

На правах рукописи

Ваганов Александр Сергеевич

**НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ТКАНЯМИ И ОРГАНАМИ
ПРОМЫСЛОВЫХ ВИДОВ РЫБ РАЗЛИЧНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ
ГРУПП КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Специальность 03.02.08 – экология (биология)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Нижний Новгород – 2012

Работа выполнена на кафедре «Химия» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Ульяновский государственный технический университет»

Научный руководитель: доктор химических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Химия» УлГТУ
Климов Евгений Семенович

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, заведующий
лабораторией физиологии и токсикологии
ИБВВ РАН
Чуйко Григорий Михайлович

кандидат биологических наук, научный
сотрудник Нижегородской лаборатории
ФГБНУ «ГосНИОРХ»
Логинов Владимир Владимирович

Ведущая организация: Институт экологии Волжского бассейна
РАН

Защита диссертации состоится «30» мая 2012 г. в 15.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.166.12 при Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского (ННГУ) по адресу: 603950, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23, корп. 1, биологический факультет

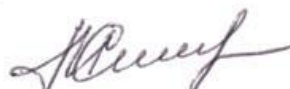
e-mail: dis212.166.12@gmail.com

тел. (831)462-30-85

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ННГУ, с авторефератом – в сети Интернет на сайте ННГУ по адресу: <http://www.unn.ru>, на сайте ВАК России – <http://vak2.ed.gov.ru/catalogue>.

Автореферат разослан «27» апреля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук



М.С. Снегирева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. В связи с проблемой загрязнения окружающей природной среды продуктами техногенеза, объектом пристального внимания экологического мониторинга стали тяжелые металлы (ТМ), попадающие в водоемы со стоками и смывами с территорий промышленных предприятий, сельхозугодий, городов и мелких населенных пунктов. ТМ относятся к консервативным загрязняющим веществам, которые не разлагаются в природных водах, а только изменяют формы своего существования, перераспределяясь между биотическими и абиотическими звеньями (Линник, Набиванец, 1986; Моисеенко, 2005).

Рыбы, занимая в биоценозах водных экосистем верхний трофический уровень, обладают способностью аккумулировать ТМ, степень накопления которых зависит от гидрохимических показателей окружающей среды и принадлежности вида к той или иной экологической группе: бентофаг, планктофаг, эврифаг, хищник (Батоян В.В., Сорокин В.Н., 1989; Грубинко, 1995; Перевозников, Богданова, 1999; Таликина М.Г., Изюмов Ю.Г. и др., 1999; Кузнецов, 2000; Пономаренко, Латыпова, 2006).

Куйбышевское водохранилище, расположенное в регионе с интенсивной хозяйственной деятельностью, испытывает высокий уровень антропогенной нагрузки, что влияет на качество водных и биологических ресурсов (Поддубный, 1963; Евланов и др., Минеев, 1996; Кузнецов, 2000; Степанова, Таиров и др., 2006; Назаренко, 2008). Рыбы являются компонентом пищевого рациона населения, поэтому информация о содержании ТМ в них имеет важное практическое значение, поскольку избыточное содержание металлов в рыбопродуктах, в конечном итоге, отражается на здоровье человека как потребителе продукции (Аршаница, 1991). Эти факторы определяют **актуальность исследования**, результаты которого могут быть использованы в развитии биоэкологического подхода к мониторингу водных объектов при загрязнении соединениями тяжелых металлов.

Цель работы: исследование и оценка накопления тяжелых металлов тканями и органами промысловых видов рыб различных экологических групп Куйбышевского водохранилища.

Задачи исследования

1. Исследовать содержание и распределение ТМ (железа, цинка, меди, хрома, свинца) в тканях и органах промысловых видов рыб Куйбышевского водохранилища (леща, синца, плотвы, судака).

2. Выявить влияние половой принадлежности рыбы, занимаемой экологической ниши и определить возрастную динамику накопления тяжелых металлов в их тканях и органах.

3. Оценить кумулятивные свойства тяжелых металлов и влияние абиотических факторов среды на их накопление в рыбах Куйбышевского водохранилища.

4. Определить приоритетные пути поступления тяжелых металлов в мышцы рыб различных экологических групп, при комплексном влиянии печени и жабр.

Научная новизна. Впервые для Куйбышевского водохранилища по единой схеме определены возрастные периоды максимального накопления тяжелых металлов у промысловых видов рыб семейств Карповых (*Cyprinidae* (Bonaparte, 1832)) и Окуневых (*Percidae* (Cuvier, 1816)), занимающих различные экологические ниши. В биоэкологическом аспекте проведено комплексное исследование и сравнительная оценка содержания и распределения тяжелых металлов между тканями и органами промысловых видов рыб. Расширены представления о приоритетных путях поступления и накопления металлов в мышцах в зависимости от видовой принадлежности гидробионтов.

Научные положения, выносимые на защиту

1. Содержание и распределение ТМ по тканям и органам промысловых видов рыб Куйбышевского водохранилища.

2. На аккумуляцию и динамику накопления тяжелых металлов в рыбе влияют пол, возраст и занимаемая экологическая ниша.

3. Уровень накопления тяжелых металлов в тканях и органах промысловых видов рыб Куйбышевского водохранилища зависит от гидрохимических показателей воды.

4. Приоритетный путь поступления тяжелых металлов в мышцы рыбы определяется экологической нишей и условиями окружающей среды, которые определяют формы существования и биодоступность металлов.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты исследования дополняют данные о влиянии биотических и абиотических факторов на содержание тяжелых металлов в рыбах Куйбышевского водохранилища и расширяют представления о роли отдельных органов на накопление тяжелых металлов в мышцах рыб. Результаты работы были использованы при мониторинге состояния водных биологических ресурсов Куйбышевского водохранилища на контрольно-наблюдательных пунктах Ульяновского филиала ФГБУ «Средне-Волжское бассейновое управление по рыболовству и сохранению водных биологических ресурсов» и в рамках НИР Ульяновского государственного технического университета. Полученные результаты могут быть использованы для оценки экологического состояния водных экосистем, служить основой для проведения биоиндикационных исследований и ихтиологического мониторинга водоемов, в лекционных курсах экологического факультета Ульяновского государственного университета, естественно-географического факультета Ульяновского государственного педагогического университета им. И.Н. Ульянова.

