

Научная статья

УДК 597.555.5–1.05:577.118(265.53)

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-894-905

EDN: MMIQFW



**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ТКАНЯХ И ОРГАНАХ
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЙ НАВАГИ *ELEGINUS GRACILIS* (TILESIIUS, 1810)
ИЗ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД О. САХАЛИН**

Ю.Н. Полтев, Т.Г. Коренева, В.Е. Марыжихин, И.В. Сырбу*

Сахалинский филиал ВНИРО (СахНИРО),

693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Комсомольская, 196

Аннотация. Представлены результаты исследований содержания некоторых микроэлементов (Pb, Cd, As, Hg, Fe, Cu, Mn, Cr, Ni) в дальневосточной наваге *Eleginus gracilis*, выловленной в прибрежных водах о. Сахалин в 2020 г. Выявлено, что распределение изученных элементов в тканях и органах рыб неоднородное. Установлено, что концентрации нормируемых токсичных элементов в дальневосточной наваге не превышают допустимых санитарно-гигиенических показателей.

Ключевые слова: микроэлементы, атомная абсорбция, дальневосточная навага, ткани и органы, Татарский пролив, Охотское море

Для цитирования: Полтев Ю.Н., Коренева Т.Г., Марыжихин В.Е., Сырбу И.В. Распределение микроэлементов в тканях и органах дальневосточной наваги *Eleginus gracilis* (Tilesius, 1810) из прибрежных вод о. Сахалин // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 894–905. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-894-905. EDN: MMIQFW.

Original article

**Distribution of microelements in the tissues and organs of saffron cod
Eleginus gracilis (Tilesius, 1810) from the coastal waters of Sakhalin Island**

Yury N. Poltev*, Tatyana G. Koreneva, Vsevolod E. Maryzhihin***,
Irina V. Sirbu******

*, **, ***, **** Sakhalin branch of VNIRO (SakhNIRO),
196, Komsomolskaya Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia

* Ph.D., leading researcher, y.poltev@sakhniro.ru, ORCID 0000-0002-5997-0488

** Ph.D., head of department, t.koreneva@sakhniro.ru, ORCID 0000-0003-1030-3286

*** senior specialist, jonur.27@mail.ru, ORCID 0000-0002-2775-4991

**** leading engineer, irus67@inbox.ru

Abstract. Microelements (Pb, Cd, As, Hg, Fe, Cu, Mn, Cr, Ni) are investigated in the tissues of saffron cod *Eleginus gracilis* caught in the coastal waters of Sakhalin Island in 2020.

* Полтев Юрий Николаевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, y.poltev@sakhniro.ru, ORCID 0000-0002-5997-0488; Коренева Татьяна Георгиевна, кандидат биологических наук, начальник отдела, t.koreneva@sakhniro.ru, ORCID 0000-0003-1030-3286; Марыжихин Всеволод Евгеньевич, старший специалист, jonur.27@mail.ru, ORCID 0000-0002-2775-4991; Сырбу Ирина Викторовна, ведущий инженер, irus67@inbox.ru.

© Полтев Ю.Н., Коренева Т.Г., Марыжихин В.Е., Сырбу И.В., 2022

The samples of weight about 1.0 g were taken from thawed fish, treated with concentrated nitric acid, and mineralized in a microwave oven; the mineralizates were dissolved in distilled water and quantitatively analyzed twice. The microelements distribution in the organs of fish was heterogeneous, but their concentration never exceeded the permissible sanitary and hygienic levels.

Keywords: trace element, atomic absorption, saffron cod, fish tissue, fish organ, Tatar Strait, Okhotsk Sea

For citation: Poltev Yu.N., Koreneva T.G., Maryzhihin V.E., Sirbu I.V. Distribution of microelements in the tissues and organs of saffron cod *Eleginus gracilis* (Tilesius, 1810) from the coastal waters of Sakhalin Island, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 894–905. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-894-905. EDN: MMIQFW.

Введение

Дальневосточная навага *Eleginus gracilis* (Tilesius, 1810) (далее — навага) является представителем прибрежного комплекса рыб дальневосточных морей, широко распространенным в северной части Тихого океана [Новикова, 2007]. В границах шельфовых вод Сахалина выделяют четыре географически обособленных популяции наваги, обитающих в Татарском проливе, заливах Терпения и Сахалинский, а также в водах северо-восточного Сахалина [Сафронов, 1986]. Навага имеет большое промысловое значение. Между тем информация о содержании микроэлементов, рассчитанном на сухую массу, имеется только для наваги из Ныйского залива Охотского моря [Латковская, 2000; Латковская и др., 2000] и из побережья Японского моря [Симоконь, 2003; Ковековдова, 2011].

Цель настоящего исследования — определить уровни содержания некоторых микроэлементов в мышечных тканях и органах наваги из трех популяций (Татарского пролива, зал. Терпения и северо-восточного Сахалина) и оценить их соответствие санитарно-гигиеническим требованиям.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили образцы тканей и органов наваги, добытой в 2020 г. в период промысла у западного (с. Трамбаус) и юго-восточного Сахалина (зал. Терпения) в январе, а также во время донной траловой съемки у северо-восточного Сахалина в июне. Образцы отбирали в ходе биологического анализа рыб с использованием оборудования, не содержащего металлы. Для выполнения анализа делили рыб по полу, готовили средние пробы путем смешивания и гомогенизации образцов отдельных тканей и органов, которые хранили в герметичных пластиковых емкостях объемом 50 см³ при температуре –20 °С. Пробоподготовку осуществляли после размораживания проб. Навески массой около 1,0 г помещали в лайнеры, приливали по 5 см³ концентрированной азотной кислоты, затем проводили мокрую минерализацию в микроволновой печи. Минерализаты количественно переносили в градуированные пробирки объемом 10 см³, доводили до метки водой и анализировали [М-02-1009-08*; ГОСТ 26929). Анализ проб выполняли в двух повторностях. Пробоподготовку навесок массой около 1,0 г для определения ртути проводили «закрытым» способом. Для этого образцы рыбы выдерживали в круглодонных колбах, снабженных обратными холодильниками, на водяной бане в смеси концентрированной азотной и серной кислот (1 : 1) в течение 15 мин при 70 °С, 5 мин при кипении до и 60 мин после добавления 30 см³ дистиллированной воды. После охлаждения к минерализату добавляли 20 см³

* Методика количественного химического анализа. Определение As, Pb, Cd, Sn, Cr, Cu, Fe, Mn и Ni в пробах пищевых продуктов и пищевого сырья атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией № М-02-1009-08. Аттестовано ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева». Свидетельство № 242/43-09 от 08.07.2009. ООО «Внедренческая фирма «Аналит», 2009. 21 с.

