изменялась от 6.47 до 6.74 мг/кг, Cu – от 0.54 до 0.71 мг/кг сырой массы. Авторы не выявили увеличение концентраций ТМ с повышением трофического уровня от мирных к хищным рыбам для Cu, для Zn – превышение было незначительным. Ю. Е. Артамонов с соавторами (2023) отмечают максимальные концентрации Cu в рыбах (лещ, окунь, щука) р. Иртыш в районе г. Семей летом (3.47–4.35 мг/кг), что связано с увеличением кормовой базы в этот период. В весенний и осенний сезоны концентрации меди снижаются (1.55–2.80 мг/кг). В наших исследованиях концентрация Cu в печени изучаемых видов рыб значительно превышает эти значения в мышечной ткани (в 4.4–6.3 раза). Аналогичные сведения содержатся в работах Г. К. Булахтиной с соавторами (2020), В. М. Зубковой с соавторами (2016).

Л. К. Себах с соавторами (1995) отмечают, что мышьяк обычно не накапливается в больших количествах в мягких тканях рыб, за исключением крайне загрязненных районов. В незагрязненных и умеренно загрязненных водах уровень мышьяка составляет от менее 0.1 до 0.4 мг/кг сырой массы. Эти данные согласуются с нашими исследованиями, согласно которым концентрация мышьяка в мышечной ткани изменялась от 0.035 до 0.11 мг/кг сырой массы. В связи с тем, что самоочищение от мышьяка в организме рыб протекает достаточно быстро (Себах и др., 1995), концентрации этого элемента в печени минимальны – ниже предела обнаружения метода.

Данные, полученные в ходе исследований, свидетельствуют о том, что по степени накопления тяжелых металлов доминируют бентофаги. Так, печень и мышечная ткань леща обыкновенного отличаются более вы-

сокими концентрациями металлов, в сравнении с органами и тканями плотвы обыкновенной и карася серебряного. Это связано с питанием леща бентосными организмами, в которых эти микроэлементы аккумулируются в высокой степени, что и приводит к их большому накоплению в тканях и органах данного вида рыб (Зубкова др., 2016). В больших количествах у леща обыкновенного в мышечной ткани аккумулируются Zn, Hg; в печени – Cu, Cd, Pb.

Заключение

В результате проведенных исследований выявлено различие в уровнях содержания изучаемых элементов в мышечной ткани и печени в зависимости от видовой принадлежности. Наибольшее содержание Hg отмечено в мышечной ткани леща обыкновенного (0.242 мг/кг), As – в плотве обыкновенной (0.11 мг/кг). Максимальные концентрации Cd и Pb в печени изучаемых видов рыб установлены у серебряного карася.

Ряд накопления ТМ в мышечной ткани имеет вид: плотва обыкновенная – Zn > Cu > As > Pb > Hg > Cd; лещ обыкновенный – Zn > Cu > Hg > As > Pb > Cd; серебряный карась

– Zn > Cu > As > Hg > Pb > Cd; в печени независимо от видовой принадлежности: Cu > Cd > Pb > As > Hg.

Среднее содержание тяжелых металлов в печени исследуемых рыб в порядке их убывания можно представить в виде следующих рядов: плотва обыкновенная, лещ обыкновенный: Cu > Cd > Pb > As > Hg; серебряный карась: Cu > Zn > Cd > Pb > As > Hg.

Установлено, что максимальные концентрации Cu, Pb и Cd характерны для печени рыб, независимо от их видовой принадлежности. Мышцы рыб имели относительно низкие концентрации этих микроэлементов. Обратная ситуация складывалась по Zn, Hg и As – наибольшие концентрации данных элементов отмечены в мышечной ткани рыб.

Современные уровни содержания ТМ в печени и мышцах исследуемых видов рыб р. Иртыш на изучаемом участке находятся в пределах нормы и не превышают нормативов, установленных СанПиН для рыбы и продуктов из нее. Таким образом, в настоящее время риска потребления мышечной ткани рыбы, обитающей в р. Иртыш на изучаемом участке, не установлено.

