



Научная статья / Original article

УДК 639.3.09:597.552.511

doi:10.15853/2072-8212.2026.80.79-89

EDN: DGYDFY



ПРИЧИНЫ СЕЗОННОЙ ГИБЕЛИ МОЛОДИ КЕТЫ (*ONCORHYNCHUS KETA* WALBAUM) НА ОДНОМ ИЗ РЫБОВОДНЫХ ЗАВОДОВ САХАЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Устименко Елена Александровна[✉], Рязанова Татьяна Вячеславовна, Бочкова Елена Валентиновна, Сергеев Наталья Валентиновна

Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия, e.ustimenko@kamniro.vniro.ru[✉]

Аннотация. В результате ихтиопатологических исследований молоди кеты на одном из лососевых рыболовных заводов Сахалинской области в мае–июне 2023 г. установлено наличие двух взаимосвязанных проблем: хронической бактериально-микозной инфекции, вызывающей постоянную низкую смертность, и сезонных острых гипоксических явлений, приводящих к массовому замору молоди рыб. Выявлены характерные гистопатологические изменения, оценена чувствительность выделенных микроорганизмов к антибиотикам.

Ключевые слова: молодь кеты, флавобактериоз, сапролегниоз, гипоксия, гистопатология, антибиотикочувствительность, лососевый рыболовный завод.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Устименко Е.А., Рязанова Т.В., Бочкова Е.В., Сергеев Н.В. Причины сезонной гибели молоди кеты (*Oncorhynchus keta* Walbaum) на одном из рыболовных заводов Сахалинской области // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2026. Вып. 80. С. 79–89. EDN: DGYDFY. doi:10.15853/2072-8212.2026.80.79-89

CAUSES OF SEASONAL MORTALITY OF JUVENILE CHUM SALMON (*ONCORHYNCHUS KETA* WALBAUM) AT A HATCHERY IN THE SAKHALIN REGION

Elena A. Ustimenko[✉], Tatiana V. Ryazanova, Elena V. Bochkova, Natalya V. Sergeenko

Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, e.ustimenko@kamniro.vniro.ru[✉]

Abstract. Ichthyopathological studies of juvenile chum salmon at a salmon hatchery in the Sakhalin Region, conducted in May–June 2023, revealed two interrelated problems: a chronic mixed bacterial and saprolegniosis infection causing continuous low-level mortality, and seasonal acute hypoxic events leading to mass fish kills. Characteristic histopathological changes were identified, and the antibiotic susceptibility of the isolated microorganisms was assessed.

Keywords: juvenile chum salmon, flavobacteriosis, saprolegniosis, hypoxia, histopathology, antibiotic susceptibility, salmon hatchery.

Funding. The study was not sponsored.

For citation: Ustimenko E.A., Ryazanova T.V., Bochkova E.V., Sergeenko N.V. Causes of seasonal mortality of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta* Walbaum) at a hatchery in the Sakhalin Region // The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2026. Vol. 80. P. 79–89. (In Russ.) EDN: DGYDFY. doi:10.15853/2072-8212.2026.80.79-89

В условиях растущего антропогенного давления восстановлению сокращающихся запасов лососей способствует аквакультура. На Дальнем Востоке находится более 50 лососевых рыболовных заводов (ЛРЗ), большинство из которых сосредоточено на Сахалине (Смирнов и др., 2006). Наиболее распространенным объектом аквакультуры является кета. При искусственном воспроизводстве на ранних периодах жизненного

цикла рыб (личиночном и мальковом) лососевые особенно чувствительным к изменениям абиотических и биотических условий. Повышение температуры воды, снижение растворенного кислорода, накопление органических веществ создают условия для развития условно-патогенной микрофлоры и паразитарных инвазий. Хотя большинство возбудителей относятся к условным патогенам и входят в обычный состав ми-

кробиоценоза водоемов, в стрессовых условиях они способны вызывать заболевания у рыб. В течение нескольких лет на одном из рыбоводных заводов Сахалинской области, культивирующем молодь кеты, регистрировали случаи внезапной массовой смертности рыб в весенне-летний период. В связи с этим целью работы стало определение причин сезонной гибели рыб.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования проводили в 2023 г. на одном из лососевых рыбоводных заводов (ЛРЗ) южной части Сахалинской области. Материалом служили сеголетки кеты с клиническими признаками заболевания и визуально здоровые, а также образцы воды и корма, отобранные 28 мая. Кроме того, 01.06.2023 повторно отобрали пробы молоди для паразитологических и гистологических исследований (табл. 1). Всего комплексными ихтиопатологическими методами было обследовано 111 экз. рыб из открытых выростных прудов.

Отпечатки жабр и кожи, бактериологические посевы на питательные среды образцов рыб и воды, паразитологические исследования, мазки крови с их последующей фиксацией, отбор и/или фиксацию образцов для гистологических и вирусологических исследований осуществляли непосредственно на заводе. Для вирусологических исследований рыб транспортировали в замороженном виде. Дальней-

шую обработку проб проводили в лаборатории Камчатского филиала ВНИРО.

Бактериологические исследования

Фиксированные в метаноле препараты с отпечатками жабр и/или поражений кожи окрашивали по Граму. Из заднего отдела почек рыб делали посевы на питательный агар, с жабр и кожных поражений — на селективные среды TYES для флавобактерий (миксобактерий), *Pseudomonas* F — для псевдомонад *Pseudomonas fluorescens*, Сабуро — для грибов. Идентификацию псевдомонад, аэромонад проводили с помощью тест-системы API 20E (Biomerieux, Франция), флавобактерий — по признакам, характерным для этого рода бактерий (AFS-FHS FHS blue book., 2010).

Определяли чувствительность выделенных штаммов к антибиотикам (мкг/диск): канамицину (30), тетрациклину (30), фурадонину (300), ципрофлоксацину (5), гентамицину (10), энрофлоксацину (5), эритромицину (15) и левомицетину (3), используя диско-диффузный метод (МУК 4.2.1890).

Определяли общую обсемененность (ОМЧ, КОЕ/см³) образцов воды, поступавшей в пруды и на вытоке из них (МУ № 13-4-2/1742). Оценку качества и безопасности кормов проводили по 4 показателям: ОМЧ, сальмонеллы, энтеропатогенные типы кишечной палочки, анаэробы (Правила бактериологического., 1975; Ветеринарно-санитарные нормы., 1997).

