научный электронный журнал
ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

https://ecopri.ru **https://petrsu.ru**

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

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

https://ecopri.ru

2025

Главный редактор
А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Э. В. Ивантер
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
B. Krasnov
A. Gugołek
В. К. Шитиков
В. Н. Якимов

Службы поддержки

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

ISSN 2304-6465

Адрес редакции
185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Ленина, 33.
E-mail: ecopri@petrsu.ru
https://ecopri.ru

12+

© ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»

научный электронный журнал ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

https://ecopri.ru **https://petrsu.ru**

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, ФГБОУ ВО Омский ГАУ (644008, г. Омск, Институтская площадь, 1), nn.zharkova@omgau.org*

БОЛТОВСКАЯ Алена Сергеевна — *ФГБОУ ВО Омский ГАУ (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 году. 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 серебристый). 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

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 карповые (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, 2013; Горбунов, 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, 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 реки 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 и др., 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 видах промысловых рыб реки 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 3-х 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).

Рис. 1. Карта-схема мест отбора проб рыбы на р. Иртыш, 2024 г.
Fig. 1. Map of fish sampling sites on the Irtysh River, 2024

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 распространённые 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). Также частично недостаток количества рыбы для исследования восполняли покупкой у рыбаков на реке 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 гр. до 400 гр. размораживали, после этого вырезали мышечную ткань, начиная от спинного плавника до начала ребер вдоль тела, далее извлекали печень. Таким образом, вес 1 пробы мышечной ткани составлял 0,5 кг, а вес 1 пробы печени до 3 гр.

Пробоподготовку биологического материала проводили согласно ГОСТ 26929-94 «Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов». Предварительная подготовка проб включала высушивание при температуре 60 °С до постоянной массы, затем проведение мокрой минерализации с концентрированной азотной кислотой в сочетании с перекисью водорода с последующим термическим разложением. Для определения содержания мышьяка минерализацию проб проводили с добавлением оксида магния и спиртового раствора азотнокислого магния. Подготовку проб для определения ртути в образцах осуществляли методом кислотной минерализации в соответствии с МУК 4.1.1472-03 «Атомно-абсорбционное определение массовой концентрации ртути в биоматериалах животного и растительного происхождения (пищевых продуктах, кормах и др.)».

Определение содержание микроэлементов в мышечной ткани проводили в аккредитованном испытательном центре ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Омской области». Химический анализ проб печени рыб осуществляли в БУ «Омская областная ветеринарная лаборатория».

Концентрацию Cd и Pb в мышечной ткани определяли инверсионно-вольтамперометрическим методом согласно ГОСТ 33824-2016, As – инверсионной вольтамперометрией на анализаторе ТА-2М (МУ 31-05/04), Hg – атомно-абсорбционной спектрометрией на спектрометре МГА-1000 (ГОСТ Р 53183-2008), 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), As (ГОСТ 31628-2012) определяли инверсионно-вольтамперометрическим методом на анализаторе ТА-LAB, Hg – атомно-адсорбционным методом (ГОСТ 26927-86) на анализаторе Спектр-5.

Полученные концентрации четырёх тяжелых металлов (кадмий, свинец, мышьяк и ртуть) в мышечной ткани рыб сравнивали с утверждёнными нормативами для пресноводных нехищных видов рыб по СанПиН 2.3.2.1078–01 от 2002 года (с изменениями и дополнениями) (СанПиН 2.3.2.1078–01), в печени – с Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». 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 реки 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 < 0,02 мг/кг, в образцах ткани леща и карасей – 0,030 мг/кг. Таким образом, существенных различий по содержанию этого элемента между представителями семейства карповые выявлено не было.

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 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 (Омская область), 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 (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 металлотинеинов (Fernandes et al., 2008). Во всех образцах печени анализируемых вид рыб концентрация Cd не превышала установленный уровень ПДУ 0,7 мг/кг сырой массы (ТР ТС 021/2011). В пробах печени серебристого карася концентрация кадмия составляла 0,470 (0,67 ПДК), в обыкновенном леще – 0,278 (0,40 ПДК), в плотве 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 также, как и Cd, было выше в печени в 4,2-13,3 раз по сравнению с мышечной тканью.

Мышьяк и ртуть во всех пробах печени мирных видов рыб находились ниже предела обнаружения метода – < 0,03 и < 0,004 мг/кг соответственно.

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 микроэлементного состава рыб невозможна без изучения закономерностей распределения элементов в различных органах и тканям (Ковековдова, Симоконь, 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 года.

