



УДК [597.552.511:577.118](265.53/.54)

## СРАВНЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА КЕТЫ *ONCORHYNCHUS KETA* WALBAUM, 1792 ИЗ ЯПОНСКОГО И ОХОТСКОГО МОРЕЙ

© 2021 г. Н. К. Христофорова<sup>1,2</sup>, А. В. Литвиненко<sup>3</sup>,  
В. Ю. Цыганков<sup>1</sup>, М. В. Ковальчук<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация

<sup>2</sup>Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Российская Федерация

<sup>3</sup>Сахалинский государственный университет, Южно-Сахалинск, Российская Федерация

<sup>4</sup>ООО «РН-СахалинНИПИморнефть», Южно-Сахалинск, Российская Федерация

E-mail: [tsig\\_90@mail.ru](mailto:tsig_90@mail.ru)

Поступила в редакцию 09.03.2021; после доработки 27.08.2021;

принята к публикации 29.09.2021; опубликована онлайн 30.11.2021.

Определено содержание микроэлементов (железа, цинка, меди, никеля, свинца и кадмия) в наиболее востребованном на потребительском рынке виде тихоокеанских лососей — кете *Oncorhynchus keta*, являющейся в российских водах вторым по объёму вылова объектом (после горбуши *O. gorbuscha*). Концентрации металлов в органах и тканях рыб (мышечная ткань, печень, гонады) определены атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре Shimadzu AA-6800 на пламенном и беспламенном атомизаторах из минерализаторов проб, полученных при разложении навесок концентрированной  $\text{HNO}_3$  марки ОСЧ в комплексе MARS 6, с использованием стандартных образцов с известными концентрациями. Статистическая обработка данных выполнена в программе SPSS Statistics 21. Половозрелые особи кеты (по 5 экз. самцов и самок в каждом месте сбора) отобраны осенью 2018 г. в садках-накопителях лососевых рыбодоводных заводов на реках Фирсовка (юго-восток Сахалина, зал. Терпения) и Рейдовая (о-в Итуруп, Курильские острова), а также в октябре 2019 г. в садках для выдерживания производителей на р. Пойма (юго-запад Приморья, Японское море). От всех особей отдельно взяты пробы мышечной ткани, печени и гонад. Определяемые элементы чётко разделились по величинам концентраций на две группы в зависимости от места сбора проб: Cd и Pb преобладали в органах и тканях кеты из Сахалино-Курильского региона Охотского моря, а Fe, Zn, Cu и Ni — в япономорских рыбах. Причиной контрастного распределения тяжёлых металлов в органах и тканях рыб являются, очевидно, геохимические условия среды, формируемые в акваториях нагула и миграционных путей лососей. Если в практически замкнутом Японском море, слабо связанном с Тихим океаном малочисленными мелководными проливами, водная среда находится под сильным воздействием антропогенных, техногенных и терригенных факторов (хозяйственно-бытовых и промышленных стоков, поверхностных смывов с прибрежных территорий, сжигания судами углеводородного топлива), то в Сахалино-Курильском бассейне она испытывает влияние природных явлений — надводного и подводного вулканизма и поствулканизма Курильских островов, а также апвеллингов, выносящих из глубин Курило-Камчатской впадины в поверхностный слой практически весь набор химических элементов периодической системы Д. И. Менделеева. При этом Pb, обладающий высокой способностью к сорбции, задерживается на любых взвешенных частицах (как живых, так и неживых) и поступает в организмы рыб с пищей. Распределение микроэлементов по органам и тканям кеты существенно различается: в мышечной ткани зарегистрированы наименьшие концентрации металлов независимо от места вылова, а печень характеризуется повышенными уровнями всех, кроме Ni, металлов, причём в печени япономорских рыб определены самые высокие концентрации Fe, Zn

и Cu. Для распределения металлов в гонадах рыб характерна своя специфика, особенно ярко проявившаяся в приморских лососях. Так, в гонадах самок преобладали как Fe, так и Zn, но особенно Cu: концентрация меди в гонадах самок кеты из р. Пойма была такой же, как в печени. Гонады самок япономорской кеты имели наибольшие концентрации Ni, хотя гонады самцов тоже отличались высоким, пусть и очень изменчивым, содержанием этого элемента. Что касается Pb и Cd, наиболее токсичных и контролируемых санитарными службами элементов (их количество по техническим причинам нам удалось определить только в охотоморских рыбах), то в их распределении по органам и тканям отмечена хорошо известная картина: максимальная концентрация выявлена в печени рыб. При этом содержание Pb превосходило санитарную норму лишь в отдельных особях, пришедших на нерест в р. Фирсовка на юго-востоке Сахалина; по Cd превышение ПДК в печени всех сахалинских рыб составляло 2,5–4,0 раза, а для всех курильских рыб — 2,1–5,0 раз.

**Ключевые слова:** тихоокеанские лососи, кета, Сахалино-Курильский регион, Охотское море, Приморский край, Японское море, микроэлементы

Кета — один из шести видов тихоокеанских лососей рода *Oncorhynchus*. Она распространена по обоим побережьям Тихого океана и является одним из массовых видов лососей. В данной работе изучены половозрелые особи кеты, пришедшие на нерест и выловленные в реках Юго-Восточного Сахалина и о-ва Итуруп, а также юга Приморья. В мягких органах и тканях кеты исследовано содержание шести химических элементов: железа, цинка, меди, никеля, свинца и кадмия.

Среди изучаемых микроэлементов три — Cu, Zn и Fe — являются эссенциальными (необходимыми), или истинными биоэлементами, три — Ni, Cd и Pb — неэссенциальными, но почти постоянно присутствующими в органах и тканях организмов. Кроме биологической значимости, эти элементы различаются геоэкологическими характеристиками. Медь и цинк, если они не поступают в окружающую среду из медно-цинковых производств или мест применения этих металлов, их сплавов и соединений в технике (добыча руд, их обогащение и выплавка, гальванические цеха, работа с антикоррозионными покрытиями и др.), являются трассерами антропогенного воздействия на среду и присутствуют во всех хозяйственно-бытовых стоках; загрязнение среды никелем происходит в основном при сжигании углеводородного топлива, древесины и отходов, а также при производстве и использовании Ni (Khristoforova et al., 2018b ; Kobzar & Khristoforova, 2015).

Поступление железа в окружающую среду обусловлено широким применением разнообразных надводных и подводных стальных конструкций, их ржавлением, речным, терригенным и поверхностным стоком, взмучиванием рыхлых донных отложений в прибрежных водах, а также разложением всех отмерших гидробионтов, обязательным компонентом (практически макроэлементом) которых является Fe (Христофорова, 1989).

