

УДК 574.632:504.45

**МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ГОРБУШИ  
*ONCORHYNCHUS GORBUSCHA* (WALBAUM, 1792)  
ИЗ САХАЛИНО-КУРИЛЬСКОГО РЕГИОНА**

© 2019 г. Н. К. Христофорова<sup>1,2, \*</sup>, А. В. Литвиненко<sup>3</sup>, В. Ю. Цыганков<sup>4</sup>,  
М. В. Ковальчук<sup>5</sup>, Н. И. Ерофеева<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Школа естественных наук, Дальневосточный федеральный университет,  
Владивосток 690091, Россия

<sup>2</sup>Тихоокеанский институт географии ДВО РАН,  
Владивосток 690041, Россия

<sup>3</sup>Сахалинский государственный университет,  
Южно-Сахалинск 693008, Россия

<sup>4</sup>Школа биомедицины, Дальневосточный федеральный университет,  
Владивосток 690091, Россия

<sup>5</sup>Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН,  
Южно-Сахалинск 693022, Россия

\*e-mail: marineecology@rambler.ru

Поступила в редакцию 02.10.2018 г.

После доработки 02.11.2018 г.

Принята к публикации 29.11.2018 г.

Исследовано содержание микроэлементов Hg, Cu, Pb, Cd, Ni, Zn и As в массовом виде тихоокеанских лососей горбуше *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) из садков рыбодных заводов (ЛРЗ) “Рейдовый” (о-в Итуруп) и “Фирсовка” (о-в Сахалин) в октябре 2016 г. Установлено, что содержание токсичных элементов Cd, Pb, As и Hg в горбуше из Сахалино-Курильского региона соответствовало санитарным требованиям Российской Федерации, предъявляемым к морепродуктам. В то же время оно было в несколько раз выше, чем в горбуше из прикурильских океанических вод во время ее анадромной миграции, и в десятки раз выше, чем в рыбах из Японского моря, выловленных у берегов Приморья в преднерестовое время в разные годы. Наибольшие различия выявлены для свинца, концентрация которого в мышцах, печени и икре рыб с островов Итуруп и Сахалин была соответственно в 50, 40 и 60 раз выше, чем в горбуше из Японского моря. Лишь содержание цинка в горбуше из Японского моря превышало таковое в горбуше с Сахалина и Курильских островов.

**Ключевые слова:** тихоокеанские лососи, горбуша, Сахалино-Курильский регион, лососевые рыбодные заводы, микроэлементы

**DOI:** 10.1134/S0134347519030069

Тихоокеанские лососи относятся к ведущим пелагическим объектам промысла. Сахалино-Курильский регион (СКР) — один из главных районов вылова лососей на Дальнем Востоке России. Здесь обитает пять видов лососей рода *Oncorhynchus*, но лишь два из них — горбуша (*O. gorbuscha*) и кета (*O. keta*) — являются основными промысловыми объектами. Остальные лососи (кижуч, сима, нерка) добываются в качестве прилова при промысле горбуши и кеты или при спортивном и браконьерском лове. Согласно данным официального сайта правительства Сахалинской области, в 2016 г. вылов горбуши и кеты в СКР составил 105.4 тыс. т (74 тыс. т горбуши и 31.4 тыс. т кеты), что соответствовало почти 1/4 части добычи этих лососей на Дальнем Востоке России.

Сахалинская область занимает ведущее место в России по выращиванию и выпуску в океан мальков лососевых рыб, в основном горбуши и кеты. Так, из 70 лососевых рыбодных заводов (ЛРЗ) Дальнего Востока 52 находятся на Сахалине и Курилах, причем Сахалинская область обеспечивает более 80% от общего объема искусственного воспроизводства лососевых в РФ (Доклад об экологической..., 2016). Общая производственная мощность ЛРЗ на конец 2015 г. составила 956.5 млн молоди лососевых. Большинство рыбодных заводов находится в южной части Сахалина и в центральной части о-ва Итуруп на его охотоморском побережье.

