



## Промысловые виды и их биология

# Язвенный дермальный некроз половозрелого атлантического лосося (УДН) в реках Кола и Тулома (Мурманская область): результаты и перспективы изучения

С.Л. Рудакова<sup>1</sup>, И.В. Самохвалов<sup>2</sup>, Д.В. Микряков<sup>3</sup>, О.А. Иваницкая<sup>4</sup>, М.Е. Семенихина<sup>5</sup>,  
Т.А. Суворова<sup>3</sup>, С.В. Кузьмичева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), Окружной проезд, 19, Москва, 105187

<sup>2</sup>Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО») им. Н.М. Книповича), ул. Академика Книповича, 6, г. Мурманск, 183038

<sup>3</sup>Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН (ФГБУН «ИБВВ им. И.Д. Папанина»), п. Борок, 109, Ярославская обл., Некоузский р-н, 152742

<sup>4</sup>Мурманская областная станция по борьбе с болезнями животных (ГОБВУ «Мурманская облСББЖ»), ул. Совхозная, д. 3, пгт Молочный, Мурманская обл., 184365.

<sup>5</sup>Мурманский филиал Главного бассейнового управления по рыболовству и сохранению водных биологических ресурсов (ФГБУ «Главрыбвод»), ул. Коминтерна, 7, г. Мурманск, 183038.

E-mail: rudakova@vniro.ru

SPIN-код: Рудакова С.Л. 2178–1140, Самохвалов И.В. 1510–0981, Микряков Д.В. 2356–9160, Суворова Т.А. 3545–8520, Кузьмичева С.В. 8579–3962

**Цель работы:** проанализировать результаты вирусологических и иммунологических исследований, проследить динамику захода и изменения внешних признаков патологии атлантического лосося в рр. Кола и Тулома.

**Использованные методы:** размерно-весовые показатели рыб определяли общепринятыми методами. Использовали методы выделения вирусов на перевиваемых линиях клеток и их идентификацию в реакции ОТ-ПЦР. БАСК оценивали нефелометрическим методом. Содержание неспецифических иммунных комплексов (ИК) устанавливали спектрофотометрическим методом с селективной преципитацией с ПЭГ-6000.

**По результатам работы** было выявлено, что в реках Кола и Тулома клинические проявления патологий у рыб претерпели изменения. С 2021 года на смену типичным симптомам УДН пришли признаки «болезни красной кожи». Результаты проведенных иммунологических исследований указывают на высокую активность механизмов врожденного гуморального иммунитета у обследованных особей. Было установлено носительство вируса инфекционного некроза поджелудочной железы в популяциях атлантического лосося, обитающих в реках Кола и Тулома. Подробно описаны клинические признаки патологии у атлантического лосося и представлены данные учёта рыб в реках Кола и Тулома.

**Новизна работы:** впервые представлены фотографии всех отмеченных типичных признаков патологии, результаты вирусологических и иммунологических исследований атлантического лосося в р. Кола и Тулома за 2022–2024 гг. Дано обобщение результатов и намечены перспективы изучения проблемы.

**Практическая значимость:** проведенные исследования позволяют создать базу данных по результатам комплексных исследований болезней атлантического лосося в реках Кола и Тулома. Сравнить полученные результаты у рыб с клиническими признаками патологий и без таковых за несколько лет. Определить различия в иммунном статусе рыб с разными признаками патологии по результатам многолетних исследований. Это поможет понять, как развивается заболевание УДН во времени и что его вызывает.

**Ключевые слова:** бассейн Баренцева моря, болезнь, диагностика, лосось атлантический, этиология, язвенный дермальный некроз.

## Ulcerative dermal necrosis of mature Atlantic salmon in the Kola and Tuloma rivers (Murmansk region): retrospective and prospects for studying the problem

Svetlana L. Rudakova<sup>1</sup>, Igor V. Samokhvalov<sup>2</sup>, Daniil V. Mikryakov<sup>3</sup>, Olga A. Ivanietskaya<sup>4</sup>, Marina E. Semikhina<sup>5</sup>, Tatyana A. Suvorova<sup>3</sup>, Svetlana V. Kyzmicheva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), 19, Okruzhnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

<sup>2</sup>Polar branch of VNIRO (N.M. Knipovich «PINRO»), 6, Academician Knipovich St., Murmansk, 183038, Russia

<sup>3</sup>I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS («IBIW RAS»), 109, Borok, 152742, Russia

<sup>4</sup>Murmansk regional station for animal diseases control («Murmansk regSADC»), 3, Sovkhozaya st., Molochniy, Murmansk reg., 184365, Russia

<sup>5</sup>Murmansk Branch of the Basin Department for Fishery and Conservation of Water Biological Resources («Glavrybvod»), 7, Kominterny st., Murmansk, Russia, 183038.

**The aim of the work** is to analyze the results of virological and immunological studies, to track the dynamics of the entry and changes in external signs of pathology of Atlantic salmon into the Kola and Tuloma rivers.

**Methods used:** fish size and weight indicators were determined using generally accepted methods. Methods for isolating viruses on continuous cell lines and their identification in RT-PCR reaction were used. Bactericidal activity of blood serum (BABS) was assessed using a nephelometric method. The content of non-specific

immune complexes (IC) was established using a spectrophotometric method with selective precipitation with PEG-6000.

**According to the results of the work**, it was revealed that in the Kola and Tuloma rivers, clinical manifestations of pathologies in fish have changed. Since 2021, typical symptoms of UDN have been replaced by signs of «red skin disease». The results of immunological studies indicate high activity of innate humoral immunity mechanisms in the examined individuals. The carriage of infectious pancreatic necrosis virus in Atlantic salmon populations living in the Kola and Tuloma rivers has been established. Clinical signs of pathology in Atlantic salmon are described in detail, and fish counting data for the Kola and Tuloma rivers are presented.

**The novelty of the work:** for the first time, photographs of all noted typical signs of pathology, as well as the results of virological and immunological studies of Atlantic salmon in the Kola and Tuloma rivers for 2022–2024 are presented. A retrospective overview is given and prospects for studying the problem are outlined.

**Practical significance:** the conducted research will allow creating a database on the results of comprehensive studies of Atlantic salmon diseases in the Kola and Tuloma rivers. Compare the results obtained in fish with and without clinical signs of pathologies over several years. Determine differences in the immune status of fish with different signs of pathology based on the results of long-term studies. This will help to understand how UDN disease develops over time and what causes it.

**Keywords:** Barents Sea basin, disease, diagnostics, Atlantic salmon, etiology, ulcerative dermal necrosis.

## ВВЕДЕНИЕ

Язвенный дермальный некроз (англ. Ulcerative Dermal Necrosis, UDN, рус. УДН) – хроническое дерматологическое заболевание, описанное у взрослых особей дикого атлантического лосося (*Salmo salar* L., 1758) и кумжи (*S. trutta* L., 1758), возвращающихся в пресную воду.

Впервые заболевание, известное как UDN, было описано в Великобритании в конце 1800-х – начале 1900-х гг. у атлантического лосося и кумжи [Stirling, 1879]. В 1960-х – 1980-х гг. заболевание распространилось в европейских водах, по ареалу атлантического лосося [Ljungberg et al., 1977].

В Европе были предприняты многочисленные попытки установить этиологию данного заболевания. Различные аспекты этой проблемы рассмотрены многими учёными [Roberts, 1972; Murphy, 1973; Hill, 1976; Willoughby, 1969]. Однако, окончательный возбудитель болезни так и не был определён, несмотря на выявленное распространение между водоразделами, указывающее на инфекционную природу.

Гистологические исследования в сочетании с микроскопической оценкой ранних стадий поражений кожи считаются патогномоничным для диагностики УДН. Однако, на поздних стадиях заболевания наличие гиф оомицетов и разрушение тканей от вторичных патогенов затрудняет точную постановку диагноза. Ввиду отсутствия чёткого понимания этиологии и общепринятого определения случаев УДН, очевидно, что другие заболевания также могут иметь некоторые или все описанные гистологические особенности [Bruno et al., 2013].