Апробация работы. Материалы диссертации представлены на Общероссийской конференции «Окружающая среда и развитие человека» (Иркутск, 2010); II Международной конференции «Современное состояние водных биоресурсов» (Новосибирск, 2010); 5-й Всероссийской научно-практической конференции «Экологические проблемы промышленных городов» (Саратов, 2011); 45 Научно-технической конференции «Вузовская наука в современных условиях» (Ульяновск, 2011).

Публикации по теме диссертации. По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе 5 работ в журналах, включенных в перечень ВАК РФ.

Декларация личного участия автора. Автор принимал непосредственное участие в экспедициях по отбору проб исследуемого материала, выполнял физико-химический анализ отобранного материала. Автором проведен статистический анализ, обработка всей совокупности экспериментальных данных и обобщение полученных результатов.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 120 страницах и состоит из введения, 4 глав, выводов и приложений. Список цитируемой литературы включает 185 наименований. В тексте 36 рисунков и 13 таблиц

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость работы, а также основные положения, выносимые на защиту.

Глава 1. Обзор литературы

Обзор литературы посвящен описанию источников поступления ТМ, их формам существования в водных экосистемах. Показана биологическая роль и токсичность ТМ для гидробионтов, пути поступления и распределение их по тканям и органам рыб.

Глава 2. Объекты и методы исследования

Объект исследования – Куйбышевское водохранилище (р. Волга). Материалом для исследования служили пробы воды, образцы бентоса и рыбы, отобранные в акваториях водохранилища (рис. 1).

Отбор проб и образцов осуществляли в период 2009-2011 гг. Отбор проб воды проводился согласно ГОСТ Р 51592-2000, образцов бентоса и рыбы – ГОСТ 7731-85. Определение возраста рыб производили по спилам первого луча дорсального (лещ, синец, плотва) и вентрального (судак) плавников. Пол и стадия зрелости определялись в ходе исследования гонад.

В пробах воды, образцах бентоса и рыбы определялся приоритетный ряд тяжелых металлов (Fe, Zn, Cu, Cr, Pb). Валовое содержание ТМ в пробах воды, образцах бентоса и рыбы определяли атомно-абсорбционным методом на спектрометре «Спектр-5М» по методике ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.36-02. Пробоподготовку биологического материала проводили согласно ГОСТ 26929-94. Объем проведенных исследований по физико-химическому анализу составил по воде и бентосу около 400 анализов; органам рыб – около 12500.

Для определения величины накопления тяжелых металлов рыбами разных возрастных групп нами введен относительный коэффициент накопления (ОКН), который позволяет судить о степени аккумуляции металла за 1 год: $ОКН = C_i / C_{i-1}$, где C_i – содержание металла в ткани или органе рыбы возраста i ; C_{i-1} – содержание металла в ткани или органе рыбы возраста $i-1$.

Республика
Татарстан



Рис. 1. Районы отбора проб воды, образцов бентоса и рыбы на акватории
Куйбышевского водохранилища:

- 1 – Ундоровский плес (п. Сланцевый Рудник);
- 2 – Черемшанский залив (п. Никольское-на-Черемшане);
- 3 – Старомайнский залив (р.п. Старая Майна)

Коэффициент биологического поглощения (КБП) тяжелых металлов рыбой относительно воды и бентоса рассчитывался по формуле (Перельман, 1982): $КБП = C_x / C_o$, где C_x и C_o – содержание металла в золе рыбы и воде (или золе бентоса) соответственно. Для количественной оценки материальной кумуляции используют коэффициент накопления (K_n), который представляет собой отношение максимального содержания металла в организме рыб (мг/кг) к его концентрации в воде (мг/л) (Приказ Росрыболовства №695 от 04.08.2009). В зависимости от величины степень накопления вещества по классификации К.К. Врочинского (1974) относят к соответствующей группе: слабая – $K_n \leq 50$; умеренная – $51 \leq K_n \leq 200$; высокая – $201 \leq K_n \leq 1000$; сверхвысокая $K_n > 1000$. Статистическая обработка проводилась с помощью стандартных пакетов Microsoft Excel и STATISTICA 6.1 (Гланц, 1999; Халафян, 2007).

Глава 3. Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение

3.1. Содержание тяжелых металлов в тканях и органах промысловых видов рыб Куйбышевского водохранилища

Исследование содержания ТМ в тканях и органах рыб проводили в основных промысловых видах Куйбышевского водохранилища семейства Карповых (лещ, синец, плотва) и Окуневых (судак), средняя многолетняя доля вылова которых составляет около 70% от общей промышленной добычи (Кузнецов, 2007).

Таблица 1

Содержание железа, цинка в тканях и органах промысловых видов рыб Куйбышевского водохранилища

Ткани и органы	Содержание металла, мг/кг			
	Лещ	Синец	Плотва	Судак
	Железо, ПДК=30,0 мг/кг			
Мышцы	*34,4±1,7 (1,2 ПДК)	15,6±0,8	15,7±0,8	18,1±0,8
Жабры	*81,1±4,1 (2,7 ПДК)	4,0±0,2	3,10±0,15	22,0±1,1
Чешуя	21,3±1,1	13,0±0,7	12,2±0,6	13,1±0,7
Сердце	*43,5±2,2 (1,5 ПДК)	*40,7±2,1 (1,3 ПДК)	*43,1±2,2 (1,4 ПДК)	20,50±1,02
Печень	*241,7±12,1 (8,1 ПДК)	*104,8±5,3 (3,5 ПДК)	*106,8±5,3 (3,5 ПДК)	*44,50±2,23 (1,5 ПДК)
Гонады	*48,2±2,4 (1,6 ПДК)	*41,2±2,1 (1,4 ПДК)	*43,2±2,2 (1,5 ПДК)	12,2±0,6
	Цинк, ПДК=40,0 мг/кг			
Мышцы	37,2±1,8	4,0±0,2	3,50±0,17	14,51±0,73
Жабры	29,6±1,5	3,0±0,2	2,60±0,13	2,21±0,11
Чешуя	6,50±0,33	21,4±1,1	21,9±1,4	11,82±0,59
Сердце	*50,1±2,5 (1,3 ПДК)	4,50±0,25	4,70±0,24	13,52±0,68
Печень	*92,1±4,6 (2,3 ПДК)	6,2±0,3	6,50±0,34	20,0±1,0
Гонады	16,60±0,83	8,3±0,4	8,5±0,4	8,3±0,4

Примечание: ПДК – предельно-допустимые концентрации ТМ (СанПиН 2.3.2. 560-96; СанПиН 2.3.2.1078-01).