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 реке Иртыш в районе Омской области в 2022 г. находились ниже предела обнаружения метода (<0,01 мкг/г), что согласуется с результатами наших исследований. В работе Ю. Е. Артамонова с соавторами (2023), изучающих содержание тяжелых металлов в различных видах рыб р. Иртыш в районе г. Семей (Восточный Казахстан), наибольшая концентрация Pb в мышечной ткани была отмечена в осенний период (0,063 – 0,080 мг/кг), наименьшая – весной (0,042 – 0,077 мг/кг). Авторами установлена зависимость концентраций Pb в разных видах рыб от

характера их питания. Наибольшие концентрации Pb наблюдались в хищных видах рыб – щуке (0,071 – 0,080 мг/кг). Чемагин А. А. с соавторами (2019), изучая закономерности распределения тяжелых металлов (Hg, Cd, Pb) в жабрах, мышцах, печени и осевом скелете (хорде) стерляди, обитающей в нижнем течении реки Иртыш (Тюменская область), отмечают, что из исследуемых элементов максимальные концентрации были зафиксированы для Pb, в печени и мышцах значения составили 0,575 и 0,515 мг/кг соответственно. Cd накапливался в меньшей степени, его содержание в печени составило 0,187, в мышцах – 0,103 мг/кг. В работах М. А. Новикова с соавторами (2024); Т. И. Моисеенко, Н. А. Гашкиной (2018); Е. Ц. Пинтаевой и др. (2011); P. Bjerregaard et al., (2014); R. W. Bradley, J. R. Morris (1986); B. Yeşilbudak, C. Erdem (2014); H. Karl et al. (2016); Y. Liu et al. (2022); A. Wagner, J. Boman (2003) отмечено, что в рыбе Cd и Pb в большей степени накапливаются в печени, а содержание в мышцах, как правило, низкое. Аналогичное заключение установлено и в нашей работе. Так, содержание Cd в печени изучаемых видов рыб в 39-157 раз выше, чем в мышечной ткани, Pb – в 4,2-13 раз.

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 < серебристый карась < лещ обыкновенный, что не противоречит представленным ими 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, то есть 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 реки Иртыш в границах Омской области (Жаркова, 2025а; Жаркова, 2025б). 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 – 0,54-0,71 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. Артамонов Ю. Е. 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 раз). Аналогичные сведения содержаться в работах Г. К. Булахтиной с соавторами (2020), В. М. Зубковой с соавторами (2016).

Себах Л. К. 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 (< 0,03 мг/кг).

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 высокими концентрациями металлов, в сравнении с органами и тканями плотвы обыкновенной и карася серебристого. 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, 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 серебристого 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; серебристый 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; серебристый 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 реки 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 Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня основания Томского политехнического университета: в 2 томах, Томск, 04–08 апреля 2016 года / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт природных ресурсов (ИПР); Общество инженеров-нефтяников, международная некоммерческая организация, Студенческий чаптер; Под редакцией А. Ю. Дмитриева. Том 2. Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 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. Москва : Стандартинформ, 2010. 13 с.

ГОСТ 26929-94 Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. Москва : Стандартинформ, 2010. 12 с.

ГОСТ 31628-2012 Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрический метод определения массовой концентрации мышьяка. Москва : Стандартинформ, 2014. 19 с.

ГОСТ 33824-2016 Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрический метод определения содержания токсичных элементов (кадмия, свинца, меди и цинка). Москва : Стандартинформ, 2016. 27 с.

ГОСТ Р 53183-2008 Продукты пищевые. Определение следовых элементов. Определение ртути методом атомно-абсорбционной спектрометрии холодного пара с предварительной минерализацией пробы под давлением. Москва : Стандартинформ, 2010. 12 с.

Горбунов А. В., Ермолаев Б. В., Петренко Д. Б. Биоаккумуляция тяжёлых 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. 2025а. 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, 2025б. 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 : специальность 03.00.16 : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Макарова Ольга Александровна. 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 семи томах. 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., Каляткина 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 N 880 (с изменениями на 22 апреля 2024 года).

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 международной научно-технической

конференции, Омск, 24–28 апреля 2017 года. Омск: Омский государственный технический университет, 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. V. 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. 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. V. 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. V. 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. V. 92. P. 546–550. DOI: 10.1007/ s00128-014-1228-3

Artamonov Yu.E. The content and features of the distribution of heavy metals in the fish of the Irtysh River // Problems of geology and subsoil development: proceedings of the XX International Symposium of Students and Young Scientists named after Academician M.A. Usov, dedicated to the 120th anniversary of the founding of Tomsk Polytechnic University: in 2 volumes, Tomsk, April 4-8, 2016 / National Tomsk Polytechnic University (TPU) Research Institute of Natural Resources (IPR); Society of Petroleum Engineers, international non-profit organization, student branch; edited by A. Y. Dmitriev. Volume 2. Tomsk: National Research Tomsk Polytechnic University, 2016. P. 66–68.

