

РОМАНОВ АЛЕКСЕЙ ЮРЬЕВИЧ

**ЭКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
СОСТОЯНИЯ ИХТИОФАУНЫ ЮЖНЫХ РАЙОНОВ
ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА**

4.2.2. Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и
биобезопасность

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата ветеринарных наук

Санкт-Петербург – 2025

Работа выполнена в лаборатории рыбохозяйственной экологии Санкт-Петербургского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга))

Научный руководитель - Аршаница Николай Михайлович,
кандидат биологических наук, доцент

**Официальные
оппоненты:** **Гарлов Павел Евгеньевич,**
доктор биологических наук, старший научный
сотрудник кафедры водных биоресурсов и
аквакультуры ФГБОУ ВО «Санкт-
Петербургский государственный аграрный
университет», профессор;

Михайлов Евгений Владимирович,
кандидат ветеринарных наук, отдел
экспериментальной фармакологии и
моделирования живых систем, лаборатория
инновационных препаратов рекомбинантной
протеомики ФГБНУ «Всероссийский научно-
исследовательский ветеринарный институт
патологии, фармакологии и терапии»,
заведующий.

Ведущая организация – Институт проблем промышленной экологии Севера -
обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский
научный центр Российской академии наук»

Защита состоится 26 сентября 2025 г. в 10.00, на заседании
диссертационного совета 35.2.034.03 на базе Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-
Петербургский государственный университет ветеринарной медицины» по
адресу: 196084, Санкт-Петербург, ул. Черниговская д. 5, тел. 8(812) 388-36-31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО
СПбГУВМ по адресу: 196084, Санкт-Петербург, ул. Черниговская д. 5, и на
официальном сайте <http://spbguvm.ru>

Автореферат разослан « »_____2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Сафронов
Сергей Леонидович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Интенсивное развитие промышленности, сельского хозяйства, быстрый рост численности населения, бесконтрольное потребление природных ресурсов, успехи прикладной химии, уничтожение живых организмов и сред их обитания обусловили развитие глобального экологического кризиса (Кудерский, Л. А., 2013). Учитывая усиливающееся антропогенное воздействие на водоемы, в частности токсическое (Карпенко, Л. Ю., 2018; Семенов, В. Г., 2021, Михайлов Е. В. и соавт., 2024), экосистемы пресных водоемов оказались наиболее уязвимыми элементами биосферы. Разнообразие загрязняющих веществ, поступающих в водные объекты, чрезвычайно велико, и они постоянно пополняются вновь синтезированными. Кроме точечных и рассеянных источников поступления поллютантов значительную роль в загрязнении водных объектов играет аэрогенный путь их поступления.

Одна из основных проблем рыбного хозяйства – оценка качества вод и воздействия токсикологического фактора на ихтиоценозы рыбохозяйственных водоемов (Аршаница, Н. М., 2011). Экологическое состояние водоемов Северо-Западного региона России является одной из важных проблем как отдельных предприятий аквакультуры так и продовольственной безопасности страны в целом. Актуальность исследования обусловлена важностью Ладожского озера, как источника питьевой воды и водоема высшей рыбохозяйственной категории, уязвимостью южных акваторий (Шлиссельбургской, Волховской, Свирской губ) к токсическому воздействию, под действием которого происходит снижение запасов и уловов промысловых видов рыб.

Наши исследования сосредоточились на рыбах, исходя из того, что в настоящее время они являются, по данным российских и зарубежных ученых - основными индикаторными организмами при оценке уровня загрязнения водоемов и качества водной среды (Лукияненко, В. И., 1983, 1987; Кудерский, Л. А., 1987; Аршаница, Н. М., 1990; Федорова, Г. В., 1998; Попов, П. А., 2002; Моисеенко, Т. И., 2009; Семенов, В. В., 2014; Attrill, M. J., Depledge, M. H., 1997; Whitfield, A. K., 2002; Katkova-Zhukotskaya, O., 2023), при этом в странах ЕС и США происходит переход от гидрохимических методов контроля качества вод к определению биологических параметров, где биоиндикацию относят к наиболее перспективным показателям качества вод (Шитиков, В. К., 2005, Румянцев, В. А., 2021).

В работе дана современная эколого-токсикологическая оценка южных районов Ладоги и обоснована их уязвимость к токсическому воздействию. Исследования проведены как в рамках Государственного мониторинга водных биологических ресурсов, так и в соответствии с Указом Президента РФ от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года, обеспечивающих решение задач по сохранению уникальных водных объектов, включая Ладожское озеро и Онежское озеро, и установление дополнительных государственных мер,

предусматривающих особый природоохранный статус данных объектов», а также согласно Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации 2020 г. (глава V). Одной из задач в реализации стратегических целей по обеспечению продовольственной безопасности Российской Федерации является расширение и более интенсивное использование потенциала объектов товарной аквакультуры и новых технологий их выращивания. Снижение уловов рыб может влиять на продовольственную безопасность, так как рыбохозяйственный комплекс играет важную роль в поставках продовольствия на внутренний рынок.

Степень разработанности темы. Гидробиологические и гидрохимические исследования литоральной зоны южной части Ладожского озера начались с 60-х годов XX века Институтом озероведения РАН, но не включали исследования рыб. По результатам гидробиологических исследований показана особая значимость литоральной зоны – особенно её южных акваторий, в оценке экологического состояния Ладожского озера (Е. А. Курашов и др., 2011).

В конце XX века, комплексные исследования лаборатории экологической токсикологии ГосНИОРХ в системе водоёмов: озеро Ильмень - река Волхов - озеро Ладожское - река Нева - Невская губа Финского залива впервые выявили массовое поражение рыб токсикозом и нарушение их естественного воспроизводства (Федорова, Г. В., Аршаница, Н. М., 1988). Далее исследования проводились фрагментарно на акваториях Волховской губы, с целью оценки ее состояния (Стекольников, А. А., Гребцов, М. Р., 2014). Однако возникла практическая необходимость исследовать всю литоральную зону южной акватории - как особо ценную в рыбохозяйственном отношении, с целью проведения оценки уровня ее загрязнения, состояния рыб, эффективности их воспроизводства, а также выявления актуальных источников их загрязнения, обоснования причины перестройки ихтиофауны в озере.

Цель и задачи исследования: Оценить современное эколого-токсикологическое состояние южной части Ладожского озера, качество и безопасность поступающей рыбной продукции, а также дать научное обоснование влиянию тяжелых металлов на здоровье рыб в различные этапы онтогенеза.

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

1. Определить влияние тяжелых металлов на экологию южной части Ладожского озера (в пробах воды, донных отложений, атмосферных осадков и рыб);
2. Исследовать токсичность воды, донных отложений и атмосферных осадков методом биотестирования;
3. Провести патоморфологические исследования рыб южной части Ладожского озера в различные этапы онтогенеза и установить взаимосвязь с уровнем загрязнения акваторий (Шлиссельбургской, Волховской, Свирской губ);

4. Оценить качество и безопасность поступающей рыбной продукции из южной части Ладожского озера на основании исследования металлов в органах и тканях рыб.

