

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ МОРСКОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи

ГОРЯЧЕВ СТЕПАН ВЛАДИМИРОВИЧ

**ОТРАЖЕНИЕ УСЛОВИЙ СРЕДЫ НА МИКРОЭЛЕМЕНТНОМ
СОСТАВЕ ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ С ДЛИТЕЛЬНЫМ
ПРЕСНОВОДНЫМ ПЕРИОДОМ ЖИЗНИ**

Направление подготовки: 06.06.01 «Биологические науки»

Специальность: 1.5.15 «Экология»

Научный доклад об основных результатах научно-квалификационной
работы

Научный руководитель:

Литвиненко Анна Владимировна

Кандидат биологических наук, доцент

Южно-Сахалинск – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ	3
СТРУКТУРА И ОБЪЁМ НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ	6
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	10

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования

Одними из основных задач современной экологии являются изучение и оценка негативного влияния деятельности человека и природных факторов на элементы окружающей природной среды.

Дальний Восток России находится в постоянном развитии жилищного строительства и социальной инфраструктуры, а также открывают и осваиваются новые месторождения полезных ископаемых, в связи с чем строится всё больше заводов и т.д. Всё это является показателем увеличения негативного антропогенного воздействия на окружающую природную среду и её обитателей, в число которых и входят исследуемые в данной работе тихоокеанские лососи. Кроме того, на территории Дальнего Востока страны расположен Курило-Камчатский вулканический пояс, являющийся одним из основных поставщиков микроэлементов в окружающую среду вблизи Курильских островов, где происходят летние и осенние миграции большого количества тихоокеанских лососей, в том числе, с длительным пресноводным циклом. Все вышеописанные факторы накладывают свой отпечаток на содержании того или иного микроэлемента в организмах рыб.

В данной работе проводится исследование микроэлементного состава лососей именно с длительным пресноводным циклом в связи с тем, что исследований по видам с коротким пресноводным циклом довольно много, и они уже хорошо описаны.

До этого момента имеются лишь немногочисленные исследования по микроэлементному составу видов с длительным пресноводным циклом, такие как, например, по молоди кижуча (Запорожец Г.В., 2006), по нерке (Хрусталева и др., 2020; Литвиненко А.В. и др., 2023) а также по чавыче зарубежных исследователей (Joseph J. Kim et al., 2023).

Цель: провести анализ отражения условий среды на микроэлементном составе тихоокеанских лососей с длительным пресноводным периодом жизни.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие **задачи:**

1. Ознакомиться с теоретическим материалов по теме исследования;
2. Провести сбор материалов исследования и их первичную пробоподготовку;
3. Рассчитать содержание микроэлементов в органах и тканях рыб в мкг/г сырой массы на основании полученных показаний атомно-абсорбционного спектрофотометра Shimadzu AA-7000;

4. Проанализировать полученные результаты микроэлементного состава тихоокеанских лососей с длительным пресноводным циклом (кижуч, нерка, сима) Дальневосточных рек и морей;

5. Оценить отражение условий среды на микроэлементном составе тихоокеанских лососей с длительным пресноводным циклом (кижуч, нерка, сима) дальневосточных рек и морей.

Личный вклад автора и научная новизна

Личный вклад автора и научная новизна данной выпускной научно-квалификационной работы состоят в том, что впервые проведён анализ отражения условий среды на микроэлементном составе сразу трёх видов тихоокеанских лососей с длительным пресноводным циклом (кижуч, сима и нерка) из разных районов Дальневосточных морей (Японское, Охотское и Беренгово).

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты исследований добавляют большой объём свежей информации по количественному содержанию микроэлементов (Zn, Cu, Fe, Ni, Mn, Pb и Cd) в лососях с длительным пресноводным циклом (кижуч, нерка, сима) из дальневосточных морей России (Японское, Охотское и Беренгово).

Необходимо вести постоянный контроль за содержанием микроэлементного состава лососей как с длительным пресноводным циклом, так и с коротким, т.к. это помогает понять количество их в рыбе, чтобы оценить её пищевую ценность.

Апробация результатов исследования

Результаты исследований, изложенные в диссертационной работе, были частично представлены на следующих научных конференциях:

1. VIII Всероссийская конференция по водной экотоксикологии, посвящённая 85-летию со дня рождения Бориса Александровича Флёрова «Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы» в секции «Судьба, биодоступность, биотрансформация, биоаккумуляция загрязняющих веществ» (п. Борок, 17-20 октября 2023 г.).

2. Научно-практическая конференция «Микроэлементный состав тихоокеанских лососей северо-западной Пацифики: аккумуляция, биотранспорт и экологические риски» (г. Южно-Сахалинск, 04 декабря 2023 г.).

