

Антропогенные факторы заболеваний и гибели атлантических лососей (*Salmo salar* L.)

DOI: 10.37663/0131-6184-2023-3-14-24

Воробьев Валерий Васильевич – д-р техн. наук, академик РАЕН, Референтная лаборатория по болезням аквакультуры, @ vorobyev_vv@arriah.ru;

Чвала Илья Александрович – канд. вет. наук, заместитель директора по научной работе, @ chvala@arriah.ru

Коренной Федор Игоревич – канд. геогр. наук, научный сотрудник, @ korennoy@arriah.ru –

ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных» (ФГБУ «ВНИИЗЖ»), Владимир, Россия

Адрес: 600901, г. Владимир, мкр. Юрьевец

Аннотация.

В представленном обзоре рассмотрена многолетняя тенденция снижения численности популяций «дикого» атлантического лосося в большинстве европейских стран и северо-западных регионах России, обусловленная интенсивным промыслом, браконьерством, антропогенным воздействием на морские акватории и пресноводные речные системы, лесосплавами, многочисленными сооружениями плотин и гидроэлектростанций на нерестовых реках, уничтожением водных биотопов и донных биоценозов. В арктических промысловых регионах Российской Федерации более 30 лет наблюдается глубокая депрессия большинства популяций атлантических лососей, что привело за полвека к снижению среднегодовых уловов более чем в 20 раз. ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных» с 2015 г. проводит исследования по выявлению причин заболеваний вирусной и бактериальной этиологии и гибели популяций атлантических лососей, идущих на нерест в реки Кольского полуострова. В настоящее время в ходе исследований не установлены причины болезней и гибели атлантических лососей. Это беспокоит жителей и руководство Мурманской области, научную общественность, Россельхознадзор, Министерство природных ресурсов и экологии России. Через антропогенные факторы влияния рассматриваются изменения адаптационных свойств рыбы, физиологии, в пищеварительной системе и этиологии – заболеваний и гибели атлантических лососей в водной среде, загрязнённой тяжёлыми металлами, нефтеуглеводородами и другими поллютантами. В ходе дальнейших комплексных исследований, установление причин заболеваний и гибели лососей позволит разработать систему мер и рекомендации по ликвидации заболеваний и гибели атлантических лососей в реках Кольского полуострова, приступить к восстановлению популяций сёмги.

Ключевые слова:

атлантический лосось, антропогенное влияние, токсиканты, адаптация, заболевание

Для цитирования:

Воробьев В.В., Чвала И.А., Коренной А.И. Антропогенные факторы заболеваний и гибели атлантических лососей (*Salmo salar* L.) // Рыбное хозяйство. 2023. № 3, С. 14-24. DOI: 10.37663/0131-6184-2023-3-14-24

ANTHROPOGENIC FACTORS OF DISEASES AND DEATH OF ATLANTIC SALMON (*SALMO SALAR* L.)

Valery V. Vorobyov – Doctor of Technical Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Reference Laboratory for Aquaculture Diseases, vorobyev_vv@arriah.ru;

Ilya A. Chvala – Candidate of Veterinary Sciences, Deputy Director for Scientific Work, chvala@arriah.ru

Fedor I. Korennoy – Candidate of Geographical Sciences, Researcher, korennoy@arriah.ru –

Federal State Budgetary Institution "Federal Center for Animal Health Protection" (FGBI "VNIIZH"), Vladimir, Russia

Address: 600901, Vladimir, md. Yurievets

Annotation. The present review examines the long-term trend of declining populations of "wild" Atlantic salmon in most European countries and northwestern regions of Russia, due to intensive fishing, poaching, anthropogenic impact on marine waters and freshwater river systems, logging, numerous dams and hydroelectric power plants on spawning rivers, destruction of aquatic biotopes and bottom biocenoses. Deep depression of the majority of Atlantic salmon populations has been observed in the Arctic fishing regions of the Russian Federation for more than 30 years, which has led to a decrease in average annual catches by more than 20 times over half a century. Since 2015, the Federal Center for Animal Health has been conducting research to identify the causes of viral and bacterial etiology diseases and the death of Atlantic salmon populations going to spawn in the rivers of the Kola Peninsula. Currently, in the course of research, the causes of disease and death of Atlantic salmon have not been established. This worries residents and the leadership of the Murmansk region,

the scientific community, the Rosselkhoznadzor, the Ministry of Natural Resources and Ecology of Russia. Changes in the adaptive properties of fish, physiology, in the digestive system and etiology – the slaughter and death of Atlantic salmon in an aquatic environment contaminated with heavy metals, petro-hydrocarbons and other pollutants are considered through anthropogenic factors of influence. In the course of further comprehensive studies, the establishment of the causes of diseases and death of salmon will allow to develop a system of measures and recommendations for the elimination of diseases and death of Atlantic salmon in the rivers of the Kola Peninsula, to begin the restoration of salmon populations.

Keywords:

Atlantic salmon, anthropogenic influence, toxicants, adaptation, disease

Cite as:

Vorobyev, V.V., Chvala, I.A., Korennoi A.I. Anthropogenic factors of diseases and death of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) Ribnoye Hozyastvo. Fisheries. 2023. No. 3, Pp. 14-24. DOI: 10.37663/0131-6184-2023-3-14-24 (In Russ., abstract in Eng.).

ВВЕДЕНИЕ

Международный совет по исследованию моря (ICES) и Организация по сохранению лосося Северной Атлантики (NASCO) с середины 80-х годов XX в. отмечали устойчивую тенденцию снижения численности популяций «дикого» лосося в большинстве стран, обусловленную интенсивным промыслом, браконьерством, антропогенным воздействием на морские акватории и Мировой океан, пресноводные речные системы, негативными последствиями многолетних лесосплавов, многочисленными сооружениями гидроэлектростанций и плотин на нерестовых реках, уничтожением водных биотопов и донных биоценозов, болезнями морских животных и другими причинами.

На европейском Севере России, вследствие иррациональной организации промысла, чрезмерного браконьерства, составляющего в разные годы по оценкам экспертов от 73 до 96% (в среднем – 85%) от общего улова легального рыболовства [1], ежегодно увеличивающегося загрязнения нерестовых рек на Кольском полуострове, произошло многолетнее сокращение популяций лосося, нарушена многовековая природная цикличность воспроизводства ценной рыбы и других видов гидробионтов. В промысловых арктических регионах страны более трёх десятилетий наблюдается крайне глубокая депрессия численности большинства популяций атлантического лосося, что привело к снижению среднегодовых уловов в 2005-2015 гг., по сравнению с 1950-ми годами, более чем в 20 раз [2].

Многолетнее антропогенное воздействие на окружающую среду европейского Севера и на нерестовые реки, очевидно, является основной причиной болезни и гибели атлантических лососей и других гидробионтов. С 2015 г. ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных» проводит исследования по выявлению причин заболеваний вирусной и бактериальной этиологии и гибели, заходящих на нерест в реки, популяций атлантических лососей. В ходе исследований не установлены причины болезней и гибели лососей в реках Кольского полуострова. Техногенные факторы в пресноводной среде, содержащей тяжёлые металлы, нефтепродукты, фенолы и другие экополлютанты, очевидно, оказывают огромное воздействие на изменения адаптационных свойств лососей, биофизических механизмов, нарушения в пищеварительной системе, биохимических процессов, что приводит ко многим заболеваниям и гибели ценных видов рыб.