Таблица 1. Виды и количество проб, отобранных на ЛРЗ Сахалинской области в 2023 г.
Table 1. Types and number of samples collected at the salmon hatchery in Sakhalin region in 2023

№	Дата Date	Вид проб Sample type	Количество проб от рыб с признаками патологии / без патологии Number of samples from fish with and without pathological signs
1	28.05.23	Мазки и отпечатки жабр и кожи для бактериологических исследований Smears and imprints of gills and skin for bacteriological examination	7/4
2		Посевы образцов внутренних органов и жабр рыб на питательные среды Samples of internal organs and fish gills onto nutrient media	7/4
3		Посев образцов воды на питательную среду Samples of water onto nutrient media	2
4		Соскобы с кожных покровов, жабр, отпечатки внутренних органов для паразитологических исследований Scrapings from skin and gills, imprints of internal organs for parasitological examination	20/5
5		Зафиксированные образцы для гистологических исследований Fixed samples for histopathological examination	12/5
6		Замороженные образцы для вирусологических исследований Frozen samples for virological examination	20/10
7		Мазки крови для гематологических исследований Blood smears for haematological examination	6/6
8		Пробы корма для бактериологических исследований Feed samples for bacteriological examination	1
1	01.06.23	Зафиксированные образцы для гистологических исследований Fixed samples for histopathological examination	10/0
2		Соскобы с кожных покровов, жабр для паразитологических исследований Scrapings from skin and gills for parasitological examination	6/0

Вирусологические исследования

Молодь обрабатывали целиком, объединяя по 5 экз. рыб в один пул. Образцы асептически измельчали, гомогенизировали, взвешивали и разбавляли гомогенат в соотношении 1:10 раствором Хенкса (Биолот), после чего центрифугировали при 2000 g в течение 10 мин. В полученный супернатант добавляли антибиотики (пенициллин-стрептомицин; гентамицин, Биолот) до конечной концентрации не более 300 мкг/мл и деконтаминировали в течение 8 ч при температуре +4 °С. Инокуляцию патматериалом перевиваемой клеточной линии рыб ЕРС проводили на 96-луночных планшетах одновременно с посевом клеток (Сборник инструкций., 1998). Планшеты инкубировали при 15 °С, ежедневно просматривая под инвертированным микроскопом для выявления на клетках цитопатического эффекта (ЦПЭ). Через две недели проводили слепой перепассаж патматериала.

Паразитологические исследования

Молодь вскрывали, осматривали на наличие паразитов, видимых невооруженным глазом. Изготавливали препараты соскобов кожных покровов, жабр, внутренних органов. Для идентификации паразитов использовали отечественные и зарубежные источники (Определитель паразитов., 1984; Fish health protection., 1984; AFS-FHS FHS blue book., 2010).

Гистологические исследования

Отобранную молодь аккуратно вскрывали и фиксировали целиком в растворе Дэвидсона. Через 36 ч образцы переносили в 70%-й спирт. При дальнейшей обработке материала использовали общепринятые методики (Bancroft et al., 1990). Гистологические препараты окрашивали

гематоксилином-эозином по Мейеру, по Романовскому–Гимзе (для выявления паразитов), ШИК-световым зеленым (для выявления микозной инфекции) и по Граму (для выявления бактерий). Материал анализировали с использованием светового микроскопа Olympus BX43, снабженного цифровой фотографической камерой.

Гематологические исследования

Кровь брали из хвостовой артерии. Мазки высушивали на воздухе, фиксировали в метаноле, окрашивали по методу Романовского стандартным раствором Гимза (Житенева и др., 2004). Количество незрелых эритроцитов, лейкоцитарную формулу крови определяли при помощи общепринятых методик (Лабораторный практикум., 1983; Сборник инструкций., 1998). Обращали внимание на дегенеративные изменения клеток красной и белой крови (анизоцитоз, пойкилоцитоз, амитоз, фестончатый край и вакуолизацию цитоплазмы эритроцитов и лейкоцитов и т. д.) (Житенева и др., 1989).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Клиническая картина и эпизоотическая обстановка

В выростных бассейнах 28 мая 2023 г. у 5–10% рыб отмечали поражения кожных покровов разной степени выраженности (далее I группа): от изменения цвета, появления серых пятен за спинным плавником и на хвостовом стебле, потери чешуи (рис. 1А) до глубоких эрозий с разрушением хвостового стебля и плавника (рис. 1Б). Также встречались особи без кожных повреждений, которые плавали на

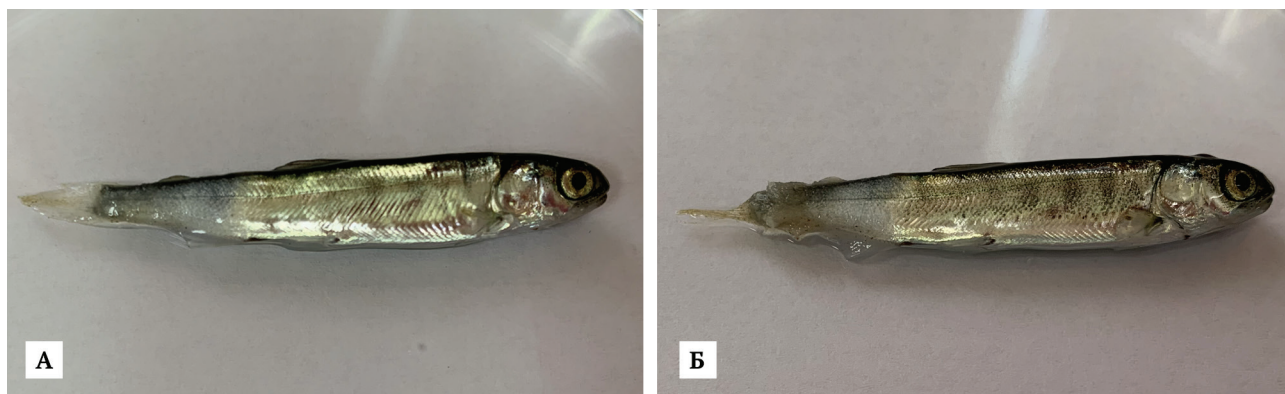


Рис. 1. Клинические признаки заболевания у молоди кеты на ЛРЗ 28.05.2023. А — изменение цвета кожи в области хвостового стебля с потерей чешуи, Б — эрозия хвостового стебля и разрушение хвостового плавника
Fig. 1. Clinical signs of disease in juvenile chum salmon at the hatchery on May 28, 2023. A – skin discoloration in the caudal peduncle area with scale loss, B – erosion of the caudal peduncle and destruction of the caudal fin

боку. При вскрытии рыб отмечали темно-бордовый цвет и ослизнение жабр, бледность почек, переполнение желчного пузыря, неравномерную окраску печени.

