УДК 557.170.49:594.11:577.118

С.В. Чусовитина[1], Е.А. Жадько[1], Н.И. Стеблевская[1,2], Н.В. Полякова[2]
[1]Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б
[2]Институт химии ДВО РАН,
690022, г. Владивосток, пр. 100-летия Владивостоку, 159

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕКОТОРЫХ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНАХ ЮЖНОЙ ПАЛТУСОВИДНОЙ КАМБАЛЫ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

Изучено содержание некоторых макро- и микроэлементов в мышечной ткани, коже, жабрах, половой железе и печени камбалы H. dubius. В печени выявлены максимальные концентрации железа, меди, селена, в гонадах – цинка, в костной ткани – марганца, в жабрах – брома. Хром обнаружен только в коже и мышечной ткани этого вида. Концентрация As, Zn, Cu, Cd в органах H. dubius не превышает их ПДК.

Ключевые слова: *микроэлементы, камбала южная палтусовидная Hippoglossoides dubius, печень, кожа, жабры, гонада, кость, мышцы.*

S.V. Chusovitina [1], E.A. Zhadko [1] , N.I. Steblevskaya [1,2] , N.V. Polyakova [2]

DISTRIBUTION OF SOME MACRO AND MICRO ELEMENTS IN THE ORGANS OF THE FLATHEAD FLOUNDER OF THE GULF OF PETER THE GREAT (SEA OF JAPAN)

The maintenance of some macro- and microelements in muscle tissue, skin, gills, gonads and liver of flounder H. dubius were studied. In liver the maximum concentrations of iron, copper, selenium, in gonads – zinc, in bone tissue – manganese, in the gills – bromine were detected. Chromium is found only in the skin and muscle tissue of this species. The concentration of As, Zn, Cu, Cd in the organs of H. dubius does not exceed the maximum possible concentration.

Key words: *microelements, flounder southern halibut H. dubius, liver, skin, gills, gonad, bone, muscles.*

Введение

В зависимости от динамики химического состава среды у рыб могут регулироваться физиологические процессы, микроэлементы избирательно концентрироваться или активно выводиться из организма. Наиболее очевидным это становится при интродукции гидробионтов или увеличении антропогенной нагрузки на акваторию. Нарушение фонового химизма воды прежде всего сказывается на ходе развития эмбрионов, выживаемости личинок, росте молоди. Уровень содержания микроэлементов во взрослых организмах определяется многими факторами, среди которых такие биолого-экологические характеристики видов, как приуроченность к определенному биотопу, миграционная способность, характер питания, возраст и др. Ихтиоцен зал. Петра Великого включает более 300 видов рыб, исследование концентраций микроэлементов в органах и тканях которых важно для контроля за экологическим состоянием водоёма, а у промысловых видов – и для оценки степени безопасности как пищевого сырья.

Целью настоящей работы являлась характеристика особенностей распределения и уровней содержания некоторых макро- и микроэлементов (S, P, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br, Se, Sr, As, Pb, Rb, Cd) в органах и тканях южной палтусовидной камбалы *Hippoglossoides dubius* Амурского залива (зал. Петра Великого, Японское море).

Объекты и методы исследований

Объектом исследований были органы и ткани камбалы *Hippoglossoides dubius,* пойманной в Амурском заливе в марте 2016 г. Для исследования взяты кусочки мышечной ткани туловища, жабр, печени, кожи, позвонков и гонад. Всего анализу подвергнуто в

среднем по 60 проб органов и тканей. Пробоподготовка осуществлялась в соответствии с рекомендациями [1, 2]: образцы помещали в тефлоновые автоклавы, добавляли смесь азотной и соляной кислоты (1 : 2) и разлагали в микроволновом реакторе Milestone UltraClave (Италия) 60 мин при 200 ^{o}C и давлении 60 атмосфер. Элементный анализ подготовленных растворов проб проводили рентгенофлуоресцентным методом с полным внешним отражением (TXRF) на приборе TXRF 8030 C (FEI Company, Germany). Пробу объемом 10 мкл наносили на подложку из полированного кварцевого стекла. Время измерения – 500 с, источники возбуждения – MoKα и WBr35. Внутренний стандарт – раствор иттрия с концентрацией 50 мкг/мл. Предел обнаружения варьирует для различных элементов в пробах от 10^{-7} до 10^{-10} %.