Научная новизна. Впервые проведено комплексное исследование на акваториях литоральных зон южной части Ладожского озера, с использованием биологических методов контроля качества вод. Впервые туводные рыбы использовались в качестве индикаторных организмов для эколого-токсикологической оценки важных рыбохозяйственных мелководных районов Ладожского озера (Шлиссельбургская губа, Волховская губа, Свирская губа), с проведением патоморфологических и гистологических исследований. На этих же участках акватории исследовано влияние антропогенного загрязнения на естественное воспроизводство рыб. В соответствии с требованиями ветеринарно-санитарной экспертизы определены показатели качества, дана оценка безопасности рыбной продукции, поступающей из южных районов Ладожского озера. Впервые предложены и апробированы методические рекомендации по рациональному использованию водных биологических ресурсов и повышению рыбохозяйственного потенциала акваторий южной части Ладожского озера.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты проведенной работы важны для оценки качества вод с рыбохозяйственных позиций. Учитывая патологические изменения в органах и тканях рыб, а также процесс развития интоксикации, исходя из гидрологических особенностей литоральных зон озера, полученные данные могут быть актуальны при мероприятиях по воспроизводству рыб. Показана связь между выраженностью патологических изменений у рыб, на уровне особи, с пролонгацией на популяцию и на ихтиоценоз в целом. Данные внедрены в учебный процесс кафедры аквакультуры и болезней рыб в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины» и в Калининградском государственном техническом университете («СПбМРК» (филиал) ФГБОУ ВО «КГТУ») для обучающихся отделения береговых специальностей по направлению подготовки 35.02.09 «Ихтиология и рыбоводство», 35.02.09 «Водные биоресурсы и аквакультура».

Практическая значимость полученных результатов даёт возможность сформулировать мероприятия по снижению антропогенной нагрузки не только на литоральную зону южной части озера, но и на водоём в целом, а также сформировать конкретные мероприятия по повышению рыбохозяйственного потенциала озера и прежде всего по наиболее ценным видам рыб.

Методология и методы исследований. Методологический подход проводимых исследований состоит в комплексной оценке токсикологических показателей воды, донных отложений, атмосферных осадков, полученных путем использования аттестованных методов и оборудования как показателей качества среды обитания рыб – общепринятых индикаторов качества вод, сопоставлении результатов и обобщении данных с применением современных методов исследований. Использование рыб как биоиндикаторных организмов

связано с продолжительностью их жизненного цикла, чувствительностью к токсикантам, особенно в период раннего онтогенеза, способностью накапливать токсические вещества, действие которых проявляется в патологиях органов и тканей рыб, дифференциацию органов и тканей, применимостью патоморфологического метода исследования.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Мониторинговое исследование водной среды литоральной части Ладожского озера имеет важное рыбохозяйственное значение, так как она наиболее уязвима по отношению к постоянному антропогенному воздействию в виде поступления тяжелых металлов;

2. Превалирующее влияние меди и цинка, на фоне сниженного содержания кислорода в воде, в весенний период, приводит к нарастающей интоксикации и нарушению естественного воспроизводства в литоральной зоне южной части Ладожского озера;

3. Аэрогенные поступления загрязняющих веществ особенно опасны для литоральной зоны глубоководного озера ввиду кратности разбавления, поэтому введение данного показателя в систему оценки водных ресурсов даст развитие научного потенциала рыбохозяйственных комплексов;

4. Эколого - токсикологическая оценка состояния ихтиофауны литоральной части Ладожского озера необходима для оптимизации комплексных подходов лабораторных исследований, что позволит повысить расширение и более интенсивное использование потенциала водных биологических ресурсов, согласно Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации.

Степень достоверности и апробация результатов. Работа выполнена в лаборатории рыбохозяйственной экологии Санкт-Петербургского филиала федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»), в испытательной ветеринарной лаборатории ГБУ ЛО «СББЖ Лужского района», ГБУ ЛО «СББЖ Волховского и Киришского районов», а также на базе Регионального центра эпизоотического и экологического мониторинга Ладожского озера ГБУ ЛО «СББЖ Всеволожского района».

Для исследования рыб использовали патоморфологический метод, включающий клинический осмотр и патологоанатомическое вскрытие, оценку состояния организма проводили по 5-ти балльной шкале (Аршаница, Н. М., Лесников, Л. А. 1987) с последующим гистологическим анализом, проведенным на кафедре ихтиологии и гидробиологии ФГБОУ ВО СПбГУ. Отбор проб (вода, донные отложения, атмосферные осадки), транспортировка, хранение, биотестирование и количественный химический анализ проведен в соответствии с требованиями стандартов ГОСТ, ГОСТ Р, РД, Росгидромета и аттестованных методик измерений с установленными метрологическими характеристиками. Ветеринарно-санитарная экспертиза рыбы проведена в соответствии с действующими ветеринарными правилами и техническими регламентами.

Полученные данные обработаны с применением лицензионного пакета программы Microsoft Office Excel и методов вариационной статистики при помощи программы Statistica 10 с расчетом коэффициента достоверности Стьюдента.

Основные результаты исследования изложены, обработаны и одобрены на ученых советах и аттестациях, а также комиссиях по итогам научно-квалификационной работы за 2019-2023 гг. в лаборатории рыбохозяйственной экологии Санкт-Петербургского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга).

Материалы диссертации доложены на конференциях разных уровней, где получили признание и одобрение ведущих ихтиопатологов: семинар «О взаимодействии между ветеринарной службой и научно-исследовательскими учреждениями» (пос. Ладожское озеро, Региональный центр эпизоотического и экологического мониторинга Ладожского озера, 2019); конференции «Здоровая рыба в чистой воде» (Ленинградская область, 2021, 2022); конференция «Ветеринарные аспекты развития аквакультуры в Ленинградской области» (д. Назия, 2023); III международная научно-практическая конференция преподавателей, студентов, аспирантов, научных сотрудников и ведущих специалистов «Ветеринарная лабораторная практика», посвящённой Дням Российской науки (г. Санкт-Петербург, 2025).

Методические рекомендации по материалам данного исследования получили серебряную медаль на 26-ой Российской агропромышленной выставке «Золотая осень - 2024», организованной Министерством сельского хозяйства Российской Федерации в номинации «За разработку и внедрение методических рекомендаций в сфере ветеринарии» (г. Москва, 2024).

Личный вклад. Диссертационная работа является результатом исследований, проведенных лично соискателем в период с 2019 по 2025 гг. При консультации с научным руководителем, аспирантом намечена цель и определены задачи исследований, составлен план эколого-токсикологических исследований с использованием биологических и химико-аналитических методов контроля качества вод. Личный вклад соискателя заключается в непосредственном участии в постановке цели и задач исследования, анализе литературных источников, участии в экспедиционных выездах на водоем в период с 2019 по 2023 гг. в отборе, пробоподготовке и анализе проб воды, донных отложений, атмосферных осадков, непосредственного участия в отлове рыб для патологоанатомических и гистологических исследований, проведения ветеринарно-санитарной экспертизы, подготовке проб образцов органов и тканей рыб, проведения анализов, и их обобщения, формулирования выводов. На основании полученных данных, сформированы методические рекомендации, одобренные методическим советом Санкт-Петербургского государственного университета ветеринарной медицины (протокол № 1 от 17.01.2024 г.).

В научных трудах, опубликованных совместно с научным руководителем кандидатом биологических наук Н. М. Аршаницей, основная часть работы

выполнена диссертантом. Соавторами научных статей являются А. А. Стекольников, С. Б. Екимова, О. В. Зеленников, С. В. Хамзин, Е. В. Колосовская, В. В. Аникина, В. А. Гребенников, Д. Д. Карпов, которым автор выражает свою благодарность. Особая признательность выражается лаборатории рыбохозяйственной экологии Санкт-Петербургского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга») за помощь в сборе и обработке материала. Личный вклад соискателя в проведенные исследования и их анализ составляет 90%.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 4.2.2. Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность: пункты 2, 10, 12.

