



Микроэлементный состав горбуши (*Pink Salmon*) и кеты (*Chum Salmon*) в период раннего онтогенеза

<https://doi.org/10.36038/0131-6184-2025-5-98-108>

EDN: VZLFHT

Научная статья УДК 639.3

Литвиненко Анна Владимировна – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры экологии, биологии и природных ресурсов, лаборатория прикладной экологии, Институт естественных наук и техносферной безопасности, ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет»; лаборатория геохимии, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия

E-mail: litvinenko.av@bk.ru

Горячев Степан Владимирович – аспирант кафедры естественных наук, отдел аспирантуры, Институт морской геологии и географии ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

E-mail: stepkagoryachev@yandex.ru

Донец Максим Михайлович – младший научный сотрудник лаборатории геохимии, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

E-mail: maksim.donecz@mail.ru

Беланов Максим Андреевич – младший научный сотрудник лаборатории геохимии, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

E-mail: belanov.ma@gmail.com

Боровкова Александра Дмитриевна – младший научный сотрудник лаборатории геохимии, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

E-mail: borovkovasdm@yandex.ru

Карпенко Ирина Витальевна – младший научный сотрудник лаборатории прикладной экологии, Сахалинский государственный университет, Южно-Сахалинск, Россия

E-mail: irinakarpenko99@mail.ru

Багдасарян Александр Сергеевич – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры экологии, биологии и природных ресурсов, Сахалинский государственный университет, Южно-Сахалинск, Россия

E-mail: lepidium@mail.ru

Цыганков Василий Юрьевич – доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории геохимии, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН

E-mail: tsig_90@mail.ru

Адреса:

1. Тихоокеанский институт географии ДВО РАН – Россия, 690041, Владивосток, ул. Радио, 7
2. ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет» – Россия, 693000, Сахалинская область, г. Южно-Сахалинск, ул. Ленина, д. 290
3. Институт морской геологии и географии ДВО РАН – Россия, 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б

Аннотация. В работе изучено содержание Fe, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb и Mn в оплодотворенной икре, предличинках и личинках горбуши и кеты с трех рыбоводных предприятий Сахалинской области перед началом кормления, а также в предличинках кеты из нерестовых бугров с естественных нерестилищ; выполнено сравнение микроэлементного состава зигот с гаметами производителей. Увеличение концентрации микроэлементов после оплодотворения икры прослеживалось не для всех металлов. После вылупления наблюдали резкое падение уровней металлов в связи с потерей оболочки и перивителлиновой жидкости; на последующих этапах раннего онтогенеза содержание металлов в организме рыб возрастало. Максимальные колебания концентраций микроэлементов приходится на период раннего онтогенеза лососей, при этом изменение концентрации обусловлены не столько внешними факторами, сколько переходом на следующий этап развития.

Ключевые слова: оплодотворенная икра, предличинки, личинки, эндогенное питание, эссенциальные, неэссенциальные микроэлементы

Для цитирования: Литвиненко А.В., Горячев С.В., Донец М.М., Беланов М.А., Боровкова А.Д., Карпенко И.В., Багдасарян А.С., Цыганков В.Ю. Микроэлементный состав горбуши (*Pink Salmon*) и кеты (*Chum Salmon*) в период раннего онтогенеза // Рыбное хозяйство. 2025. № 5. С. 98-108. <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2025-5-98-108>

MICROELEMENT COMPOSITION OF PINK SALMON (*PINK SALMON*) AND CHUM SALMON (*CHUM SALMON*) IN THE PERIOD OF EARLY ONTOGENESIS —

Anna V. Litvinenko – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Ecology, Biology and Natural Resources, Laboratory of Applied Ecology, Institute of Natural Sciences and Technosphere Safety, Sakhalin State University; Laboratory of Geochemistry, Pacific Institute

of Geography, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Stepan V. Goryachev – Postgraduate Student of the Department of Natural Sciences, Department of Postgraduate Studies, Institute of Marine Geology and Geography, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Maksim M. Donets – Junior Researcher at the Laboratory of Geochemistry, Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

Maksim A. Belanov – Junior Researcher at the Laboratory of Geochemistry, Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

Aleksandra D. Borovkova – Junior Researcher at the Laboratory of Geochemistry, Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

Irina V. Karpenko – Junior Researcher at the Laboratory of Applied Ecology, Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Aleksander S. Bagdasaryan – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Ecology, Biology and Natural Resources, Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Vasiliy Yu. Tsygankov – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Leading Researcher at the Laboratory of Geochemistry, Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

Addresses:

1. Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences – Russia, 690041, Vladivostok, Radio Street, 7

2. Sakhalin State University – Russia, 693000, Sakhalin Region, Yuzhno-Sakhalinsk, Lenin St., 290

3. Institute of Marine Geology and Geography, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences – Russia, 693022, Yuzhno-Sakhalinsk, Nauki str., 1B

Annotation. The content of Fe, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, and Mn in fertilized caviar, pink salmon and chum salmon larvae and larvae from three fish hatcheries in the Sakhalin region before feeding, as well as in chum salmon larvae from spawning mounds from natural spawning grounds, was studied; the microelement composition of zygotes was compared with the gametes of producers. An increase in the concentration of trace elements after fertilization of eggs was not observed for all metals. After hatching, a sharp drop in metal levels was observed due to the loss of the shell and perivitelline fluid.; In the subsequent stages of early ontogenesis, the metal content in the fish body increased. The maximum fluctuations in the concentrations of trace elements occur during the early ontogenesis of salmon, while the change in concentration is due not so much to external factors as to the transition to the next stage of development.