Большая часть рыб в прудах была визуально здоровой (далее II группа). Отход молоди в этот период был незначительным (около 1% на пруд). Средняя температура воды на момент отбора проб составляла 10,1 °С.

Во второй половине дня 1 июня на заводе резко повысился отход. Среди погибших рыб преобладали более крупные особи. Погибающая рыба плавала на боку или кверху брюхом с приоткрытыми жаберными крышками. Других патологических признаков не наблюдали (рис. 2).

По информации, полученной от персонала ЛРЗ, в этот день из-за резкого потепления воздуха температура воды в выростных прудах поднялась с 10 до 12 °С. Стремительно начал падать уровень растворенного в воде кислорода, достигнув во второй половине дня 3 мг/л.



Рис. 2. Молодь кеты 01.06.2023. А — общий вид пруда с погибающей рыбой, Б — рыба с приоткрытыми жаберными крышками
Fig. 2. Juvenile chum salmon on June 1, 2023: А – general view of the pond with moribund fish; Б – fish with partially open opercula

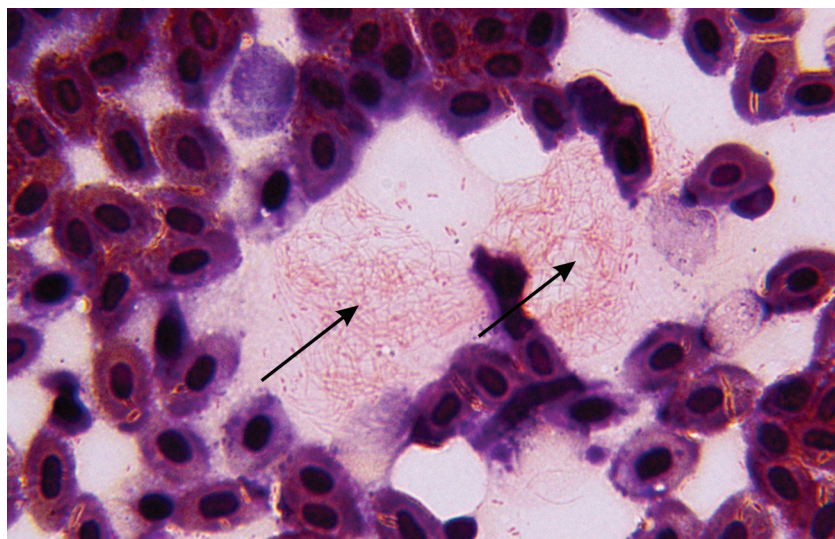


Рис. 3. Скопление нитевидных грам-отрицательных бактерий (†) в соскобе слизи с жабр кеты. Окраска по Граму, ×1000
Fig. 3. Accumulation of filamentous Gram-negative bacteria (†) in a mucus smear from the gills of chum salmon. Gram stain, ×1000

Бактериологические исследования

В соскобах с кожи и жабр исследованной молоди кеты доминировали нитевидные грамотрицательные бактерии (предположительно, *Flavobacterium* sp.) (рис. 3).

У рыб I группы (с признаками патологии) из почек были выделены бактерии видов *Pseudomonas fluorescens* и *Flavobacterium* sp., с жабр и кожи — комплекс (*Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Aeromonas hydrophila*, грибы *Saprolegnia* sp.). Причем сапролегниевые грибы были выделены у всех рыб с поражениями кожи и жабр. У рыб II группы (визуально здоровых) внутренние органы не были контаминированы микроорганизмами, а на жабрах присутствовали только флавобактерии и псевдомонады (табл. 2).

При определении чувствительности к антибиотикам изоляты флавобактерий оказались наиболее чувствительны к энрофлоксацину (зона 2,8–3,2 см), псевдомонад и аэромонад — к ципрофлоксацину (табл. 3).

Таблица 2. Встречаемость (%) условно-патогенных микроорганизмов у молоди кеты разных групп, 28.05.2023
Table 2. Prevalence (%) of opportunistic pathogenic microorganisms in juvenile chum salmon of different groups on May 28, 2023

Микроорганизмы Microorganisms	I группа			II группа	
	Жабры Gills	Почки Kidney	Поражения кожи Skin lesions	Жабры Gills	Почки Kidney
Сапролегниевые грибы / <i>Saprolegnia</i>	100	–	100	100	–
<i>Flavobacterium</i> sp.	100	33,3	100	100	–
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	100	20	100	100	–
<i>Aeromonas hydrophila</i>	20	–	–	–	–

Таблица 3. Чувствительность к антибиотикам микроорганизмов, выделенных от молоди кеты, — зона подавления роста (диаметр, см)
Table 3. Antibiotic susceptibility of microorganisms isolated from juvenile chum salmon — growth inhibition zone diameter (cm)

Изоляты / Isolates	Энр / ENR	Ципр / CIP	Тетр / TET	Кан / KAN	Лев / CHL	Ген / GEN	Фур / NIT	Эри / ERY
<i>A. hydrophila</i> (1)	3,0	3,5	2,2	1,3	0,8	–	0,0	–
<i>A. hydrophila</i> (2)	3,5	3,8	2,5	1,8	3,3	–	2,1	–
<i>P. fluorescens</i>	2,5	3,3	1,1	2,2	1,9	2,2	–	–
<i>Flavobacterium</i> sp. (1)	3,2	2,6	0,7	–	0,0	–	–	3,6
<i>Flavobacterium</i> sp. (2)	2,8	1,7	1,8	–	0,8	–	–	1,2

Примечание. Энр — энрофлоксацин, Ципр — ципрофлоксацин, Тетр — тетрациклин, Кан — канамицин, Лев — левомицетин (хлорамфеникол), Ген — гентамицин, Фур — фурадонин (нитрофурантоин), Эри — эритромицин.
Note. ENR — Enrofloxacin, CIP — Ciprofloxacin, TET — Tetracycline, KAN — Kanamycin, CHL — Chloramphenicol, GEN — Gentamicin, NIT — Nitrofurantoin, ERY — Erythromycin.

Общая обсемененность (ОМЧ) воды на выходе из пруда составила 2296 КОЕ/мл (загрязненная, II категория, МУ 13-4-2/1742), на входе — чистая (менее 1000 КОЕ/мл). Микробиологические показатели корма соответствовали нормативным ($1,3 \times 10^2$ КОЕ/г), патогенных бактерий не выявили (Правила бактериологического исследования кормов, 1975).