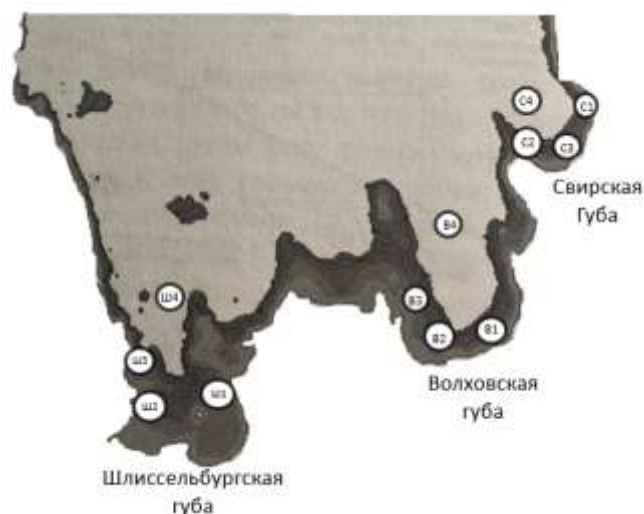
Публикации результатов исследований. По теме диссертационной работы опубликовано 10 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ для опубликования основных результатов диссертации на соискание ученой степени доктора наук и кандидата наук – девять работ (Международный вестник ветеринарии, Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии / Legal regulation in veterinary medicine).

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа изложена на 157 страницах компьютерного текста. Состоит из введения, обзора литературы, материалов и методов исследований, результатов собственных исследований и их обсуждения, заключения, включая выводы, практические предложения, рекомендаций и перспектив дальнейшей разработки темы, списка сокращений, списка литературы, включающего 263 источника, в том числе 31 зарубежный, приложения. Диссертация содержит 32 таблицы и 22 рисунка.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материалы и методы исследований

Работа выполнена в лаборатории рыбохозяйственной экологии Санкт-Петербургского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга»). Объектом исследования являются литоральные акватории трех губ (Шлиссельбургской, Волховской, Свирской) и тяготеющие к ним участки озера (контрольные станции). Основными объектами исследования были рыбы, вода, донные отложения, атмосферные осадки, отбор проб которых выполнен на 12 станциях в весенний, летний и осенний периоды с 2021 по 2023 гг. (рисунок 1). В процессе отбора проб проводили измерения физических и гидрохимических параметров зондом Aqua Troll 500.



Акватория	Шлиссельбургская губа				Волховская губа				Свирская губа			
Станция	Ш1	Ш2	Ш3	Ш4(К*)	В1	В2	В3	В4(К*)	С1	С2	С3	С4(К*)
Глубина, м	8	3,5	5	15	6	6,3	6,5	10	7,1	8,3	6,4	20

*К- контрольные станции

Рисунок 1 — Станции отбора проб на южной акватории Ладожского озера

С помощью многопараметрического зонда фиксировали глубину, с которой производился отбор пробы, её температуру, минерализацию, концентрацию растворенного кислорода, электропроводность, окислительно-восстановительный потенциал и водородный показатель (рН).

Всего собрано и проанализировано 165 проб воды, в которых определено содержание тяжелых металлов – Cd, Pb, Cu, Mn, Zn, Hg (в соответствии с Приказом Минсельхоза России от 13.12.2016 №552).

Были отобраны пробы атмосферных осадков на прибрежных участках трех губ. Сбор атмосферных осадков проходил с применением лотков диаметром 20 см, направляющих поток в чистые пластиковые контейнеры объемом 1 л, которые сохраняли до проведения анализов.

В данной работе проанализировано 40 проб донных отложений, на содержание в них тяжелых металлов методом инверсионной вольтамперметрии на приборе СВА-1Б (Брайнина Х. 3. и др., 1988). Результаты определения концентраций металлов в воде, донных отложениях и рыбе сравнивали с существующими нормативами (СанПиН 2.3.2.1078.01). Проводились исследования по определению металлов в 30 пробах рыб (внутренние органы и мышечные ткани), а также в 9 пробах атмосферных осадков. В последних определяли содержание Pb, Hg, Al, V, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd. Ионные формы металлов, коллоидные и комплексные соединения с органическим веществом, в воде определяли методом атомно-адсорбционной спектроскопии на приборе «Барл-Цейс» (Германия) в испытательной лаборатории «АНАЛЭКТ» института токсикологии Минздрава РФ на приборе «АА-7000» (Япония) в лаборатории рыбохозяйственной экологии Санкт-Петербургского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга») по методикам М-02-

2406-13, М-02-1009-08, РД 52.24-28-86 РД 52.24.377-95 и ПНД Ф 14.1:2.22-95.

Отбор проб (воды, донных отложений, осадков), их хранение осуществлялось согласно нормативным документам и методическим рекомендациям (ГОСТ 17.1.5.01-80; РД 52.04.186-89; ГОСТ 17.1.5.04-81). Процедура биотестирования проводилась не позднее 24 часов после отбора. Донные отложения подвергались высушиванию, с последующим приготовлением водных вытяжек (элютриатов), согласно методике (ФР.1.39.2007.03222). Определение содержания тяжелых металлов проводили по актуальным методикам: М-02-2406-13; М-02-1009-08; М-02-902-125-2005.

В качестве тест-объекта для биотестирования проб (воды, донных отложений, осадков) использовали самок *Daphnia magna Straus* в острых (96 часов) и хронических (до 24 суток) опытах. Отбор проб происходил на станциях: Шлиссельбургская губа - станция Ш1, Ш2, Ш3, Ш4 (вода, донные отложения, атмосферные осадки); Волховская губа - станция В1, В2, В3, В4 (вода, донные отложения, атмосферные осадки); Свирская губа - станция С1, С2, С3, С4 (вода, донные отложения, атмосферные осадки) с соблюдением условий отбора и транспортировки проб согласно ГОСТам.

Исследования качества воды и донных отложений проводили согласно методическим рекомендациям ФР.1.39.2007.03222, в остром и хроническом эксперименте. Показателем токсичности пробы в остром опыте является гибель 50,0% и более тест-объектов за 96 часов по сравнению с контролем. В хроническом опыте, биотестирование представляет собой наблюдение за тест - объектами (в течение 20 дней и более), что дает возможность выявить влияние тестируемой пробы, как на сам тест – объект (дафний), так и на его потомство (по срокам вымета и количеству молоди). В данном эксперименте показателем токсичности служит гибель 20,0% и более тест-объектов (дафний) и достоверное отклонение в их плодовитости от плодовитости самок, находящихся в контрольных сосудах.

В опыте использовалась синхронизированная культура дафний, т.е. одновозрастная молодь, полученная от одной самки. Эта культура является генетически однородной, рачки одновременно созревают и дают однородное потомство. Таким образом, они обладают близким уровнем устойчивости к токсикантам. В качестве корма при содержании культуры и при проведении эксперимента использовали зелёные водоросли *Scenedesmus quadricauda* (Turp). Кормили дафний один раз в сутки в одно и тоже время. Результаты опыта по биотестированию, а именно процент погибших в тестируемых пробах дафний в остром и хроническом экспериментах, а также показатель достоверности вымета молоди рассчитывался согласно методике (ФР.1.39.2007.03222).