* - превышение ПДК металла в тканях и органах рыбы.

По результатам физико-химического анализа статистически значимые различия содержаний ТМ в пробах воды, образцах бентоса и рыбы из различных районов исследования не установлены. Поэтому, в работе представлены средние значения валового содержания ТМ в пробах воды,

образцах бентоса и рыбы по Куйбышевскому водохранилищу на территории Ульяновской области. Валовое содержание тяжелых металлов определяли в мышцах, жабрах, чешуе, сердце, печени, гонадах рыб (табл. 1, 2).

Валовое содержание различных ТМ в рыбах значительно отличается, в связи с чем, можно выделить две группы металлов: железо-цинк (первая группа); медь-хром-свинец (вторая группа).

Для всех видов рыб (кроме судака) наблюдается превышение ПДК по железу в сердце (до 1,5), печени (до 8,1) и гонадах (до 1,6). Отличительной особенностью леща от других видов рыб является превышение ПДК по железу в мышцах и жабрах; по цинку – в сердце и печени (табл. 1).

Таблица 2

Содержание меди, хрома, свинца в тканях и органах промысловых видов рыб Куйбышевского водохранилища

Ткани и органы	Содержание металла, мг/кг			
	Лещ	Синец	Плотва	Судак
Медь, ПДК=10,0 мг/кг				
Мышцы	1,1±0,5	0,60±0,03	0,70±0,03	0,80±0,02
Жабры	0,50±0,03	1,40±0,07	1,40±0,07	1,20±0,06
Чешуя	0,40±0,02	1,50±0,08	1,40±0,07	1,60±0,08
Сердце	0,70±0,04	0,80±0,04	0,90±0,05	0,80±0,04
Печень	1,50±0,07	0,60±0,03	0,70±0,04	0,80±0,04
Гонады	0,20±0,01	0,10±0,01	0,080±0,004	0,60±0,03
Хром, ПДК=1,0 мг/кг				
Мышцы	0,41±0,02	0,40±0,02	0,40±0,02	0,40±0,02
Жабры	0,22±0,01	0,20±0,01	0,20±0,01	0,30±0,02
Чешуя	0,31±0,01	0,30±0,02	0,30±0,02	0,30±0,02
Сердце	0,43±0,02	0,30±0,02	0,40±0,02	0,40±0,02
Печень	0,050±0,003	0,030±0,002	0,030±0,002	0,10±0,01
Гонады	0,050±0,003	0,040±0,002	0,040±0,002	0,006±0,001
Свинец, ПДК=1,0 мг/кг				
Мышцы	0,60±0,03	0,050±0,003	0,050±0,003	0,040±0,002
Жабры	0,40±0,02	0,040±0,002	0,050±0,003	0,030±0,002
Чешуя	0,30±0,02	0,030±0,002	0,030±0,002	0,020±0,001
Сердце	0,40±0,02	0,20±0,01	0,30±0,02	0,40±0,02
Печень	*1,30±0,07 (1,3 ПДК)	0,070±0,004	0,10±0,01	0,70±0,04
Гонады	0,060±0,003	0,0040±0,0002	0,0040±0,0002	0,0050±0,0003

Высокое содержание железа и цинка для всех видов рыб может быть связано с тем, что эти металлы являются неотъемлемой частью биомолекул (миоглобин, гемоглобин, цитохромы и др.), необходимых для устойчивого

метаболизма, а также участием ионов железа и цинка в процессах кроветворения и энергообмена у рыб.

Содержание второй группы металлов (медь-хром-свинец) не превышает ПДК (исключение составляет свинец в печени леща), табл. 2. Максимальные значения хрома обнаружены в мышцах и сердце (до 0,43 мг/кг) для всех видов рыб. Значительное содержание этого металла отмечено в жабрах и чешуе (до 0,31 мг/кг), которые активно участвуют в обмене хрома между рыбой и окружающей средой. Для свинца наибольшая аккумуляция отмечается в печени (до 1,3 мг/кг) и сердце (до 0,4 мг/кг).

Независимо от видовой принадлежности рыбы в печени накапливается железо, в мышцах и сердце – хром. В динамике накопления цинка, меди и свинца имеются видовые особенности, представленные на рис. 2 и 3.

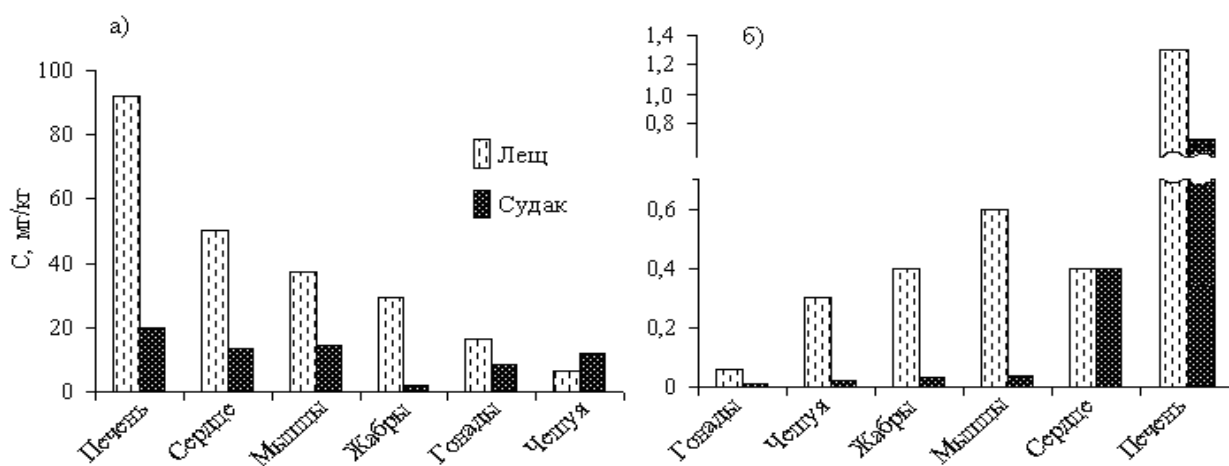


Рис. 2. Содержание металлов в леще и судаке: а) цинк; б) свинец

Динамика накопления цинка и свинца в печени леща и судака может быть связана с поступлением этих металлов с кормовыми объектами (рис. 2). Высокое содержание меди в чешуе синца (1,5 мг/кг) и плотвы (1,4 мг/кг) отражают их биодоступные формы в пелагиали (рис. 3).