Библиография

- Артамонов Ю. Е. Содержание и особенности распределения тяжелых металлов в рыбах реки Иртыш // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XX Междунар. симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвящ. 120-летию со дня основания Томского политехн. ун-та: В 2 т. Томск, 04–08 апреля 2016 года / Нац. исслед. Томский политехн. ун-т (ТПУ), Ин-т природных ресурсов (ИПР); Об-во инженеров-нефтяников, междунар. некоммерч. организация, Студенческий чептер; Под ред. А. Ю. Дмитриева. Т. 2. Томск: Нац. исслед. Томский политехн. ун-т, 2016. С. 66–68.
- Артамонов Ю. Е., Кливенко А. Н., Артамонова Е. Н., Евлампиева Е. П. Экологическая оценка содержания тяжелых металлов в рыбах реки Иртыш // Вестник университета Шакарима. Серия: Технические науки. 2023. № 1 (9). С. 5–15. DOI: 10.53360/2788-7995-2023-1(9)-1
- Булахтина Г. К., Баканева А. А., Кудряшов А. В., Кудряшова Н. И. Уровень Zn, Cu, Pb, Cd и Ni в тканях и органах основных представителей ихтиофауны Нижней Волги // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26, № 4 (85). С. 157–162.
- Вундцеттель М. Ф., Кузнецова Н. В. Содержание тяжелых металлов в органах и тканях рыб реки Яхрома // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2013. № 2. С. 155–158.
- Глушков С. В. Экологические проблемы реки Иртыш и пути их решения // Декада экологии: Материалы X Юбилейного международного конкурса, Омск, 11–19 мая 2016 года. Омск: Омский университет дизайна и технологий, 2016. С. 100–102.
- ГОСТ 26927-86 Сырье и продукты пищевые. Методы определения ртути. М.: Стандартиформ, 2010. 13 с.
- ГОСТ 26929-94 Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. М.: Стандартиформ, 2010. 12 с.
- ГОСТ 31628-2012 Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрический метод определения массовой концентрации мышьяка. М.: Стандартиформ, 2014. 19 с.
- ГОСТ 33824-2016 Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрический метод определения содержания токсичных элементов (кадмия, свинца, меди и цинка). М.: Стандартиформ, 2016. 27 с.
- ГОСТ Р 53183-2008 Продукты пищевые. Определение следовых элементов. Определение ртути методом атомно-абсорбционной спектроскопии холодного пара с предварительной минера-