5 %-ного раствора перманганата калия, через 5 мин — 5 см³ раствора 15 %-ного раствора гидроксилamina солянокислого, получая совершенно прозрачные растворы*.

Концентрацию свинца, кадмия, меди, хрома, марганца, никеля и мышьяка определяли атомно-абсорбционным методом в режиме электротермической атомизации (GFAA) на спектрофотометре Shimadzu AA-6800 с графитовой печью и коррекцией фона на основе эффекта Зеемана. Концентрации железа в пробах измеряли этим же методом, но в пламенном режиме с дейтериевой коррекцией фона (FLAA). Содержание ртути определяли методом «холодного пара» (CVAA) с использованием приставки MVU-1A к спектрофотометру AA-6800. Концентрации рассчитывали в миллиграммах на килограмм сырой массы.

Достоверность результатов обеспечивалась проведением контроля правильности измерений с использованием государственных стандартных образцов и рабочих проб с известными добавками элементов. Контрольные пробы анализировали параллельно с пробоподготовкой и анализом реальных проб. Для контроля чистоты реактивов для каждой партии проб не реже 1 раза в день проводили минерализацию холостых проб, добавляя те же реактивы и в той же последовательности, что и при анализе рабочей пробы.

Границы относительной суммарной погрешности измерений ($\pm\delta$, %) составляют: 25 — для свинца (Pb), 26 — для кадмия (Cd), 25 — для меди (Cu), 34 — для хрома (Cr), 32 — для марганца (Mn), 36 — для никеля (Ni), 32 — для мышьяка (As), 20 — для железа (Fe), 20 — для ртути (Hg). Результаты анализов обрабатывали с помощью программы Microsoft Excell.

Для градуировки спектрофотометра и контроля точности результатов измерений применяли стандартные образцы утвержденного типа; ГСО 7330-96 состава раствора ионов металлов (Fe, Cd, Mn, Cu, Ni и Pb), ГСО 7264-96 состава раствора ионов As(III), ГСО 7781-2000 состава раствора ионов Cr(VI), ГСО 8004-93 состава водного раствора ионов Hg.

Среднее значение, стандартное отклонение и достоверность сравниваемых различий (с использованием двухвыборочного t-теста с одинаковыми дисперсиями) рассчитывали в пакете прикладных программ Excel.

Результаты и их обсуждение

Биологическая характеристика наваги, выловленной в прибрежных водах о. Сахалин, приведена в табл. 1. Уровни аккумуляции микроэлементов в тканях и органах рыб, как самцов, так и самок, значительно варьировали (табл. 2, 3).

Среди изученных эссенциальных (Fe, Cu, Mn, Cr, Ni), т.е. жизненно важных для нормального протекания физиологических процессов, микроэлементов [Heath, 2002] накопление Fe, входящего в состав многих ферментов и гемоглобина крови [Ермаков и др., 2018], было преобладающим для изученных органов и тканей наваги Амурского залива [Симоконов, 2003; Ковековдова, 2011]. В наших исследованиях в тканях и органах содержание Fe изменяется в пределах от 1,75 (яичники самок) до 8,61 мг/кг сыр. массы (печень самцов). Уровни Fe в мышцах достоверно ниже, чем в печени и пилорических придатках. Содержание Cu, незаменимого для нормальной жизнедеятельности организмов элемента [Патин, 1979], в тканях и органах рыб изменяется от 0,17 (мышцы самок) до 3,12 мг/кг сыр. массы (печень самцов). В пилорических придатках концентрации Cu достоверно выше, чем в гонадах, мышцах и коже, а в печени выше, чем в мышцах и коже. Максимальное накопление Cu в печени наваги согласуется с данными, полученными для Амурского залива [Ковековдова, 2011], а также для других

* МУК 4.1.1472-03. Атомно-абсорбционное определение массовой концентрации ртути в биоматериалах животного и растительного происхождения (пищевых продуктах, кормах и др.) [Электронный ресурс]. Доступ из ИИС «Техэксперт». Дата обращения 28.01.2021.

Таблица 1

Биологическая характеристика дальневосточной наваги, выловленной в прибрежных водах о. Сахалин, 2020 г.

Table 1

Biological characteristics of saffron cod caught in the coastal waters of Sakhalin Island in 2020

Параметры, ед. изм.	Место вылова рыбы			
	Юго-восточный Сахалин (зал. Терпения)	Западный Сахалин (траверз с. Грамбаус)	Северо-восточный Сахалин	
Количество рыб, шт. (самцы/самки)	25 (19/6)	25 (7/18)	2 (1/1)	
Длина тела АС, см	22,7–34,9 (27,0 ± 0,6)*	21,4–38,0 (26,6 ± 0,8)	25,3–26,1	
Масса тела, г	78–320 (143 ± 11)	65–365 (138 ± 14)	125–128	
Степень наполнения желудков, %	0–3 (1,4 ± 0,13)	0–3 (1,40 ± 0,22)	3–3 (3,0)	
Состав питания	Икра наваги, пл**	Шримс, нога Bivalvia, пл	Икра, кумовые, амфиподы, полихеты	

* Здесь и далее — пределы (среднее с ошибкой среднего).