ЭКОЛОГИЯ РЕК КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА И БАРЕНЦЕВА МОРЕЯ

Атлантический лосось (*Salmo salar* L. – лосось благородный или сёмга) – крупная рыба массой до 40 кг и длиной 140 см. Окраска лососей, в зависимости от возраста, варьирует. У молоди лососей, до ската в море (пестрятка), по бокам тела расположены до 11 крупных тёмных поперечных полос и редкие мелкие пятна между этими полосами. При скате из рек в море у молоди лососей (смолтов) окраска становится серебристой. У взрослых лососей, обитающих в море, брюшко белое, бока серебристые, спинка от приглушенного коричневатого-чёрного цвета до зеленовато-голубого оттенка. С приближением нерестового периода облик лососей, особенно у самцов, изменяется (происходит лошание), приобретает брачный наряд – тело становится тёмным, серебристый цвет исчезает, на боках и голове проявляются красно-оранжевые пятна, чешуя погружается в эпителий. Скелет у лососей подвергается изменению [3].

Атлантический лосось (*Salmo salar* L.) воспроизводится в реках Северной Атлантики и в арктическом регионе России, в местах расположения крупных нерестовых рек: Печенга, Тулома, Кола, Умба, Варзуга, Поной, Печора, Северная Двина, Мезень и др., протяжённость пресноводного участка миграционного пути для ряда популяций достигает 1000-1800 км [2]. На европейском Севере России насчитывается 114 рек первого порядка, в которых, до начала проявления антропогенного влияния, воспроизводилось не менее 140 анадромных морских популяций атлантического лосося. В 1970-х годах на Кольском полуострове популяции атлантического лосося нерестились в 79 реках (43 – баренцевоморских и 36 – беломорских), в настоящее время количество пригодных рек для захода на нерест рыбы значительно сократилось. Популяции дикой сёмги находятся в депрессивном состоянии.

В рыбохозяйственный фонд Мурманской области входят часть акватории бассейнов Белого (709,8 тыс. км²) и Баренцева морей (525,7 тыс. км²) общей площадью 1235,5 тыс. км²; 20601 река общей протяжённостью 66,9 тыс. км и общей площадью 144,9 тыс. км²; 111609 озёр общей площадью 922,7 тыс. га и 10 водохранилищ общей площадью 282,7 тыс. гектаров. Ежегодный сток речных вод составляет в Баренцево море 163 км³, в Белое море – 215 км³ [4].

На Кольском полуострове по берегам рек Кола, Печенга, Тулома, Умба, вблизи крупных городов

и поселений, работающие крупнейшие горнодобывающие, горно-обрабатывающие, металлургические, машиностроительные, портовые, энергетические предприятия, комбинаты химической и нефтехимической промышленности более полувек оказывают антропогенное воздействие на экологию водных систем региона. Кислотообразующие соединения и тяжёлые металлы, прежде всего, медь, никель, железо, цинк, диоксид серы и фенолы, а также сбросы неочищенных промышленных и бытовых стоков – основные, вещества, загрязняющие территорию, реки и прибрежные морские акватории Баренцева и Белого морей, влияющие на сокращение популяций и снижение численности атлантического лосося и других гидробионтов.

В 2019 г. на 14 водных объектах Мурманской области было зарегистрировано 88 случаев высокого загрязнения (ВЗ) и 42 – экстремально высокого загрязнения (ЭВЗ). Загрязнения были связаны с высоким содержанием в воде соединений молибдена, меди, никеля, марганца, ртути, дитиофосфата крезилового, органических веществ (по БПК₅), аммонийного и нитритного азота, сульфатов [4; 5]. Регистрировались случаи однократного превышения ВЗ-соединения цинка, фосфора и фосфатов, ЭВЗ – соединениями ртути, органическими веществами (по БПК₅) и по запаху.

Негативное влияние на водные объекты Мурманской области оказывают сточные воды предприятий горнодобывающей, горно-обрабатывающей и металлургической промышленности: комбинат «Североникель» – река Ньюдай (г. Мончегорск), комбинат «Печенганикель» – р. Хауки-лампи-йоки (г. Заполярный) и другие. На р. Ньюдай в 2019 г. было зарегистрировано наибольшее количество высокого и экстремально высокого загрязнения (11 ЭВЗ и 23 ВЗ) соединениями никеля, меди, ртути, сульфатами, и снижение pH воды [5]. В 2020 г. р. Ньюдай, характеризующаяся неудовлетворительным качеством воды (в 2017-2020 гг. оцениваемая «грязной»), наиболее загрязнена соединениями никеля и меди, средние за год концентрации которых в 2020 г. увеличились, соответственно, до 54 и 84 ПДК, максимальные – до 90 и 299 ПДК, также отмечен незначительный рост содержания в воде ртути и марганца – в среднем до 5 и 6 ПДК, сульфатных ионов – до 9,5 ПДК [6].

В течение последних двух десятилетий вода ручья Варничный (г. Мурманск) характеризуется ста-

бильно как «экстремально грязная», что обусловлено высоким содержанием в воде органических веществ (по БПК₅ и ХПК), нефтепродуктов, АСПАВ, аммонийного азота, фосфора, фосфатов, а также соединений меди, железа, цинка, марганца и дефицитом растворённого кислорода [6].

Загрязнение воды малых рек Кольского полуострова, испытывающего постоянную нагрузку сточными водами промышленных комплексов и населённых пунктов, при низкой способности к самоочищению в условиях Арктики, в течение ряда десятилетий носит хронический характер, что подтверждается повторяющимися случаями ВЗ и ЭВЗ, высоким и средним уровнем содержания вредных веществ в воде, накоплением их в донных отложениях водных объектов [6].

В бассейне р. Кола отмечено превышение ПДК: во всех пробах воды – по цинку и меди, в половине проб – по азоту нитритному, марганцу и фенолам, в одной пробе – по железу общему, нефтепродуктам, никелю и ртути. Среднегодовая концентрация меди превышала ПДК в 6 раз, марганца – в 3, цинка – в 2 раза. Максимальное содержание марганца (20 ПДК), цинка (6 ПДК) и азота нитритного (3 ПДК), меди (8 ПДК) отмечалось в зимний период [7].

В бассейне р. Умба и оз. Умбозеро в августе зафиксирован экстремально высокий уровень загрязнения ручья Лопаритовый фторидом – 108 ПДК, фосфатами – более 18 ПДК [7]. Аналогичная ситуация, с предельной концентрацией загрязняющих веществ, наблюдается в бассейне Кольского залива, рек Тулома, Печенга и других. Существенно снижается качество воды, повышается количество сапрофитных бактерий, при этом происходит уменьшение видового разнообразия зоопланктона и диатомового комплекса фитопланктона.

По данным доклада Федерального агентства водных ресурсов РФ [6], в 2020 г. количественный уровень загрязняющих веществ, со сточными водами в реки Кольского полуострова, фактически не изменился (табл. 1).

Прибрежная зона Баренцева моря, с многочисленными бухтами и заливами, в наибольшей степени вовлечена в хозяйственную деятельность. По данным, проведённых в 1999 г. исследований по уровню аккумуляции нефтепродуктов, донные отложения Кольского залива классифицируются как «сильно загрязнённые» [7]. Суммарное содержание нефтяных компонентов в них находится в интервале 960-7358 мг/

Таблица 1. Динамика сброса загрязняющих веществ в составе сточных вод в Мурманской области [6] / **Table 1.** Dynamics of discharge of pollutants in wastewater in the Murmansk region [6]

Год	БПК полный, т	Нефтепродукты, т	Сухой остаток, тыс. т	Железо, т	Нитрат- анион, т	Медь, кг	Всего, тыс. т
2015	3100,97	39,7	139,07	32,56	7448,4	885,19	149,69
2016	1359,95	30,12	93,75	27,61	7382,7	490,43	102,55
2017	1303,52	17,16	102,05	29,99	6003,32	438,97	109,4
2018	1275,63	20,32	90,38	31,8	5195,52	610,18	96,9
2019	941,23	16,71	77,16	34,33	3740,18	446,33	81,89
2020	1682,83	18,5	107,84	30,8	3037,65	548,03	112,61

кг, естественный фон превышен в 50-370 раз. В устье Кольского залива донные отложения классифицируют как «среднезагрязнённые». В донных отложениях Кольского залива содержится максимум канцерогенных и мутагенных ароматических соединений. В составе аренов доминируют полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), где преобладают нафталены и антрацен, сумма которых составляет от 38 до 153 мкг/кг сухого вещества. Концентрация 3,4-бенз(а)пирена в Кольском заливе на два порядка выше, чем в целом в Баренцевом море [7].

