

Санкт-Петербургский филиал федерального государственного бюджетного
научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии
(«ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга)»

На правах рукописи

Романов Алексей Юрьевич

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

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

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата ветеринарных наук

Научный руководитель:

кандидат биологических наук,

доцент

Аршаница Николай Михайлович

Санкт-Петербург
2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ.....	12
1.1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	12
1.1.1 Физико-географическая и гидрологическая характеристика Ладожского озера и рыбохозяйственное значение южных акваторий.....	12
1.1.2 Антропогенное воздействие на экосистему Ладожского озера.....	21
1.1.3 Рыбы как индикаторы качества вод.....	34
2. СОБСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	38
2.1 Материалы и методы исследования.....	38
2.2 Результаты собственных исследований.....	43
2.2.1 Физические и гидрохимические показатели качества воды южной акватории Ладожского озера.....	43
2.2.2 Содержание металлов в рыбах и среде их обитания.....	49
2.2.3 Аэрогенный путь поступления загрязняющих веществ.....	56
2.2.4 Оценка токсичности проб воды, донных отложений и атмосферных осадков методом биотестирования.....	58
2.2.5 Влияние загрязняющих веществ на воспроизводство рыб.....	91
2.2.6 Ветеринарно-санитарная экспертиза и патоморфологическое состояние рыб южных акваторий Ладожского озера.....	95
3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	112
4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	118
ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ.....	119
РЕКОМЕНДАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ.....	120
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	120
5. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	121
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	151

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Интенсивное развитие промышленности, сельского хозяйства, быстрый рост численности населения, неконтролируемое 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 (Лукьяненко, 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 исследования. 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 (Курашов, Е. А. 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 исследования

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 химических 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.

1. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1.1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1.1 Физико-географическая и гидрологическая характеристика Ладожского озера и рыбохозяйственное значение южных акваторий

Ладожское озеро находится на втором месте после озера Байкала, с площадью 17678 км², максимальной глубиной – 230 м и средней – 46,9 м, с большим запасом пресной воды – 838 км³ и зоной водосбора – 258600 км², где находится большое количество рек и озер различной величины, образующих совокупную единую систему. Оно по праву считается самым большим озером Европы (Румянцев, В. А., 2015).

Как считают авторы В. А. Румянцев (2010), Е. А. Кудерский (2010), смена воды в озере происходит один раз в одиннадцать лет. Приток и исток озера являются критериями водного баланса водоема (Рисунок 1). Основной приток в озеро связан с реками Волхов, Свирь и Вуокса, а по реке Неве осуществляется сток воды (Алекин, О. А., 1984).



Рисунок 1 - Схема водного баланса водоема и гидрологической модели водосбора (Ладога, 2013)

Вода в озере имеет низкую минерализацию, среднее значение составляет 63,7 мг/л, что объясняется поступлением воды из различных источников,

включая Волхово-Ильменский бассейн, где доминируют осадочные отложения. Этот участок характеризуется повышенным содержанием растворенных минеральных веществ.

Ладожское озеро четко разделяется на две зоны: северную, с высокой глубиной и южную, где преобладают мелководные области, а также имеются участки с средней глубиной между ними. Южная часть Ладожского озера включает в себя три крупные мелководные губы: Волховскую, Шлиссельбургскую и Свирскую (Алекин, О. А., 1984).

В юго-западной части озера находится Шлиссельбургская губа, площадь которой составляет 867 км^2 , объем воды – 6 км^3 , средняя глубина достигает – 5,8 м. Существенную значимость в предотвращении накопления загрязняющих веществ имеет дно Шлиссельбургской губы, которое покрыто каменистыми и песчаными грунтами. Эта часть акватории, известная как литоральная зона поток воды в этом месте направлен к истоку реки Невы, и как утверждает автор В. А. Румянцев (2012), данная акватория имеет важное значение для водоснабжения г. Санкт-Петербурга.

Волховская губа, с ее площадью 493 км^2 и объемом воды $3,5 \text{ км}^3$, занимает особое положение, так как литоральная зона составляет 34% ее площади. Эта губа страдает от значительного загрязнения, что оказывает серьезное воздействие на качество воды реки Невы, особенно в зимний период. Средняя глубина в средней части Волховской губы составляет 12-20 м, и восточное побережье отличается наличием изобаты на расстоянии от 0,9 до 3,0 км от берега с глубиной 5 м. Дно этой губы покрыто слоем песка и песка с илом. Объединенные речные и озерные воды формируют водный режим Волховской губы. Быстрому прогреванию воды в летний период способствуют мелкие глубины, а усиленное перемешивание воды происходит под действием ветра. В мае, за счет разрушения ледового покрова в устье реки Волхов на северной границе губы формируется фронтальная термическая зона, которая ограничивает движение речных вод вглубь озера. Летом, тепловое воздействие на поверхность

воды и ее перемешивание ветром, играют основную роль в формировании термической структуры губы (Курашов, Е. А., 2011).

Свирская губа, в которую впадает река Свирь, с площадью в 260 км², располагается в юго-восточной части озера. Большая часть бассейна реки Свирь принадлежит Онежскому озеру, и только около 12% водосбора приходится на Свирскую губу. Онежское озеро обеспечивает приблизительно 75% годового стока Свири. Русло реки имеет разную ширину в верхнем и нижнем течении, достигая максимальной ширины ниже Лодейного Поля. Средняя ширина реки составляет 180-200 м, и средняя скорость течения воды составляет 1,3-1,5 м/с. Реки Паша и Оять являются главными притоками Свири, они берут свое начало на разных возвышенностях и впадают в Свирь слева. Свирская губа включает значительную часть мелководной литорали, которая характеризуется высоким уровнем биоразнообразия и биопродуктивности (Кухарев, В. И., 2008).

Площадь и объем водной массы озера в сопоставлении с аналогичными критериями литоральной зоны южной части показывают весьма значимые величины, что важно при антропогенном воздействии (Леонов, А. Г., Тесля, А. Я. 2009; Кудерский, Л. А., 2009, 2013; Курашов, Е. А., 2011; Драбкова, В. Г., 2009; Распопов, И. М., 2002).

Литоральная зона обладает специфическими чертами, ее граница ограничена глубинами и распространяется вглубь озера от сотни метров до 10 км. Она испытывает сильное гидродинамическое воздействие, что сказывается на протекании на этой акватории различных процессов. Очень важным абиотическим фактором является ветровое волнение, которое порождает волновые течения наряду со стоковыми. Антициклонное движение вод, которое при различных направлениях ветра имеет важное значение для южной части озера. Все течения способствуют перемещению загрязняющих веществ и выносу их из литоральной зоны (Охлопкова, А. Н., 1966; Распопов, И. М., 1990).

Согласно автору В. А. Курочкиной (2012), донные отложения литоральной зоны составляют гравий, галька, песок различной крупности, мелко – и крупно алевритовый, глинистые ил и собственно глиной. В южной части прибрежной

зоны озера на глубинах 25-30 м, находятся песчаные скопления, в состав которых входят кремнь и полевой шпат. Отложения ила имеют тонкие чередующиеся слои (1-2 мм), а также цвет – серый, зелено-серый, бурый и зелено-бурый, содержат органическое вещество и гидротроилиты. Учитывая наличие органических материалов, илы могут быть классифицированы как минеральные осадки.

Согласно автору Е. А. Курашову (2011) практически все известные бентосные организмы Ладожского озера обитают в литоральной зоне. Именно здесь активно протекают химические и биологические процессы.

Особенности гидрологических и гидрохимических режимов литоральной зоны определяют характер развития гидробиоценозов и их более высокие качественные и количественные показатели по сравнению с открытой частью водоема (Распопов, И. М., 2002). Биомасса бентоса в профундале озера на глубинах более 90 м не превышает $0,5 \text{ г/м}^2$, а в прибрежной зоне отмечается величина 20-30 г/м^2 и более (Распопов, И. М., 1968; Слепухина, Т. Д., 1987).

Литоральные зоны глубоководных озёр, и в частности Ладожского озера, всегда были в центре внимания биологов, что отражено в четырёх международных конференциях по Ладожскому озеру, проведённых в период с 1996 по 2002 гг. (Распопов, И. М., 2003).

Все исследования носили гидробиологическую направленность, исключая рыб - основного объекта охраны рыбохозяйственных водоёмов и продукта питания человека. Массовая интоксикация и нарушение воспроизводства рыб в южной части озера, впервые в 1980 г. показали комплексные исследования лаборатории экологической токсикологии (ГосНИОРХ), проведенные в системе водоёмов: озеро Ильмень - река Волхов - озеро Ладожское - река Нева и Невская Губа (Фёдорова, Г. В., Аршаница, Н. М., 1988).

При последующих исследованиях (Гребцов, М. Р., 2014), проведенных в Волховской губе, отмечалось массовые поражения рыб токсикантами и довольно высокий уровень загрязнения акватории. Литоральная зона подвержена влиянию антропогенных факторов, и прежде всего загрязняющих веществ, что выражено

сказывается на биоте, включая рыб и их воспроизводство (Аршаница, Н. М., 1988), что было отмечено и другими исследователями (Распопов, И. М., 2003; Курашов, Е. А., 2011).

Актуальность и дальнейшее изучение литоральной зоны Ладожского озера определяется как ее недостаточной изученностью, так и важнейшими природоохранными показателями состояния всего водоема (Курашов, Е. А., 2011). Литоральная зона наиболее чувствительна к различному роду загрязнению и является важным информационным ресурсом для понимания экологического состояния акватории. Между основной акваторией и водосбором литораль, подобно экотону, выполняет роль своеобразного экологического барьера.

Несмотря на множество проведенных исследований в литоральной зоне, все они носили гидробиологическую направленность, исключая рыб. В то же время специалистами указываются исключительные значения литоральной зоны, как места нереста, нагула молоди и основных видов рыб озера. Вследствие этого возникает необходимость оценить состояние рыб, уровень загрязнения по ихтиопатологическим критериям, оценить влияние загрязнения на естественное воспроизводство и влияние этого фактора на перестройку структуры ихтиоценоза в водоеме.

По мнению авторов М. А. Науменко (1995); М. А. Науменко, С. Г. Каретникова, (2002), акватория Ладожского озера делится на шесть зон с постоянным уклоном дна (Рисунок 2), каждая из которых уникальна в своих особенностях – развитие биологических сообществ, перемешивание водных масс, скорость прогрева и охлаждения воды. Из-за активного турбулентного обмена, в пределах суток тепло с поверхности озера переносится до его дна. В этой части озера отмечают повышенное содержание биогенных элементов, а прозрачность воды более низкая.

Озерный уступ занимает 27% (223,3 км³) от общего воды в озере, находящийся на глубине от 50 до 70 м, с площадью 3797 км². Эта область

подвержена сильным воздействиям ветра из-за своего большого удаления от берегов.