** Полупереваренная пища.

Таблица 2

Концентрации элементов в тканях и органах дальневосточной наваги из прибрежных вод юго-восточного Сахалина (зал. Терпения), мг/кг сырой массы

Table 2

Concentration of microelements in the tissues and organs of saffron cod from the coastal waters of southeastern Sakhalin (Patience/Terpeniya Bay), mg/kg of wet weight

Пол	Ткань, орган	Элементы									
		Fe	Cu	Mn	As	Cr	Ni	Cd	Pb	Hg	
Самки	Кожа	5,79	0,45	1,26	0,14	1,01	0,37	0,001	0,11	0,003	
Самцы		5,67	0,54	1,26	0,38	0,98	0,28	0,001	0,05	0,015	
Среднее		5,73 ± 0,06	0,50 ± 0,05	1,26 ± 0,00	0,26 ± 0,12	0,10 ± 0,02	0,33 ± 0,05	0,001 ± 0,0	0,08 ± 0,03	0,009 ± 0,008	
Самки	Мышцы	3,05	0,17	0,43	1,11	0,26	0,12	0,007	0,01	0,030	
Самцы		3,42	0,21	0,87	1,69	0,62	0,15	0,005	0,05	0,031	
Среднее		3,24 ± 0,19	0,19 ± 0,02	0,65 ± 0,22	1,40 ± 0,29	0,44 ± 0,18	0,14 ± 0,02	0,006 ± 0,01	0,03 ± 0,02	0,031 ± 0,001	
Самки	Печень	7,10	2,85	0,97	1,20	0,13	0,20	0,180	0,10	0,007	
Самцы		8,61	3,12	1,15	0,11	0,51	0,46	0,123	0,09	0,020	
Среднее		7,86 ± 0,75	2,99 ± 0,14	1,06 ± 0,09	0,66 ± 0,55	0,32 ± 0,19	0,33 ± 0,13	0,15 ± 0,03	0,10 ± 0,00	0,014 ± 0,007	
Среднее*		–	5,5–7,5	–	–	1,7	–	0,25–0,29	0,05	–	
Самки	Яичники	1,75	0,39	0,65	0,06	0,16	0,06	0,020	0,03	0,004	
Самцы	Семенники	6,23	0,51	0,25	0,09	0,40	0,16	0,002	0,04	0,010	
Среднее	Гонады	3,99 ± 2,20	0,45 ± 0,06	0,45 ± 0,20	0,08 ± 0,02	0,28 ± 0,12	0,11 ± 0,05	0,011 ± 0,009	0,03 ± 0,01	0,007 ± 0,003	
Самки	Пил. придатки	7,44	1,50	1,16	0,09	0,83	0,21	0,036	0,06	0,010	
Самцы		7,72	2,03	0,94	0,33	0,69	0,21	0,005	0,08	0,016	

* Пределы средних значений по Е.М. Лягковской [2000].

Таблица 3
Концентрации элементов в тканях и органах дальневосточной наваги из прибрежных вод западного и северо-восточного Сахалина, мг/кг сырой массы

Concentration of microelements in the tissues and organs of saffron cod from the coastal waters of western and northeastern Sakhalin, mg/kg of wet weight										
Пол	Ткань, орган	Элементы								
		Fe	Cu	Mn	As	Cr	Ni	Cd	Pb	Hg
Самки	Мышцы	3,60	0,21	0,19	1,66	0,42	0,14	0,005	0,01	0,025
Самцы		4,36	0,22	0,98	1,72	0,53	0,19	0,005	0,03	0,029
Среднее		3,98 ± 0,38	0,21 ± 0,01	0,59 ± 0,40	1,69 ± 0,03	0,47 ± 0,06	0,17 ± 0,03	0,005 ± 0,000	0,02 ± 0,01	0,027 ± 0,002
Самки	Печень	8,78	0,91	1,24	0,77	0,70	0,21	0,057	0,07	0,006
Самки*	Мышцы	1,99	0,18	0,11	0,26	0,14	0,02	0,007	0,02	0,032
Самцы*		1,96	0,16	0,13	0,20	0,19	0,08	0,016	0,01	0,024
Среднее*		1,98 ± 0,02	0,17 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,23 ± 0,03	0,17 ± 0,03	0,05 ± 0,03	0,012 ± 0,005	0,02 ± 0,01	0,028 ± 0,004

* Пределы средних значений по Е.М. Лягковской [2000].

видов рыб [Моисеенко, 2015; Ермаков и др., 2018; и др.]. Mn, оказывающий влияние на рост, размножение, кроветворение и обмен веществ, участвующий в биологическом катализе и стимулирующий белковый, углеводный и жировой обмены рыб [Войнар, 1960], находится в рыбе в диапазоне от 0,25 (семенники самцов) до 1,26 мг/кг сыр. массы (кожа самцов и самок). Достоверных различий в содержании данного элемента в тканях и органах наваги не выявлено. Концентрация Cr, участвующего в обмене липидов, белков и углеводов, но проявляющего токсичные свойства, находясь в соединениях в высшей степени окисления (Cr⁶⁺) [Практическое руководство ..., 2018], изменяется от 0,13 (печень самок) до 1,01 мг/кг сыр. массы (кожа самок). Его содержание в коже достоверно выше, чем в гонадах. Ni, являющийся канцерогенным элементом, но играющий важную роль в кроветворных процессах, оказывая положительное действие на сердечно-сосудистую систему [Практическое руководство..., 2018], в наваге отмечен в пределах значений от 0,06 (ястыки самок) до 0,46 мг/кг сыр. массы (печень самцов). Уровни накопления Ni в тканях и органах наваги достоверно не различаются.

Наибольшую опасность представляют неэссенциальные элементы, такие как Pb, Cd и Hg [Иваненко, 2006]. Содержание Pb, лабильного, обладающего высокой кумулятивной способностью и одного из наиболее токсичных для гидробионтов микроэлемента [Исуев, Аскерханова, 1995; Филенко, Михеева, 2007; и др.], варьировало от 0,01 (мышцы самок) до 0,11 мг/кг сыр. массы (кожа самок). Его содержание в печени достоверно выше, чем в гонадах. Ранее более высокие уровни данного элемента в печени относительно гонад и мышц были отмечены для наваги Амурского залива [Симоконь, 2003]. Концентрации Cd, растворимые соединения которого наиболее токсичны для рыб [Ермаков и др., 2018], в тканях и органах наваги отмечены в диапазоне от 0,001 (кожа самцов) до 0,180 мг/кг сыр. массы (печень самок). Уровни накопления Cd в печени наваги достоверно выше, чем в коже, мышцах и гонадах, а в мышцах выше, чем в коже. Содержание Hg — тяжелого металла, обладающего способностью накапливаться в виде органических соединений в концентрациях, значительно превышающих ее содержание

в воде и низшем звене трофической цепи [Практическое руководство..., 2018], изменяется в диапазоне от 0,003 (кожа самок) до 0,031 мг/кг сыр. массы (мышцы самцов). Уровни накопления Hg в мышцах достоверно выше, чем в гонадах. As, входящий в группу условно эссенциальных элементов [Курсков и др., 2010], обнаружен в наваге в диапазоне от 0,06 (яичники самок) до 1,69 мг/кг сыр. массы (мышцы самцов). Его содержание в мышцах достоверно выше, чем в гонадах наваги.