Keywords: fertilized eggs, pre-larvae, larvae, endogenous nutrition, essential, nonessential microelements

For citation: Litvinenko A.V., Goryachev S.V., Donets M.M., Belanov M.A., Borovkova A.D., Karpenko I.V., Bagdasaryan A.S., Tsygankov V.Yu. (2025). Microelement composition of pink salmon (*Pink Salmon*) and chum salmon (*Chum Salmon*) in the period of early ontogenesis. // Fisheries. No. 5. Pp. 98-108. <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2025-5-98-108>

Рисунки и таблицы – авторские / The drawings and tables were made by the author

Горбушу и кету в России искусственно разводят на лососевых рыбоводных заводах (ЛРЗ) Дальнего Востока. В Сахалинской области работает около 80 рыбоводных предприятий, выпускающих в воды Северо-Западной Пацифики более 1,4 млрд молоди кеты и горбуши (СКТУ ФАР, 2024). Популяции в нерестовых реках – смешанные, состоящие как из потомства, вы-

шедшего из нерестовых гнезд, так и полученного в результате искусственного разведения.

В процессе миграций и нагула лососи в океане накапливают в своих органах и тканях определенное количество эссенциальных и неэссенциальных микроэлементов, часть из которых входит в состав половых продуктов (гамет), которые используют для искусственного воспроизводства на ЛРЗ.

Некоторые авторы проводили исследования микроэлементного состава в период подращивания молоди в искусственных условиях, когда поступление в организм тяжелых металлов и других микроэлементов происходило алиментарным путем [Владовская, 2001; Запорожец, 2006; Montory et al., 2020; Yabanli et al., 2021 и др.]. Однако процесс трансформации и количественные преобразования этих элементов в организме на ранних этапах онтогенеза (эндогенное питание), до сих пор не был описан.

Цель исследования: выяснить концентрацию микроэлементов в тихоокеанских лососях на примере горбуши и кеты на ранних этапах жизненного цикла, в том числе в искусственных условиях (ЛРЗ) и естественной среде.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сбор проб

Для определения содержания микроэлементов в лососях, на ранних этапах онтогенеза отбирали оплодотворенную икру горбуши и кеты, предличинок, вскоре после вылупления из яичевых оболочек, и личинок – после подъема на плав, до начала кормления в кана-



Рисунок 1. Точки сбора материала в Сахалинской области

Figure 1. Collection points in the Sakhalin region

Таблица 1. Время сбора, возраст и морфометрические показатели предличинок, личинок и молоди горбуши и кеты / **Table 1.** Harvest time, age, and morphometric parameters of pre-larvae, larvae, and juveniles of pink salmon and chum salmon

Место сбора, вид рыбы	Дата сбора проб	Стадия развития	Возраст, сут	Длина АС/АД, мм	Средний вес, мг	Вес желт. мешка (мг)/% от веса тела
ЛРЗ «Фирсовка»/горбуша	05.12.2018	Предличинки	72	20,8/19,9	133,2	93,0/69,8
	09.05.2019	Личинки, поднятие на плав	227	34,6/30,6	213,7	22,6/10,6
	20.12.2018	Предличинки	83	21,4/20,1	176,1	125,4/71,2
ЛРЗ «Фирсовка»/кета	19.05.2018	Личинки, поднятие на плав	214	34,8/31,2	279,5	13,9/4,9
	10.04.2019	Предличинки	-	35,1/32,0	302,4	33,7/11,0
ЛРЗ «Рейдовый»/горбуша	09.01.2019	Предличинки	110	22,9/22,4	141,5	96,0/67,8
	06.05.2019	Личинки, поднятие на плав	227	31,9/28,8	219,4	32,7/14,97
	14.01.2019	Предличинки	86	22,5/21,5	211,0	163,8/77,6
ЛРЗ «Рейдовый»/кета	06.04.2019	Личинки, поднятие на плав	168	35,4/32,3	327,1	28,8/8,81
	17.11.2018	Предличинки	58	23,5/22,5	219,2	116,8/53,28
ЛРЗ «Ловецкий»/кета	25.04.2019	Личинки, поднятие на плав	217	36,1/31,3	340,9	11,0/3,2

лах ЛРЗ «Рейдовый» (о. Итуруп) и ЛРЗ «Фирсовка» и «Ловецкий» (о. Сахалин) в сентябре-апреле 2016-2019 годов. Предличинок кеты от естественного нереста отбирали в нерестовых гнездах в р. Фирсовка (базовый водоток ЛРЗ «Фирсовка») в апреле 2019 года.

Отбор оплодотворенной икры проводили в инкубационных аппаратах типа «Бокс» в условиях рыболовных заводов.

Отбор предличинок и личинок проводили в питомных каналах ЛРЗ в возрасте 72-227 суток. Возраст и морфометрические показатели предличинок и личинок лососей приведены в таблице 1. Размерно-весовые показатели предличинок и личинок лососей определяли, пользуясь стандартной методикой [17].

Всего было собрано и обработано 1700 образцов горбуши и кеты на ранних этапах онтогенеза (икра, предличинки, личинки). Все образцы замораживали до температуры -18°C и доставляли в г. Владивосток для анализа.

Подготовка проб

Минерализаты проб получены при разложении навесок органов и тканей рыб концентрированной (70%) HNO_3 марки ОСЧ путем СВЧ-минерализации в комплексе MARS-6.

Инструментальный анализ

Все элементы определялись из кислотных минерализатов проб икры, предличинок и личинок лососей, согласно ГОСТ 26929-94, на атомно-абсорбционном спектрофотометре

Shimadzu AA 7000 в ЦКП ЦЛЭДГИС ТИГ ДВО РАН (ГОСТ 26929-94). В число определяемых элементов входили Fe, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb и Mn. В сумме выполнено 2380 элемент-определений. Концентрацию металлов выражали в мкг/г сырой массы в следующем виде: среднее значение $\pm$ стандартное отклонение.