Отлов рыб и личинок проводился различными орудиями лова, включая специальную ихтиопланктонную сеть – ИКС 80, личинок фиксировали в 4%-ном растворе формалина для последующего определения до вида (Коблицкая, А. Ф. 1981).

Для оценки патологоанатомического состояния рыб была использована соответствующая методика (Аршаница, Н. М., Лесников, Л. А., 1987), дающая возможность оценить состояние рыб при воздействии на них загрязняющих

веществ визуально, по пятибалльной системе проявления патологического процесса. Для более детальной оценки состояния рыб на кафедре ихтиологии и гидробиологии ФГБОУ ВО СПбГУ проведен патоморфологический анализ их органов и тканей рыб (лещ и окунь, $n=10$) при помощи биологического микроскопа Leica DM1000 (Германия) с цифровой камерой Leica EC 3, методом окрашивания железным гематоксилином по Гейденгайну.

Результаты морфологического исследования рыб и нарушение их естественного воспроизводства позволяют ориентировочно оценивать уровень загрязнения водоема и отдельных его акваторий с применением следующей пятибалльной шкалы, где I балл – не отмечено загрязнения, V баллов – остро летальный уровень загрязнения (Аршаница, Н. М., Асанова, Т. А. 2011). Похожий принцип оценки экологического состояния используется в странах ЕС (Directive EC, 2000). Исследовано около 1360 экземпляров различных видов рыб и 3000 личинок карповых и окуневых рыб.

Ветеринарно-санитарная экспертиза рыбы проведена в соответствии с «Ветеринарными правилами назначения и проведения ветеринарно-санитарной экспертизы рыбы, водных беспозвоночных и рыбной продукции из них, предназначенных для переработки и реализации» от 24 ноября 2021 г, в целях установления соответствия рыбы, водных беспозвоночных и рыбной продукции требованиям безопасности технического регламента Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011), и Технического регламента Евразийского экономического союза «О безопасности рыбы и рыбной продукции» (ТР ЕАЭС 040/2016).

Полученные данные обработаны с применением лицензионного пакета программы Microsoft Office Excel и методов вариационной статистики при помощи программы Statistica 10 с расчетом коэффициента достоверности Стьюдента.

Результаты собственных исследований Физические и гидрохимические показатели качества воды южной акватории Ладожского озера

В естественном водоеме жизнедеятельность рыб зависит от большого количества абиотических факторов, включая такой как концентрация водородных ионов (рН). Нормальными принято считать колебания показателя рН в рыбохозяйственном водоёме в пределах от 6,5 до 8,5. Нами было проведено исследование по оценке физических и гидрохимических показателей воды трех акваторий Ладожского озера. При помощи многопараметрического зонда Aqua Troll 500, нами были исследованы следующие показатели: температура ($T, ^\circ\text{C}$), минерализация (Мн), концентрация растворенного кислорода (O_2), электропроводность (Эл), окислительно-восстановительный потенциал (Еh) и водородный показатель (рН). Исследования показали, что содержание кислорода было на всех станциях не ниже 9,2 мг/л – в пределах оптимальной нормы. На всех обследованных нами станциях водородный показатель был в пределах нормы, не ниже 7,5 и не выше 8,4.

Все параметры в период исследования соответствовали среднемесячным значениям и не выходили за пределы нормы. Полученные результаты согласуются с данными, отражёнными в докладе Комитета по природным ресурсам Ленинградской области за исследуемый период.

Таким образом, на основании проведенных исследований, сделан вывод, что основной потенциальный источник поражения рыб не связан с физическими и гидрохимическими параметрами воды южной части Ладожского озера.

Содержание металлов в рыбах и среде их обитания

Проводилось исследование нормируемых металлов в воде литоральной зоны южной части озера и тяготеющих участков (контроль) в весенне-летний, осенний периоды 2021-2023 гг. При анализе содержания металлов в пробах воды в **Шлиссельбургской губе**, установлено превышение содержания меди в 2 раза на станции Ш4, и в 2 раза на станции Ш3. Превышение марганца встречалось на всех станциях и в среднем в 3 раза превышало ПДК. На всех станциях кроме контрольной, было отмечено увеличение содержания цинка в 2 раза. В **Волховской губе** в пробах воды отмечено превышение ПДК по меди на всех станциях (В1 - в 4 раза; В2 – в 2 раза, В3 – в 3,5 раза, В4 в 2 раза), а также марганца и цинка на всех станциях исследования, и в среднем составило превышение ПДК в пять раз для обоих металлов. При анализе содержания металлов в пробах воды **Свирской губы** выявлено незначительное увеличение меди: в 2 раза на станциях С1 и С2 и цинка – в 3 раза на станциях С1, С2, С4.

Нами так же отмечено, что уровень остальных исследуемых металлов был в пределах ПДК, что свидетельствует о возможных компенсаторных процессах биогеоценоза водоема, а также активностью гидродинамических процессов на исследованных акваториях. При этом, полученные нами данные отражают факт ассоциированного действия преимущественно двух металлов: цинка, меди и в меньшей степени марганца. Среднее содержание релевантных металлов в воде южных акваторий Ладожского озера представлены в таблице 1, где токсикологические показатели для рыб представлены в соответствии с литературными источниками - Д. Джонс (1939), Л. И. Грищенко, и соавт. (1999).

Таблица 1 — Среднее значение содержания металлов в воде южной акватории Ладожского озера

Станция	Горизонт	Cd, мг/л	Pb, мг/л	Cu, мг/л	Mn, мг/л	Zn, мг/л
Шлиссельбургская губа						
1	поверхность	<0,005	<0,002	0,0007±0,0001	0,0339±0,0020	0,025±0,001
	дно	<0,005	<0,002	0,0001±0,0008	0,0342±0,0080	0,020±0,004
2	поверхность	<0,005	<0,002	0,0012±0,0007	0,0169±0,0050	0,016±0,007
	дно	<0,005	<0,002	0,0013±0,0008	0,0214±0,0060	0,021±0,003
3	поверхность	<0,005	<0,002	0,0018±0,0006	0,0276±0,0060	0,015±0,004
	дно	<0,005	<0,002	0,0014±0,0006	0,0010±0,0004	0,020±0,007

