

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОСЕННЕЙ
КЕТЫ *ONCORHYNCHUS KETA* (SALMONIFORMES)
ЗАВОДСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В БАССЕЙНЕ РЕКИ
АМУР НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МИКРОХИМИЧЕСКОГО
СОСТАВА ОТОЛИТОВ ПО МАТЕРИАЛАМ 2020 г.**

© 2024 г. П.Б. Михеев^{1,2} (spIn: 7118-1166), В.Н. Кошелев¹ (spIn: 5569-5540),
Е.В. Подорожнюк¹ (spIn: 2907-6253), К.С. Якубова², В.О. Морозов¹,
А.Ю. Пузик² (spIn: 3384-7842), М.А. Волкова² (spIn: 6449-4470), Е.Ю. Кочкина²

1 – *Хабаровский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Россия, Хабаровск, 680038*
2 – *«Пермский государственный национальный исследовательский университет»
(ПГНИУ) Россия, Пермь, 614068*
E.mail: koshelev@khabarovsk.vniro.ru

Поступила в редакцию 21.08.2024 г.

В работе приведены результаты применения микрохимического анализа отолитов для выявления возврата осенней кеты, молодь которой выпускается с лососевых рыбодных заводов (ЛРЗ) амурского бассейна. Ранее было установлено, что молодь осенней кеты заводского происхождения характеризовалась большими значениями соотношения $^{88}\text{Sr}/^{43}\text{Ca}$ краевой зоны отолитов по сравнению с молодью естественного происхождения, что может быть связано с высоким содержанием стронция в корме, используемом для подрачивания молоди на рыбзаводах. Используя значение $^{88}\text{Sr}/^{43}\text{Ca}$ для детерминации рыб искусственного и естественного происхождения среди производителей осенней кеты, собранных в р. Амур, на лососевых рыбодных заводах и базовых реках заводов, были выявлены рыбы с высоким уровнем анализируемого изотопного соотношения в мальковой зоне отолитов, что свидетельствует об их искусственном происхождении. Среди рыб с Анюйского и Удинского ЛРЗ большая часть рыб (56,0 и 56,4%) характеризуется величинами маркера выше порогового значения, что также указывает на их искусственное происхождение. Кроме того, высокая доля таких рыб была выявлена среди особей осенней кеты, собранных в устье Амура (40,2%). Близкие результаты были получены нами с использованием другого метода оценки возврата – метода отолитного маркирования молоди на ЛРЗ (в 2015–2021 гг.) и последующим поиском «заводских» рыб в смешанной выборке производителей из низовьев р. Амур в 2019–2023 гг. Отметим, что в базовых реках ЛРЗ, на нерестилищах осенней кеты расположенных выше по течению относительно рыбодных заводов, также была выявлена доля рыб заводского происхождения (р. Анюй – 37,9%, р. Гур – 11,1%). Полученные результаты могут указывать на эффективность применения микрохимического анализа отолитов для выявления возврата осенней кеты, молодь которой выпускается с ЛРЗ, а также определяют необходимость продолжения исследований в этом направлении.

Ключевые слова: река Амур, осенняя кета, искусственное воспроизводство, отолиты, микрохимический анализ.

ВВЕДЕНИЕ

Пастбищная аквакультура и искусственное воспроизводство водных биоресурсов с выпуском молоди для естественного нагула,

является эффективной мерой для поддержания численности важных объектов промысла (Ingram, De Silva, 2015). Одним из примеров подобных практик является искусствен-

ное воспроизводство тихоокеанских лососей *Oncorhynchus* (Смирнов, 1975; Hiroi, 1998; Walpes et. el., 2007). На протяжении последних 20 лет, в северной Пацифике ежегодно с лососевых рыболовных заводов (ЛРЗ) выпускают примерно пять млрд особей молоди различных видов тихоокеанских лососей (<https://www.npafc.org/statistics/>). Из выпущенных в водоёмы в 2023 г. 5,425 млрд экз. молоди – 1,639 млрд (30,2%) пришлось на Российские ЛРЗ. В бассейне Амура уже на протяжении почти 100 лет (с 1929 г.) действует система искусственного воспроизводства осенней кеты *Oncorhynchus keta*. Целью строительства и эксплуатации амурских ЛРЗ стало увеличение промысловых запасов осенней кеты, особенно в периоды естественного снижения численности. В период работы ЛРЗ в бассейне р. Амур неоднократно поднимался вопрос об их эффективности. При этом оценка эффективности и влияния искусственного воспроизводства на пополнение промысловых ресурсов кеты в бассейне Амура выполнялась только на основе косвенных результатов (Рослый, 2002; Коцюк, 2020). В настоящее время назрела необходимость более точного определения вклада аквакультуры в формирование промысловых запасов осенней кеты.

Одним из способов идентификации происхождения производителей осенней кеты является метод микрохимического анализа отолитов. Ранее нами была проведена работа по анализу химических маркеров, специфичных для молоди осенней кеты, выпускаемой с ЛРЗ Приамурья (Mikheev et al., 2023). Было установлено, что величина изотопного соотношения $^{88}\text{Sr}/^{43}\text{Ca}$ краевой зоны отолитов выборок «заводской» молоди осенней кеты Амурского бассейна была достоверно выше, чем у молоди естественного происхождения, что может быть связано с высоким содержанием стронция в корме, используемом для подращивания молоди на рыбзаводах. Отметим, что метод успешно применялся ранее для классификации кеты *O. keta* рыболовных хозяйств восточного побережья Кореи (Sohn

et al., 2005) и особей естественного происхождения из трёх нерестовых рек Японии (Arai et al., 2007). Также, эффективность микрохимического анализа отолитов была продемонстрирована при идентификации особей искусственного происхождения у других лососевых, в частности атлантического лосося *Salmo salar* (Martin et al., 2013, Flem at al., 2005), стальноголового лосося *O. mykiss* (Watson et al., 2018), горбуши *O. gorbuscha* (Tomida et al., 2014) и гольца-кривомера *Salvelinus namaycush* (Landsman et al., 2017). Основой метода является точечная оценка концентрации химических элементов и их изотопов в пределах мальковой зоны отолита взрослой осенней кеты. Данный подход был использован нами в работе для анализа отолитов осенней кеты в смешанной выборке производителей искусственного и естественного происхождения, пойманных в бассейне р. Амур.