Помимо внешних признаков патологий, у поражённого УДН атлантического лосося в реках Мурман-

ской области не было обнаружено других изменений внутренних органов или нарушений репродуктивной системы. На гистологических препаратах кожи больных рыб были отмечены признаки, характерные для УДН [Завьялова и др., 2018; Карасева, Голикова, 2021]. В связи с этим мы будем говорить о заболевании неопределённой этиологии с признаками УДН у атлантического лосося в Мурманской области.

В последнее время в реках Кола и Тулома наблюдается уменьшение количества рыб с типичными признаками УДН, однако проблема всё ещё остаётся актуальной, поскольку опасная эпизоотия продолжается и распространяется. Рыбаки-любители и ихтиологи ВНИРО и Главрыбвода фиксировали случаи вспышек подобного заболевания неопределённой этиологии с признаками УДН и заметной гибелью рыб в других реках бассейнов Баренцева и Белого морей.

Заболевание препятствует искусственному воспроизводству атлантического лосося на рыбоводных заводах Мурманской области. Во-первых, после отлова производителей без внешних признаков патологии и размещения их в садках для выдерживания рыбы погибают через несколько дней – как с признаками заболевания, так и без них. Во-вторых, высокая заразность и риск переноса неизвестного возбудителя на рыбоводные заводы вызывают опасения.

Таким образом, изучение эпизоотического состояния популяций атлантического лосося в реках Кола и Тулома остаётся актуальным. Необходимо сосредоточиться на индивидуальном исследовании рыб с определением их иммунологического статуса, а также выявлением его связи с внешними признаками патологии. Это позволит в будущем разработать метод прижизненного выявления наиболее устойчи-

вых к УДН особей и использовать их в качестве производителей для искусственного воспроизводства.

Цель работы: проанализировать результаты вирусологических и иммунологических исследований, проследить динамику захода и изменения внешних признаков патологии атлантического лосося в реках Кола и Тулома.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Визуальный учёт количества нерестовых мигрантов атлантического лосося на реках Тулома и Кола проводили в 2015–2024 гг., отбор проб и детальное описание клинических признаков патологии – в 2022–2024 гг.

Всего для исследований в 2022 г. было отловлено 34 экз. половозрелого атлантического лосося (19 экз. в р. Тулома, 15 экз. в р. Кола), в 2023–27 экз. (14 экз. в р. Тулома, 13 экз. в р. Кола), в 2024–15 экз. (5 экз. в р. Тулома и 10 экз. в р. Кола).

Визуальный учёт и отбор проб осуществляли в следующих точках: р. Тулома, Нижне-Тулумский рыбоход, географические координаты точки сбора образцов –  $N68^{\circ}49'20''$   $E32^{\circ}48'40''$ , расстояние по течению до устья реки: эстуарий (Вересова губа, дистанция: плотина НТГЭС – Кольский залив) – 10 км, рыбоход – 0,5 км (далее – ловушка рыбохода); р. Кола, РУЗ «Главрыбвод», географические координаты точки сбора образцов –  $N68^{\circ}42'11''$   $E33^{\circ}07'19''$ , расстояние по течению до устья реки, 25,5 км (далее – РУЗ).

Размерно-весовые показатели рыб определяли общепринятыми методами [Правдин, 1966].

В 2022–2024 гг. в ловушке рыбохода р. Тулома отбирали целенаправленно рыб с наиболее типичными признаками патологии. Просматривали и описывали клинические признаки у всей рыбы, попавшей в неё за день. На РУЗ в р. Кола из ловушки выбирали особей с типичными признаками. В 2023 г. у загородки РУЗ отбирали также и умирающую рыбу, которая уходила по течению после выпуска из ловушки, но впоследствии у неё не было сил преодолеть пороги и её сносило вниз.

Отбор проб на *вирусологические исследования* проводили в соответствии с общепринятыми методами. Отбор и обработку проб от каждой рыбы и каждого органа проводили индивидуально, отбирали головной отдел почек и селезёнку, сердце, мозг. Для выделения вирусных агентов использовали три перевиваемые клеточные культуры: EPC (epithelioma papulosum cyprini, эпидермальные новообразования большого оспой карпа), RTG – 2 (rainbow trout gonad tissue, гонады радужной форели) и ASK (atlantic salmon kidney, почки атлантического лосося). Культивирование ли-

ний клеток проводили по общепринятым методикам. Заражение патологическим материалом от каждой рыбы предварительно сформированного клеточного монослоя на 96-луночном планшете осуществляли по общепринятой методике [Сборник инструкций ..., 1998; Meyers, 2009].

Для идентификации выделенных вирусов использовали культуральную жидкость из лунок с признаками цитопатического действия на клетках (ЦПД). Все пробы, в которых было выявлено ЦПД на перевиваемых линиях клеток и подозрительные, были протестированы на наличие трёх известных вирусов лососей IPNV, VHSV, IHNV методом мультиплексной ПЦР.

В качестве положительного контроля использовали изоляты вирусов IPNV, VHSV и IPNV из рабочей коллекции ФГБНУ «ВНИРО», в качестве отрицательного контроля – среду MEM-0.

Проводили фенол-хлороформную экстракцию суммарной РНК реагентом ExtraRNA (ЗАО «Евроген») в соответствии с инструкцией производителя. Затем осуществляли синтез комплементарной ДНК и ПЦР, используя набор реагентов MMLVRT kit (ЗАО «Евроген») в соответствии с инструкциями производителя. В качестве специфических праймеров применяли последовательности, разработанные учёными Университета штата Мэн. Условия амплификации ДНК соответствовали ранее описанным [Williams et al., 1999].

*Иммунологические исследования.* В 2022–2023 гг. от рыб отбирали периферическую кровь, почку, селезёнку и печень в сухие стерильные пробирки. Бактерицидную активность сыворотки крови (БАСК) оценивали нефелометрическим методом [Микряков, 1991]. В зависимости от уровня БАСК выявляли долю иммунодефицитных особей (ИМД), сыворотка крови которых не угнетала развитие тест-микробов.

Уровень С-реактивного белка (СРБ) определяли визуально по реакции агглютинации латекс-реагента с сывороткой крови, используя набор реагентов СРБ-Ольвекс. Отрицательным считали уровень СРБ меньше 6, слабopоложительным – 6 и положительным – больше 6 мг/л.

Содержание иммунных комплексов в сыворотке крови (ИК) устанавливали спектрофотометрически при длине волны 450 нм методом селективной преципитации с 4%-ным полиэтиленгликолем молекулярной массой 6000, как рекомендовано ранее [Гриневич, Алферов, 1981].

Статистическую обработку результатов исследований проводили по стандартным алгоритмам, реализованным в пакете программ Statistica 6.0, с использованием *t*-теста. Различия считали значимыми при  $p \leq 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Провели анализ численности учтённого атлантического лосося в ловушке рыбхода (р. Тулома) и на РУЗ (р. Кола) за период с 2015 по 2024 гг., в том числе с признаками заболевания невыясненной этиологии, под общим названием УДН (табл. 1). Наиболее массовую гибель атлантического лосося наблюдали в 2015–2016 гг. на РУЗ, а максимальную долю учтённых рыб с признаками УДН – в 2018 г. (19% на РУЗ р. Кола).

В р. Тулома отмечено критическое уменьшение численности учтённых рыб, менее сохраняющего лимита (1709 экз.) в 2021 и 2024 гг. В р. Кола пиковое сокращение численности учтённого атлантического

лосося также приходится на 2021 год, когда был возврат поколения потомков от нереста 2015–2016 гг.