Особое место среди исследованных органов занимает печень, обезвреживающая токсичные вещества и интенсивно их аккумулирующая [Костоусов, 2018]. Максимальные средние концентрации приходятся на Fe ($7,90 \pm 0,75$ мг/кг сыр. массы для зал. Терпения и $8,78$ мг/кг сыр. массы для побережья западного Сахалина) (табл. 2, 3), минимальные — на Hg (соответственно $0,014 \pm 0,007$ и $0,006$ мг/кг сыр. массы). В печени наваги зал. Терпения содержание Pb достоверно выше, чем в гонадах, Fe — чем в мышцах, Cu — чем в мышцах и коже, Cd — чем в мышцах и гонадах.

Пилорические придатки имеют идентичные гистологическую структуру и состав ферментов со смежными участками кишечника — органа, через который в организм рыб преимущественно поступают тяжелые металлы и микроэлементы [Смит, 1986]. Наиболее интенсивно аккумулируется в изученном органе Fe ($7,58 \pm 0,14$ мг/кг сыр. массы), наиболее слабо — Hg ($0,013 \pm 0,003$ мг/кг сыр. массы). В пилорических придатках содержание Fe достоверно выше, чем в мышцах, Cu выше, чем в гонадах, мышцах и коже.

В коже, выступающей фактором неспецифического иммунитета и защищающей рыбу от внешних воздействий [Иванов, 2003; Костоусов, 2018], максимальные концентрации отмечены для Fe ($5,73 \pm 0,06$ мг/кг сыр. массы), минимальные — Cd ($0,001 \pm 0,0$ мг/кг сыр. массы). В коже содержание Cr достоверно выше, чем в гонадах, а Cu ниже, чем в печени и пилорических придатках.

Гонады (яичники и семенники) — органы, вырабатывающие половые стероиды, регулирующие оогенез и сперматогенез, а также формирующие вторичные половые признаки и половое поведение рыб [Физиология рыб..., 2016]. В гонадах наиболее сильно накапливается Fe ($3,99 \pm 2,20$ мг/кг сыр. массы), в наименьшей степени — Hg ($0,007 \pm 0,003$ мг/кг сыр. массы). Содержание в гонадах As достоверно ниже по сравнению с накоплением в мышцах, Cr — в коже, Pb и Cd — в печени, Hg — в мышцах, Cu — по сравнению с накоплением в пилорических придатках.

В мышцах, за счет которых происходит движение рыбы [Анисимова, Лавровский, 1983], как и в других исследованных тканях и органах наваги, максимальные концентрации отмечаются для Fe — $3,24 \pm 0,19$ (зал. Терпения), $3,98 \pm 0,38$ (западный Сахалин) и $1,98 \pm 0,02$ мг/кг сыр. массы (северо-восточный Сахалин). Минимальные концентрации приходятся на Cd — соответственно $0,006 \pm 0,010$, $0,005 \pm 0,0$ и $0,012 \pm 0,005$ мг/кг сыр. массы. В мышцах достоверно выше содержание As и Hg относительно гонад и Cd — относительно кожи, Fe и Cu ниже, чем в пилорических придатках и печени, Cd — чем в печени.

Сравнение уровней накопления микроэлементов в мышцах наваги из разных популяций показало, что содержание Fe у рыб северо-восточных вод достоверно ниже, чем у рыб западного и юго-восточного побережий, а As и Cr ниже, чем западного. Причины выявленных различий могут быть обусловлены геоморфологическими особенностями районов обитания и физиологическим состоянием исследованных рыб.

Результаты проведенного исследования позволили выявить последовательность распределения среднего содержания элементов в дальневосточной наваге из прибрежных вод Сахалина: Fe > As > Cu = Mn > Cr > Ni > Pb > Cd > Hg. В данном ряду очевидно преобладание Fe, As, Cu и Mn — элементов, не заменимых для нормальной жизнедеятельности рыб. Вместе с тем общеизвестно, что неорганические соединения As токсичны. Считается, что повышенные содержания As не следует однозначно связывать с токсичностью, поскольку его гидратированные ионы в тканях и органах

сразу связываются в значительно менее опасные или безвредные для организма рыб органические комплексы [Мур, Рамамурти, 1987; Mortimer, 2000].

Концентрации микроэлементов в тканях гидробионтов зависят от возраста, вида, типа питания и геохимического фона среды [Морозов, Петухов, 1986; Филенко, Михеева, 2007]. Замечено также, что накопление элементов различается в отдельных органах рыб, что связано с их участием в физиологических процессах [Христофорова и др., 2015; Чусовитина и др., 2019; Ковековдова, Симоконь, 2020; и др.]. Результаты настоящей работы также показывают разное содержание микроэлементов в отдельных органах и тканях наваги из прибрежных вод о. Сахалин (табл. 2, 3).

Результаты ранее проведенных исследований в Ныйском заливе [Латковская, 2000; Латковская и др., 2000] показали более высокие относительно наших данных уровни концентраций Cu в печени наваги (5,5–7,5 мг/кг сырой массы). Сравнение с результатами исследований в Амурском заливе невозможно из-за различия методических подходов к расчету концентраций элементов (на сухую и влажную массу).

Полученные данные о накоплении микроэлементов показывают, что в печени рыб, независимо от их видовой принадлежности, концентрируются максимальные количества Fe, Cu, Cd, Pb и Hg [Ковековдова, Симоконь, 2004; Козуб и др., 2008; Ковековдова, 2011]. Вместе с тем другими авторами отмечено разнотипное распределение элементов, и в частности Hg, по органам и тканям изученных рыб [Степанова, Комов, 1997; Svobodova et al., 1999; Пастухов и др., 2008]. Так, в наваге зал. Петра Великого (Японское море) содержание Cu в печени выше, чем в мышцах, а содержание Hg, напротив, ниже [Ковековдова и др., 2006]. У налима *Lota lota* и алтайского османа Потанина *Oreoleuciscus potanini* из озер бассейна Телецкого озера концентрации Cd в печени выше, чем в мышцах и коже, а у сибирского хариуса *Thumallus arcticus* из этих же озер — ниже [Кузнецова, Ельчинойна, 2015]. В наших исследованиях концентрации Hg в печени ниже, чем в мышцах.

