

ISSN 2541-8912 (Print)
ISSN 2713-2161 (Online)

ГЕОСИСТЕМЫ ПЕРЕХОДНЫХ ЗОН



GEOSYSTEMS
of Transition Zones

2023 **Tom 7** **№ 1**

Уважаемые авторы, рецензенты и все друзья нашего журнала!

Редколлегия и редакция журнала «Геосистемы переходных зон» благодарят всех, кто содействует журналу в выполнении его миссии – предоставление российским и зарубежным исследователям в области геологии, вулканологии, геофизики, сейсмологии, океанологии, географии, геомеханики, геоэкологии и др. возможности публиковать свои результаты изучения процессов и закономерностей переходных зон Земли.

При вашем заинтересованном участии журнал за шесть лет существования добился заметных успехов. Наблюдаются явные тренды роста основных параметров, по которым обычно оцениваются журналы. Например, повышение импакт-фактора РИНЦ как с учетом цитирования из всех источников, так и по цитированию в журналах ядра РИНЦ; рост числа ссылок в списках литературы в статьях; увеличение цитирования журналов и зарубежных источников и т.д. Это может способствовать повышению привлекательности и авторитета журнала.

Среди наших авторов ученые из Москвы, Петербурга, Екатеринбурга, Иркутска, Новосибирска, Владивостока, Хабаровска, Петропавловска-Камчатского, Южно-Сахалинска и других городов России.

В настоящее время журнал включен в Перечень ВАК по 9 специальностям в соответствии с новой Номенклатурой специальностей.

В конце 2022 г., как известно, ВАК провел оценку по качественным и количественным критериям журналов, входящих в Перечень. Все журналы распределены по коэффициенту научной значимости по категориям K1, K2, K3. Журналы, входящие в базы WoS, Scopus или RSCI, по умолчанию отнесены к K1. Наш журнал вошел во второй квартиль (K2).

Редколлегией принят тип рецензирования двойной слепой – наиболее оптимальный и рекомендуемый для журналов, нацеленных на вхождение в международные научные базы данных. Рецензии у нас в подавляющем большинстве высококвалифицированные. Мы благодарны нашим рецензентам и внутренним, и независимым, за доброжелательную и конструктивную критику, искреннюю заинтересованность в улучшении качества статей.

Журнал придерживается политики открытого доступа. С 2021 г. журнал включен в международную базу научных журналов Directory of Open Access Journals (DOAJ). PDF-файлы с полнотекстовыми версиями материалов, опубликованных в журнале, находятся в открытом доступе на сайте журнала и на сайте eLibrary, с 2022 г. сведения о статьях и ссылки на них размещаются на портале Российских научных журналов. Метаданные научных статей передаются в международные базы DOAJ и CrossRef.

Оформление журнала и сайт соответствуют всем формальным критериям отбора журналов в международные базы данных.

Стратегия развития журнала, по замыслу редколлегии, предполагала его вхождение в МНБД Scopus и/или Web of Sciences. Но известные реалии жизни сделали такое продвижение проблематичным. Как и другие журналы, мы столкнулись с немалыми трудностями. Основная из них состоит в сокращении притока статей и сужении географии авторов.

Редакция надеется, что журналу удастся сохранить контингент надежных авторов, которые привлекут к сотрудничеству коллег и аспирантов и помогут журналу преодолеть препятствия на пути продвижения его в Russian Science Citation Index (RSCI) (составную часть ядра РИНЦ).

Редакция журнала «Геосистемы переходных зон»

© Авторы 2023 г. Открытый доступ.
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)



© The Authors 2023. Open access.
Content is available under Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)

КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ

УДК 577.118:543.421:597.2/5:639.518(265.53)

<https://doi.org/10.30730/gtrz.2023.7.1.095-102>
<https://www.elibrary.ru/zldbka>

Содержание микроэлементов в мышечной ткани некоторых видов гидробионтов из охотоморских вод северо-восточного Сахалина

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

*E-mail: y.poltev@sakhniro.ru

Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (СахНИРО), Южно-Сахалинск, Россия

Резюме. Проведена оценка содержания Fe, As, Cu, Mn, Cr, Ni, Pb и Cd в мышцах некоторых видов гидробионтов из охотоморских вод северо-восточного Сахалина: минтая (*Gadus chalcogrammus* Pallas, 1814), камбалы хоботной (*Limanda proboscidea* Gilbert, 1896) и камбалы северной палтусовидной (*Hippoglossoides robustus* Gill & Townsend, 1897), краба-стригуна опилю (*Chionoecetes opilio* (O.Fabricius, 1788)). У краба-стригуна, в отличие от рыб, достоверно выше концентрации Fe и Cu, а у рыб относительно краба-стригуна – Pb. С камбалами у краба-стригуна по содержанию микроэлементов различий не выявлено, а по отношению к минтаю у него достоверно выше концентрации Fe, Cu и Hg и ниже – Pb. У камбал же по сравнению с минтаем выше содержание Fe. Концентрации Pb, Cd, As и Hg являются безопасными по гигиеническим требованиям к пищевым продуктам и могут косвенно указывать на благоприятную экологическую обстановку по содержанию нормируемых токсичных элементов в водах северо-восточного Сахалина.