Точность определения микроэлементов, содержащихся в пробах, их возможное загрязнение контролировали путем сравнения с калибровочными и холостыми растворами. Точность метода, используемого в исследовании, подтверждалась регулярным анализом стандартного образца SRM-1566a (ткань устрицы, Национальное бюро стандартов, США).

Статистический анализ

Среднее значение, стандартное отклонение и достоверность сравниваемых различий (с использованием U -критерия Манна-Уитни) рассчитывали в программе SPSS Statistics 21 и R для Windows.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Концентрация в половых железах производителей различных видов рыб некоторых биологически активных металлов в преднерестовый период чаще всего выше, чем в других органах и тканях [10]. Однако такие токсичные металлы как ртуть и свинец характеризуются, как правило, пониженным содержанием в половых продуктах рыб (табл. 2).

Таблица 2. Состав микроэлементов в яичниках горбуши и кеты, мкг/г сырой массы /
Table 2. Composition of trace elements in pink salmon and chum salmon ovaries,
mcg/g of crude weight

Место сбора/ Микроэлементы	Zn	Cu	Ni	Cd	Pb	Fe	Mn
Горбуша							
Рейдовый ЛРЗ	21,02±3,33	5,61±0,86	0,42±0,31	0,001±0,005	0,24±0,06	18,08±6,09	0,57±0,26
ЛРЗ «Фирсовка»	2,13±0,31	0,48±0,18	0,21±0,06	0,04±0,01	0,51±0,13	13,47±1,44	н/о
Кета							
Рейдовый ЛРЗ	2,60±0,41	0,46±0,1	0,20±0,06	0,08±0,002	0,57±0,05	16,18±4,27	н/о
ЛРЗ Фирсовка	3,20±0,003	3,84±0,44	0,15±0,02	0,02±0,008	0,03±0,02	4,08±0,51	н/о
Ловецкий ЛРЗ	18,99±1,33	5,49±0,52	0,57±0,2	0,006±0,003	0,14±0,02	16,15±1,39	0,62±0,26

Примечание: *н/о – не определяли

После оплодотворения обычно икра интенсивно накапливает микроэлементы на своей оболочке из окружающей среды [20; 4], что было частично нами подтверждено: увеличение концентрации Zn, Cu и Ni, демонстрирующее накопление ТМ от гамет к зиготам, наблюдалось на уровне тенденции; увеличение Mn, Pb, Cd и Fe в оплодотворенной икре, по сравнению с гаметами в яичниках самок, прослеживалось не во всех пробах [11] (рис. 2).

На последующих этапах онтогенеза концентрация микроэлементов в организме рыб значительно варьировала. Величина изменчивости содержания микроэлементов на протяжении разных этапов жизненного цикла, вероятно, превышает вариабельность какой-либо другой биохимической характеристики тканей рыб. Максимальные колебания концентрации микроэлементов приходится на период раннего онтогенеза [11].

Н. Westerhagen с коллегами [28], В.И. Воробьев [4] и другие авторы отмечали, что у рыб, в частности, у тилапии, вслед за моментом вылупления наступало резкое уменьшение концентрации рассматриваемых металлов. Н.П. Морозов и С.А. Петухов [16] такую же тенденцию обнаружили в динамике микроэлементов на ранних стадиях онтогенеза у кеты и кижуча. У личинок всех исследованных видов рыб понижение содержания микроэлементов продолжалось в течение довольно длительного времени, целиком включающего период эндогенного и частично – период смешанного питания.

При вылуплении эмбриона практически все избыточное количество металлов теряется с оболочкой и перивителлиновой жидкостью, так что концентрация микроэлементов в личинках из загрязненной металлами среды обитания становится почти равной концентрации микроэлементов в личинках из незагрязненных водоемов. На последующих этапах ран-

него онтогенеза содержание металлов в организме рыб в загрязненных условиях начинает возрастать пропорционально их концентрации в окружающей среде [15].

На этапе вылупления из яйцевых оболочек, наступающего в условиях Сахалинской области примерно через 3-4 месяца после закладки на инкубацию икры, в зависимости от температуры воды, в предличинках горбуши и кеты из всех точек сбора, по сравнению с икрой, мы отмечали резкое снижение концентраций микроэлементов (рис. 2).

Общую тенденцию падения концентраций микроэлементов группы переходных и тяжелых металлов, в период эмбрионального развития карповых и окуневых рыб, отмечал в своих работах В.И. Воробьев [4]. Однако при этом у некоторых видов рыб, например, белуги, в течение эмбрионального развития наблюдалось несколько максимумов и минимумов содержания микроэлементов, что объясняется относительно длительным эмбриональным развитием, по сравнению, например, с карповыми или окуневыми.

Известно, что медь и другие металлы теряются как кофакторы вылупления, ферменты, растворяющие хорион при вылуплении, и известные как металлоферменты [23].

Падение концентрации микроэлементов, вплоть до перехода личинок на смешанное (а в отдельных случаях даже на активное) питание, объясняется тем, что при интенсивных обменных процессах в организме личинки они могут поступать извне только за счет сорбции. Активное поглощение микроэлементов с пищей на данном этапе отсутствует. Именно на основании этого снижения концентрации биологически активных металлов в организме личинок рыб в период их эндогенного питания, некоторые авторы рекомендуют вводить микроэлементные добавки в водоем при искусственном разведении рыб [4; 9]. Суще-

ственное влияние на обмен минеральных веществ у рыб имеет их количество не только в пище, но и в воде.