Вирусологические и паразитологические исследования

На клеточной линии ЕРС вирусных патогенов не выделили. Макро- и простейших паразитов не обнаружили. У рыб с повреждениями кожи выявили гифы *Saprolegnia* sp., у рыб без повреждений, но плавающих на боку — гифы на жабрах.

Гистопатологические и гематологические исследования

У всех рыб I группы, отобранных 28 мая, на участках кожи, где при визуальном осмотре отмечали изменения окраски, регистрировали некроз и расплавление всех структурных элементов эпидермиса, дермы, подкожной клетчатки (рис. 4А) и прорастание гиф патогенного гриба.

В подлежащей мускулатуре 75% рыб отмечали межклеточный отек, гиперемию и некроз мышечных клеток. Также у всех рыб этой группы выявили тяжелые структурные нарушения в жабрах: расширение кровеносных сосудов жаберных лепестков и утолщение их апикальных частей; утолщение, укорачивание, слипание и гиперемию жаберных ламелл. На поверх-

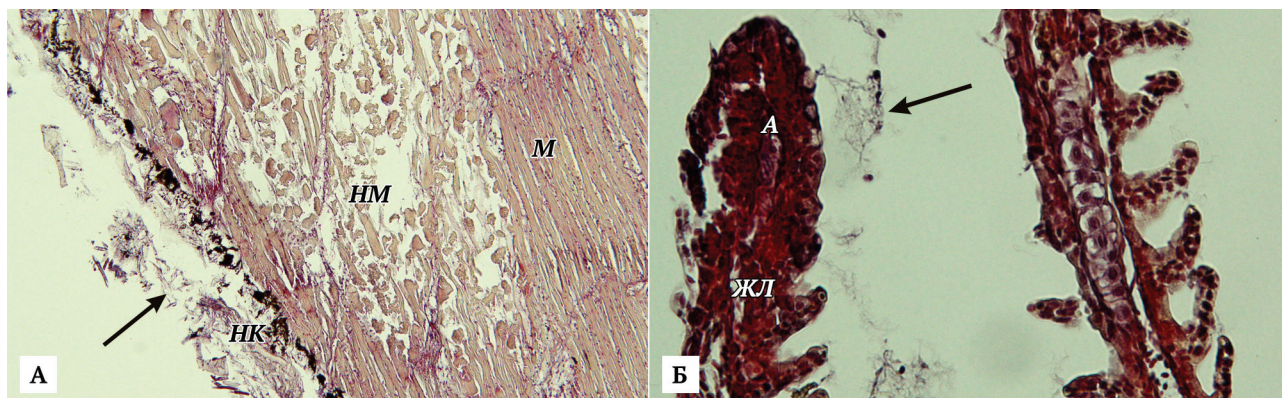


Рис. 4. Гистопатологические изменения в коже, мышечной ткани и жабрах молоди кеты I группы: А — гифы сапролегнии на коже (↑), некроз и расплавление всех слоев кожи (нк), некроз (нм) и участок незатронутой инфекцией мышечной ткани (м); Б — нитевидные бактерии (↑) и утолщенная апикальная часть (а) жаберного лепестка (жл). Окраска гематоксилин-эозин. А — $\times 100$; Б — $\times 400$
Fig. 4. Histopathological changes in skin, muscle and gills of juvenile chum salmon from Group I: A — *Saprolegnia* hyphae on the skin (↑), necrosis and disintegration of all skin layers (нк), necrosis (нм) and an area of muscle tissue unaffected by infection (м); Б — filamentous bacteria (↑) and thickened apical part (а) of the gill lamella (жл). Hematoxylin-eosin staining. А — $\times 100$; Б — $\times 400$

ности жабр повсеместно регистрировали скопления нитевидных грамтрицательных бактерий, а также наличие микроводорослей (рис. 4Б). У 50% рыб наблюдали прорастание гиф сапролегнии в ткани жабр. В почках 50% рыб I группы нитевидные бактерии присутствовали также в полостях почечных канальцев и клубочков. Кроме того, у этих рыб регистрировали ярко выраженный отек и гиперемию почечной паренхимы (рис. 5).

Воспалительную реакцию отмечали и в других внутренних органах рыб этой группы: гиперемию и расширение кровеносных сосудов в селезенке (8,3% рыб), поджелудочной железе (25%), печени (25%), межуточной соединительной ткани желудочно-кишечного тракта (16,6%). Также у 33,3% рыб выявили признаки гемосидероза в паренхиме селезенки и фокальный некроз клеток поджелудочной железы.

Клетки красной крови были представлены как зрелыми, так и незрелыми формами, количество юных эритроцитов варьировало от 19 до

26%. У всех рыб с внешними признаками патологии наблюдали зубчатость оболочки и анизоцитоз (разноразмерность) эритроцитов разной степени выраженности, указывающие на нарушение их осморезистентности — у 50% особей это нарушение приводило к гемолизу (рис. 6А); амитоз (патологическое прямое деление) с образованием безъядерной клетки и/или микроцитов, неправильное расположение и пикноз ядер регистрировали у 50 и 33,3% рыб соответственно. У всех рыб отмечали изменения в лейкоцитарной формуле — лимфопению разной степени (уменьшение количества до практически полного отсутствия лимфоцитов) и преобладание нейтрофилов, скопления вакуолизированных, полуразрушенных и разрушенных макрофагов, внутри которых встречались бактерии (рис. 6Б).

На жабрах рыб II группы, не имевших визуальных патологических изменений, также отмечали наличие нитевидных бактерий. При этом структурных нарушений как в жабрах, так