Свинец и кадмий, открывавшие в 1960–1970-е гг. вместе с ртутью все чёрные списки тяжёлых металлов в организмах из-за своего токсичного действия, принято считать трассерами техногенного воздействия на окружающую среду (Христофорова, 1989).

Кета *Oncorhynchus keta* (Walbaum, 1792) — наиболее востребованный и многочисленный на продовольственных рынках России и зарубежных стран вид тихоокеанских лососей. Благодаря своим высоким товарным качествам и отчётливо выраженному хомингу, кета в настоящее время составляет подавляющую часть всех искусственно воспроизводимых лососей не только по азиатскому, но и по американскому побережью Северной Пацифики. В России, в частности на Сахалине, высокие уловы кеты обусловлены в большой степени работой лососевых рыболовных заводов (далее — ЛРЗ). Искусственным воспроизводством кеты в России занимаются в Приморском, Хабаровском и Камчатском краях, в Магаданской и Сахалинской областях.

Сахалинская область обладает исключительными экологическими условиями для широкомасштабного развития аквакультуры. Искусственным воспроизводством тихоокеанских лососей в 2019–2020 гг. на Сахалине и Курилах занимались свыше 60 рыбоводных заводов различной формы собственности. Благодаря своей стабильной и планомерной работе, ЛРЗ из года в год выпускают более 800 млн шт. молоди лососей, обеспечивая устойчивое развитие рыбной промышленности региона. В 2019 г. здесь было выпущено свыше 1 млрд шт. молоди, в том числе 263,2 млн шт. молоди горбуши и 863,6 млн шт. молоди кеты ([Официальная информация о рыбоводных предприятиях, 2020b](#)).

Основными видами тихоокеанских лососей, воспроизводимых в Сахалинской области, являются осенняя кета и горбуша. Большая часть кеты Сахалино-Курильского бассейна — искусственного происхождения. Благодаря работе рыбоводных заводов, только в прибрежье о-ва Итуруп заходит ежегодно свыше 20 тыс. т этого лосося, тогда как возвраты дикой рыбы до начала реализации программы рыбоводства на Курилах составляли в лучшем случае 500–700 т ([Официальная информация о рыбоводных предприятиях, 2020b](#)).

Масштабная работа ЛРЗ, а также естественное воспроизводство ежегодно обеспечивают стабильные подходы лососей к рекам Сахалина и Курильских островов. В 2018 г. в Сахалино-Курильском регионе, по официальным данным Правительства Сахалинской области, было добыто промыслом 126 тыс. т тихоокеанских лососей, из них 85 тыс. т горбуши и более 40 тыс. т кеты. В менее урожайном 2019 г. количество выловленных лососей в сахалино-курильских водах составило 75,5 тыс. т, из них более 28 тыс. т горбуши и 45,5 тыс. т кеты.

Приморская кета имеет южное распространение в пределах ареала вида. Сам факт захода рыб, хоть и небольшого их количества, в здешние реки свидетельствует о прохождении кеты через южную часть Японского моря ([Горяинов и др., 2007](#) ; [Шунтов и др., 2004](#)).

На территории Приморского края в настоящее время действуют несколько рыбоводных заводов различных форм собственности по разведению тихоокеанских лососей. Среди них два государственных предприятия — Рязановский экспериментально-производственный рыбоводный завод (ЭПРЗ) и Барабашевский ЛРЗ. Оба предприятия располагаются в Хасанском районе, функционируют с середины 1980-х гг. и в настоящее время являются структурными подразделениями ФГБУ «Главрыбвод». Основной объект разведения для заводов — осенняя кета. Их базовые водотоки — реки Рязановка и Барабашевка. Основное количество икры для закладки получают на р. Рязановка. Сбор икры проводят также на р. Пойма, которая впадает в бухту Баклан залива Петра Великого Японского моря, расположенную в Хасанском районе вблизи пос. Славянка.

Заводские стада кеты в Хасанском районе имеют смешанное происхождение, поскольку в разные годы работы на приморские ЛРЗ оплодотворённую икру доставляли не только из Приморского края (Ольгинский район), но и с юго-запада Сахалина.

В течение последних 20 лет в районе работы заводов наблюдаются стабильные подходы кеты, ежегодные выпуски составляют 25–30 млн шт. молоди. В путину 2019 г. на ЛРЗ Приморского края было собрано и заложено на инкубацию более 39 млн икринок кеты ([Официальная информация о рыбоводных предприятиях, 2020a](#)). По данным В. Г. Марковцева (2006), в Приморском крае в зоне действия этих двух рыбоводных заводов именно их работой обеспечен вылов лососей.

Цель исследования — сравнить содержание микроэлементов в пришедшей на нерест в реки Сахалино-Курильского региона и Приморского края кете, которая была отобрана в садках трёх лососевых рыбоводных заводов (на о-ве Итуруп, на Сахалине и на юго-западе Приморья).

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материал для исследования получен в период накопления производителей и закладки икры на инкубацию в пунктах сбора икры — на базовых водотоках сахалинских рыбодоводных заводов: на р. Фирсовка (ЛРЗ «Фирсовка», залив Терпения, юго-восток Сахалина) и р. Рейдовая (ЛРЗ «Рейдовый», о-в Итуруп, Большая Курильская гряда) в октябре 2018 г., а также на р. Пойма Хасанского района Приморского края (базовый водоток Рязановского ЭПРЗ) в октябре 2019 г. (рис. 1).



**Рис. 1.** Места сбора проб кеты

**Fig. 1.** Chum salmon sampling areas

Всего для исследования на каждом ЛРЗ отобраны (безвыборочно) из садков для выдерживания производителей по пять самцов и по пять самок кеты. От всех особей отдельно взяты пробы мышечной ткани, печени и гонад.

Время, которое необходимо производителям кеты для достижения половой зрелости, напрямую зависит от эффективности нагула в морской период жизни, особенно на раннем его этапе, и может составлять для этого вида от 2 до 5 лет. По официальным сведениям Сахалинского филиала ВНИРО, кета из р. Рейдовая в большинстве случаев (54,5 % всех вернувшихся рыб) возвращается на нерест в возрасте 3+; по нашим данным, 80 % исследованных нами производителей приморской кеты представлены особями в возрасте 5+, то есть места нагула япономорской кеты являются, по-видимому, менее кормными (по информации Приморского филиала ФГБУ «Главрыбвод», 53 % половозрелых особей возвращаются в возрасте 4+, а 44 % — в возрасте 3+). Возраст кеты из р. Фирсовка определён нами как 3+.

Все производители находились на 4–5-й стадии зрелости половых продуктов. Длины тела АС и АД, а также средняя масса тела рыб представлены в табл. 1.

Как видно, наибольшей массой отличались рыбы из р. Пойма, наименьшей — особи из р. Фирсовка. В то же время средние по массе лососи из р. Рейдовая были самыми длинными («прогонистыми»), особенно самцы.