Ключевые слова: микроэлементы, атомная абсорбция, гидробионты, мышцы, Охотское море

The content of trace elements in the muscle tissue of some species of aquatic organisms from the Sea of Okhotsk waters of Northeastern Sakhalin

Yury N. Poltev*, Tatyana G. Koreneva, Vsevolod E. Maryzhikhin, Irina V. Syrbu

*E-mail: y.poltev@sakhniro.ru

Sakhalin Branch, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (SakhNIRO),
Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Abstract. The content of Fe, As, Cu, Mn, Cr, Ni, Pb and Cd in the muscles of some aquatic organism species from the Sea of Okhotsk waters of Northeastern Sakhalin was estimated: walleye pollack (*Gadus chalcogrammus* Pallas, 1814), longhead dab (*Limanda proboscidea* Gilbert, 1896) and Bering flounder (*Hippoglossoides robustus* Gill & Townsend, 1897), snow crab (*Chionoecetes opilio* (O.Fabricius, 1788)). The concentrations of Fe and Cu are reliably higher in the snow crab, in contrast to fish, and Pb concentration is higher in fish relative to the snow crab. There was no difference in the content of trace elements between the flounders and snow crab, and in relation to the walleye pollock, the snow crab has reliably higher concentrations of Fe, Cu, and Hg and lower ones of Pb. The content of Fe is higher in the flounders compared to the walleye pollack. The concentrations of Pb, Cd, As and Hg are safe according to the hygienic requirements for food products and may indirectly indicate a favorable environmental situation in terms of the content of regulated toxic elements in the waters of northeastern Sakhalin

Keywords: trace elements, atomic absorption, aquatic organisms, muscles, Sea of Okhotsk

Для цитирования: Полтев Ю.Н., Коренева Т.Г., Марыжихин В.Е., Сырбу И.В. Содержание микроэлементов в мышечной ткани некоторых видов гидробионтов из охотоморских вод северо-восточного Сахалина. *Геоcистeмы пeрeхoднoй зoн*, 2023, т. 7, № 1, с. 95–102. <https://doi.org/10.30730/gtrz.2023.7.1.095-102>; <https://www.elibrary.ru/zldbka>

For citation: Poltev Yu.N., Koreneva T.G., Maryzhikhin V.E., Syrbu I.V. The content of trace elements in the muscle tissue of some species of aquatic organisms from the Sea of Okhotsk waters of Northeastern Sakhalin. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2023, vol. 7, no. 1, pp. 95–102. (In Russ., abstr. in Engl.). <https://doi.org/10.30730/gtrz.2023.7.1.095-102>; <https://www.elibrary.ru/zldbka>

Благодарности

Авторы благодарят уважаемых рецензентов за конструктивные замечания, способствующие улучшению данной публикации и полезные для дальнейшей работы.

Введение

Северо-восточный шельф о. Сахалин – традиционный район промысла целого ряда объектов, таких как минтай *Gadus chalcogrammus*, брюхоногие моллюски Gastropoda, гренландская креветка *Lebbeus groenlandicus*, колючий краб *Paralithodes brevipes* и краб-стригун опилио *Chionoecetes opilio*. Кроме них объектами промышленного и любительского лова являются и другие виды, пользующиеся на рынке спросом. Вопросы безопасности гидробионтов, используемых человеком в пищу, в частности относительно содержания токсичных элементов, являются актуальными, так как имеющиеся данные по этому району ограничиваются сведениями по южной дальневосточной широколобке *Megalocottus platycephalus taeniopterus*, дальневосточной наваге *Eleginus gracilis* и звездчатой камбале *Platichthys stellatus* Ныйского залива [1, 2, 3]. Впервые полученные нами данные по содержанию микроэлементов в отдельных видах можно использовать в дальнейших мониторинговых исследованиях.

Цель представленной работы – определить уровни содержания микроэлементов в мышечной ткани исследованных промысловых гидробионтов, а также дать санитарно-гигиеническую оценку их качества относительно содержания нормируемых токсичных элементов.

Материалы и методы

Материалом для настоящего исследования служила мышечная ткань гидробионтов, отловленных в ходе научной съемки на НИС «Дмитрий Песков» в июне 2020 г. в охотоморских водах северо-восточного Сахалина (см. рисунок). Орудием лова был донный трал. У камбалы хоботной *Limanda proboscidea* Gilbert, 1896 отобрали две пробы мышечной ткани (1 от одной особи, самца, и объединенную по трем самкам), камбалы северной палтусовидной *Hippoglossoides robustus* Gill &

Acknowledgments

Authors thanks the respected Reviewers for the constructive comments allowed to improve the text of this article.

Townsend, 1897 – одну пробу (объединенную по четырем особям, самкам), минтая *Gadus chalcogrammus* Pallas, 1814 – четыре пробы (1 от одной особи, 1 объединенную от трех самок, 2 объединенные от четырех особей (4 самцов и 4 самок), краба-стригуна опилио *Chionoecetes opilio* (O.Fabricius, 1788) – две (по одной особи из двух разных уловов в данном районе, самцы). Длину рыб, *FL*, измеряли по Смиту (от вершины рыла до конца средних лучей хвостового плавника). У краба-стригуна опилио мышечную ткань отбирали из фаланг ходильных ног, у рыб – из участка, расположенного у основания спинного плавника. Ткани отбирали и измельчали при помощи керамического ножа. В случае объединенных проб равные доли измельченных тканей от отдельных особей гомогенизировали с использованием фарфоровых ступки и пестика до однородной массы. До отбора тканей гидробионты хранили в морозильной камере при температуре –20 °C.