Независимо от видовой принадлежности в тканях и органах рыб отмечается высокое содержание железа и цинка: превышение ПДК по железу (до 8,1) и цинку (до 2,3). Содержание меди, хрома и свинца находятся в пределах ПДК.

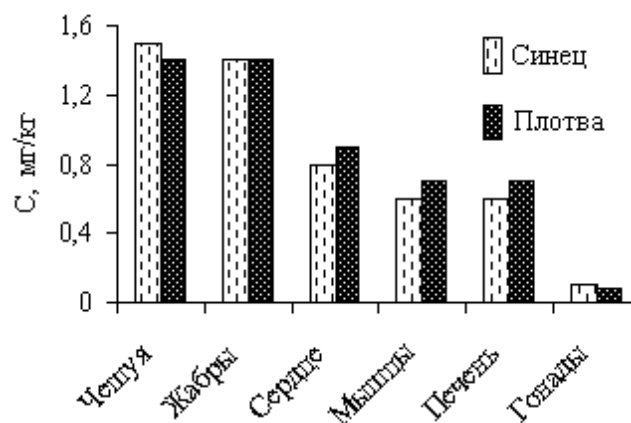


Рис. 3. Содержание меди в синце и плотве

Органом концентратором для железа, независимо от вида рыбы, является печень; хрома – мышцы и сердце. В динамике накопления цинка, меди и свинца имеются видовые особенности.

3.2. Влияние пола и возраста на аккумуляцию тяжелых металлов в рыбе

Для установления влияния пола и возраста рыбы на аккумуляцию ТМ использовали возрастные группы, доминирующие в промышленных выловах и достигшие половозрелого возраста.

Однофакторным дисперсионным анализом установлено, что накопление железа, хрома и свинца в тканях и органах леща, синца, плотвы зависит от половой принадлежности рыбы (рис. 4).

У леща содержание железа (одномерный критерий Фишера, $F=71,9$; уровень статистической значимости, $p<0,001$) в тканях и органах самок выше, чем у самцов; синца – хрома ($F=18,9$; $p<0,001$); плотвы – свинца ($F=68,9$; $p<0,001$). Гендерное влияние на аккумуляцию ТМ судаком не установлено.

При определении возрастных особенностей аккумуляции ТМ тканями и органами леща исследовали особи возрастом 6-10 лет; синца – 5-8 лет; плотвы – 4-8 лет; судака – 4-6 лет.

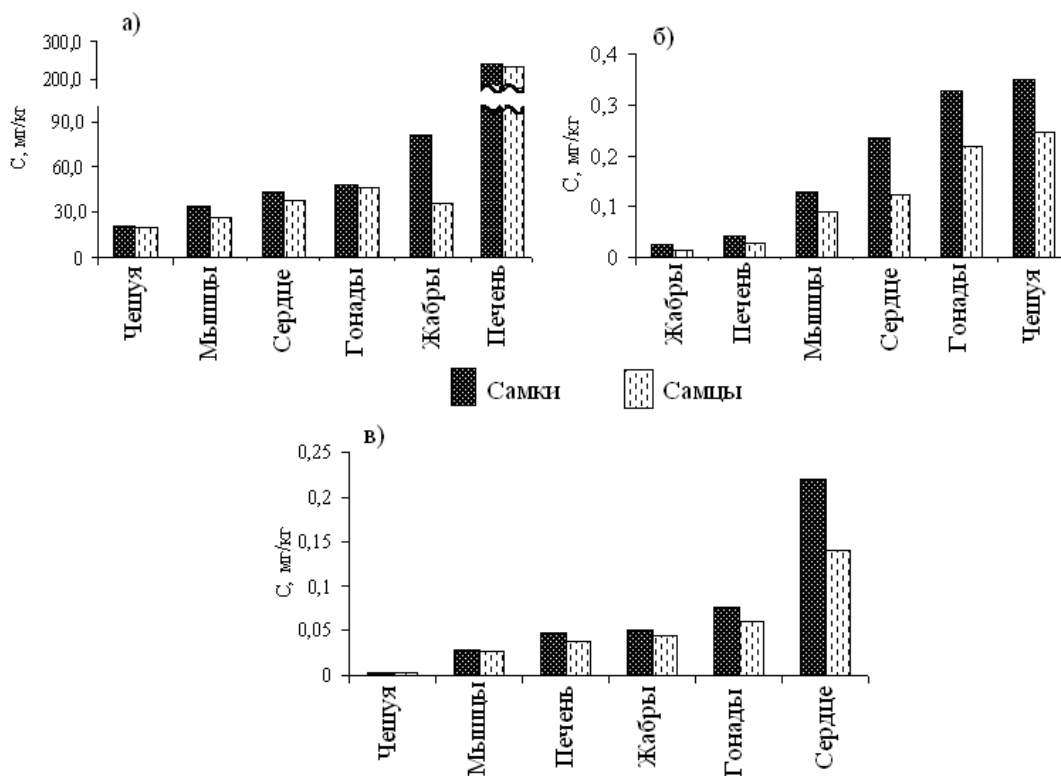


Рис. 4. Половые особенности содержания тяжелых металлов в рыбах Куйбышевского водохранилища: а) содержание железа в леще; б) содержание хрома в синце; в) содержание свинца в плотве

По значениям ОКН можно установить возрастные периоды максимального накопления металлов в рыбах. У всего видового ряда гидробионтов установлена небольшая вариабельность возрастных изменений содержания биогенных металлов первой группы (железо-цинк), где за один год накопление металлов в тканях и органах незначительно ($ОКН \approx 1$).