На о-ве Итуруп горбуша нерестится в 87 реках, однако решающую роль в воспроизводстве играют

9–10 рек, в которых сосредоточено от 67.4 до 89.9% нерестилищ. Именно в этих реках в результате естественного воспроизводства и заводского разведения происходит формирование ее промыслового запаса (Чупахин, 1975). Прибрежные воды южной части Сахалина и охотоморского побережья Итурупа наиболее комфортны для подрастающей молоди горбуши, поскольку прогреваются сильнее, чем остальные районы Охотского моря, прежде всего за счет струй и вихревых потоков, образующихся в юго-западной части моря и проникающих через прол. Лаперуза с теплым течением Соя (Пищальник и др., 2003). Подростая в прибрежных водах в течение месяца молодь горбуши распределяется в центрально-восточную часть Охотского моря, где условия нагула способствуют максимальному приросту длины тела (Шунтов, Темных, 2008).

В сентябре–октябре молодь охотоморской горбуши начинает мигрировать в океан в зону Субарктического, или Полярного, фронта, располагающуюся между 40° и 45° с.ш., которая характеризуется высокой продуктивностью и является пастбищной зоной тихоокеанских лососей в зимний период (Шунтов, 2001). Однако часть горбуши даже в январе задерживается в эпипелагиали над глубоководной котловиной моря и только в марте уходит в океан (Темных, 2004). Весной горбуша перемещается в зону нагула — в прикурильские воды Тихого океана, а затем, активно кормясь, направляется на нерест в родные места. Нагуливаясь, выходя на зимовку и мигрируя на нерест, рыбы могут неоднократно появляться в высококормном Курило-Камчатском регионе. Этот район имеет импактные геохимические условия, создаваемые подводным и надводным вулканизмом и апвеллингами, выносящими из глубин Курило-Камчатского желоба биогенные и другие элементы, формирующие биогеохимическую провинцию в океане. Условия обитания и нагула оставляют свой след в микроэлементном составе органов и тканей гидробионтов, в том числе лососей, что предполагает обязательный контроль за уровнем содержания токсичных элементов в промысловых объектах. В то же время информация о содержании микроэлементов в рыбах, перемещающихся через обширные (в том числе геохимически импактные) зоны, фрагментарна (Ковековдова, 2011; Ковековдова и др., 2013; Khristoforova et al., 2014; Христофорова и др., 2015a, 2015b; Khristoforova et al., 2016, 2018).

Цель настоящего исследования — определение содержания микроэлементов в пришедшей на нерест в реки Сахалино-Курильского региона горбуше, взятой в садках двух лососевых рыболовных заводов, один из которых расположен на о-ве Итуруп, другой находится в южной части восточного Сахалина. В число определяемых элементов входили такие эссенциальные (необходимые) элементы, как Zn и Cu, а также неэссенциальные Ni, Cd, Pb, As и Hg. Все они, кроме мышьяка, являются

тяжелыми металлами; к наиболее токсичным, контролируемым санитарными службами, относятся четыре последних элемента. Все микроэлементы могут быть трассерами природных биогеохимических провинций, что было неоднократно отмечено при изучении содержания тяжелых металлов Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Pb, Ni и Cr в морских бентосных организмах, обитающих на мелководье Курильских островов и обрастающих навигационные буи вдоль курило-камчатского побережья (Христофорова, Кавун, 1988; Кавун, Христофорова, 1991; Малиновская, Христофорова, 1997; Kavun et al., 2002).

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Объектом исследования были половозрелые особи горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792), пришедшие на нерест в начале октября 2016 г. и накопленные в садках рыболовных заводов для искусственного воспроизводства. Рыб отбирали на ЛРЗ “Рейдовый” (р. Рейдовая о-ва Итуруп, впадающая в зал. Простор Охотского моря) и на ЛРЗ “Фирсовка” (р. Фирсовка на восточном побережье Сахалина, впадающая в южную часть зал. Терпения Охотского моря) (рис. 1). На каждом заводе из садков отбирали по шесть особей (три самки и три самца). Органы и ткани рыб были отпрепарированы на Сахалине, пробы заморожены и доставлены в г. Владивосток для химического анализа.