Результаты и их обсуждение

Пути проникновения химических элементов в организм, закономерности их распределения и аккумуляции в органах и тканях рыб исследуются с привлечением данных по пресноводным, проходным и морским видам разной пищевой специализации. Крайне ограничены сведенья об особенностях этих процессов у морских рыб, особей разного пола. В марте 2016 г. взяты для исследований ткани и органы готовящихся к нересту самок южной палтусовидной камбалы. Рыбы в момент поимки имели пустые или почти пустые желудки.

Южная палтусовидная камбала – промысловый вид, относящийся к мезобентально-элиторальной группировке, широко распространенный у побережья Приморья [3]. Обитая в диапазоне глубин от 25 до 1200 м, весной, для нагула и нереста, камбала мигрирует на шельф. По данным В.И. Чучукало [4], в спектре питания вида более 10 таксономических групп беспозвоночных животных и рыб. Состав основных кормовых объектов меняется не только с сезоном, но и в связи с местом обитания, возрастом и размером. Летом в рационе преобладают ракообразные (гаммариды, кумовые, креветки), двустворчатые моллюски и полихеты, зимой – офиуры.

Такие биологически важные элементы, как фосфор и кальций являются основой костной ткани, в ней у южной палтусовидной камбалы и выявлены максимальные концентрации этих элементов (рис. 1). В мышечной ткани концентрации фосфора и кальция относительно невелики, но зарегистрированы наибольшие средние показатели калия, ионы которого участвуют в поддержании осмотического давления, в генерации и проведении биоэлектрических потенциалов, активируют некоторые ферменты. Сера, входящая в состав белков, ферментов и витаминов, проникает в организм преимущественно через кожные покровы, где ее количество в среднем превышало 2500 мг/кг.

Фосфор, сера, калий и кальций выявлены во всех образцах, взятых для изучения. Изменчивость концентрации макроэлементов в органах южной палтусовидной камбалы значительна (таблица). Максимальная вариабельность содержания серы характерна для костной ткани (почти в 3 раза), фосфора и кальция – для жабр (в 3 и 5 раз), калия – для гонад (в 3 раза), кальция – для мышц и печени (в 8 раз).

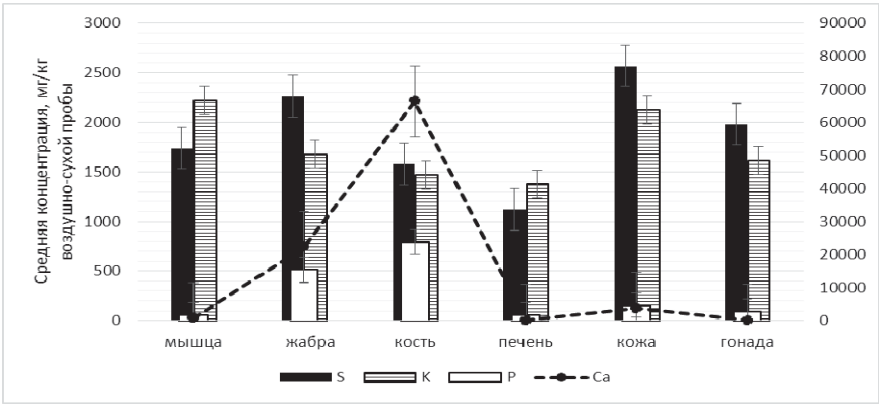

Рис. 1. Распределение S, P, K, Ca в тканях камбалы *H. dubius*. Примечание: по дополнительной шкале средние концентрации Ca

Fig. 1. The distribution of S, P, K, Ca in the tissues of the flounder *H. dubius*. Note: on an additional scale, the average concentrations of Ca