Целью работы являлся пилотный проект по анализу возврата осенней кеты от молоди, выпускаемой с лососевых рыболовных заводов (ЛРЗ) амурского бассейна, среди производителей, заходящих в р. Амур в 2020 г., вернувшихся на ЛРЗ и базовые реки рыболовных заводов. Кроме того, для подтверждения гипотезы о влиянии состава корма на микроэлементный состав молоди костной ткани осенней кеты, нами был проведён анализ костной ткани и пищевых объектов кеты естественного и искусственного происхождения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для настоящей работы послужили выборки производителей амурской осенней кеты. Производителей кеты собирали в 2020 г. на трёх ЛРЗ Амурского филиала ФГБУ «Главрыбод» (Аньюском, Гурском и Удинском) в рр. Анюй и Гур, выше по течению от ЛРЗ, а также из промысловых уловов в русле р. Амур (табл. 1, рис. 1). Для анализа изменчивости доли рыб «заводского» происхождения в смешанной выборке в устье р. Амур и на путях миграции осенней кеты проводили сбор материала 2–17 сентября 2020 г. На естест-

РЕЗУЛЬТАТЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОСЕННЕЙ КЕТЫ

Таблица 1. Количество материала от производителей амурской осенней кеты 2020 г., использованных в работе

Место и дата сбора материала	Число, экз.
Аньюский ЛРЗ, 1–10 окт.	50
Гурский ЛРЗ, 1–10 окт.	23
Удинский ЛРЗ, 1–10 окт.	55
р. Анюй, 20 окт.	29
р. Гур, 15 окт.	36
р. Амур (р-он пос. Киселевка), 10–15 сент.	59
р. Амур (р-он г. Николаевск-на-Амуре), 2, 7, 17 сент.	163
р. Амур (р-он с. Тыр), 9 сент.	12

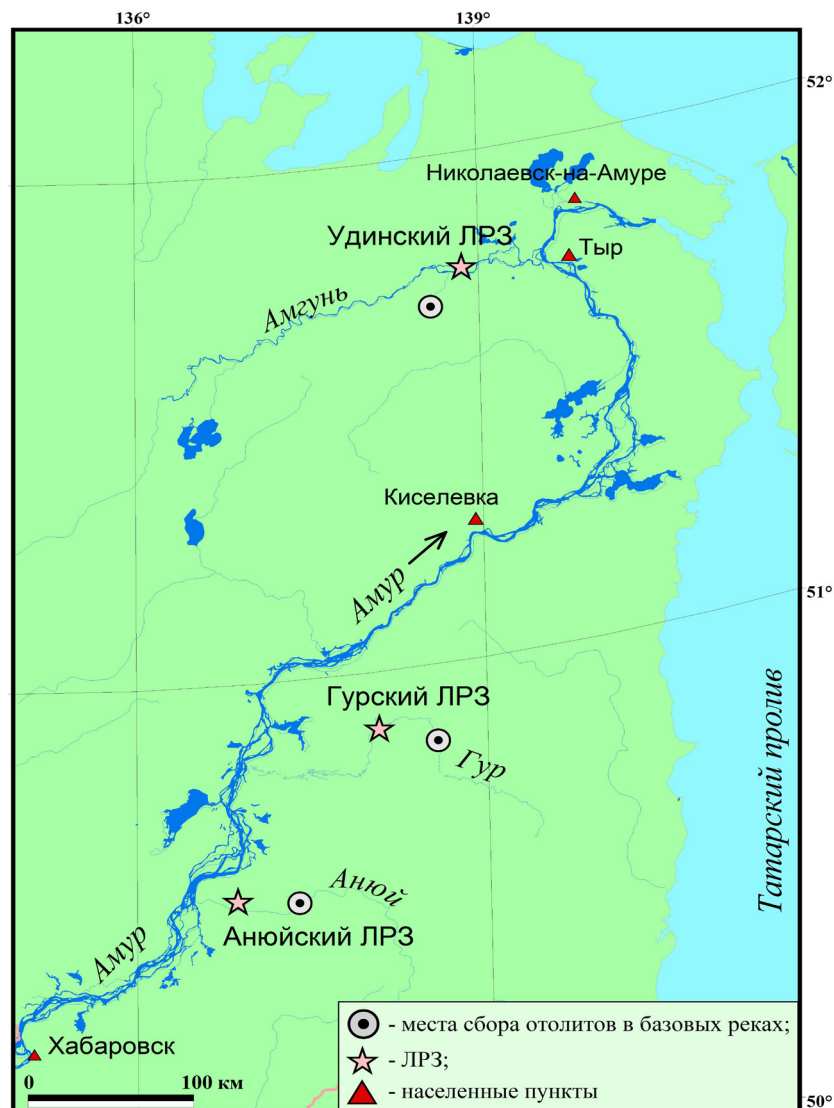


Рис. 1. Карта-схема района сбора материала.

венных нерестилищах вида и на рыбоводных заводах проводили сбор материала в начале октября. Объём собранного материала составил 427 экз.

Сбор производителей на ЛРЗ проводили в период работ по получению половых продуктов, сбор отолитов снёнки осенней кеты с нерестилищ базовых рек ЛРЗ осуществляли после нереста. Отолиты извлекали, высушивали и помещали в чешуйные книжки.