3. V Всероссийская научная конференция с международным участием «Геодинамические процессы и природные катастрофы» в секции «Живые системы и геологическая среда» (Южно-Сахалинск, 27-31 мая 2024 г.).

Публикации

По теме диссертационной работы было опубликовано 2 статьи:

1. Литвиненко, А.В. Содержание тяжёлых металлов в лососях с длительным пресноводным циклом северо-западной Пацифики / А.В. Литвиненко, Н.К. Христофорова, С.В. Горячев, М.А. Иванова, К.Р. Салимзянова, А.Д. Воитков // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы. Материалы VIII Всероссийская конференция по водной экотоксикологии. Борок. – 2023. – 302 с.

2. Geochemical History of the Area and its Reflection on the Metal Content in Chum Salmon (*Oncorhynchus keta* Walbaum, 1792) of Iturup Island / A. Litvinenko, N. Khristoforova, S. Goryachev [et al.] // North Pacific Anadromous Fish Commission Technical Report. – 2025. – No. 23. – P. 30-34. – DOI 10.23849/npafctr23/e18-00a. – EDN HXGEXE.

Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность и признательность своему научному руководителю к.б.н. Литвиненко А.В. за постановку темы научной работы, руководство и постоянную помощь и поддержку в процессе проведения исследования на всех этапах.

СТРУКТУРА И ОБЪЁМ НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Научно-квалификационная работа состоит из введения, 3 глав, заключения, списка литературы (121 наименование, из которых 28 на иностранных языках) общим объёмом 120 страниц, иллюстрирована 29 рисунками и 5 таблицами.

В первой главе НКР описаны географические распространения, пресноводный периоды жизни, периоды морских миграций, а также нерестовый ход, сроки размножения и ската молоди для кижуча, нерки и симы. Изучены основные геохимические зоны дальневосточных морей для необходимого понимания природного влияния на содержание микроэлементного состава в исследуемых лососях. Исследованы имеющиеся работы по изучению микроэлементного состава лососей с длительным пресноводным циклом.

Во второй главе представлены данные по количеству исследованных образцов лососей и их индивидуальных измерений микроэлементов, а также морфометрические показатели кижуча, нерки и симы Дальнего Востока. Всего было проведено в общей сложности 2562 индивидуальных измерений мышечной ткани, печени и гонад образцов симы, кижуча и нерки. Кроме того, описана методика проведения исследований и методы получения результатов микроэлементного состава.

В третьей главе содержится основная часть работы, представляющая собой табличное и графическое описание полученных анализов проведённых исследований содержания микроэлементов в кижуче, нерке и симе. Проведён анализ повышенных концентраций в образцах некоторых районов относительно других. В конце каждого раздела представлены выводы.

По результатам проведённого анализа для кижуча рек Ключевка и Колокольникова наблюдаются повышенные концентрации содержания железа, цинка и меди, а также токсичных кадмия и свинца. Высокие концентрации Zn и Cu могут свидетельствовать о том, что места нагула кижуча, скорее всего, подвержены активной терригенной и антропогенной нагрузке. При этом более высокие концентрации меди во всех органах и тканях р. Колокольникова относительно р. Ключевка, могут быть связаны с территориальным расположением рек на Камчатском полуострове, т.е. р. Колокольникова находится в почвенной провинции, более подверженной воздействию вулканической активности, а также это связано с тем, что восточнокамчатское побережье намного сильнее подвержено антропогенному воздействию, нежели западнокамчатское. Повышенные концентрации железа связаны с его накоплением в организме кижуча ввиду продолжительного пресноводного периода жизни в водоёмах полуострова Камчатка, а

также с возможным воздействием терригенного стока вблизи р. Ключевка и р. Колокольникова. Более высокие концентрации Ni западнокамчатских особей могут быть связаны с тем, что в летний период они нагуливаются вблизи Курильских островов, которые являются районом высокой биологической продуктивности морских вод, максимальные показатели которой приурочены к зонам воздействия апвеллингов, обогащённых биогенами и микроэлементами [Малиновская, 1996]. Более высокие концентрации свинца в органах и тканях образцов кижуча р. Ключевка связаны с тем, что в периоды своей морской миграции они некоторое время обитают вблизи Курильских островов, известных как высокопродуктивная зона, обогащенная фитопланктоном, зоопланктоном и пр. организмами, на которых свинец может сорбироваться, становясь менее подвижным и более локализованным, и затем поглощаться вместе с пищевыми частицами. Более высокие концентрации кадмия в органах и тканях образцов кижуча р. Колокольникова свидетельствуют о том, что в период своего нагула кижуч этого региона находится в течение довольно длительного времени вблизи Курило-Камчатского желоба, повышенное содержание Cd в активно перемещающихся тихоокеанских лососях, характеризуется именно их миграцией как минимум дважды в жизни через воды геохимической провинции курило-камчатского района [Литвиненко и др., 2022].