На ранних стадиях развития рыбы наиболее чувствительны к действию токсикантов группы тяжелых металлов. Оболочка икринки способна образовывать прочные комплексы с металлами, препятствуя тем самым их проникновению к эмбриону. Поэтому, адсорбция микроэлементов группы металлов еще не означает их проникновение к эмбриону. Коэффициенты накопления металлов икринкой определяются не только морфологическими свойствами оболочки, но и физико-химическими особенностями поведения того или иного микроэлемента группы металлов в воде. Ионы таких металлов, как, например, свинец или хром, прочно связываются с активными центрами оболочки, и, по-видимому, значительно труднее проникают внутрь икринки, по сравнению с легкорастворимыми ионами таких металлов как медь [21; 25]. Икра рыб, в отличие от личинок, в 20 раз более устойчива к токсическому действию цинка. В то же время токсическое действие ионов меди, более подвижных в водной среде, примерно одинаково для икры и личинок рыб, так как они легко проникают через барьер оболочки.

Среди рассматриваемых металлов наиболее показательна динамика Fe, Zn, Mn и Co – элементов биологически весьма активных и незаменимых. Отмеченная закономерность носит общий характер. Она подтверждается данными других авторов по разным видам морских и пресноводных рыб [28; 4]. Таким образом, момент вылупления следует считать критическим в ходе изменчивости микроэлементного состава рыб на ранних этапах жизненного цикла. Именно в этот момент с оболочкой и перивителлиновой жидкостью теряется значительная доля металлов (до 80%), содержащихся в эмбрионах [16].

В естественных условиях (нерестовые бугры в реке), как и в искусственных (выдерживание личинок в условиях затененных каналов ЛРЗ), мы также можем наблюдать разницу накопления микроэлементов.

Река Фирсовка, впадающая в зал. Терпения (Юго-Восточное побережье Сахалина) относится к одному из водотоков, в котором сочетаются искусственное разведение и естественный нерест на сохранных нерестилищах [8].

Нерестилища осенней формы кеты приурочены к местам выхода грунтовых вод. В среднем в одном бугре выживает 333 личинки кеты, что составляет 10,9% от средней

абсолютной плодовитости. Основные потери приходится на период нереста, во время которого в бугры попадает лишь 23,3% от средней абсолютной плодовитости самки, остальная же икра уносится течением и поедается хищниками. Потери за период пребывания в грунте составляют в среднем около 50% от отложенной икры [6].

Состав вод нерестовых рек о. Сахалин, в зависимости от различного типа питания (ледниковое, дождевое или грунтовое), а также – гидрологические и физико-химические условия водотоков определяют особенности их элементного состава, что оказывает непо-

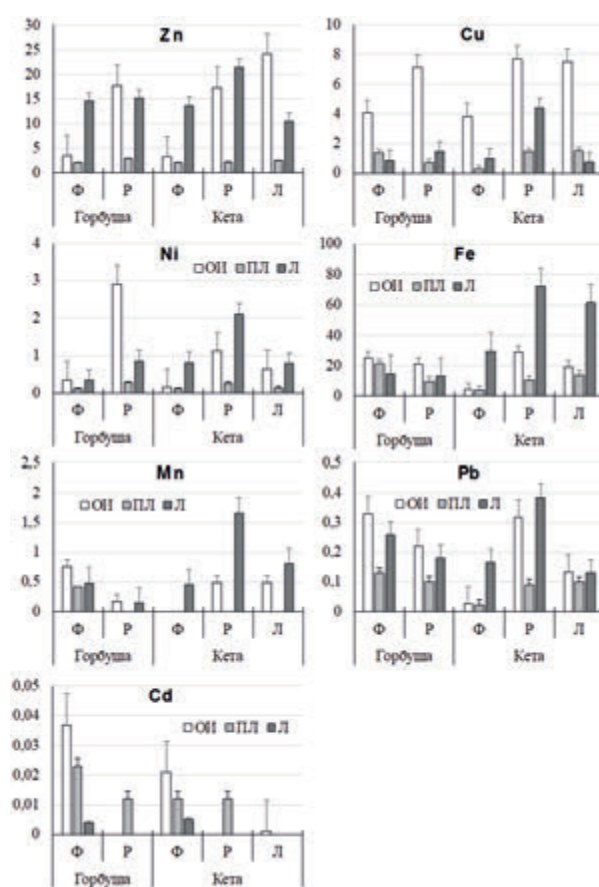


Рисунок 2. Динамика концентрации микроэлементов в оплодотворенной икре (ОИ), предличинках (ПЛ) и личинках (Л) горбуши и кеты на лососевых рыболовных заводах Сахалинской области (ЛРЗ Фирсовка (Ф), ЛРЗ Рейдовый (Р), ЛРЗ Ловецкий (Л)), мкг/г сырой массы

Figure 2. Dynamics of the concentration of trace elements in fertilized caviar (OI), pre-larvae (PL) and larvae (L) of pink salmon and chum salmon at salmon hatcheries in the Sakhalin region (Firsovka fish hatcheries (F), Raid fish hatcheries (R), Lovetsky salmon hatcheries (L)), mcg/g of raw mass

средственное влияние на обитающих в них гидробионтов [2; 13]. Химический состав воды, особенности питания и продолжительность жизни в водоёме неизбежно отражаются на аккумулированном количестве минеральных веществ в организме рыб, продолжительность жизни особей в определённых условиях также является решающим фактором.

Уровень концентрации растворённых металлов в речных водах отличается очень высокой изменчивостью, которая вызвана степенью антропогенной нагрузки. К факторам, несомненно влияющим на концентрацию растворённых металлов в реках, относятся содержание, природа взвеси и гидродинамический режим. Влияние гидродинамического режима обусловлено различной концентрацией метал-

лов в атмосферных осадках и в грунтовых или подземных водах – основных составляющих водного баланса питания рек. Как правило, атмосферные осадки менее минерализованы и содержат меньшие концентрации металлов, чем грунтовые или подземные воды. Поэтому изменение вклада атмосферных осадков и грунтовых или подземных вод в питание рек сопровождается изменением микроэлементного состава речных вод [19]. Наиболее существенным природным фактором, способным изменять содержание и формы нахождения растворённых металлов в речных водах, видимо являются растворённые органические соединения [24]. При прочих равных условиях, относительно грубозернистый взвешенный материал горных рек содержит меньше металлов, чем взвесь равнинных рек [12]. При этом для таких металлов как Mn, Ni или Zn увеличение роли растворённых форм всегда связано с техногенным влиянием. Для Pb и Fe взвешенные формы доминируют даже в сильнозагрязнённых реках [19].