Продолжение таб.1

4	поверхность	<0,005	<0,002	0,0002±0,0007	0,0028±0,0005	0,011±0,002
	дно	<0,005	<0,002	0,0001±0,0006	0,0037±0,0006	0,010±0,006
Волховская губа						
1	поверхность	<0,005	<0,002	0,0045±0,0006	0,031±0,004	0,062±0,001
	дно	<0,005	<0,002	0,0020±0,0007	0,028±0,001	0,056±0,006
2	поверхность	<0,005	<0,002	0,0011±0,0006	0,051±0,003	0,037±0,007
	дно	<0,005	<0,002	0,0022±0,0001	0,031±0,009	0,041±0,002
3	поверхность	<0,005	<0,002	0,0035±0,0006	0,041±0,006	0,035±0,007
	дно	<0,005	<0,002	0,0016±0,0007	0,043±0,002	0,027±0,006
4	поверхность	<0,005	<0,002	0,0016±0,0002	0,024±0,006	0,048±0,003
	дно	<0,005	<0,002	0,0015±0,0006	0,061±0,005	0,031±0,004
Свирская губа						
1	поверхность	< 0,005	< 0,002	0,0009±0,0001	0,0098±0,0010	0,034±0,007
	дно	< 0,005	< 0,002	0,0023±0,0008	0,0097±0,0004	0,029±0,001
2	поверхность	< 0,005	< 0,002	0,0022±0,0005	0,0089±0,0002	0,026±0,006
	дно	< 0,005	< 0,002	0,0011±0,0004	0,0110±0,0040	0,018±0,007
3	поверхность	< 0,005	< 0,002	0,0010±0,0004	0,0090±0,0007	0,019±0,005
	дно	< 0,005	< 0,002	0,0011±0,0003	0,0088±0,0002	0,015±0,007
4	поверхность	< 0,005	< 0,002	0,0016±0,0007	0,0092±0,0003	0,020±0,004
	дно	< 0,005	< 0,002	0,0012±0,0002	0,0083±0,0004	0,017±0,002
СМЗ мг/л		0,0001	0,0007	0,002	0,004	<0,01
ПДКвр, мг/л		0,0050	0,0060	0,001	0,010	0,01
Токсикологические показатели для рыб		0,001	0,1-0,4	0,025-0,2	1-3	0,01 хроническое отравление

При анализе полученных данных проб вод, мы сделали вывод, что наиболее опасными с точки зрения токсикологии для южной части Ладожского озера являются цинк и медь.

Для получения данных об эколого-токсикологическом состоянии исследуемых акваторий, проведена оценка содержания тяжелых металлов в донных отложениях, в те же периоды, что и в предыдущем опыте. В результате исследования элютриатов донных отложений, была отмечена тенденция к увеличению концентрации анализируемых металлов, в частности меди и цинка в пробах Волховской губы, по сравнению с другими акваториями.

Для оценки качества и безопасности поступающей из южной части озера рыбной продукции, в первую очередь в мышечной ткани рыб, мы исследовали нормируемые в Российской Федерации тяжелые металлы согласно СанПиН 2.3.2.1078–01. Результаты содержания нормируемых металлов у промысловых видов рыб южной части Ладожского озера представлена в таблице 2.

При анализе полученных данных установлена тенденция к повышению концентрации мышьяка и ртути в тканях гидробионтов, выловленных в Волховской губе, по сравнению с двумя другими акваториями: Шлиссельбургской и Свирской губами. Превалирующее увеличение металлов у рыб, ведущих хищный или донный образ жизни, объясняется способностью кумуляции по трофической цепи питания.

Таблица 2 — Содержание нормируемых металлов в мышечной ткани рыб

Акватории	Вид рыб	Нормируемые металлы, мг/кг			
		Cd	Pb	As	Hg
Шлиссельбургская губа	лещ	0,0010±0,0006	0,116±0,070	0,26±0,08	0,11±0,06
	судак	0,0010±0,0005	0,019±0,004	0,39±0,02	0,11±0,04
	щука	0,0020±0,0002	0,160±0,040	0,23±0,01	0,14±0,07
	плотва	0,0010±0,0007	0,210±0,020	0,28±0,03	0,19±0,09
Волховская губа	лещ	0,0020±0,0007	0,103±0,001	0,36±0,03	0,12±0,07
	судак	0,0020±0,0002	0,121±0,003	0,33±0,04	0,24±0,03
	щука	0,0020±0,0001	0,029±0,004	0,61±0,06	0,69±0,04
	плотва	0,0030±0,0001	0,038±0,006	0,31±0,04	0,26±0,05
Свирская губа	лещ	0,0020±0,0005	0,031±0,005	0,41±0,01	0,17±0,02
	судак	0,0010±0,0004	0,063±0,002	0,26±0,02	0,11±0,01
	щука	0,0010±0,0003	0,057±0,001	0,21±0,07	0,13±0,02
	плотва	0,0030±0,0001	0,019±0,007	0,42±0,04	0,23±0,01
ДОК, мг/кг		0,20	1,0	1,0	0,3 - не хищная рыба/ 0,6 - хищная рыба

Количественный химический анализ мышечной ткани промысловых видов рыб, выловленных в Волховской губе, выявил превышение фоновых показателей по содержанию мышьяка в два раза и ртути в два с половиной раза по сравнению со Шлиссельбургской. Поэтому картина эколого-токсикологического состояния должна быть рассмотрена комплексно. Так, согласно наблюдениям, причина интоксикации является каскадом реакций внутри биоценоза. В весенний период, когда в водоеме снижены показатели кислорода, на фоне большого количества меди, возникает повышение потребности в кислороде у рыб, при этом сублетальные дозы цинка в мягкой воде, становятся еще токсичнее. Цинк частично подавляет всасывание меди, препятствуют ее физиологическому усвоению в организме гидробионтов, а также могут вызывать патологоанатомические изменения. Что впоследствии может привести к снижению ферментной активности, нарушению физиологической микрофлоры кишечника, усвояемости пищи, приростов, а также общей резистентности. Для подтверждения данной гипотезы был проведен анализ аэрогенного пути транспорта металлов в водную экосистему.

Дальнейшие исследования заключались в оценке уровня металлов, наиболее распространенных для данных акваторий, с целью анализа их накопления в мышечной ткани и печени. Показано, что исследованные металлы обнаружены у всех рыб, как в мышечной ткани, так и в печени – органе, где они накапливаются в наибольших количествах, так отмечено достоверное увеличение меди и цинка на 15,0% ($p \leq 0,05$) и 26,0% ($p \leq 0,05$), относительно контрольных станций соответствующих акваторий. Зафиксировано достоверное увеличение концентрации свинца в мышечной ткани рыб на 16,4 % ($p \leq 0,05$) в акватории Волховской губы.

Аэрогенный путь поступления загрязняющих веществ

Атмосферное поступление загрязняющих веществ аэрогенным путем наиболее опасно для мелководной литоральной зоны по сравнению с пелагиалью, где кратность разбавлений резко возрастает. В таблице 3 показаны значимые максимальные величины содержания металлов в пробах дождя.

Таблица 3 — Результаты исследования концентрации тяжелых металлов в атмосферных осадках южной акватории Ладожского озера

Места отбора проб	Концентрации металлов, мг/л											
	Al	V	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb	Hg
Побережье Шлиссельбургской губы	0,041-0,172	0,002-0,008	0,011 - 0,095	0,002 - 0,035	0,003 - 0,029	0,003 - 0,016	0,020 - 0,139	0,017 - 0,054	0,014 - 0,051	0,002 - 0,031	0,001 - 0,019	0,00002 - 0,00004
Побережье Волховской губы	0,065-0,213	0,001-0,007	0,017 - 0,271	0,003 - 0,041	0,002 - 0,031	0,002 - 0,031	0,031 - 0,216	0,019 - 0,052	0,012 - 0,039	0,003 - 0,029	0,002 - 0,011	0,00002 - 0,00007
Побережье Свирской губы	0,042-0,117	0,002-0,005	0,019 - 0,111	0,004 - 0,034	0,001 - 0,027	0,003 - 0,023	0,029 - 0,116	0,012 - 0,027	0,009 - 0,019	0,002 - 0,017	0,002 - 0,009	0,00001 - 0,00003
ПДКвр	0,04	0,001	0,01	0,01	0,01	0,001	0,01	0,05	0,002	0,005	0,006	0,00001

Существенные колебания металлов зависели от сезона и времени взятия проб, интенсивностью поступления металлов в атмосферу, направлением ветра и другими факторами. Выявлено значимое превышение по таким металлам, как ртуть, кадмий и свинец. Несмотря на аэрогенное поступление металлов в Ладожское озеро, в значительных количествах, их содержание в воде и донных отложениях литоральных зон южной части этого водоема крайне низкое, что объясняется гидрологическими особенностями этих акваторий и выносом загрязняющих веществ в пелагиальную часть озера, а также характером донных отложений и активностью гидродинамических процессов.