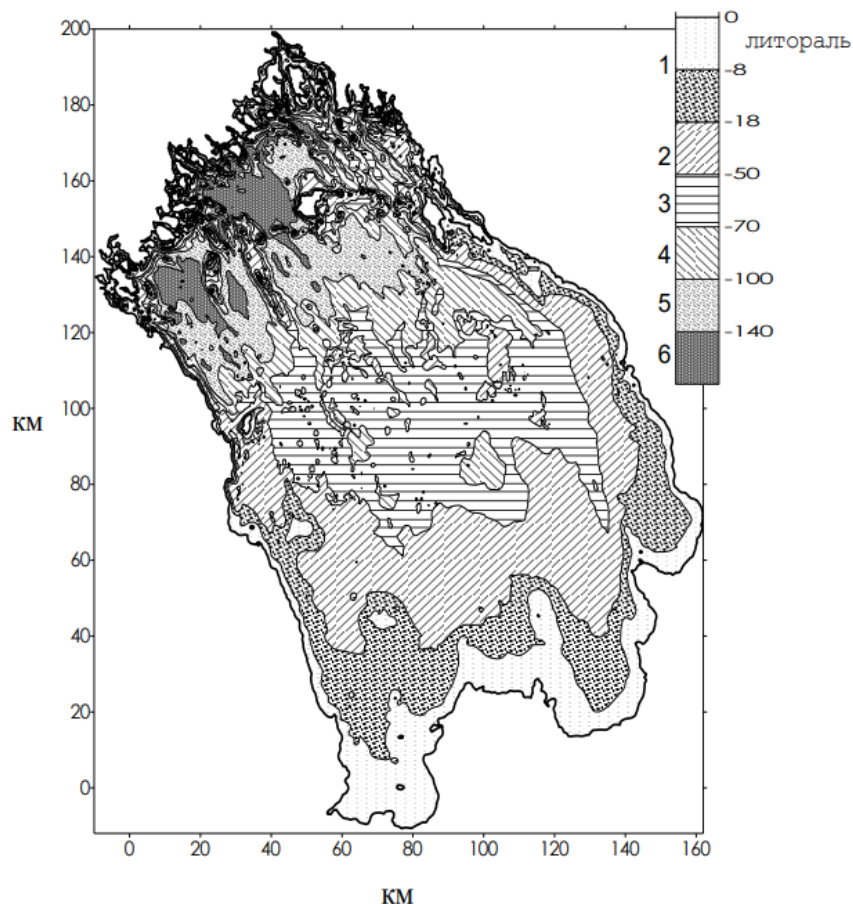


Рисунок 2 - Районы Ладожского озера с различным уклоном дна: 1 – мелководный, 2 – переходный, 3 – район озерного уступа, 4 – склоновый, 5 – глубоководный, 6 – впадины (Ладога, 2013)

К концу июля вода в этой области озера практически полностью стратифицирована, верхние и нижние слои воды практически не смешиваются.

Ладожское озеро содержит разнообразные типы донных гранулометрических отложений (Рисунок 3), включая гравийно-галечные отложения, которые чаще всего можно встретить в прибрежных зонах, поверхностных отмелях, склонах, особенно на участках с увеличенной гидродинамической активностью, и в местах, где происходит, размыв ледниковых отложений. Глубина этих отложений обыкновенно составляет от восьми до десяти метров.

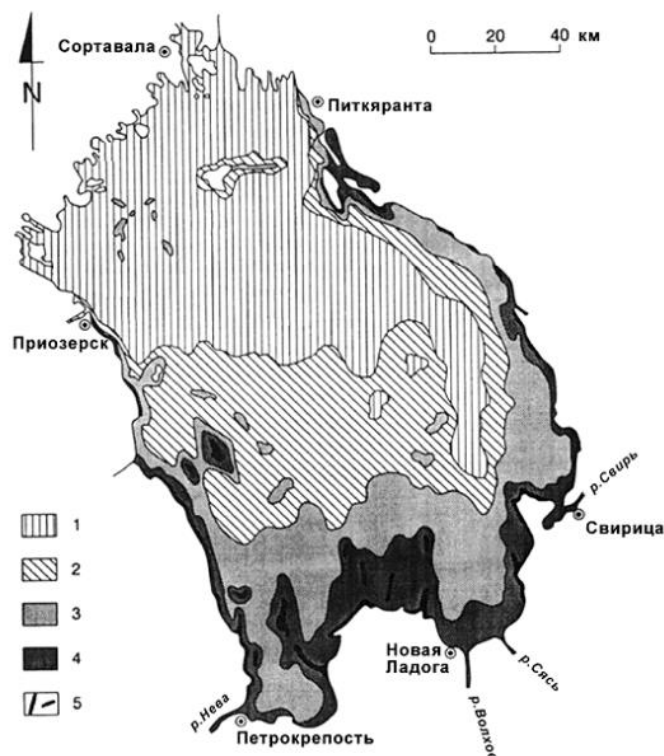


Рисунок 3 - Литологическая карта поверхностных донных отложений Ладожского озера. 1 – алевритово-глинистые илы, 2 – алевриты, 3 – пески мелко- и среднезернистые, 4 – пески крупно и грубозернистые, 5 – гравийно-галечные и валунные отложения (Ладога, 2013)

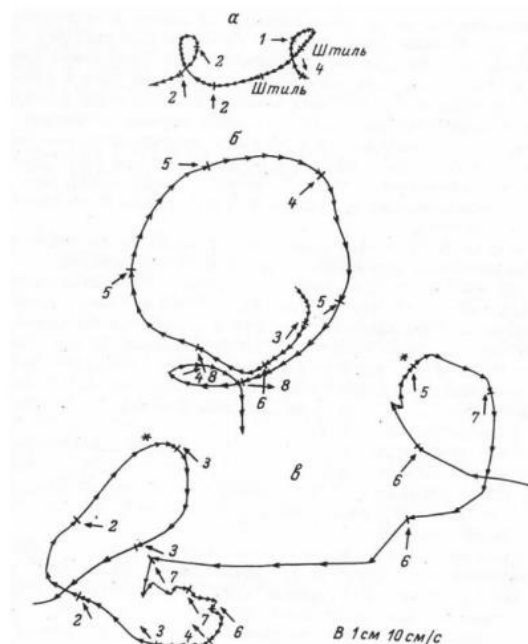


Рисунок 4 - Инерционные течения в Ладожском озере (прогрессивно-векторные диаграммы), цифрами указана скорость ветра (Ладога, 2013)

Существуют три класса течений (Рисунок 4): неравномерное нагревание воды, в различных зонах озера, вызывает различия в плотности, такое течение называется гравитационным. Аэрационное – осуществляется благодаря

воздействию ветра на водную гладь. Притоки рек создают дренажное течение. Для Ладожского озера характерны все виды данных течений. В южной части озера действует антициклонное движение вод, благодаря которому огромное значение на движение водных масс оказывает ветер. По данным Курашова, Е. А. (2011), в Шлиссельбургской, Волховской и Свирской губах, течение формируют дренажные потоки, вызванные притоками рек, а также ветер.

От сезонов года зависит характер перемещения водных масс озера. Весной, когда озеро освобождается от ледового покрова и становится относительно однородным по температуре, преобладают ветровые течения, которые становятся доминирующими в этот период.

Ввиду особенности и неоднородности термического состояния воды в летний период преобладают плотностные течения. В осенний период – ветровые течения. Согласно исследованиям А. Н. Охлопковой (1996), перенос вод происходит под действием стоковых течений. По мнению С. А. Кондратьева (2012); Н. М. Аршаницы (2016), в зимний период ледостава нарушается обычный режим течений в озере, вследствие чего загрязненные воды Волховской губы транзитом поступают к истоку реки Невы.

В обычные годы Ладога характеризуется относительно стабильным значением рН воды, расположенным в пределах от 7,2 до 7,6 и высоким содержанием в воде кислорода. Это значение обычно поддерживается с небольшими колебаниями и зависит от времени года (Сусарева, О. М., Игнатьева, Н. В., 2013).

Подобная ситуация наблюдается и относительно кислородного уровня в воде. Уровень концентрации кислорода в озере в безледное время обычно варьирует от 95% до 100% как в верхних слоях, так и на дне. Однако на некоторых участках, например, в Волховской губе, рядом с крупными притоками содержание кислорода может значительно отличаться от стандартных значений. Это может быть связано с влиянием притоков, внесением органических материалов или другими факторами, которые способны воздействовать на кислородный режим в воде (Румянцев, В. А., 2002).

Вода в Ладожском озере обладает высоким качеством по всем химическим параметрам, что соответствует характеристикам северного холодноводного озера. Гидробиологические процессы, происходящие в озере, на протяжении последних временных интервалов проявляют стабильность, частично благодаря инертности большого объема воды и медленному водообмену. В озере преобладают консервативные глубоководные зоны над активными мелководными прибрежными и губами (Румянцев, В. А., 2002).

Такие биогенные элементы, как фосфор и азот являются самыми важными показателями уровня биологической продуктивности водной акватории. Содержание фосфора колеблется от 1 до 26 мкг Рл⁻¹, а азота 640 мкг N⁻¹ (Барбашова, М. А., 2015).

На акваториях южных зон Ладожского озера, фитопланктон развивается с учетом характеристик мезотрофных водоемов. Биомасса фитопланктона составляет от 1,1 до 1,8 г/м³, а содержание хлорофилла «а» варьирует от 4,8 до 8,5 мг/м³. Однако численность и биомасса зоопланктона в верхних водных слоях, где они наиболее концентрированы, соответствуют условиям слабой мезотрофии, в то время как в гипolimнионе озера наблюдается олиготрофия. Исследования Г. И. Летанской (2013) показали, что распределение бентоса в озере неоднородно и коррелирует с глубиной. Биомасса донных организмов возрастает с увеличением глубины. Например, в Волховской губе биомасса бентоса достигает 12,6 кг/м².

Автор Е. А. Курашов (2002) в своих исследованиях заверяет, что наибольшее количество мейобентоса и зообентоса располагается в прибрежных мелководных зонах. Ладога является важнейшим субъектом в транзитной водной трассе и выполняет важную роль во всей транспортной инфраструктуре России. По мнению Л. А. Кудерского (2010), маршрут данной транспортной сети соединяет устье реки Свирь с истоком реки Невы, а также связывает внутренние районы России с Балтийским морем. Данный участок входит в состав Волго-Балтийского водного маршрута, который в свою очередь является ключевым звеном в транспортировке грузов, как в транзитном направлении, так и внутри

РФ. Глубоководность Ладожского озера позволяет большим судам (с грузоподъемностью до 5 тыс. тонн) беспрепятственно проходить по данному маршруту, что является одним из источников загрязнения Ладоги.