Все элементы определяли из кислотных минерализатов проб согласно ГОСТ 26929-94 (2010) на атомно-абсорбционном спектрофотометре Shimadzu AA-6800 (Cd и Pb — в графитовой печи, остальные — в пламени) в ЦКП «Центр ландшафтной диагностики и ГИС-технологий» ТИГ ДВО РАН. Минерализаты проб получены при разложении навесок органов и тканей рыб концентрированной  $\text{HNO}_3$  марки ОСЧ путём СВЧ-минерализации в комплексе MARS 6.

**Таблица 1.** Морфометрические показатели производителей кеты из рек Фирсовка, Рейдовая и Пойма (2018–2019)**Table 1.** Morphometric characteristics of *Oncorhynchus keta* from the Firsovka, Reidovaya, and Poima rivers (2018–2019)

Дата сбора	Место сбора, пол рыб	Средняя масса тела рыб, г (min–max)	Средняя длина рыб, см (min–max)	
			АС	АД
Октябрь 2018 г.	р. Рейдовая, ♀	2423 (2232–2774)	67,0 (65–69)	63,0 (61–65)
	р. Рейдовая, ♂	3115 (4834–2154)	71,0 (66–82)	67,0 (62–78)
Октябрь 2018 г.	р. Фирсовка, ♀	2096 (1626–2402)	56,6 (53–59)	53,4 (50–56)
	р. Фирсовка, ♂	3008 (2086–3008)	60,8 (53–60)	56,8 (53–60)
Октябрь 2019 г.	р. Пойма, ♀	3220 (2350–4250)	66,6 (60–71)	61,6 (55–66)
	р. Пойма, ♂	3330 (3000–3800)	68,6 (67–70)	64,6 (63–67)

**Примечание:** АС — длина по Смиту (до средних лучей хвостового плавника); АД — длина до конца чешуйного покрова.

**Note:** AC denotes length according to Smith (up to middle rays of caudal fin); AD, length up to end of scale cover.

Точность определения элементов, а также возможное загрязнение образцов в процессе анализа контролировали путём сравнения с калибровочными растворами, в том числе с «холостым» (нулевым) раствором (концентрированная  $\text{HNO}_3$ , 10 мл после нагрева в СВЧ-минерализаторе, выпаренная и разбавленная в том же соотношении 0,1 М раствором).

Точность и прецизионность использованного метода подтверждали регулярно анализом стандартного референтного материала SRM 1566a (NIST, ткани устрицы) на каждый определяемый в пробах элемент (табл. 2). Среднее значение, стандартное отклонение и достоверность сравниваемых различий (с использованием  $U$ -критерия Манна — Уитни) рассчитывали в программе SPSS Statistics 21 для macOS. Пределы обнаружения рассчитывали как  $3 \times SD$  (standard deviation, стандартное отклонение) 10 проб исследуемых рыб, смешанных с известным минимальным количеством искомых элементов. Для аналитов, которые не удавалось определить в смешанных пробах, пределы обнаружения находили как количество вещества в образце в соответствии с минимальной концентрацией калибровочного стандарта. Минимальное количество калибровочного стандарта определяли по ГОСТ 30178-96 (2010).

Определяли валовые концентрации (среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение) металлов Fe, Zn, Cu, Ni, Cd и Pb в  $\text{мкг} \cdot \text{г}^{-1}$  сырой массы.

**Таблица 2.** Сравнение результатов определения металлов ( $\text{мкг} \cdot \text{г}^{-1}$  сухой массы) в сертифицированном референтном материале [SRM 1566a (ткани устрицы)] и паспортных данных; предел обнаружения**Table 2.** Comparison of the results of trace metal determination ( $\text{μg} \cdot \text{g}^{-1}$  dry weight) in certified material [SRM 1566a (oyster tissue)] with passport data; detection limit

	Fe	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd
Паспорт	$539 \pm 15$	$830 \pm 57$	$66,30 \pm 4,3$	$0,371 \pm 0,014$	$2,25 \pm 0,44$	$4,15 \pm 0,38$
Контрольное определение	$554 \pm 16$	$821 \pm 51$	$61,09 \pm 3,2$	$0,358 \pm 0,012$	$2,52 \pm 0,48$	$4,19 \pm 0,37$
Предел обнаружения	0,2	0,01	0,02	0,01	0,05	0,01

Как видно, результаты контрольного определения элементов в сертифицированном образце сопоставимы с паспортными данными референтного материала.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Содержание микроэлементов в органах и тканях кеты, вернувшейся на нерест в реки Юго-Восточного Сахалина, о-ва Итуруп и юга Приморья, существенно различается (табл. 3).

**Таблица 3.** Содержание микроэлементов в органах и тканях *Oncorhynchus keta* из рек Фирсовка, Рейдовая и Пойма ( $\text{мкг}\cdot\text{г}^{-1}$  сырой массы)

**Table 3.** Trace elements content in *Oncorhynchus keta* organs and tissues from the Firsovka, Reidovaya, and Poima rivers ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  wet weight)

Органы и ткани	Fe	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd
О-в Сахалин, р. Фирсовка (октябрь 2018 г.)						
Мышцы	$7,6 \pm 2,5$	$1,66 \pm 0,23$	$0,52 \pm 0,15$	$0,40 \pm 0,15$	$0,29 \pm 0,10$	$0,06 \pm 0,02$
Печень	$60,2 \pm 34,6$	$3,48 \pm 1,24$	$0,54 \pm 0,22$	<b><math>1,18 \pm 0,36</math></b>	$0,23 \pm 0,10$	<b><math>0,66 \pm 0,15</math></b>
Гонады самцов	$13,0 \pm 6,2$	$1,74 \pm 0,23$	$0,39 \pm 0,12$	$0,48 \pm 0,17$	$0,19 \pm 0,05$	$0,12 \pm 0,03$
Гонады самок (икра)	$15,6 \pm 2,4$	$1,92 \pm 0,09$	$0,33 \pm 0,05$	$0,45 \pm 0,14$	$0,26 \pm 0,04$	$0,04 \pm 0,01$
О-в Итуруп, р. Рейдовая (октябрь 2018 г.)						
Мышцы	$11,4 \pm 3,9$	$1,74 \pm 0,29$	$0,49 \pm 0,12$	$0,45 \pm 0,07$	$0,26 \pm 0,11$	$0,05 \pm 0,02$
Печень	$48,1 \pm 19,1$	$3,35 \pm 1,22$	$0,55 \pm 0,315$	$0,87 \pm 0,19$	$0,31 \pm 0,07$	<b><math>0,72 \pm 0,3</math></b>
Гонады самцов	$10,4 \pm 4,0$	$2,18 \pm 0,23$	$0,38 \pm 0,14$	$0,64 \pm 0,09$	$0,23 \pm 0,05$	$0,09 \pm 0,03$
Гонады самок (икра)	$16,2 \pm 4,3$	$2,60 \pm 0,41$	$0,46 \pm 0,01$	$0,57 \pm 0,05$	$0,20 \pm 0,06$	$0,07 \pm 0,00$
Южное Приморье, р. Пойма (октябрь 2019 г.)						
Мышцы	$10,5 \pm 3,0$	$5,20 \pm 0,65$	$0,76 \pm 0,28$	Не опр.	$0,48 \pm 0,14$	Не опр.
Печень	$121,9 \pm 95,2$	$33,463 \pm 14,83$	$5,49 \pm 3,36$	Не опр.	$0,51 \pm 0,21$	Не опр.
Гонады самцов	$20,0 \pm 10,2$	$7,17 \pm 1,18$	$0,76 \pm 0,28$	Не опр.	$0,97 \pm 0,93$	Не опр.
Гонады самок (икра)	$23,4 \pm 5,5$	$20,67 \pm 0,82$	$5,68 \pm 0,40$	Не опр.	$0,75 \pm 0,38$	Не опр.