Микроэлементы Zn, Cu, Ni, Cd, Pb и As определяли из кислотных минерализатов согласно ГОСТ 26929-94 (2010) на атомно-абсорбционном спектрофотометре Shimadzu AA 6800. Данные о массовой концентрации Hg получены методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторе “ТомьАналит” (ТА-4) (Христофорова и др., 2015б). Результаты анализа на содержание микроэлементов в органах и тканях горбуши представлены в табл. 1. Здесь же для сравнения приведены наши данные о концентрациях элементов в горбуше, выловленной в прикурильских океанических водах в июле 2013 г., а также сведения о диапазонах их содержания в *O. gorbuscha* из российских вод Японского моря (Ковековдова, 2011). Среднее значение и стандартное отклонение рассчитывали в программе SPSS Statistics 21 для Mac OS X.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Из микроэлементов, определенных в органах и тканях горбуши, ртуть отличалась наименьшими значениями концентрации — от  $0.03 \pm 0.009$  и  $0.04 \pm 0.005$  мкг/г в мышцах до  $0.07 \pm 0.003$ ,  $0.07 \pm 0.004$  и  $0.11 \pm 0.008$ ,  $0.09 \pm 0.006$  мкг/г в гонадах самцов и самок соответственно (табл. 1). Минорными, но более высокими, чем у Hg, значениями характеризовались Ni и Cd: в гонадах горбуши содержание Ni было в 1.2–1.5 раза выше, чем в мышцах; Cd в мышцах и гонадах рыб с ЛРЗ “Фирсовка” был распределен почти так же, как и Ni, но в горбуше с ЛРЗ “Рейдовый” кадмия было в целом

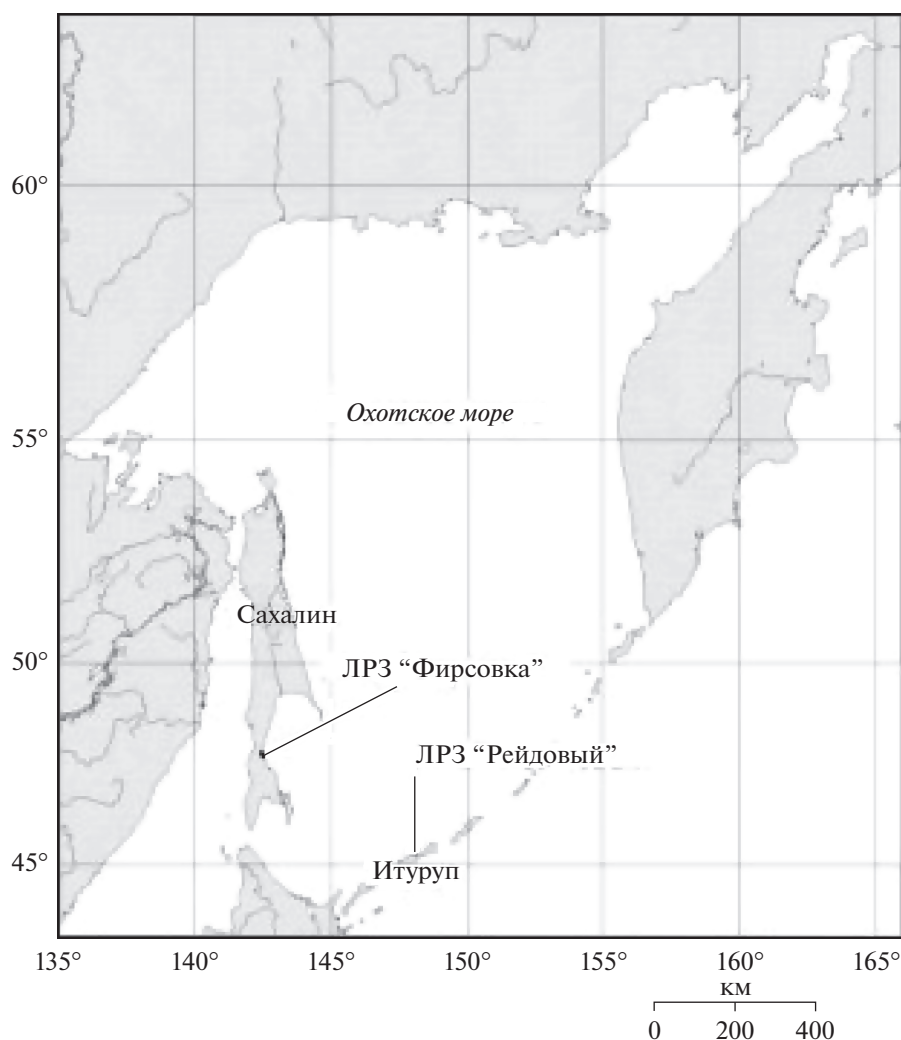


Рис. 1. Карта расположения рыбоводных заводов "Фирсовка" и "Рейдовый" в Сахалино-Курильском регионе.