Для минерализации из проб отбирали навеску массой 1 г с точностью до 0.01 г. Для определения Hg в тканях использовали «закрытый» способ разложения навесок смесью кислот (серной и азотной) и перманганата калия*. Для определения Fe, Pb, Cd, Cu, Cr, Mn, Ni и As применяли способ «мокрой» минерализации навесок в микроволновой печи [4]. Концентрации Pb, Cd, Cu, Cr, Mn, Ni и As измеряли атомно-абсорбционным методом в режиме электротермической атомизации (GFAA) на спектрофотометре Shimadzu AA-6800 с графитовой печью и коррекцией фона на основе эффекта Зеемана. Концентрации Fe измеряли этим же методом, но в пламенном режиме с дейтериевой коррекцией фона (FLAA). Содержание Hg определяли методом «холодного пара» (CVAA) с использованием приставки MVU-1A к спектрофотометру AA-6800. Точность измерений составила для Fe и Hg 20 %, Pb и Cu 25 %, Cd 26 %, As и Mn 32 %, Cr 34 %, Ni 36 %. Для градуировки спектрофотометра

* МУК 4.1.1472-03. Атомно-абсорбционное определение массовой концентрации ртути в биоматериалах животного и растительного происхождения (пищевых продуктах, кормах и др.). 2003. Доступ из ИИС «Техэксперт». <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293830/4293830517.htm> (дата обращения 04.06.2022). [МУК 4.1.1472-03. Atomic absorption determination of mass concentration of mercury in animal and plant origin biomaterials (alimentary products, feed, etc.). Available from IRS Techexpert. <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293830/4293830517.htm> (accessed 04.06.2022). (In Russ.)]

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. Оперативный контроль результатов измерений проводили для каждой партии проб, сравнивая результаты измерений разделенной на две части контрольной пробы гидробионтов с нормативом промежуточной прецизионности. Контроль правильности измерений осуществляли с использованием рабочих проб,

в которые введены известные добавки элементов, при внедрении методик и оценивании характеристик погрешности и их составляющих. Пробоподготовку и анализ контрольных проб проводили параллельно с пробоподготовкой и анализом реальных проб.

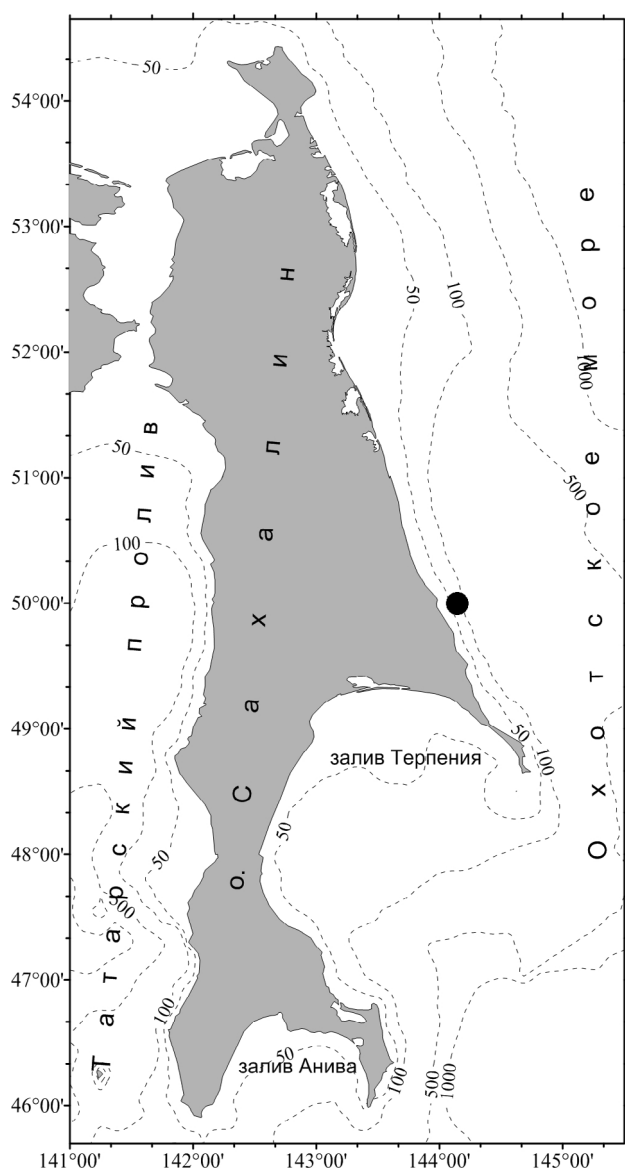
Достоверность сравниваемых различий оценивали по t-критерию Стьюдента ($P < 0.05$) с использованием пакета прикладных программ Excel.

Результаты и обсуждение

Камбала хоботная. Нами исследованы самец $FL = 17.4$ см и массой 189 г и самки $FL = 22.7$ – 27.3 см (25.3 ± 1.4 см) и массой 134–203 г (175 ± 21 г). Все рыбы были отнерестившиеся. Возраст рыб не определяли. Согласно литературным источникам [5], массовое созревание вида наблюдается у самцов с $FL = 18.7$ – 19.7 см, в возрасте 3.4–4.6 лет, а у самок с $FL = 23.5$ – 26.8 см, в возрасте 4.8–6.9 лет. Концентрации микроэлементов в мышечной ткани самца и самок были сопоставимы. Их максимальные значения приходятся на Fe (6.5 и 5.8 мг/кг сыр. массы у самца и самок соответственно), минимальные – на Pb (по 0.1 мг/кг сыр. массы) (табл. 1). Ранее содержание микроэлементов в данном виде камбал не исследовалось.

Камбала северная палтусовидная. Массовое созревание вида происходит у самцов с $FL = 15.5$ – 20 см, в возрасте 3.4 года, у самок с $FL = 20$ – 24.4 см, в возрасте 6.3 года [5]. FL исследованных нами 4 неполовозрелых самок варьировала в пределах 21.5–27.0 см (22.9 ± 1.3), масса тела – 86–143 г (103 ± 13). Максимальные значения концентраций, как и у камбалы хоботной, отмечены для Fe, минимальные – для Pb (3.8 и 0.004 мг/кг сыр. массы соответственно). Содержание микроэлементов в камбале северной палтусовидной ранее не исследовалось.