Морские экосистемы подвергаются увеличивающемуся антропогенному воздействию химическими токсикантами, нефтепродуктами, которые аккумулируются гидробионтами по трофической цепи и приводят к гибели не только водных биологических организмов, но и морских птиц и наземных животных. Наибольшую опасность для морской биоты и человека представляют углеводороды, (особенно 3,4-бенз(а)пирен), пестициды и тяжёлые металлы (ртуть, кадмий, медь, цинк, свинец и др.).

О других факторах и антропогенном воздействии на популяции атлантических лососей, причинах многолетней депрессии популяций сёмги на европейском Севере России изложено в опубликованных материалах В.В. Воробьева [8; 9].

За прошедший 20-летний период состояние экологии на Кольском полуострове, с учётом недостаточности принимаемых мер по оздоровлению природной среды, фактологически не улучшилось. Экологическая ситуация в реках и водоёмах Кольского полуострова, в акватории Баренцева моря остаётся неустойчивой для популяций атлантических лососей и всей морской биоты.

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕНЕЗА НА ЗАБОЛЕВАНИЯ И ГИБЕЛЬ ЛОСОСЕЙ

С начала 2010-х годов в Мурманской области стали фиксировать увеличивающиеся случаи, идущих на нерест по рекам, лососей, больных папилломатозом, часть из которых погибала.

По данным Управления Россельхознадзора по Мурманской области, первые случаи массовой гибели популяций природного атлантического лосося в реках Колы и Туломы (бассейн Баренцева моря) были зарегистрированы летом 2015 года. Количество погибших нерестовых производителей сёмги, обнаруженных в р. Кола (рис. 1), в 2015 г. составило 763 экз., в 2016 г. – 153 экз., в р. Тулома (рис. 2) в 2016 г. – 78 погибших экземпляров.

В июне 2019 г. первые заболевания популяции атлантических лососей обнаружены в р. Умба (рис. 3). Из 87 экземпляров природного лосося, отсаженных в 2019 г. в садки для дальнейшего воспроизводства, 69 экз. (79,3%) признаны нежизнеспособными, которые через двое-трое суток погибали [10].

В 2020-2022 гг. количество производителей популяций атлантических лососей, поднимающихся на нерест в реки Кольского полуострова, существенно сократилось, а среди них фиксировался рост больных лососей, что, очевидно, обусловлено ухудшением экологического и санитарно-эпидемиологического состояния рек Кола, Тулома, Умба (рис. 1-3) и прибрежных морских акваторий Баренцева и Белого морей.

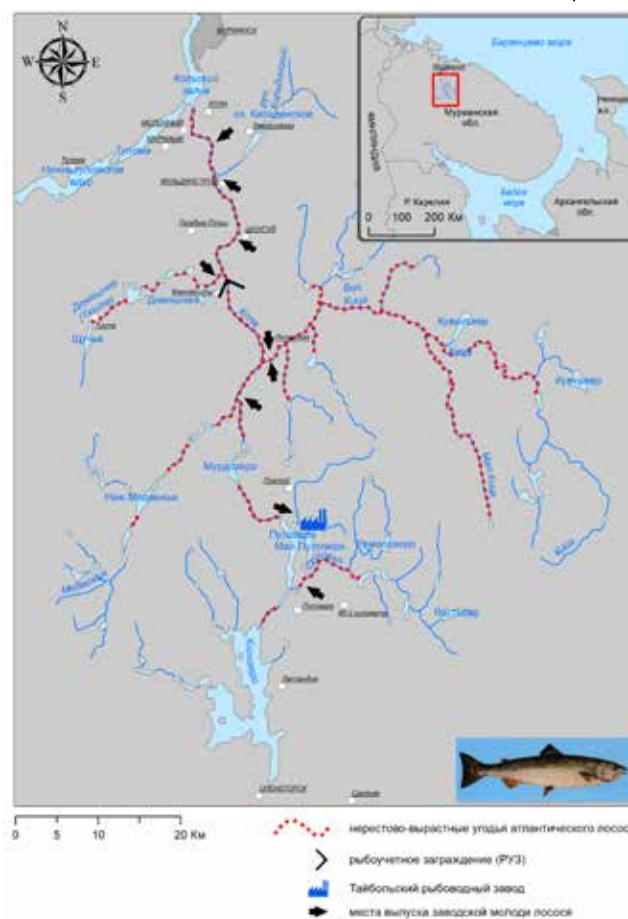


Рисунок 1. Схема бассейна реки Кола
Карта составлена по материалам А.В. Зубченко
с соавторами (2003 г.)

Figure 1. Scheme of the Kola River basin
The map is based on the materials of A.V. Zubchenko
and co-authors (2003)

На схеме бассейнов рек Кола, Тулома и Умба отмечены места нереста атлантических лососей, закладки обсеменённой икры в нерестовых гнёздах из галечника и нерестово-выростные угодья 1980-1990-х годов для воспроизводства сёмги. На сегодняшний день, по причине многофакторного антропогенного воздействия на водные экосистемы, количество нерестово-выростных угодий многократно сократилось, что повлияло на развитие многолетней депрессии популяций атлантических лососей в реках Кольского полуострова.

По статистическим данным, через Туломский рыбоход и рыбоучётные заграждения (РУЗ) на р. Кола отмечается ежегодное значительное сокращение общего количества, поднимающихся вверх по рекам на нерест, атлантических лососей, учитывается количество больных и погибших лососей. По данным наблюдений Мурманского филиала ФГБУ «Главрыбвод» в таблице 2 представлен учёт пропуска атлантических лососей на рыбоходе р. Тулома и на РУЗ р. Кола с 2015 по 2022 годы [Неофициальные данные].

С 2010 г. учреждениями Мурманской области ведётся учёт по количеству больных и погибших атлантических лососей, однако полные данные, по просьбе ФГБУ «ВНИИЗЖ», не были представлены.

В 2015-2016 годах сотрудники Комитета по ветеринарии, филиала «Главрыбвод» Мурманской области и ПИНРО выясняли причину заболеваний и гибели атлантического лосося, акцентируя внимание на эпизодах и, в частности, вирусных инфекциях. Ими были отправлены две партии образцов патологического материала «дикого» атлантического лосося из рек с высокой антропогенной нагрузкой – Кола, Тулома и Умба – в Норвежский национальный ветеринарный институт в г. Осло для проведения гистологических исследований с подозрением на язвенный некроз кожи лососей (ЯНКЛ). В официальных ответах (от 12.10.2015 г. и 04.12.2016 г.), по результатам проведённых двух исследований, специалистами ветеринарного института Норвегии указывается: «Вирус инфекционного гематопозитического некроза не обнаружен. Вирусная геморрагическая септицемия не обнаружена». Язвенный некроз кожи лосося не установлен.

Норвежские специалисты указывают на поражения кожи у атлантических лососей в различных частях тела (плавники, брюшко, филе и голова). Поражения кожи, язвы, кахексия – основные повреждения у лососей из популяций рек Кола и Тулома. Зафиксированы «нематоды вокруг органов брюшной полости, цестоды в желудочно-кишечном тракте, предполагаемые кисты метацеркарии в сердцах рыб и заражение *Salmincola sp.* в жабрах».