Оценка токсичности проб воды, донных отложений и атмосферных осадков методом биотестирования

Согласно открытым источникам и справке о состоянии окружающей среды в Ленинградской области за 2021-2023 гг., предоставленной Комитетом по природным ресурсам Ленинградской области, случаев высокого и экстремально высокого загрязнения по исследуемым металлам зафиксировано не было. Поэтому полученные данные в результате биотестирования являются естественными для данных акваторий и могут служить для интегрального исследования эколого-токсикологического состояния среды обитания рыб, и оценки качества воды и степени ее опасности для живых организмов с помощью биотестирования. Исследование проб воды и вытяжек из донных отложений (элютриатов), отобранных на всех станциях, не показали острой токсичности, в отличие от проб атмосферных осадков.

Результаты хронического биотестирования проб воды показали, что большинство из них оказались токсичными – 69,0%. Из них 53,0% – по одному

критерию токсичности (плодовитость *Daphnia magna Straus*) и 16,0% по двум (плодовитость и выживаемость *Daphnia magna Straus*), 31,0% проб не оказали токсического действия.

Результаты хронического биотестирования элютриатов донных отложений показали, что процент токсичных проб несколько ниже, чем в пробах воды – 64,0%. Среди исследованных проб 29,0% было токсичным по одному критерию (плодовитость *Daphnia magna Straus*) и 35,0% по двум критериям (плодовитость и выживаемость *Daphnia magna Straus*). Исходя из процента гибели тест-организмов и динамики отхода, несколько более токсичными оказались пробы, отобранные на побережье Волховской губы.

Оценка качества воды и донных отложений, с помощью биотестирования, показывает выраженную хроническую токсичность среды обитания рыб, что позволяет доказать факт присутствия токсина в концентрации, вызывающей не острую, а хроническую, или субхроническую интоксикацию. На основе ранее проведенных комплексных исследований такими токсинами являются для данных акваторий цинк и медь.

Влияние загрязнения на воспроизводство рыб

Период раннего онтогенеза – самый критический период в жизненном цикле рыб. Высокая чувствительность икры и особенно личинок рыб к токсическому воздействию объясняется низкой способностью к детоксикации по сравнению со взрослыми особями, так как пределы толерантности у эмбрионов и личинок ниже из-за недостаточно сформированных механизмов защиты. Так, наши исследования личинок карповых и окуневых рыб показали, что наибольшая доля поражённых личинок оказалась в Волховской губе, особенно в местах, тяготеющих к источникам загрязнения (стокам Сяського ЦБК и устья реки Волхов) и составил до 70%, в Шлиссельбургской губе - до 30%, в Свирской – до 27%. Среди отловленных личинок наблюдались погибшие, доля которых в Волховской губе достигала 7%, а в Шлиссельбургской и Свирской – 3%. Среди пораженных личинок большая доля особей (в Волховской губе – 20–30%) имела тяжелые необратимые повреждения. На рисунках 2 – 4 показаны здоровые личинки и поврежденные личинки с деформацией позвоночника и патологией глаз.

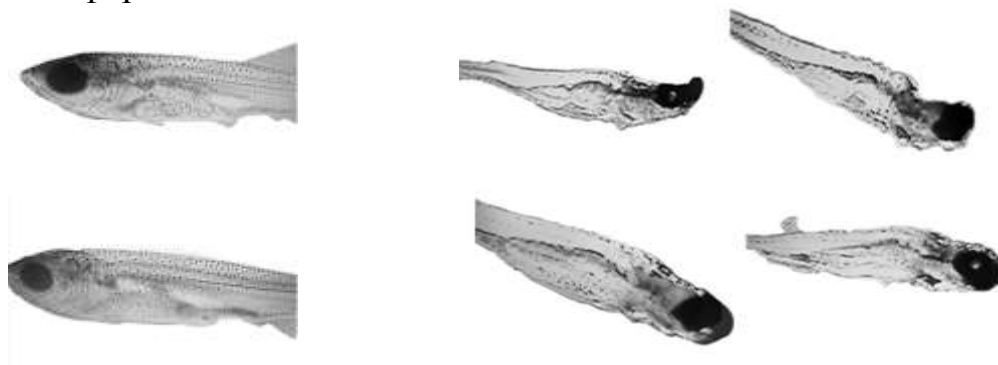


Рисунок 2 — Здоровые личинки рыб

Рисунок 3 — Личинки рыб с деформацией

позвоночника, головы, повреждением
глазного яблока

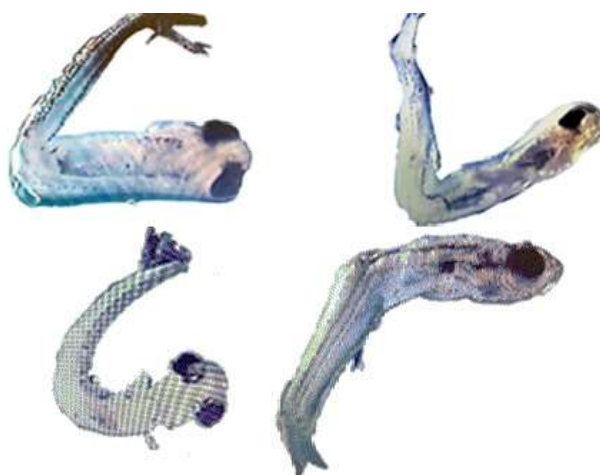


Рисунок 4 — Личинки с деформацией тела и глаз

По результатам исследований, установлено токсическое воздействие загрязняющих веществ, пагубно сказывающихся на здоровье рыб в ранних этапах онтогенеза рыб в литоральной зоне южной части Ладожского озера, в месте нереста и нагула молоди основных видов. Так, отмечена взаимосвязь высокого уровня загрязнения Волховской губы, процента патологий и гибели личинок, что является основной причиной изменения структуры ихтиофауны и изменения рыбохозяйственного статуса водоема.

Ветеринарно-санитарная экспертиза и патоморфологическое состояние рыб южных акваторий Ладожского озера

При оценке качества безопасности продукции, согласно ветеринарным правилам, утвержденных Министерством сельского хозяйства РФ, Приказом №793 от 24 ноября 2021 г., ветеринарно-санитарной экспертизе перед выпуском в обращение подлежит живая рыба и рыба-сырец (свежая) для установления соответствия рыбы требованиям безопасности технического регламента «О безопасности пищевой продукции» и технического регламента «О безопасности рыбы и рыбной продукции». Основной целью перечисленных нормативных документов является защита жизни и здоровья человека и защита окружающей среды.