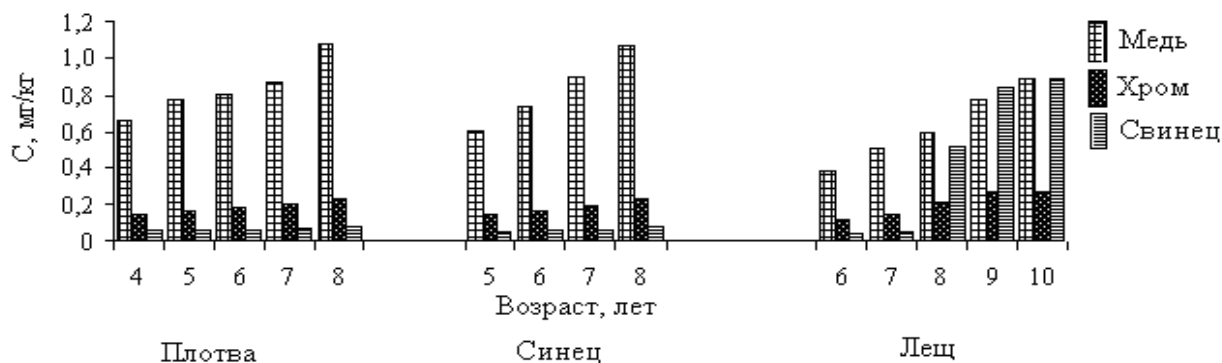


Рис. 5. Возрастные особенности накопления металлов у рыб семейства Карповые

Динамика накопления второй группы металлов (медь-хром-свинец) более интенсивная. Накопление меди, хрома и свинца рыбами семейства Карповые и Окуневые представлено на рис. 5, 6.

Максимальные значения ОКН меди, хрома и свинца для рыб семейства Карповые наблюдаются в период 7-8 лет (ОКН = $1,8 \div 17,0$); судака (семейство Окуневые) – в периоде 4-5 лет (ОКН = $1,0 \div 2,4$).

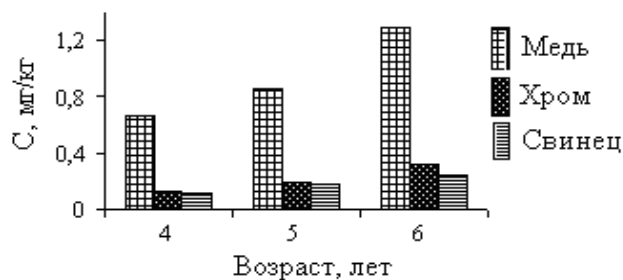


Рис. 6. Возрастные особенности накопления металлов у судака (семейство Окуневые)

Возрастные отличия в накоплении металлов у судака могут быть связаны с тем, что репродуктивная деятельность у него начинается раньше в сравнении с видами рыб семейства Карповые. Затем, достигая определенного возраста, судак сокращает потребление пищи на единицу массы, что в большинстве случаев сопровождается снижением уровня ферментативной активности (Hofer, 1979; Кузьмина, 1986).

Установлен высокий уровень корреляции между возрастными изменениями накопления меди, хрома и свинца ($r=0,8 \div 0,9$; $p<0,05$) во всех тканях и органах для всех видов рыб.

В возрастной динамике накопления железа и цинка наблюдаются видовые особенности. Для леща с возрастом накапливается железо в мышцах, жабрах и сердце ($r=0,7$; $p<0,05$); по цинку корреляция не установлена. У синца накопление железа ($r=0,7 \div 0,8$; $p<0,05$) наблюдается во всех органах; цинка ($r=0,7$; $p<0,05$) – в чешуе, печени и гонадах. У плотвы, в сравнении с синцом, накопление железа ($r=0,7$; $p<0,05$) наблюдается в чешуе, сердце и печени, а цинка – во всех органах ($r=0,6 \div 0,7$; $p<0,05$).

В отличие от других видов рыб, у судака корреляционная зависимость между возрастом и накоплением металлов в тканях и органах наблюдается по всем ТМ, что обусловлено его хищническим образом жизни.

Таким образом, половые различия в накоплении ТМ у рыб Куйбышевского водохранилища заключаются в том, что у самок леща содержание железа в тканях и органах выше, чем у самцов; самок синца – хрома; самок плотвы – свинца. На аккумуляцию ТМ судаком половая принадлежность рыбы не оказывает влияния.

Возрастные особенности динамики накопления ТМ характеризуются высоким содержанием металлов в рыбе. Максимальное накопление меди, хрома и свинца для леща, синца и плотвы наблюдаются в период 7-8 лет, судака – 4-5 лет.

3.3. Влияние занимаемой экологической ниши на накопление тяжелых металлов в тканях и органах рыб

Рыбы занимают верхнее трофическое звено водной экосистемы. В зависимости от занимаемой экологической ниши по особенностям накопления и распределения ТМ в тканях и органах рыб можно провести оценку и прогнозирование последствий загрязнения водных объектов ТМ.

При определении особенностей аккумуляции и распределения ТМ у рыб разных экологических групп были исследованы гидробионты с различными трофическими и топическими предпочтениями: обитатели нижних слоев пелагиали: хищник – судак, бентофаг – лещ; обитатели толщи воды: планктофаг – синец, эврифаг – плотва.

Методом дисперсионного анализа установлено влияние трофических и топических факторов на содержание и накопление тяжелых металлов в рыбах (табл. 3). Для анализа использовали особи в возрасте 6 лет.

Таблица 3

Зависимость между содержанием тяжелых металлов в рыбах Куйбышевского водохранилища различных экологических групп; $p < 0,001$

Виды рыб	Критерий Фишера				
	Железо	Цинк	Медь	Хром	Свинец
Лещ / Синец	F=377,6	F=60,0	F=27,4	F=14,0	F=33,7
Лещ / Плотва	F=443,2	F=102,5	F=28,9	F=31,5	F=146,3
Лещ / Судак	F=99,4	F=32,9	F=13,2	F=20,5	F=170,4
Синец / Плотва	F=46,4	F=21,5	F=14,5	F=29,0	F=35,2
Синец / Судак	F=93,3	F=46,0	F=12,0	F=18,2	F=124,0
Плотва / Судак	F=106,2	F=86,6	F=16,5	F=29,0	F=485,1

Максимальные различия в содержании железа, цинка, меди и хрома установлены между бентофагами и эврифагами; свинца – эврифагами и хищниками. Минимальные отличия в накоплении металлов первой группы характерно для планктофагов и эврифагов; меди – планктофагами и хищниками; хрома и свинца – бентофагами и планктофагами.