Содержание микроэлементов группы тяжёлых металлов в водах природных водотоков – рек горного типа, характерных для Сахалина и южных Курильских островов, как правило, носит следовый характер.

Содержание общего железа в поверхностных водах рек о. Сахалин в весенний период находится в основном в пределах 0,20–0,70 мг Fe/л. Во время летне-осенней и зимней межени содержание железа в русловых водах несколько понижается (до 0,02–0,44 мг Fe/л). Воды рек о. Сахалин по общему содержанию в них катионов относятся к категории очень мягких вод. В период весеннего половодья жесткость их находится в основном в пределах 0,10–1,0 мг-экв./л. В отдельные годы в водах Фирсовки отмечается хорошо выраженное преобладание ионов Ca^{++} (более 1,20 мг-экв./л) [18].

В зависимости от времени года минерализация р. Фирсовка увеличивается от весеннего половодья до маловодных периодов летне-осенней и зимней межени с 61,7 до 134,5 мг/л, а количество фосфатов и общего железа уменьшается в несколько раз (табл. 3).

В апреле 2019 г. на участках русла р. Фирсовка, в районе естественных нерестилищ



Рисунок 3. Установка икорной ловушки перед вскрытием нерестового бугра кеты (р. Фирсовка), апрель 2019 года

Figure 3. Installation of a caviar trap before opening a chum salmon spawning mound (Firsovka river), April 2019

Таблица 3. Характеристика биогенных веществ поверхностных вод р. Фирсовка [18] / **Table 3.** Characteristics of biogenic substances of surface waters of Firsovka river [18]

	Минерализация, мг/л	Фосфаты, мг P/л	Железо общее, мг Fe/л	Кремний, мг Si/л	pH
Весеннее половодье	61,7	0,077	0,72	3,0	6,8
Летне-осенняя и зимняя межень	134,5	0,010	0,21	3,0	6,9

кеты, нами были обследованы контрольные площадки площадью 0,5-0,7 м² и произведено вскрытие нерестовых бугров кеты. Нерестовые бугры вскрывали с использованием икряной ловушки из мелкочаеистой сетки, покрывающей площадь дна 1 м². Учет предличинок вели с применением специального уловителя, полностью охватывающего площадку по ширине (рис. 3).

Раскапывание контрольной площадки обычно начинали с нижней (относительно течения) части нерестового бугра. После вскрытия каждой площадки материал доставляли на берег для изучения.

Личинок и мертвую икру различали визуально, величину смертности устанавливали сопоставлением количества личинок и мертвых икринок. Отдельно учитывали количество неоплодотворенных икринок и оболочек (рис. 4).

Личинки от естественного нереста кеты в этот период находятся в состоянии покоя, на эндогенном питании желтком. Водоснабжение в буграх обеспечено смесью грунтовой и речной воды, соотношение которой в долях выяснять практически невозможно [11].

Выживаемость покоящихся стадий регистрировали до начала весеннего половодья [14].

Рыбоводная продукция ЛРЗ «Фирсовка» (искусственно воспроизведенная горбуша и кета) в это время находилась в затемненном помещении цеха-питомника в состоянии покоя, согласно применяемой биотехнике искусственного воспроизводства тихоокеанских лососей [7]. Водоснабжение в питомной части цеха задавалось подачей смеси грунтовой и речной воды с регулируемыми параметрами температуры, в соответствии с графиком терморегуляции для обеспечения оптимальных условий при наступлении последующих этапов развития рыбоводной продукции.

На этапе прохождения личинками кеты стадии покоя в нерестовых буграх и искусственном субстрате на рыбоводном предприятии, питание полностью эндогенное, организм получает все необходимые вещества из



Рисунок 4. Личинки и погибшая икра кеты из нерестового бугра

Figure 4. Larvae and dead chum salmon eggs from a spawning mound

желтка; сорбция микроэлементов из воды, имеющей одинаковый гидрохимический состав, незначительна и происходит через кожу и сеть капилляров желточного мешка, а затем, на личиночном этапе – через жаберный аппарат [11].

Результаты биологического анализа личинок кеты естественного нереста из р. Фирсовка и искусственно воспроизведенной на ЛРЗ «Фирсовка» представлены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты биологического анализа личинок кеты естественного нереста (р. Фирсовка) и искусственно воспроизведенных на ЛРЗ «Фирсовка», апрель 2019 года / **Table 4.** Results of biological analysis of naturally spawning chum salmon larvae (Firsovka River) and artificially reproduced ones at Firsovka Fish Processing Plant, April 2019

Кол-во, шт.	АС, мм (среднее)	АД, мм (среднее)	Р _{общ.} , мг (среднее)	Р ж/м, мг (среднее)	% желтка
Личинки кеты естественного нереста					
219	35,1	32,0	302,4	33,7	11,0
Искусственно воспроизведенные личинки кеты (средние партии)					
100	36,9	33,9	288,9	38,1	13,17