После экстракции каждому отолиту кеты присваивали индивидуальный код. Далее отолиты обрабатывали способом шлифовки и полировки при помощи водостойкой наждачной бумаги с зернистостью P1000 (размер зерна 14–20 мкм) и P1500 (размер зерна 7–10 мкм). Дальнейшая полировка проводилась с применением полировальных плёнок 3М с зернистостью от 5 до 0,3 мкм. Шлифовка и полировка проводились на водной основе. После полировки отолит переносили на индивидуальную ячейку аналитической матрицы, представляющей из себя петрографический слайд размером 26 x 46 мм.

Отолиты, перенесённые на аналитическую матрицу, использовали для проведения микрохимического анализа. Микрохимический анализ проводили на базе центра коллективного пользования Геологического факультета ПГНИУ (г. Пермь) методами масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и приставкой лазерной абляции (LA ICP-MS) с использованием установки лазерной абляции LSX-213 G2 и квадрупольного масс-спектрометра Bruker Aurora M90 – Quadrupole ICP-MS (рис. 2).

Анализировали концентрацию изотопов стронция ^{88}Sr и кальция ^{43}Ca после калибровки масс-спектрометра с использованием стандартов FEBS-1 и NIST 612 (Sturgeon et al., 2005). Анализ химического состава мальковой зоны шлифов отолитов взрослых рыб проводили на расстоянии 150–210 мкм от зоны примордиумов. Точечную лазерную абляцию проводили при следующих настройках лазера: диаметр луча 25 мкм, частота 10 Hz, количество

импульсов 200, уровень энергии 60%. Общее время абляции одной пробы составляло 20 секунд, при этом анализ состава вещества проводили, начиная с 4 секунды. Задержка абляции была использована для исключения возможного эффекта химического состава примесей на поверхности образца на результаты анализа вещества отолита. Абляция происходила в атмосфере аргон-гелиевой смеси. Перед анализом каждого отолита выдерживали паузу продолжительностью не менее 60 секунд для очистки анализатора от состава предыдущего образца. Для оценки инструментального дрейфа стандарты подвергали абляции после анализа каждых 10 образцов.

Полученные абсолютные значения концентрации изотопа ^{88}Sr (ppm) были стандартизованы относительно концентрации изотопа ^{43}Ca (%) и представлены как соотношение молярных масс (Zimmerman et al., 2013).

Для проверки гипотезы о влиянии состава корма на микроэлементный состав молоди костной ткани осенней кеты естественного и искусственного происхождения, был проведён анализ содержания стронция в костной ткани молоди и компонентов питания молоди естественного и искусственного происхождения. Выборки молоди осенней кеты (по 30 экз.) для микрохимического анализа были собраны на Аньюском, Гурском и Удинском РЗ весной 2019 г., а также на р. Анюй в мае 2020 г. Для анализа микроэлементного состава костной ткани, у фиксированной в спирте молоди удаляли мускулатуру, очищенные позвоночные столбы объединяли в единый образец. У молоди осенней кеты р. Анюй под бинокляром извлекали пищевой комок. Содержимое желудка от всех рыб также объединяли в единую пробу. Использование объединённой выборки определялось малой массой индивидуального образца и ограничениями по минимальной навеске пробы, используемой для ICP MS – анализа. Кроме того, проводили микроэлементный анализ состава корма (Aller Aqua, Польша), который используется при подращивании молоди

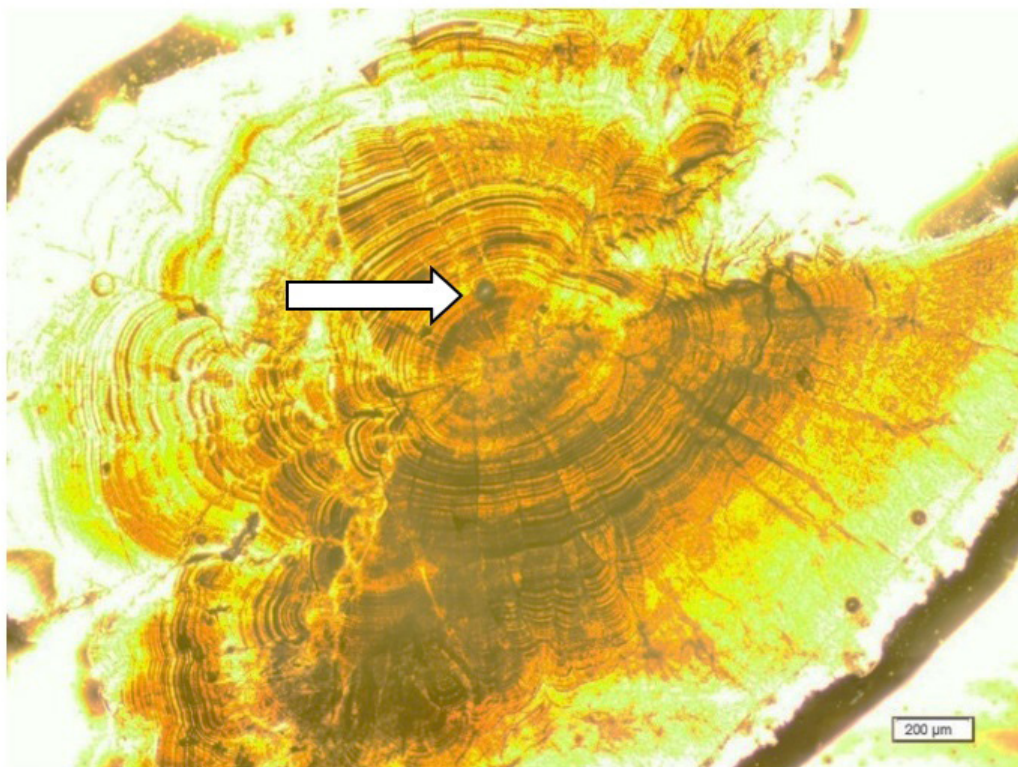


Рис. 2. Отолит производителя амурской осенней кеты после микрохимического анализа LA ICP-MS методом. Точка взятия пробы вещества отолита методом лазерной абляции обозначена стрелкой. Фотографирование проводилось с использованием микроскопа OLYMPUS BX53 при увеличении 10X (Mikheev et al., 2023).