Представители Комитета по ветеринарии Мурманской области, несмотря на вердикт норвежских специалистов, настаивали на своём предположении о поражении «дикого» лосося ульцеративным дермальным некрозом (UDN): характерная «шапочка» на голове, концентрические язвы. На поражённых участках тела лососей обнаружены гифы плесневых грибов сапролегниоза рода *Saprolegnia*. Данное предполагаемое заболевание в мире малоизучено, этиология остаётся невыясненной, UDN не включён официально МЭБ в список инфекционных заболеваний морских животных.

По результатам гистологических исследований атлантических лососей, проведённых в 2016 г. в ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ, на основе язвенных поражений эпителиальной ткани лососей установлен диагноз – язвенный некротический дерматит (ЯНД) [6]. Язвенный некротический дерматит (ЯНД, язвенный некроз кожи, Ulcerative dermal necrosis, UDN) – это малоизученное заболевание рыб неизвестной этиологии, протекающее с образованием кожных язв. Эти язвы могут осложняться вторичными патогенами, в основном – грибами рода *Saprolegnia*, которые покрывают тело рыб «ватой» и приводят лососей к нежизнеспособности.

ЯНД впервые был описан на лососёвых, обитающих в акватории Британских островов, встречается он и в Прибалтике, и во Франции и, возможно, в других местах.

Поражение проявляется прогрессивным цитолитическим некрозом эпидермиса, который ограничивается участками головы. При заходе лосося в пресные воды, тело и голова покрываются язвами, через которые сёмга может заразиться несколькими оппортунистическими инфекциями, главной из которых является оомицет *Saprolegnia diclina*. После того как происходит поражение грибковой инфекцией, смерть рыбы может наступить либо из-за вторичной бактериальной инфекции, язва или чаще – недостаточности кровообращения, в результате индуцированной осмотической гемодилюции (повышенное содержание воды в крови), на большей площади язв на коже рыбы [10].

Несмотря на значительные усилия и масштабные исследования по установлению этиологического агента, проведённые в ходе последней крупной вспышки в реках Великобритании, точная причина ЯНД до сих пор остаётся неясной. Исследования, проведённые в 1970-х годах, показали, что ЯНД может быть вызван инфекционным агентом – вирусом. Однако это утверждение под серьёзным сомнением, поскольку ни один патоген никогда не был идентифицирован.

В настоящее время считают, что ЯНД – комплексное заболевание, возможно вызываемое несколькими причинами, из которых условия окружающей среды, как известно, оказывают наибольшее влияние на деятельность бактерий и грибов, и, следовательно, на развитие поражения кожи и внутренних органов атлантических лососей и других гидробионтов.

В 2020-2022 гг. референтной лабораторией по болезням аквакультуры совместно с центром доклинических исследований ФГБУ «ВНИИЗЖ», в рам-



Рисунок 2. Схема бассейна реки Тулома
Карта составлена по материалам А.В. Зубченко
с соавторами (2003 г.)

Figure 2. Scheme of the Tuloma River basin
The map is based on the materials of A.V. Zubchenko
and co-authors (2003)

ках государственного эпизоотологического мониторинга, проведены лабораторно-диагностические исследования проб атлантических лососей из рек Кола, Тулома, Умба (рис. 1-3) для установления причины болезни и гибели сёмги. В ходе исследований проб биологического материала лососей методами вирусовыделения на культурах клеток, ИФА и ПЦР возбудители инфекционного гемопоэтического некроза, инфекционного панкреатического некроза, вирусной геморрагической септицемии, инфекционной анемии лососёвых не выявлены [10]. Проведённые, специалистами ФГБНУ ФНЦ «ВИЭВ им. Я.Р. Коваленко», исследования возбудителей вирусных болезней у лососей не выявили.

В пробах патологического материала природных атлантических лососей были обнаружены вирусы инфекционного некроза поджелудочной железы и поксвирусной болезни жабр лосося, которые, однако, не являются причиной гибели производителей атлантического лосося, поскольку половозрелый лосось – бессимптомный носитель указанных вирусов.

На основании патологоанатомических исследований, специалисты ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ зафиксировали изменение структуры печени в образцах рыбы (*неплотная консистенция*), покраснения кишечника. Специалисты ГОБВУ «Мурманская облСББЖ» констатировали, что, из видимых и зафиксированных в 2016 г. патологий внутренних органов, наблюдаются изменения только в печени лососей. Остальные внутренние органы природных атлантических лососей были в пределах физиологической нормы для нерестового периода.

Микробиологическими исследованиями выделены условно-патогенные микроорганизмы, являющиеся вторичными и контаминирующие внутренние органы на фоне ослабленного иммунитета атлантических лососей. Констатировано, что поражения печени у лососей *умбской популяции* могут иметь токсическую причину, а белково-зернистая дистрофия печени с выраженным кариолизисом у особей *туломской популяции*, вероятно, является причиной инфекции [10].

Результаты патологических исследований ФГБУ «ВНИИЗЖ» показали поражения кожи лососей в виде обесцвеченных эрозий различной формы в области головы и тела, наличие язв размером до 2 см, воспалённое анальное отверстие, кровавистые выделения из ануса, на нижней поверхности тела и в области анального отверстия и плавников отмечены точечные кровоизлияния, кишечник воспалён [10].

Приведённый перечень инфекционных и паразитарных заболеваний у атлантических лососей из рек, с высокой антропогенной нагрузкой, Кола, Тулома и Умба, свидетельствует об очевидной и основной причине возникших многочисленных патологий – техногенном прессинге экополлютантов на пресноводные и морские экосистемы, уничтожающем популяции атлантического лосося и другие виды гидробионтов.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭКОПОЛЮТАНТОВ НА ФИЗИОЛОГИЮ ЛОСОСЕЙ

Для гидробионтов пресноводных и морских экосистем **природная экологически чистая вода** – это

здоровая жизнь, врождённый сильный иммунитет, защищающий от болезнетворных агентов, высокий уровень адаптации к изменяющимся условиям обитания, в том числе и антропогенному прессингу эколоплютантов в режиме краткого времени, стабильно устойчивая репродуктивность и выживаемость максимальной численности молодежи.

Большинство рыб дышит в воде кислородом, используя ротовую полость и жаберные крышки, вместе образующие своеобразный насос, с помощью которого создаётся постоянный ток воды сквозь жабры для саморегуляции дыхания и абсорбции газа. Рыбы чувствительны к изменениям критериев качества воды. Вода плохого качества – «умеренно грязная» и «сильно грязная», снижает иммунитет у рыб, способствует возникновению и развитию многих инфекционных и паразитарных заболеваний и их гибели.

После нагула в Баренцевом и Белом морях, атлантические лососи совершают анадромную миграцию для нереста в «свои родные» реки Кольского полуострова. Солёность воды в Баренцевом море составляет 32-35‰, Белом море – 23-30‰ [4]. Из Баренцева моря через Кольский залив (солёность воды 8,45-25,53‰) атлантические лососи поднимаются вверх по пресноводным рекам Тулома (рис. 2) и Кола (рис. 1). Из Белого моря атлантические лососи, проходя через Двинский (солёность воды 23,52‰) и Кандалакшский (среднегодовая



Рисунок 3. Схема бассейна реки Умба
Карта составлена по материалам О.Г. Кузьмина
(с соавторами 1989 г.)

Figure 3. Scheme of the Umba River basin
The map is based on the materials of O.G. Kuzmin
and co-authors of 1989.)

Таблица 2. Учёт нерестового атлантического лосося на рыбоходке р. Тулома и РУЗ на р. Кола за 2015-2022 годы (экз.) / **Table 2.** Accounting for spawning Atlantic salmon on the Tuloma River and RUZ River Kola river for 2015-2022 (ex.)