Интенсивное накопление большинства элементов в печени, характерное также для наваги из прибрежных сахалинских вод, связывают с процессом детоксикации, в котором данный орган принимает активное участие [Костоусов, 2018]. Повышенные уровни накопления Hg в мышцах обусловлены содержанием в них функциональных групп белков (-SH, -NH₂, -COOH, -OH), к которым Hg обладает высоким сродством [Немова и др., 2014]. Биофильные элементы (Cu, Zn, Cr, Mn и др.) аккумулируются в большей степени в системах организма, где активно протекают метаболические процессы (печень, почки) [Моисеенко и др., 2006]. Концентрация эссенциальных микроэлементов в большинстве случаев определяется физиологической потребностью организма и содержанием в окружающей среде [Ковальский, 1974; Мур, Рамамурти, 1987]. Их распределение имеет сложный характер, определяясь совокупностью факторов, как экзогенных (например, загрязнение вод), так и эндогенных (потребность организма, патологии органов и др.) [Моисеенко, 2015].

Согласно имеющимся данным, содержание микроэлементов может различаться и в зависимости от пола рыбы. В частности, в мышцах, печени и гонадах леща *Abramis brama*, синца *A. ballerus* и щуки *Esox lucius* из Куйбышевского водохранилища самки отличались от самцов более высоким содержанием Zn, Cu, Fe, Cr, Pb [Ваганов, 2011]. В наших исследованиях достоверных различий уровней концентраций между самками и самцами не выявлено.

В соответствии с СанПиН 2.3.2.1078 и ТР ТС 021/2011* допустимые уровни содержания токсичных элементов в мышечных тканях морских рыб составляют (мг/кг сырой массы): Pb — 1,0, As — 5,0, Cd — 0,2, Hg — 0,5; в икре и молоках: Pb, Cd, As — 0,5, Hg — 0,2; в печени: Pb — 1,0; Cd — 0,7; Hg — 0,5. Согласно полученным нами данным,

* ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции». Комиссия Таможенного союза, 2011. 242 с.

содержание микроэлементов в мышцах, печени и гонадах наваги из прибрежных вод о. Сахалин соответствует установленным нормативам. Не было отмечено превышения допустимых концентраций Pb и Cd в печени наваги Ныйского залива (северо-восточный Сахалин) и ранее [Латковская, 2000]. Исследования, проведенные в Амурском заливе [Симоконь, 2003; Ковековдова, 2011], характеризующемся более урбанизированной и промышленно развитой прибрежной акваторией, показали превышение нормируемых значений содержания As в гонадах и Cd в печени рыб.

Выводы

Получены первые данные о содержании микроэлементов в органах и тканях дальневосточной наваги из прибрежных вод о. Сахалин. Различий уровней концентраций между самками и самцами не выявлено.

Сравнение уровней накопления микроэлементов в мышцах наваги из разных популяций показало, что содержание Fe у рыб северо-восточных вод достоверно ниже, чем у рыб западного и юго-восточного побережий, а As и Cr ниже, чем у рыб западного.

В печени наваги зал. Терпения содержание Pb достоверно выше, чем в гонадах, Fe — чем в мышцах, Cu — чем в мышцах и коже, Cd — чем в мышцах и гонадах.

В пилорических придатках концентрация Fe достоверно выше, чем в мышцах, Cu выше, чем в гонадах, мышцах и коже.

Содержание в гонадах As достоверно ниже по сравнению с накоплением в мышцах, Cr — в коже, Pb и Cd — в печени, Hg — в мышцах, Cu — по сравнению с содержанием в пилорических придатках.

В мышцах достоверно выше концентрация As и Hg относительно содержания в гонадах и Cd — в коже, Fe и Cu ниже, чем в пилорических придатках и печени, Cd ниже, чем в печени.

Содержание токсичных нормируемых элементов в тканях и органах наваги из прибрежных вод зал. Терпения, западного и северо-восточного Сахалина не превышает утвержденных нормативов.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность сотрудникам сектора прибрежных и пресноводных рыб лаборатории морских и пресноводных рыб СахНИРО за помощь, оказанную в отборе дальневосточной наваги.

The authors are grateful to the staff of the Marine and Freshwater Fish Laboratory of SakhNIRO for their assistance in the samples collecting.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study had no sponsorship.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional principles for the care and use of animals have been observed.

The authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Ю.Н. Полтев — подготовка проб к анализу, проведение минерализации проб на металлы, написание статьи; Т.Г. Коренева — контроль качества, участие в написании

статьи; В.Е. Марыжихин — анализ проб методом атомно-абсорбционной спектроскопии; И.В. Сырбу — проведение минерализации проб на ртуть.

Yu.N. Poltev — samples processing, text writing; T.G.Koreneva — quality control, assistance for the text writing; V.E. Maryzhikhin — atomic absorption spectrometry of the samples; I.V. Sirbu — mineralization of samples for mercury.