больше:  $0.14 \pm 0.012$  мкг/г в мышцах,  $0.19 \pm 0.034$  и  $0.18 \pm 0.035$  мкг/г в гонадах. Концентрация Cu была в 2 раза выше таковой Ni как в мышцах, так и в гонадах лососей. Содержание микроэлементов увеличивалось от Pb к As и далее к Zn. Содержание свинца в мышцах рыб составляло  $0.59 \pm 0.050$  и  $0.67 \pm 0.050$  мкг/г, в гонадах самцов –  $0.87 \pm 0.014$  и  $0.89 \pm 0.014$  мкг/г, в икре самок –  $0.82 \pm 0.043$  и  $0.84 \pm 0.045$  мкг/г.

Важно отметить, что концентрации токсичных элементов в исследованных особях горбуши не превышали российский уровень ПДК и были ниже нормативов, принятых в Канаде и США. Однако, если концентрация ртути в лососях с ЛРЗ "Рейдовый" (более крупных и с более высоким содержанием всех элементов, чем горбуша с ЛРЗ "Фирсовка") была существенно ниже ПДК (в 5 раз в мышцах и в 2 раза в икре), то содержание свинца в гонадах самцов и икре самок горбуши с этого завода было близко к санитарному нормативу РФ. Лишь в мышцах итурупской горбуши концентрация Pb была ниже ПДК в 1.5 раза, а сахалинской гор-

буши – в 1.7 раза. Концентрация Cd приближалась к ПДК и почти достигала ее величины в гонадах рыб с ЛРЗ "Рейдовый". В генеративных органах лососей с ЛРЗ "Фирсовка" и в мышцах рыб из обоих заводов концентрация этого токсичного элемента была заметно ниже ПДК или составляла не более половины ее величины. Лишь концентрация мышьяка – четвертого из рассматриваемых в данной работе токсичных элементов, нормируемого санитарными правилами, даже в гонадах не превышала 1/4 величины этого показателя. Таким образом, концентрации свинца и кадмия в лососях Сахалино-Курильского региона могут вызывать некоторую озабоченность в связи с приближением их значений к санитарному нормативу. Смягчает эту ситуацию низкое содержание данных элементов в мышцах, т.е. в филе рыб.

#### ОБСУЖДЕНИЕ

Среди исторически сложившихся по уровню запасов горбуши районов СКР наиболее значи-

Таблица 1. Микроэлементы в органах и тканях горбуши Сахалино-Курильского региона и районов сравнения, мкг/г сырой массы ( $M \pm \sigma$ )

Органы и ткани	Zn	Cu	Ni	Cd	Pb	As	Hg
О-в Сахалин, ЛРЗ "Фирсовка", 06.10.2016 г., диапазон массы рыб 780–2100 г							
Мышцы	1.74 ± 0.061	0.20 ± 0.040	0.09 ± 0.008	0.08 ± 0.009	0.59 ± 0.050	0.90 ± 0.074	0.03 ± 0.009
Печень	2.86 ± 0.065	0.28 ± 0.012	0.13 ± 0.006	0.19 ± 0.018	0.92 ± 0.035	1.12 ± 0.096	0.09 ± 0.009
Гонады самцов	2.76 ± 0.021	0.26 ± 0.014	0.11 ± 0.006	0.12 ± 0.012	0.87 ± 0.014	1.09 ± 0.035	0.07 ± 0.003
Икра	2.51 ± 0.058	0.25 ± 0.016	0.12 ± 0.007	0.11 ± 0.019	0.82 ± 0.043	0.98 ± 0.049	0.07 ± 0.004
О-в Итуруп, ЛРЗ "Рейдовый", 09.10. 2016 г., диапазон массы рыб 1278–2362 г							
Мышцы	1.96 ± 0.075	0.24 ± 0.076	0.12 ± 0.007	0.14 ± 0.012	0.67 ± 0.050	0.94 ± 0.064	0.04 ± 0.005
Печень	3.14 ± 0.069	0.32 ± 0.034	0.18 ± 0.009	0.21 ± 0.018	0.96 ± 0.035	1.25 ± 0.098	0.12 ± 0.009
Гонады самцов	3.09 ± 0.045	0.33 ± 0.071	0.18 ± 0.009	0.19 ± 0.034	0.89 ± 0.014	1.14 ± 0.085	0.11 ± 0.008
Икра	3.01 ± 0.078	0.29 ± 0.036	0.15 ± 0.008	0.18 ± 0.035	0.84 ± 0.045	1.13 ± 0.086	0.09 ± 0.006
Прикурильские океанические воды, июль 2013 г., диапазон массы рыб 1168–1458 г (по: Христофорова и др., 2015б)							
Мышцы	1.29 ± 0.079	0.108 ± 0.012	Не определено	0.037 ± 0.005	0.503 ± 0.059	0.930 ± 0.093	0.030 ± 0.009
Печень	2.97 ± 0.089	0.165 ± 0.008	»	0.152 ± 0.015	0.902 ± 0.108	1.118 ± 0.089	0.120 ± 0.021
Гонады самцов	2.43 ± 0.029	0.090 ± 0.010	»	0.017 ± 0.006	0.297 ± 0.029	0.310 ± 0.017	0.053 ± 0.006
Икра	2.35 ± 0.076	0.087 ± 0.006	»	0.023 ± 0.006	0.327 ± 0.025	0.337 ± 0.060	0.070 ± 0.010
Японское море, диапазон содержания микроэлементов в горбуше, выловленной в 1992, 2001, 2008 гг. (по: Ковековдова, 2011)							
Мышцы	0.57–3.25	0.032–0.087	Не определено	0.005–0.012	0.012–0.013	0.300–1.370	0.007–0.015
Печень	3.00–4.35	0.119–0.165	»	0.080–0.145	0.020–0.025	0.450–0.800	0.010–0.025
Икра	2.90–3.90	0.037–0.090	»	0.001–0.003	0.007–0.020	0.100–0.320	0.003–0.005