Год	Рыбход на реке Тулома				РУЗ на реке Кола			
	Всего	С различными патологиями	%, с патологиями от общего количества	Погибших	Всего	С различными патологиями	%, с патологиями от общего количества	Погибших
2015	6210	Учёт не производился	–*	–*	7652	Учёт не производился	–	763
2016	6678	122	1,82	78	2099	139	6,62	153
2017	4816	213	4,43	–	1280	79	6,18	181
2018	6372	415	6,24	–	2521	495	19,64	386
2019	3253	126	3,88	–	2238	98	4,38	154
2020	2938	273	9,30	–	1678	205	12,22	–
2021	886	83	9,37	–	497	54	10,87	–
2022	1630	76	4,67	–	679	89	13,11	–

* – данные не представлены

солёность воды 8,5‰) заливы, движутся на нерест в р. Умба (рис. 3) и другие русла рек.

При прохождении из морской солёной воды в пресноводные реки, атлантические лососи испытывают ситуационно-переходный стресс. Зайдя в пресные реки с высокой антропогенной нагрузкой – Кола, Тулома и Умба, лососи подвергаются «вторичному», более мощному антропогенному стрессу, провоцирующему многие негативные физиологические, структурные и биохимические изменения, вызывающие у них различные заболевания. Под воздействием стресса в организме лососей вырабатывается много гормонов – кортизола, адреналина, норадреналина, которые воздействуют на физиологические и структурные изменения во внутренних органах, в крови и мышечных тканях.

Повышенный уровень кортизола ослабляет активность лейкоцитов, участвующих в процессе иммунной защиты рыбы, и снижает количество лимфоцитов в крови. При затяжных хронических стрессах содержание кортизола в крови остаётся на высоком уровне в течение длительного времени, в связи с чем способность организма сопротивляться болезням значительно снижается, и рыба заболевает [11]. Продолжительные стрессы, физиологически-структурные и биохимические нарушения обусловлены высоким уровнем содержания в воде тяжёлых металлов, нефтепродуктов, нитратов и нитритов, фенолов, гербицидов и пестицидов и других экололлютантов, а также – низким содержанием растворённого кислорода в воде, низкой либо аномально высокой температурой воды, повышенной кислотностью или щёлочностью воды (pH) и другими абиотическими факторами.

Среди множества экололлютантов, оказывающих наиболее вредное воздействие на атлантических лососей и другие виды гидробионтов, на их физиологические, структурные и биофизические изменения в органах и системах, выделяют тяжёлые металлы, нефть и нефтеуглеводороды, фенолы [12; 13; 15-20].

1. Тяжёлые металлы. Поступая в водоёмы, тяжёлые металлы включаются в круговорот веществ и подвергаются различным трансформациям. Ионы

неорганических соединений металлов активно диссоциируют с буферной системой воды и переходят в слаборастворимые гидроокиси, карбонаты, сульфиды и фосфаты, а также образуют металлоорганические комплексы, адсорбируются донными осадками. В жёсткой воде токсические концентрации тяжёлых металлов в 20-30 раз выше, чем в мягкой.

Под воздействием живых микробов и бактерий, мышьяк, олово и ртуть подвергаются метилированию, превращаясь в более токсичные алкильные соединения. Кроме того, металлы способны накапливаться в различных биологических организмах и передаваться в возрастающих количествах по трофической цепи. Особенно опасны ртуть, цинк, свинец, кадмий, мышьяк, поскольку, поступая с пищей в организм человека и высших животных, металлы и их комплексные соединения вызывают латентные, хронические и острые отравления, вплоть до летального исхода. Коэффициент материальной кумуляции тяжёлых металлов в биологических живых организмах колеблется от сотен до нескольких тысяч.

Большая часть неорганических соединений металлов поступает в организм рыб с пищей. Металлоорганические соединения и растворимые диссоциирующие соли проникают во внутренние органы и мышечную ткань рыбы через жабры и кожу. Антропогенные источники многократно (в 2-13 раз) повышают концентрацию тяжёлых металлов в воде, что отчётливо коррелируется с содержанием металлов в мышечной ткани, липидах и органах рыб.

Токсическое действие большинства тяжёлых металлов на рыб обусловлено их ионами. Концентрированные растворы ионов солей токсичных металлов, обладая вяжуще-прижигающим действием, нарушают функции органов дыхания. В малых концентрациях ионы металлов, проникая с водой в организм атлантических лососей, нарушают проницаемость биологических мембран, снижают содержание растворимых протеинов, взаимодействуют с сульфидильными и аминогруппами белков, вызывают ингибирование ферментативной системы рыб, дестабилизируя метаболические процессы, что приводит ко многим необратимым болезням.

Содержащиеся гидроокиси железа и марганца в воде, осаждаясь коричневатым налётом на жабрах атлантических лососей и оплодотворённой икре, находящейся в нерестовых гнёздах с бутром из галечника поверх кладок икры, нарушают газообмен, что приводит к асфиксии. Развитие эмбрионов в лососёвых икринках блокируется, и происходит гибель всей кладки икры в нерестовом гнезде.

С повышенным загрязнением морской воды соединениями титана, железа, кадмия, хрома и других металлов связывают поражение рыб (трески, ершоватки и др.) опухолями (эпидермальная папиллома, псевдоопухоль жабр, карцинома печени) и язвенной болезнью, а также – деформацию скелета и воспаление плавников [12].

В клинической симптоматике острых отравлений рыб солями тяжёлых металлов преобладают нервнопаралитический синдром и нарушение дыхания, которые обусловлены дистрофическими и некробиотическими изменениями в жабрах и коже. **Острые** токсикозы рыб проявляются вначале резким возбуждением, учащением дыхания, нарушением координации движений: потерей равновесия, спазмом мышц, толчкообразным плаванием рыб, судорожными сокращениями плавников, после чего наступает стадия угнетения – дыхание замедляется и рыбы погибают от удушья. При этом кожа и жабры рыб покрываются серовато-белым налётом коагулированной слизи [13].

При **хроническом** отравлении симптомы выражены слабо. На первое место выступают деструктивные изменения жаберного аппарата и паренхиматозных органов, анемия и истощение рыб. Для отравления солями свинца характерен гемолиз крови. Сульфат хрома, бихромат калия снижают pH воды и оказывают действие на организм рыб, подобное кислотам.

2. Нефть и нефтепродукты. Сырая нефть и нефтепродукты (бензин, керосин, дизельное топливо, смазочные материалы и т.п.) – широко распространённые загрязнители пресноводных водоёмов и рек, в наибольшей степени прибрежных и шель-

фовых морских акваторий и океанов. В состав нефтепродуктов входят углеводороды, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и другие циклические соединения, нефтяные кислоты, деэмульгаторы и другие токсичные вещества переработки нефти.

Среди всех ПАУ особым вниманием исследователей пользуется бенз(а)пирен. Его доля в составе ПАУ невелика и обычно не превышает 1-10% от общего количества всех ПАУ, а концентрация в сырой нефти очень мала (около 10 мкг/г или 10 мг/л) [14]. Вместе с тем, высокая устойчивость бенз(а)пирена в природных условиях, способность накапливаться в морских организмах, повышенная миграционная активность, а также выраженные мутагенные и канцерогенные свойства дают основания считать бенз(а)пирен индикаторным соединением для всей группы ПАУ [15].

Нефть и нефтепродукты разнонаправленно действуют на водную среду и фауну [15]:

- поверхностная масляная плёнка нефти на водной поверхности задерживает диффузию газов из атмосферы в воду и нарушает газовый обмен в водоёме, создавая дефицит кислорода;
- маслянистые вещества, находящиеся в воде, покрывая поверхность жабр тонкой плёнкой, приводят к асфиксии рыб и гидробионтов и их гибели;
- водорастворимые соединения нефтепродуктов проникают в организм рыб и вызывают отравления;
- донные отложения нефти подрывают кормовую базу водоёмов и морских акваторий, поглощают кислород из воды;
- при концентрации нефти в воде 0,1 мг/л, мясо рыб, моллюсков, иглокожих, беспозвоночных и других гидробионтов приобретает неустраняемый нефтяной запах и привкус.