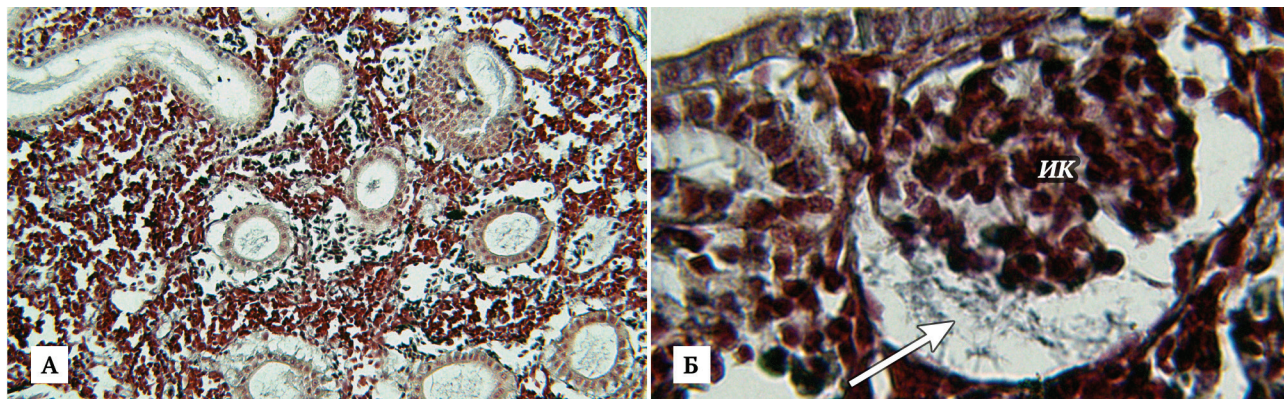


Рис. 5. Гистопатологические изменения, выявленные в почках у молоди кеты I группы: А — межклеточный отек паренхимы заднего отдела почки; Б — нитевидные бактерии (1) в почечном клубочке (пк) заднего отдела почки. Окраска гематоксилин-эозин. А — $\times 200$; Б — $\times 1000$
Fig. 5. Kidney of juvenile chum salmon from Group I: А — intercellular edema of the parenchyma in the posterior kidney; Б — filamentous bacteria (1) within a renal glomerulus (пк) of the posterior kidney. Hematoxylin-eosin staining. А — $\times 200$; Б — $\times 1000$

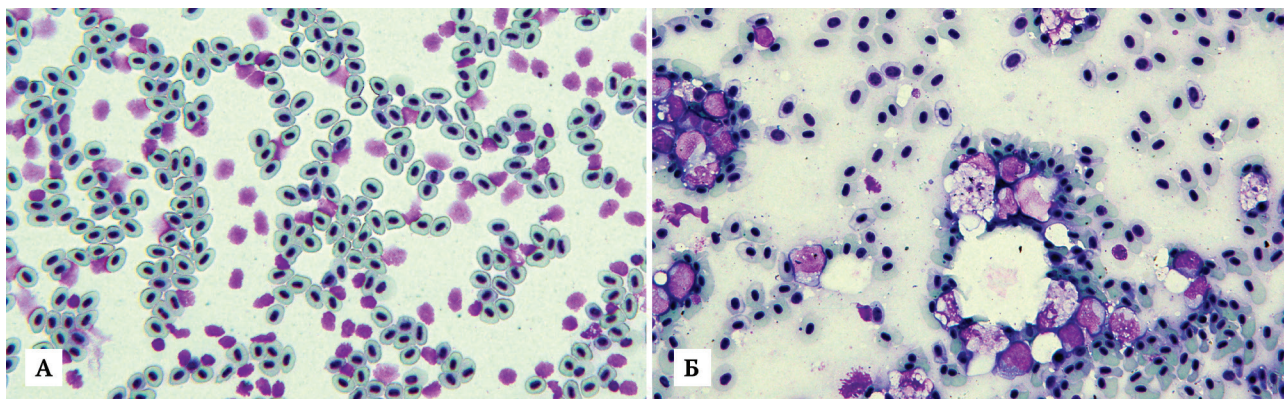


Рис. 6. Картина крови молоди кеты I группы. А — гемолиз эритроцитов, Б — скопления макрофагов. Окраска по Романовскому-Гимзе, $\times 400$
Fig. 6. Blood picture of juvenile chum salmon from Group I. А — erythrocyte hemolysis; Б — macrophage aggregates. Romanowsky-Giemsa stain, $\times 400$

и в других органах и тканях не выявили. У рыб этой группы в лейкоцитарной формуле обнаружили небольшой сдвиг в сторону увеличения количества нейтрофилов, единичные моноциты, а также наблюдали слабовыраженный анизоцитоз (разноразмерность) и зубчатость оболочек эритроцитов.

У погибающих рыб, отобранных 01.06.2023, серьезные патологические изменения обнаружили только в жабрах. Они характеризовались выраженным отеком клеток респираторного эпителия. На некоторых участках жабр регистрировали кровенаполнение ламелл, булавовидные утолщения их апикальных частей, выход клеток крови наружу вследствие разрыва покровов и отслоение эпителиального слоя. В окружающем жаберные лепестки пространстве присутствовало большое количество детрита и микроводорослей. Структурных изменений внутренних органов не обнаружили. В желудке и кишечнике рыб находились пищевые фрагменты, — рыба активно питалась перед гибелью.

Полученные в результате комплексных исследований данные указывают на сочетанное действие на молодь рыб хронического бактериального процесса и острого гипоксического стресса. Отсутствие вирусных патогенов и паразитов исключает опасные заболевания указанной этиологии. Выявленный комплекс микроорганизмов (*Flavobacterium* sp., *P. fluorescens*, *A. hydrophila*), как правило, ассоциирован с бактериальными заболеваниями лососевых при искусственном выращивании (Austin, Austin, 2016). Доминирование флавобактерий на жабрах и в поражениях кожи, а также характерная клиническая и гистопатологическая картина с высокой вероятностью указывают на бактериальную холодноводную болезнь (bacterial cold-water disease – BCWD), вызываемую *Flavobacterium psychrophilum* (Starliper, 2011). Морфологические признаки (нитевидные грамотрицательные палочки) и избирательное культивирование на среде TYES характерны для этого патогена, но для окончательного подтверждения видовой принадлежности нужна молекулярная верификация методом ПЦР.

Ассоциация флавобактерий с *P. fluorescens* и *A. hydrophila*, особенно у рыб с выраженными поражениями, свидетельствует о полимикробном характере инфекции, что нередко наблюдается при ослаблении иммунного статуса рыб (Мирзоева, 2000). Эти бактерии являются обычными обитателями воды и становятся патоген-

ными при стрессе, травмах или нарушении целостности покровов. Сапролегниевые грибы, выделенные от всех рыб с поражениями кожи, играли роль вторичных патогенов (Plumb, Hanson, 2011) и усиливали тяжесть болезни за счет инвазивного роста в некротизированных тканях.

Нитевидные бактерии, обнаруженные на жабрах клинически здоровых рыб (II группа) без системных поражений, указывали на латентное носительство. Это согласуется с данными о том, что *F. psychrophilum* могут колонизировать жабры и кожу, не вызывая заболевания при благоприятных для рыб условиях среды (Madetoja et al., 2002). Однако при воздействии стресс-факторов (повышение температуры, гипоксия, высокая плотность посадки) латентная инфекция может перейти в манифестную форму, что и произошло в условиях резкого изменения гидрологических показателей.