- лизацией пробы под давлением. М.: Стандартиформ, 2010. 12 с.
- Горбунов А. В., Ермолаев Б. В., Петренко Д. Б. Биоаккумуляция тяжелых металлов и других токсичных элементов в мышцах рыб бассейна р. Волги. // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 2. С. 80–88. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-2-080-088
- Ефимова И. О., Григорьева В. В., Тихонова Г. П. Определение доброкачественности морской рыбы и содержания в ней тяжелых металлов // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 4 (7). С. 47–52. DOI: 10.17022/fhss-js35
- Жаркова Н. Н., Баженова О. П., Гаврильченко О. Л., Болтовская А. С. Сезонная динамика химического состава воды реки Иртыш на территории Омской области // Водные биоресурсы и среда обитания. 2024. Т. 7, № 2. С. 7–20. DOI: 10.47921/2619-1024_2024_7_2_7
- Жаркова Н. Н., Баженова О. П., Болтовская А. С. Динамика содержания тяжелых металлов в воде реки Иртыш в период открытой воды в границах Омской области // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2025. Т. 17, № 2. С. 98–123. DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-2-1109
- Жаркова Н. Н., Болтовская А. С. Содержание ртути в природной воде и донных отложениях на трансграничном участке реки Иртыш (Омская область) // Экологические чтения – 2025: Материалы XV I Национальной научно-практической конференции (с международным участием), Омск, 04–05 июня 2025 года. Омск: Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина, 2025. С. 704–710.
- 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.
- Ковековдова Л. Т., Симоконь М. В. Оценка содержания металлов и мышьяка в донных отложениях и рыбах из рек бассейна залива Петра Великого (Японское море) // Известия ТИНРО. 2010. Т. 160. С. 223–235.
- Лобанова Т. А. Особенности накопления тяжелых металлов промысловыми видами рыб // Вестник Костромского государственного университета им. Н. А. Некрасова. 2008. Т. 14, № 1. С. 18–21.
- Лопарева Т. Я., Шарипова О. А., Петрушенко Л. В. Уровень накопления токсикантов в мышечной ткани рыб в водных бассейнах Республики Казахстан // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2016. № 2. С. 115–122.
- Макарова О. А. Экологическая оценка содержания тяжелых металлов в системе вода-почва-растение в прирусловой части поймы реки Иртыш : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Омск, 2009. 17 с.
- Моисеенко Т. И., Гашкина Н. А. Биогеохимия кадмия: антропогенное рассеивание, биоаккумуляция и экотоксичность // Геохимия. 2018. № 8. С. 759–773. DOI: 10.1134/S001675251808006X
- Моисеенко Т. И. Влияние геохимических факторов водной среды на биоаккумуляцию металлов в организме рыб // Геохимия. 2015. № 3. С. 222–233. DOI: 10.7868/S0016752515030097
- МУК 4.1.1472-03 Атомно-абсорбционное определение массовой концентрации ртути в биоматериалах животного и растительного происхождения (пищевых продуктах, кормах и др.). М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 59 с.
- Новиков М. А., Горбачева Е. А., Харламова М. Н. Содержание кадмия в промысловых рыбах Баренцева моря (по многолетним данным) // Труды ВНИРО. 2024. Т. 198. С. 87–99. DOI: 10.36038/2307-3497-2024-198-87-99
- Пинтаева Е. Ц., Базарсадуева С. В., Раднаева Л. Д. Содержание и характер накопления металлов в рыбах реки Кичеры (приток оз. Байкал). // Сибирский экологический журнал. 2011. Т. 18, № 1. С. 87–92.
- 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.
- Промоторова Е. Ю. Экология карповых рыб бассейна нижнего Иртыша. Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2019. 80 с.
- СанПиН 2.3.2.1078–01 Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов: с изм. от 6 июля 2011 года // Меганорм. URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293855/4293855259.htm> (дата обращения: 23.07.2025).
- Сборник важнейших официальных материалов по санитарным и противоэпидемическим вопросам: в 7 т. Т. V: Санитарные правила и нормы (СанПиН), гигиенические нормативы и перечень методических указаний и рекомендаций по гигиене питания. М.: МП «Рарог», 1992.
- Себах Л. К., Панкратова Т. М., Авдеева Т. М. Оценка накопления тяжелых металлов в промысловых объектах Азово-Черноморского бассейна // Труды Южного научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. 1995. Т. 41. С. 87–90.
- Теплая Г. А., Рыбкин В. С., Полянская Н. В., Калякина В. П. Распределение тяжелых металлов в мышечной ткани различных видов рыб Астраханской области // Астраханский вестник экологического образования. 2024. № 2 (80). С. 91–97. DOI: 10.36698/2304-5957-2024-2-91-97

- Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», утвержден Решением Комиссии таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 880 (с изм. на 22 апреля 2024 года). URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320560> (дата обращения: 23.07.2025).
- Чемагин А. А., Волосников Г. И., Кыров Д. Н., Либерман Е. Л. Тяжелые металлы Hg, Cd, Pb в организме стерляди (*Acipenser ruthenus* L.), Нижний Иртыш // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2019. Т. 22, № 2. С. 225–233. DOI: 10.21443/1560-9278-2019-22-2-225-233
- Цеханович И. А., Лентовский А. С., Холоденко В. А. Оценка содержания ионов меди в поверхностных водах Иртыша // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: Материалы 7-й междунар. науч.-техн. конф., Омск, 24–28 апреля 2017 года. Омск: Омский гос. техн. ун-т, 2017. С. 222–223.
- Эйрих С. С., Колотушкина Л. В., Серых Т. Г. Содержание тяжелых металлов в мышечной ткани мирных и хищных рыб реки Иртыш // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2024. № 2 (73). С. 77–94. DOI: 10.24412/2410-1192-2024-17306
- Bjerregaard P., Andersen C., Andersen O. Ecotoxicology of metals — sources, transport, and effects on the ecosystem // Handbook on the Toxicology of Metals / Nordberg G. F., Fowler B. A., Nordberg M., eds. Elsevier Science, Amsterdam. 2014. P. 425–459.
- Bradley R. W., Morris J. R. Heavy metals in fish from a series of metal contaminated lakes near sudbury ontario // Water Air Soil Pollut. 1986. № 27. P. 341–354.
- Fernandes D., Bebianno M. J., Porte C. Hepatic levels of metal and metallothioneins in two commercial fish species of the Northern Iberian shelf // Sci. Total Environ. 2008. Vol. 391. P. 159–167. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2007.10.057
- Houserova P., Kuban V., Spurny P., Habarta P. Determination of total mercury and mercury species in fish and aquatic ecosystems of Moravian rivers // Veterinarni Medicina. 2006. Vol. 51 (3). P. 101–110. DOI: <https://doi.org/10.17221/5527-VETMED>
- Karl H., Kammann U., Aust M.-O., Manthey-Karl M., Lüth A., Kanisch G. Large scale distribution of dioxins, PCBs, heavy metals, PAH-metabolites and radionuclides in cod (*Gadus morhua*) from the North Atlantic and its adjacent seas // Chemosphere. 2016. Vol. 149. P. 294–303. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.01.052
- Liu Y., Chen Q., Li Y., Bi L., Jin L., Peng R. Toxic Effects of Cadmium on Fish // Toxics. 2022. Vol. 10, 622. 19 p. DOI: 10.3390/toxics10100622
- Wagner A., Boman J. Biomonitoring of trace elements in muscle and liver tissue of freshwater fish // Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy. 2003. Vol. 58, No 12. P. 2215–2226. DOI: 10.1016/j.sab.2003.05.003
- Yeşilbudak B., Erdem C. Cadmium accumulation in gill, liver, kidney and muscle tissues of Common carp, *Cyprinus carpio*, and Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* // Bull. Environ. Contam. Toxicol. 2014. Vol. 92. P. 546–550. DOI: 10.1007/s00128-014-1228-3

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке АО «Россельхозбанк» (грант РСХБ-009-40/39-2023).

THE CONTENT OF HEAVY METALS IN THE MUSCLE TISSUE AND LIVER OF VARIOUS SPECIES OF COMMERCIAL FISH OF THE IRTYSH RIVER (OMSK REGION)

ZHARKOVA
Natalya Nikolaevna

*D.Sc., P.A. Stolypin Omsk State Agrarian University, 644008 Russia
Siberian Federal District Omsk Region Omsk Institutskaya Square, 1,
nn.zharkova@omgau.org*

BOLTOVSKAYA
Alena Sergeevna

*P.A. Stolypin Omsk State Agrarian University, 644008 Russia
Siberian Federal District Omsk Region Omsk Institutskaya Square, 1,
as.kravets2025@omgau.org*

Key words:
heavy metals
commercial fish
muscle tissue
liver
Irtysh River
Omsk Region

Summary: The article considers the current content of Zn, Cu, Cd, Pb, As and Hg in the muscle tissue and liver of various commercial fish species: common bream (*Abramis brama*), crucian carp (*Carassius auratus gibelio*), roach (*Rutilus rutilus*), sampled in the Irtysh River within the borders of the Omsk region in 2024. A total of 45 sex-and-age, approximately one-sized individuals were examined, 15 fish of each species, without gender separation. The difference in the levels of trace elements in the muscle tissue and liver of fish was shown, depending on their type of nutrition. Thus, in the common bream the concentration of Hg was higher in the muscle tissue, Cu - in the liver, compared to other species of peaceful fish, such as roach and crucian carp. It was found that the maximum contents of Cu, Pb and Cd were characteristic of the liver of fish, regardless of their species. The muscles of the fish had relatively low concentrations of these trace elements. The opposite situation was observed for Zn, Hg and As – the highest concentrations of these elements were found in the muscles of fish. The content of heavy metals in the muscle tissue and liver of the studied fish species of the Irtysh River did not exceed the maximum permissible levels. However, in the muscle tissue of the common bream, an increased content of Hg was recorded – 0.232 mg/kg with a maximum permissible concentration of 0.3 mg/kg