**Примечание.** Не опр. — не определяли; курсивом выделены повышенные величины концентраций для каждого из элементов, полужирным шрифтом — их наибольшие значения. ПДК ( $\text{мкг}\cdot\text{г}^{-1}$  сырой массы) для морепродуктов: Pb — 1,0; Cd — 0,2 (СанПиН 2.3.2.1078-01, 2002).

**Note.** Не опр. denotes "were not detected"; in italic, increased concentrations for each of trace element are highlighted; in bold, their highest values. According to sanitary rules and regulations, threshold limit values ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  wet weight) for seafood are as follows: Pb, 1.0; Cd, 0.2 (SanPiN 2.3.2.1078-01, 2002).

Как видно, по уровню содержания элементы ранжируются следующим образом: Fe открывает последовательность, Zn следует за ним, Cu и Pb делят 3-е и 4-е места, Ni заметно отстаёт от них, Cd замыкает ряд.

Япономорская кета отличается более высокими концентрациями всех определяемых элементов ( $p = 0,012 \dots 0,048$ ). Особенно обращает на себя внимание уровень содержания Fe в печени рыб из р. Пойма: оно в 2 раза выше, чем в кете из р. Фирсовка и почти в 3 раза выше, чем в рыбе из р. Рейдовая. В то же время в мышцах кеты из любой реки отмечены примерно равные или близкие значения концентраций. Явным преобладанием в приморской кете характеризуется Zn, причём величинами его концентраций заметно выделяются не только печень ( $p = 0,03$ ), но и гонады самок (икра) ( $p = 0,032$ ). Концентрации Cu как в печени, так и в икре самок япономорской кеты, довольно близкие по значению, были на порядок величин выше, чем таковые в курильских ( $p = 0,02$ ) и сахалинских рыбах ( $p = 0,029$ ). Концентрации Ni во всех органах и тканях япономорской кеты были также выше ( $p = 0,018 \dots 0,045$ ), чем в сахалинской и курильской рыбе; при этом, однако, и гонады самцов, и гонады самок отличались как большими содержаниями, так и большой изменчивостью их величин.

Если Ni был почти равномерно распределён между органами и тканями охотоморских рыб, то Cd в них заметно (на порядок величин и более) превалировал в печени. Приморские лососи характеризовались не только бóльшим количеством Ni в целом, но и иным его распределением. Так, если различие концентраций Ni в япономорской кете в мышцах и печени достигало 2 раз ( $p = 0,019$ ), то в гонадах как самок, так и самцов оно было в 3–4 раза выше ( $p = 0,012$ ), чем в мышцах, причём наибольшая концентрация Ni отмечена в гонадах самцов (содержание Ni в гонадах самцов было в 1,3 раза выше, чем в гонадах самок, хотя отличалось очень высокой изменчивостью).

### ОБСУЖДЕНИЕ

Повышенные концентрации Fe в гонадах самцов и самок япономорской кеты и самое высокое содержание железа в печени этих рыб, несомненно, свидетельствуют о большей терригенной нагрузке на акваторию практически замкнутого Японского моря и на его обитателей, а также о детоксикации избытка элемента печенью.

С терригенным стоком и поверхностным смывом в прибрежные воды Японского моря поступают не только Fe, но и другие микроэлементы (Христофорова и Чернова, 2005). Наличие Zn (второго по величине концентраций элемента в органах и тканях рыб) говорит о гораздо большем антропогенном прессе на акваторию Японского моря, чем Охотского. Вторым элементом, свидетельствующим об антропогенной нагрузке на среду и организмы, является Cu. Концентрации меди ни в печени, ни в гонадах самок и самцов охотоморских лососей заметно не отличались от содержания элемента в мышцах этих рыб. Однако в кете, пришедшей на нерест в р. Пойма, количество Cu в печени резко контрастировало с величиной меди в мышцах, что указывает, очевидно, на детоксикацию её избытка печенью. Обращает на себя внимание и сильное различие концентраций меди в гонадах самок и самцов у япономорской кеты, чего не зарегистрировано у охотоморских рыб. Поскольку Cu как микроэлемент является биофилом и биоцидом одновременно, гораздо более высокое содержание меди в гонадах самок свидетельствует, по-видимому, о более жёстком физиологическом контроле за содержанием элемента в тканях женских особей и о выводе его избытка из организма как с половыми продуктами, так и в результате детоксикации печенью. По крайней мере, детально изучая поведение металлов в организмах промысловых моллюсков залива Петра Великого (Христофорова и др., 1994) и обращая внимание на видовые особенности, сезонную изменчивость в распределении по органам и тканям и возрастные различия в содержании микроэлементов, мы неоднократно наблюдали половые различия в концентрировании таких токсичных металлов, как Cu, Pb и Cd, констатировали способность моллюсков ограничивать бионакопление меди и отмечали, как и другие авторы, что данная способность выше у самок в условиях повышенного содержания Cu в среде. Избыток Zn (настоящего биофила, в отличие от Cu) также выводится из организма, причём теми же путями, если судить по резкому преобладанию цинка в печени и в гонадах самок.

Преобладание Ni в печени рыб не зарегистрировано ни в курильских, ни в сахалинских, ни даже в приморских особях. В то же время заметно явное превышение его концентраций в гонадах япономорских рыб, особенно бесспорное для самок, что обусловлено, вероятно, процессом выделения половых продуктов в окружающую среду (Христофорова и др., 1994).

Таким образом, как можно видеть на ярком примере япономорских рыб, лишь небольшое количество поступающего в организм микроэлемента ассимилируется и перераспределяется в его органах и тканях; бóльшая же часть передаётся в систему выведения, что мы, как и другие авторы, наблюдали ранее на примере двустворчатых моллюсков (Христофорова и др., 1994).