Минтай. Средняя FL и масса самцов в траловых уловах у северо-восточного Сахалина составляют 37.5 см и 451.3 г, самок – 44.5 см и 721.9 г соответственно. Массовое созревание минтая в районе происходит при достижении возраста 4–5 лет (FL 34.7–39 см, масса 284–402 г) (по сообщению старшего специалиста «СахНИРО» А.В. Лученкова). FL исследованных особей варьировала в пределах 21–48 см (30.4 ± 2.6), масса тела – от 56



Участок отбора гидробионтов в водах северо-восточного Сахалина.

Aquatic organism sampling area in the waters of Northeastern Sakhalin.

до 684 г (220 ± 61). Семь особей были неполовозрелые, четыре – отнерестившиеся. *FL* неполовозрелых особей составила 21–27.5 см, половозрелых – 33–48 см. Наиболее высокое содержание отмечено для Fe (2.3 ± 1.0 мг/кг сыр. массы), наиболее низкое – для Cd (0.005 ± 0.004 мг/кг сыр. массы). Достоверных различий по содержанию микроэлементов между половозрелыми и неполовозрелыми особями, различающимися длиной тела, не выявлено. Возможно, это связано с тем, что анализируемые половозрелые особи еще не достигли возраста активного накопления микроэлементов. Как показали исследования в Куйбышевском водохранилище, активное накопление Cu, Cr, Pb у леща (*Abramis brama*), плотвы (*Rutilus rutilus*) и синца (*A. ballerus*) наблюдается в возрасте 7–8 лет, судака (*Sander lucioperca*) – 4–5 лет [7].

Концентрации микроэлементов у неполовозрелых самцов и самок были сопоставимы, что может быть объяснено в частности тем, что до наступления половозрелости физиологические процессы у них проходят одинаково. Хотя даже и для половозрелых рыб исследованиями показывается различная зависимость накопления металлов в их органах и тканях от половой принадлежности. Так, в Куйбышевском водохранилище у самок леща было выше, чем у самцов, содержание Fe и Cu, у синца – Cr, у плотвы – Pb, у судака гендерных различий установлено не было [7].

Ранее данные по содержанию микроэлементов в минтае получены для Японского (зал. Петра Великого) [8, 9] и Охотского (Западная Камчатка) [10] морей, североамериканских вод [11]. Содержания тяжелых металлов в рыбах Тихого океана приведены в [12]. Как показано в табл. 3, минтай северо-восточного Сахалина отличается на порядок меньшими значениями концентраций As в мышечной ткани относительно западно-камчатских вод и Pb – относительно североамериканских и западно-камчатских. Длины исследованных особей минтая из западно-камчатских вод (40–44 см) и половозрелых самцов рассматриваемого района сопоставимы, и различное содержание в их мышцах As не связано с размерами (возрастом). На примере лососей показана связь повышенного содержания Pb в их тканях с нагулом в курило-камчатских водах, богатых биогенной взвесью с высоким содержанием Pb_{взв} [13]. Западно-камчатский минтай, нагуливаю-

щийся в этом районе, отличается от восточно-сахалинского более высокими концентрациями Pb. Таким образом, низкое содержание в мышцах минтая Pb может быть обусловлено тем, что восточно-сахалинский шельф менее насыщен биогенной взвесью с высоким содержанием Pb_{взв}.

Краб-стригун опилио. В траловых уловах отмечаются самцы с шириной карапакса от 15 до 140 мм (83.4 мм), массой тела – от 1.2 до 1033 г (278.9 г). Исследованы два самца из разных уловов с шириной карапакса 81 и 75 мм. Они характеризовались сопоставимыми содержаниями микроэлементов, а ряды их концентраций по убыванию различались лишь положением Ni и Mn. Это, по нашему мнению, обусловлено схожими размерами особей и условиями обитания (глубины 50 и 20 м). Максимальные концентрации, как и у рыб, пришлось на Fe, минимальные – на Pb. В других исследованных районах максимальные концентрации отмечались также и для As, а минимальные – для Cd. В мышцах краба-стригуна опилио рассматриваемого района на порядок ниже содержание Pb относительно вод Баренцева моря [16] и восточного побережья п-ова Корея [15], Cu – по сравнению с российскими водами Японского моря [14] и водами восточного побережья п-ова Корея, As – водами восточного побережья п-ова Корея (табл. 1, 2). Отмеченные различия могут быть связаны и с геохимическими особенностями районов обитания крабов-стригунов, и с их питанием. Известно, что поступление микроэлементов с пищей является основным источником их накопления в организме для многих водных беспозвоночных [17, 18].

Сравнение концентраций исследованных особей гидробионтов показывает, что у краба-стригуна, в отличие от рыб, достоверно выше концентрации Fe и Cu, а у рыб относительно краба-стригуна – Pb. При этом с камбалами у крабов-стригунов по содержанию микроэлементов различий не выявлено, а по отношению к минтаю у них достоверно выше концентрации Fe, Cu и Hg и ниже – Pb. У камбал же по сравнению с минтаем выше содержание Fe. Ранее более высокое содержание As и Cu в мышцах краба-стригуна опилио относительно минтая и камбалы желтоперой *Limanda aspera* [8], а у камбал – относительно минтая [8, 9] было отмечено для Японского

Таблица 1. Средние концентрации микроэлементов в мышечной ткани рыб из вод северо-восточного Сахалина и, для сравнения, некоторых других районов обитания
Table 1. Average concentrations of trace elements in the muscle tissue of fishes from the waters of Northeastern Sakhalin and, for comparison, some other habitats