В водной среде, загрязнённой нефтепродуктами, нарастает антропогенный прессинг на гидробионты, угнетаются механизмы адаптации к изменяющимся условиям обитания, особенно у молоди рыб. Результаты экспериментальных исследований по

Таблица 3. Острая токсичность различных сырых нефтепродуктов для рыб /

Table 3. Acute toxicity of various crude oil products for fish

Тест-объект	Сорт и фракция нефти	Условия экспериментов	ЛК ₅₀ , мкг/л ± m	Литературный источник
Камбала (<i>Platichthys stellatus</i>)	ВРФ Аляскинской нефти из залива Кука	96 ч проточные	1800 ± 200 ОАУ	Moles, 1998 [16]
Горбуша (<i>Oncorhynchus gorbuscha</i>)	ВРФ Аляскинской нефти из залива Кука	96 ч проточные	1200 ± 200 ОАУ	Moles, 1998 [16]
Горбуша, молодь (<i>Oncorhynchus gorbuscha</i>)	ВРФ Аляскинской нефти с северного материкового склона	96 ч проточные	1000 (1992 г.) 2200 (1990 г.) 2800 (1991 г.)	Birtwell et al., 1999 [17]
Атлантический лосось (сёмга) (<i>Salmo salar</i>)	ВАФ нефти приразломного месторождения	96 ч непроточные	80 ОНУ	Борисов и др., 2001 [18]
Личинки (<i>Melanotaenia fluviatilis</i>)	ВАФ нефти	96 ч, замена 50 % растворов каждые 24 ч	1280 ± 1000-1600 ОНУ	Pollino, Holdway, 2002 [19]

Примечание: ВАФ – водоаккомодированная фракция, ВРФ – водорастворимая фракция, ОНУ – общие нефтеуглеводороды, ОАУ – общие ароматические углеводороды, ЛК₅₀ – летальная концентрация, m – средняя ошибка.

изучению токсичности сырой нефти и нефтепродуктов, углеводородов, ПАУ, выполненные на молоди рыб, представлены в таблице 3.

Токсикорезистентность у молоди атлантического лосося, по сравнению с другими объектами исследований, в 13-35 раз ниже (табл. 3), что в значительной степени влияет на проблемность выживаемости сёмги в условиях антропогенного многокомпонентного прессинга экополлютантов в морской и пресной воде.

В острых опытах с молодью рыб дальневосточных морей России показано, что концентрация водорастворимой фракции (ВРФ) и дизельного топлива 300 мкг/л и 700 мкг/л вызывают гибель 50% подопытных особей морской малоротой корюшки и пиленгаса [20].

Brand D. G. et al. (2001) установили, что у молоди горбуши Северного склона Аляски, после 10-дневного воздействия одной из двух сублетальных концентраций (25-54 мкг/л или 178-348 мкг/л) водорастворимых фракций сырой нефти, появились морфологические и, вызванные стрессом, повреждения в тканях печени, почек и жабр [21]. Анализ печени мальков, подвергнутых воздействию ВРФ, выявил различные гепатоцеллюлярные изменения, включая стеатоз, ядерный плеоморфизм, мегалоцитоз и некроз. Выявлена произошедшая пролиферация эпителия желчных протоков. Увеличение диаметра ядра межпозвоночных клеток головной почки, биомаркера стрессовых реакций, коррелировало с воздействием углеводородов. Исследование показало, что сублетальное воздействие водорастворимой фракции сырой нефти приводит к множественным микроскопическим повреждениям во внутренних органах молоди горбуши, которые согласуются с выраженной реакцией на стресс окружающей среды.

Острое отравление у большинства видов рыб наступает при концентрации эмульгированных нефтепродуктов от 16 до 97 мг/л. При содержании в воде нафтеновых кислот гибель рыб наступает при концентрациях 0,03–0,1 мг/л. Спирты, эфиры и галогениды малотоксичны для рыб, однако обладают ярко выраженным наркотическим действием.

Нефтепродукты крайне медленно подвергаются биотрансформации, и продолжительное время сохраняются в пресноводных водоёмах и морских акваториях, особенно в северных регионах планеты. При длительном воздействии нефтепродукты накапливаются до токсического уровня в жировой и мышечной ткани, внутренних органах рыб и передаются по трофической цепи. Потребление в пищу рыбных продуктов, содержащих нефтепродукты, и особенно 3,4-бенз(а)пирен, опасны для здоровья и жизни человека [22].

При **остром** отравлении нефтепродуктами у рыбы и водных биологических объектов преобладают признаки расстройства функциональной нервной системы и нарушения дыхания, вызванного обволакивающим и раздражающим действием нефтяных токсических веществ на жабры. На ранних стадиях интоксикации рыбы очень подвижны,

стремятся выпрыгнуть из воды, затем перевёртываются на бок, теряют равновесие, совершают круговые движения, при этом дыхание учащается в 1,5-2 раза. После физиологических нарушений наступает фаза угнетения, рыбы впадают в наркотическое состояние и погибают от паралича центра дыхания [12].

После гибели от нефтепродуктов тела рыб невзрачно-тускловатые, с очагами пятнистой гиперемии кожи, зачастую с образованием язв и повреждением роговицы. В жабрах фиксируют отёк лепестков, застойную гиперемию, дистрофию, некроз и слущивание респираторного эпителия. Во внутренних органах рыб отмечают застойную гиперемию и зернисто-вакуольную дистрофию клеток паренхимы.

При **хроническом и подостром** отравлении в жабрах у рыб преобладают набухание и гиперплазия эпителия. В паренхиматозных органах некротические изменения сочетаются с пролиферативной реакцией. Во всех случаях органы погибших рыб и гидробионтов имеют неустрашимый нефтяной запах и привкус, употребление их в пищу опасно для здоровья и жизни.

3. Фенолы. Фенолы и их производные, поступающие со сточными водами в реки, водоёмы и морские акватории, – наиболее распространённая группа органических токсикантов, образующихся на коксохимических, сланцеперерабатывающих предприятиях, газогенераторных станциях, при производстве пластмасс, красителей, синтетических тканей, бумаги и т.д. Фенолы широко используются для синтеза различных ароматических соединений, дезинфекции, пропитки древесины, изготовления пестицидов (пентахлорфенол, пентохлорфенолят натрия, динитрокрезол и др.).

В зависимости от физико-химических свойств и структуры молекул, вещества фенольного ряда значительно различаются по степени токсичности для рыб и гидробионтов. По степени усиления токсичности они располагаются в порядке: пиррогалол, резорцин, фенол, крезолы, ксиленолы, нитрофенолы, нафтолы, гидрохинон, хлорфенолы [12].

Остролетальные концентрации фенола для карповых рыб (плотвы, карпа, линя, уклей, язей) варьируются в 10-25 мг/л, для форели – 5-10 мг/л, кижуча – 3,2-5,6 мг/л. Токсичность крезола проявляется в этих же концентрациях. Ксиленолы (диметилфенолы) вызывают острые отравления карповых рыб при концентрациях 9-29 мг/л, форели – 2-7 мг/л. Из производных фенолов, содержащих гидроксильные группы, наиболее токсичен гидрохинон. Для семейства окунёвых и карповых рыб гидрохинон и парахинон токсичны при концентрациях 0,2-1,0 мг/л [12].

При введении в фенольную молекулу атомов серы или галогенов токсичность увеличивается многократно. Тиофенолы (фенилмеркаптан и толлилмеркаптан) вызывают гибель рыб при концентрациях 0,54-1,5 мг/л. Токсичность хлорфенолов повышается с увеличением числа атомов хлора. Средне смертельные концентрации для разных видов рыбы: моноклорфенол – 20 мг/л, дихлорфенол – 5 мг/л, трихлорфенол – 0,35-0,77 мг-л, тетра-

и пентахлорфенол – 0,06-0,5 мг/л, пентахлорфенолят натрия – 0,4 мг/л [12].