Примечание. ПДК токсичных элементов (мкг/г сырой массы) в морепродуктах в России: Pb – 1.0, As – 5.0, Cd – 0.2, Hg – 0.2 (СанПиН ..., 2002); в Канаде: Hg – 0.5; в США: Cd – 3, Pb – 1.5, As – 86.

мыми являются о-в Итуруп, юго-восточное побережье Сахалина и зал. Анива. Основу уловов на восточном побережье Сахалина и южных Курильских островов составляют рыбы двух температурных форм — ранней и поздней, разделяемых по срокам нереста и ассоциируемых с двумя “волнами” прохождения анадромных мигрантов через прикурильские воды из Тихого океана в Охотское море (Каев, 2002). Смена форм горбуши, как правило, происходит в августе. Исследования последних десятилетий показали, что на о-ве Итуруп доминирует поздняя (осенняя) форма, как и в южной части побережья восточного Сахалина (Каев, 2007).

В предыдущей работе (Христофорова и др., 2015б) охарактеризован микроэлементный состав горбуши, выловленной в июле 2013 г. в прикурильских водах Тихого океана во время ее анадромной миграции в реки Охотского моря. В настоящем исследовании изучены особи горбуши, уже пришедшие на нерест на о-в Итуруп и в юго-восточную часть о-ва Сахалин в октябре. Несомненно, что это были рыбы второй волны анадромных мигрантов, двигавшиеся из прикурильских вод в родные реки, пересекавшие импактный и в то же время высококормный Курило-Камчатский регион второй раз.

Концентрации микроэлементов в мышцах и печени горбуши из прикурильских океанических вод и горбуши, пришедшей в р. Фирсовка, были довольно близки (табл. 1), однако в генеративных продуктах содержание микроэлементов различалось заметнее: оно было в 3–7 раз выше в сахалинских рыбах. Самыми низкими значениями характеризовалась япономорская горбуша, изученная в предыдущие годы Ковековдой (2011). Концентрации элементов в этой горбуше были существенно ниже, чем в рыбах Сахалино-Курильского региона. Наибольшие различия выявлены для свинца, содержание которого в мышцах, печени и икре рыб из СКР было соответственно в 50 (49–56), 40 (42–44) и 60 (63–65) раз выше, чем в горбуше из Японского моря, выловленной у северного Приморья. Исключением являлся Zn, верхние значения диапазонов концентраций которого в органах и тканях япономорской горбуши превышали уровни содержания этого элемента в горбуше СКР, что, очевидно, связано с антропогенным влиянием на почти замкнутое Японское море.