тихоокеанских лососей на Анюйском, Гурском и Удинском рыболовных заводах. Далее проводили кислотную минерализацию проб путем её растворения в азотной кислоте (HNO_3). Контейнер помещали в микроволновую химическую станцию «EXCEL». После проведения минерализации контейнер охлаждался до комнатной температуры. После микроволнового разложения в кислотах пробы переносились в пробирки объёмом 50 мл. Далее проводили микрохимический анализ в Центре совместного использования исследовательского оборудования геологического факультета Пермского государственного национального исследовательского университета методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (LA ICP-MS) с использованием квадрупольного ICP-MS Bruker Aurora M90. Используя полученные абсолютные значения концентрации изотопа Sr (ppm) расчи-

тывали его концентрации в твёрдом веществе относительно навески проанализированного образца (мг/кг).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Значение концентрации стронция в костной ткани молоди осенней кеты Гурского, Удинского и Анюйского ЛРЗ варьировало от 132,2 мг/кг до 242,2 мг/кг, составив в среднем $201,1 \pm 60,0$ мг/кг, что значительно выше, чем у молоди осенней кеты естественного происхождения из р. Анюй: в объединённой выборке молоди р. Анюй содержание стронция в костной ткани составило 120,6 мг/кг. Полученная разница может быть объяснима повышенным содержанием стронция в корме, используемом для подращивания кеты. Содержание стронция в корме молоди кеты на ЛРЗ варьировало от 43,1 мг/кг до 309,0 мг/кг, составив в среднем $151,1 \pm 139,8$ мг/кг. При этом concentra-

ция стронция в объединённой пробе содержимого желудка молоди осенней кеты из р. Анью составила 120,6 мг/кг. Хотя полученные данные не позволяют провести статистическое сравнение, разница в составе пищи и костной ткани молоди искусственного и естественного происхождения может указывать на справедливость гипотезы о влиянии химического состава корма на химический состав отолитов рыб (Buckel et al., 2004; Doubleday et al., 2013). В условиях рыбоводных предприятий молодь кеты подращивается с применением кормов, протеиновая основа которых состоит из сырья морского происхождения богатого стронцием (Lahtinen et al., 2021), что не противоречит возможности использования повышенной концентрации этого элемента в качестве маркера для молоди рыбоводного происхождения (Otoliths offer..., 2020). Далее анализ содержания стронция в пределах мальковой зоны шлифа отолита взрослой кеты был использован нами для идентификации происхождения особи.

Основываясь на результатах ранее проведённых исследований показавших стабильно низкое значение молярного соотношения $^{88}\text{Sr}:^{43}\text{Ca}$ у молоди естественного происхождения, мы использовали верхнее пороговое значение 95% доверительного интервала величины $^{88}\text{Sr}:^{43}\text{Ca}$ равное $1,7 \times 10^{-3}$ ммоль/моль в качестве пограничной величины применимой для дифференциации рыб искусственного и естественного происхождения (Mikheev et al., 2023) (рис. 3). При таком подходе анализ значений анализируемого маркера позволяет сделать предположение о соотношении особей естественного и искусственного происхождения среди исследованных групп производителей амурской осенней кеты (табл. 2).

Результаты показали, что в 2020 г. доля рыб искусственного происхождения среди исследованных выборок производителей амурской осенней кеты, варьировала в зависимости от района сбора материала в широком диапазоне (8,7%–56,4%) (рис. 4). Среди осенней кеты из р. Амур ($n = 234$) существенная

часть рыб ($n = 94$, 40,2%) характеризовалась величинами маркера выше принятого нами порогового значения. Сходные показатели доли «заводских» рыб в уловах осенней кеты в р. Амур – 40,9% были получены для сборов в 2019 г. (Mikheev et al., 2023) оценённых при помощи данного идентичного метода. Кроме того, несколько отличающиеся, но близкие результаты были получены нами с использованием другого метода оценки возврата – метода отолитного маркирования молоди на ЛРЗ (в 2015–2021 гг.) и последующим поиском «заводских» рыб в смешанной выборке производителей из низовьев р. Амур в 2019–2023 гг. (Кошелев, Литовченко, 2024). Доля заводских рыб при этом составила – 31,6%.

Таким образом результаты идентификации происхождения особей осенней кеты в 2019–2023 гг. в низовьях реки Амур проведённые двумя методами показывают достаточно высокую степень сходства. Доля «заводской» осенней кеты в р. Амур может варьировать в диапазоне 31,6–40,9%.

При ряде допущений, основываясь на данных о доле «заводских» рыб в уловах, численности подходов осенней кеты к устью Амура и объёмах выпуска молоди с ЛРЗ, возможно рассчитать коэффициент возврата «заводской» осенней кеты. Подход осенней кеты в р. Амур в 2020 г. составил 6,489 млн экз. Доля особей «заводского» происхождения в смешанной выборке осенней кеты, заходящей на нерест в р. Амур – 40,2%, или 2,608 млн экз. Выпуск молоди осенней кеты в 2016 и 2017 гг. которые пришли на нерест в 2020 г. (возраст 3 и 4+, 94,6%) составил соответственно 80,2 и 74,9 млн экз. (сред. 77,6). Отсюда, средний расчётный коэффициент возврата «заводской» осенней кеты к устью р. Амур может составить 3,4%. Анализ литературы показал, что данный коэффициент весьма условно определяет долю вернувшихся производителей от выпущенной с ЛРЗ молоди и напрямую зависит от районов вылова производителей. Так, лов кеты могут вести в прибрежье, как например у о. Хоккайдо и где коэффициент возврата

РЕЗУЛЬТАТЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОСЕННЕЙ КЕТЫ

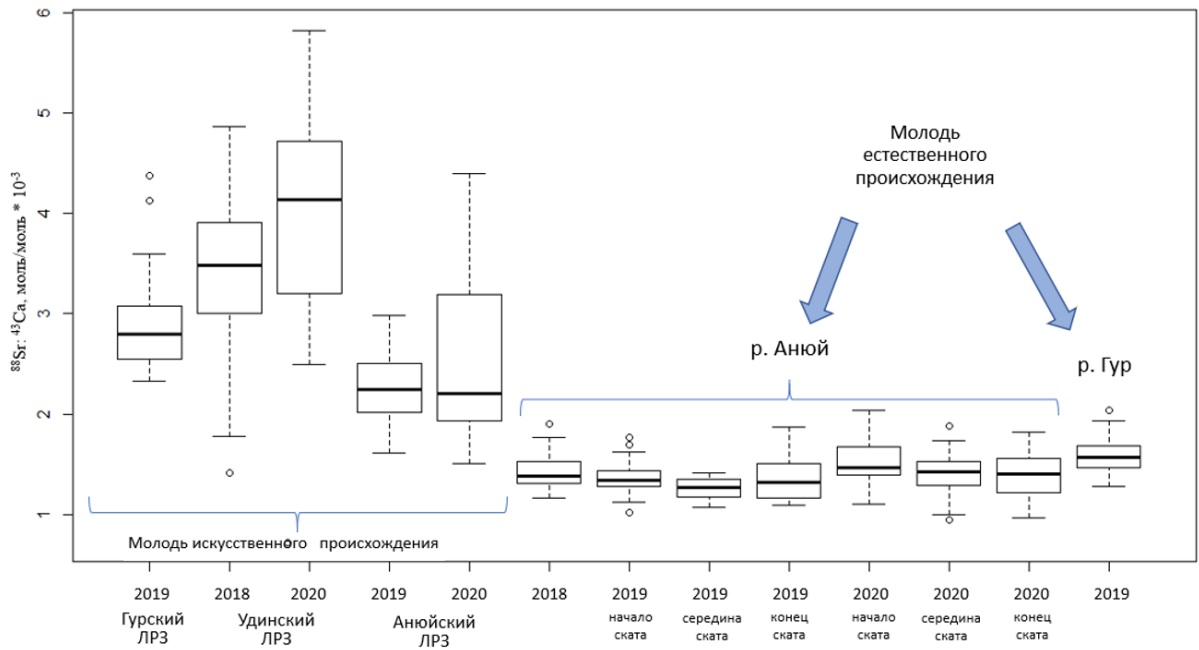


Рис. 3. Величина изотопного соотношения $^{88}\text{Sr}:^{43}\text{Ca}$ краевой зоны отолитов молоди кеты осенней Гурского ЛРЗ, Удинского ЛРЗ, Аноуйского ЛРЗ, р. Аноуй и р. Гур. Данные представлены в виде *box plot* диаграммы (Mikheev et al., 2023).

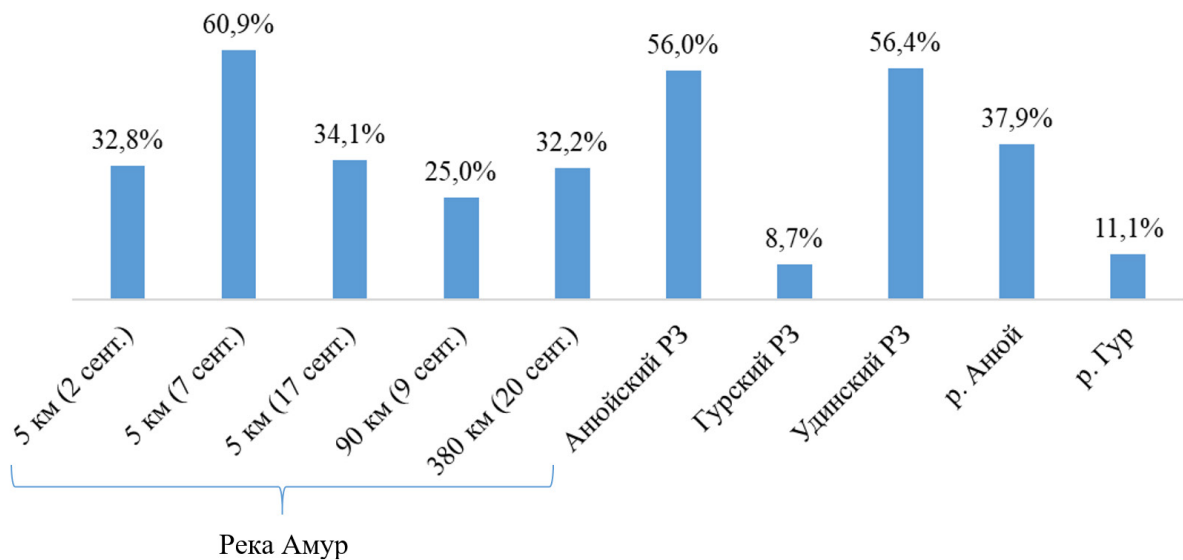


Рис. 4. Доля особей со значением $^{88}\text{Sr}:^{43}\text{Ca}$ выше $1,7 \times 10^{-3}$ ммоль/моль в мальковой зоне отолитов производителей кеты, собранных в 2020 г. в р. Амур на расстоянии 5–380 км от устья, а также на Гурском ЛРЗ, Удинском ЛРЗ, Аноуйском ЛРЗ, реках Аноуй и Гур.