В результате проведения органолептических исследований свежевывловленной рыбы у большинства исследуемых экземпляров рыб южной части озера (Шлиссельбургской, Волховской, Свирской губ) показатели соответствовали критериям свежей рыбы. Однако, ввиду сколиоза и низкой упитанности в Шлиссельбургской и Свирской губах выбраковано по 2,5%, и 5 % в Волховской губе (на локальной акватории, тяготеющей к поступлению сточных вод Сясьского ЦБК), у рыб отмечали низкую упитанность, развитие общей анемии, посторонний запах. Также для оценки качества и безопасности проводились исследования физико-химических и микробиологических показателей пищевой рыбной продукции, поступающей из южных районов Ладожского озера. В анализируемых пробах не обнаружено бактерий группы кишечной палочки (БГКП), золотистого стафилококка, сальмонелл, и листерий,

а также низким было количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) во всех акваториях, в среднем на 23%, от регламентируемых нормативов.

При патоморфологическом исследовании туводных видов рыб (лещ, окунь, плотва, судак) наибольшая доля поражения рыб с выраженным патологическими изменениями наблюдалась на акваториях, тяготеющих к источникам загрязнения, что было характерно для литоральной зоны Волховской губы и составила 46,6%, в Шлиссельбургской губе – 31,3%, в Свирской губе – 31,7%. Патологии наблюдались как при наружном осмотре, так и на вскрытии. Наружные повреждения были связаны с изменениями в жаберной ткани (рисунок 5), а на вскрытии с изменениями в паренхиматозных органах (рисунок 6) и кишечнике. Также отмечено, что рыбы, обитающие в пелагиали (укляя, корюшка), в меньшей степени поражены, и патологический процесс отмечается в лёгкой форме.

Резюмируя результаты проведенных исследований на южной акватории озера, необходимо отметить массовое поражение рыб с признаками интоксикации, протекающей в хронической форме. Наиболее неблагоприятным сезоном в жизни рыб на загрязняемых акваториях является весенний период. Также отмечено, что в наибольшей степени поражены рыбы старших возрастных групп, особенно бентофаги.



Рисунок 5 – Патология жабр рыб: неравномерность окраски, повреждение мягких тканей



Рисунок 6 – Патология печени рыб: перерождение и деформация органа

Патоморфологическое исследование различных видов рыб южной части Ладожского озера показало, что развитие и проявление патологических изменений характерно для хронически протекающего процесса. Наиболее ярко выраженные повреждения выявлены в жаберном аппарате (рисунок 7, 8).

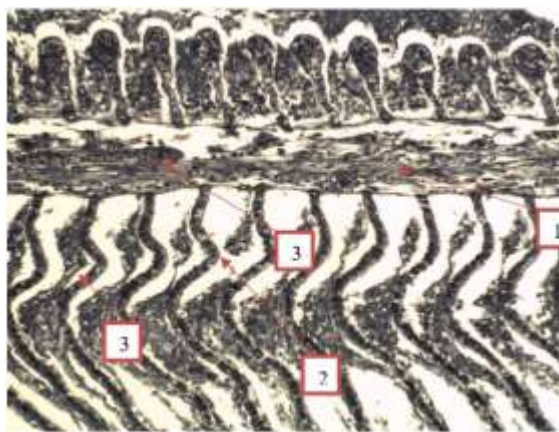


Рисунок 7 — Фрагмент жабр леца из южной части Ладожского озера с сохраненной архитектурой. Стрелками обозначены: 1 – лепестки (первичные ламеллы); 2 – лепесточки (вторичные ламеллы); 3 – капилляры. Окраска железным гематоксилином по Гейденгайну, увеличение: $\times 200$

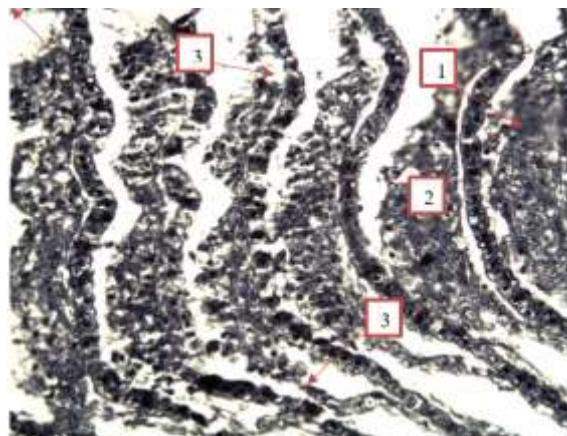


Рисунок 8 — Фрагмент жабр леца из южной части Ладожского озера с поврежденными кровеносными сосудами ламелл. Стрелками обозначены: 1 – лепестки (первичные ламеллы); 2 – лепесточки (вторичные ламеллы); 3 – поврежденные капилляры. Окраска железным гематоксилином по Гейденгайну, увеличение: $\times 200$

На гистологических препаратах наблюдается изменение архитектуры эпителиальной и собственной пластин жабр. На некротизированных участках визуализируются повреждения стенки кровеносных сосудов. Отмечалось наличие некрозов с дискомплексацией эпителиальной ткани, в области жаберных дуг наблюдалось срастание вторичных ламелл с образованием цельных пластов.

Изменения в печени связаны со скоплением пигментных образований и лимфоцитов среди гепатоцитов, которые иногда были вакуализированы нередко с незначительными пигментированными ядрами, что является признаком дистрофических изменений в органе. В тканях печени также встречались скопления пигментных клеток и лимфоцитов. Были отмечены особи с дискомплексацией гепатоцитов, разрастанием соединительной ткани скоплением фибробластов вокруг желчных протоков и кровеносных сосудов.

В почках рыб обнаружены очаговые и разлитые кровоизлияния, отеки соединительных клубочков и извитых канальцев, отмечена вакуольная зернистая дистрофия в эпителии почечных канальцев, который изменён, т.е. в клетках много вакуолей и зернистости, что является причиной нарушения гемодинамики и механической фильтрации. В гемопозитической ткани почки наблюдается большое количество гранул гемосидерина и в соединительной ткани различной степени распада, перенасыщенными белковыми глыбками. Встречается вакуольная, чаще зернистая дистрофия эпителиальных клеток мочевых канальцев. Вакуолизация эпителия отдельных извитых канальцев наблюдается у рыб как Волховской, так и Свирской губ. Наиболее выраженное белковое перерождение извитых канальцев почки отмечается у рыб из Волховской губы.

Исследования показали, что выявленные гистоморфологические нарушения во внутренних органах рыб и жаберной ткани южной акватории Ладожского озера носят массовый характер и являются выраженным подтверждением воздействия токсикологического фактора на ихтиофауну этой акватории, что подтверждается и результатами патологоанатомических и гистологических исследований, наличием у них визуальных проявлений хронической интоксикации.

Заключение

Изменение видового состава рыб Ладожского связано с антропогенным воздействием на среду обитания, что сказывается на снижении запасов и уловов сига и лосося, и увеличении численности рыб с коротким жизненным циклом (корюшка, ряпушка), что связано с их биологическими особенностями жизненного цикла и периодом раннего онтогенеза. Этот период особенно чувствителен к токсическому воздействию, что явилось основной причиной перестройки ихтиофауны в озере.

Для исследования эколого-токсикологического состояния среды обитания рыб, проведена интегральная оценка качества среды обитания и степени ее опасности для живых организмов с помощью биоиндикации и биотестирования, которые показали выраженную хроническую токсичность.