Как отмечено в нашей предыдущей работе (Христофорова и др., 2015б), не вся азиатская горбуша, нерестящаяся в реках бассейнов дальневосточных морей, уходит на зимовку в океан. В зимний период горбуша, воспроизводящаяся в реках Сахалино-Курильского региона, нагуливается в Японском море и в северо-западной части Тихого океана. Кроме сахалино-курильской горбуши в Японском море зимует горбуша других стад — приморского, амурского, североохотоморского и японского (Бирман, 1986; Атлас..., 2002). Район нагула горбуши в Японском море простирается от берегов Кореи до северных пределов распростра-

нения Цусимского течения. Именно отсюда горбуша мигрирует на нерест в реки северного Приморья, западного Сахалина, бассейна Амура, а также восточного Сахалина, южных Курильских островов и в реки, впадающие в зал. Анива. Основная горбуша воспроизводится в реках первых трех районов. Однако горбуша из Японского моря, мигрирующая на нерест в реки Сахалина, имеет крайне низкую численность, поэтому промысел базируется на ранней и поздней океанских группировках. Подход поздней группировки обычно заметен по увеличению размера рыб, особенно самцов. На Итурупе на протяжении многих лет доминировала поздняя группировка горбуши, поэтому наибольшие уловы приходились на вторую половину августа—начало сентября (Каев, 2007). Лососи, отобранные нами в октябре 2016 г. на двух ЛРЗ для исследования, относятся к поздней океанской группировке. Таким образом, выходя на нагул и возвращаясь на нерест, не все азиатские стада горбуши проходят через импактный Курильский район, в частности, минует его япономорская горбуша.

Основной район нагула сахалино-курильской горбуши находится в северо-западной части Тихого океана — в прикурильских водах, которые в настоящее время имеют самую высокую кормовую базу (табл. 2). Протяженность этого участка, согласно Бирману (1974), от 145° до 165° в.д. и на юг до 40° с.ш. Обильный зоопланктон, вобравший в себя еще более обильный фитопланктон, использующий биогенные и другие элементы, поставляемые вулканизмом и апвеллингами, передает их организмам следующего трофического уровня, в том числе рыбам эпипелагиали, и прежде всего тихоокеанским лососям. Очевидно, поэтому в пришедшей на нерест в октябре в реки Рейдовая и Фирсовка горбуше, нагуливавшейся в прикурильских водах северо-западной части Тихого океана и дважды проходившей через импактную геохимическую зону (сначала при выходе в океан на зимовку, затем при обратной миграции на нерест из океана в реки Охотского моря), концентрации всех микроэлементов (кроме Zn), были гораздо выше, чем в япономорской горбуше.

Горбуша, мигрировавшая на нерест из океана и выловленная в прикурильских океанических водах в июле 2013 г., при миграции на зимовку прошла из Охотского моря на юго-восток в зону Субарктического фронта от южной и центральной частей Курильской гряды неполовозрелой (Шунтов, Темных, 2011). Вероятно, поэтому лососи, следовавшие из океана на нерест в реки охотоморского побережья и выловленные на подступах к импактной зоне, еще не набрали такого количества микроэлементов, какое приобрели половозрелые рыбы, пересекавшие Курило-Камчатскую впадину и Курильскую гряду и пришедшие на нерест в реки Рейдовая и Фирсовка. Горбуша, пришедшая осенью 2016 г. на нерест в реки Итурупа и юго-восточной части Сахалина и задержанная на рыболовных заводах “Рейдовый” и “Фирсов-

**Таблица 2.** Динамика биомассы макрозоопланктона (мг/м<sup>3</sup>) в эпипелагиали разных зон дальневосточных морей и прилегающих вод северо-западной Пацифики (по: Шунтов, Темных, 2011)

Регион	1980–1990 гг.	1991–1995 гг.	1996–2005 гг.	2005–2010 гг.
Охотское море	1159	1022	793	334
Западная часть Берингова моря	519	564	928	578
Прикурильские воды Тихого океана	597	518	643	871
Северная часть Японского моря	381	516	412	Нет данных