Максимальная аккумуляция железа, цинка и свинца наблюдается в леще (табл. 4); меди и хрома – в судаке. Минимальное содержание меди установлено в леще; железа – судаке; цинка, хрома, свинца – синце и плотве.

Таблица 4

Валовое содержание тяжелых металлов в организме рыб разных экологических групп

Металл	Содержание металла, мг/кг сырой массы			
	Лещ (бентофаг)	Синец (планктофаг)	Плотва (эврифаг)	Судак (хищник)
Fe	78,3±3,9	36,5±1,8	37,3±1,8	21,68±1,08
Zn	38,7±1,9	7,78±0,40	7,95±0,40	11,7±0,6
Cu	0,64±0,03	0,83±0,04	0,84±0,04	0,93±0,05
Cr	0,21±0,01	0,19±0,01	0,19±0,01	0,22±0,01
Pb	0,48±0,02	0,070±0,004	0,070±0,004	0,18±0,01

По сравнительно высокому содержанию железа, цинка и свинца в организме леща можно судить о локализации этих металлов в придонных слоях воды, донных отложениях и бентосных организмах. Поверхностные слои донных отложений Куйбышевского водохранилища представлены песчаными, глинистыми осадками разной степени заиленности, обуславливающей большую сорбционную способность грунтов. Поэтому лещи, контактирующие с иловыми отложениями (сапропелем) в процессе жизнедеятельности, отличаются высоким содержанием ТМ, чем другие виды рыб. В распределении меди и хрома по организмам гидробионтов не выявлено значительных различий, поэтому можно говорить об относительно равномерном распределении этих элементов по компонентам водохранилища.

Глава 4. Абиотические факторы среды и степень аккумуляции тяжелых металлов в тканях и органах рыб

4.1. Влияние загрязнения воды Куйбышевского водохранилища на накопление металлов в ихтиофауне

В рамках экологического мониторинга оценку состояния гидробионтов рекомендуется проводить по комплексу популяционных характеристик и абиотических условий (гидрохимических показателей окружающей среды), причем последние должны рассматриваться как агенты воздействия на организм в качестве причин экологического неблагополучия, а не его симптомов. В течение всего онтогенеза поступление металлов в организм гидробионтов осуществляется непосредственно из воды через покровные оболочки и желудочно-кишечный тракт в результате усвоения пищи и заглатывания воды (Шкодин, 1978; Богдановский, 1994).

В данной работе из абиотических факторов, влияющих на токсичность, биодоступность металлов для гидробионтов, были рассмотрены такие, как содержание ТМ в воде, рН среды, жесткость воды.

По результатам физико-химического анализа воды Куйбышевского водохранилища определили, что среднее валовое содержание железа составляет 0,12 мг/л; свинца – 0,1 мг/л; цинка – 0,06 мг/л; меди – 0,03 мг/л; хрома – 0,008 мг/л.

По коэффициентам биологического поглощения ТМ в тканях и органах рыб относительно воды были установлены следующие закономерности. Независимо от видовой принадлежности рыб накопление железа из воды происходит в печени, где наблюдаются высокие значения КБП (до $2013,3 \pm 100,0$); хрома – в мышцах (до $51,6 \pm 2,5$) и сердце (до $49,1 \pm 2,4$). Значительное накопление хрома в чешуе рыб (КБП до $29,6 \pm 1,4$) определяется ее структурой и химическим составом. Основным структурным веществом циклоидной (семейство Карповые) и ктеноидной (семейство Окуневые) чешуи является остеодин, имеющий пористое строение, обладающий высокой сорбционной способностью (Никольский, 1963; Тягун, 2004).

В накопление цинка, меди и свинца тканями и органами рыб из воды имеются видовые особенности. Для леща и судака аккумуляция металлов

наблюдается в печени. Для синца и плотвы из воды идет накопление меди и цинка в чешуе (КБП до $51,5 \pm 2,5$); свинца – в сердце (КБП до $1,7 \pm 0,1$).

По установленным КБП видовые закономерности накопления ТМ из воды можно представить в виде следующих рядов убывания:

лещ, судак – $Zn > Fe > Cr > Cu > Pb$; синец, плотва – $Fe > Zn > Cr > Cu > Pb$.

Исключение составляют жабры синца и мышцы плотвы, где КБП цинка выше.

Неоднозначные тенденции в накоплении ТМ гидробионтами связано не только с видовой принадлежностью рыб, но влиянием рН среды, жесткости воды, формами существования металла. В поверхностных слоях воды Куйбышевского водохранилища рН среды варьируется в пределах $5,0 \div 7,8$; в придонных слоях – $5,5 \div 7,0$. Жесткость воды составляет $2 \div 5$ ммоль/л.

Изменение рН среды значительно влияет на КБП металлов органами и тканями рыб. Высокие значения КБП железа в органах и тканях синца и плотвы (обитателями пелагиали), цинка в леще и судаке (придонными обитателями) могут обуславливаться биодоступностью для гидробионтов растворимых форм гидроксокомплексов металлов в виде $[Fe(OH)]^+$, $[Zn(OH)]^+$, $[ZnHCO_3]^+$. При возрастании значений рН среды до 8,5 цинк в водной среде может находиться в подвижной и биодоступной форме Zn^{2+} . Несмотря на незначительное содержание хрома в воде (доминирующим является анион CrO_4^{2-}), селективность накопления металла в сердце и мышцах рыб приводит к высоким значениям КБП.

По установленным коэффициентам накопления были определены кумулятивные свойства тяжелых металлов (табл. 5).

Таблица 5

Коэффициент накопления металлов в организмах промысловых видов рыб
Куйбышевского водохранилища

Металл	Вид рыб			
	Лещ	Синец	Плотва	Судак
Железо	653 (В)	304 (В)	311 (В)	181 (У)
Цинк	1290 (Св)	259 (В)	265 (В)	390 (В)
Медь	21 (С)	28 (С)	28 (С)	31 (С)
Хром	26 (С)	24 (С)	24 (С)	28 (С)
Свинец	4 (С)	1 (С)	1 (С)	1 (С)

Примечание: Степень накопления металлов: С – слабая; У – умеренная;
В – высокая; Св – сверхвысокая.

Для ТМ первой группы определена высокая степень кумуляции рыбой (имеются исключения по железу в судаке и цинку в леще). Независимо от видовой принадлежности гидробионта степень кумуляции ТМ второй группы характеризуется, как слабая.