Анализ биологических характеристик преднерестового стада атлантического лосося из рек Кола и Тулома в 2011–2024 гг. показывает тенденцию к изменению соотношения рыб биологических групп, отличающихся по размерно-массовым, возрастным показателям (по продолжительности нагула в море) и полу, статистическую достоверность различий не оценивали. В целом, по многолетним данным рыба крупнее в р. Кола (средняя длина – 67,7 см, средняя масса – 3,9 кг), чем в р. Тулома (средняя длина – 60,9 см, средняя масса – 2,7 кг) [Пруссов и др., 2021; Исаев, 1999].

Биологические показатели исследованных рыб представлены в табл. 2. Обследованные рыбы в реках

**Таблица 1.** Учтённое количество нерестовых мигрантов атлантического лосося на РУЗ в р. Кола (по данным Мурманского филиала Главрыбвода) и на рыбходе Нижне-Тулумской ГЭС р. Тулома (по данным Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО»)

**Table 1.** The recorded number of spawning migrants of Atlantic salmon in the RUZ Kola River (according to the Murmansk branch of the Main Fishery Department) and at the fish passage of the Nizhne-Tulomskaya hydroelectric power station of the Tuloma River (according to the Polar branch of VNIRO)

Год	Количество учтённых рыб, экз.				
	Р. Кола			Р. Тулома	
	Атлантический лосось	В том числе рыб заводского происхождения	В том числе с признаками УДН, %	Атлантический лосось	В том числе с признаками УДН, %
2015*	7671	355	9,9	6210	0
2016*	4763	219	3,2	6556	1,1
2017	1280	317	6	4816	4
2018	2521	221	19	6654	6
2019	2238	276	1,9	3252	4
2020	1678	75	12	2938	9
2021	<b>497</b>	<b>21</b>	<b>10</b>	<b>886</b>	<b>9</b>
2022	862	0	12	1837	6
2023	3780	0	5,5	3014	4,2
2024	1961	0	12,3	1202	1,7

*Примечание:* \* – по данным из годового отчёта за 2017 г. Комитета по ветеринарии Мурманской области, указан % учтённых погибших рыб [Калинина, 2018<sup>1</sup>]; полужирным шрифтом выделен год, с наименьшим количеством учтённых половозрелых рыб.

**Таблица 2.** Биологические показатели атлантического лосося, отобранного для исследований в июле 2022–2024 гг.

**Table 2.** Biological parameters of Atlantic salmon selected for research in July 2022–2024

Показатели	р. Кола			р. Тулома		
	2022	2023	2024	2022	2023	2024
Длина*, см	64,1/4,0	57,3/2,6	59,2/4,2	58,5/5,6	58,7/7,3	53,9/5,3
Масса*, кг	3,0/0,56	2,0/0,28	2,2/0,43	2,1/0,6	2,3/0,98	1,5/0,43
Общее количество рыб/самок, шт.	15/2	13/2	10/0	22/4	14/5	5/2
Стадия зрелости	III–IV	III–IV	III–IV	III–IV	III–IV	III–IV

*Примечание:* \* – среднее значение/стандартное отклонение

<sup>1</sup> Калинина Н.Р. 2018. Комитет по ветеринарии Мурманской области. Годовой отчет за 2017 год. Мурманск. 78 с.

Кола и Тулома находились на одинаковой стадии зрелости.

В 2022–2024 гг. в ловушке рыбохода р. Тулома и РУЗ р. Кола отбирали целенаправленно рыб с наиболее типичными признаками патологии. Среди всех

обследованных только несколько лососей имели типичные первичные признаки УДН (табл. 3, рис. 1–5).

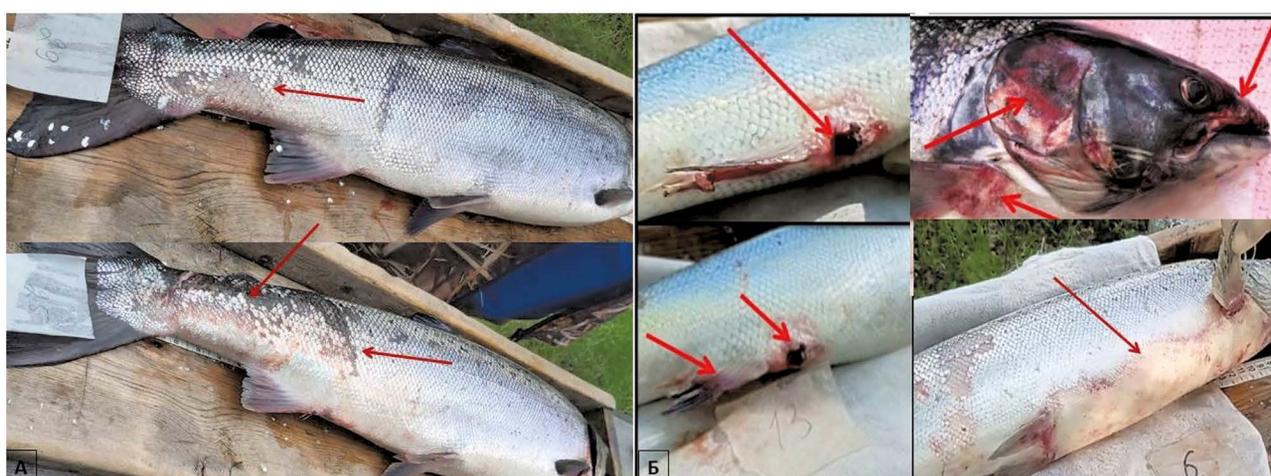
Как правило, указанные патологии были сочетанными у большинства обследованных рыб, исключение составляли рыбы с флюоресцирующими в воде пятна-

**Таблица 3.** Данные о наличии внешних признаков патологии у атлантического лосося в июле 2022–2023 гг. в реках Кола и Тулома

**Table 3.** Data on the presence of external signs of pathology in Atlantic salmon in July 2022–2023 in the Kola and Tuloma rivers

Описание патологии	р. Кола (количество рыб с данной патологией, шт./ встречаемость в выборке, %)			р. Тулома (количество рыб с данной патологией, шт./ встречаемость в выборке, %)		
	2022 (n=15)	2023 (n=13)	2024 (n=10)	2022 (n=19)	2023 (n=14)	2024 (n=5)
Точечные кровоизлияния на брюшке и/или хвостовом стебле (рис. 1 А)	9 / 60	2 / 15,3	10/100	8 / 42	2 / 14,3	2/40
Гиперемия и значительные кровоизлияния в области анального отверстия, основания плавников, головы (рис. 1 Б)	2 / 13,3	6 / 42,9	1/10	7 / 36,8	0	0
Пятна на теле, в основном на спине, флюоресцирующие в воде (рис. 2 А)	0	3 / 23,1	0	2 / 10,5	2 / 14,3	1/20
Точечное ерошение чешуи на боках (рис. 2 Б)	1 / 6,7	0	0	1 / 5,3	1 / 7,1	2/40
Обширные красные пятна вдоль брюшка* (рис. 3)	0	6 / 42,9	0	2 / 10,5	2 / 14,3	0
Язвы с разрушением кожного покрова у основания плавников* (рис. 3)	0	7 / 53,8	0	0	2 / 14,3	0
Некроз плавников*(рис. 5)	0	12 / 92,3	0	1 / 5,2	2 / 14,3	0
Поражения головы разной степени* (рис. 6)	2 / 13,3	10 / 77	0	4 / 21	4 / 28,6	0
Видимое обрастание грибами*	0	10 / 76,9	0	0	8 / 57,1	0

Примечание: n – общее количество рыб в выборке, экз; \*сильные поражения отмечали у погибающих рыб, отобранных у загородки РУЗ в р. Кола.