Важным фактором, способствующим развитию бактериальной инфекции, стало загрязнение воды органическими веществами, о чем свидетельствовало повышенное ОМЧ на вытоке из пруда (2296 КОЕ/мл). Высокое содержание органики создало благоприятную среду для размножения условно-патогенной микрофлоры и ухудшило оксигенацию воды, усугубляя гипоксию. Такие условия ослабляют иммунитет рыб, делая их более восприимчивыми к условно-патогенным микроорганизмам, присутствующим в воде. Это подтверждает, что инфекция на ЛРЗ развивалась по механизму экологически обусловленного заболевания, где решающую роль играли условия содержания, а не прямое заражение из внешней среды.

Эпизод острой гибели рыб 1 июня характеризовался классическими признаками гипоксии, вызванной температурным скачком в сочетании с резким снижением растворенного кислорода. Повышение температуры с 10 до 12 °C привело к снижению растворимости кислорода в воде с одновременным ростом метаболических потребностей рыб. Падение уровня растворенного кислорода до 3 мг/л является критическим для лососевых, особенно крупных особей с более высоким уровнем обмена (Jobling, 1994; Jonsson, Jonsson, 2023). Гистологическая картина жабр в этот день (отек и отслоение респираторного эпителия, булавовидные утолщения ламелл) типична для острого гипоксического повреждения (Ferguson, 2006). Наличие пищи в желудочно-кишечном тракте

подтверждает, что гибель наступила внезапно, без предшествующего отказа от корма, что характерно для острой гипоксии, а не для хронического токсикоза. Среди погибших преобладали крупные особи, что согласуется с их более высокой чувствительностью к дефициту кислорода из-за большего его абсолютного потребления.

Отсутствие структурных нарушений жабр у рыб II группы (без признаков патологии) при их обсемененности бактериями подтверждает, что наличие бактерий само по себе снижает эффективность газообмена. На фоне такой уже существующей проблемы резкое падение содержания кислорода 01.06.2023 стало фатальным. Таким образом, гипоксия в данном случае выступает как триггерный фактор, приводящий к массовой гибели ослабленных рыб, но не является единственной причиной. Это объясняет, почему в течение мая наблюдалась постоянная низкая смертность, а 1 июня произошел замор.

Выявленные у рыб отклонения в картине белой крови (лимфопения, макрофагальная реакция, наличие бактерий в макрофагах и т. д.) свидетельствуют о выраженном токсико-инфекционном процессе. Например, лимфопения может указывать на иммунодепрессию, часто наблюдаемую при бактериальных инфекциях у рыб (Zulhisyam, 2025). Обнаруженные дегенеративные процессы в клетках красной крови (лизис эритроцитов, amitotическое деление) часто наблюдаются при токсикозе, гипоксии и анемии. Амитоз, патологическое прямое деление клетки с образованием двух микроцитов или микроцита и безъядерной клетки, имеет компенсаторное значение, способствуя увеличению общего количества эритроцитов и росту кислородной емкости крови (Житенева и др., 1989). Описанные изменения были более выражены у рыб с клиническими проявлениями (I группа) и могут служить дополнительным критерием для оценки тяжести инфекционного процесса и степени гипоксии.

Полученные данные о чувствительности выделенных штаммов к антибиотикам имеют важное практическое значение. Все выделенные от молоди кеты штаммы бактерий оказались чувствительны к фторхинолонам: флавобактерии — к энрофлоксацину, псевдомонады и аэромонады — к ципрофлоксацину. Эта группа антибиотических препаратов широко применяется в аквакультуре РФ (Головин и др., 2005). Важно подчеркнуть, что при хрониче-

ском течении инфекции применение антибиотиков не рекомендуется, поскольку оно может способствовать селекции устойчивых штаммов и не решает проблему основных стресс-факторов. Лечение антибиотиками следует рассматривать как крайнюю меру при угрозе острой вспышки, а приоритетными должны быть профилактические меры по корректировке условий содержания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований на рыбноводном заводе Сахалинской области в 2023 году у молоди кеты была диагностирована хроническая бактериальная инфекция, в которой ведущую роль играли флавобактерии — вероятные возбудители холодноводной болезни (*Flavobacterium psychrophilum*), тогда как ассоциированными патогенами выступали псевдомонады, подвижные аэромонады и сапролегниевые грибы. Инфекция проявлялась двумя формами — клинически выраженной системной бактериемией с типичными поражениями кожи и хвостового стебля и выраженными гистопатологическими изменениями во внутренних органах, а также латентной, при которой у визуально здоровых рыб наблюдалась колонизация жабр бактериями без системного распространения, что создавало резервуар инфекции и риск вспышки при стрессе. Острая массовая гибель рыб 01.06.2023 была обусловлена резкой гипоксией, вызванной температурным скачком и падением уровня растворенного кислорода на фоне уже существующей бактериальной контаминации жабр, снижающей их газообменную функцию, при этом гистологическая картина жабр являлась типичной для острого гипоксического повреждения. Выявленные у рыб гематологические отклонения, включая лимфопению, макрофагальную реакцию с наличием бактерий внутри макрофагов, а также дегенеративные изменения эритроцитов указывали на токсико-инфекционный процесс, протекающий на фоне бактериальной инфекции и гипоксии, причем выраженность морфофункциональных изменений эритроцитов отражала степень интоксикации и компенсаторных реакций организма.

Все выделенные штаммы бактерий проявили чувствительность к фторхинолонам (флавобактерии — к энрофлоксацину, псевдомонады и аэромонады — к ципрофлоксацину), что может служить основой для выбора антибиотиков при необходимости терапии. Однако при хро-

ническом течении инфекции применение антибиотиков не рекомендуется во избежание селекции устойчивых штаммов, а приоритетными должны быть профилактические меры по корректировке условий содержания, включая контроль гидрохимического режима и снижение органического загрязнения воды.