Известно, что в пределах одного и того же вида особи бóльших возрастов или более крупные, весящие намного больше, чем особи меньших возрастов, имеют более высокие концентрации микроэлементов (Kelly et al., 2008 ; Khristoforova et al., 2019b). Возможно, бóльший

возраст (5+) и, следовательно, более продолжительный нагул, а также бóльшая масса японской кеты, чем сахалинской и итурупской, обусловили и более высокие концентрации в ней микроэлементов.

После выпуска молодь с ЛРЗ юго-восточной части Сахалина и о-ва Итуруп Курильской гряды попадает в побережье юго-западной части Охотского моря; молодь кеты с Приморских ЛРЗ скатывается в залив Петра Великого Японского моря.

Ещё сравнительно недавно было принято считать, что Японское море не является местом нагула и зимовок кеты. Однако не вся молодь кеты бассейна Японского моря в первый год жизни уходит в Охотское море и Тихий океан (Шунтов и Темных, 2011; Salo, 1991). А. Смирнов (1975) указывал, что приморская кета и часть амурской, сахалинской и хоккайдской кеты зимуют и нагуливаются в Японском море, к востоку и юго-востоку от Корейского п-ова. В конце 1990-х гг. было доказано, что некоторое количество кеты действительно зимует в Японском море (Семенченко и др., 1997); по другим представлениям, все сеголетки приморской кеты остаются зимовать в Японском море и только на следующий год частично покидают его (Горяинов и др., 2006).

Роль Японского моря как места нагула кеты, особенно в первый — морской — год её жизни, малоизвестна. В отличие от горбуши и симы, кету не ловили в зимний и зимне-весенний периоды в пределах российской экономической зоны в Японском море (Атлас распространения, 2002; Шунтов и др., 2004). Не упоминается она и в работах о дрифтерных лососевых рейсах в центральную и южную часть Японского моря. Фактических данных о конкретных участках и условиях зимовки кеты в Японском море нет. Однако существуют убеждения, что некоторое количество кеты, обитая бок о бок с горбушей, зимует в Японском море (Горяинов и др., 2007). Об этом свидетельствует их совместная встречаемость в уловах в местах зимовки и на путях анадромных миграций, что подтверждается многолетними исследованиями. Скопления горбуши, а следовательно, и кеты, зимой в Японском море распространены от Корейского залива до п-ова Ното, в двух районах зимовки. Первый из них располагается в широтном направлении от Корейского залива до о-ва Хонсю, второй — севернее, вдоль берегов о-ва Хоккайдо. Второй район зимовки характеризуется более низкими температурами и по условиям зимовки сходен с океанским. И. Б. Бирман (1986) полагал, рассматривая миграции приморской горбуши в Японском море в зимний период, что в течение зимы горбуша, «пришедшая с севера в воды Кореи, совершает миграции на восток в район п-ова Ното», где соединяются южная и северная ветви Цусимского течения. Течения, несомненно, приносят корм. В апреле рыба мигрирует обратно на запад и, достигнув Корейского залива, поднимается на север вдоль берегов Приморья, что, как можно думать, связано с прогревом вод и с возрастанием количества планктона.

Во время северных летних миграций лососей кета встречается в небольших количествах в открытых водах Приморья. Это установлено в большой серии летних траловых съёмки ТИНРО (Атлас распространения, 2002; Шунтов и др., 2004), а также в дрифтерных рейсах в мае и июне 1990-х — начала 2000-х гг. (Дударев и др., 2004; Семенченко и др., 1997). Эти факты дают основание полагать, что небольшая часть кеты в возрасте 3+ и 4+ вообще не уходит на нагул в океан (Шунтов и Темных, 2011). Миграции кеты всех возрастов, размножающейся в западной части Японского моря, в том числе на Корейском полуострове, практически не прослежены (Шунтов и Темных, 2008).

Основными же районами нагула кеты в азиатских водах являются западная часть Берингова моря, Охотское море, а также прикамчатские и прикурильские воды северо-западной части Тихого океана (Шунтов и Темных, 2011). Сахалинская и курильская молодь горбуши и кеты, вместе с другими стадами молоди, в начале зимы широким фронтом следует на нагул через северные Курильские проливы в открытые районы Тихого океана, расположенные между 40° и 45° с. ш. Впервые в жизни лососи пересекают геохимически импактную и в то же время высококормную

зону — Курильскую гряду и Курило-Камчатскую впадину. Второй раз горбуша пересекает импактную зону в следующем году, в процессе анадромной миграции, следуя в обратном направлении, к местам нереста (Khristoforova et al., 2019b). Что же касается кеты, то, по данным Шунтова и Темных (2011), за время своего морского периода жизни (как правило, 3–4 года) она может несколько раз проходить вдоль Курил, при этом концентрация микроэлементов в её тканях повышается. Обладая свойственным всем тихоокеанским лососям мощным потенциалом роста, за месяцы пребывания в море кета значительно прибавляет в длине и массе тела.

Совершая пространственные миграции, после зимовки кета поднимается к Командоро-Алеутскому жёлобу, входит в глубоководную западную часть Берингова моря и после нагула в этой зоне спускается вдоль Камчатки, постепенно двигаясь к полярному фронту на зимовку. Совершив не менее трёх циклов переходов в Берингово море и обратно, она, наконец, спускается по кормному маршруту вдоль Камчатки, Курильских островов и Курило-Камчатского жёлоба и через южные Курильские проливы устремляется к рекам азиатского побережья материка, Сахалина и Курил (Шунтов и Темных, 2008, 2011).

На пути на нагул и обратно, к родным рекам, у приморской кеты лежит Японское море. Через него она проходит дважды в своей жизни, следуя миграционными путями к местам нагула и обратно — на нерест в реки Приморья. Залив Петра Великого Японского моря и входящие в него заливы второго порядка, в том числе Амурский и Посъета, куда скатываются мальки кеты в первую очередь, характеризуются значительным антропогенным и терригенным воздействием на среду и биоту (Христофорова и др., 1994 ; Kobzar & Khristoforova, 2015). Таким образом, различные условия нагула и пути миграций кеты, имеющей «приморское» и «сахалинское» или «курильское» происхождение, отражаются на микроэлементном составе её органов и тканей. Оценивая содержание тяжёлых металлов в горбуше и симае в своих предыдущих работах (Христофорова и др., 2019а, 2018а ; Khristoforova et al., 2015, 2019b), мы также отмечали, что горбуша из Охотского и Японского морей имела существенные различия в концентрации микроэлементов в органах и тканях: япономорская характеризовалась преобладанием Zn, а сахалино-курильская, выходящая на нагул в Тихий океан и дважды проходившая через геохимически импактную и в то же время высококормную зону (Курильские острова и Курило-Камчатский жёлоб), — преобладанием Pb и Cd.