Однако, по мнению Л. А. Кудерского (2009), в конце двадцатого и начала двадцать первого века биологические сообщества претерпевали определенные изменения. Эти изменения в структуре ихтиофауны могут быть связаны с различными факторами, и прежде всего с антропогенным воздействием и различными ихтиологическими циклами. Замечено, что в последние десятилетия изменился уловов рыб, а главное структуры ихтиофауны в водоеме, что многие авторы связывают с антропогенными факторами и прежде всего с воздействием загрязняющих веществ (Федорова, Г. В., 1998; Кудерский, Л. А., Печников, А. С. и др., 1997; Кудерский, Л. А., 2009, Гарлов П.Е., 2020). За последние десятилетия промысловые уловы рыб в озере колебались, максимально достигая более шести тысяч тонн в год. Несмотря на снижение антропогенной нагрузки, структура уловов изменилась - в уловах стали преобладать рыбы с коротким жизненным циклом (корюшка, ряпушка, карповые). Резко снизились уловы особо ценных видов (сиги, лососи), а также снизились общие показатели уловов: так, в 2021 году они составили 1925 тонн, в 2022 году – 2368 тонн, в 2023 году – 2618 тонн.

1.1.2 Антропогенное воздействие на экосистему Ладожского озера

Бассейн водосбора Ладожского озера характеризуется как обширностью, так и большой численностью населения, наличием крупных городских поселений, развитием промышленности и сельского хозяйства.

На территории водосбора проживает более 3,5 млн человек, из них 2,7 млн городских жителей, с плотностью населения бассейна 12,4 чел./км². В бассейне озера, по имеющейся информации, располагаются сотни предприятий водопользователей (Кудерский, Л. А., 2013). Важное значение в этом отношении имеет и сельское хозяйство (Драбкова, В. Г., 2009).

В 1970-х годах прошлого столетия отмечалось бурное развитие промышленности и сельского хозяйства. При этом использовались технологии, не соответствующие экологическим нормам, зачастую даже без очистных систем. (Румянцев, В. А., Драбкова, В. Г., 2015). Резко возросла антропогенная нагрузка на озеро, что проявляется в его загрязнении и эвтрофировании, особенно выражено и пагубно сказался период 1970-1980 гг. прошлого столетия, начав снижение после известных социально-экономических событий девяностых годов прошлого века, что повлекло резкий спад в промышленности и сельском хозяйстве.

Из-за отсутствия должных природоохранных мероприятий (очистка атмосферного воздуха, сточных вод, утилизации промышленных отходов) в озеро, вместе со сточными водами, трансграничными потоками и различными выбросами, поступали огромные объемы загрязняющих веществ, таких как пестицидов, солей тяжелых металлов, нефтепродуктов, в результате чего отмечалось ухудшение среды обитания гидробионтов. Качество воды ухудшилось как вблизи источников загрязнения, так и в центральной глубоководной зоне. В прибрежной зоне благодаря температурному режиму и гидрологическим особенностям процесс самоочищения протекает куда более быстро, чем на больших глубинах, где отмечается более низкая температура и замедленный водообмен (Кудерский, Л. А., 2013).

В этот же период в Ладожское озеро ежегодно поступало около 400 млн. м³ загрязненных стоков, в том числе 167 млн. м³ без всякой очистки. В последние годы увеличилась роль аэрогенного пути поступления загрязняющих веществ, которые, в виде мокрых и сухих осадков, и загрязненного поверхностного стока, поступают в водоем. Около 200 тыс. тонн вредных веществ поступают в атмосферу из промышленных предприятий г. Кириши.

По данным института Озероведения АН РФ, в Ладогу поступало до 600 видов загрязняющих веществ, из которых 300 веществ токсичны. В 90-х г. процесс загрязнения озера не только не уменьшился, а по некоторым показателям возрос (Федорова, Г. В., 1992). В поверхностные воды, судя по

литературным данным, поступает не менее 20 тысяч наименований загрязняющих веществ (Семенов, В. В., 2014). Другие авторы, исходя из зарубежных источников, считают, что их количество доходит до 300 тысяч (Моисеенко, Т. И., 2009).

Серьёзной угрозой Ладожскому озеру может служить затопление в нём химического оружия. Известно (Гальдер, Ф., 2002), что фашистская Германия всерьёз готовилась к применению химического оружия против блокадного города Ленинграда. По данным председателя Санкт-Петербургского отделения Российского Пагуошского комитета РАН М.Б. Игнатьева, химическое оружие было захоронено в различных местах, причем это было осуществлено в условиях большой секретности. Только недавно стало известно о крупных захоронениях опасных веществ в Ладожском озере, осуществленных финскими войсками. Финская сторона признала этот факт, однако точных данных о количестве и местах его захоронений нет. Угроза присутствия химического оружия на дне Ладожского озера настолько реальна, что, начиная с 2008 года МЧС России, проводит работы по его поиску и мониторингу степени загрязнения продуктами распада боевых отравляющих веществ осадочных пород, дна и вод озера. В 2009 году на проведение этих работ МЧС было выделено 9 млн. рублей (Рыбакин, В. Н., 2009).

В воде, донных отложениях и атмосферных осадках в различные сезоны исследовались металлы. По данным ФАО, ВОЗ, ЮНЕП, тяжелые металлы (ТМ) в настоящее время занимают одну из ведущих позиций по степени опасности, опережая такие опасные загрязнители, как пестициды, диоксид углерода, соединения серы, радиоактивные отходы АЭС (Головатый, С. Е., 2002). Все эти исследования показали их наличие, но в различных количествах, что зависело, прежде всего, от акватории отбора проб. В озеро металлы поступают различными путями. Огромное их количество выносится реками, особенно рекой Волхов, поэтому на некоторых акваториях их содержание, например, по меди, цинку и другим превышает ПДК в 3-19 раз. По данным Л. А. Кудерского

(2013), высокое содержание таких металлов как цинк, медь, марганец в воде отмечалось на отдельных акваториях и превышало норму в 3-5 раз.

В результате исследований, проведенных М. Р. Гребцовым (2014), в Волховской губе (наиболее загрязненной зоной озера) отмечалась повышенная концентрация тяжелых металлов в воде и донных отложениях: при ПДК 0,001 мг/л содержание меди изменялось в пределах 0,002 мг/л - 0,009 мг/л; алюминия – 0,153 мг/л – 0,412 мг/л (ПДК 0,04 мг/л); ртути - 0,00002 мг/л - 0,00009 мг/л (ПДК – 0,00001 мг/л); цинка – 0,021 мг/л - 0,054 мг/л (ПДК 0,01 мг/л); марганца – 0,003 мг/л – 0,024 мг/л (ПДК 0,01 мг/л). Данные концентрации, являясь сублетальными, незначительно превышали ПДК. Такие металлы как хром – 0,0002 мг/л – 0,0006 мг/л (ПДК 0,02 мг/л); никель 0,0003 мг/л – 0,003 мг/л (ПДК 0,01 мг/л); мышьяк – 0,0001 мг/л – 0,0004 мг/л (ПДК 0,05 мг/л), селен – 0,00001 мг/л – 0,001 мг/л (ПДК 0,002 мг/л) и кадмий – 0,0004 мг/л – 0,0041 мг/л (ПДК – 0,005 мг/л) был ниже ПДК. Четко прослеживалась зависимость содержания металлов от источника их поступления. В донных отложениях концентрация тяжелых металлов была незначительной и не превышала ориентировочные нормативы.

По мнению авторов М. А. Перевозникова и Е. А. Богдановой (1999), концентрация опаснейших металлов в воде и донных отложениях, таких как ртуть, кадмий, свинец не достигает опасного уровня, а остальных металлов не превышает ПДК, благодаря огромному запасу воды в сочетании с гидрологическими факторами и экологической емкостью озера. Также отмечается незначительное содержание металлов в мышечной ткани рыб. Медь, свинец, кадмий, цинк, никель, ртуть, хром и др. в незначительных концентрациях постоянно накапливаются в мышечной ткани, и их концентрация увеличивается в жабрах и паренхиматозных органах. Следует отметить, что согласно исследованиям М. Р. Гребцова (2014), у исследуемых рыб, выловленных в Волховской губе, отмечалась повышенная концентрация ртути в мышечной ткани рыб.

Значение металлов и металлоидов в загрязнении поверхностных вод велико, но их количество по сравнению с ксенобиотиками и природными токсикантами менее значительно. Одной из главных причин экологического кризиса в планетарном масштабе стало появление ксенобиотиков. Ксенобиотики – это вещества, синтезированные химиками. По оценкам EPA (United States Environmental Protection Agency; агентство федерального правительства США, созданное с целью защиты окружающей среды и здоровья людей), их насчитывается более 5 миллионов, их количество ежегодно нарастает (Моисеенко Т. И., 2009). Показано, что 600 тысяч видов веществ, используются при производстве пестицидов, широко используемых в сельском хозяйстве. Они обладают уникальной биологической активностью - распространяются в окружающей среде далеко за пределы своего первоначального местонахождения. И уже на уровне микропримесей оказывают негативное воздействие на живые организмы. Уже к концу прошлого столетия мировое сообщество ученых, пришло к заключению, об опасности ксенобиотики для среды обитания человека, что отразилось в решении ООН по этой проблеме и особенно СО₃ и были приняты соответствующие решения (Ливанов, Г. А., Худолей, В. В., 2000; Моисеенко, Т. А., 2009; Blust, 2005). Конвенция была единогласно принята межправительственными организациями Европейской комиссии, GEF, WB, ФАО, UNEP и т.д. (Khudoley, V. V., 2002). Основная проблема в изучении ксенобиотиков - огромное количество и сложный процесс определения. В Ладожское озеро они поступают различными путями, воздействуя на биоту водоема и среду ее обитания.

Например, вещества органической природы могут влиять на водные объекты и на организм в целом. Исследования донных отложений показали наличие полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) и в частности, его важного и основного представителя - индикатора - 3,4 – бензпирена (3,4-БП). Это опасный канцероген класса полициклических ароматических углеводородов (Ильницкий, А. П., 1993). Он обладает высокой биохимической стабильностью и практически всегда обнаруживается вместе с другими канцерогенами ПАУ.

Как считает Н. Ф. Глазовский (1982), ориентировочная нагрузка на Ладожское озеро 3,4 – БП составляет 460 кг в год и это без учета трансэрогенного переноса продуктов сгорания топлива из Прибалтики и Восточной Европы, где модули технической нагрузки 3,4-БП в десятки раз (до 50) выше. Современные донные осадки прибрежной (литоральной) зоны являются конечным этапом миграции загрязняющих веществ, поступающих с прибрежной суши, а также из атмосферы. Это дает возможность судить о характере антропогенного воздействия на биоту прибрежной акватории (Ровинский, Ф. Я., 1988).