Таким образом, по критериальным показателям в виде коэффициентов накопления и биологического поглощения ТМ в тканях и органах рыб установлены кумулятивные свойства и видовые закономерности накопления металлов из воды, где высокие значения КБП могут обуславливаться нахождением в биодоступной форме железа и цинка (гидрокарбонатные формы, гидроксокомплексы), хрома (хромат анионы) для гидробионтов в воде Куйбышевского водохранилища.

4.2. Особенности поступления и накопления тяжелых металлов в мышцах рыб Куйбышевского водохранилища при комплексном влиянии печени и жабр

Анализ содержания ТМ в рыбах Куйбышевского водохранилища свидетельствует о неоднозначности накопления и распределения металлов в организмах гидробионтов. В связи с этим можно говорить о видовых особенностях аккумуляции металлов в органах и тканях рыб при совокупном влиянии исследованных характеристик.

Таблица 6

Зависимость накопления тяжелых металлов в мышцах рыб от других органов (жабры, печень), $p < 0,05$

Металл	Уравнение регрессии			
	Лещ	R ²	Плотва	R ²
Fe	$y=18,98+0,19C$ (жабры)	55,5	$y=-3,59+1,32C$ (жабры)+0,15C (печень)	67,5
Zn	$y=15,70+0,46C$ (жабры)	41,7	$y=0,79+0,26C$ (жабры)+0,32C (печень)	55,8
Cu	$y=0,19+1,84C$ (жабры)	59,6	$y=0,27+0,15C$ (жабры)+0,20C (печень)	62,1
Cr	$y=0,09+0,40C$ (жабры)+6,52C (печень)	62,7	$y=0,15+0,91C$ (жабры)+2,89C (печень)	70,3
Pb	$y=1,26C$ (жабры)	85,5	$y=0,01+0,68C$ (жабры)	74,0
Металл	Уравнение регрессии			
	Судак	R ²	Синец	R ²
Fe	$y=0,43C$ (жабры)+0,18C (печень)	55,5	$y=-4,41+0,25C$ (жабры)+0,18C (печень)	66,1
Zn	$y=6,39+0,85C$ (жабры)+0,32C (печень)	7,2	$y=1,27+0,41C$ (печень)	84,3
Cu	$y=0,22+0,32C$ (жабры)+0,19C (печень)	66,9	$y=0,20+0,07C$ (жабры)+0,43C (печень)	88,4
Cr	$y=1,15C$ (жабры)	25,3	$y=0,21+4,82C$ (печень)	83,4
Pb	$y=-0,02+0,59C$ (жабры)+0,07C (печень)	85,1	$y=0,02+0,45C$ (жабры)+0,33C (печень)	93,2

Примечание: R² - коэффициент детерминации; C – содержание ТМ, мг/кг.

С помощью метода множественного регрессионного анализа установлена зависимость накопления ТМ в мышцах от других органов рыб: контактирующих с внешней средой (жабры), пищеварительной системой (печень). Уравнения регрессии представлены в табл. 6.

Сравнительный анализ уравнений регрессии позволил определить отличительную особенность поступления и содержания металлов в мышцах леща, где установлено влияние жабр на поступление всех металлов (имеются исключения по хрому). Можно предположить, что приоритетное поступление ТМ в мышцы леща происходит из внешней среды через дыхательный аппарат.

По значениям КБП тяжелых металлов у леща относительно системы «мышцы – бентос» отмечается доминирующее положение свинца относительно меди и хрома, где ряд убывания следующий: $Zn > Pb > Fe > Cr > Cu$; в системе «печень – бентос» ряд убывания металлов: $Fe > Zn > Pb > Cu > Cr$.

Установленные высокие значения КБП свинца свидетельствуют о том, что его активное накопление происходит преимущественно через пищу. Подобные зависимости связаны с тем, что бентос составляющий основу рациона леща, интенсивно аккумулирует металлы из донных отложений, вместе с которыми он представляет обменный фон в биогеохимическом цикле металлов.

Наряду с высокими значениями КБП металлов печенью леща относительно воды и бентоса, ее влияние на поступление ТМ в мышцы статистически не установлено. Можно предположить, что в печени происходит накопление ТМ без последующего распределения их по органам.

Для судака, синца и плотвы выявлены общие и отличительные закономерности во влиянии, как печени, так и жабр на содержание ТМ в мышцах. Общей закономерностью для данных рыб является совместное влияние жабр и печени на накопление железа и меди в мышцах (табл. 6).

Во влиянии жабр и печени на накопления цинка, свинца и хрома в мышцах рыб имеются видовые особенности.

Для судака на накопление цинка в мышцах выявлено совместное влияние печени и жабр; свинца – печени, что по механизмам накопления и распределения объединяет их, с одной стороны, с эврифагами (плотва), а с другой стороны, с планктофагами (синец). Результаты анализа показывают на смешанный путь поступления металлов в организм хищника, зависящий

не только типа питания, но и от абиотических условий, которые определяют формы существования и биодоступность металлов.

Для синца и плотвы (обитателей водной толщи, но отличающихся по типу питания) видовые особенности накопления ТМ выражаются во влиянии печени на накопление цинка и хрома в мышцах синца, жабр – свинца в мышцах плотвы.

В организме плотвы ТМ перераспределяются между тканями и органами (за исключением свинца), что подтверждается совместным воздействием печени и жабр (табл. 6) на накопление ТМ в мышцах. Выявленное влияние жабр на поступление свинца в мышцы плотвы, может указывать на то, что приоритетным путем его поступления является дыхательный аппарат, как в случае с лещом.

Зависимость накопления металлов в мышцах от их содержания в печени рыб говорит о том, что объекты питания (в которых металлы могут находиться в легко усвояемых белковых структурах) и функционирование пищеварительной системы (ферментативная активность в печени) влияют на общее снижение содержания металлов за счет их перераспределения между другими тканями и органами. Эти результаты согласуются с литературными данными, в которых показано, что после прекращения действия поллютанта на организм рыб существенных изменений содержания металлов в мышечной ткани не происходит (Рощина, 2010).

Таким образом, особенность накопления ТМ в леще заключается в том, что в мышцах накапливаются металлы, поступающие из окружающей среды через жабры; металлы, поступившие с пищей, преимущественно аккумулируются в печени, либо выводятся из организма.