#### **Выводы:**

1. Курильская и восточно-сахалинская кета, выходящая на зимовку в океан и нагуливающаяся вдоль высококормной зоны, каковой являются прикурильские воды, аккумулирует в своих органах и тканях повышенные количества свинца и кадмия, что обусловлено, с одной стороны, выносом на поверхность питательных веществ, поставляемых вулканизмом и апвеллингами, который вызывает бурное развитие планктона, а с другой — геохимической импактностью региона, связанной, в частности, с высокой сорбируемостью этих элементов на питательных частицах взвеси.
2. Зимовка и нагул кеты в закрытом Японском море, которое слабо связано с океаном и подвержено терригенному, антропогенному и техногенному воздействию, сопровождаются накоплением в органах и тканях рыб железа, цинка, меди и никеля; данные элементы являются трассерами этих воздействий, индицирующими интенсивное судоходство, поступление хозяйственно-бытовых и промышленных стоков и практически полное окружение суши.
3. Преимущественное накопление металлов в печени, характерное для рыб исследованных районов (кроме никеля, который практически равномерно распределён между органами и тканями курильских и сахалинских рыб), а также возрастание концентраций элементов в гонадах самок, особенно заметное у япономорской кеты, где явно преобладает и никель, свидетельствуют о регуляторных возможностях организмов лососей и о поступлении (перераспределении) избытка элементов в систему выведения.

**Благодарность.** Авторы выражают глубокую благодарность за помощь в сборе материала приморским и сахалинским рыболовам А. А. Тюлебаеву, И. Н. Логашенко, К. В. Исаеву, В. А. Риховскому, А. В. Алексееву, Т. Л. Соболевой, А. В. Маниной (Приморский филиал ФГБУ «Главрыбвод»); А. А. Захарченко (Рейдовый ЛРЗ); В. В. Валееву (ЛРЗ «Фирсовка»).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Атлас распространения в море различных стад тихоокеанских лососей в период весенне-летнего нагула и преднерестовых миграций* / под ред. О. Ф. Гриценко. Москва : ВНИРО, 2002. 190 с. [*Atlas rasprostraneniya v more razlichnykh stad tikhookeanskikh lososei v period vesenne-letnego nagula i prednerestovykh migratsii* / O. F. Gritsenko (Ed.). Moscow : VNIRO, 2002, 190 p. (in Russ.)]
2. Бирман И. Б. *Морской период жизни и вопросы динамики стад тихоокеанских лососей*. Москва : Агропромиздат, 1986. 208 с. [Birman I. B. *Morskoi period zhizni i voprosy dinamiki stad tikhookeanskikh lososei*. Moscow : Agropromizdat, 1986, 208 p. (in Russ.)]
3. Горяинов А. А., Шатилина Т. А., Цициашвили Г. Ш., Радченкова Т. В., Лысенко А. В. Климатические причины снижения запасов амурских лососей в 20-м столетии // *ДВ Экспресс информация / Дальрыбтехника*. Владивосток, 2006. № 6. С. 1–17. [Goryainov A. A., Shatilina T. A., Tsitsiashvili G. Sh., Radchenkova T. V., Lysenko A. V. Klimaticheskie prichiny snizheniya zapasov amurskikh lososei v 20-m stoletii. In: *DV Ekspress informatsiya / Dal'rybtekhnika*. Vladivostok, 2006, no. 6, pp. 1–17. (in Russ.)]
4. Горяинов А. А., Шатилина Т. А., Лысенко А. В., Заволокина Е. А. *Приморская кета (рыбохозяйственный очерк)* : монография. Владивосток : ТИПРО-Центр, 2007. 197 с. [Goryainov A. A., Shatilina T. A., Lysenko A. V., Zavolokina E. A. *Primorskaya keta (rybokhozyaistvennyi ocherk)* : monografiya. Vladivostok : TINRO-Tsentr, 2007, 197 p. (in Russ.)]
5. ГОСТ 26929-94. *Сырьё и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения токсичных элементов* : межгосударственный стандарт : утверждён и введён в действие Постановлением Комитета Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации от 21.02.1995 № 78 : взамен ГОСТ 26929-86 : дата введения 01.01.1996 / разработан Всероссийским научно-исследовательским институтом консервной и овощесушильной промышленности (ВНИИКОП) и др. Москва : Стандартиформ, 2010. 12 с. [GOST 26929-94. *Raw Material and Food-stuffs. Preparation of Samples. Decomposition of Organic Matters for Analysis of Toxic Elements* : mezhgosudarstvennyi standart : utverzhden i vveden v deistvie Postanovleniem Komiteta Rossiiskoi Federatsii po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii ot 21.02.1995 No. 78 : vzamen GOST 26929-86 : data vvedeniya 01.01.1996 / razrabotan Vserossiiskim nauchno-issledovatel'skim institutom konservnoi i ovoshchesushil'noi promyshlennosti (VNIKOP). Moscow : Standartinform, 2010, 12 p. (in Russ.)]
6. ГОСТ 30178-96. *Сырьё и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов* : межгосударственный стандарт : утверждён и введён в действие Постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации от 26.03.1997 № 112 : введён впервые : дата введения 01.01.1998 / разработан Институтом питания Российской академии медицинских наук. Москва : Стандартиформ, 2010. 10 с. [GOST 30178-96. *Raw Material and Food-stuffs. Atomic Absorption Method for Determination of Toxic Elements* : mezhgosudarstvennyi standart : utverzhden i vveden v deistvie Postanovleniem Komiteta Rossiiskoi Federatsii po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii ot 26.03.1997 no. 112 : vveden vperve : data vvedeniya 01.01.1998 / razrabotan Institutom pitaniya Rossiiskoi akademii meditsinskikh nauk. Moscow : Standartinform, 2010, 10 p. (in Russ.)]