Из-за низкой растворимости 3,4-БП в воде (0,1-1 мкг/л) и высокой адсорбции на взвешенных частицах в результате седиментации, он сравнительно быстро переходит в донные отложения, где его концентрация намного выше, чем в воде. Исследования, проведенные в 1993, 1994 и 1998 годах, на акватории Ладожского озера показали, что в крупнозернистом песке Волховской губы содержится 3,4-БП было менее 1 мкг/кг, а в устье реки Сясь безопорен не обнаружен, тогда как в устье реки Свирь - 2,2 мкг/кг. Следует отметить, что содержание этого токсиканта в Волховской губе резко колебалось в зависимости от времени и места взятия проб и доходило до 126,0 мкг/кг (Ровинский Ф. Я., 1988). Приведённые материалы показывают наличие в воде и донных отложениях ксенобиотиков и их несомненное выраженное воздействие на биоту озера, особенно на мелководных акваториях. Ксенобиотики оказывают пагубное воздействие на биоту водоемов. Особенно опасны инсектициды. Их токсичность для рыб в остром эксперименте (СК50) колеблется в пределах от 0,6 до 0,00006 мг/л (Семенов, В. В., 2014). Следовательно, воздействие ксенобиотиков на биоту водоема и, прежде всего, на рыб, как на долгоживущие организмы, наряду с металлами и природными токсикантами, не подлежит сомнению, особенно в мелководной литоральной зоне озера. Накапливаясь в рыбах при невысоком уровне содержания в воде, могут вызывать различные негативные последствия, особенно в период раннего онтогенеза, они обладают биохимической стабильностью и всегда обнаруживается. В донных отложениях концентрация достигала 1 мкг/кг, а в устье реки Свирь – 2,2 мкг/кг (Ровинский Ф. Я., 1988).

Ранее проведенные исследования показали, что на этих акваториях концентрации высокомолекулярных соединений, в частности полихлорированных бифенилов, значительно превышали ПДК (Кудерский, Л. А., 2013). Концентрация хлорорганических соединений α - и γ -ГХЦГ практически в любой точке Ладожского озера и притоков превышает предельно допустимую. Так же отмечено повсеместное распространение в Ладожском озере такого опасного ксенобиотика как линдан (γ -ГХЦГ).

Кроме веществ органической природы, большое значение в проявлении интоксикации играют тяжелые металлы. Эти токсины всасываются с поверхности тела рыбы и жабры, накапливаются в твердых и мягких тканях, а также в различных органах через кровоток (Михайлов Е.В., и соавт., 2023, Dippong T. et al. , 2024). Тяжелые металлы, особенно Cu и Zn перераспределяются и детоксифицируются печенью. Тем не менее, благодаря своим метаболическим функциям, химическим реакциям и присущему связыванию с белками (например, металлотионеин), эти металлы накапливаются в печени. Так же надо учитывать, что биоаккумуляция зависит от условий окружающей среды (рН, температуры, солености и жесткости воды, распределения металлов и их взаимодействия с другими металлами), продолжительности воздействия, пищевого поведения, возраста, пола, размера тела, трофического положения и регулярных дневных или ночных перемещений рыб (Dippong T. et al. , 2024). Чрезвычайная токсичность вызывается Pb, Ni, Cd, Cr, Hg и As, которые являются одними из наиболее токсичных и заменимых металлов. Zn, Co, Cu, Fe и Mn необходимы для нормального функционирования метаболизма человека и животных (Карпенко Л. Ю. и соавт., 2018; Семенов, В. Г., 2021). Воздействие свинца вызывает серьезное загрязнение окружающей среды и неблагоприятные последствия для здоровья человека. Биоаккумуляция тяжелых металлов считается индикатором загрязнения водоемов и также представляет серьезную угрозу для животных, растительности и, в конечном итоге, здоровья человека. Биоаккумуляция и перенос тяжелых металлов в пищевой цепи являются важными путями воздействия и риска для здоровья человека.

Итак, накопление ксенобиотиков в экосистеме Ладожского озера является чрезвычайно сложной и крайне важной проблемой. Ее необходимо рассматривать как часть общей проблемы - катастрофической деградации экосистемы Балтийского моря. Симптомы катастрофы известны: массовая гибель тюленей, снижение их численности в связи с нарушением репродуктивной функции, гибель живых организмов, вызванная токсином водоросли *Chrysochromulina polylepis*, - все это звенья одной цепи, в которой загрязнение хлорорганическими соединениями - одна из ключевых причин катастрофы, грозящей экосистеме Балтийского моря. По данным специалистов ВНИИ Геохимии Мирового океана В. И. Гуревича (1995), в мелководных южных районах озера загрязнение донных отложений пестицидами и различными хлорорганическими соединениями достигли высокой отметки.

Одновременно с загрязнением Ладожского озера приобрели значимость процессы антропогенного эвтрофирования. Они обусловлены сбросом в озеро биогенов (фосфора и азота) с промышленных и сельскохозяйственных производств. И это привело к росту первичной продукции озера и нарушению экосистемы. При этом изменения наблюдаются во всех звеньях экосистемы озера, от первичной продукции через фитопланктон, зоопланктон, зообентос и рыб. Загрязнения Ладожского озера и антропогенное эвтрофирование водоема повлияли на изменения биологических характеристик гидробионтов, а также стали причиной интоксикации рыб. Увеличение в воде биогенов вызывает интенсивное развитие фитопланктона.

Опираясь на литературный источник «Гидрохимия и гидроптика» (1967), можно судить о том, что в 60-х годах внешняя фосфорная нагрузка была $0,14 \text{ г Рм}^{-2} \text{ год}^{-1}$. По мнению авторов Г. Ф. Расплетина, Б. Л. Гусаков (1967), уже в конце 70-х и начале 80-х годов нагрузка увеличилась и приблизилась к критическим для Ладоги параметрам - до $0,38-0,45 \text{ Рм}^{-2} \text{ год}^{-1}$. По информации из литературного источника Ладога (2013), в период с 1996 по 2003 годы фосфорная нагрузка уменьшалась и достигала уровня характерного мезотрофных водоемов: $0,16-0,23 \text{ Рм}^{-2} \text{ год}^{-1}$. Однако значимым элементом для водоема становится азот,

его содержание в воде превышает содержание фосфора в 10-15 раз. С 1976 по 2003 годы изменялась внешняя нагрузка азота на озеро от $2,3 \text{ г Нм}^{-2} \text{ год}^{-1}$ до $4,3 \text{ г Нм}^{-2} \text{ год}^{-1}$ и по новым данным среднее содержание общего азота в Ладожском озере составило 640 мкг Нл^{-1} . Самые высокие концентрации азота и фосфора отмечены в прибрежной зоне озера.

Антропогенное эвтрофирование водоема и увеличенная биогенная нагрузка на Ладожское озеро, повлияли на изменение биологических характеристик гидробионтов. Прежде всего, увеличение биогенов вызывает интенсивное развитие фитопланктона. Увеличение видовой продукции получается за счет смены видового состава водоема и массового возрастания сине-зеленых водорослей. Высокий уровень эвтрофности отмечается в Волховской губе, где концентрация хлорофилла возросла в 6 раз, а в Шлиссельбургской губе в 5 раз по сравнению с 70-ми годами (Румянцев, В. А., Драбкова, В. Г., 2015).

По мнению авторов В. В. Бульона (1983), С. П. Китаева (1984), важнейшим фактором для понимания экосистемы водной акватории является ее трофический статус и в современной лимнологии ключевым и значимым показателем данного статуса является первичная продукция – концентрация хлорофилла – а в планктоне. Температура, прозрачность воды, обеспеченность питательными элементами фитопланктона являются главными факторами контроля первичной продукции. Следует отметить, что по данным Г. И. Летанской (2000), Ладога (2013), в промежутке с 1972-2005 гг., в водоеме Ладожского озера отмечено снижение концентрации фосфора, практически на треть. Однако за это же время, не наблюдалось изменений в количестве первичной продукции и функционирования фитопланктона.

По мнению Н. А. Петровой (1990), антропогенная нагрузка на Ладожское озеро с начала 70-х годов прошлого столетия привела только к изменению в комплексе массовых видов на уровне его функциональных показателей, но при этом количество видов не изменилось, а главное соотношение количества видов осталось стабильным, хотя происходит дальнейшее снижение фосфора в воде.

Однако адекватной реакции фитопланктона не наблюдается (Летанская, Г. И., Протопопова, Е. В., 2003).

Также следует отметить некоторые особенности фитопланктона литоральной зоны южной части Ладожского озера - акватории, подвергающейся наиболее сильному антропогенному воздействию. Здесь структура фитопланктона имела свои некоторые особенности по преобладанию доминантовых видов в глубинах Шлиссельбургской, Волховской и Свирской губ. В Свирской - преобладали зеленые, золотистые и криптофитовые водоросли. В Шлиссельбургской зеленые и золотистые, а в Волховской – криптофитовые водоросли. Значительно изменилась и биомасса фитопланктона. Средняя биомасса фитопланктона для южной части озера составляла $1,8 \text{ г/м}^3$. Следует отметить, что, несмотря на антропогенную нагрузку и изменение среды обитания в период с 1973 по 2009 годы, фитопланктон достигает стабилизации, о чем свидетельствует анализ данных содержания хлорофилла «а» и его биомассы. По мнению авторов Г. И. Летанской, Е. В. Протопоповой (2003), это связано с тем, Ладога, имея свои гидрологические особенности (глубоководность и замедленным водообмен), обладает крайне высокой устойчивостью к внешним антропогенным воздействиям (Рисунок 5).

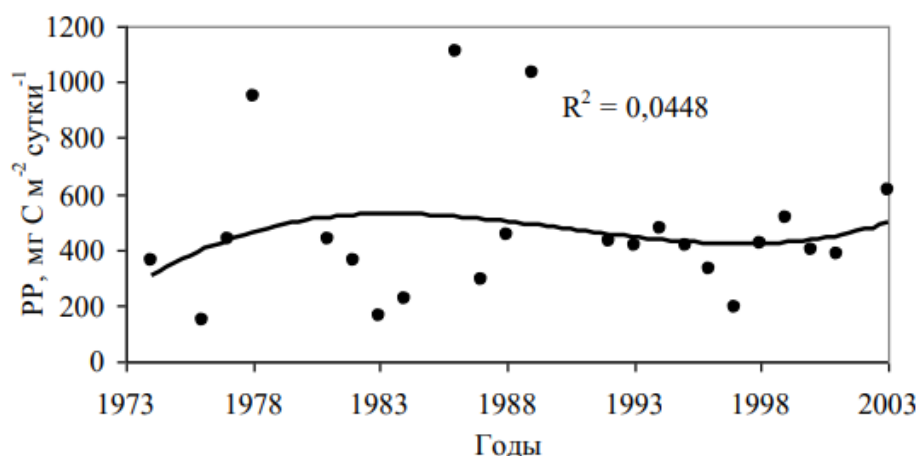


Рисунок 5 — В период июль – август 1973 – 2003 годы определены средние значения первичной продукции (PP) планктона в Ладожском озере (Ладога, 2013)

Опираясь на данные Г. И. Летанской (2000) можно сказать о том, что к началу нового столетия (2000 годам) в озере на треть сократилось количество фосфора. Но благодаря медленному водообмену, замедляющему реакцию фитопланктона на снижение фосфорной нагрузки, никаких изменений в первичной продукции и значимых показателях функционирования фитопланктона не наблюдалось.

Согласно исследованиям Н. В. Родионова (2011), зоопланктон также использовался для определения трофического статуса водоема. Согласно данным полученных в период с 1990 по 2010 год в центральной части озера никаких факторов и тенденций изменения зоопланктона не обнаружено. Это определяет центральную часть озера как слабomezотрофную зону.