Artamonov Yu. E., Klivenko A. N., Artamonova E. N., Evlampieva E. P. Ecological assessment of heavy metal content in fish of the Irtysh River // Bulletin of Shakarim University. Technical sciences series. 2023. No. 1 (9). P. 5–15. DOI 10.53360/2788-7995-2023-1 (9) -1.

Bulakhtina 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 // Arid ecosystems. 2020. Vol. 26, No. 4(85). P. 157–162.

Wundtsettel M.F., Kuznetsova N.V. Content of heavy metals in organs and tissues of fish of the Yakhroma River // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries. 2013. No. 2. P. 155–158.

Glushkov S.V. Environmental problems of the Irtysh River and ways to solve them // Decade of Ecology: materials of the 10th anniversary international competition, Omsk, May 11-19, 2016. Omsk: Omsk University of Design and Technology, 2016. P. 100–102.

GOST 26927-86 Raw materials and food products. Methods for the determination of mercury. Moscow : Standartinform, 2010. 13 p .

GOST 26929-94 Raw materials and food products. Sample preparation. Mineralization to determine the content of toxic elements. Moscow : Standartinform, 2010. 12 p .

GOST 31628-2012 Food products and food raw materials. An inversion-voltammetric

method for determining the mass concentration of arsenic. Moscow : 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). Moscow : 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. Moscow : Standartinform, 2010. 12 p .

Gorbunov A.V., Ermolaev B.V., Petrenko D.B. Bioaccumulation of heavy metals and other toxic elements in the muscles of fish of the Volga River basin // Theoretical and Applied Ecology. 2023. No. 2. P. 80–88. DOI 10.25750/1995-4301-2023-2-080-088.

Efimova I. O., Grigorieva V. V., Tikhonova G. P. Determination of the quality of sea fish and the content of heavy metals in it // Bulletin of the Chuvash State Agricultural Academy. 2018. No. 4(7). P. 47-52. DOI 10.17022/fhss-js35.

Zharkova N. N., Bazhenova O. P., Gavrilchenko O. L., Boltovskaya A. S. Seasonal dynamics of the chemical composition of the Irtysh River water in the Omsk region // Aquatic bioresources and habitat. 2024. Vol. 7, No. 2. P. 7–20. DOI 10.47921/2619-1024_2024_7_2_7.

Zharkova N. N., Bazhenova O. P., Boltovskaya A. S. Dynamics of heavy metal content in the water of the Irtysh River during the period of open water within the boundaries of the Omsk region // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2025a. Vol. 17, No. 2. P. 98–123. DOI 10.12731/2658-6649-2025-17-2-1109.

Zharkova N. N. , Boltovskaya A. S. Mercury content in natural water and bottom sediments in the transboundary section of the Irtysh River (Omsk region) // Ecological Readings - 2025 : Proceedings of the XVI National Scientific and Practical Conference (with international participation), Omsk, 04-05 June 2025. Omsk: Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, 2025b. P. 704–710.

Zubkova V. M., Rozumnaya L. A., Bolotov V. P. Content of heavy metals in tissues and organs of different fish species of the Volgograd Reservoir // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries. 2016. No. 4. P. 93–98.

Kovekovdova L. T., Simokon M. V. Assessment of metal and arsenic content in bottom sediments and fish from the rivers of the Peter the Great Bay basin (Sea of Japan) // TINRO News. 2010. Vol. 160. P. 223–235.

Lobanova T. A. Features of accumulation of heavy metals by commercial fish species // Bulletin of the Kostroma State University named after N.A. Nekrasov. 2008. Vol. 14, No. 1. P. 18–21.

Lopareva T. Ya., Sharipova O. A., Petrushenko L. V. Level of accumulation of toxicants in muscle tissue of fish in water basins of the Republic of Kazakhstan // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries. 2016. No. 2. P. 115–122.

Makarova O. A. Ecological assessment of the content of heavy metals in the water-soil-plant system in the near-river part of the Irtysh River floodplain: specialty 03.00.16: abstract of a dissertation for the degree of candidate of biological sciences / Makarova Olga Aleksandrovna. Omsk, 2009. 17 p.

Moiseenko T. I., Gashkina N. A. Biogeochemistry of cadmium: anthropogenic dispersion, bioaccumulation and ecotoxicity // Geochemistry. 2018. No. 8. P. 759–773. DOI: 10.1134/S001675251808006X

Moiseenko T. I. Influence of geochemical factors of the aquatic environment on the bioaccumulation of metals in fish // Geochemistry. 2015. No. 3. P. 222–233. DOI 10.7868/S0016752515030097.