кеты составляет 1,8–7% (Марковцев, 2007; Запорожец, Запорожец, 2011; Hiron, 1998), или на ЛРЗ о. Итуруп (3%) рядом с которым практически отсутствуют районы массового промысла лососей, где возможен вылов чужаками

«заводской» рыб. В свою очередь для рыбозаводных заводов Сахалина коэффициент возврата кеты в среднем составил 0,88% (Чистякова, Бугаев, 2016). При этом вылов кеты здесь массово ведётся на путях миграции в прибрежье

Таблица 2. Число рыб со значением $^{88}\text{Sr}:^{43}\text{Ca}$ выше $1,7 \times 10^{-3}$ ммоль/моль среди выборок производителей амурской осенней кеты, использованных в работе

Место сбора		Число проанализированных экз.	Число рыб со значением маркера выше $1,7 \times 10^{-3}$ ммоль/моль	
ЛРЗ	Аньюйский	50	28	
	Гурский	23	2	
	Удинский	55	31	
Базовые реки	р. Анюй	29	11	
	р. Гур	36	4	
р. Амур	р-он пос. Киселевка		59	19
	р-он г. Николаевск-на-Амуре	2 сент.	58	19
		7 сент.	64	39
		17 сент.	41	14
	р-он с. Тыр (9 сент.)		12	3

и в реках, что способствует существенному уменьшению коэффициента возврата при подсчёте вернувшихся непосредственно на ЛРЗ зрелых рыб.

Таким образом, обоснованно полагаем, что не имеет большого смысла сравнивать данный показатель с коэффициентами для других отдельных рыболовных предприятий или их групп ЛРЗ, например, для Японии. Результаты, полученные в рамках настоящего проекта, безусловно, представляют интерес и указывают на необходимость продолжения исследований в этом направлении.

Полученные двумя независимыми методами (микрoхимия и отолитометрия) данные являются первыми в истории изучения эффективности заводского воспроизводства кеты в бассейне р. Амура. Беря во внимание период выпуска молоди кеты с ЛРЗ (1929–2024 гг.) с совокупным выпуском в р. Амур 4,37 млрд молоди кеты, можно утверждать, о важности её искусственного воспроизводства в пополнении запасов вида в бассейне реки. Почти 100 лет промысловые запасы осенней кеты Амура, формируются из «заводских» и

диких особей. Сходная ситуация отмечена во всех без исключения районах промысла тихоокеанских лососей *Oncorhynchus* в Северной Пацифике (Ruggerone et al., 2010; Miyakoshi et al., 2013). Промысел везде основан на эксплуатации запасов смешанных стад – диких и «заводских». Доля «заводских» рыб варьирует от почти нулевого до 83% у кеты Японских островов. С середины 80-х гг. прошлого века численность «заводской» кеты в мире в возвратах превысила численность дикой (Ruggerone et al., 2010). В отдельные годы «заводская» кета доминировала над дикой до 2,5 раз.

Отметим, что осенняя кета с величиной молярного соотношения $^{88}\text{Sr}:^{43}\text{Ca}$ свыше $1,7 \times 10^{-3}$ ммоль/моль была найдена в пробах из забоек всех трёх ЛРЗ (Аньюйский, Гурский, Удинский) (табл. 2). Доля «заводских рыб» на данных ЛРЗ существенно различается. На Гурском ЛРЗ она минимальна – 8,7%, на Удинском и Аньюйском она близка и составляет 56,4 и 56% соответственно. Ранее, в 2019 г., доля «заводских» рыб в уловах на забойке Аньюйского ЛРЗ составляла 89,7% (167 из 186 экз.) (Mikheev et al., 2023).

Таким образом, доля заводских производителей на родном ЛРЗ внутри бассейна Амура значительно варьирует. Кроме того, варьирует и доля заводских рыб в уловах на отдельном ЛРЗ в зависимости от года исследований. В базовых реках, выше по течению от ЛРЗ, доля заводских рыб составила: р. Анюй – 37,9%, р. Гур – 11,1% (табл. 2). Удивляет низкий процент заводских рыб в 2020 г. как на Гурском ЛРЗ, так и в р. Гур. Данный рыболовный завод расположен в среднем течении р. Гур (на 140 км от устья) на притоке первого порядка – р. Хумма. Выпуск молоди кеты в 2010–2020 гг. с данного ЛРЗ варьировал в диапазоне от 2,2 до 16,0 млн экз. (сред. – 8,4 млн). Площадь нерестилищ р. Гур – 200,0 тыс. м², при этом объёмы естественного воспроизводства на реке не известны. Факт низкой доли «заводских» рыб на ЛРЗ может быть связан с небольшим объёмом выборки и требует сбора более репрезентативного материала в течение всего нерестового хода осенней кеты в р. Гур и в период подхода производителей на Гурский ЛРЗ.