**Рис. 1.** Наиболее часто встречающиеся внешние патологии у атлантического лосося в реках Кола и Тулома: А – точечные кровоизлияния на брюшке и/или хвостовом стебле; Б – гиперемия и значительные кровоизлияния в области анального отверстия, основания плавников, головы

**Fig. 1.** The most common external pathologies in Atlantic salmon in the Kola and Tuloma rivers: A – hemorrhages on the abdomen and/or caudal peduncle; B – hyperemia and significant hemorrhages in the area of the anus, base of the fins, head

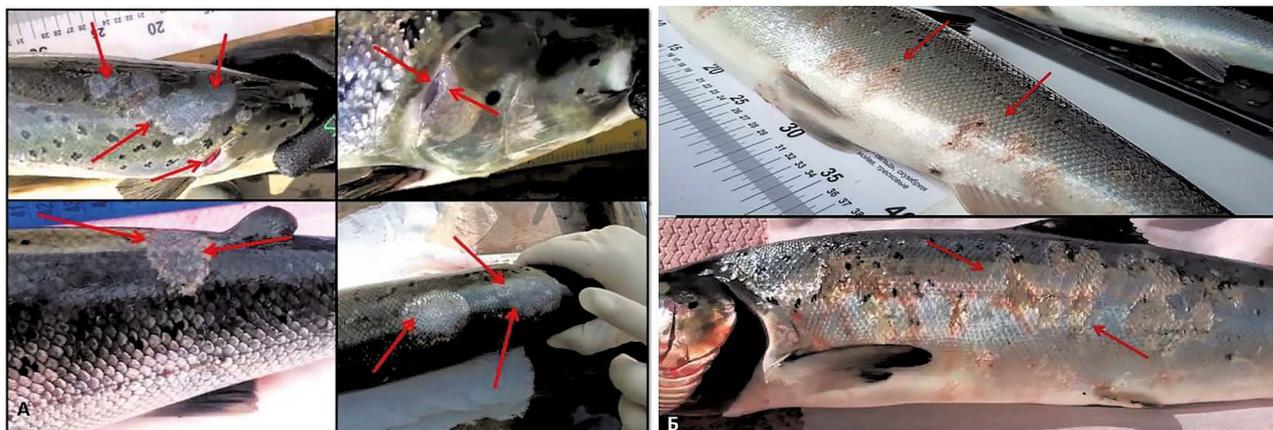


Рис. 2. Единично встречающиеся внешние патологии у атлантического лосося в реках Кола и Тулома: А – пятна на теле, в основном на спине, флуоресцирующие в воде; Б – точечное ерошение чешуи на боках

Fig. 2. Single external pathologies in Atlantic salmon in the Kola and Tuloma rivers: А – spots on the body, mainly on the back, fluorescent in water; В – spotty ruffles of scales on the sides

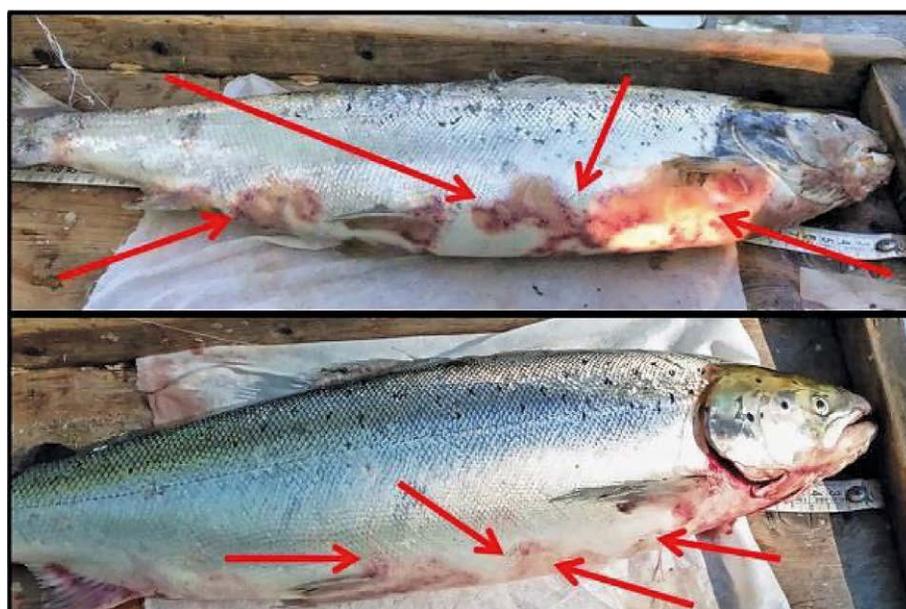


Рис. 3. Обширные красные пятна вдоль брюшка

Fig. 3. Extensive red spots along the belly

ми и ерошением чешуи. Они выделялись в отдельную малочисленную группу и, как правило, у них не было язв или красных пятен. Кроме этого, иногда наблюдали незначительное оголение лучей плавников. Данная патология была характерна для рыб из рек Тулома и Кола.

При вирусологическом исследовании признаки ЦПД (цитопатическое действие) на перевиваемых линиях клеток появились на 3–4 день после заражения их патологическим материалом из внутренних органов двух атлантических лососей из р. Тулома и одного из р. Кола. Визуализация продуктов ПЦР в агарозном геле показала наличие вируса инфекционного некроза поджелудочной железы у всех этих рыб (рис. 6).

Один из лососей-вирусоносителей из р. Тулома имел ярко выраженные признаки патологии: повреждение головы, разрушение кожных покровов до хрящевой ткани от рыла до глаз и ярко выраженные красные пятна на брюшке у плавников, а также бледную мозаичную печень. У другого экземпляра патология была менее выражена, отмечали только повреждение нижней челюсти, начальную стадию оголения лучей плавников. Атлантический лосось из р. Кола также был с выраженными признаками патологии: оголение лучей плавников, повреждение нижней челюсти и головы до хрящевой ткани, а также небольшие красные пятна на брюхе.



Рис. 4. Некроз и язвы у основания плавников  
Fig. 4. Fin necrosis and ulcers at the base of the fins



Рис. 5. Повреждения головы, от небольших пятен на нижней челюсти до разрушения хрящевой ткани  
Fig. 5. Head injuries, from small spots on the lower jaw to destruction of cartilage tissue

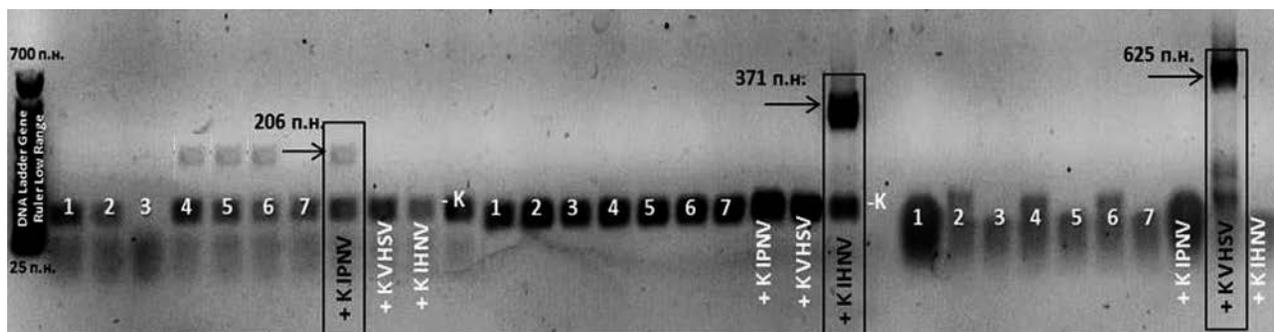


Рис. 6. Визуализация продуктов ПЦР в электрофорезе в агарозном геле:

1–7 – номера исследуемых образцов, «+ KIPNV» – положительный контроль к IPNV, «+ KVHSV» – положительный контроль к VHSV, «+ KIHNV» – положительный контроль к IHNV, «- K» – отрицательный контроль, маркер длин ДНК – DNA Ladder Gene Ruler Low Range (Thermo Scientific)