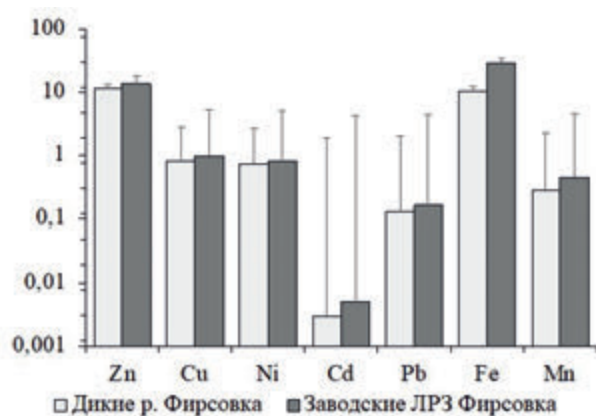


Рисунок 5. Концентрация микроэлементов в диких и заводских личинках кеты (р. Фирсовка и ЛРЗ «Фирсовка»), мкг/г сырой массы

Figure 5. Concentration of trace elements in wild and factory chum salmon larvae (Firsovka river and Firsovka dairy farm), mcg/g of crude weight

Обращает на себя внимание, что личинки кеты естественного нереста, по результатам биологического анализа, имеют меньшую среднюю длину АС и АД (35,1–32,0 мм), чем их «искусственные» сородичи средних партий сбора (36,9–33,9 мм); личинки естественного нереста более высокотелые, а искусственно воспроизведенные – более прогонистые. Остаток желтка у «дикой» молоди кеты составляет в среднем 11,0%, что сопоставимо с остатком желтка «заводской» молоди (13,17%). Этот факт может свидетельствовать о достаточно благоприятных условиях проведения этапа выдерживания личинок на данном рыбоводном предприятии и строгом соблюдении всех необходимых экологических требований для создания оптимальных условий в период покоя рыболовной продукции [1].

Результаты анализа на содержание микроэлементов в диких и заводских личинках кеты представлены в мкг/г сырой массы и показаны на рисунке 5.

Содержание всех определяемых микроэлементов у дикой и заводской молоди из р. Фирсовка практически повторяет друг друга, однако четко присутствует тенденция небольшого превышения концентраций всех металлов у заводской по сравнению с естественной молодью. Это обуславливается различным гидрохимическим составом воды – водоснабжение цеха производится смесью грунтовой и речной воды в определенных пропорциях для обеспечения терморегуляции развития рыболовной продукции [11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

После оплодотворения, на уровне тенденции, наблюдалось увеличение концентрации Zn, Cu и Ni от гамет к зиготам; увеличение Mn, Pb, Cd и Fe в оплодотворенной икре, по сравнению с гаметами в яйцниках самок, прослеживалось не во всех пробах.

Момент вылупления – критический в ходе изменчивости микроэлементного состава рыб на ранних этапах жизненного цикла. В этот момент с оболочкой и перивителлиновой жидкостью теряется значительная доля металлов, содержащихся в эмбрионах. Медь и другие металлы теряются как кофакторы вылупления, ферменты, растворяющие хорион при вылуплении. На последующих этапах раннего онтогенеза содержание металлов в организме рыб начинает возрастать в соответствии с их концентрациями в воде.

Максимальные колебания концентраций микроэлементов приходятся на период раннего онтогенеза лососей. При этом изменение концентрации обусловлены не столько внешними факторами, сколько эндогенными причинами (переход на следующий этап развития).

На уровне тенденции обнаружено небольшое превышение концентраций всех металлов у заводской, по сравнению с естественной, молодью.

Авторы выражают искреннюю признательность за участие в сборе и транспортировке проб А.А. Захарченко, В.П. Погдину и В.В. Валееву.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Вклад в работу авторов: А.В. Литвиненко – идея статьи, корректировка текста; С.В. Горячев – участие в первичной пробоподготовке образцов; М.М. Донец – систематизация и анализ данных; М.А. Беланов – участие в первичной пробоподготовке образцов, обработка данных; А.Д. Боровкова – анализ данных, корректировка текста; И.В. Карпенко – сбор и анализ данных; А.С. Багдасарян – подготовка обзора литературы; В.Ю. Цыганков – подготовка статьи и ее окончательная проверка