Хронические отравления рыб происходят при существенно меньших концентрациях. Длительное воздействия фенола в концентрациях 0,02-0,1 мг/л приводит к поражению жабр, печени и кишечника. В смеси фенола и крезоло хроническое отравления форели и голавля происходит в концентрациях 1-3 мг/л.

Фенолы накапливаются в рыбе и гидробионтах и передаются по трофической цепи. В наибольшем количестве фенолы обнаруживаются в печени рыбы, в меньшем количестве (по убыванию) – в жабрах, почках, селезёнке, мышечной ткани и кишечнике. При остром отравлении карпов и форели (10 мг/л), содержание фенолов составляло в печени 19 мг/кг, в жабрах – 17,7 мг/кг, во внутренних органах – 7,9 мг/кг; при хроническом отравлении (0,02-0,07 мг/л) – 2-3 мг/кг.

Рыба, ракообразные и гидробионты приобретают фенольный запах и вкус при содержании в воде смеси фенола и крезолов 0,02- 0,03 мг/л, хлорфенолов – 0,015-0,001 мг/л.

Токсические вещества фенольного ряда относятся к нервнопаралитическим ядам, вызывающим резкие нарушения функций центральной нервной системы у рыб. В фенольной интоксикации выделяют три последовательные фазы: резкая двигательная возбудимость с кратковременным заваливанием на бок; потеря рефлекса равновесия, опрокидывание на бок, импульсивное плавание в боковом положении; судороги, адинамия и расстройство дыхания. У мирных рыб (карась, плотва, карп, лещ) каждая из этих фаз длится дольше, чем у хищных (щука, окунь, форель). Фенолы и производные вызывают гипохромную и апластическую анемию [12].

При высоких концентрациях фенолов тело погибших рыб обильно покрыто слизью, на брюшке – пятнистые кровоизлияния, кровь густая, плохо свёртывается. В микроскопической картине преобладают дегенеративно-некротические изменения в печени, гемопоэтической ткани почек и селезёнке, сердечной мышцы, а также отложение жёлтого пигмента в миокарде, в почках и селезёнке. В жабрах рыб отмечают отёк ткани и набухание респираторного эпителия, в коже – дистрофию эпидермиса.

Загрязняющие пресные и морские водные экосистемы, токсичные вещества – тяжёлые металлы, нефтепродукты, фенолы и экопеллютанты, существенно влияют на изменение структурно-физиологических и биофизических функций, морфологию внутренних органов, мышечной ткани и кожи, вызывают множественные микроскопические повреждения, оказывают сублетальное воздействие на популяции атлантических лососей и другие виды гидробионтов, которые согласуются с выраженной реакцией на стресс окружающей среды, претерпевающей увеличивающийся антропогенный прессинг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Загрязнение нерестовых рек Кольского полуострова, испытывающего постоянную нагрузку сточными водами промышленных комплексов и

населённых пунктов при низкой способности к самоочищению в условиях Арктики в течение ряда десятилетий, носит хронический характер, подтверждающийся повторяющимися случаями высокого загрязнения и экстремально высокого загрязнения вредными экопеллютантами водных систем, накоплением их в донных отложениях.

Прибрежные и морские экосистемы подвергаются увеличивающемуся антропогенному воздействию тяжёлых металлов, нефтеуглеводородов, фенолов и токсичных пеллютантов, которые аккумулируются в организме атлантических лососей и гидробионтов по трофической цепи и приводят к возникновению заболеваний и, зачастую, к их гибели. Поражённые опасным «коктейлем» экопеллютантов, популяции атлантических лососей не способны к воспроизводству здорового потомства, поскольку в гонадах – икре и молоках, происходят необратимые генетические мутации.

За последние годы количество производителей атлантических лососей, поднимающихся на нерест в реки Кольского полуострова, существенно сократилось, среди них фиксировался рост больных лососей, часть из которых погибала. Это вызвано ухудшением экологического и санитарно-эпидемиологического состояния многих нерестовых рек и прибрежных морских акваторий Баренцева и Белого морей.

Возникающие инфекционные и паразитарные заболевания у популяций атлантических лососей из рек, с высокой антропогенной нагрузкой, Кола, Тулома и Умба, свидетельствует об очевидной и основной причине возникших многочисленных патологий – техногенном прессинге экопеллютантов, оказывающем сублетальное воздействие на популяции атлантических лососей и другие виды гидробионтов, которые согласуются с выраженной реакцией на стресс окружающей среды.

В ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных» разработана программа по комплексному исследованию установления причины массового заболевания и гибели популяций атлантических лососей, разработке мер по восстановлению генетически-здоровых природных популяций сёмги в Арктическом регионе России.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад в работу авторов: В.В. Воробьев – идея статьи, сбор и анализ данных, подготовка статьи, окончательная проверка; И.А. Чвала – подготовка обзора литературы, корректировка статьи; Ф.И. Коренной – поиск схем рек, оформление схем рек в цвете.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Contribution to the work of the authors: V.V. Vorobyov – the idea of the article, data collection and analysis, preparation of the article, final verification; I.A. Chvala – preparation of the literature review, correction of the article; F.I. Korennoy – search for river schemes, design of river schemes in color.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Торцев А.М. Биологические основы управления запасами атлантического лосося (*Salmo salar* Linnaeus, 1758) в бассейне реки Северная Двина и совершенствование регулирования его промысла: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Архангельск, 2021. 151 с.