7. Дударев В. А., Байталюк А. А., Мокрин Н. М., Шелехов В. А. Современное состояние сырьевой базы рыболовства в северо-западной части Японского моря // *Вопросы рыболовства*. 2004. Т. 5, № 3 (19). С. 405–417. [Dudarev V. A., Baitalyuk A. A., Mokrin N. M., Shelekhov V. A. Sovremennoe sostoyanie syr'evoi bazy rybolovstva v severo-zapadnoi chasti Yaponskogo morya. *Voprosy rybolovstva*, 2004, vol. 5, no. 3 (19), pp. 405–417. (in Russ.)]
8. Марковцев В. Г. Состояние рыбного хозяйства стран АТР и перспективы международного рыбохозяйственного научно-технического сотрудничества // *Известия ТИНРО*. 2006. Т. 144. С. 365–397. [Markovtsev V. G. State of fish industry in countries of Asia-Pacific Region and perspectives of international fishery research cooperation. *Izvestiya TINRO*, 2006, vol. 144, pp. 365–397. (in Russ.)]
9. *Официальная информация о рыболовных предприятиях Приморского края по состоянию на 01.02.2020*. Владивосток : Приморский филиал ФГБУ «Главрыбвод», 2020а. 2 с. [Ofitsial'naya informatsiya o rybovodnykh predpriyatiyakh Primorskogo kraya po sostoyaniyu na 01.02.2020. Vladivostok : Primorskii filial FGBU "Glavrybvod", 2020a, 2 p. (in Russ.)]
10. *Официальная информация о рыболовных предприятиях Сахалинской области по состоянию на 01.02.2020*. Южно-Сахалинск : СКТУ ФАР, 2020б. 15 с. [Ofitsial'naya informatsiya o rybovodnykh predpriyatiyakh Sakhalinskoj oblasti po sostoyaniyu na 01.02.2020. Yuzhno-Sakhalinsk : SKTU FAR, 2020b, 15 p. (in Russ.)]
11. СанПиН 2.3.2.1078-01. *Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов*. Москва : Госкомсанэпиднадзор РФ, 2002. 156 с. [SanPiN 2.3.2.1078-01. *Gigienicheskie trebovaniya bezopasnosti i pishchevoi tsennosti pishchevykh produktov*. Moscow : Goskom-sanepidnadzor RF, 2002, 156 p. (in Russ.)]
12. Семенченко А. Ю., Крупянко Н. И., Золотухин С. Ф. Лососи рода *Oncorhynchus* в российской экономической зоне Японского моря. Биология // *Вопросы ихтиологии*. 1997. Т. 37, № 4. С. 482–489. [Semenchenko A. Yu., Krupyanko N. I., Zolotukhin S. F. Lososi roda *Oncorhynchus* v rossiiskoi ekonomicheskoi zone Yaponskogo morya. *Biologiya. Voprosy ikhtologii*, 1997, vol. 37, no. 4, pp. 482–489. (in Russ.)]
13. Смирнов А. И. *Биология, размножение и развитие тихоокеанских лососей*. Москва : Изд-во ВНИРО, 1975. 337 с. [Smirnov A. I. *Biologiya, razmnozhenie i razvitie tikhookeanskikh lososei*. Moscow : Izd-vo VNIRO, 1975, 337 p. (in Russ.)]
14. Христофорова Н. К. *Биоиндикация и мониторинг загрязнения морских вод тяжёлыми металлами*. Ленинград : Наука, 1989. 192 с. [Khristoforova N. K. *Bioindikatsiya i monitoring zagryazneniya morskikh vod tyazhelymi metallami*. Leningrad : Nauka, 1989, 192 p. (in Russ.)]
15. Христофорова Н. К., Литвиненко А. В., Цыганков В. Ю., Ковальчук М. В. Концентрации микроэлементов в симе *Oncorhynchus masou* из юго-западной части Охотского моря // *Биогеохимия – научная основа устойчивого развития и сохранения здоровья человека* : материалы Междунар. биогеохимической школы. Тула : Изд-во Тульского государственного педагогического университета, 2019а. С. 53–56. [Khristoforova N. K., Litvinenko A. V., Tsygankov V. Yu., Kovalchuk M. V. Kontsentratsii mikroelementov v sime *Oncorhynchus masou* iz yugo-zapadnoi chasti Okhotskogo morya. In: *Biogeokhimiya – nauchnaya osnova ustoichivogo razvitiya i sokhraneniya zdorov'ya cheloveka* : materialy Mezhdunar. biogeokhimicheskoi shkoly. Tula : Izd-vo Tul'skogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta, 2019a, pp. 53–56. (in Russ.)]
16. Христофорова Н. К., Литвиненко А. В., Цыганков В. Ю., Ковальчук М. В. Сравнение микроэлементного состава горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* Walbaum, 1792 из Сахалино-Курильского региона и Японского моря // *Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей* : материалы междунар. конф. Петропавловск-Камчатский : Изд-во «Камчатпресс», 2018а. С. 386–390. [Khristoforova N. K., Litvinenko A. V., Tsygankov V. Yu., Kovalchuk M. V. Comparison of microelement content of the pink salmon

- Oncorhynchus gorbuscha* Walbaum, 1792 from Okhotsk Sea and Sea of Japan. In: *Sokhranie bioraznoobraziya Kamchatki i prilgayushchikh morei* : materialy mezhdunar. konf. Petropavlovsk-Kamchatskii : Izd-vo "Kamchatpress", 2018a, pp. 386–390. (in Russ.)]
17. Христофорова Н. К., Чернова Е. Н. Сравнение содержания тяжёлых металлов в бурых водорослях и морских травах // *Доклады Академии наук*. 2005. Т. 400, № 4. С. 571–573. [Khristoforova N. K., Chernova E. N. Comparison of the content of heavy metals in brown algae and seagrasses. *Doklady Akademii nauk*, 2005, vol. 400, no. 4, pp. 571–573. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.1007/s10630-005-0044-7>
  18. Христофорова Н. К., Шулькин В. М., Кавун В. Я., Чернова Е. Н. *Тяжёлые металлы в промысловых и культивируемых моллюсках залива Петра Великого*. Владивосток : Дальнаука, 1994. 296 с. [Khristoforova N. K., Shulkin V. M., Kavun V. Ya., Chernova E. N. *Heavy Metals in Industrial and Cultivated Mollusks of Peter the Great Bay*. Vladivostok : Dalnauka, 1994, 296 p. (in Russ.)]
  19. Шунтов В. П., Бочаров Л. Н., Волвенко И. В., Иванов О. А., Измятинский Д. В., Глебов И. И., Кулик В. В., Старовойтов А. Н., Мерзляков А. Ю., Свиридов В. В., Темных О. С. *Нектон северо-западной части Японского моря. Таблицы численности, биомассы и соотношения видов*. Владивосток : ТИНРО-Центр, 2004. 225 с. [Shuntov V. P., Bocharov L. N., Volvenko I. V., Ivanov O. A., Izmyatinskii D. V., Glebov I. I., Kulik V. V., Starovoitov A. N., Merzlyakov A. Yu., Sviridov V. V., Temnykh O. S. *Nekton of the Northwestern Part of Japan (East) Sea. Abundance, Biomass and Species Ratio*. Vladivostok : TINRO-Tsentr, 2004, 225 p. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.13140/2.1.2488.8007>
  20. Шунтов В. П., Темных О. С. *Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах* : монография. Владивосток : ТИНРО-Центр, 2008. Т. 1. 481 с. [Shuntov V. P., Temnykh O. S. *Tikhookeanskii lososi v morskikh i okeanicheskikh ekosistemakh* : monografiya. Vladivostok : TINRO-Tsentr, 2008, vol. 1, 481 p. (in Russ.)]
  21. Шунтов В. П., Темных О. С. *Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах* : монография. Владивосток : ТИНРО-Центр, 2011. Т. 2. 473 с. [Shuntov V. P., Temnykh O. S. *Tikhookeanskii lososi v morskikh i okeanicheskikh ekosistemakh* : monografiya. Vladivostok : TINRO-Tsentr, 2011, vol. 2, 473 p. (in Russ.)]
  22. Kelly B. C., Ikonomou M. G., Higgs D. A., Oakes J., Dubetz C. Mercury and other trace elements in farmed and wild salmon from British Columbia, Canada. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2008, vol. 27, no. 6, pp. 1361–1370. <https://doi.org/10.1897/07-527>
  23. Khristoforova N. K., Tsygankov V. Yu., Boyarova M. D., Lukyanova O. N. Concentrations of trace elements in Pacific and Atlantic salmon. *Oceanology*, 2015, vol. 55, no. 5, pp. 679–685. <https://doi.org/10.1134/S0001437015050057>
  24. Khristoforova N. K., Emelyanov A. A., Efimov A. V. Bioindication of heavy-metal pollution in the coastal marine waters off Russky Island (Peter the Great Bay, Sea of Japan). *Russian Journal of Marine Biology*, 2018b, vol. 44, pp. 572–579. <https://doi.org/10.1134/S1063074018070040>
  25. Khristoforova N. K., Litvinenko A. V., Tsygankov V. Yu., Kovalchuk M. V., Erofeeva N. I. Trace element content in the pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) from the Sakhalin–Kuril region. *Russian Journal of Marine Biology*, 2019b, vol. 45, pp. 221–227. <https://doi.org/10.1134/S1063074019030064>
  26. Kobzar A. D., Khristoforova N. K. Monitoring heavy-metal pollution of the coastal waters of Amursky Bay (Sea of Japan) using the brown alga *Sargassum miyabei* Yendo, 1907. *Russian Journal of Marine Biology*, 2015, vol. 41, no. 5, pp. 384–388. <https://doi.org/10.1134/S1063074015050065>
  27. Salo E. O. Life history of cham salmon (*Oncorhynchus keta*). In: *Pacific Salmon Life Histories* / C. Groot, L. Margolis (Eds). Vancouver : UBC Press, 1991, pp. 233–309.