Накопление тяжелых металлов, поступивших в организм судака, синца и плотвы, как из внешней среды, так и с пищей, происходит за счет перераспределения между тканями и органами. Для судака установлены общие закономерности влияния жабр и печени на накопление цинка в мышцах с эврифагами (плотва); накопление свинца – с планктофагами (синец).

Выводы

1. Исследовано содержание и распределение ТМ (железа, цинка, меди, хрома, свинца) в тканях и органах промысловых видов рыб Куйбышевского водохранилища. Содержание железа в леще превышает ПДК во всех тканях и органах (исключение чешуя), цинка – в сердце и печени, свинца – в печени. Превышение ПДК по железу у синца и плотвы отмечается в сердце, печени и гонадах; у судака – печени. Содержание меди хрома и свинца находятся в пределах нормы.

Железо независимо от видовой принадлежности рыбы аккумулируется в печени, хром – мышцах и сердце; цинк и свинец, главным образом, в печени леща, судака; медь в чешуе – синца, плотвы.

2. Определено, что накопление тяжелых металлов в тканях и органах рыб зависит от половой принадлежности и возраста. У самок леща содержание железа и меди выше, чем у самцов; у синца – содержание хрома; плотвы – свинца. Влияние пола на аккумуляцию металлов судаком не установлено. Определено, что с возрастом содержания металлов в рыбе увеличивается. Активное накопление меди, хрома, свинца у леща, плотвы, синца наблюдается в периоде 7-8 лет; судака – 4-5 лет.

Выявлены видовые отличия в содержании и накоплении тяжелых металлов в зависимости от занимаемой экологической ниши. Максимальная аккумуляция железа, цинка и свинца наблюдается в леще; меди и хрома – в судаке. Минимальное содержание меди установлено в леще; железа – судаке; цинка, хрома, свинца – синце и плотве.

3. Независимо от видовой принадлежности гидробионта установлена высокая степень кумуляции для ТМ первой группы, слабая – для металлов второй группы.

Определено, что влияние факторов среды на накопление тяжелых металлов в рыбе обусловлено гидрохимическими характеристиками воды Куйбышевского водохранилища. Значительные КБП цинка и хрома свидетельствуют об их нахождении в воде в биодоступной форме для гидробионтов. Общие тенденции в накоплении металлов из воды установлены у леща, судака, где отмечаются существенные КБП цинка; для синца, плотвы высокие КБП отмечаются по железу (исключение составляют жабры, где КБП цинка выше).

4. Установлены видовые особенности накопления и распределения тяжелых металлов в организмах рыб при комплексном влиянии печени и жабр. Специфика содержания ТМ в организме леща заключается в том, что металлы, поступая через жабры, накапливаются в мышцах; металлы, поступившие в печень, аккумулируются в ней, либо выводятся из организма.

Накопление металлов, поступивших в организм судака, синца и плотвы через жабры и печень, происходит за счет перераспределения между тканями и органами. У судака общие тенденции во влиянии жабр и печени на накопление цинка в мышцах установлено с эврифагами (плотва), в накоплении свинца – с планктофагами (синец).

Список опубликованных работ по теме диссертации

В изданиях, рекомендованных ВАК

1. Климов Е.С., Давыдова О.А., Бузаева М.В., Семенов В.В., Подольская З.В., Ваганова Е.С., **Ваганов А.С.** Экологическая безопасность ферритизированных гальваношлямов // Безопасность жизнедеятельности. – 2010. – № 9. – С. 26-32.

2. **Ваганов А.С.** Накопление тяжелых металлов в мышечной ткани промысловых видах рыб Куйбышевского водохранилища // Естественные и технические науки. – 2011. – № 4. – С. 179-180.

3. **Ваганов А.С.** Содержание тяжелых металлов в тканях и органах промысловых видах рыб Куйбышевского водохранилища // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2011. – № 2 (2). – С. 25-28.

4. **Ваганов А.С.** Сравнительная характеристика содержания тяжелых металлов в промысловых видах рыб Куйбышевского водохранилища // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Спец. выпуск «ЭкоБиотех-2011». – 2011. – Т. 13. – № 5 (2). – С. 143-146.

5. **Ваганов А.С.** Особенности распределения тяжелых металлов в тканях и органах рыб рода *Abramis* Куйбышевского водохранилища // Вода: химия и экология. – 2012. – №1. – С. 90-93.

В других изданиях

6. Ваганова Е.С., **Ваганов А.С.**, Кузнецов П.Н., Давыдова О.А., Климов Е.С. Экологическое состояние водных объектов Ульяновской области //

Современные наукоемкие технологии. Материалы Общероссийской конференции «Окружающая среда и развитие человека» (Иркутск, 2010). – 2010. – № 7. – С. 78-79.

7. Ваганова Е.С., **Ваганов А.С.**, Кузнецов П.Н., Климов Е.С., Давыдова О.А. Межсезонная изменчивость и взаимосвязь элементов водного баланса в Куйбышевском водохранилище и малых рек на территории Ульяновской области. – Материалы II Международной конференции водных биоресурсов. – Новосибирск, 2010. – С. 179-181.

8. **Ваганов А.С.**, Ваганова Е. С., Климов Е.С. Содержание тяжелых металлов в тканях и органах леща Куйбышевского водохранилища // Тезисы докладов Всероссийской научно-практической конференции «Экологические проблемы промышленных городов». – Саратов: СГТУ, 2011. – С. 32-34.

9. Ваганова Е.С., **Ваганов А.С.**, Давыдова О.А. Мониторинг влияния жесткости воды на распределение тяжелых металлов в водных экосистемах // Тезисы докладов Всероссийской научно-практической конференции «Экологические проблемы промышленных городов». – Саратов: СГТУ, 2011. – С. 34-36.

10. **Ваганов А.С.**, Ваганова Е.С., Климов Е.С. Особенности аккумуляции и распределения тяжелых металлов по тканям и органам основных промысловых видах рыб Куйбышевского водохранилища // Тезисы докладов 45 научно-технической конференции «Вузовская наука в современных условиях». – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2011. – С. 217-218.

Подписано в печать 18.04.2012. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 1,40. Тираж 100 экз. Заказ 429.

Типография УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, ул. Сев.Венец, д. 32