Received on: 21 August 2025

Published on: 10 December 2025

References

- Artamonov Yu. E. Klivenko A. N. Artamonova E. N. Evlampieva E. P. Ecological assessment of heavy metal content in fish of the Irtysh River, Vestnik universiteta Shakarima. Seriya: Tehnicheskie nauki. 2023. No. 1 (9). P. 5–15. DOI: 10.53360/2788-7995-2023-1(9)-1
- Artamonov Yu. E. Content and distribution features of heavy metals in fish of the Irtysh River, Problemy geologii i osvoeniya nedr: Trudy XX Mezhdunar. simpoziuma imeni akademika M. A. Usova studentov i molodyh uchenyh, posvyasch. 120-letiyu so dnya osnovaniya Tomskogo politehn. un-ta: V 2 t. Tomsk, 04–08 aprelya 2016 goda, Nac. issled. Tomskiy politehn. un-t (TPU), In-t prirodnyh resursov (IPR); Ob-vo inzhenerov-neftyanikov, mezhdunar. nekommerch. organizaciya, Studencheskiy chapter; Pod red. A. Yu. Dmitrieva. T. 2. Tomsk: Nac. issled. Tomskiy politehn. un-t, 2016. P. 66–68.
- Bjerregaard P., Andersen C., Andersen O. Ecotoxicology of metals — sources, transport, and effects on the ecosystem, Handbook on the Toxicology of Metals, Nordberg G. F., Fowler B. A., Nordberg M., eds. Elsevier Science, Amsterdam. 2014. P. 425–459.
- Bradley R. W., Morris J. R. Heavy metals in fish from a series of metal contaminated lakes near sudbury ontario, Water Air Soil Pollut. 1986. No. 27. P. 341–354.
- Bulahtina G. K. Bakaneva A. A. Kudryashov A. V. Kudryashova N. I. The level of Zn, Cu, Pb, Cd and Ni in the tissues and organs of the main representatives of the ichthyofauna of the Lower Volga, Aridnye ekosistemy. 2020. T. 26, No. 4 (85). P. 157–162.
- Cehanovich I. A. Lentovskiy A. S. Holodenko V. A. Assessment of copper ion content in the surface waters of the Irtysh River// Tehnika i tehnologiya neftehimicheskogo i neftegazovogo proizvodstva: Materialy 7-y mezhdunar. nauch, tehn. konf., Omsk, 24–28 aprelya 2017 goda. Omsk: Omskiy gop. tehn. un-t, 2017. P. 222–223.
- Chemagin A. A. Volosnikov G. I. Kyrov D. N. Liberman E. L. Heavy metals Hg, Cd, Pb in the body of sterlet