Вид (количество проб)	Микроэлементы, мг/кг сыр. массы								
	Fe	As	Cu	Mn	Cr	Ni	Pb	Hg	Cd
Камбала хоботная <i>Limanda proboscidea</i> (2)	6.1 5.8–6.5	0.56 0.55–0.57	0.27 0.21–0.32	0.20 0.15–0.24	0.16 0.14–0.18	0.09 0.08–0.10	0.01 0.01	0.041 0.039–0.043	0.013 0.010–0.015
Камбала палтусовидная северная <i>Hippoglossoides robustus</i> (1)	3.8	1.64	0.37	0.59	0.18	0.26	0.004	0.017	0.021
Минтай <i>Gadus chalcogram-</i> <i>tus</i> из разных регионов: северо-восток Сахалина (4)	2.3±1.0 1.2–3.2	0.28±0.02 0.25–0.29	0.27±0.07 0.18–0.35	0.27±0.17 0.08–0.45	0.16±0.00 0.16–0.16	0.14±0.03 0.11–0.18	0.01±0.01 0.00–0.02	0.017±0.005 0.012–0.023	0.005±0.004 0.002–0.008
Зал. Петра Великого [8, 9]	–	0.60±0.06	0.08±0.01	–	–	–	0.02±0.01	0.030±0.006	0.001±0.000
Западная Камчатка, Охотское море [10]	6.1	2.39	0.69	0.21	0.08	0.12	0.087	0.066	0.012
Тихий океан [12]	1.1±0.2	–	0.29±0.04	0.27±0.07	–	–	–	–	–
Североамериканские воды [11]	–	1.22±0.28	0.25±0.13	–	0.11±0.04	0.07±0.04	0.22±0.17	0.009±0.003	0.020±0.001

Примечания. Верхняя строка – средняя ± стандартное отклонение, нижняя – минимум–максимум. Прочерк – нет данных.

Notes. The top line – mean ± standard deviation, the bottom line – minimum–maximum. Dash – the data is absent.

Таблица 2. Концентрации микроэлементов (мг/кг сыр. массы) в мышечной ткани краба-стригуна опилию из различных районов обитания
Table 2. Concentrations of trace elements (mg/kg wet weight) in the muscle tissue of the *Chionoecetes opilio* from different habitats

Район	Микроэлементы, мг/кг сыр. массы					
	Fe	As	Cu	Hg	Cd	Pb
Северо-восток Сахалина	$\frac{6.7}{5.6-6.9}$	$\frac{2.46}{2.03-2.89}$	$\frac{0.45}{0.43-0.47}$	$\frac{0.040}{0.036-0.044}$	$\frac{0.023}{0.011-0.036}$	$\frac{0.003}{0.002-0.004}$
Российская зона Японского моря [14]	$\frac{5.7}{3.6-8.7}$	$\frac{4.3}{4.1-5.5}$	$\frac{3.7}{3.6-3.8}$	$\frac{0.016}{0.01-0.02}$	$\frac{0.01}{0.01-0.01}$	$\frac{0.02}{0.02-0.03}$
	$\frac{5.7}{4.8-7.6}$	$\frac{10.1}{9.4-14.0}$	$\frac{4.9}{3.1-6.7}$	$\frac{0.03}{0.01-0.05}$	$\frac{0.03}{0.01-0.05}$	$\frac{0.03}{0.01-0.05}$
Восточное побережье п-ова Корея [15]	$\frac{2.1 \pm 1.2}{0.3-4.4}$	$\frac{18.7 \pm 18.3}{2.7-78.2}$	$\frac{4.6 \pm 2.4}{0.9-9.2}$	$\frac{0.09 \pm 0.10}{0.025-0.421}$	$\frac{0.09 \pm 0.08}{0.009-0.265}$	$\frac{0.02 \pm 0.02}{ND-0.062}$
Баренцево море [16]	$\frac{5.1 \pm 1.7}{3.1-7.3}$	$\frac{5.4 \pm 0.7}{3.94-6.15}$	$\frac{4.0 \pm 0.4}{3.51-4.63}$	$\frac{0.07 \pm 0.03}{0.03-0.11}$	$\frac{0.04 \pm 0.02}{0.02-0.06}$	$\frac{0.06 \pm 0.03}{0.03-0.13}$

моря. В целом для беспозвоночных характерны более высокие концентрации Fe, Mn и Cu [19] относительно рыб, а для донных видов рыб – Cd и Cu относительно пелагических видов [20]. Представляется, что такое распределение элементов частично связано с особенностями систематических групп. Так, высокие концентрации меди у ракообразных определяются ее важной ролью в процессах тканевого дыхания – переноса кислорода в составе пигмента крови гемоцианина (аналога гемоглобина) в условиях пониженного содержания кислорода на участках обитания [14].

В мышечной ткани исследованных гидробионтов количественно преобладают биофильные (Fe, Cu, Mn) и условно биофильные (As) микроэлементы. Из них Fe не только характеризуется наиболее высоким содержанием в гидробионтах, но и преобладает в донных отложениях. Согласно проведенным исследованиям, в донных отложениях шельфа северо-восточного Сахалина содержание элементов (мкг/г сухого веса грунта) снижается в порядке Fe (2567) > Cr (4.72) > As (2.69) > Pb (2.03) > Cu (0.92) > Cd (0.018) > Hg (0.005) [6]. Такие микроэлементы, как Pb, Hg и Cd, считаются трассерами техногенного воздействия на окружающую среду [21]. В донных отложениях исследуемого региона минимальные концентрации приходятся на Hg и Cd, а в гидробионтах – на Pb. В целом полученные данные согласуются с общей закономерностью для основных экологических групп биотического населения морских регионов, согласно которой среди микроэлементов группы металлов доминирует Fe, а Cd и Hg присутствуют в минимальных концентрациях [22].

В мышцах рыб предельно допустимое содержание нормируемых токсичных элементов составляет: для Pb – 1.0; Cd – 0.2; As – 5; Hg – 0.2 мкг/г сыр. массы*. Согласно полученным данным, концентрации этих элементов в мышцах минтая рассматриваемого района, как и в водах зал. Петра Великого [8, 9] и Охотского моря [10], ниже допустимых уровней.