**COMPARATIVE CHARACTERISTICS  
OF THE TRACE ELEMENTAL COMPOSITION  
OF CHUM SALMON *ONCORHYNCHUS KETA* WALBAUM, 1792  
FROM THE SEA OF JAPAN AND THE SEA OF OKHOTSK**

**N. K. Khristorova<sup>1,2</sup>, A. V. Litvinenko<sup>3</sup>,  
V. Yu. Tsygankov<sup>1</sup>, and M. V. Kovalchuk<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

<sup>2</sup>Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, Russian Federation

<sup>3</sup>Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russian Federation

<sup>4</sup>RN-SakhalinNIPImorneft, Yuzhno-Sakhalinsk, Russian Federation

E-mail: [tsig\\_90@mail.ru](mailto:tsig_90@mail.ru)

Content of trace elements (iron, zinc, copper, nickel, lead, and cadmium) was determined in the most popular species of Pacific salmon on the consumer market – chum salmon *Oncorhynchus keta*, which is the second largest catch in Russian waters (after pink salmon *O. gorbuscha*). Metal content in fish organs and tissues (muscle tissue, liver, and gonads) was determined by the atomic absorption method using a Shimadzu AA-6800 spectrophotometer in flame and flameless atomizers from sample extracts; the latter ones were obtained by decomposition of weighed portions of concentrated HNO<sub>3</sub> (high purity) in a MARS 6 complex using standard samples with known concentrations. The data was statistically processed in SPSS Statistics 21. Sexually mature individuals of chum salmon (five specimens of males and females on each spot) were sampled in autumn 2018 in storage cages of salmon hatcheries on the Firsovka River (southeastern Sakhalin, Gulf of Patience) and Reidovaya River (Iturup Island, Kuril Islands), as well as in October 2019 in breeder holding cages on the Poima River (southwestern Primorye, the Sea of Japan). Muscle tissue, liver, and gonads were sampled from every individual. The elements determined were clearly divided according to content values into two groups depending on the sampling spot: Cd and Pb prevailed in organs and tissues of chum salmon from the Sakhalin-Kuril Region of the Sea of Okhotsk, whereas Fe, Zn, Cu, and Ni prevailed in the Sea of Japan fish. The reason for heavy metal contrasting distribution in fish organs and tissues is obviously environmental geochemical conditions formed in salmon feeding areas and on migration routes. In the Sea of Japan, practically enclosed, poorly connected with the Pacific Ocean by several shallow straits, the aquatic environment is under significant anthropogenic, technogenic, and terrigenous load (household and industrial drains, surface washing from coastal areas, and combustion of hydrocarbon fuel by ships). In the Sakhalin-Kuril basin, it is affected by natural phenomena: surface and underwater volcanism and post-volcanism of the Kuril Islands, as well as upwellings, which carry from the depths of the Kuril–Kamchatka Trench into the surface layer practically the entire set of chemical elements of the Mendeleev’s periodic table. At the same time, Pb, with its unusually high sorbability, is retained on any suspended particles, both living and non-living, and enters fish organisms with food. The distribution of trace elements over chum salmon organs and tissues differs significantly. Specifically, in fish muscle tissues, the lowest metal content is observed, regardless of the catch spot. The liver is characterized by increased levels of all metals, except for Ni, with the highest Fe, Zn, and Cu content recorded in the Sea of Japan fish liver. The distribution of metals in fish gonads is characterized by its own specificity, with very clear manifestation in the Primorye salmon. Thus, in female gonads, Fe, Zn, and especially Cu predominated: Cu content in female gonads from the Poima River was the same as in liver. Female gonads of the Sea of Japan chum salmon had the highest Ni concentration, although male gonads were characterized by a high, albeit very variable, content of this element as well. As for Pb and Cd, the most toxic elements monitored by sanitary services (for technical reasons, we determined their amount in the Sea of Okhotsk fish only), a well-known pattern was observed in their distribution in organs and tissues: maximum content was found in fish liver. Pb content exceeded the sanitary standard only in some individuals that came to spawn in the Firsovka River in the southeastern Sakhalin. Cd concentration in Sakhalin fish liver was 2.5–4.0 times higher than threshold limit value, and in Kuril fish liver, 2.1–5.0 times higher.

**Keywords:** Pacific salmon, chum salmon, Sakhalin-Kuril Region, Sea of Okhotsk, Primorsky Krai, Sea of Japan, trace elements