Список литературы

- Анисимова И.М., Лавровский В.В.** Ихтиология : учеб. пособие. — М. : Высш. шк., 1983. — 255 с.
- Ваганов А.С.** Сравнительная характеристика содержания тяжелых металлов в промысловых видах рыб Куйбышевского водохранилища // Изв. СамарНЦ РАН. — 2011. — Т. 13, № 5. — С. 143–146.
- Войнар А.И.** Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека : моногр. — М. : Высш. шк., 1960. — 240 с.
- Ермаков В.В., Тютиков С.Ф., Сафонов В.А.** Биогеохимическая индикация микроэлементов : моногр. / отв. ред. Т.И. Моисеенко. — М. : РАН, 2018. — 386 с.
- Иваненко Н.В.** Экологическая токсикология : учеб. пособие. — Владивосток : ВГУЭС, 2006. — 108 с.
- Иванов А.А.** Физиология рыб : моногр. — М. : Мир, 2003. — 284 с.
- Исупов А.Р., Аскерханова А.К.** О накоплении мутагенных химических веществ в органах промысловых рыб Каспия // Каспий — 95 : мат-лы Междунар. конф. «Каспийский регион: экономика, экология, минеральные ресурсы». — М., 1995. — С. 100–101.
- Ковальский В.В.** Геохимическая экология : моногр. — М. : Наука, 1974. — 269 с.
- Ковековдова Л.Т.** Микроэлементы в морских промысловых объектах Дальнего Востока России : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток, 2011. — 44 с.
- Ковековдова Л.Т., Симоконов М.В.** Оценка содержания металлов и мышьяка в кете (*Oncorhynchus keta*) из реки Рязановка Приморского края // Биологическое разнообразие: изучение, сохранение, восстановление, рациональное использование : мат-лы II Междунар. науч.-практ. конф. — Симферополь : ИТ «АРИАЛ», 2020. — С. 329–333.
- Ковековдова Л.Т., Симоконов М.В.** Тенденции изменения химико-экологической ситуации в прибрежных акваториях Приморья. Токсичные элементы в донных отложениях и гидробионтах // Изв. ТИНРО. — 2004. — Т. 137. — С. 310–320.
- Ковековдова Л.Т., Симоконов М.В., Кикун Д.П.** Токсичные элементы в промысловых гидробионтах прибрежных акваторий северо-западной части Японского моря // Вопр. рыб-ва. — 2006. — Т. 7, № 1(25). — С. 185–190.
- Козуб С.Н., Лавренко А.А., Козуб П.А. и др.** Токсичность кадмия и методы воздействия его на окружающую среду // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. Сер. Химия, химическая технология и экология. — 2008. — № 41. — С. 65–72.
- Костоусов В.Г.** Ихтиология : пособие. — Минск : БГУ, 2018. — 183 с.
- Кузнецова О.В., Ельчиной О.А.** Содержание и особенности распределения тяжелых металлов в органах и тканях рыб бассейна Телецкого озера // Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии. В 2-х томах. — Барнаул, 2015. — Т. 1. — С. 306–309.
- Курсков С.Н., Растегаев О.Ю., Чупис В.Н.** Мышьяк в природных системах и его эссенциальность // Теоретическая и прикладная экология. — 2010. — № 3. — С. 33–41.
- Латковская Е.М.** Химико-экологическая оценка заливов северо-востока Сахалина: хлорорганические пестициды и тяжелые металлы : дис. ... канд. биол. наук. — Южно-Сахалинск, 2000. — 143 с.
- Латковская Е.М., Лебедев А.Е., Саматов А.Д.** Содержание тяжелых металлов в печени донных рыб Ныйского залива (северо-восточный Сахалин) // Охрана водных биоресурсов в условиях интенсивного освоения нефтегазовых месторождений на шельфе и внутренних водных объектах Российской Федерации : сб. мат-лов Междунар. семина. — М., 2000. — С. 89–90.
- Моисеенко Т.И.** Влияние геохимических факторов водной среды на биоаккумуляцию металлов в организме рыб // Геохимия. — 2015. — № 3. — С. 222–233. DOI: 10.7868/S0016752515030097.
- Моисеенко Т.И., Кудрявцева Л.П., Гашкина Н.А.** Рассеянные элементы в поверхностных водах суши. Технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология : моногр. — М. : Наука, 2006. — 261 с.

- Морозов Н.П., Петухов С.А.** Микроэлементы в промысловой ихтиофауне Мирового океана : моногр. — М. : Агропромиздат, 1986. — 160 с.
- Мур Дж.В., Рамамурти С.** Тяжелые металлы в природных водах: контроль и оценка влияния : моногр. — М. : Мир, 1987. — 285 с.
- Немова Н.Н., Лысенко Л.А., Мещерякова О.В., Комов В.Т.** Ртуть в рыбах: биохимическая индикация // Биосфера. — 2014. — Т. 6, № 2. — С. 176–186.
- Новикова О.В.** Дальневосточная навага (*Eleginus gracilis* (Til.)) прикамчатских вод : автореф дис. ... канд. биол. наук. — Петропавловск-Камчатский, 2007. — 23 с.
- Патин С.А.** Влияние загрязнений на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана : моногр. — М. : Пищ. пром-сть, 1979. — 304 с.
- Пастухов М.В., Гребенщикова В.И., Андрулайтис Л.Д. и др.** Биоаккумуляция ртути рыбами Братского водохранилища // Мат-лы III Всерос. конф. по водной токсикологии, посвящ. памяти Б.А. Флерова «Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы». — Борок : ИБВВ, 2008. — С. 66–70.
- Практическое руководство по химическому анализу элементов водных экосистем. Приоритетные токсиканты в воде, донных отложениях, гидробионтах** / под ред. Т.О. Барабашина. — Ростов н/Д : Мини Тайп, 2018. — 436 с.
- Сафронов С.Н.** Экология дальневосточной наваги *Eleginus gracilis* Tilesius (Gadidae) шельфа Сахалина и южных Курильских островов : автореф дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ИБМ ДВНЦ АН СССР, 1986. — 26 с.
- Симоконь М.В.** Металлы в промысловых рыбах залива Петра Великого в связи с условиями обитания : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток, 2003. — 24 с.
- Смит Л.С.** Введение в физиологию рыб : сокращ. пер. с англ. В.И. Лапина. — М. : Агропромиздат, 1986. — 168 с.
- Степанова И.К., Комов В.Т.** Накопление ртути в рыбе из водоемов Вологодской области // Экология. — 1997. — Т. 28, № 4. — С. 196–202.
- Физиология рыб : краткий курс лекций** / сост. Н.А. Пудовкин, В.Ю. Васильев. — Саратов : ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2016. — 71 с.
- Филенко О.Ф., Михеева И.В.** Основы водной токсикологии : моногр. — М. : Колос, 2007. — 144 с.
- Христофорова Н.К., Цыганков В.Ю., Боярова М.Д., Лукьянова О.Н.** Содержание тяжелых металлов и мышьяка в горбуше *Oncorhynchus gorbuscha* Walbaum, 1972 из прикурильских океанических вод во время анадромной миграции // Биол. моря. — 2015. — Т. 41, № 6. — С. 447–452.
- Чусовитина С.В., Стеблевская Н.И., Полякова Н.В. и др.** Распределение некоторых макро- и микроэлементов в органах и тканях терпуга *Pleurogrammus azonus* и камбалы *Hippoglossoides dubius* (Амурский залив, Японское море) // Вопр. рыб-ва. — 2019. — Т. 20, № 2. — С. 233–241.
- Heath A.G.** Water Pollution and Fish Pysiology. — L. : Lewis Publ., 2002. — 506 p.
- Mortimer M.R.** Pesticide and Trace Metal concentrations in Queensland Estuarine Grabs // Mar. Pollut. Bull. — 2000. — Vol. 41, № 7–12. — P. 359–366. DOI: 10.1016/S0025-326X(00)00136-3.
- Svobodová Z., Dušek L., Hejtmánek M. et al.** Bioaccumulation of mercury in various fish species from Orlik and Kamýk water reservoirs in the Czech Republic // Ecotoxicology and environmental safety. — 1999. — Vol. 43, № 3. — P. 231–240. DOI: 10.1006/eesa.1999.1783.