Fig. 6. Visualization of PCR products in agarose gel electrophoresis:

1–7 – numbers of the studied samples, «+ K IPNV» – positive control for IPNV, «+ K VHSV» – positive control for VHSV, «+ K IHNV» – positive control for IHNV, «- K» – negative control, DNA length marker – DNA Ladder Gene Ruler Low Range (Thermo Scientific)

Исследования иммунологических показателей атлантического лосося в России ранее не проводили, в зарубежной литературе также не удалось найти данные. У особей из рек Тулома и Кола средний уровень БАСК был выше (92,3 и 80,7%, соответственно) в 2022 г. по сравнению с 2023 г. (66,9 и 70,6%, соответственно). Разница показателей 2022 и 2023 гг., за исключением БАСК у рыб из р. Тулома, статистически не достоверна. Стоит отметить отсутствие ИМД особей и отрицательные значения уровня СРБ практически у всех исследованных рыб. Средняя величина ИК у атлантического лосося из обеих рек была выше в 2022 г. Межгодовые отличия данного показателя у рыб из р. Кола были больше (7,8 в 2022 г и 2,2% в 2023 г.), тогда как у особей из р. Тулома отличались не значительно в пределах ошибки среднего (табл. 4).

Таблица 4. Показатели бактериостатической активности (БАСК), С-реактивного белка и иммунных комплексов (ИК) в сыворотке крови атлантического лосося в 2022–2023 гг. (среднее значение показателя ± ошибка среднего)

Table 4. Indicators of bacteriostatic activity (BASK), C-reactive protein and immune complexes (IC) in the blood serum of Atlantic salmon in 2022–2023 (mean value of the indicator ± error of the mean)

Место вылова, река	БАСК, %	ИМД особи, %	СРБ, мг/л	ИК, усл. ед.
Тулома	92,33±4,35	0	Меньше 6	5,49±2,43
	66,91±5,26*	0	Меньше 6	3,93±1,46
Кола	80,67±9,34	0	Меньше 6	7,79±3,09
	70,56±3,68	0	Меньше 6	2,21±0,30

Примечание: над чертой представлены значения 2022 г., под чертой 2023; \* – статистически значимые межгодовые отличия показателей, при  $p \leq 0,05$ .

Сравнительный анализ показал высокий уровень ИК в печени и низкий в почках. При этом в печени отмечено наиболее высокое, но не достоверное, расхождение данного показателя между сёмгой из рек Кола и Тулома. В тканях почек и селезёнки зафиксированы незначительные различия по уровню ИК (табл. 5).

Таблица 5. Содержание иммунных комплексов в иммунокомпетентных органах атлантического лосося в 2023 г. (среднее значение показателя ± ошибка среднего)

Table 5. Content of immune complexes in the immunocompetent organs of Atlantic salmon in 2023 (mean value of the indicator ± error of the mean)

Место вылова, река	Печень	Почки	Селезёнка
Кола	19,65±3,40	3,13±0,44	5,04±0,78
Тулома	12,75±1,94	2,35±0,45	5,45±0,89

По результатам иммунологического тестирования сыворотки крови и иммунокомпетентных органов лососей разница показателей в 2022 и 2023 гг. в обеих реках не была статистически значима (табл. 4 и 5).

## ОБСУЖДЕНИЕ

На Кольском полуострове язвенный дермальный некроз у атлантического лосося впервые зарегистрировали в июле 2015 г. в реках Кола и Тулома. С тех пор единичных особей с признаками УДН наблюдали в реках Печенга и Ура бассейна Баренцева моря, а также в реках Умба, Варзуга и Чапома бассейна Белого моря. Задokumentировано, что заболевание распространяется с северо-запада на восток и юг полуострова и сопровождается гибелью больных лососей [Карасева, Голикова, 2023].

В постановке диагноза в 2015–2017 гг., когда погибло заметное количество атлантического лосося в реках Кола и Тулома, участвовали сотрудники Института Ветеринарии Норвегии, ФГБУ «ВНИИЗЖ», ФГБНУ «ФНЦ ВИЭВ» РАН, Комитета по ветеринарии Мурманской области, ГОБВУ «Мурманская облСББЖ», ГОБВУ «Мурманская облветлаборатория», ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Мурманской области», Референтный центр Россельхознадзора «Нацрыббезопасность», ФГБНУ «ВНИРО». В основном, исследования были направлены на установление этиологического агента заболевания. Использован широкий арсенал общепринятых, доступных методов, показавших, что патологии, характерные для УДН, не ассоциируются ни с одним из известных в настоящее время науке патогеном рыб, или их этиологическая роль не доказана (вирусы, бактерии, грибы, паразиты). Таким образом, было установлено, что проблема напрямую не связана с патогенами, распространёнными в Мурманской области. Диагноз УДН поставили в Институте Ветеринарии Норвегии по результатам гистологических исследований нескольких поражённых особей атлантического лосося.

В литературе описано, что поражения кожи рыб при УДН часто начинаются с круглых поверхностных язв серого цвета на голове и/или жировом плавнике. Гистопатологически очаги представляют собой прогрессирующий цитолитический некроз эпидермальных клеток, ограниченный определёнными участками, которые начинают проявляться при попадании рыбы в пресную воду. Затем места незначительных поражений могут инфицироваться условно-патогенными микроорганизмами, в основном, *Saprolegnia diclina*. Как только это происходит, поражение прогрессирует уже за счёт активности вторичных патогенов, а смерть рыбы наступает чаще от недостаточности кровообращения в результате осмотической гемодилюции, вызванной обширными участками изъязвления [Bruno et al., 2013; Roberts, 1993].

Анализ внешних признаков патологии атлантического лосося в реках Кола и Тулома с 2015 по 2024 гг. показал, что типичных для УДН симптомов в популяциях рыб становится меньше. Происходит изменение признаков патологии и сокращение смертности рыб в этих реках с 2021 г., что закономерно, так как любая эпизоотическая цепь циркуляции возбудителя неизбежно ограничена во времени и пространстве [Литвин, Коренберг, 1999]. По литературным данным новые симптомы, среди которых точечные кровоизлияния и красные пятна на коже, в том числе сыпь в области брюха, наблюдают у инфицированного атлантического лосося и в других странах и выделяют новое

заболевание – «заболевание красной кожи» (Red Skin Disease), имеющее собственные диагностические критерии наравне с УДН. Решение о регистрации нового заболевания (RSD) и утверждение его наименования было принято на научном семинаре в ноябре 2019 г. в Норвежском институте природы (NINA, Норвегия) [Weichert et al., 2020].

В наших исследованиях клинические признаки патологии у атлантического лосося в Мурманской области (реки Кола и Тулома) в 2022–2024 гг. были типичны для «болезни красной кожи». Причём, при отлове рыбы они слабо выражены, однако уже через сутки содержания в садках происходит их видимое увеличение и распространение по телу рыбы. Можно предположить, что нарастание симптоматики происходит быстро, и количество внешних проявлений в популяции нарастает с продвижением рыбы вверх по течению. От Нижне-Туломского рыбохода устье реки (Вересова губа) находится в 10 км, а РУЗ «Главрыбвод» на р. Кола – в 25,5 км. Это может быть одной из основных причин того, что в ловушке РУЗ отмечают больше рыб с признаками патологии, а в 2015–2017 гг. массовую гибель атлантического лосося с типичными признаками УДН наблюдали только на РУЗ.