В мышцах исследуемых образцов северной палтусовидной и хоботной камбал превышения допустимых уровней нормируемых токсичных элементов нами также не отмечено. В мышцах обоих видов отмечается наибольшее содержание As (1.64 мкг/кг сыр. массы у северной пал-

тусовидной и 0.55 – у хоботной) и наименьшее – Pb (0.004 мкг/кг сыр. массы у северной палтусовидной и 0.0084 – у хоботной). Не выявлено превышения нормируемых токсичных элементов и у других видов камбал Охотского и Японского морей – колючей из зал. Петра Великого, остроголовой и сахалинской из Охотского моря, желтоперой из Японского моря [9]. Исключением является полосатая камбала из Японского моря, у которой было отмечено превышение As (7.7–14.0 мкг/кг сыр. массы) [23].

Для ракообразных предельно допустимые уровни токсичных элементов составляют: для Pb – 10; Cd – 2; As – 5; Hg – 0.2 мкг/г сыр. массы*. В мышцах краба-стригуна опилио рассматриваемого района они были ниже этих уровней. В мышцах же данного вида крабов из вод Баренцева моря [16], восточного побережья п-ова Корея [15] и российских вод Японского моря [14] содержание As превышает нормативные концентрации.

Выводы

Таким образом, определены массовые концентрации микроэлементов в мышечной ткани минтая (*Gadus chalcogrammus Pallas*, 1814), камбалы хоботной (*Limanda proboscidea Gilbert*, 1896) и камбалы северной палтусовидной (*Hippoglossoides robustus Gill&Townsend*, 1897), краба-стригуна опилио (*Chionoecetes opilio* (O.Fabricius, 1788)) из охотоморских вод северо-восточного Сахалина. Выявлено, что у краба-стригуна по сравнению с рыбами достоверно выше концентрации Fe и Cu, а у рыб относительно краба-стригуна – Pb. С камбалами у краба-стригуна по содержанию микроэлементов различий не отмечено, а по отношению к минтаю у него достоверно выше концентрации Fe, Cu и Hg и ниже – Pb. У камбал же по сравнению с минтаем выше содержание Fe. Содержание токсичных элементов (Pb, Cd, As и Hg) в исследованных видах ниже регламентируемых уровней и является безопасным по гигиеническим требованиям к пищевым продуктам. Полученные данные косвенно указывают на благоприятную экологическую обстановку по содержанию нормируемых токсичных элементов в водах северо-восточного Сахалина.

* СанПиН 2.3.2.1078-01. 2002. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. М.: Госкомсанэпиднадзор, 156 с. [SanPiN 2.3.2.1078-01. 2002. Hygienic requirements to safety and nutritive value of food products. Moscow: Goskomsanepidnadzor, 156 p.]

Список литературы

- Латковская Е.М., Лебедев А.Е., Саматов А.Д. **2000**. Содержание тяжелых металлов в печени донных рыб Ныйского залива (северо-восточный Сахалин). В кн.: *Охрана водных биоресурсов в условиях интенсивного освоения нефтегазовых месторождений на шельфе и внутренних водных объектах Российской Федерации*: сб. материалов междунар. семинара. М., с. 89–90.
- Латковская Е.М. **2000**. Металлы в тканях звездчатой камбалы *Pleuronectes stellatus* из Ныйского залива (северо-восток Сахалина). *Биология моря*, 26(4): 281–283.
- Латковская Е.М. **2000**. *Химико-экологическая оценка заливов северо-востока Сахалина: хлорорганические пестициды и тяжелые металлы*: дис. ... канд. биол. наук. Сахалинский НИИ рыбного хозяйства и океанографии (СахНИРО), Южно-Сахалинск, 166 с.
- Методика количественного химического анализа. **2009**. 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. Аттест. ВНИИМ им. Д.И. Менделеева. Свид-во № 242/43-09 от 08.07.2009. ООО «Аналит», 21 с.
- Дьяков Ю.П. **2015**. Половое созревание дальневосточных камбалообразных рыб (Pleuronectiformes). *Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана*, 39: 5–69. doi:10.15853/2072-8212.2015.39.5-69
- Лишавская Т.С., Мощенко А.В. **2008**. Некоторые металлы в донных отложениях прибрежных акваторий острова Сахалин. *Известия ТИНРО*, 153: 295–311.
- Ваганов А.С. **2012**. *Накопление тяжелых металлов тканями и органами промысловых видов рыб различных экологических групп Куйбышевского водохранилища*: автореф. дис. ... канд. биол. наук (Ульяновский государственный технический университет). Нижний Новгород, 23 с.
- Ковековдова Л.Т., Кику Д.П., Касьяненко И.С. **2014**. Особенности накопления металлов и мышьяка морскими промысловыми гидробионтами дальневосточных морей. В кн.: *Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы*: материалы V Всерос. конф. по водной экотоксикологии, посвящ. памяти Б.А. Флерова, с приглашением специалистов из стран ближнего зарубежья; *Современные методы исследования состояния поверхностных вод в условиях антропогенной нагрузки*: материалы школы-семинара для молодых ученых, аспирантов и студентов (Борок, 28 окт. – 1 ноября 2014 г.). Ярославль: Филигрань, т. 1: 16–18.
- Ковековдова Л.Т., Кику Д.П., Касьяненко И.С. **2015**. Мониторинг содержания металлов и мышьяка в промысловых рыбах и морской воде дальневосточных морей. *Рыбное хозяйство*, 2: 18–24.
- Ковековдова Л.Т., Симоконов М.В. **2020**. Содержание химических элементов в органах трех видов морских рыб. *Национальная ассоциация ученых (НАУ)*, 58: 4–8.
- Ikem A., Garth J. **2022**. Dietary exposure assessment of selected trace elements in eleven commercial fish species from the Missouri market. *Heliyon*, 8: e10458.
- Łuczyńska J., Pietrzak-Fiećko R., Purkiewicz A., Łuczyński M.J. **2022**. Assessment of fish quality based on the content of heavy metals. *International J. of Environmental Research Public Health*, 19: 2307. https://doi.org/10.3390/ijerph19042307
- Христофорова Н.К., Цыганков В.Ю., Боярова М.Д., Лукьянова О.Н. **2015**. Содержание микроэлементов в тихоокеанских и атлантических лососях. *Океанология*, 55(5): 751–758. doi:10.7868/S0030157415050068
- Наревич И.С., Ковековдова Л.Т. **2017**. Микроэлементы (As, Cd, Pb, Fe, Cu, Zn, Se, Hg) в промысловых ракообразных Японского моря. *Известия ТИНРО*, 189: 147–155.
- Hwang D.-W., Choi M., Lee I.-S., Shim K.-B., Kim T.-H. **2017**. Concentrations of trace metals in tissues of Chionoecetes crabs (*Chionoecetes japonicus* and *Chionoecetes opilio*) caught from the East/Japan Sea waters and potential risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(12): 11309–11318. https://doi.org/10.1007/s11356-017-8769-z
- Лаптева А.М., Плотицына Н.Ф. **2019**. Микроэлементы в крабе *Chionoecetes opilio* Баренцева моря. *Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование*: материалы X Национальной (всерос.) науч.-практ. конф. (19–21 марта 2019 г.). Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, с. 35–39.
- Rainbow P.S. **2007**. Trace metal bioaccumulation: Models, metabolic availability and toxicity. *Environment International*, 33(4): 576–582. https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.05.007
- Wang W.X. **2002**. Interactions of trace metals and different marine food chains. *Marine Ecology Progress Series*, 243: 295–309. https://doi.org/10.3354/meps243295
- Виноградов А.П. **2001**. *Химический элементарный состав организмов моря*. М.: Наука, 620 с.
- Amankwaa G., Lu Y., Liu T., Wang N., Luan Y., Cao Y., Huang W., Ni X., Gyimah E. **2021**. Heavy metals concentration profile of an aquatic environment and health implications of human exposure to fish and prawn species from an urban river (Densu). *Iranian J. of Fisheries Sciences*, 20(2): 529–546. doi: 10.22092/ijfs.2021.351023.0
- Христофорова Н.К. **1989**. *Биоиндикация и мониторинг загрязнения морских вод тяжелыми металлами*. Л.: Наука, 192 с.
- Морозов Н.П., Патин С.А., Петухов С.А. **1978**. Основные черты биогеохимии микроэлементов группы металлов в экосистемах океанов и морей. *Труды ВНИРО*, 134: 23–35.
- Ковековдова Л.Т., Симоконов М.В., Кику Д.П. **2006**. Токсичные элементы в промысловых гидробионтах прибрежных акваторий северо-западной части Японского моря. *Вопросы рыболовства*, 7(25): 185–190.