Согласно авторам В. А. Сергеевой (1988), Е. А. Курашову (2007), И. Н. Андрониковой (2013), более выраженно и разнообразно проявляется реакция зоопланктона на воздействие загрязняющих веществ в мелководной литоральной зоне, на участках, расположенных вблизи источников загрязнения – в «зонах экологического риска». Это связано с дестабилизацией таксономических структур, патологических проявлений у гидробионтов и сопровождается наличием новообразований и наличием мертвых особей.

Антропогенная нагрузка выраженно сказалась и на мейзообентосе. Оказалось, что наиболее выраженные и достоверные изменения происходили только в прибрежной зоне озера, выразившиеся в увеличении биомассы мейзообентоса с 2717 до 6137 мг/м². На всех других акваториях также прослеживаются повешения количества его биомассы, но при этом не отмечено изменений трофической структуры. Уменьшение антропогенной нагрузки на озеро привело к определенным изменениям в экосистеме и экологическом состоянии озера, что сказалось на состоянии мейзообентоса.

Что касается состояния макробентоса, то показателем антропогенного воздействия на эти организмы стало сокращение чувствительных видов реликтовых ракообразных, таких как *Pallusiola quadrispinosa*.

По данным литературных источников N. Davydova (1992), E.A. Kurashov (1999), Ладога (2013), данные виды являются показателями олигобетамезасапробной зоны, и способны существовать только лишь при слабом уровне загрязнения токсическими и органическими веществами. На участках озера, испытывающих сильное антропогенное влияние, у личинок хирономид отмечались морфологические отклонения в строении ротового аппарата и щетинок олигохет, что свидетельствует о загрязнении данных акваторий.

Как следует из литературного источника Ладога (2013), ввиду снижения антропогенной нагрузки на озеро, сократившиеся на данное время редкие виды макрозообентоса, стали обнаруживаются в донных биоценозах, что свидетельствует об улучшении экологического состояния водоема. По мнению таких авторов, как М. А. Барбашова (2007, 2008, 2013); И. М. Распопова (2003), Н. П. Финогенова (1999), Н. В. Игнатьева (2013), Е. А. Курашова (2010, 2012), главным интегрирующим фактором развития макробентоса в открытых районах Ладоги является глубина, тогда как в мелководной части озера литоральной зоны основная роль принадлежит загрязнению.

Антропогенное воздействие на озеро в период 70-80-х годов прошлого столетия оказало воздействие на биоту водоема, но особенно выражено на ихтиофауну, что прежде всего сказалось на организменном уровне рыб и повлекло к дальнейшим негативным последствиям. Комплексные исследования ГосНИОРХ на водоемах водосбора озера, проведенные в 80-х годах прошлого столетия, впервые показали массовое поражение рыб всех исследованных видов и возрастных групп, включая личинок, токсикозом. Поражение рыб в очагах загрязнения южного побережья Ладожского озера доходило до 70%-80% от числа исследованных рыб. Исходя из исследований Н. М. Аршаницы (1988), отмечалось загрязнение водоема, выражавшееся в поражении рыб токсическими веществами с последующей интоксикацией. Также установлен факт массового поражения личинок, что главным образом указывает на нарушение естественного воспроизводства. Гистологические исследования рыб дали возможность показать, что у рыб отмечены серьезные патологические

проявления токсикоза на клеточном уровне. Поражения отмечались во всех исследованных органах – жабрах, печени, почках, сердце и др. У некоторых особей были выявлены высокие степени поражения, ведущие к гибели (Чинарёва, И. Д., 1988). Последующие исследования личинок рыб на акватории южной части Ладожского озера проводились в 1989-1990-х годах, и также показали их массовое поражение токсикозом (Огородникова В. А., Суслопарова О. Н., 1995). Было показано изменение личинок различных видов рыб. Так у 40% личинок судака была обнаружена брюшная водянка, у личинок окуня – изменение окраски тела и другие отклонения от нормы. У молоди карповых рыб, обитающих на литорали, воздействие токсического фактора было более выраженное – отклонение от нормы достигало 50,0%. Высоким был процент поражения личинок из предустьевых акватории рек Волхова и Сясь (от 30 до 100 %), большинство из них имели измененную окраску тела, отставание в росте, поражение печени, отмечалось искривление осевого скелета. Авторы полагают, что из обитающей в литорали личиночной молоди карповых рыб, по меньшей мере, половина погибает на ранних этапах роста из-за высокой степени загрязнения водоема.

Исследования, проведенные М. Р. Гребцовым в 2014 г. в Волховской губе Ладожского озера, показали, что поражение рыб токсинами по-прежнему носили массовый характер. Патологии отмечались у всех исследуемых рыб, в основном были поражены жабры, желудочно-кишечный тракт, головной мозг, паренхиматозные органы. По мнению Г. В. Федоровой, Н. М. Аршаницы (2011), Л. А. Кудерского (1983, 2007, 2013), высокая антропогенная нагрузка 70-х годов на Ладожское озеро негативно отразилось на естественном воспроизводстве рыб. В результате чего количество наиболее чувствительных к воздействию загрязняющих веществ ценных видов рыб в озере сократилось.

Если раньше уловы лосося достигали 300 тонн и сига 800 тонн в год (Гусаков, Б. Л., 1987), то в настоящее время 7 и 20 тонн, соответственно. И основу уловов составляют рыбы с коротким жизненным циклом – корюшка, ряпушка, карповые и окунёвые (Алхименко, А. П., 2009; Драбкова, В. Г., 2009).

1.1.3 Рыбы как индикаторы качества вод

В поверхностные воды различными путями поступают, по меньшей мере, десятки тысяч наименований загрязняющих веществ, количество которых постоянно возрастает за счет ксенобиотиков, что сказывается на качестве воды по рыбохозяйственным и санитарно-гигиеническим критериям. Биологами и медиками разработано около трех тысяч ПДК (Семенов, В. В., 2014). Однако концепция ПДК в стратегическом плане контроля качества вод бесперспективна, несмотря на то, что этот метод в настоящее время является важным механизмом сдерживания масштаба и темпов загрязнения рыбохозяйственных водоемов и прежде всего по металлам.

Ввиду наличия в воде множества загрязняющих веществ аналитический контроль качества вод крайне проблематичен, необходимо учитывать, что в водоеме токсиканты образуют комплексные соединения, происходит их трансформация, деградация, синергизм, метаболизм, действие продуктов распада и пр. Ввиду этого, при разработке методологии и наиболее информативных и экспрессивных методов мониторинга поверхностных вод особое внимание уделяют биологическим методам контроля качества вод (биоиндикации и биотестированию). В качестве биоиндикаторных организмов были предложены и используются различные организмы водной биоты, включая моллюсков и паразитов рыб (Попов, П. А., 2002).

Особого внимания заслуживает биоиндикация на представителях зоопланктона и зообентоса, дающая убедительные показатели антропогенного воздействия на водоемы. Однако эти методы связаны с лабораторной обработкой данных, довольно трудоемки, а также продолжительны по времени, и потому не являются экспресс методами, что является важным элементом контроля качества вод, в виду многочисленности рыбохозяйственных водоемов в России, их обширности и выраженного антропогенного воздействия на них.

Первым исследователем, обосновавшим использование рыб в качестве незаменимых биоиндикаторных организмов, был В. И. Лукьяненко (1983, 1987).

Рыбы выступают не только в качестве биологических индикаторов эколого-токсикологического состояния водных экосистем, но и могут служить для оценки состояния рыбного населения водоема в целом и рыбных ресурсов. Также они являются носителями интегральной информации об экологическом состоянии водной среды и имеют в этом отношении преимущества по сравнению с другими группами водных организмов. Они интегрируют неблагоприятные эффекты всего комплекса воздействия на водные экосистемы.

Среди всех живых организмов только рыбы могут подвергаться разнообразным диагностическим исследованиям, которые напрямую или косвенно связаны с оценкой их состояния и окружающей среды. Эти исследования охватывают широкий спектр аспектов, включая патологоанатомический анализ, анализ популяций и видового состава, исследование паразитов, исследования в области этиологии, физиологии, биохимии, цитогенетики и иммунологии (Попов, П. А., 2002). Реакция рыб на организменном уровне связана с наличием у них центральной нервной системы, четкой дифференциацией органов и тканей.

Результаты исследований В. И. Лукьяненко и других специалистов дали возможность показать, что воздействие загрязняющих веществ на рыб, сказывается на рыбах всесторонне. В. И. Лукьяненко первый провел оценку течения биологических процессов в водоеме, используя рыб, в качестве индикаторных организмов, на уровне особи, популяции и ихтиоценоза. Среди всех водных организмов накапливающих патологическую информацию, связанной с воздействием загрязняющих веществ, рыбы имеют огромное преимущество, так как им характерны те же проявления патологических процессов, что и для теплокровных животных. Они обладают длительным жизненным циклом и способны накапливать в себе патологическую информацию о состоянии водной среды за длительный период (хронический токсикоз), а также первыми реагируют на резкое повышение уровня загрязнения (острый токсикоз). Благодаря этому исследование рыбы дает интегральное представление об экологическом состоянии водоема в целом и

отдельных его акваториях. У рыб отмечена выраженная видовая и возрастная чувствительность к основным типам загрязнения акваторий.

Для мониторинга загрязнения водоемов организмы должны отвечать таким требованиям: накапливать токсикант, иметь большую численность, продолжительный жизненный цикл, иметь крупные размеры, быть репрезентативными с точки зрения отражения степени загрязнения по тем или иным морфологическим и экологическим параметрам (Кашулин, Н. В., 1999). Этими качествами обладают именно рыбы.

При использовании рыб в качестве индикаторных организмов, оценка состояния экосистем осуществляется на уровне особи, популяции и ихтиоценоза (Кудерский, Л. А., 2007). Следует учитывать и то, что рыбы на разных этапах онтогенеза обладают не одинаковой чувствительностью к токсикантам. На рыбах возможно проведение таких ихтиоиндикационных методов: популяционно-видовой, по составу паразитов, этологический, физиологический, патологоанатомический, гистологический, биохимический, гематологический, иммунологический и др. (Попов, П. А., 2002). Все указанные методы достаточно хорошо разработаны и используются в основном в научных целях.