По результатам проведённого анализа для нерки рек Хайрюзова и Камчатка, а также б. Тихой, наблюдаются повышенные концентрации содержания железа, цинка, меди и никеля, а также токсичного кадмия. В целом, тенденция в разнице содержания тех или иных исследованных микроэлементов для нерки восточного и западного побережий Камчатки такие же, как и для кижуча. Высокие концентрации Zn и Cu могут свидетельствовать о том, что места нагула подвержены активной терригенной и антропогенной нагрузке. При этом более высокие концентрации меди в печени нерки б. Русская относительно р. Хайрюзова и р. Камчатка, могут быть связаны с территориальным расположением рек на Камчатском полуострове, т.е. этот район находится в почвенной провинции, более подверженной воздействию вулканической активности, а также это связано с тем, что восточнокамчатское побережье намного сильнее подвержено антропогенному воздействию, нежели западнокамчатское. Повышенные концентрации железа связаны с его накоплением в организме нерки ввиду продолжительного пресноводного периода жизни в водоёмах полуострова Камчатка, а также с возможным воздействием терригенного стока. Более высокие концентрации Ni западнокамчатских особей могут быть связаны с тем, что в летний период они нагуливаются вблизи Курильских островов, которые являются районом высокой биологической продуктивности морских вод, максимальные показатели которой приурочены к зонам воздействия апвеллингов, обогащённых биогенами и

микроэлементами. Более высокие концентрации свинца в органах и тканях образцов нерки р. Хайрюзова связаны с тем, что в периоды своей морской миграции они некоторое время обитают вблизи Курильских островов, известных как высокопродуктивная зона, обогащенная фитопланктоном, зоопланктоном и пр. организмами, на которых свинец может сорбироваться, становясь менее подвижным и более локализованным, и затем поглощаться вместе с пищевыми частицами. Более высокие концентрации кадмия в органах и тканях образцов нерки р. Камчатка и б. Русская свидетельствуют о том, что в период своего нагула нерка этого региона находится в течение довольно длительного времени вблизи Командорских островов Командорской котловины Берингово моря, которые попадают в зону Курило-Камчатского желоба, являющего частью Тихоокеанского огненного кольца.

По результатам проведённого анализа для сими рек Бахура, Красноярка, Таранай и Лютога, а также м. Свободного, о. Шикотан и Татарского пролива наблюдаются повышенные концентрации содержания железа, цинка, меди и никеля, а также токсичного свинца в образцах залива Мордвинова. Высокие концентрации Zn и Cu в образцах всех районах исследований, за исключением р. Бахура, свидетельствуют о том, что юго-восточное побережье острова Сахалин значительно меньше подвержено антропогенному воздействию нежели южное и юго-западное побережья острова. Концентрации же этих микроэлементов варьируются в зависимости от мест пресноводных и морских нагулов, которые в большей или меньшей степени подвержены воздействию человека на окружающую природную среду. Повышенные концентрации железа в печени образцов всех исследованных районов, за исключением образцов р. Бахура, а также в гонадах образцов о. Шикотан и р. Таранай могут свидетельствовать о том, что сима этих районов нагуливалась вблизи зон, подверженных активной терригенной нагрузке или стоку. Также на уровень содержания этого эссенциального микроэлемента в органах и тканях лососей оказывает их тип питания, особенно в период их морских миграций, а также возможное воздействие импактного Курило-Камчатского региона. Относительно высокие концентрации марганца в печени и икре сими о. Шикотан связаны с тем, что вблизи него находятся гидротермальные ванны с характерным особенным химическим составом вулканического раствора, который в значительной степени обогащён Mn. Для образцов рек Красноярка и Таранай более высокие концентрации этого микроэлемента могут быть связаны с тем, что в зонах смешения морских и пресных вод в результате падения скорости движения вод и изменения рН среды происходит переход большинства металлов из растворённой формы во взвешенную, вследствие чего в приустьевых участках наблюдается повышение содержания взвешенного материала в воде, вызывающее увеличение концентрации