Диапазоны концентрации элементов в органах камбалы *H. dubius* зал. Петра Великого (мг/кг воздушно-сухой массы)
Concentration ranges of elements in the organs of flounder H. dubius hall. Peter the Great (mg / kg air-dry mass)

Образец	S	P	K	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Br	Sr	As	Pb	Se	Rb	Cd
Мышца	1363-2114	1191-2017	1740-2701	196-1638	0-10,96	0-2,47	6,50-70,59	0-17,81	0,68-1,52	3,43-20,76	1,64-5,3	0,614-8,377	2,62-4,668	0,139-0,245	0,384-0,61	0,325-0,65	0
Жабра	1420-3202	7347-22922	1137-2310	6996-33342	0	3,36-14,74	63,13-107,15	1,77-162,23	1,802-3,68	16,84-47,29	7,35-16,14	22,9-144,56	1,17-1,54	0,403-2,43	0,611-1,9	0,667-1,23	0
Кость	823,6-2497	22422-48127	981-2287	39990-102977	0	10,53-14,29	34,98-63,3	0	0	16,56-25,23	2,89-7,25	108-362	2-11	0,534-0,623	0	0-2	0
Печень	712-1509	1103-2256	1103-1674	17,52-138	0	1,32-2,38	78,82-192	0	2,659-17,68	14,16-33,62	2,057-6,91	0,349-1,179	1,75-6,49	0,176-0,476	0,711-2,206	0,332-1,13	0,012-0,284
Кожа	1723-3198	3212-7582	1401-2963	2146-6431	0-7,8	0	27,41-78,97	3,66-6,799	0-2,24	9,55-32,53	4,23-10,11	1,38-30,01	2,83-3,56	0,279-0,486	0	0,752-1,56	0
Гонада	1691-2132	1798-3569	891-2873	81,81-181,46	0	1,06-1,37	11,81-20,92	0,725-1,66	0,844-3,68	23,72-65,37	2,48 3,658	0,887 0,976	0	0,095-0,153	0,42-0,541	0-0,751	0

Микроэлементы по уровню накопления в тканях и органах южной палтусовидной камбалы располагались следующим образом:

Жабры: Fe > Ni > Zn > Br > Mn > Cu > Se
Мышца: Fe > Zn > Ni > Br > Cu > Mn > Se
Печень: Fe > Zn > Cu > Br > Mn > Se
Кость: Fe > Zn > Cu > Mn > Br
Кожа: Fe > Zn > Br > Ni > Cr > Cu
Гонада: Zn > Fe > Br > Cu > Mn

В исследованных органах и тканях камбалы среди эссенциальных элементов количественно лидировало железо, ему почти вдвое уступал цинк (рис. 2). В пробах печени и костной ткани следующим элементом была медь, в других органах она занимала четвертое (гонада), пятое (мышечная ткань) или шестое место (кожа, жабры).

Высокое содержание железа, цинка и меди связано с участием этих элементов в процессах синтеза гемоглобина, кроветворения, процессах легочного и тканевого дыхания. Максимальная концентрация железа в печени, возможно, также объясняется депонированием металлов в ней и образованием гемопротеинов.

Превалирование железа ранее отмечалось у сельди, наваги, минтая и камбалы желтоперой зал. Петра Великого [5], лососевых рыб из р. Аввакумовка [6]. В органах и тканях полосатой камбалы количество железа превосходило количество других элементов только в почках, жабрах и печени, цинка – в чешуе, коже, мышцах, гонадах [7].