MG 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 Center for State Sanitary and Epidemiological Supervision of the Ministry of Health of Russia, 2004. 59 p.

Novikov M. A., Gorbacheva E. A., Kharlamova M. N. Cadmium content in commercial fish of the Barents Sea (according to long-term data) // Proceedings of VNIRO. 2024. Vol. 198. P. 87–99. DOI 10.36038/2307-3497-2024-198-87-99.

Pintaeva E. Ts., Bazarsadueva S. V., Radnaeva L. D. The content and nature of metal

accumulation in fish of the Kichera River (a tributary of Lake Baikal) // Siberian Ecological Journal. 2011. Vol. 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 Ob River basin // Bulletin of Tomsk State University. Biology. 2014. No. 4 (28). P. 108–122.

Promotorova E. Yu. Ecology of carp fishes of the lower Irtysh basin. Tambov: OOO "Consulting Company Yukom", 2019. 80 p.

SanPiN 2.3.2.1078–01 Hygienic requirements for the safety and nutritional value of food products: as amended on July 6, 2011 // Meganorm: . – URL: https://meganorm.ru/Index2/1/4293855/4293855259.htm (accessed on July 23, 2025).

Collection of the most important official materials on sanitary and anti-epidemic issues. In seven volumes. T. V. Sanitary rules and norms (SanPiN), hygienic standards and a list of guidelines and recommendations on food hygiene. M.: MP "Rarog", 1992.

Sebakh L. K., Pankratova T. M., Avdeeva T. M. Assessment of the accumulation of heavy metals in fishing facilities of the Azov-Black Sea basin // Proceedings of the Southern Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography. 1995. Vol. 41. P. 87–90.

Teplaya G. A., Rybkin V. S., Polyanskaya N. V., Kalyatkina V. P. Distribution of heavy metals in muscle tissue of various fish species of the Astrakhan region // Astrakhan Bulletin of Environmental Education. 2024. No. 2 (80). P. 91–97. DOI 10.36698/2304-5957-2024-2-91-97.

Technical Regulations of the Customs Union TR CU 021/2011 "On the Safety of Food Products", approved by the Decision of the Customs Union Commission dated December 9, 2011 N 880 (as amended on April 22, 2024).

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 // Bulletin of Moscow State Technical University. Transactions of Murmansk State Technical University. 2019. Vol. 22, No. 2. P. 225–233. DOI 10.21443/1560-9278-2019-22-2-225-233.

Tsekhanovich I. A., Lentovsky A. S., Kholodnenko V. A. Assessment of the content of copper ions in the surface waters of the Irtysh // Engineering and technology of petrochemical and oil and gas production: Proceedings of the 7th international scientific and technical conference, Omsk, April 24–28, 2017. Omsk: Omsk State Technical University, 2017. P. 222–223.

Eirikh S. S., Kolotushkina L. V., Serykh T. G. Content of heavy metals in muscle tissue of peaceful and predatory fish of the Irtysh River // Bulletin of the Altai Branch of the Russian Geographical Society. 2024. No. 2(73). P. 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. V. 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. 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. V. 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. V. 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. V. 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 — *Doctor of Agricultural Sciences, P.A. Stolypin Omsk State Agrarian University (644008, Omsk region, Omsk, Institutskaya Square, 1), nn.zharkova@omgau.org*

BOLTOVSKAYA Alena Sergeevna — *P.A. Stolypin Omsk State Agrarian University (644008, Omsk region, Omsk, Institutskaya Square, 1), as.kravets2025@omgau.org*

Keywords: heavy metals, commercial fish, muscle tissue, cookies, 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), silver crucian carp (Carassius gibelio), common roach (Rutilus rutilus), observed in the Irtysh River on the borders of the Omsk region in 2024. A total of 45 sex- and age-matched, approximately the same-sized individuals were examined, 15 fish of each species, without separation by sex. A decrease in the content of trace elements in the muscle tissue and liver of fish was shown depending on their type of nutrition. Thus, the muscle tissue of common bream had a higher concentration of Hg, in the liver - Cu, in contrast to other calendars of peaceful fish (common roach, silver crucian carp). It was found that the maximum contents of Cu, Pb and Cd are characteristic of fish liver, regardless of their species. Fish muscles had a relatively low content of these trace elements. The opposite situation has changed for Zn, Hg and As – the most important data elements were noted in fish muscles. The content of solid metals in muscle tissue and liver of the increased 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 recorded – 0.232 mg/kg with a MAC of 0.3 mg/kg.