Выбор рыб в качестве индикаторных организмов очевиден и обусловлен тем, что только к ним, в отличие от остального водного гидробионта, применим морфологический метод исследования, включающий в себя патологоанатомическое и патоморфологическое исследование. Данный экспресс-метод является наиболее результативным, он легко применим на водоеме, и не требует особых условий. Метод уже на протяжении долгих лет находят успешное применение в медицине и ветеринарии, а также в ихтиопатологии. При интоксикациях и болезнях иной этиологии, он учитывает визуальное проявление патологического процесса. Н. М. Аршаница и Л. А. Лесников (1987) разработали пятибалльную систему оценки патологоанатомического состояния рыб, а позднее Н. М. Аршаница впервые предложил методику патологоанатомического исследования рыб, которая успешно используется при исследовании патологического состояния рыб на

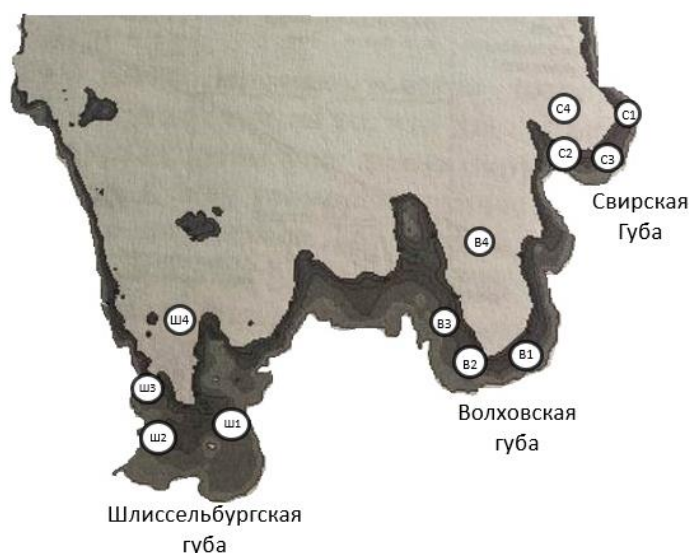
рыбохозяйственных водоемах и рыбоводных хозяйствах (Соболев, К. Д., 2004; Кольчугина, О. А., 2009; Стекольников, А. А., 2013). В связи с этим, в главе «Результаты исследований», дается развернутое описание этого метода. Особенности рыб как биоиндикаторных организмов качества вод, сделали их незаменимыми в этом отношении, и они стали общепринятыми объектами исследований не только в ихтиопатологии, но и ихтиологии (Лукьяненко, 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).

Заключение по обзору литературы. На основании проведенного метаанализа открытых литературных источников за последние несколько десятилетий, сделан вывод, что на южные акватории Ладожского озера могут влиять многие факторы как органической, так и неорганической природы. Так, же установлено, что в Ладожском озере встречаются массовые поражения рыб, кроме этого в последние десятилетия изменился улов рыб: 2021 г. они составили 1925 т, в 2022 г. – 2368 т, в 2023 г. – 2618 т. Кроме этого изменилась и сама структура ихтиофауны в водоеме, при этом многие авторы связывают это с антропогенными факторами и прежде всего с воздействием загрязняющих веществ. В структуре уловов стали преобладать рыбы с коротким жизненным циклом (корюшка, ряпушка, карповые). Вышеуказанные проблемы создают предпосылки для изучения эколого-токсикологического исследования южной части Ладожского озера, с целью определения его рыбохозяйственного потенциала, а также качества безопасности рыбной продукции данных водоемов.

2. СОБСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Материалы и методы исследования

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 обширные 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 6).



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 6 — Станции отбора проб на южной акватории Ладожского озера

В процессе отбора проб проводили измерения физических и гидрохимических параметров зондом Aqua Troll 500. Данный прибор фиксировал 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 (в редакции от 13.06.2024 г.).

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. З. и др., 1988). Результаты определения концентраций металлов в воде, донных отложениях и рыбе сравнивали с существующими нормативами (СанПиН 2.3.2.1078.01).

В данной работе 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.

При подготовке к опыту были соблюдены все требования к содержанию тест-объекта. Культивационная вода соответствовала следующим требованиям: рН 7,0-8,5; температура $+22 \pm 2^{\circ}\text{C}$; жесткость общая 80-250 мг/дм³ и не менее 6 мг/л концентрация растворенного кислорода.

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 то же 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, где:

- 1 – Не выявлено визуальных патологических изменений;
- 2 – Выявлены легкие повреждения, как правило, часто обратимые, не угрожающие рыбам гибелью;
- 3 – Выявлены повреждения средней тяжести, проявляющиеся внешне при вскрытии;
- 4 – Выявлены опасные повреждения, имеющие, как правило, необратимый характер и угрожающие жизни рыб, особенно при действии стресс-факторов и в период зимовки;
- 5 – Выявлены признаки предсмертного состояния: глубокие и необратимые повреждения жизненно важных органов, агональное и коматозное состояние, нарушение координации движений и гидростатического равновесия, конвульсии, общая анемия и пр.

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.

2.2 Результаты собственных исследований

2.2.1 Физические и гидрохимические показатели качества воды южной акватории Ладожского озера

Вода Ладожского озера характеризуется низкой минерализацией, гидрокарбонатно-кальциевым составом, небольшим превышением содержания сульфатных ионов над хлоридными. В начале 60-х годов средняя сумма ионов была около $55 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$. В 1977-1981 гг. средняя минерализация основной водной массы озера (профундальная и ультрапрофундальная зоны) за период открытой воды повысилась до $62,9 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$. В 1991—1998 гг. средняя за 9 лет сумма ионов равнялась $63,7 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$. Отчетливой однонаправленной тенденции изменений с конца 70-х годов не прослеживается, но по сравнению с 1960 г. минерализация воды увеличилась почти в 1,2 раза.

Минерализация повышается главным образом за счет роста концентрации SO_4^{2-} и Cl^- , что косвенно свидетельствует о преобладании роли антропогенного фактора в изменении суммы ионов. Многолетние наблюдения за электропроводностью воды Ладожского озера свидетельствуют о ее увеличении. Среднегодовое значение электропроводности водной массы возросло от 75,5 в 1968 г. до $85,7 \text{ мкS} \cdot \text{см}^{-1}$ в 1989 г. (Крючков, А. М., 1992). На изменение электропроводности воды в озере влияют многолетние колебания речного притока, вызывая ее рост в маловодные фазы, и антропогенное воздействие. В период 1968-1988 гг. отмечалось увеличение электропроводности - $6 \text{ мкS} \cdot \text{см}^{-1}$, вызванное антропогенным воздействием (Расплетина, Г. Ф., 2002). Нормальный процесс жизнедеятельности рыб, может происходить только при оптимальных величинах, включая такой абиотический фактор, как концентрация водородных ионов (pH). Величина pH является важнейшим экологическим фактором, оказывающим неспецифическое влияние, как на степень токсичности отдельных токсикантов, так и на уровень токсикорезистентности рыб. Именно поэтому в водоёмах должны учитывать

особенности величины и колебания рН. Нормальными принято считать колебания показателя рН в рыбохозяйственном водоёме в пределах от 6,5 до 8,5. На основании этого, 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 (Т, °С), минерализация (Мн), концентрация растворенного кислорода (O₂), электропроводность (Эл), окислительно-восстановительный потенциал (Еh) и водородный показатель (рН). Анализ данных проведен в периоды с 2021 по 2022 гг., и результаты представлены в таблицах 1, 2, 3.

Из таблицы 1 следует, что температура в период исследования менялась от 8,9 до 20,5°С при среднемесячных значениях 15,1°С. Показатель электропроводности варьировал от 61 до 196,2 мкS/см (при СМЗ 96,7 мк S/см) с преобладанием самых больших значений в Волховской губе (станции В1, В2), что, как и в предыдущие годы, обусловлено влиянием вод реки Волхов.

Таблица 1 — Физические и гидрохимические показатели акватории Ладожского озера (июль 2021 г.)

Акватории	Станция	h, м	Горизонт	Т, °С	Эл, мкS/см	Мн, г/л	O ₂ , мг/л	% нас., (O ₂)	рН	Еh, mV
Волховская губа	В1	6	поверхность	20,5±0,7	196,2±0,7	0,131±0,070	10,3±0,4	99,8±1,2	7,5±0,5	112,0±1,2
			дно	19,1±0,4	199,3±0,6	0,095±0,003	10,5±0,3	101,7±1,3	8,3±0,4	87,0±0,9
	В2	6,3	поверхность	19,8±0,3	162,8±0,5	0,077±0,005	10,1±0,7	97,4±0,2	8,3±0,3	94,0±0,9
			дно	18,2±0,4	171,1±0,3	0,110±0,040	10,0±0,8	96,5±0,9	8,2±0,3	91,0±1,5
	В3	6,5	поверхность	18,6±0,3	110,7±0,6	0,072±0,002	11,4±0,3	103,3±1,1	8,2±0,1	62,0±1,2
			дно	17,3±0,5	111,1±0,9	0,072±0,006	11,5±0,4	103,6±1,0	7,9±0,8	110,0±0,9
	В4	10	поверхность	17,7±0,2	132,4±0,4	0,086±0,008	10,8±0,6	104,1±0,9	8,4±0,6	73,0±1,5
			дно	15,2±0,2	125,2±0,4	0,081±0,003	11,2±0,9	103,4±0,6	7,9±0,7	134,0±1,6

Свир- ская губа	C1	7,1	поверхность	13,5±0,3	47,0±0,6	0,031±0,006	10,4±0,8	100,5±0,9	8,0±0,6	106,0±1,8
			дно	12,8±0,2	46,2±0,2	0,030±0,004	10,3±0,6	99,0±0,6	7,8±0,9	133,0±1,3
	C2	8,3	поверхность	13,6±0,4	47,3±0,2	0,021±0,009	10,5±0,4	100,1±0,5	8,2±0,4	83,0±1,8
			дно	13,3±0,2	48,3±0,3	0,031±0,002	10,4±0,5	98,9±0,7	8,0±0,2	111,0±1,7
	C3	6,4	поверхность	13,8±0,4	62,8±0,4	0,029±0,004	10,8±0,5	101,3±0,9	8,3±0,6	82,0±1,5
			дно	13,4±0,6	61,0±0,6	0,028±0,005	10,8±0,6	101,4±1,6	8,2±0,4	99,0±1,6
	C4	22	поверхность	9,7±0,2	76,8±0,7	0,049±0,003	12,4±0,2	105,5±1,4	8,2±0,2	124,0±1,4
			дно	8,9±0,3	87,1±0,2	0,057±0,007	12,5±0,7	100,7±1,3	8,2±0,4	133,0±0,8
Шлис- сель- бург- ская губа	Ш1	8	поверхность	16,5±0,5	89,5±0,5	0,058±0,002	11,0±0,6	102,8±0,8	8,4±0,5	83,0±1,0
			дно	14,6±0,1	95,8±0,3	0,062±0,009	11,6±0,4	104,3±1,2	8,3±0,7	122,0±1,6
	Ш2	3,5	поверхность	14,7±0,6	95,3±0,4	0,062±0,008	11,2±0,3	103,5±1,3	8,4±0,8	56,0±1,0
			дно	13,4±0,2	95,5±0,6	0,062±0,008	11,5±0,8	104,8±1,2	8,3±0,9	115,0±1,2
	Ш3	5	поверхность	12,6±0,4	99,0±0,3	0,061±0,007	10,6±0,9	99,4±1,3	8,1±0,9	120,0±1,5
			дно	10,6±0,2	95,8±0,1	0,062±0,004	11,6±0,7	104,3±1,2	8,3±0,3	122,0±1,5
	Ш4	15	поверхность	13,5±0,4	96,5±0,6	0,057±0,003	10,4±0,6	103,4±1,6	7,9±0,2	120,0±0,2
			дно	9,5±0,3	95,4±0,3	0,054±0,004	10,5±0,3	102,4±0,9	7,4±0,3	118,0±0,3