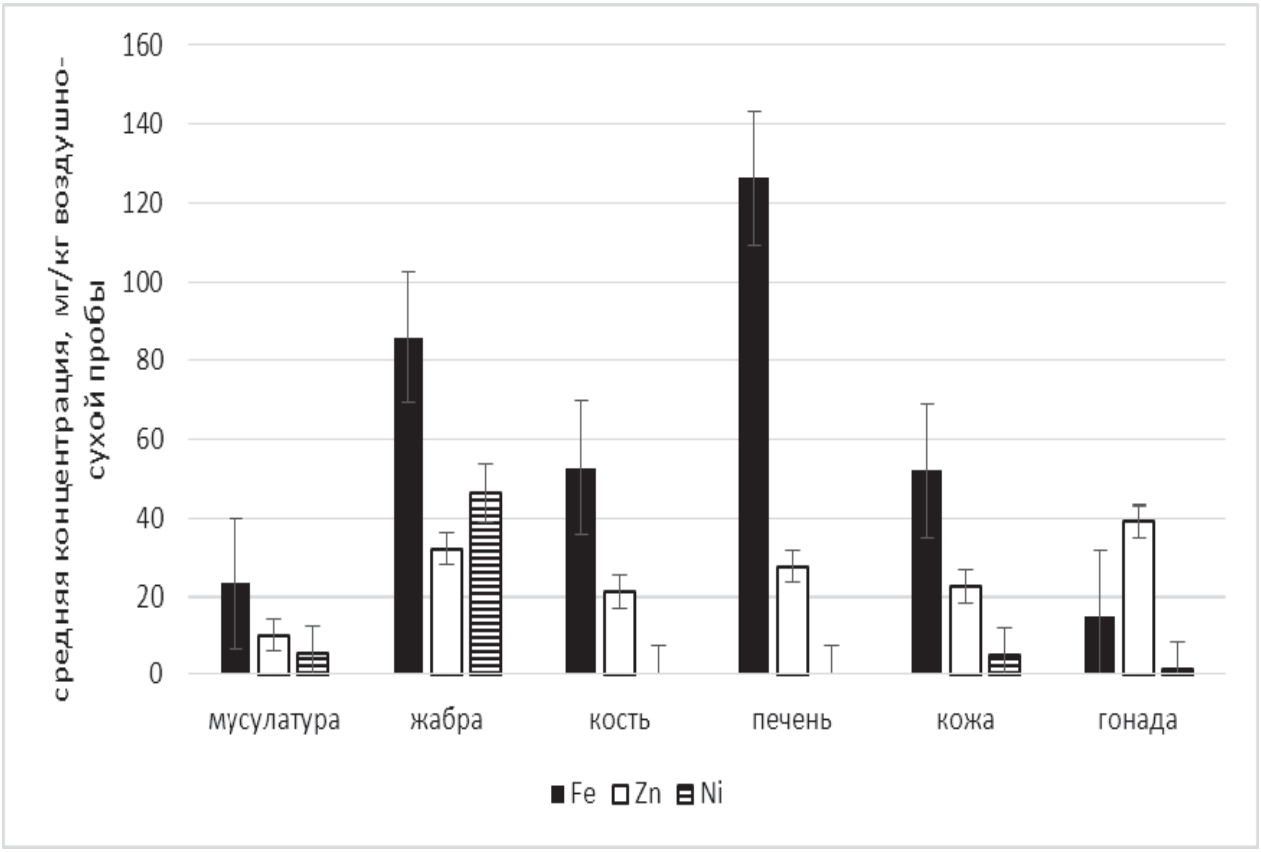

Рис. 2. Распределение Fe, Ni, Zn в тканях камбалы *H. dubius*
Fig. 2. The distribution of Fe, Ni, Zn in the tissues of the flounder *H. dubius*