ка”, по содержанию токсичных элементов Cd, Hg, Pb и As отвечала санитарным требованиям РФ (СанПиН ..., 2002). В то же время концентрации Cd и Pb в гонадах рыб приближались к санитарному нормативу (особенно в особях, пришедших на о-в Итуруп) и не достигали его лишь на 5–10% по кадмию и на 11–16% по свинцу. Причина повышенных концентраций тяжелых металлов в итурупской горбуше по сравнению с южно-сахалинской, по-видимому, не столько в крупных размерах рыб, сколько в близости геохимически импактно-го района, который пересекает и вдоль которого нагуливается горбуша, к району ее воспроизводства. Пройдя прол. Фриза (между островами Итуруп и Уруп) и повернув на запад, рыбы оказываются на охотоморской стороне острова вблизи родной нерестовой реки. Содержание микроэлементов в горбуше с обоих ЛРЗ было в несколько раз выше, чем в горбуше из прикурильских океанических вод во время ее анадромной миграции (июль 2013 г.), и в десятки раз выше, чем в горбуше из Японского моря, выловленной у берегов Приморья в преднерестовое время в разные годы. Лишь содержание цинка в горбуше из Японского моря превышало таковое в рыбе с Сахалина и Курил. Наибольшие различия выявлены для свинца, концентрация которого в мышцах, печени и икре рыб с Итурупа и Сахалина была примерно в 50, 40 и 60 раз выше, чем в горбуше из Японского моря.

Таким образом, данные о содержании микроэлементов в органах и тканях лососей позволяют получить представление о районах нагула и нерестовой миграции рыб, а также объяснить природную обусловленность диапазонов их концентраций. По мнению Каева и Животовского (2017) “...на-сушной необходимостью для управления ресурсами горбуши является ее постоянный мониторинг во всех регионах Дальнего Востока, включающий детальные экологические, гидрологические, ихтиологические и генетические исследования”. Полагаем, что настоящая работа вносит определенную лепту в понимание экологии этого вида лососей в Сахалино-Курильском регионе.

Авторы выражают благодарность д. б. н. профессору В.П. Шунтову за научные консультации.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (соглашение № 14-50-00034).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас распространения в море различных стад тихоокеанских лососей в период весенне-летнего нагула и преднерестовых миграций. М.: ВНИРО. 2002. 190 с.
- Бирман И.Б. Морской период жизни и вопросы динамики стад тихоокеанских лососей. М.: Агропромиздат. 1986. 208 с.
- Бирман И.Б. Морской период жизни и вопросы динамики стада тихоокеанских лососей: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Москва. 1974. 39 с.
- ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. М.: Стандартинформ. 2010. 12 с.
- Доклад об экологической ситуации и об охране окружающей среды в Сахалинской области в 2015 году / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Сахалинской обл. Южно-Сахалинск: ООО “Эйкон”. 2016. 208 с.
- Кавун В.Я., Христофорова Н.К. Роль современного вулканизма и апвеллингов в формировании импактных зон тяжелых металлов в прибрежных водах Курильских островов // Мелководные газогидротермы и экосистема бухты Кратерной (вулкан Ушишир, Курильские острова). Кн. 1, ч. 2. Владивосток: ДВО РАН. 1991. С. 114–120.
- Каев А.М. Временная структура миграционного потока горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в Охотское море // Изв. ТИНРО. 2002. Т. 120. С. 904–920.
- Каев А.М. Промыслово-биологическая характеристика горбуши на Сахалине и Южных Курильских островах в 2007 г. // Бюл. № 2 реализации “Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей”. ТИНРО-центр. 2007. С. 21–26.
- Каев А.М., Животовский Л.А. О вероятном перераспределении горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* между районами воспроизводства разных стад в Сахалино-Курильском регионе // Вопр. ихтиологии. 2017. Т. 57. № 3. С. 264–274.
- Ковековдова Л.Т. Микроэлементы в морских промысловых объектах Дальнего Востока России: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Владивосток: ТИНРО-центр. 2011. 40 с.
- Ковековдова Л.Т., Симоков М.В., Куку Д.П. Микроэлементный состав промысловых рыб дальневосточных морей // Пробл. регион. экологии. 2013. № 2. С. 72–75.
- Малиновская Т.М., Христофорова Н.К. Характеристика прибрежных вод южных Курил по содержанию микроэлементов в организмах-индикаторах // Биол. моря. 1997. Т. 23. № 4. С. 239–246.