Таким образом, причиной гибели молоди кеты на ЛРЗ Сахалинской области в 2023 году стал результат сочетанного действия хронического бактериального процесса, создававшего постоянную низкоуровневую смертность, и острого гипоксического стресса, выступившего триггерным фактором массового замора ослабленных рыб, что подчеркивает необходимость комплексного подхода к оценке эпизоотической ситуации на рыбоводных заводах с учетом как инфекционной составляющей, так и абиотических факторов среды.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Ветеринарно-санитарные нормы и требования к качеству кормов № 13-7-2/1010. 1997. Департамент ветеринарии Минсельхозпрода России. 10 с.
- Головин П.П., Головина Н.А., Романова Н.Н. 2005. Кадастр лечебных препаратов, используемых и апробированных в аквакультуре России и за рубежом. М.: Росинформагротех. 54 с. EDN: QKXLDL.
- Житенева Л.Д., Макаров Э.В., Рудницкая О.А. 2004. Основы ихтиогематологии. Ростов-на-Дону: Эверест. 312 с. EDN: QKNUYB.
- Житенева Л.Д., Полтавцева Т.Г., Рудницкая О.А. 1989. Атлас нормальных и патологически измененных клеток крови рыб. Ростов-на-Дону. 112 с.
- Лабораторный практикум по болезням рыб. 1983. Под ред. В.А. Мусселиус. М.: Лег. и пищ. пром-сть. 294 с.
- Мирзоева Л.М. 2000. Болезни рыб при промышленном выращивании // Рыбн. хоз-во. Обз. инф., сер. «Болезни гидробионтов в аквакультуре». М.: ВНИЭРХ. Вып. 1. С. 1–60.
- МУ 13-4-2/1742. 1999. Методические указания по санитарно-бактериологической оценке рыбохозяйственных водоемов. Минсельхозпрод РФ. 20 с.
- МУК 4.2.1890. 2004. Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам. М.: Федер. центр Госсанэпиднадзора Минздрава России. 91 с.
- Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. Паразитические простейшие. 1984. Под ред. О.Н. Бауера. Л.: Наука. Т. I. 431 с.
- Правила бактериологического исследования кормов. 1975. М.: Колос. 20 с.
- Сборник инструкций по борьбе с болезнями рыб. 1998. М.: Отдел маркетинга АМБ-агро. Ч. 1. 310 с.
- Смирнов Б.П., Леман В.Н., Шульгина Е.В. 2006. Заводское воспроизводство тихоокеанских лососей в России: современное состояние, проблемы и перспективы // Современные проблемы лососевых рыбоводных заводов Дальнего Востока : Матер. Междунар. науч.-практ. семинара (Петропавловск-Камчатский, 30 ноября – 1 декабря 2006 г.). Петропавловск-Камчатский: Камч. печатный двор. С. 16–26.
- AFS-FHS FHS blue book: suggested procedures for the detection and identification of certain finfish and shellfish pathogens. 2010. AFS-FHS (American Fisheries Society-Fish Health Section), Bethesda, Maryland, 352 p.
- Austin B., Austin D.A. 2016. Bacterial fish pathogens: disease in farmed and wild fish. Sixth Ed. New York: Ellis Horwood Limited. 732 p.
- Bancroft D., Stevens A., Turner D.R. 1990. Theory and practice of histological techniques. Edinburgh, London, Melbourne, New York: Churchill Livingstone Inc. 725 p.
- Ferguson H.W. 2006. Systemic pathology of fish: A text and atlas of normal tissues in teleosts and their responses in disease. 2nd ed. London: Scotian Press. 368 p.
- Fish health protection regulations manual of compliance. 1984. Fish. Mar. Serv. Misc. Spec. Publ. 31 (Revised). 32 p.
- Jobling M. 1994. Fish Bioenergetics. 1st ed. London, New York: Chapman & Hall fish and fisheries series. 310 p.
- Jonsson B., Jonsson N. 2023. Thermal effects on ecological traits of salmonids // *Fishes*. Vol. 8 (7). EDN: TALPOY. doi:10.3390/fishes8070337
- Madetoja J., Dalsgaard I., Wiklund T. 2002. Occurrence of *Flavobacterium psychrophilum* in fish-farming environments // *J. Diseases of Aquatic Organisms*. Vol. 52. P. 109–118. doi:10.3354/dao052109
- Plumb J.A., Hanson L.A. 2011. Health maintenance and principal microbial diseases of cultured fishes. 3rd ed. Iowa, USA: Blackwell Publishing Ltd. P. 345–417. EDN: SRIYWZ. doi:10.1002/9780470958353
- Starliper C.E. 2011. Bacterial coldwater disease of fishes caused by *Flavobacterium psychrophilum* // *J. of Advanced Research*. Vol. 2. P. 97–108. doi:10.1016/j.jare.2010.04.001
- Zulhisyam A.K. 2025. Abiotic and biotic factors affecting the immune system of aquatic species: a review // *Comparative Immunology Reports*. Vol. 9. doi.org/10.1016/j.cirep.2025.200230