Следует отметить, что в 2023 году на РУЗ в р. Кола доля рыб с признаками патологии снизилась до 5,5%, а на рыбоходе в р. Тулома до 4,2%. При этом общая численность учтённых в 2023 г. производителей атлантического лосося по сравнению с 2021 г. возросла в 7 раз в р. Кола и в 3 раза в р. Тулома. Однако, прогноз увеличения возврата не оправдался, в 2024 г. было учтено на РУЗ и на рыбоходе практически в 2 раза меньше рыб, чем в 2023 г. При этом на рыбоходе единично присутствовали рыбы с красными точечными пятнами (геморрагии) на брюшке и боках, а в р. Кола таких рыб, наоборот, было значительно больше, чем в предыдущем году, 12,3% от учтённых на РУЗ. Часть рыб, выпущенных из ловушки РУЗ, видимо, не могла преодолеть пороги реки, и ослабленные особи скатывались к загородке РУЗ и погибали. Рыбы с типичными признаками УДН на обоих водоёмах были единичными.

Рассмотрим, что может быть причиной появления поражённых УДН рыб в популяциях атлантического лосося. Для этого обратимся к биологии вида и оценке его запасов. Жизненный цикл атлантического лосося, как анадромного вида, охватывает периоды в морской и пресноводной среде. Абсолютный возраст лосося может варьировать от 3 до 12 лет, в реках Кола и Тулома 3–8 полных лет [Прусов и др., 2021]. По оценкам ИКЕС (Международный совет по исследованию моря), численность атлантического лосося в воз-

расте R+1+ (1SW), возвращающегося в реки России после морской миграции, с 1971 по 2015 гг. варьировала в пределах от 100 до 250 тыс. экз., после чего снизилась ниже уровня в 100 тыс. экз. [ICES, 2020].

Как результат общего снижения численности лосося, средняя величина добычи (вылова) сёмги в Мурманской области снизилась с 55,2 т в 2011–2015 гг. до 25,5 т в 2016–2020 гг., а величина освоения выделенных объёмов – с 75–77% в 2011–2012 гг. до 16–38% в 2017–2020 гг., при том, что промысловое усилие в рассматриваемый период времени было довольно стабильным [Прусов и др., 2021]. Одной из причин сокращения популяций атлантического лосося в реках Мурманской области может быть язвенный дермальный некроз лососевых. В том числе потому, что выявленное заболевание препятствует успешному искусственному воспроизводству, которое в 2000-х гг. вносило существенный вклад в пополнение стада сёмги рек Кола и Умба Мурманской области [Алексеев, Зубченко, 2021].

Ранее нами было сделано предположение, что природный очаг патогена на протяжении длительного времени находится в море и запускает у поражённой сёмги процесс иммунодефицита, который приводит к снижению защитной функции кожи и слизи [Рудакова и др., 2022]. По данным иммунологических исследований среди обследованных рыб не выявлено иммунодефицитных по уровню БАСК. Поэтому можно предположить, что причина кроется в изменении состава слизи и/или отсутствии лизоцима и других антибактериальных ферментов у больных рыб. Учитывая то, что ареал УДН и атлантического лосося совпадает, источник этих изменений состава слизи, может находиться в море.

Рассмотрим результаты изучения сыворотки крови и иммунокомпетентных органов у атлантического лосося. БАСК – интегральный показатель, объединяющий большинство врождённых факторов иммунной системы сыворотки крови: система комплемента, лизоцим, пропердин, иммуноглобулины, противомикробные пептиды лектины, преципитины, В-лизин и др. [Микряков, 1991; Ройт и др., 2000; Van Muiswinkel et al., 2006; Койхо и др., 2008; Van der Marel, 2012<sup>2</sup>]. Показатели БАСК и отсутствие ИМД среди исследованных рыб из обеих рек свидетельствуют о высоком уровне функционального состояния гуморального звена иммунитета.

На это же указывают результаты исследования уровня СРБ – белка острой фазы, который является

чувствительным элементом крови, быстрее других реагирует на повреждения тканей и воспалительные процессы в организме. Этот белок, один из ключевых компонентов гуморального врождённого иммунитета, обеспечивает связь между врождённой и адаптивной иммунной системами [Назаров, 2010], способен распознавать микробы и способствовать их поглощению фагоцитами [Bottazzi et al., 2010; Lee et al., 2017]. В сыворотке здорового организма СРБ отсутствует, но его уровень быстро и многократно увеличивается при инфекционных и паразитарных заболеваниях. Отрицательный уровень СРБ в организме практически у всех исследуемых особей сёмги (менее 6, см. табл. 4), вероятно, связан с высокой бактерицидной активностью сыворотки крови.

Высокое функциональное состояние механизмов врождённого иммунитета подтверждают данные содержания ИК в иммунокомпетентных тканях и органах. ИК состоят из антигена, антител и связанных с ними компонентов системы комплемента. Они играют важную роль в процессах регуляции иммунных реакций, элиминации антигенов из организма и поддержания иммунофизиологического гомеостаза. На макрофагах, нейтрофилах и эритроцитах экспрессирован рецептор CR1, который через компоненты комплемента C4b и C3b связывает растворимые ИК и доставляет их к макрофагам селезёнки и печени. Это обеспечивает клиренс крови, однако при нарушении этого механизма происходит избыточное образование ИК. В результате комплексы выпадают в осадок, прежде всего, в базальных мембранах сосудов клубочков почек, что может приводить к развитию патологии и супрессии клиринговой функции клеток фагоцитарной системы [Ройт и др., 2000; Койхо и др., 2008]. Низкий уровень ИК в сыворотке крови и высокий в тканях печени указывают на интенсивные процессы нейтрализации патогенов. По-видимому, у исследуемых рыб после перехода из моря в реки активизируется работа иммунной системы по нейтрализации антигенов из новой среды обитания и их элиминации из организма.

Резюмируя наши и литературные данные можно констатировать следующее. Несмотря на то, что было проведено много исследований, направленных на выявление потенциального участия в развитии признаков УДН у атлантического лосося бактерий, оомицетов и вирусов, этиология заболевания до сих пор остаётся не ясной. По мнению большинства зарубежных исследователей, заболевание УДН может быть вирусной природы. Поэтому мы посвятили вирусологическим исследованиям особое внимание. В отличие от предыдущих лет вирусологические ис-

<sup>2</sup> Van der Marel M.C. 2012. Carp mucus and its role in mucosal defense: PhD Thesis, Wageningen University. The Netherlands. 189 p.

следования каждой рыбы проводили индивидуально и отдельно тестировали четыре органа на четырёх перевиваемых линиях клеток, обладающих широким спектром чувствительности к известным вирусам рыб. Такой подход значительно увеличил шансы выявления вирусов, в том числе и неизвестных, в обследованных органах, при условии чувствительности к ним использованных линий клеток. Тем не менее, вирусологические исследования отобранного материала на перевиваемых линиях клеток показали признаки ЦПД только в трёх пробах на двух линиях клеток ЕРС и RTG-2. В реакции ПЦР вирус был идентифицирован как вирус инфекционного некроза поджелудочной железы. Это широко встречающийся вирус, который не ассоциирован с УДН. Ранее у атлантического лосося в реках Мурманской области уже выделяли этот вирус в рамках проведения государственного эпизоотического мониторинга (Мельников В.П., неопубликованные данные), однако в литературе упоминания об этих случаях нет.

Проведённые нами работы показали перспективы дальнейшего изучения заболевания невыясненной этиологии с признаками УДН. Необходимо больше внимания уделить гематологическим, иммунологическим исследованиям атлантического лосося и анализу состава слизи, чтобы понять физиологическое состояние здоровых и больных рыб, выявить характерные отличия и понять механизм их возникновения. В литературе сведения о нормальных значениях показателей крови, биохимических показателях сыворотки и бактерицидных компонентах слизи у половозрелых атлантических лососей отрывочны. Одной из причин отсутствия информации, вероятно, является малочисленность и ценность объекта исследования. Поэтому необходимо рассмотреть возможность прижизненного многократного отбора проб от атлантических лососей, отсаженных для созревания в садки для искусственного воспроизводства. Отработать технику неинвазивного получения крови и слизи от рыб для общего и биохимического анализа и выбрать наиболее информативные биохимические показатели для контроля физиолого-иммунологического состояния в норме и при патологии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наиболее массовые вспышки заболевания невыясненной этиологии, под общим названием УДН, и гибель рыб отмечены в реках Кола и Тулома в 2015–2016 гг. Клинические признаки патологии у атлантического лосося изменились с 2021 г., на смену типичным признакам УДН пришли признаки «болезни красной кожи».