Анализ собранных отолитов осенней кеты с естественных нерестилищ базовых рек на которых находятся рыболовные заводы, свидетельствует, что значительная часть «заводских» особей минует забойки ЛРЗ и участвует в естественном нересте в базовых реках. Данный факт обусловлен стрейнгом, который является одной из черт миграционного поведения тихоокеанских лососей и причиной того, что рыбы искусственного происхождения могут быть встречены на естественных нерестилищах (Brenner et al., 2012; Zhivotovsky et al., 2012). Выявленный факт присутствия значительного количества «заводских» особей внушает опасение, так как при регулярном проникновении рыб искусственного происхождения на естественные нерестилища, возможны изменения генетической структуры и потеря адаптивных черт популяций, воспроизводящихся естественным путем (Wessel et al., 2006; Araki et al., 2007; Marie et al., 2010; Grant, 2012).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Доля «заводской» осенней кеты в промысловых уловах в устьевой части р. Амур в 2020 г., оценённая способом анализа микрхимического состава мальковой зоны отолитов производителей, составила 40,2%. Результаты идентификации, вкупе с данными других исследований, свидетельствуют о существенном вкладе искусственного воспроизводства осенней кеты в пополнение промысловых ресурсов данного вида в р. Амур. Особи заводского происхождения, с величинами маркера выше порогового значения, доминируют на забойках двух ЛРЗ Анюйском и Удинском (56 и 56,4%), в отличие от Гурского ЛРЗ, где доля «заводских» рыб минимальна и составила 8,7%. Значительная часть «заводских» особей минует забойки ЛРЗ и участвует в естественном нересте в базовых реках ЛРЗ выше по течению. Доля заводских рыб в р. Анюй – 37,9, р. Гур – 11,1%. Значительное «перемешивание» «заводских» и диких стад осенней кеты в бассейне р. Амур внушает опасение в связи с угрозой изменения генетической структуры и потери адаптивных черт популяций, воспроизводящихся естественным путем. Полученные данные свидетельствуют о вариабельности вклада рыб «заводского» происхождения в состав рыб, осваиваемых промыслом, возвращающихся на рыболовные заводы и участвующих в естественном нересте на базовых реках таких заводов, что требует продолжения работ в этом направлении. В качестве дальнейшего применения этой методологии мы планируем определить маркеры, характерные для каждого из рыболовных заводов и основных нерестовых притоков, относящихся к водосборам реки Амур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Запорожец Г.В., Запорожец О.М. Лососеводство в зарубежных странах северотихоокеанского региона // Исслед. водн. биол. ресур. Камчатки и сев.-запад. части Тих. океана. 2011. Вып. 22. С. 28–48.

Коцюк Д.В. Искусственное воспроизводство тихоокеанских лососей в бассейне р. Амур: история, современное состояние, перспективы // Известия ТИНРО. 2020. Т. 200. Вып. 3. С. 530–550.

Кошелев В.Н., Литовченко Ж.С. Биологическая и экономическая эффективность искусственного воспроизводства осенней кеты в бассейне реки Амур // Вопр. рыболовства. 2024. Т. 25. № 4. С. 89–96.

Марковцев В.Г. Эффективность искусственного воспроизводства тихоокеанских лососей в странах АТР // Бюл. № 2 реализации «Концепции Дальневосточной бассейновой программы изучения лососей». Владивосток. ТИНРО-Центр, 2007. С. 87–95.

Рослый Ю.С. Динамика популяций и воспроизводство тихоокеанских лососей в бассейне Амура. Хабаровск: Хабаровское книжное изд-во, 2002. 210 с.

Смирнов А.И. Пути интенсификации воспроизводства тихоокеанских лососей // Труды ВНИРО, 1975. Т. 106. С. 130–140.

Чистякова А.И., Бугаев А.В. Оценка происхождения и пути миграций заводской молоди горбуши и кеты в бассейне Охотского моря в осенний период 2011–2014 гг. // Исслед. водн. биол. ресур. Камчатки и сев.-запад. части Тих. океана. 2016. Вып. 40. С. 5–23.

Araki H., Cooper B., Blouin M.S. Genetic effects of captive breeding cause a rapid, cumulative fitness decline in the wild // Science. 2007. V. 318. P. 100–103.

Arai T., Hirata T., Takagi Y. Application of laser ablation ICPMS to trace the environmental history of chum salmon *Oncorhynchus keta* // Marine Environmental Research. 2007. V. 63. P. 55–66.

Brenner R.E., Moffitt S.D., Grant W.S. Straying of hatchery salmon in Prince William Sound, Alaska // Environmental Biology of Fishes. 2012. V. 94. P. 179–195.

Buckel J.A., Sharack B.L., Zdanowicz V.S. Effect of diet on otolith composition in *Pomatomus saltatrix*, an estuarine piscivore. // J. Fish. Biol. 2004. V. 64 P. 1469–1484.

Doubleday Z.A., Izzo C., Woodcock S.H., Gillanders B.M. Relative contribution of water and diet to otolith chemistry in freshwater fish // Aquatic Biology. 2013. V. 18 P. 271–280.

Flem B., Moen V., Grimstvedt A. Trace element analysis of scales from four populations of Norwegian Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) for stock identification using laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry // Appl. Spectrosc. 2005. V. 59. № 2. P. 245–251.

Grant W.S. Understanding the adaptive consequences of hatchery-wild interactions in Alaska salmon // Environ. Biol. Fish. 2012. V. 94. № 1. P. 325–342.

Hiroi O. Historical trends of salmon fisheries and stock conditions in Japan // North Pacific Anadr. Fish Com. Bul. 1998. V. 1. P. 23–27.

Ingram B.A., De Silva S.S. General aspects of stock enhancement in fisheries developments. In Sena, S. De Silva, B.A. Ingram and S. Wilkinson, eds. Perspectives on culture-based fisheries developments in Asia. Bangkok, Thailand: Network of Aquaculture Centres in Asia-Pacific, 2015. P. 27–37.

Lahtinen M., Arppe L., Nowell, G. Source of strontium in archaeological mobility studies-marine diet contribution to the isotopic composition // Archaeol Anthropol Sci 2021. V.13, P. 1 <https://doi.org/10.1007/s12520-020-01240-w>

Landsman S., Stein J.A., Whittle G. et al. Stable oxygen isotope analysis confirms natural recruitment of Lake Michigan-origin Lake Trout (*Salvelinus namaycush*) to the adult life stage // Fish. Res. 2017. V. 190. P. 15–23.

Marie A.D., Bernatchez L., Garant D. Loss of genetic integrity correlates with stocking intensity in brook charr (*Salvelinus fontinalis*) // Molecular Ecology. 2010. V. 19. P. 2025–2037.