The authors declare that there is no conflict of interest. Contribution to the work of the authors: A.V. Litvinenko – the idea of the article, text correction; S.V. Goryachev – participation in primary sample preparation; M.M. Donets – systematization and analysis of data; M.A. Belanov – participation in primary sample preparation, data processing; A.D. Borovkova – data analysis, text correction; I.V. Karpenko – data collection and analysis; A.S. Bagdasaryan – preparation of the literature review; V.Yu. Tsygankov – preparation of the article and its final verification.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Бойко А.В. Экологические особенности искусственного воспроизводства тихоокеанских лососей на современных рыбоводных заводах Сахалинской области: автореф. дисс. ...канд. биол. наук. – Петрозаводск. 2014. 24 с.
2. Введенская Т.Л., Уколова Т.К., Свириденко В.Д. Гидрохимическая характеристика реки Большая (Камчатка) / Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и Северо-Западной части Тихого океана. 2006. Вып. 8. С. 158-165.
3. Владовская С.А. Микроэлементы и тяжелые металлы в кормах для рыб // Анал. и реф. инф. Сер. Корма и кормление рыб в аквакультуре / Всерос. науч.-исслед. и проектно-конструкт. институт экон., инф. и АСУ рыбного хозяйства. 2001. № 1. С. 17-27.
4. Воробьев В.И. Биогеохимические основы пресноводной аквакультуры // Вопросы экологии, физиологии рыб, ихтиопатология. – Калининград, 1990. С. 4-8.
5. ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. – Москва: Стандартинформ. 2010. 12 с.
6. Гриценко О.Ф. Проходные рыбы острова Сахалин. Систематика, экология, промысел. – М.: ВНИРО. 2002. 248 с.
7. Ефанов В.Н., Бойко А.В. Экологические особенности и оптимизация условий искусственного воспроизводства тихоокеанских лососей на современных рыбоводных заводах Сахалинской области: моногр. – Южно-Сахалинск: СахГУ. 2014. 124 с.
8. Живоглядов А.А., Живоглядова Л.А. Воспроизводство тихоокеанских лососей (*Oncorhynchus*) в реках, впадающих в залив Терпения (Сахалин) // Вопросы ихтиологии. 2019. Т. 59. №2. С. 175-185.
9. Запорожец Г.В. Микроэлементы в теле молоди тихоокеанских лососей: прикладные аспекты // Известия ТИНРО. 2006. Т. 146. С. 35-55.
10. Литвиненко А.В., Салимзянова К.Р., Христофорова Н.К., Данилин Д.Д., Цыганков В.Ю. Половые различия в содержании микроэлементов в органах и тканях нерки из восточных заливов полуострова Камчатка // Вестник Камчатского технического государственного университета. № 65. 2023. С. 111-122.
11. Литвиненко А.В. Влияние экологических факторов на формирование микроэлементного состава тихоокеанских лососей в процессе онтогенеза: дисс. докт. биол. наук. – Якутск. 2025. 313 с.
12. Лубченко И.Ю., Белова И.В. Миграция элементов в речных водах // Литология и полезные ископаемые. № 2. 1973. С. 23-29.
13. Лукьянова О.Н. Гидрохимическая основа биопродуктивности нерестово-выростных лососевых озёр // Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. 2007. 22 с.
14. Методические указания. Оценка состояния нерестилищ тихоокеанских лососей. – М.: ВНИРО. 1987. 28 с.
15. Морозов Н.П., Петухов С.А. Переходные и тяжелые металлы в промышленной ихтиофауне океанических, морских и пресных вод. // Рыбное хозяйство. 1977. № 5. С. 11-13.
16. Морозов Н.П., Петухов С.А. Микроэлементы в промышленной ихтиофауне Мирового океана. – М.: Агропромиздат. 1986. 160 с.
17. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). – М.: «Пищевая промышленность». 1966. 267 с.
18. Ресурсы поверхностных вод СССР: Основные гидрологические характеристики (за 1963-1970 гг. и весь период наблюдений): [В 20 т.] / Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Т. 18: Дальний Восток, вып. 4. Сахалин и Курилы / Упр. гидрометеорол. службы Дальнего Востока. 1974. 262 с.
19. Шулькин В.М. Металлы в экосистемах морских мелководий. – Владивосток: Дальнаука, 2004. 279 с.
20. Beattie J.H., Pascoe D. (1978). Cadmium uptake by rainbow trout *Salmo gairdneri* eggs and alevins. // J. Fish. Biol. v. 13, No.5. Pp. 631-637.
21. Fletcher G.L., King M.J. (1977). Cooper, zinc, calcium, magnesium and phosphate in the gonads and livers of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) during spawning migration. // Comp. Biochem. Physiol. Vol. 60. Pp. 127-130.
22. Hagenmaier H.E. (1974a). The hatching process in fish embryos. IV. The enzymological properties of a highly purified enzyme (chorionase) from the hatching fluid of the rainbow trout. // Comp. Biochem. Physiol. B, 49. – Pp. 313-324.
23. Hagenmaier H.E. (1974b). The hatching process in fish embryos. V. Characterisation of the hatching protease (chorionase) from the perivitelline fluid of the rainbow trout as a metalloenzyme. Wilhelm Roux' Arch. Entwicklungsmech. Org., 175: 157-162.
24. Martin J.-M., Whitefield M. (1981). The significance of the river input of chemical elements to the ocean / Eds Wong et al. // Trace Metals in the Sea Water, NATO Series, Plenum Press. Pp. 265-296.
25. Meng F., Li M., Tao Z., Yuan L., Song M., Ren Q., Xin X., Meng Q., Wang R. (2016) Effect of high dietary copper on growth, antioxidant and lipid metabolism enzymes of juvenile larger yellow croaker *Larimichthys croceus*. Aquac Rep 3:131–135.
26. Montory M., Habit E., Fernandez P., Grimalt J.O., Kolok A.S., Barra R.O., Ferrer J., (2020). Biotransport of persistent organic pollutants in the southern Hemisphere by invasive Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in the rivers of northern Chilean Patagonia, a UNESCO biosphere reserve. Environ. Int. 142, 105803.
27. Yabanli Murat & Şener Idris & Yozukmaz Aykut & Öner Süleyman & Yapici Hatice Hasanhocaoglu. Heavy metals in processed seafood products from Turkey: risk assessment for the consumers. Environmental Science and Pollution Research (2021) 28:53171–53180. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14569-z>
28. Westerhagen H., von Dethlefsen V., Rosenthal H. (1979). Combined effects of cadmium, copper and developing herring eggs and larvae. – Helgolander wiss Meeresunters. v. 32. No. 3. Pp. 257-278.