- (*Acipenser ruthenus* L.), Lower Irtysh, *Vestnik MGTU. Trudy Murmanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*. 2019. T. 22, No. 2. P. 225–233. DOI: 10.21443/1560-9278-2019-22-2-225-233
- Collection of the most important official materials on sanitary and anti-epidemic issues: In 7 volumes Vol. V: Sanitary rules and regulations (SanPiN), hygienic standards and a list of methodological guidelines and recommendations on food hygiene. M.: MP «Rarog», 1992.
- Efimova I. O. Grigor'eva V. V. Tihonova G. P. Determination of the quality of marine fish and the content of heavy metals in it, *Vestnik Chuvashskoy gosudarstvennoy sel'skohozyaystvennoy akademii*. 2018. No. 4 (7). P. 47–52. DOI: 10.17022/fhss-js35
- Eyrh S. S. Kolotushkina L. V. Seryh T. G. The content of heavy metals in the muscle tissue of peaceful and predatory fish of the Irtysh River, *Izvestiya Altayskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obschestva*. 2024. No. 2 (73). P. 77–94. DOI: 10.24412/2410-1192-2024-17306
- Fernandes D., Bebianno M. J., Porte C. Hepatic levels of metal and metallothioneins in two commercial fish species of the Northern Iberian shelf, *Sci. Total Environ.* 2008. Vol. 391. P. 159–167. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2007.10.057
- GOST 26927-86 Raw materials and food products. Methods for the determination of mercury. M.: Standartinform, 2010. 13 p.
- GOST 26929-94 Raw materials and food products. Sample preparation. Mineralization to determine the content of toxic elements. M.: Standartinform, 2010. 12 p.
- GOST 31628-2012 Food products and food raw materials. An inversion-voltammetric method for determining the mass concentration of arsenic. M.: Standartinform, 2014. 19 p.
- GOST 33824-2016 Food products and food raw materials. An inversion-voltammetric method for determining the content of toxic elements (cadmium, lead, copper and zinc). M.: Standartinform, 2016. 27 p.
- GOST R 53183-2008 Food products. Identification of trace elements. Determination of mercury by atomic absorption spectrometry of cold steam with preliminary mineralization of the sample under pressure. M.: Standartinform, 2010. 12 p.
- Glushkov S. V. Environmental problems of the Irtysh River and ways to solve them, *Dekada ekologii: Materialy H Yubileynogo mezhdunarodnogo konkursa, Omsk, 11–19 maya 2016 goda*. Omsk: Omskiy universitet dizayna i tehnologiy, 2016. P. 100–102.
- Gorbunov A. V. Ermolaev B. V. Petrenko D. B. и др. Bioakkumulyaciya tyazhelyh metallov i drugih toksichnyh elementov v myshchah ryb basseyna r. Volgi. // *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2023. No. 2. P. 80–88. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-2-080-088
- Houserova P., Kuban V., Spurny P., Habarta P. Determination of total mercury and mercury species in fish and aquatic ecosystems of Moravian rivers, *Veterinari Medicina*. 2006. Vol. 51 (3). P. 101–110. DOI: <https://doi.org/10.17221/5527-VETMED>
- Karl H., Kammann U., Aust M, O., Manthey-Karl M., Lüth A., Kanisch G. Large scale distribution of dioxins, PCBs, heavy metals, PAH-metabolites and radionuclides in cod (*Gadus morhua*) from the North Atlantic and its adjacent seas, *Chemosphere*. 2016. Vol. 149. P. 294–303. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.01.052
- Kovekovdova L. T. Simokon' M. V. Assessment of the content of metals and arsenic in bottom sediments and fish from the rivers of the Peter the Great Bay basin (Sea of Japan), *Izvestiya TINRO*. 2010. T. 160. P. 223–235.
- Liu Y., Chen Q., Li Y., Bi L., Jin L., Peng R. Toxic Effects of Cadmium on Fish, *Toxics*. 2022. Vol. 10, 622. 19 p. DOI: 10.3390/toxics10100622
- Lobanova T. A. Features of accumulation of heavy metals by commercial fish species, *Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta im. N. A. Nekrasova*. 2008. T. 14, No. 1. P. 18–21.
- Lopareva T. Ya. Sharipova O. A. Petrusenko L. V. The level of accumulation of toxicants in the muscle tissue of fish in the water basins of the Republic of Kazakhstan, *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. Seriya: Rybnoe hozyaystvo*. 2016. No. 2. P. 115–122.
- Makarova O. A. Ecological assessment of heavy metal content in the water-soil-plant system in the riverbed part of the Irtysh River floodplain: Avtoref. dip. ... kand. biol. nauk. Omsk, 2009. 17 p.
- Methodological Guidelines 4.1.1472-03 Atomic absorption determination of the mass concentration of mercury in biomaterials of animal and plant origin (food, feed, etc.). M.: Federal'nyy centr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, 2004. 59 p.
- Moiseenko T. I. Gashkina N. A. Biogeochemistry of cadmium: anthropogenic dispersion, bioaccumulation and ecotoxicity, *Geohimiya*. 2018. No. 8. P. 759–773. DOI: 10.1134/S001675251808006X
- Moiseenko T. I. The influence of geochemical factors of the aquatic environment on the bioaccumulation of metals in fish, *Geohimiya*. 2015. No. 3. P. 222–233. DOI: 10.7868/S0016752515030097
- Novikov M. A. Gorbacheva E. A. Harlamova M. N. Cadmium content in commercial fish of the Barents Sea (according to long-term data), *Trudy VNIRO*. 2024. T. 198. P. 87–99. DOI: 10.36038/2307-3497-2024-198-87-99