В результате проведенных исследований в рамках указа президента РФ от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года, обеспечивающих решение задач по сохранению уникальных водных объектов включая Ладожское озеро и установление дополнительных государственных мер предусматривающих особый природоохранный статус данных объектов», а также согласно доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации, глава V, установлено, что рыбная продукция, поступающая из южной части Ладожского озера, соответствует нормам качества и безопасности, однако антропогенное воздействие сказывается на экологическом состоянии ихтиофауны.

Выводы

1. Основное влияние на экологическое состояние южной части Ладожского озера оказывают тяжелые металлы, тенденция увеличения которых прослеживается в атмосферных осадках и пробах донных отложений. Наиболее загрязнённой акваторией является Волховская губа, где установлено высокая концентрация металлов меди, цинка и марганца в пробах воды, количество которых в среднем составило 3 ПДК;

2. Исследование проб воды и вытяжек из донных отложений (элютриатов), отобранных на всех станциях, не показало острой токсичности. Результаты хронического биотестирования проб воды показали, что большинство из них оказались токсичными – 69,0%. Из них 53,0% – по одному критерию

токсичности (плодовитость *Daphnia magna Straus*) и 16,0% по двум (плодовитость и выживаемость *Daphnia magna Straus*), 31,0% проб не оказали токсического действия. Результаты хронического биотестирования элютриатов донных отложений показали, что процент токсичных проб несколько ниже, чем в пробах воды – 64,0%. Среди исследованных проб 29,0% было токсичным по одному критерию (плодовитость *Daphnia magna Straus*) и 35,0% по двум критериям (плодовитость и выживаемость *Daphnia magna Straus*). Исходя из процента гибели тест-организмов и динамики отхода, несколько более токсичными оказались пробы, отобранные на побережье Волховской губы;

3. Патоморфологические изменения внутренних органов выявлены у 46,6% рыб в Волховской, в 31,3% рыб в Шлиссельбургской и 31,7% в Свирской губе, от числа исследованных экземпляров (1360 экз.). Особое выраженное токсическое воздействие на рыб выявлено в период раннего онтогенеза, что сопровождается специфическими проявлениями интоксикации и их гибелью – в Волховской губе до 70,0%, Шлиссельбургской до 35,0%, Свирской до 29,0% от числа исследованных экземпляров (3000 экз.);

4. В результате проведённых исследований установлено, что рыбная продукция, поступающая из южной части Ладожского озера, соответствует нормам качества и безопасности, однако антропогенное воздействие сказывается на экологическом состоянии ихтиофауны. Количественный химический анализ мышечной ткани и печени рыб, выявил превышение фоновых показателей по содержанию меди и цинка в мышцах на 15,0% ($p \leq 0,05$) и 26,0% ($p \leq 0,05$), и в печени на 23,1% ($p \leq 0,05$) и 24,2% ($p \leq 0,05$), относительно контрольных станций соответствующих акваторий. Зафиксировано достоверное увеличение концентрации свинца в мышечной ткани рыб на 16,4 % ($p \leq 0,05$) в акватории Волховской губы.

Практические предложения

Снижение загрязнения тяжелыми металлами в Ладожском озере требует комплексного подхода, который включает в себя как профилактические меры, так и активные действия по очистке:

1. Проводить регулярный мониторинг эколого-токсикологического состояния южных районов Ладожского озера, включающий в себя исследования воды, донных отложений, атмосферных осадков, а также рыб на предмет тяжелых металлов, в частности цинка и меди;

2. Повышать рыбохозяйственный потенциал данных акваторий при помощи заводского воспроизводства ценных видов рыб и вселения полноценного посадочного материала;

3. Создание буферных зон из растительности вдоль берегов водоемов может помочь задерживать осадки и снижать сток загрязняющих веществ в воду, использовать фиторемедиацию для очистки почв и водоёмов от тяжёлых металлов;

4. Обеспечение эффективной очистки сточных вод на промышленных предприятиях и в населенных пунктах, расположенных вдоль побережья озера.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы

Требуется дальнейшее изучение действия загрязняющих веществ на естественное воспроизводство рыб в литоральной зоне южной части Ладожского озера. Необходима комплексная диагностика токсикантов органической и неорганической природы, а также оценка влияния их на жизнедеятельность водных гидробионтов.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ПДК - предельно допустимая концентрация;
ПДКвр - предельно допустимая концентрация в воде водоёма, используемого для рыбохозяйственных целей;
ДОК - допустимая остаточная концентрация.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК

1. Романов, А. Ю. Современный ихтиотоксикологический режим Волховской губы Ладожского озера / А. Ю. Романов, Н. М. Аршаница, А. А. Стекольников, М. Р. Гребцов // Международный вестник ветеринарии. – 2021. – № 4. – С. 103–108.
2. Романов, А. Ю. Современное эколого-ихтиотоксикологическое состояние Шлиссельбургской губы Ладожского озера / А. Ю. Романов, Н. М. Аршаница, С. Б. Екимова // Международный вестник ветеринарии. – СПб. – 2023. – № 1. – С. 128–135.
3. Романов, А. Ю. Эколого-ихтиотоксикологическое состояние южной акватории Ладожского озера / А. Ю. Романов, Н. М. Аршаница // Международный вестник ветеринарии. – СПб. – 2023. – № 2. – С. 171–179.
4. Романов, А. Ю. Современное эколого-ихтиотоксикологическое состояние Свирской губы Ладожского озера / А. Ю. Романов, Н. М. Аршаница, С. Б. Екимова // Международный вестник ветеринарии. – СПб. – 2023. – № 2. – С. 179–188.
5. Романов, А. Ю. Аэрогенный путь поступления металлов в Ладожское озеро / А. Ю. Романов, Н. М. Аршаница, А. А. Стекольников, С. В. Хамзин // Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии / Legal regulation in veterinary medicine. – 2023. – № 2. – С. 123–126.
6. Романов, А. Ю. Патоморфологическое состояние рыб южной акватории Ладожского озера / А. Ю. Романов, Д. Д. Карпов, Н. М. Аршаница, О. В. Зеленников // Международный вестник ветеринарии. – СПб. – 2023. – № 3. – С. 218–223.

7. Романов, А. Ю. Влияние загрязнения на воспроизводство рыб южной акватории Ладожского озера / А. Ю. Романов, Н. М. Аршаница // Международный вестник ветеринарии. – СПб. – 2023. – № 3. – С. 156–163.

8. Романов, А. Ю. Влияние загрязняющего фактора на ихтиофауну Ладожского озера и меры профилактики / А. Ю. Романов, Н. М. Аршаница // Международный вестник ветеринарии. – СПб. – 2024. – № 1. – С. 192–202.

9. Аршаница, Н. М. Ксенобиотики и загрязнение Ладожского озера / Н. М. Аршаница, А. Ю. Романов // Международный вестник ветеринарии. – СПб. – 2024. – № 2. – С. 190–197.

Основные публикации в журналах, сборниках и материалах конференций:

10. Романов, А. Ю. Токсикологическая оценка ихтиофауны Ладожского озера / А. Ю. Романов / Ветеринарная лабораторная практика: матер. Междунар. науч-практ. конф. – СПб., 2025. – С.7-9.

Методические рекомендации

11. Аршаница Н. М. Эколого-ихтиотоксикологическая оценка состояния ихтиофауны южных районов литоральной зоны Ладожского озера / Н. М. Аршаница, Л. Н. Кротов, А. Ю. Романов – СПб: ЛЕМА, 2024. – 34 с.