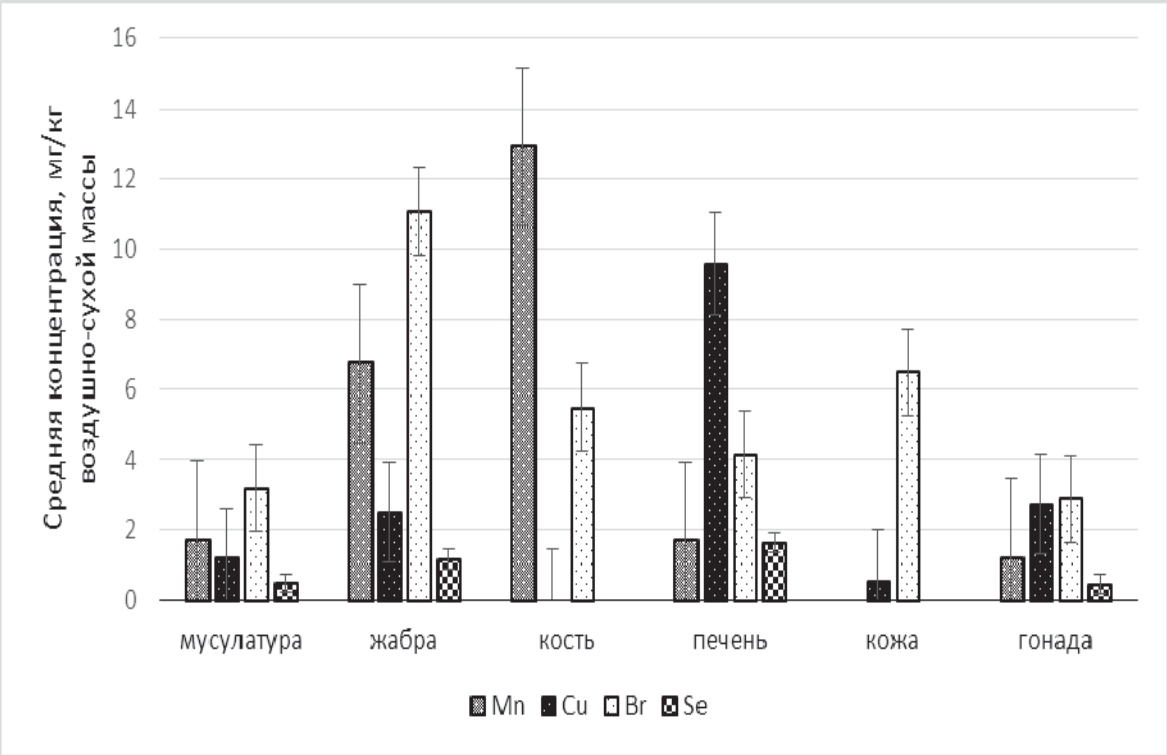

Рис. 3. Распределение Mn, Cu, Br, Se в тканях камбалы *H. dubius*
Fig. 3. The distribution of Mn, Cu, Br, Se in the tissues of the flounder *H. dubius*

Концентрация отдельных микроэлементов в органах южной палтусовидной камбалы значительно отличалась. В целом, по уровню накопления микроэлементов органы и ткани рыб ранжировались следующим образом:

Fe: печень > жабры > кость > кожа > мускул > гонада
Zn: гонада> жабра > печень > кожа > кость > мускул
Cu: печень> гонада > жабра > мускул > кожа
Mn: кость > жабра > мускул (печень) > гонада
Br: жабра > кожа > кость > печень > мускул > гонада
Se: печень> жабра > мускул > гонада

Концентрация железа в печени была выше в 1,5 раза по сравнению с жабрами и в 5 раз – по сравнению с мышечной тканью. В среднем содержание железа уменьшалось от 126,4 мг/кг в печени до 14,9 мг/кг в гонадах (см. рис. 2). В распределении цинка выявлена обратная тенденция. Количество цинка в гонадах в 1,2 раза уступало жабрам и почти в 4 раза – мышечной ткани. Никель обнаружен в коже, жабрах и мускулатуре. В жабрах его концентрация сильно варьировалась, в среднем превышая 46 мг/кг.

Наши результаты согласуются с данными М.В. Симоконь [8] о преимущественном накоплении железа и марганца в костях и жабрах, меди в печени полосатой камбалы. Содержание марганца в костной ткани южной палтусовидной камбалы в 8–10 раз превышало его содержание в других органах и тканях. Концентрация меди в печени изменялось от 2,659 до 17,68 мг/кг и в среднем в 8 раз превышает показатели мышечной ткани (таблица, рис. 3).