References

- Anisimova, I.M. and Lavrovsky, V.V.,** *Ikhtiologiya* (Ichthyology), Moscow: Vysshaya Shkola, 1983.
- Vaganov, A.S.,** The comparative characteristic of the maintenance of heavy metals in trade kinds of fishes of the Kuibyshev water basin, *Izv. Samar. Nauchn. Tsentra Ross. Akad. Nauk*, 2011, vol. 13, no. 5, pp. 143–146.
- Voinar, A.I.,** *Biologicheskaya rol' mikroelementov v organizme zhivotnykh i cheloveka* (The biological role of trace elements in the body of animals and humans), Moscow: Vysshaya Shkola, 1960.
- Ermakov, V.V., Tyutikov, S.F., and Safonov, V.A.,** *Biogeokhimicheskaya indikatsiya mikroelementov* (Biogeochemical indication of microelementoses), Moiseenko, T.I., ed., Moscow: Ross. Akad. Nauk, 2018.
- Ivanenko, N.V.,** *Ekologicheskaya toksikologiya* (Ecological toxicology), Vladivostok: VGUES, 2006.

- Ivanov, A.A.**, *Fiziologiya ryb* (Physiology of fish), Moscow: Mir, 2003.
- Isuev, A.R. and Askerkhanova, A.K.**, On the accumulation of mutagenic chemicals in the organs of commercial fish of the Caspian, in *Caspian-95: Mater. Mezhdunar. konf. «Kaspiyskiy region: ekonomika, ekologiya, mineral'nyye resursy»* (Proc. Int. Conf. "Caspian region: economy, ecology, mineral resources"), Moscow, 1995, pp. 100–101.
- Kovalsky, V.V.**, *Geokhimicheskaya ekologiya* (Geochemical ecology), Moscow: Nauka, 1974.
- Kovekovdova, L.T.**, Trace elements in offshore fisheries in the Russian Far East, *Extended Abstract of Doctoral (Biol.) Dissertation*, Vladivostok, 2011.
- Kovekovdova, L.T. and Simokon, M.V.**, Estimation of metal and arsenic content in chum salmon (*Oncorhynchus chum* salmon) from the Ryazanovka River in Primorsky Krai, in *Biologicheskoye raznoobraziye: izucheniye, sokhraneniye, vosstanovleniye, ratsional'noye ispol'zovaniye: materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (Biological diversity: study, save, restoration, rational use: materials of the II International Scientific and Practical Conference), Simferopol': IT «ARIAL», 2020, pp. 329–333.
- Kovekovdova, L.T. and Simokon, M.V.**, Tendencies in change of chemoecological situation in the coastal area of Primorye. Toxic elements in bottom sediments and aquatic organisms, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2004, vol. 137, pp. 310–320.
- Kovekovdova, L.T., Simokon, M.V., and Kiku, D.P.**, Toxic elements in commercial hydrobionts of the north west sea of Japan coastal waters, *Vopr. Rybolov.*, 2006, vol. 7, no. 1, pp. 185–190.
- Kozub, S.N., Lavrenko, A.A., Kozub, P.A., Grin, G.I., Pancheva, A.M., and Deineka, D.N.**, Toxicity of cadmium and methods of its impact on the environment, *Vestn. Nats. Tech. University "KhPI", Ser.: Chemistry, chemical technology and ecology*, 2008, no. 41, pp. 65–72.
- Kostousov, V.G.**, *Ikhtiologiya* (Ichthyology), Minsk: Beloruss. Gos. Univ., 2018.
- Kuznetsova, O.V. and Elchininova, O.A.**, Heavy metals content and distribution in organs and tissue of fish from the Lake Teletskoye basin, in *Biogeokhimiya tekhnogeneza i sovremennyye problemy geokhimicheskoy ekologii* (Biogeochemistry of technogenesis and modern problems of geochemical ecology), Barnaul, 2015, vol. 1, pp. 306–309.
- Kurskov, S.N., Rastegayev, O.Yu., and Chupis, V.N.**, Arsenic in natural ecosystems and its essentiality, *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*, 2010, no. 3, pp. 33–41.
- Latkovskaya, E.M.**, Chemical-ecological assessment of the bays of the north-east of Sakhalin: organochlorine pesticides and heavy metals, *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Yuzhno-Sakhalinsk, 2000.
- Latkovskaya, E.M., Lebedev, A.E., and Samatov, A.D.**, The content of heavy metals in the liver of bottom fish of the Nyisky Bay (North-Eastern Sakhalin), in *Sb. mater. Mezhdunar. semin. "Okhrana vodnykh bioresursov v usloviyakh intensivnogo osvoiniya neftegazovykh mestorozhdeniy na shel'fe i vnutrennikh vodnykh ob'yektakh Rossiyskoy Federatsii"* (Collect. Mater. Intern. Seminar "Protection of aquatic bioresources in conditions of intensive development of oil and gas fields on the shelf and inland water bodies of the Russian Federation"), Moscow, 2000, pp. 89–90.
- Moiseenko, T.I.**, Impact of geochemical factors of aquatic environment on the metal bioaccumulation in fish, *Geochem. Int.*, 2015, vol. 53, no. 3, pp. 213–223. doi 10.1134/S001670291503009X
- Moiseenko, T.I., Kudryavtseva, L.P., and Gashkina, N.A.**, *Rasseyannyye elementy v poverkhnostnykh vodakh sushi. Tekhnofil'nost', bioakkumulyatsiya i ekotoksikologiya* (Dispersed elements in the surface waters of the land. Technophilicity, bioaccumulation and ecotoxicology), Moscow: Nauka, 2006.
- Morozov, N.P. and Petuhov, S.A.**, *Mikroelementy v promyslovoj ihtiofaune Mirovogo okeana* (Microelements in the commercial fish fauna of the World Ocean), Moscow: Agropromizdat, 1986.
- Mur, J.V. and Ramamurti, S.**, *Tyazhelye metally v prirodnykh vodakh: kontrol' i ocenka vliyaniya* (Heavy metals in natural waters: applied monitoring and impact assessment), Moscow: Mir, 1987.
- Nemova, N.N., Lysenko, L.A., Meshcheryakova, O.V., and Komov, V.T.**, Mercury in fish: a biochemical indication, *Biosfera*, 2014, vol. 6, no. 2, pp. 176–186.
- Novikova, O.V.**, Far Eastern navaga (*Eleginus gracilis* (Til.)) of Kamchatka waters, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Petropavlovsk-Kamchatsky, 2007.
- Patin, S.A.**, *Vliyanie zagryazneniy na biologicheskiye resursy i produktivnost' Mirovogo okeana* (Impact of pollution on biological resources and productivity of the World Ocean), Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1979.
- Pastukhov, M.V., Grebenshchikova, V.I., Andrulaitis, L.D., Ryazantseva, O.S., and Azovsky, M.G.**, Bioaccumulation of mercury by fish of the Bratsk Reservoir, in *Materialy III Vseros. konf. po vodnoy toksikologii, posvyashchennoy pamyati B.A. Flerova, «Antropogennoye vliyanie na vodnyye organizmy i ekosistemy»* (Proc. III All-Russ. Conf. on Aquatic Toxicology, dedicated to the memory of