Заболевание невыясненной этиологии, под общим названием УДН, препятствует искусственному воспроизводству, которое вносило значительный вклад в численность популяций атлантического лосося в Мурманской области.

Вирусологические исследования показали носительство вируса инфекционного некроза поджелудочной железы у отдельных рыб в обеих обследованных реках, но этот вирус не ассоциируется с УДН у атлантического лосося.

Иммунологические исследования указывают на высокую активность механизмов врождённого гуморального иммунитета, обусловленную интенсивными процессами обнаружения и нейтрализации патогенов в организме.

Проведённые исследования позволят создать базу данных по результатам комплексных исследований болезней атлантического лосося в реках Кола и Тулома. Также появится возможность сравнить полученные результаты у рыб с клиническими признаками и без них за несколько лет.

Кроме того, на основе многолетних исследований можно будет определить различия в иммунном статусе рыб с разными признаками патологии. Это поможет понять, как со временем развивается заболевание УДН и что его вызывает.

## Благодарности

Авторы выражают благодарность руководителям и сотрудникам ФГБНУ «ВНИРО» (центральный институт), Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО», «Мурманской областной станции по борьбе с болезнями животных», Мурманского филиала ФГБУ «Главрыбвод» за помощь в организации полевых работ и обработку материала в лабораториях.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

## Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» по теме: «Создание системы охраны здоровья объектов аквакультуры на основе оценки рисков распространения заболеваний, разработки и испытания средств их диагностики, профилактики и лечения» (№ реестровой записи государственной работы: 720000Ф.99.1.БН62АБ62000).

## ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев М.Ю., Зубченко А.В. 2021. Эффективность искусственного воспроизводства атлантического лосося при выпуске молоди в разном возрасте на примере реки Кола (Мурманская область) // Вопросы ихтиологии. Т. 61. Вып. 1. С. 109–118. DOI: 10.17076/eco1337
- Гриневич Ю.А., Алферов А.Н. 1981. Определение иммунных комплексов в крови онкологических больных // Лабораторное дело. № 8. С. 493–496.
- Завьялова Е.А., Дрошнев А.Е., Булина К.Ю., Гулюкина А.М. 2018. Эпизоотическая ситуация по болезням рыб: методы исследования, тенденции, перспективы // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. № 1(25). С. 136–142. DOI: 10.25725/vet.san.hyg.ecol.201801023
- Исаев А.В. 1999. Адаптация и эволюция. Иваново: Иваново-ГУ. 184 с.
- Карасева Т.А., Голикова Л.Н. 2021. Язвенный дермальный некроз (UDN) и влияние болезни на воспроизводство атлантического лосося (*Salmo salar* L.) // Биология водных экосистем в XXI веке: факты, гипотезы, тенденции. Тез. докл. Всерос. науч. конф., посвящ. 65-летию ИБВВ им. И.Д. Папанина РАН. Борок: ИБВВ им. И.Д. Папанина РАН. С. 90.
- Карасева Т.А., Голикова Л.Н. 2023. Результаты изучения язвенного дермального некроза у атлантического лосося в реках Кольского полуострова // Актуальные проблемы освоения водных биологических ресурсов Российской Федерации. Мат. всерос. конф. учёных и специалистов, посвящённой 160-летию Н.М. Книповича. Мурманск, 27–28 октября 2022 года. С. 212–217.
- Койхо Р., Саншайн Д., Бенджамини Э. 2008. Иммунология. М.: Академия. 368 с.
- Литвин В.Ю., Коренберг Э.И. 1999. Природная очаговость болезней: развитие концепции к исходу века // Паразитология № 33 (3). С. 179–191.
- Микряков В.Р. 1991. Закономерности формирования приобретённого иммунитета у рыб. Рыбинск: ИБВВ РАН. 153 с.
- Назаров П.Г. 2010. Пентраксины в реакциях врождённого и приобретённого иммунитета, организации матрикса, фертильности // Медицинский академический журнал. Т. 10. № 4. С. 107–124.
- Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: Пищ. про-ть. 376 с.
- Прусов С.В., Зубченко А.В., Алексеев М.Ю. 2021. Состояние запасов и рыболовства анадромных рыб Мурманской области. Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича. 72 с.
- Ройт А., Бростофф Дж., Мейл Д. 2000. Иммунология. М.: Мир. 592 с.
- Рудакова С.Л., Буданова Л.К., Самохвалов И.В., Хайдаров К.А., Щелкунова Ю.П., Оганесова Е.В., Терпугова Н.Ю., Кропачева И.Ю., Иваницкая О.А., Семенихина М.Е., Юрков С.Г. 2022. Предварительные результаты комплексного эпизоотического обследования популяций половозрелого атлантического лосося (сёмги) в реках Кола и Тулома в 2022 г. // Актуальные вопросы пресноводной аквакультуры. Сб. науч. трудов. Т. 93. Астрахань. С. 163–177.
- Сборник инструкций по борьбе с болезнями рыб (Т. 1). 1998. / Яременко Н.А. ред. М.: Отдел маркетинга АМБ-агро. 310 с.
- Bruno D.W., Noguera P.A., Poppe T.T. 2013. A color atlas of salmonid diseases. 2nd Edition. Springer Dordrecht Heidelberg New York London. 211 p. DOI 10.1007/978-94-007-2010-7
- Bottazzi B., Doni A., Garlanda C., Mantovani A. 2010. An integrated view of humoral innate immunity: pentraxins as a paradigm // Annual review of immunology. V. 28. P. 157–183. DOI: 10.1146/annurev-immunol-030409-101305
- Hill B.J. 1976. Ulcerative dermal necrosis (UDN) // FAO Aquaculture Bulletin: 8. P. 13–14.
- ICES. 2020. Report of the working group on north Atlantic salmon (WGNAS). ICES Scientific Reports. V. 2. № 21. 358 p.
- Lee P.T., Bird S., Zou J. Martin S.A.M. 2017. Phylogeny and expression analysis of C-reactive protein (CRP) and serum amyloid-P (SAP) like genes reveal two distinct groups in fish // Fish & Shellfish Immunology. V. 65. P. 42–51. DOI: 10.1016/j.fsi.2017.03.037
- Ljungberg O., Johansson N. 1977. Ulcerous dermal nekros hos laxfiskar // Svensk Veterindrtidning. V. 4. P. 129–135
- Meyers T.R. 2009. Fish pathology Section Laboratory Manual. Alaska Dep. Fish and Game, Spec. Publ. № 12. 252 p.
- Murphy T. 1973. Ulcerative dermal necrosis (UDN) of salmonids – a review // Irish Veterinary Journal. V. 11. P. 85–90.
- Roberts R.J. 1972. Ulcerative dermal necrosis (UDN) of salmon (*Salmo salar* L.) // Symposia of the Zoological Society of London. 30. P. 53–81.
- Roberts R.J. 1993. Ulcerative dermal necrosis (UDN) in wild salmonids // Fish. Res. V. 17. № 1–2. P. 3–14. DOI 10.1016/0165-7836(93)90003-P
- Stirling A.B. 1879. Additional observations on the fungus disease affecting salmon and other fish // Proc. R. Soc. Edinb. V. 10. P. 232–250.
- Van Muiswinkel W., Vervoorn Van Der Wal B. 2006. The immune system of fish // Fish Diseases and Disorders. Vol. 1: Protozoan and Metazoan Infections. Edition: 2nd edition Chapter: 18. Publisher: CABI. P. 678–701.
- Weichert F.G., Axén C., Förlin L., Inostroza P.A., Kammann U. 2020. A multi-biomarker study on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) affected by the emerging red skin disease in the Baltic sea // J. Fish Dis. V. 44 (1). P. 429–440. DOI: 10.1111/jfd.13288
- Williams K., Blake S., Sweeney A., Singer J.T., Nicholson B.L. 1999. Multiplex reverse transcriptase PCR assay for simultaneous detection of three fish viruses // J. Clin Microbiol. V. 37 (12). P. 4139–4141. DOI: 10.1128/JCM.37.12.4139-4141.1999.
- Willoughby L.G. 1969. Salmon disease in windermere and the river leven: the fungal aspect // Salmon Trout Magazine. V. 186. P. 124–129.