Селен входит в состав ферментов, гормонов, в какой-то мере определяет состояние антиоксидантной системы, оказывает влияние на процессы метаболизма в организме [9]. Накопление селена зависит от района обитания и образа жизни рыб. По данным Н.А. Голубкиной и др. [10], в мускулатуре донных рыб (бычки сем. Gobiidae) аккумуляция селена более выражена по сравнению с пелагическими (кильки *Clupeonella engrauliformis, Clupeonella*

cultriventris). В мускулатуре южной палтусовидной камбалы концентрация селена в среднем составила 0,49 мг/кг, в печени была втрое больше.

Хром выявлен только в коже (1,95 мг/кг) и мышечной ткани (2,74 мг/кг). Преимущественное аккумулирование этого элемента в мускулатуре леща, щуки, синца Куйбышевского водохранилища отмечал А.С. Ваганов [11].

Содержание стронция в гонадах, коже, печени и мышцах южной палтусовидной камбалы было значительно меньше по сравнению с костной тканью и жабрами (см. таблицу, рис. 4). Наряду со стронцием в костной ткани выявлена предельная концентрация мышьяка. Локализация стронция и мышьяка косвенно свидетельствует о длительности процесса их накопления. Относительно высокое содержание свинца и мышьяка обнаружено в печени. Исследования Л.Т. Ковековдовой и др. [12, 13] выявили увеличение концентраций этого элемента в органах и тканях моллюсков и рыб Амурского залива в связи с высокой концентрацией мышьяка в грунте.

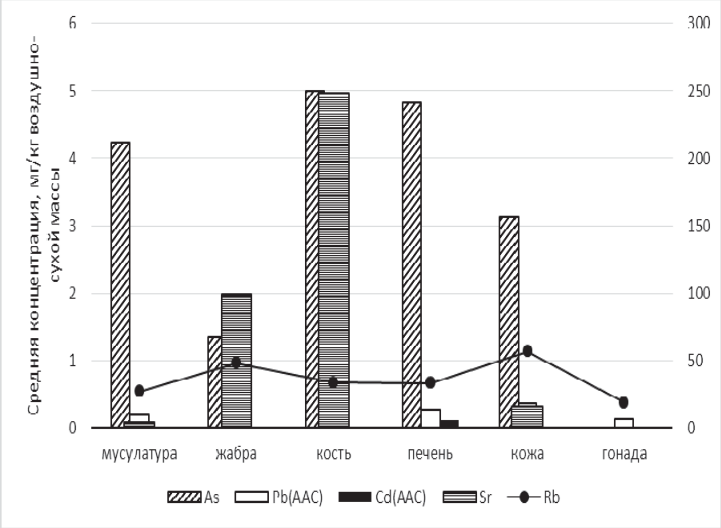

Рис. 4. Распределение Sr, As, Pb, Rb, Cd в тканях южной палтусовидной камбалы *Hippoglossoides dubius.* Примечание: Sr по дополнительной шкале

Fig. 4. The distribution of Sr, As, Pb, Rb, Cd in the tissues of the flounder *H. dubius*. Note: on an additional scale, the average concentrations of Sr

Ранее установлено влияние возраста, пола, диеты на распределение микроэлементов в органах и тканях некоторых видов рыб [14, 15, 16]. Наши исследования показали, что в преднерестовый период у самок японской палтусовидной камбалы Амурского залива в печени выявлены максимальные концентрации железа, меди, селена, в гонадах – цинка, в костной ткани – марганца, в жабрах – брома. Нормируемые элементы (Pb, Cd, As) не превышали установленных нормативов. Мышечная ткань уступала другим органам по содержанию тяжелых металлов.

Список литературы

1. Бок, Р. Методы разложения в аналитической химии / Р. Бок. – М.: Химия, 1984. – 432 с.

2. Стеблевская, Н.И. Микроэлементный состав некоторых видов родов Lespedeza, Caragana (Fabaceae) и Patrinia (Valerianaceae) флоры Дальнего Востока / Н.И. Стеблевская, Н.В. Полякова, М.А. Медков // Растительные ресурсы. – 2009. – № 3. – С.102–110.

3. Соломатов, С.Ф. Вертикальная зональность распределения донных рыб в водах Северного Приморья (Японское море) / С.Ф. Соломатов // Современное состояние водных биоресурсов: материалы научной конференции, посвященной 70-летию С.М. Коновалова. – Владивосток: ТИНРО-Центр, 2008. – С. 266–271.