LITERATURE AND SOURCES

- Boyko A.V. (2014). Ecological features of artificial reproduction of Pacific salmon in modern fish hatcheries of the Sakhalin region: abstract. diss. ...kand. biol. sciences. – Petrozavodsk. 24 p. (In Russ.)
- Vvedenskaya T.L., Ukolova T.K., Sviridenko V.D. (2006). Hydrochemical characteristics of the Bolshaya River (Kamchatka) / Studies of aquatic biological resources of Kamchatka and the Northwestern Pacific Ocean. Issue 8. Pp. 158-165. (In Russ.)
- Vladovskaya S.A. (2001). Microelements and heavy metals in fish feeds // Anal. and ref. inf. Ser. Fish feed and feeding in aquaculture / Vseros. nauch.-research. and the design concept. Institute of Economics, Information and Automated Control Systems of Fisheries. No. 1. pp. 17-27.
- Vorobyov V.I. (1990). Biogeochemical foundations of freshwater aquaculture // Issues of ecology, physiology of fish, ichthyopathology. – Kaliningrad. Pp. 4-8. (In Russ.)
- GOST 26929-94. Raw materials and food products. Sample preparation. Mineralization to determine the content of toxic elements. – Moscow: Standartinform. 2010. 12 p. (In Russ.)
- Gritsenko O.F. (2002). Passing fish of Sakhalin Island. Systematics, ecology, fishing. – M.: VNIRO. 248 p. (In Russ.)
- Efanov V.N., Boyko A.V. (2014). Ecological features and optimization of conditions for artificial reproduction of Pacific salmon in modern fish hatcheries of the Sakhalin region: monogr. – Yuzhno-Sakhalinsk: Sakhgu. 124 p. (In Russ.)
- Zhivoglyadov A.A., Zhivoglyadova L.A. (2019). Reproduction of Pacific salmon in rivers flowing into the Gulf of Patience (Sakhalin) // Questions of Ichthyology. Vol. 59. No. 2. Pp. 175-185. (In Russ.)
- Zaporozhets G.V. (2006). Microelements in the body of juvenile Pacific salmon: applied aspects // Izvestiya TINRO. Vol. 146. Pp. 35-55. (In Russ.)
- Litvinenko A.V., Salimzyanova K.R., Khristoforova N.K., Danilin D.D., Tsygankov V.Yu. (2023). Sex differences in the content of trace elements in the organs and tissues of sockeye salmon from the eastern bays of the Kamchatka Peninsula // Bulletin of the Kamchatka Technical State University. No. 65. Pp. 111-122. (In Russ.)
- Litvinenko A.V. (2025). The influence of environmental factors on the formation of the microelement composition of Pacific salmon in the process of ontogenesis: diss.. doct. biol. sciences. – Yakutsk. 313 p. (In Russ.)
- Lubchenko I.Yu., Belova I.V. (1973). Migration of elements in river waters // Lithology and minerals. No. 2. Pp. 23-29. (In Russ.)
- Lukyanova O.N. (2007). Hydrochemical basis of bioproductivity of spawning and rearing salmon lakes // Abstract. diss. ... kand. biol. sciences. 22 p. (In Russ.)
- Methodological guidelines. Assessment of the state of Pacific salmon spawning grounds. Moscow: VNIRO. 1987. 28 p. (In Russ.)
- Morozov N.P., Petukhov S.A. (1977). Transitional and heavy metals in commercial ichthyofauna of oceanic, marine and fresh waters. // Fisheries. No. 5. Pp. 11-13. (In Russ.)
- Morozov N.P., Petukhov S.A. (1986). Microelements in the commercial ichthyofauna of the World Ocean. Moscow: Agropromizdat. 160 p. (In Russ.)
- Pravdin I.F. (1966). Guidelines for the study of fish (mainly freshwater). – M.: «Food industry». 267 p. (In Russ.)
- Surface water resources of the USSR: Main hydrological characteristics (for 1963-1970 and the entire observation period): [In 20 volumes] / Gl. upr. hydrometeorol. Services under the Council of Ministers of the USSR. Vol. 18: Far East, vol. 4. Sakhalin and the Kuriles / Upr. hydrometeorol. services of the Far East. 1974. 262 p. (In Russ.)
- Shulkin V.M. (2004). Metals in marine shallow water ecosystems. Vladivostok: Dalnauka Publ. 279 p. (In Russ.)
- Beattie J.H., Pascoe D. (1978). Cadmium uptake by rainbow trout *Salmo gairdneri* eggs and alevins. // J. Fish. Biol. v. 13, No.5. Pp. 631-637.
- Fletcher G.L., King M.J. (1977). Cooper, zinc, calcium, magnesium and phosphate in the gonads and livers of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) during spawning migration. // Comp. Biochem. Physiol. Vol. 60. Pp. 127-130.
- Hagenmaier H.E. (1974a). The hatching process in fish embryos. IV. The enzymological properties of a highly purified enzyme (chorionase) from the hatching fluid of the rainbow trout. // Comp. Biochem. Physiol. B, 49. – Pp. 313-324.
- Hagenmaier H.E. (1974b). The hatching process in fish embryos. V. Characterisation of the hatching protease (chorionase) from the perivitelline fluid of the rainbow trout as a metalloenzyme. Wilhelm Roux' Arch. Entwicklungsmech. Org., 175: 157-162.
- Martin J.-M., Whitefield M. (1981). The significance of the river input of chemical elements to the ocean / Eds Wong et al. // Trace Metals in the Sea Water, NATO Series, Plenum Press. Pp. 265-296.
- Meng F., Li M., Tao Z., Yuan L., Song M., Ren Q., Xin X., Meng Q., Wang R. (2016) Effect of high dietary copper on growth, antioxidant and lipid metabolism enzymes of juvenile larger yellow croaker *Larimichthys croceus*. Aquac Rep 3:131–135.
- Montory M., Habit E., Fernandez P., Grimalt J.O., Kolok A.S., Barra R.O., Ferrer J., (2020). Biotransport of persistent organic pollutants in the southern Hemisphere by invasive Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in the rivers of northern Chilean Patagonia, a UNESCO biosphere reserve. Environ. Int. 142, 105803.
- Yabanli Murat & Şener Idris & Yozukmaz Aykut & Öner Süleyman & Yapici Hatice Hasanhocaoğlu. Heavy metals in processed seafood products from Turkey: risk assessment for the consumers. Environmental Science and Pollution Research (2021) 28:53171–53180. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14569-z>
- Westerhagen H., von Dethlefsen V., Rosenthal H. (1979). Combined effects of cadmium, copper and developing herring eggs and larvae. – Helgolander wiss Meeresunters. v. 32. No. 3. Pp. 257-278.

Материал поступил в редакцию/ Received 24.08.2025
Принят к публикации / Accepted for publication 19.09.2025