2. Мартынов В.Г., Бартель Р., Билак А.Т., Веселов А.Е. [и др.] Атлантический лосось (*Salmo salar* L.) на Севере России. Екатеринбург: УрО РАН. 2007. 414 с.
3. Бартель Р. Атлантический лосось. СПб.: Наука. 1998. 575 с.
4. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году». М.: НИА-Природа. 2019. 290 с.
5. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году». М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова. 2020. 1000 с.
6. Доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2020 году». М.: Росводресурсы, НИА-Природа. 2022. 510 с.
7. Состояние природной среды и проблемы экологии на Кольском полуострове. Часть 1. Доклад Государственного комитета по охране окружающей среды Мурманской области в 1999 году. //www.metal-profi.ru/library/sostojnie_prirodnoi_2/htm. (Дата обращения 17.08.2022 г.).
8. Воробьев В.В. Антропогенное воздействие на популяции атлантического лосося (*Salmo salar* L.) в Арктическом бассейне Российской Федерации // Рыбное хозяйство. 2022. № 5. С. 34-46. DOI: 10.37663/0131-6184-2022-5-34-46.
9. Воробьев В.В. Проблемы восстановления популяций атлантического лосося на европейском Севере России // Аграрная Россия. 2022. № 10. С. 26-31. DOI: 10.30906/1999-5636-2022-10-26-31.
10. Аналитический отчет по факту заболевания и гибели идущего на нерест дикого атлантического лосося (сёмги) в некоторых реках Мурманской области. – Владимир: ВНИИЗЖ, 2020. 36 с.
11. Рахконен Р., Веннерстрем П., Ринтамяки П., Каннел Р. Здоровая рыба. Профилактика, диагностика и лечение болезней. Helsinki: Nykypaino, 2013. 177 с.
12. Васильков Г.В., Грищенко Л.И., Канаев А. [и др.]. Болезни рыб: СПРАВОЧНИК. М.: Агропромиздат, 1989. 288 с.
13. Эндрюс К., Экселл Э., Кэррингтон Н. Болезни рыб. Профилактика и лечение / Пер. с англ. С.А. Смирнова М.: Аквариум-Принт, 2007. 206 с.
14. Yender R., Michel J., Lord C. Managing seafood safety after an oil spill. Seattle: Hazardous Materials response division, office of response and restoration, national oceanic and atmospheric administration, 2002. 72 p.
15. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа: в 2-х т. 2-е изд. переработанное и дополненное. – т. 1: Морской нефтегазовый комплекс: состояние, перспективы, факторы воздействия. М.: Изд-во ВНИРО, 2017. 326 с.
16. Moles A. Sensitivity often-aquatic species to long-term crude oil exposure. Bull. Environ. Toxicol. 1998. Vol. 61. Pp. 102-107.
17. Birtwell I.K., Fink R., Brand D., Alexander R., McAllister C.D. Survival of pink salmon fry (*Oncorhynchus gorbuscha*) to adulthood after 10 days of exposure to aromatic hydrocarbon water-soluble fraction of crude oil and release into the Pacific Ocean. // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1999. V. 56. Pp. 2087-2098.
18. Борисов В.М., Осетрова Н.В., Пономаренко В.П. [и др.]. Влияние разработки морских месторождений нефти и газа на биоресурсы Баренцева моря. Методические рекомендации по оценке ущерба рыбному хозяйству. М.: Экономика и информатика. 2001. 272 с.
19. Pollino C.A., Holdway D.A. Toxicity Testing of Crude Oil and Related Compounds Using Early Life Stages of the Crimson-Spotted Rainbow fish (*Melanotaenia fluviatilis*) // Ecotoxicol. Environ. Saf. 2002. Vol. 52. N 3. P. 180-189.
20. Лукьяненко В.Н., Черкашин С.А., Кандинский П.А. Поведение молоди рыб и мизид в растворах токсикантов органического происхождения // Гидробиологический журнал. 1987. Т. 23. № 4. С. 64-69.
21. Brand D. G., Fink R., Bengueyfield W., Birtwell I.K., McAllister C.D. Pink salmon fry acclimatized in salt water (*Oncorhynchus gorbuscha*) develop stress-related visceral lesions after 10 days of exposure to sublethal concentrations of the water-soluble fraction of crude oil of the Northern Slope. Toxicological pathology. 2001. September-October. V. 29 (5). P. 574-584.
22. Патин С.А. Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана. М.: Пищевая промышленность. 1979. 304 с.
- basin and improvement of its fishery regulation: abstract of the dissertation of the Candidate. biol. sciences. Arkhangelsk. 151 p. (In Russ.)
2. Martynov, V.G. (2007). Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the North of Russia. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences 414 p. (In Russ.)
3. Bartel, R. (1998). Atlantic salmon. St. Petersburg: Nauka. 575 p. (In Russ.)
4. State report "On the state and use of water resources of the Russian Federation in 2018". M.: NIA-Nature. 2019. 290 p. (In Russ.)
5. State report "On the state and environmental protection of the Russian Federation in 2019". Moscow: Ministry of Natural Resources of Russia; Lomonosov Moscow State University. 2020. 1000 p. (In Russ.)
6. Report "On the state and use of water resources of the Russian Federation in 2020". Moscow: Rosvodresursy, NIA-Nature, 2022. 510 p. (In Russ.)
7. The state of the natural environment and environmental problems on the Kola Peninsula. Part 1. Report of the State Committee for Environmental Protection of the Murmansk Region in 1999. // www.metal-profi.ru/library/sostojnie_prirodnoi_2/htm. (Accessed 17.08.2022). (In Russ.)
8. Vorobyov, V.V. (2022). Anthropogenic impact on Atlantic salmon populations (*Salmo salar* L.) in the Arctic basin of the Russian Federation / V.V. Vorobyov // Ribnoye hozyaystvo = Fisheries. Vol.5. Pp. 34-46. DOI: 10.37663/0131-6184-2022-5-34-46. (In Russ., abstract in Eng.)
9. Vorobyov, V.V. (2022). Problems of restoration of Atlantic salmon populations in the European North of Russia / V.V. Vorobyov // Agrarnaya Rossiya. Agrarian Russia. Vol. 10. Pp. 26-31. DOI: 10.30906/1999-5636-2022-10-26-31. (In Russ., abstract in Eng.)
10. Analytical report on the fact of disease and death of wild Atlantic salmon (salmon) going to spawn in some rivers of the Murmansk region. Vladimir: VNIIZH/ 2020. 36 p. (In Russ.)
11. Rakhkonen, R., Wennerstrom, P., Rintamaki, P., Kannel, R. (2013). Healthy fish. Prevention, diagnosis and treatment of diseases. Helsinki: Nykypaino, 177 p.
12. Vasilkov, G.V. Grishchenko, L.I., Kanaev, A. [et al.] Diseases of fish: HANDBOOK. M.: Agropromizdat. 1989. 288 p. (In Russ.)
13. Andrews, K. Diseases of fish. (2007). Prevention and treatment / Translated from the English by S.A. Smirnova / K. Andrews, E. Excel, N. Carrington – M.: Aquarium-Print, – 206 p. (In Russ.)
14. Yender, R. Michel, J., Lord, C. 2002. Managing seafood safety after an oil spill. Seattle: Hazardous Materials response division, office of response and restoration, national oceanic and atmospheric administration 72 p.
15. Patin, S.A. (2017). Oil and ecology of the continental shelf: in 2 volumes. / 2nd ed. revised and supplemented. vol. 1: Offshore oil and gas complex: state, prospects, impact factors. M.: Publishing House of VNIRO. 326 p. (In Russ.)
16. Moles, A. (1998). Sensitivity often-aquatic species to long-term crude oil exposure. Bull. Environ. Toxicol. Vol. 61. – Pp. 102-107.
17. Birtwell, I.K., Fink, R., Brand, D., Alexander, R., McAllister, C.D. (1999). Survival of pink salmon fry (*Oncorhynchus gorbuscha*) to adulthood after 10 days of exposure to aromatic hydrocarbon water-soluble fraction of crude oil and release into the Pacific Ocean. // Can. J. Fish. Aquat. Sci. Vol. 56. Pp. 2087-2098.
18. Borisov, V.M., Osetrova, N.V., Ponomarenko, V.P. [et al.]. (2001). The impact of the development of offshore oil and gas fields on the biological resources of the Barents Sea. Methodological recommendations for assessing damage to fisheries. M.: Economics and Informatics, 272 p. (In Russ.)
19. Pollino, C.A. Holdway, D.A. (2002). Toxicity Testing of Crude Oil and Related Compounds Using Early Life Stages of the Crimson-Spotted Rainbow fish (*Melanotaenia fluviatilis*) // Ecotoxicol. Environ. Saf. Vol. 52. No. 3. Pp. 180-189.
20. Lukyanenko, V.N., Cherkashin, S.A., Kandinsky, P.A. (1987). Behavior of juvenile fish and mysids in solutions of toxicants of organic origin// Hydrobiological Journal. Vol. 23, No. 4. Pp. 64-69. (In Russ.)
21. Brand, D. G. Fink, R., Bengueyfield, W., Birtwell, I.K., McAllister, C.D. (2001). Pink salmon fry acclimatized in salt water (*Oncorhynchus gorbuscha*) develop stress-related visceral lesions after 10 days of exposure to sublethal concentrations of the water-soluble fraction of crude oil of the Northern Slope. // Toxicological pathology. September-October. V. 29 (5). Pp. 574-584.
22. Patin, S.A. Influence of pollution on biological resources and productivity of the World Ocean. M.: Food industry, 1979. 304 p. (In Russ.)

REFERENCES AND SOURCES

1. Tortsev, A.M. (2021). Biological bases of Atlantic salmon stock management (*Salmo salar* Linnaeus, 1758) in the Northern Dvina River

Материал поступил в редакцию / Received 17.04.2023
После рецензирования / Revised 21.04.2023
Принят к публикации / Accepted 21.05.2023