## REFERENCES

- Alekseev M.Y., Zubchenko A.V. 2021. Efficiency of artificial reproduction of Atlantic salmon with the release of juveniles at different ages on the example of the Kola River (Murmansk region) // *Voprosy Ichthyologii*. V. 61. Iss. 1. P. 109–118. DOI: 10.17076/eco1337. (In Russ.).
- Grinevich Yu.A., Alferov A.N. 1981. Determination of immune complexes in the blood of cancer patients // *Laboratornoe delo*. No. 8. pp. 493–496. (In Russ.).
- Zavyalova E.A., Droshnev A.E., Bulina K.Y., Gulyukina A.M. 2018. Epizootic situation of fish diseases: research methods, trends, prospects // *Problems of veterinary sanitation, hygiene and ecology*. V. 1(25). Pp. 136–142. DOI:10.25725/vet.san.hyg.ecol.201801023. (In Russ.).
- Isaev A.V. 1999. *Adaptation and evolution*. Ivanovo: IvanovoSU. 184 p. (In Russ.).
- Karaseva T.A., Golikova L.N. 2021. Ulcerative dermal necrosis (UDN) and the impact of the disease on the reproduction of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) // *Biology of aquatic ecosystems in the 21st century: facts, hypotheses, trends*. Abstr. of the All-Russ. scient. conf. dedicated to the 65th anniversary of the I.D. Papanin IBIW RAS. Borok: I.D. Papanin IBIW RAS. P. 90. (In Russ.).
- Karaseva T.A., Golikova L.N. 2023. Results of the study of ulcerative dermal necrosis in Atlantic salmon in the rivers of the Kola Peninsula // *Actual problems of development of aquatic biological resources of the Russian Federation*. Proc. All-Russ. conf. of scientists and specialists dedicated to the 160th anniversary of N.M. Knipovich, Murmansk, October 27–28, 2022. P. 212–217. (In Russ.).
- Koykho R., Sunshine D., Benjamini E. 2008. *Immunology*. Moscow: Academy. 368 p. (In Russ.).
- Litvin V.Y., Korenberg E.I. 1999. Natural focality of diseases: development of the concept by the end of the century // *Parasitology*. No. 33 (3). P. 179–191. (In Russ.).
- Mikryakov V.R. 1991. *Patterns of formation of acquired immunity in fish*. Rybinsk: IBIW RAS. 153 p. (In Russ.).
- Nazarov P.G. 2010. Pentraxins in reactions of innate and acquired immunity, matrix organization, fertility // *Medical Academic Journal*. V. 10. No. 4. P. 107–124. (In Russ.).
- Pravdin I.F. 1966. *Guide to the study of fish (mainly freshwater)*. Moscow: Food industry. 376 p. (In Russ.).
- Royt A., Brostoff J, Meil D. 2000. *Immunology*. Moscow: Mir. 592 p. (In Russ.).
- Rudakova S.L., Budanova L.K., Samokhvalov I.V., Khaidarov K.A., Shchelkunova Y.P., Oganosova E.V., Terpugova N.Y., Kropocheva I.Y., Ivanitskaya O.A., Semenikhina M.E., Yurkov S.G. 2022. Preliminary results of a comprehensive epizootic survey of mature Atlantic salmon populations in the Kola and Tuloma rivers in 2022 // *Current issues in freshwater aquaculture*. Coll. of scient. papers. V. 93. Astrakhan. P. 163–177. (In Russ.).
- Collection of instructions for combating fish diseases (V. 1). 1998. / Yaremenko N.A. ed. Moscow: Marketing department of AMB-agro. P. 60–75. (In Russ.).
- Bruno D.W., Noguera P.A., Poppe T.T. 2013. *A color atlas of salmonid diseases*. 2nd Edition. Springer Dordrecht Heidelberg New York London. 211 p. DOI 10.1007/978-94-007-2010-7
- Bottazzi B., Doni A., Garlanda C., Mantovani A. 2010. An integrated view of humoral innate immunity: pentraxins as a paradigm // *Annual review of immunology*. V. 28. P. 157–183. DOI: 10.1146/annurev-immunol-030409-101305
- Hill B.J. 1976. Ulcerative dermal necrosis (UDN) // *FAO Aquaculture Bulletin*: 8. P. 13–14.
- ICES. 2020. Report of the working group on north Atlantic salmon (WGNAS). ICES Scientific Reports. V. 2. № 21. 358 p.
- Lee P.T., Bird S., Zou J. Martin S.A.M. 2017. Phylogeny and expression analysis of C-reactive protein (CRP) and serum amyloid-P (SAP) like genes reveal two distinct groups in fish // *Fish & Shellfish Immunology*. V. 65. P. 42–51. DOI: 10.1016/j.fsi.2017.03.037
- Ljungberg O., Johansson N. 1977. Ulceros dermal nekros hos laxfiskar // *Svensk Veterindrtidning*. V. 4. P. 129–135.
- Meyers T.R. 2009. *Fish pathology Section Laboratory Manual*. Alaska Dep. Fish and Game, Spec. Publ. № 12. 252 p.
- Murphy T. 1973. Ulcerative dermal necrosis (UDN) of salmonids – a review // *Irish Veterinary Journal*. V. 11. P. 85–90.
- Roberts R.J. 1972. Ulcerative dermal necrosis (UDN) of salmon (*Salmo salar* L.) // *Symposia of the Zoological Society of London*. 30. P. 53–81.
- Roberts R.J. 1993. Ulcerative dermal necrosis (UDN) in wild salmonids // *Fish. Res.* V. 17. № 1–2. P. 3–14. DOI 10.1016/0165-7836(93)90003-P
- Stirling A.B. 1879. Additional observations on the fungus disease affecting salmon and other fish // *Proc. R. Soc. Edinb.* V. 10. P. 232–250.
- Van Muiswinkel W., Vervoorn Van Der Wal B. 2006. The immune system of fish // *Fish Diseases and Disorders*. Vol. 1: Protozoan and Metazoan Infections. Edition: 2nd edition Chapter: 18. Publisher: CABI. P. 678–701.
- Weichert F.G., Axén C., Förlin L., Inostroza P.A., Kammann U. 2020. A multi-biomarker study on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) affected by the emerging red skin disease in the Baltic sea // *J. Fish Dis.* V. 44 (1). P. 429–440. DOI: 10.1111/jfd.13288
- Williams K., Blake S., Sweeney A., Singer J.T., Nicholson B.L. 1999. Multiplex reverse transcriptase PCR assay for simultaneous detection of three fish viruses // *J. Clin Microbiol.* V. 37 (12). P. 4139–4141. DOI: 10.1128/JCM.37.12.4139-4141.1999.
- Willoughby L.G. 1969. Salmon disease in windermere and the river leven: the fungal aspect // *Salmon Trout Magazine*. V. 186. P. 124–129.

Поступила в редакцию 01.10.2024 г.  
Принята после рецензии 13.11.2024 г.