B.A. Flerova, “Anthropogenic impact on aquatic organisms and ecosystems”), Borok: Institut biologii vnutrennikh vod, 2008, pp. 66–70.

Prakticheskoye rukovodstvo po khimicheskomu analizu elementov vodnykh ekosistem. Prioritetnyye toksikanty v vode, donnykh otlozheniyakh, gidrobiontakh (A practical guide to the chemical analysis of elements of aquatic ecosystems. Priority toxicants in water, bottom sediments, hydrobionts), Barabashina, T.O., ed., Rostov-na-Donu: Mini Tayp, 2018.

Safronov, S.N., Ecology of the Far Eastern navaga *Eleginus gracilis* Tilesius (Gadidae) from the Sakhalin shelf and the southern Kuril Islands, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok, 1986.

Simokon, M.V., Metals in commercial fish of the Peter the Great Bay in connection with habitat conditions, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok, 2003.

Smith, L.S., *Introduction to fish physiology*, TFH Publication Inc., 1982.

Stepanova, I.K. and Komov, V.T., Mercury accumulation in fish from water bodies of the Vologodskaya oblast, *Russian Journal of Ecology*, 1997, vol. 28, no. 4, pp. 260–264.

Fiziologiya ryb (Fish physiology: a short course of lectures), Pudovkin, N.A., Vasiliev, V.Yu., eds, Saratov: Saratov State Agrarian University, 2016.

Filenko, O.F. and Mikheeva, I.V., *Osnovy vodnoy toksikologii* (Fundamentals of water toxicology), Moscow: Kolos, 2007.

Khristoforova, N.K., Tsygankov, V.Y., Boyarova, M.D., and Lukyanova, O.N., Heavy metal contents in the pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* Walbaum, 1792 from Kuril oceanic waters during anadromous migration, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2015, vol. 41, no. 6, pp. 479–484.

Tchusovitina, S.V., Steblevskaya, N.I., Polyakova, N.V., and Zhad'ko, E.A., Distribution of some macro- and microelements in the organs and tissue of greenling *Pleurogrammus azonus* and flounder *Hippoglossoides dubius* (Amur Bay, Japan Sea), *Vopr. Rybolov.*, 2019, vol. 20, no. 2, pp. 233–241.

Heath, A.G., *Water Pollution and Fish Physiology*, London: Lewis Publ., 2002.

Mortimer, M.R., Pesticide and Trace Metal concentrations in Queensland Estuarine Grabs, *Mar. Pollut. Bull.*, 2000, vol. 41, no. 7–12, pp. 359–366. doi 10.1016/S0025-326X(00)00136-3

Svobodová, Z., Dušek, L., Hejtmánek, M., Vykusová, B., and Šmíd, R., Bioaccumulation of mercury in various fish species from Orlik and Kamýk water reservoirs in the Czech Republic, *Ecotoxicology and environmental safety*, 1999, vol. 43, no. 3, pp. 231–240. doi 10.1006/eesa.1999.1783

Metodika kolichestvennogo khimicheskogo analiza (Method of quantitative chemical analysis. Determination of As, Pb, Cd, Sn, Cr, Cu, Fe, Mn and Ni in samples of food products and food raw materials by atomic absorption method with electrothermal atomization no). M-02-1009-08. Certificate no. 242/43-09, 08.07.2009.

Metodicheskiye ukazaniya MUK 4.1.1472-03. Atomno-absorbtsionnoye opredeleniye massovoy kontsentratsii rtuti v biomaterialakh zhivotnogo i rastitel'nogo proiskhozhdeniya (pishchevykh produktakh, kormakh i dr.) (Methodical instructions MUK 4.1.1472-03. Atomic absorption determination of the mass concentration of mercury in biomaterials of animal and plant origin (food, feed, etc.)), Access from IIS “Techexpert”. Cited January 28, 2021.

Tekhnicheskii reglament Tamozhennogo soyuza «O bezopasnosti pishchevoi produktsii» (Technical Regulations of the Customs Union “On Food Safety”, TR TS 021/2011). Commission of the Customs Union, 2011.

Поступила в редакцию 25.10.2022 г.

После доработки 14.11.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

The article was submitted 25.10.2022; approved after reviewing 14.11.2022; accepted for publication 21.11.2022