References

- Latkovskaya E.M., Lebedev A.E., Samatov A.D. **2000**. [Heavy metal content in liver of the fishes in the Nyiskii Bay (northeastern Sakhalin)]. In: [Protection of aquatic biore-sources under the conditions of intensive development of oil and gas deposits on the shelf and inland water bodies of the Russian Federation]: Sbornik materialov Mezhdunarodnogo seminar. Moscow, p. 89–90. (In Russ.).
- Latkovskaya E.M. **2000**. Metals in the tissues of the starry flounder *Pleuronectes stellatus* from Nyisky Bay (north-east of Sakhalin). *Russian J. of Marine Biology*, 26(4): 292–295. (In Russ.). doi:10.1007/BF02759512
- Latkovskaya Ye.M. **2000**. [Chemical and ecological assessment of the bays of north-east of Sakhalin: organochlorine pesticides and heavy metals]: thesis. ... Cand. Sci. (Biology). Sakhalin Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk, 166 p. (In Russ.).
- Method of quantitative chemical analysis. **2009**. Determination of As, Pb, Cd, Sn, Cr, Cu, Fe, Mn and Ni in the samples of food products and food raw materials by atomic absorption method with electrothermal atomization no. M-02-1009-08. Certified by the D.I. Mendeleev All-Russian Institute for Metrology (VNIIM). Certification no. 242/43-09 from 08.07.2009. Analit Ltd., 21 p. (In Russ.).
- D'yakov Yu.P. **2015**. Maturation of Far Eastern flounders (*Pleuronectiformes*). *Issledovaniya vodnykh biologicheskikh*

- ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана, 39: 5–69. (In Russ., abstr. in Engl.). doi:10.15853/2072-8212.2015.39.5-69
6. Lishavskaya T.S., Moshchenko A.V. **2008**. Metals in bottom sediments at the coast of Sakhalin Island. *Izvestiya TINRO*, 153: 295–311. (In Russ.).
 7. Vaganov A.S. **2012**. [Accumulation of heavy metals by tissues and organs of commercial fish species of various ecological groups in the Kuibyshev reservoir]: extended abstract... Cand. Sci. (Biology). Ul'yanovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet, Nizhny Novgorod, 23 p. (In Russ.).
 8. Kovekovdova L.T., Kiku D.P., Kas'yanenko I.S. **2014**. [Features of metal and arsenic accumulation by marine commercial aquatic organisms of the Far East seas]. In: *Antropogennoye vliyaniye na vodnyye organizmy i ekosistemy [Anthropogenic effect on aquatic organisms and ecosystems]: materialy V Vseros. konf. po vodnoy ekotoksikologii, posvyashch. pamyati B.A. Flerova, s priglasheniyem spetsialistov iz stran blizhnego zarubezh'ya; Sovremennyye metody issledovaniya sostoyaniya poverkhnostnykh vod v usloviyakh antropogennoy nagruzki [Modern research methods of surface water state under the conditions of anthropogenic impact]: materialy shkoly-seminara dlya molodykh uchenykh, aspirantov i studentov (Borok, 28 October – 1 November, 2014). Yaroslavl': Filigran', vol. 1: 16–18. (In Russ.).*
 9. Kovekovdova L.T., Kiku D.P., Kasyanenko I.S. **2015**. Monitoring of metals and arsenic content in commercial fish and sea water of Far East. *Rybnoye khozyaystvo*, 2: 18–24. (In Russ.).
 10. Kovekovdova L.T., Simokon' M.V. **2020**. [Content of chemical elements in the organs of three marine fish species]. *Natsional'naya assotsiatsiya uchenykh (NAU)*, 58: 4–8. (In Russ.).
 11. Ikem A., Garth J. **2022**. Dietary exposure assessment of selected trace elements in eleven commercial fish species from the Missouri market. *Heliyon*, 8: e10458.
 12. Łuczyńska J., Pietrzak-Fiećko R., Purkiewicz A., Łuczyński M.J. **2022**. Assessment of fish quality based on the content of heavy metals. *International J. of Environmental Research Public Health*, 19: 2307. <https://doi.org/10.3390/ijerph19042307>
 13. Khristoforova N.K., Tsygankov V.Y., Boyarova M.D., Lukanova O.N. **2015**. Concentrations of trace elements in Pacific and Atlantic salmon. *Oceanology*, 55(5): 679–685. <https://doi.org/10.1134/s0001437015050057>
 14. Narevich I.S., Kovekovdova L.T. **2017**. Microelements (As, Cd, Pb, Fe, Cu, Zn, Se, Hg) in commercial crustaceans in the Japan Sea. *Izvestiya TINRO*, 189: 147–155. (In Russ.).
 15. Hwang D.-W., Choi M., Lee I.-S., Shim K.-B., Kim T.-H. **2017**. Concentrations of trace metals in tissues of Chionoecetes crabs (*Chionoecetes japonicus* and *Chionoecetes opilio*) caught from the East/Japan Sea waters and potential risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(12): 11309–11318. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8769-z>
 16. Lapteva A.M., Plotitsyna N.F. **2019**. [Trace elements in the snow crab *Chionoecetes opilio* of Barents Sea]. In: *Prirodnyye resursy, ikh sovremennoye sostoyaniye, okhrana, promyslovoye i tekhnicheskoye ispol'zovaniye [Natural resources, their current state, protection, commercial and technical use]: materialy X Natsional'noy (vseros.) nauch.-prakt. konf. (19–21 marta 2019 g.) [Proceedings of the X National (All-Russian) scientific-practical conference (19–21 March, 2019)]. Petropavlovsk-Kamchatskiy: KamchatGTU*, p. 35–39. (In Russ.).
 17. Rainbow P.S. **2007**. Trace metal bioaccumulation: Models, metabolic availability and toxicity. *Environment International*, 33(4): 576–582. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.05.007>
 18. Wang W.X. **2002**. Interactions of trace metals and different marine food chains. *Marine Ecology Progress Series*, 243: 295–309. <https://doi.org/10.3354/meps243295>
 19. Vinogradov A.P. **2001**. [Chemical element composition of the marine organisms]. Moscow: Nauka, 620 p. (In Russ.).
 20. Amankwaa G., Lu Y., Liu T., Wang N., Luan Y., Cao Y., Huang W., Ni X., Gyimah E. **2021**. Heavy metals concentration profile of an aquatic environment and health implications of human exposure to fish and prawn species from an urban river (Densu). *Iranian J. of Fisheries Sciences*, 20(2): 529–546. doi:10.22092/ijfs.2021.351023.0
 21. Khristoforova N.K. **1989**. [Bioindication and monitoring of the seawater pollution with heavy metals]. Leningrad: Nauka, 192 p. (In Russ.).
 22. Morozov N.P., Patin S.A., Petukhov S.A. **1978**. [Main features of biogeochemistry of the trace elements of the metal group in ecosystems of oceans and seas]. *Trudy VNIRO*, 134: 23–35. (In Russ.).
 23. Kovekovdova L.T., Simokon' M.V., Kiku D.P. **2006**. Toxic elements in commercial hydrobionts of the north west Sea of Japan coastal waters. *Voprosy rybolovstva*, 7(25): 185–190. (In Russ.).

Об авторах

Сотрудники лаборатории исследований среды и мониторинга антропогенного воздействия, Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (СахНИРО), Южно-Сахалинск:

Полтев Юрий Николаевич (<https://orcid.org/0000-0002-5997-0488>), кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, y.poltev@sakhniro.ru

Коренева Татьяна Георгиевна (<https://orcid.org/0000-0003-1030-3286>), кандидат биологических наук, заведующая лабораторией, t.koreneva@sakhniro.ru

Марыжихин Всеволод Евгеньевич, специалист

Сырбу Ирина Викторовна, ведущий инженер

About the Authors

Employees of the Laboratory for environmental studies and monitoring of anthropogenic impact, Sakhalin Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (SakhNIRO), Yuzhno-Sakhalinsk:

Poltev, Yuriy N. (<https://orcid.org/0000-0002-5997-0488>), Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, y.poltev@sakhniro.ru

Koreneva, Tatiana G. (<https://orcid.org/0000-0003-1030-3286>), Cand. Sci. (Biology), Head of the Laboratory, t.koreneva@sakhniro.ru

Maryzhikhin, Vsevolod E., Specialist

Syrbu Irina V., Leading Engineer

Поступила 03.11.2022

После доработки 14.11.2022

Принята к публикации 08.12.2022

Received 3 November 2022

Revised 14 November 2022

Accepted 8 December 2022