тяжёлых металлов, в первую очередь Fe, Mn и Pb, в гидробионтах [Малиновская, 1996]. Более высокие концентрации Ni образцов восточного побережья о. Сахалин, т.е. м. Свободного и р. Бахура, могут быть связаны с тем, что в этом районе активно развита деятельность объектов нефтегазовой промышленности, а также судоходство. Поэтому сима в период своих морских миграций, проходя через эти районы, активно накапливает данный металл внутри своего организма. Также относительно высокое содержание никеля было обнаружено у образцов, выловленных вблизи острова Шикотан, связано с тем, что Курильские острова являются районом высокой биологической продуктивности морских вод, максимальные показатели которой приурочены к зонам воздействия апвеллингов, т.е. подъёма глубинных водных масс, обогащённых биогенами и микроэлементами, именно с воздействием этих зон связывают в данном районе повышенное содержание в организмах Ni. Более высокие концентрации свинца в образцах сима м. Свободного, Холмского района и р. Бахура могут быть связаны с тем, что в периоды своей морской миграции они некоторое время обитают вблизи Курильских островов, известных как высокопродуктивная зона, обогащённая фитопланктоном, зоопланктоном, мелкими рыбами, отмирающим планктоном и его частями, а также другими взвешенными частицами, на которых свинец может сорбироваться, становясь менее подвижным и более локализованным, и затем поглощаться вместе с пищевыми частицами обитателями пелагиали, прежде всего верхней, к которым относятся тихоокеанские лососи. Более высокие концентрации кадмия в образцы м. Свободного, о. Шикотан и рек Таранай и Красноярка могут быть связаны с тем, что сима в период своих морских миграций проходит через те зоны вблизи Курильских островов, которые являются районами высокой биологической продуктивности морских вод, максимальные показатели которой приурочены к зонам воздействия апвеллингов, т.е. подъёма глубинных водных масс, обогащённых биогенами и микроэлементами, именно с воздействием этих зон связывают в данном районе повышенное содержание в микроорганизмах Cd, которыми питается сима и накапливает этот токсичный микроэлемент у себя в органах и тканях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К тихоокеанским лососям с длительным пресноводным относятся кижуч, нерка, сима и чавыча, которые после выхода из нерестовых гнёзд проводят в пресных водоёмах и водотоках перед скатом в море от одного до нескольких лет, а в некоторых случаях, например, самцы симы могут оставаться в пресной воде всю жизнь. Одной из отличительных способностей лососей с длительным пресноводным циклом, от представителей с коротким, является то, что они накапливают в своём теле микроэлементы не только во время морских нагулов, но и за счёт длительного нахождения в пресных водоёмах.

Исследований по изучению микроэлементного состава лососей с длительным пресноводным циклом не так много, по сравнению с исследованиями по лососям с коротким пресноводным циклом. Часть из имеющихся исследований, например, по молоди кижуча Запорожец Г.В. уже теряет свою актуальность; по нерке восточного побережья Камчатки Литвиненко А.В. 2023 года благодаря данной работе дополнена данными для сравнения с неркой западного побережья Камчатки. Исследований и публикаций по симе практически нет.

На микроэлементный состав лососей рек и морей Дальнего Востока оказывают воздействие, в основном, антропогенная и терригенная нагрузки, а также значительное влияние имеет находящийся здесь Курило-Камчатский вулканический пояс. Все эти факторы оказывают влияние на повышенные концентрации того или иного тяжёлого металла в организмах исследованных нерки, кижуча и симы.

Анализ микроэлементного состава показал, что для кижуча рек Ключевка и Колокольникова наблюдаются повышенные концентрации содержания железа, цинка и меди, а также токсичных кадмия и свинца; для нерки рек Хайрюзова и Камчатка, а также б. Тихой, наблюдаются повышенные концентрации содержания железа, цинка, меди и никеля, а также токсичного кадмия; для симы рек Бахура, Красноярка, Таранай и Лютога, а также м. Свободного, о. Шикотан и Татарского пролива наблюдаются повышенные концентрации содержания железа, цинка, меди и никеля, а также токсичного свинца в образцах залива Мордвинова.

Высокие концентрации Zn и Cu у нерки, кижуча и симы свидетельствуют о том, что места нагула подвержены активной терригенной и антропогенной нагрузке. Разница в концентрациях Ni, Cd и Pb у образцов кижуча и нерки разных водоёмов связаны с их летними миграциями – западнокамчатские особи нагуливаются вблизи Курильских

островов и поэтому содержат больше никеля и свинца, а восточнокамчатские особи нагуливаются вблизи Курило-Камчатского желоба и содержат в себе большие концентрации кадмия. Высокие концентрации Ni у симы связаны с районами активной деятельности объектов нефтегазовой промышленности, а также судоходством и с тем, что Курильские острова являются районом апвеллингов. Более высокие концентрации кадмия и свинца у симы также связаны с их нагулом вблизи Курильских островов