4. Чучукало, В.И. Питание и пищевые отношения нектона и нектобентоса в дальневосточных морях / В.И. Чучукало. – Владивосток: ТИНРО-Центр. 2006. – 483 с.

5. Ковековдова, Л.Т. Оценка микроэлементного состава отдельных видов промысловых гидробионтов Японского и Охотского морей / Л.Т. Ковековдова // Современное состояние водных биоресурсов: материалы научной конференции, посвященной 70-летию С.М. Коновалова. – Владивосток: ТИНРО-Центр, 2008. – С. 551–556.

6. Зорина, Л.Г. Содержание микроэлементов в лососевых рыбах / Л.Г. Зорина, П.С. Гордиенко, Б.В. Буквецкий // Электронный журн. «Исследовано в России» http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2003. – С.2341–2348./196.pdf.

7. Марченко, А.Л. Видовые различия в содержании тяжелых металлов в массовых видах рыб из водоемов Южного Приморья // Современное состояние водных биоресурсов: материалы научной конференции, посвященной 70-летию С.М. Коновалова / А.Л. Марченко, Н.К. Христофорова. – Владивосток: ТИНРО-Центр, 2008. – С. 591–595.

8. Симоконь, М.В. Тяжёлые металлы в промысловых рыбах залива Петра Великого в связи с условиями обитания: дис. … канд. биол. наук / М.В. Симоконь. – Владивосток, 2003. – 150 с.

9. Иванюк, Н.Т. Физиологическая роль селена и йода в организме рыб / Н.Т. Иванюк, Л.Е. Микитин, М.В. Фомина, О.О. Дашковский. – 2014. – Т. 16, № 2. – Ч. 3. – С. 287–290.

10. Голубкина, Н.А. Содержание селена в мышечной ткани морских видов рыб в Каспийском море / Н.А. Голубкина, О.А. Чиженков, В.Ф. Зайцев, А.М. Камакин // Вестн. АГТУ. – 2009. – № 2. – С. 44–46.

11. Ваганов, А.С. Сравнительная характеристика содержания тяжелых металлов в промысловых видах рыб Куйбышевского водохранилища / А.С. Ваганов // Изв. Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т.13, № 5. – С. 143–146.

12. Ковековдова, Л.Т. Особенности распределения As в компонентах морских прибрежных экосистем Приморья / Л.Т. Ковековдова, Н.В. Иваненко, М.В. Симоконь // Исследовано в России. – 2002. –№ 127. – С. 1437–1445. ttp://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2002/127.pdf.

13. Ковековдова, Л.Т. Оценка содержания металлов и мышьяка в донных отложениях и рыбах из рек бассейна залива Петра Великого (Японское море) / Л.Т. Ковековдова, М.В. Симоконь // Изв. ТИНРО. – 2010. – Т. 160. – С. 223–235.

14. Мур, Дж.В. Тяжелые металлы в природных водах / Дж.В. Мур, С. Рамамурти. – М.: Мир, 1987. – 285 с.

15. Зубкова, В.М. Содержание тяжелых металлов в тканях и органах разных видов рыб Волгоградского водохранилища / В.М. Зубкова, Л.А. Розумная, В.П. Болотов // Вестн. АГТУ. Сер. Рыбное хозяйство. – 2016. – № 4. – С. 93–97.

16. Лаптева, А.М. Тяжелые металлы и микроэлементы в промысловых рыбах Баренцева моря / А.М. Лаптева. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2010. – С. 145–149.

***Сведения об авторах*:** Чусовитина Светлана Васильевна, кандидат биологических наук, доцент, e-mail: chusovitinasv@mail.ru;

Жадько Елена Александровна, кандидат биологических наук, доцент, e-mail: zhadko.helen@gmail.com;

Стеблевская Н.И., доктор химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории переработки минерального сырья, e-mail: steblevskaya@ich.dvo.ru;

Полякова Н.В., кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярного и элементного анализа.