- Пищальник В.М., Архиткин В.С., Юрасов Г.И., Ермоленко С.С. Сезонные вариации циркуляции вод в прибрежных районах Сахалина // Метеорол. и гидрология. 2003. № 5. С. 87–95.
- СанПиН 2.3.2.1078–01 Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. М.: Госкомсанэпиднадзор РФ. 2002. 156 с.
- Темных О.С. Азиатская горбуша в морской период жизни: биология, пространственная дифференциация, место и роль в пелагических сообществах: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Владивосток: ТИНРО-центр. 2004. 47 с.
- Христофорова Н.К., Кавун В.Я. Мониторинг состояния вод дальневосточных морей по мидиям-обрастателям навигационных буев // Докл. АН СССР. 1988. Т. 300. № 5. С. 1274–1276.
- Христофорова Н.К., Цыганков В.Ю., Боярова М.Д., Лукьянова О.Н. Содержание микроэлементов в тихоокеанских и атлантических лососях // Океанология. 2015а. Т. 55. № 5. С. 751–758.
- Христофорова Н.К., Цыганков В.Ю., Боярова М.Д., Лукьянова О.Н. Содержание тяжелых металлов в горбуше *Oncorhynchus gorbuscha* Walbaum, 1792 из прикурильских вод во время анадромной миграции // Биол. моря. 2015б. Т. 41. № 6. С. 447–452.
- Чупахин В.М. Естественное воспроизводство южнокурильской горбуши // Тр. ВНИРО. 1975. Т. 106. С. 76–77.
- Шунтов В.П. Биология дальневосточных морей России. Владивосток: ТИНРО-центр. 2001. Т. 1. 580 с.
- Шунтов В.П., Темных О.С. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах: монография. Владивосток: ТИНРО-центр. 2008. Т. 1. 481 с.
- Шунтов В.П., Темных О.С. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах: монография. Владивосток: ТИНРО-центр. 2011. Т. 2. 473 с.
- Kavun V.Ya., Shulkin V.M., Khristoforova N.K. Metal accumulation in mussels of the Kuril Islands, north-west Pacific Ocean // Mar. Environ. Res. 2002. V. 53. P. 219–226.
- Khristoforova N.K., Tsygankov V.Yu., Boyarova M.D., Lukyanova O.N. The Role of the Biogeochemical Conditions of the Marine Environment on the Trace Element Content in Pacific Salmon // Achiev. Life Sci. 2014. V. 8. P. 55–60.
- Khristoforova N.K., Tsygankov V.Yu., Lukyanova O.N., Boyarova M.D. The Kuril Islands as a Potential Region for Aquaculture: Trace Elements in Chum Salmon // Environ. Poll. 2016. V. 213. P. 727–731.
- Khristoforova N.K., Tsygankov V.Yu., Lukyanova O.N., Boyarova M.D. High mercury bioaccumulation in Pacific salmon from the Sea of Okhotsk and the Bering Sea // Environ. Chem. Lett. 2018. V. 16. P. 575–579.

## Trace Element Content in the Pink Salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) from the Sakhalin–Kuril Region

N. K. Khristoforova<sup>a,b</sup>, A. V. Litvinenko<sup>c</sup>, V. Yu. Tsygankov<sup>d</sup>,  
M. V. Kovalchuk<sup>e</sup>, and N. I. Erofeeva<sup>d</sup>

<sup>a</sup>*School of Natural Sciences, Far Eastern Federal University, Vladivostok 690091, Russia*

<sup>b</sup>*Pacific Geographical Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok 690041, Russia*

<sup>c</sup>*Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk 693008, Russia*

<sup>d</sup>*School of Biomedicine, Far Eastern Federal University, Vladivostok 690091, Russia*

<sup>e</sup>*Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk 693022, Russia*

Contents of the trace elements Hg, Cu, Pb, Cd, Zn, and As were measured in the pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792), a common Pacific salmon species, kept in the net-pens of the fish hatcheries Reydovy (Iturup Island) and Firsovka (Sakhalin Island) in October 2016. The levels of such toxic elements as Cd, Pb, As, and Hg in the pink salmon from the Sakhalin–Kuril region were found to meet the official sanitary norms for seafood in the Russian Federation. At the same time, it was a few times higher than that in the pink salmon from ocean waters off the Kuril Islands during its anadromous migration and dozens of times higher than in the fish from the Sea of Japan, caught off the Primorsky Krai coast during the pre-spawn period in different years. The greatest differences were recorded for lead, the concentration of which in muscles, liver, and eggs of the fish from the rivers of Iturup and Sakhalin was, respectively, 50, 40, and 60 times higher than that in the pink salmon from the Sea of Japan. The only trace element whose level in the pink salmon from the Sea of Japan exceeded that in the fish from Sakhalin and the Kuril Islands was zinc.

**Keywords:** Pacific salmon, pink salmon, Sakhalin–Kuril region, salmon hatcheries, trace elements