В прямой корреляции с показателем электропроводности варьировал показатель минерализации – от 0,021 до 0,131 (Волховская губа). Полученные результаты согласуются с данными, отражёнными в докладе Комитета по природным ресурсам Ленинградской области за исследуемый период. Содержание растворённого кислорода менялось от 10,0 до 12,5 мг/л, и в среднем по озеру составляло 9,9 мг/л. Процент насыщения кислородом также был высоким и в среднем по озеру составил 98,9%. Величина окислительно-восстановительного потенциала менялась от 56 до 134 mV, при среднемесячных

значениях 163, рН варьировал от 7,5 до 8,4 при среднемесячных значениях 7,7. Окислительно-восстановительный потенциал (Eh) является одной из важных характеристик окислительно-восстановительного состояния природных вод. Он в значительной степени определяет геохимическую подвижность элементов с переменной валентностью и формы их миграции. От окислительно-восстановительного потенциала и рН зависит жизнедеятельность микроорганизмов, направление и способы трансформации органического вещества природных вод. Окислительно-восстановительный потенциал любого озера неразрывно связан с его рН, поэтому измерения Eh должны всегда дополняться измерениями рН. Влияние рН на Eh раствора заключается в различном изменении устойчивости окисленных и восстановленных форм ионов, образующих обратимые окислительно-восстановительные системы, при изменении рН.

Таблица 2 — Физические и гидрохимические показатели акватории Ладожского озера (сентябрь 2021 г.)

Акватории	Станция	h, м	Горизонт	T, °C	Эл, мкS/см	Mn, г/л	O ₂ , мг/л	% нас, (O ₂)	pH	Eh, mV
Волховская губа	B1	6	поверхность	14,3±0,2	241,1±0,7	0,131±0,006	9,2±0,2	91,5±1,2	7,6±0,3	114,0±1,3
			дно	14,3±0,2	205,2±0,4	0,126±0,004	10,5±0,2	87,7±0,6	7,6±0,2	81,0±1,2
	B2	6,3	поверхность	14,1±0,3	171,1±1,2	0,129±0,007	9,9±0,4	96,6±1,2	8,3±0,3	94,0±1,4
			дно	14,0±0,4	162,8±0,3	0,098±0,003	9,7±0,2	96,5±0,6	8,1±0,2	93,0±1,7
	B3	6,5	поверхность	16,7±0,3	124,2±1,4	0,081±0,005	10,1±0,6	96,6±0,4	7,9±0,3	33,0±1,2
			дно	16,3±0,5	100,6±1,2	0,075±0,005	9,9±0,4	92,6±1,3	7,8±0,4	37,0±1,2
	B4	10	поверхность	15,7±0,7	113,82±1,3	0,084±0,003	9,3±0,2	100,3±1,2	8,0±0,2	11,0±0,7
			дно	15,2±0,6	113,9±1,6	0,078±0,001	9,2±0,4	98,8±1,3	8,0±0,1	26,0±0,6
Свирская губа	C1	7,1	поверхность	14,5±0,4	97,0±0,9	0,031±0,002	10,4±0,2	98,5±1,4	8,0±0,3	106,0±1,7
			дно	14,5±0,2	96,2±1,4	0,030±0,005	10,3±0,4	98,1±1,6	7,8±0,2	133,0±1,6
	C2	8,3	поверхность	14,1±0,3	81,3±1,6	0,071±0,008	9,7±0,3	98,9±1,2	7,9±0,3	83,0±1,3
			дно	14,0±0,7	80,3±1,2	0,067±0,004	9,7±0,6	98,9±1,4	7,9±0,5	111,0±1,3
	C3	6,4	поверхность	13,3±0,2	93,8±1,7	0,069±0,005	10,8±0,7	101,3±0,9	7,8±0,4	82,0±1,2
			дно	13,1±0,3	87,0±1,6	0,058±0,003	10,8±0,3	101,4±0,9	7,8±0,6	99,0±1,4
	C4	22	поверхность	13,9±0,2	76,8±1,2	0,049±0,040	9,7±0,6	97,5±0,7	7,8±0,2	110,0±1,2
			дно	9,1±0,4	61,0±1,3	0,028±0,002	9,7±0,3	95,4±1,0	7,8±0,4	102,0±1,3

Продолжение табл. 2

Шлиссель- бургская губа	Ш1	8	поверхность	14,5±0,6	89,5±1,4	0,058±0,004	11,0±0,2	99,8± 1,3	7,8±0,3	83,0± 1,7
			дно	12,6±0,7	95,8±1,6	0,062±0,007	10,6±0,8	99,3± 1,4	7,7±0,8	122,0± 1,9
	Ш2	3,5	поверхность	11,7±0,9	95,3±1,7	0,062±0,004	9,7±0,6	98,5± 1,5	8,0±0,4	56,0± 1,2
			дно	11,4±0,8	95,5±1,2	0,062±0,030	9,7±0,5	98,4± 1,5	8,0±0,2	115,0± 1,4
	Ш3	5	поверхность	12,6±0,6	99,0±1,4	0,061±0,002	10,6±0,3	99,4± 1,4	7,9±0,6	120,0± 1,6
			дно	11,6±0,8	94,1±1,9	0,061±0,003	9,9±0,2	99,1± 1,6	7,3±0,4	98,0± 1,7
	Ш4	15	поверхность	10,3±0,5	96,4±1,4	0,060±0,004	9,8±0,1	98,2± 1,2	7,0±0,3	97,0± 0,9
			дно	10,0±0,2	95,3±1,6	0,058±0,002	9,6±0,6	96,3± 1,1	7,6±0,4	98,0± 0,8

Из таблицы 2 следует, что температура в период исследования менялась от 9,1 до 19,6°C при среднемесячных значениях 11,8°C. Показатель электропроводности варьировал от 61 до 241,1 мкS/см (при СМЗ 94,4 мк S/см) с преобладанием самых больших значений в Волховской губе (станции В1, В2). Показатель минерализации – от 0,028 до 0,131 (Волховская губа). Концентрация растворенного кислорода варьировала в диапазоне от 9,3 до 10,8 мг/л, среднее значение по озеру составляло 9,9 мг/л. Уровень насыщения кислородом также оставался высоким, средний процент насыщения по озеру составлял 99,0%. Величина окислительно-восстановительного потенциал менялась от 26 до 133 mV, при среднемесячных значениях 163, рН варьировал от 7,3 до 8,3 при среднемесячных значениях 7,7. Полученные данные соответствуют среднемесячным сезонным значениям.

Из таблицы 3 следует, что температура в период исследования менялась от 9,3 до 20,1 °C при среднемесячных значениях 11,8°C. Показатель электропроводности варьировал от 71 до 177,7 мкS/см (при среднемесячных значениях 94,4 мк S/см) с преобладанием самых больших значений в Волховской губе (станция В3).

Таблица 3 — Физические и гидрохимические показатели акватории Ладожского озера (июль 2022 г.)

Акватории	Станция	h, м	Горизонт	T, °C	Эл, мкS/см	Mn, г/л	O ₂ , мг/л	% нас, (O ₂)	pH	Eh, mV
Волховская губа	B1	6	поверхность	20,1±0,7	160,2±0,8	0,103±0,060	9,4±0,5	103,2±1,3	8,2±0,4	133,0±1,3
			дно	19,3±0,6	187,3±0,6	0,122±0,020	8,8±0,3	95,5±1,5	7,8±0,3	80,0±1,2
	B2	6,3	поверхность	19,4±0,2	158,9±0,9	0,103±0,030	9,8±0,7	106,2±0,9	8,3±0,2	43,0±0,8
			дно	18,6±0,3	171,1±0,7	0,115±0,050	9,5±0,5	101,3±1,4	8,1±0,4	62,0±0,7
	B3	6,5	поверхность	17,7±0,2	177,7±0,5	0,067±0,008	10,6±0,3	110,5±1,6	8,1±0,5	71,0±1,2
			дно	15,8±0,5	103,3±0,6	0,066±0,003	10,6±0,2	106,7±1,2	8,2±0,7	83,0±1,3
	B4	10	поверхность	18,6±0,3	102,2±0,9	0,114±0,010	9,7±0,6	103,5±1,4	8,0±0,6	66,0±1,8
			дно	17,4±0,4	101,2±0,7	0,092±0,003	11,0±0,4	98,5±1,3	7,8±0,2	84,0±0,9
Свирская губа	C1	7,1	поверхность	12,8±0,5	94,5±0,8	0,061±0,002	11,2±0,3	105,7±1,7	8,0±0,1	99,0±0,6
			дно	12,7±0,8	94,9±0,6	0,062±0,007	11,3±0,1	106,1±1,0	8,0±0,6	115,0±1,8
	C2	8,3	поверхность	12,8±0,6	84,3±0,8	0,055±0,005	11,2±0,5	105,5±0,9	7,9±0,5	90,0±1,3
			дно	12,6±0,4	83,9±0,7	0,055±0,006	11,3±0,2	105,5±1,5	7,9±0,2	125,0±1,8
	C3	6,4	поверхность	15,8±0,2	71,8±0,6	0,032±0,003	10,2±0,3	102,3±1,8	7,7±0,3	109,0±1,6
			дно	15,6±0,3	71,0±0,4	0,032±0,004	10,3±0,4	101,8±1,3	7,6±0,2	131,0±0,9
	C4	22	поверхность	9,8±0,2	93,8±0,7	0,061±0,003	12,0±0,6	105,7±1,9	7,9±0,4	131,0±1,4
			дно	9,4±0,9	95,9±0,6	0,062±0,006	12,0±0,8	101,6±1,2	7,9±0,5	111,0±1,6
Шлиссельбургская губа	Ш1	8	поверхность	16,5±0,4	95,5±0,5	0,062±0,001	10,4±0,1	105,8±1,4	7,7±0,6	84,0±0,7
			дно	14,6±0,4	94,8±0,5	0,062±0,002	10,5±0,4	98,7±1,6	7,8±0,5	156,0±1,9
	Ш2	3,5	поверхность	14,7±0,1	84,3±0,3	0,055±0,003	10,9±0,6	105,5±1,4	8,4±0,3	70,0±0,7
			дно	13,4±0,6	87,5±0,8	0,057±0,006	11,0±0,4	105,2±1,5	8,1±0,1	92,0±0,9
	Ш3	5	поверхность	11,6±0,3	91,1±1,2	0,057±0,007	11,2±0,7	103,4±1,5	8,0±0,2	87,0±0,4
			дно	10,4±0,7	90,8±0,9	0,066±0,005	11,5±0,4	98,9±1,0	7,8±0,2	98,0±1,2
	Ш4	15	поверхность	10,5±0,6	94,3±1,0	0,063±0,002	10,5±0,5	101,2±1,2	7,6±0,7	96,0±1,3
			дно	10,3±0,4	93,4±0,7	0,061±0,002	10,6±0,8	97,5±1,3	7,4±0,5	95,0±1,7

Показатель минерализации был в диапазоне от 0,032 до 0,122 (станция В2). При этом уровень растворённого кислорода менялся от 9,4 до 11,5 мг/л, и в среднем по озеру составляла 10,4 мг/л, а уровень насыщенности кислородом в процентах оставался высоким и в среднем по озеру составлял 102,2%. Величина окислительно-восстановительного потенциал менялась от 43 до 156

mV, при среднемесячных значениях 96,5, показатель pH варьировал от 7,7 до 8,2 при среднемесячных значениях 7,8.