REFERENCES

- Veterinarno-sanitarnyye normy i trebovaniya k kachestvu kormov № 13-7-2/1010* [Veterinary-Sanitary Norms and Feed Quality Requirements. No. 13-7-2/10101997]. Department of Veterinary Medicine, Ministry of Agriculture and Food of Russia, 1997, 10 p.
- Golovin P.P., Golovina N.A., Romanova N.N. *Kadastr lechebnykh preparatov, ispolzuyemykh i aprobirovannykh v akvakulture Rossii i za rubezhom* [Inventory of therapeutic agents used and tested in aquaculture in Russia and abroad]. Moscow: Rosinformagrotech, 2005, 54 p. EDN: QKXLDL.
- Zhiteneva L.D., Makarov E.V., Rudnitskaya O.A. *Osnovy ikhtiogematologii* [Fundamentals of Ichthyohaematology]. Rostov-on-Don: Everest, 2004, 312 p. EDN: QKNUYB.
- Zhiteneva L.D., Poltavtseva T.G., Rudnitskaya O.A. *Atlas normalnykh i patologicheskikh izmeneniy kletok krovi ryb* [Atlas of normal and pathologically altered blood cells in fish]. Rostov-on-Don, Rostov Book Publishing House, 1989, 112 p.
- Laboratornyy praktikum po boleznyam ryb* [Laboratory Manual on Fish Diseases]. Ed. by V.A. Musselius. Moscow: Legkaya i Pishchevaya Promyshlennost, 1983, 294 p.
- Mirzoyeva L.M. Fish diseases in industrial-scale farming. *Fisheries: Review Information, Series "Diseases of Aquatic Organisms in Aquaculture"*. Moscow: VNIERKh, 2000, issue 1, pp. 1–60. (In Russ.)
- Metodicheskie ukazaniya po sanitarno-bakteriologicheskoy otsenke rybohozyaistvennykh vodoemov* [Guidelines for the sanitary and bacteriological assessment of fishery reservoirs]. Minselkhozprod RF, 1999, 20 p.
- Metodicheskie ukazaniya 4.2.1890. Opredeleniye chuvstvitelnosti mikroorganizmov k antibakterial'nym preparatam* [Guidelines for Determination of the susceptibility of microorganisms to antibacterial agents]. Moscow: Federal Center for State Sanitary and Epidemiological Surveillance of the Ministry of Health of Russia, 2004, 91 p.
- The Key to Parasites of Freshwater Fish of Fish of the USSR Fauna, edited by Bauer. Vol. 1: Parasitic Protozoa. Leningrad: Nauka, 1984, 431 p. (In Russ.)
- Pravila bakteriologicheskogo issledovaniya kormov* [Rules of bacteriological examination of feedstuffs]. Main Veterinary Directorate of the USSR Ministry of Agriculture, 1975, 9 p.
- Sbornik instruktsiy po borbe s boleznyami ryb* [A collection of instructions to cope fish diseases]. Moscow: Marketing Department of AMBagro, 1998, part 1, 310 p.
- Smirnov B.P., Leman V.N., Shulgina E.V. Hatchery-based propagation of Pacific salmon in Russia: current status, problems, and prospects. *Modern problems of salmon hatcheries in the Russian Far East: Proceedings of the International Scientific and Practical Seminar* (Petropavlovsk-Kamchatsky, November 30 – December 1, 2006). Petropavlovsk-Kamchatsky, 2006, pp. 16–26. (In Russ.)
- AFS-FHS FHS blue book: suggested procedures for the detection and identification of certain finfish and shellfish pathogens. AFS-FHS (American Fisheries Society-Fish Health Section), Bethesda, Maryland, 2010, 352 p.
- Austin B., Austin D.A. Bacterial fish pathogens: disease in farmed and wild fish. Sixth Ed. New York: Ellis Horwood Limited, 2016, 732 p.
- Bancroft D., Stevens A., Turner D.R. Theory and practice of histological techniques. Edinburgh, London, Melbourne, New York: Churchill Livingstone Inc., 1990, 725 p.
- Ferguson H.W. Systemic pathology of fish: A text and atlas of normal tissues in teleosts and their responses in disease. 2nd ed. London: Scotian Press, 2006, 368 p.
- Fish health protection regulations manual of compliance. Fish. Mar. Serv. Misc. Spec. Publ. 31 (Revised), 1984, 32 p.
- Jobling M. Fish Bioenergetics. 1st ed. London, New York: Chapman & Hall fish and fisheries series, 1994, 310 p.
- Jonsson B., Jonsson N. Thermal effects on ecological traits of salmonids. *Fishes*, 2023, vol. 8 (7). EDN: TALPOY. doi:10.3390/fishes8070337
- Madetoja J., Dalsgaard I., Wiklund T. Occurrence of *Flavobacterium psychrophilum* in fish-farming environments. *J. Diseases of Aquatic Organisms*, 2002, vol. 52, pp. 109–118. doi:10.3354/dao052109
- Plumb J.A., Hanson L.A. Health maintenance and principal microbial diseases of cultured fishes. 3rd ed. Iowa, USA: Blackwell Publishing Ltd., 2011, pp. 345–417. EDN: SRIYWZ. doi:10.1002/9780470958353
- Starliper C.E. Bacterial coldwater disease of fishes caused by *Flavobacterium psychrophilum*. *J. of Advanced Research*, 2011, vol. 2, pp. 97–108. doi:10.1016/j.jare.2010.04.001
- Zulhisyam A.K. Abiotic and biotic factors affecting the immune system of aquatic species: a review. *Comparative Immunology Reports*, 2025, vol. 9. EDN: DYEFBI. doi:10.1016/j.cirep.2025.200230

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ / COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

Сбор материала и его обработка не противоречили международным нормам обращения с животными, соответствующим Директиве 2010/63/EU Европейского Парламента и Совета Европейского союза от 22.09.2010 по охране животных, используемых в научных целях (https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf). Библиографические ссылки на все использованные данные оформлены в соответствии с ГОСТом. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

The collection of material and its processing did not contradict international standards for the treatment of animals, corresponding to Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of the European Union of 22.09.2010 on the protection of animals used for scientific purposes. Bibliographic references to all data used in the review are formatted in accordance with GOST (the Russian State Standard). The authors declare that they have no conflict of interests.

ИНФОРМАЦИЯ О ВКЛАДЕ АВТОРОВ AUTHORS CONTRIBUTION INFORMATION

Е.А. Устименко проводила отбор проб и микробиологические исследования; Т.В. Рязанова — отбор проб, гистологические и паразитологические исследования; Е.В. Бочкова — вирусологические и гематологические исследования; Н.В. Сергеев формировала структуру статьи, раздел «Введение». В обсуждении полученных результатов авторы участвовали в равной мере. Elena A. Ustimenko conducted sampling and microbiological studies; Tatiana V. Ryazanova — sampling, histological and parasitological studies; Elena V. Bochkova — virological and haematological studies; Natalya V. Sergeenko formed the structure of the article, the section Introduction. All authors contributed equally to the discussion of the obtained results.

Информация об авторах

Е.А. Устименко — канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник, Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО), e.ustimenko@kamniro.vniro.ru, ORCID 0000-0003-2248-6788

Т.В. Рязанова — канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник, Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО), t.ryazanova@kamniro.vniro.ru, ORCID 0000-0001-7695-1927

Е.В. Бочкова — гл. специалист, Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО), e.bochkova@kamniro.vniro.ru, ORCID 0000-0001-7462-3591

Н.В. Сергеев — канд. биол. наук, зав. лабораторией здоровья гидробионтов, Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО), n.sergeenko@kamniro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-6520-2039

Information about the authors

Elena A. Ustimenko – Ph. D. (Biology), Leading Researcher (KamchatNIRO), e.ustimenko@kamniro.vniro.ru, ORCID: 0000-0003-2248-6788

Tatiana V. Ryazanova – Ph. D. (Biology), Leading Researcher (KamchatNIRO), t.ryazanova@kamniro.vniro.ru, ORCID: 0000-0001-7695-1927

Elena V. Bochkova – Principal Specialist (KamchatNIRO), e.bochkova@kamniro.vniro.ru, ORCID: 0000-0001-7462-3591

Natalya V. Sergeenko – Ph. D. (Biology), Head of Lab. of Health of hydrobionts (KamchatNIRO), n.sergeenko@kamniro.vniro.ru, ORCID: 0000-0002-6520-2039

Статья поступила в редакцию / Received: 09.07.2026

Одобрена после рецензирования / Revised: 20.07.2026

Статья принята к публикации / Accepted: 14.08.2026