Martin J., Bareille G., Beraïl S. et al. Persistence of a southern Atlantic salmon population: Diversity of natal origins from otolith elemental and Sr isotopic signatures // Can. J. of Fish. Aquat. Sci. 2013. V. 70. P. 182–197.

Mikheev P.B., Kotsyuk D.V., Podorozhnyuk E.V. et al. The identification of individuals with hatchery and natural origin in a mixed sample

of Amur River chum salmon by Otolith microchemistry // *Aquaculture and Fisheries*. 2023. V. 8. № 3. P. 341–350.

Miyakoshi Y., Nagata M., Kitada S. et al. Historical and current hatchery programs and management of chum salmon in Hokkaido, northern Japan // *Rev. Fish. Sci.* 2013. V. 21. P. 469–479.

NPAFC (The North Pacific Anadromous Fish Commission). NPAFC Statistics: Pacific Salmonid Catch and Hatchery Release Data. 2023. Accessed from <https://www.npafc.org/statistics/> (дата обращения 16.08.2024 г.).

Otoliths offer insight into fish history. 2020. Accessed from <https://www.hatcheryinternational.com/otoliths-offer-insight-into-fish-history/> (дата обращения 16.08.2024 г.).

Ruggerone G.T., Peterman R.M., Dorner B. et al. Magnitude and trends in abundance of hatchery and wild pink, chum, and sockeye salmon in the North Pacific Ocean // *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science*. 2010. V. 2. P. 306–328.

Sohn D., Kang S., Kim S. Stock identification of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) using trace elements in otoliths // *J. Oceanogr.* 2005. V. 61. P. 305–312.

Sturgeon R.E., Willie S.N., Yang L. et al. Certification of a fish otolith reference material in support of quality assurance for trace element analysis // *J. of Analytical Atomic Spectrometry*. 2005. V. 20. № 10. P. 1067.

Tomida Y., Suzuki T., Yamada T. et al. Differences in oxygen and carbon stable isotope ratios between hatchery and wild pink salmon fry // *Fish. Sci.* 2014. V. 80. № 2. P. 273–280.

Waples R.S., Ford M.J., Schmitt D. Empirical results of salmon supplementation in the Northeast Pacific: a preliminary assessment // *Ecological and genetic implications of aquaculture activities*. 2007. P. 383–403.

Watson N.M., Prichard C.G., Jonas J.L. et al. Otolith chemistry-based discrimination of wild- and hatchery-origin Steelhead across the Lake Michigan Basin // *North Amer. J. Fish. Manag.* 2018. V. 38. P. 820–832.

Wessel M.L., Smoker W.W., Fagen R.M. et al. Variation of agonistic behavior among juvenile Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) of hatchery, hybrid, and wild origin // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2006. V. 63. P. 438–447.

Zhivotovsky L.A., Fedorova L.K., Rubtsova G.A. et al. Rapid expansion of an enhanced stock of chum salmon and its impacts on wild population components // *Environmental Biology of Fishes*. 2012. V. 94. № SI1. P. 249–258.

Zimmerman C.E., Swanson H.K., Volk E.C. et al. Species and life history affect the utility of otolith chemical composition for determining natal stream of origin for Pacific salmon // *Trans. Am. Fish. Soc.* 2013. V. 142. № 5. P. 1370–1380.

**RESULTS OF IDENTIFICATION OF AUTUMN CHUM SALMON
ONCORHYNCHUS KETA (SALMONIFORMES) OF HATCH-
BREEDER ORIGIN IN THE AMUR RIVER BASIN BASED ON
THE ANALYSIS OF THE MICROCHEMICAL COMPOSITION
OF OTOLITHS BASED ON THE MATERIALS OF 2020**

© 2024 г. P.B. Mikheev^{1,2}, V.N. Koshelev¹, E.V. Podorozhnyuk¹,
K.S. Yakubova², B.O. Morozov¹, A.J. Puzik², M.A. Volkova², E.Yu. Kochkina²

1 – Khabarovsk branch of the State Science Center of the «VNIRO»,
Russia, Khabarovsk, 680038

2 – «Perm State National Research University», Russia, Perm, 614068

The paper presents the results of using microchemical analysis of otoliths to identify the return of autumn chum salmon, the juveniles of which are released from salmon hatcheries in the Amur basin. It was previously found that juvenile autumn chum salmon of hatchery origin were characterized by higher values of the $^{88}\text{Sr}/^{43}\text{Ca}$ ratio in the marginal zone of otoliths compared to juveniles of natural origin, which may be due to the high strontium content in the feed used to grow juveniles at hatcheries. Using the $^{88}\text{Sr}/^{43}\text{Ca}$ value to determine fish of artificial and natural origin among spawners of autumn chum salmon collected in the Amur River, at salmon hatcheries and base rivers of hatcheries, fish with a high level of the analyzed isotope ratio in the juvenile zone of otoliths were identified, which indicates their artificial origin. Among the fish from the Anyui and Udinsky hatcheries, the majority of fish (56,0 and 56,4%) are characterized by marker values above the threshold, which also indicates their artificial origin. In addition, a high proportion of such fish was found among the individuals of autumn chum salmon collected in the Amur mouth (40,2%). We obtained similar results using another method for assessing the return – the method of otolith marking of juveniles at the hatcheries (in 2015–2021) and the subsequent search for «factory» fish in a mixed sample of spawners from the lower reaches of the Amur River in 2019–2023. It should be noted that in the base rivers of the hatcheries, on the spawning grounds of autumn chum salmon located upstream from the hatcheries, the proportion of fish of hatchery origin was also identified (Anyui River – 37,9%, Gur River – 11,1%). The obtained results may indicate the effectiveness of using microchemical analysis of otoliths to identify the return of autumn chum salmon, the young of which are released from the hatchery, and also determine the need for continuing research in this direction.

Keywords: Amur River, autumn chum salmon, artificial reproduction, otoliths, microchemical analysis.