- Pintaeva E. C. Bazarsadueva S. V. Radnaeva L. D. и др. Soderzhanie i harakter nakopleniya metallov v rybah reki Kichery (pritok oz. Baykal). , Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal. 2011. T. 18, No. 1. P. 87–92.
- Popov P. A. Androsova N. V. The content of heavy metals in the muscle tissue of fish from the reservoirs of the Ob River basin, Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya. 2014. No. 4 (28). P. 108–122.
- Promotorova E. Yu. Ecology of cyprinid fishes of the Lower Irtysh basin. Tambov: OOO «Konsaltingovaya kompaniya Yukom», 2019. 80 p.
- SanPiN 2.3.2.1078–01 Hygienic requirements for food safety and nutritional value: as amended. dated July 6, 2011, Meganorm. URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293855/4293855259.htm> (data obrascheniya: 23.07.2025).
- Sebah L. K. Pankratova T. M. Avdeeva T. M. Assessment of accumulation of heavy metals in fishing facilities of the Azov-Black Sea basin, Trudy Yuzhnogo nauchno-issledovatel'skogo instituta rybnogo hozyaystva i okeanografii. 1995. T. 41. P. 87–90.
- Technical Regulations of the Customs Union TR CU 021/2011 «On Food Safety», approved by the Decision of the Commission of the Customs Union dated December 9, 2011 No. 880 (as amended on April 22, 2024). URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320560> (data obrascheniya: 23.07.2025).
- Teplaya G. A. Rybkin V. S. Polyanskaya N. V. Kalyatkina V. P. Distribution of heavy metals in the muscle tissue of various fish species in the Astrakhan region, Astrahanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya. 2024. No. 2 (80). P. 91–97. DOI: 10.36698/2304-5957-2024-2-91-97
- Vundcettel' M. F. Kuznecova N. V. Heavy metal content in organs and tissues of fish of the Yakhroma River// Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. Seriya: Rybnoe hozyaystvo. 2013. No. 2. P. 155–158.
- Wagner A., Boman J. Biomonitoring of trace elements in muscle and liver tissue of freshwater fish, Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy. 2003. Vol. 58, No 12. P. 2215–2226. DOI: 10.1016/j.sab.2003.05.003
- Yeşilbudak B., Erdem C. Cadmium accumulation in gill, liver, kidney and muscle tissues of Common carp, *Cyprinus carpio*, and Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, Bull. Environ. Contam. Toxicol. 2014. Vol. 92. P. 546–550. DOI: 10.1007/s00128-014-1228-3
- Zharkova N. N. Bazhenova O. P. Boltovskaya A. S. Dynamics of heavy metal content in the water of the Irtysh River during the open water period within the borders of the Omsk region, Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2025. T. 17, No. 2. P. 98–123. DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-2-1109
- Zharkova N. N. Bazhenova O. P. Gavril'chenko O. L. Boltovskaya A. S. Seasonal dynamics of the chemical composition of the Irtysh River water in the Omsk region, Vodnye bioresursy i sreda obitaniya. 2024. T. 7, No. 2. P. 7–20. DOI: 10.47921/2619-1024_2024_7_2_7
- Zharkova N. N. Boltovskaya A. S. Mercury content in natural water and sediments in the transboundary section of the Irtysh River (Omsk region), Ekologicheskie chteniya – 2025: Materialy HV I Nacional'noy nauchno-prakticheskoy konferencii (s mezhdunarodnym uchastiem), Omsk, 04–05 iyunya 2025 goda. Omsk: Omskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. P. A. Stolypina, 2025. P. 704–710.
- Zubkova V. M. Rozumnaya L. A. Bolotov V. P. The content of heavy metals in the tissues and organs of various fish species of the Volgograd reservoir, Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. Seriya: Rybnoe hozyaystvo. 2016. No. 4. P. 93–98.