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. Поэтому дальнейшие исследования были связаны с поиском возможных токсикантов.

2.2.2 Содержание металлов в рыбах и среде их обитания

В связи с тем, что основную нагрузку согласно открытым источникам информации несут тяжелые металлы, данные исследования были направлены на выявление релевантных металлов, играющих эколого-токсикологическое значение в Ладожском озере. Рыбная продукция является основным накопителем веществ, присутствующих в водной среде. На формирование гидрохимических показателей качества воды южной акваторий Ладожского озера значительное влияние оказывает комплекс факторов, таких как транзитный перенос загрязняющих веществ, сбросы промышленных и хозяйственно-бытовых и сельскохозяйственных предприятий.

В соответствии с Приказом Минсельхоза России от 13.12.2016 №552 (в редакции от 13.06.2024 г.) проводилось исследование нормируемых металлов в воде литоральной зоны южной части озера и тяготеющих участках (контроль) в весенне-летний, осенний периоды 2021-2023 гг. Полученные результаты представлены в таблице 4. Где токсикологические показатели для рыб представлены в соответствии с литературными источниками - Д. Джонс (1939), Грищенко, Л. И. и соавт. (1999). Повышенный уровень меди был выявлен в 75,0% проб, фактическое содержание меди оказалось выше рекомендуемого уровня в 2-3ПДК. Степень загрязнения марганцем оказалась менее выраженной и превышение рекомендуемого уровня марганца выявлено в 41,6% проб.

Таблица 4 — 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
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

Продолжение табл. 4

	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

Согласно нашим исследованиям, можно сделать вывод, что в большинстве случаев имеет место сочетание контаминации меди, марганца и цинка, что дает основание предположить единый источник загрязнения.

При анализе содержания металлов в пробах воды в Шлиссельбургской губе, при анализе проб воды, 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 большинства металлов был в пределах ПДК, что свидетельствует о возможных компенсаторных процессах биогеоценоза водоема, а также активностью гидродинамических процессов на исследованных акваториях. Следует учесть и такой важный фактор, как массовое развитие гидробионтов в тёплый период года, фитопланктона и водных растений, способствующих выводу металлов из водной среды.

Основными источниками поступления металлов в донные отложения служат сточные воды, атмосферные осадки, подземные воды, загрязненный поверхностный сток. Для получения данных об эколого-токсикологическом состоянии литоральной части Ладожского озера, проведено исследование по оценке содержания тяжелых металлов в донных отложениях, в те же периоды, что и в предыдущем опыте. Результаты данных исследований представлены в Таблице 5. Отсутствие данных по некоторым станциям связано с характером донных отложений (камни, галька) и невозможностью взятия проб.

Таблица 5 — Среднее содержание металлов в донных отложениях южной акватории Ладожского озера

Станция	Характер грунта	Cd, мг/кг	Pb, мг/кг	Cu, мг/кг	Mn, мг/кг	Zn, мг/кг
Шлиссельбургская губа						
Ш1	Песок	0,31±0,05	6,00±0,20	2,70±0,04	311,3±20,0	3,30±0,07
Ш2	Мелкий песок	0,14±0,06	4,20±0,07	1,90±0,02	417,5±10,2	2,10±0,04
Ш3	Мелкий песок	0,21±0,04	3,10±0,05	3,20±0,70	714,8±15,4	3,60±0,02
Волховская губа						
В1	Мелкий песок	0,27±0,02	1,30±0,07	1,80±0,07	412,5±32,4	6,70±1,40*
В2	Мелкий песок, ил	0,21±0,01	0,90±0,03	12,30±0,40	216,2±24,0	10,20±2,80
В3	Мелкий песок	0,13±0,09	1,20±0,01	2,10±0,70	417,7±14,3	7,10±2,40
В4	Мелкий песок	0,30±0,04	3,40±0,07	3,20±0,80	99,4±6,7	5,60±1,60
Свирская губа						
С1	Крупный песок	0,14±0,08	2,70±0,03	5,40±1,20	269,2±3,8	5,10±1,40
С2	Мелкий песок	0,24±0,07	3,20±0,02	2,10±0,70	393,4±14,7	4,60±1,70
УП/Целевой норматив		0,35	35	30	1000	140

*- различие достоверно относительно контрольных станций ($p \leq 0,05$)

В результате исследования 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. Оценка содержания нормируемых металлов у промысловых видов рыб южной части Ладожского озера представлена в таблице 6.

Таблица 6 — 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

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. 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. Попадая из атмосферы в поверхностные воды, ртуть переходит в высокотоксичную метилированную форму. Вместе с гумусовыми веществами почвы ртутьсодержащие соединения попадают в водоносные горизонты и поверхностные воды. Чем ниже рН и электропроводность среды, тем выше концентрация ртути в воде. Кроме этого, комплексные агломераты ртути накапливаются в донных отложениях и абсорбируются взвешенными частицами, присутствующими в природной воде. Антропогенными источниками поступления солей ртути в воду являются

сточные и промывные воды целлюлозных комбинатов, предприятий по промышленной обработке цветных металлов, цементных заводов, хозяйств, применяющих ртутьсодержащие фунгициды, химических производств. Кроме того, пары и аэрозольные соединения ртути выделяются в атмосферный воздух, где седиментируются, и с осадками поступают в природные воды. Наиболее большие концентрации мышьяка в воде наблюдается из-за антропогенной деятельности, при попадании в водные ресурсы неочищенных производственных и сельскохозяйственных стоков.

Дальнейшие исследования заключались в оценке уровня металлов, наиболее распространённых для данных акваторий, с целью анализа их накопления в мышечной ткани и печени (органе детоксикации). Необходимо учитывать, что свинец и кадмий являются высокотоксичными, и являются представителями группы неэссенциальных металлов, а медь и цинк относятся к эссенциальным металлам, незаменимым для организма микроэлементам, так как входят в состав многих металлоэнзимов, являясь активатором ферментов, катализирующих окислительно-восстановительные реакции, гидролитические процессы в организме. Они участвуют в процессах тканевого дыхания, кроветворения, минерального и азотного обменов (Ковальский, В. В., 1974; Culotta, V. C., 1999). Кадмий и свинец, как тяжелые неэссенциальные металлы - микроэлементы создают высокий уровень токсической опасности для живых организмов, даже при очень низких концентрациях (Markus M., 1985; Ricard A. C., 1998). Результаты исследований по содержанию металлов в мышечной ткани и печени рыб представлены в таблице 7. 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.

Таблица 7 — Среднее содержание металлов в тканях и органах рыб

Акватория	Вид рыб	Содержание тяжелых металлов в мышечной ткани рыб, мг/кг				Содержание тяжелых металлов в печени рыб, мг/кг			
		Cd	Cu	Zn	Pb	Cd	Cu	Zn	Pb
Шлиссельбургская губа	лещ	0,0010± 0,0006	0,074± 0,010*	3,01± 0,20	0,103± 0,001	0,011± 0,006	1,05± 0,09	12,95± 1,50	0,110± 0,080
	плотва	0,0010± 0,0007	0,094± 0,030	3,21± 0,70	0,038± 0,006	0,016± 0,005	1,16± 0,08	9,02± 1,20	0,090± 0,040
	окунь	0,0020± 0,0002	0,028± 0,010	3,29± 0,60	0,029± 0,004	0,017± 0,003	0,97± 0,07	8,64± 1,30*	0,070± 0,010
Волховская губа	лещ	0,0020± 0,0005	0,071± 0,030	4,45± 0,30	0,116± 0,070*	0,013± 0,002	7,13± 1,30	26,70± 1,90	0,130± 0,070
	плотва	0,0030± 0,0001	0,089± 0,040	3,01± 0,10	0,210± 0,020	0,012± 0,004	5,34± 1,20	16,44± 1,60	0,260± 0,060
	окунь	0,0010± 0,0003	0,095± 0,040*	5,57± 0,30	0,160± 0,040	0,015± 0,003	6,72± 1,20	12,30± 1,40	0,150± 0,070
Свирская губа	лещ	0,0020± 0,0007	0,086± 0,020	3,01± 0,70	0,031± 0,005	0,013± 0,002	4,27± 0,03*	23,40± 0,06	0,091± 0,002
	плотва	0,0030± 0,0001	0,071± 0,010*	3,41± 0,40	0,019± 0,007	0,014± 0,004	1,31± 0,01	19,10± 0,04*	0,014± 0,004
	окунь	0,0020± 0,0001	0,076± 0,010	5,64± 0,10*	0,057± 0,001*	0,004± 0,001	1,45± 0,02	9,80± 0,02*	0,021± 0,003
ДОК, мг/кг		0,2	10,0	40,0	1,0	0,2	10,0	40,0	1,0

* различие достоверно ($p \leq 0,05$) относительно контрольных станций

Рассматривая содержание металлов в отдельных видах рыб (по типу питания), следует отметить некоторое повышение концентрации в организме рыб, ведущих придонный (лещ) и хищный (окунь) образ жизни. Отмечено повышенное количество меди в мышечной ткани в организме рыб Волховской и Свирской губ, на 30,0% и на 18,0%, соответственно, относительно Шлиссельбургской акватории. Содержание цинка выше на 36,0%, у рыб, выловленных на акватории Волховской губы и на 26,0% больше в мышечной ткани в организме рыб, выловленных на акватории Свирской губы, по сравнению со Шлиссельбургской.

В печени, содержание цинка и меди выше у рыб, находящихся в Волховской губе. Так по сравнению с другими акваториями, концентрация цинка увеличена в 2 раза по сравнению со Шлиссельбургской губой, а медь превышена в 5,9 раз и 2,6 раз, по сравнению со Шлиссельбургской и Свирскими губами. Полученные данные отражают факт ассоциированного действия всех

исследуемых металлов, но преимущественно двух превалирующих: цинка и меди. 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 также может подавлять всасывание меди, препятствуют ее физиологическому усвоению в организме гидробионтов, а также может вызывать патологоанатомические изменения. Недостаток меди в организме гидробионтов приводит 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. Параллельно осуществлены патологоанатомические исследования представителей ихтиофауны с целью оценки степени интоксикации организма гидробионтов. Дополнительно проведена серия биотестов для определения интегральной токсичности проб воды и донных отложений исследуемых акваторий.

2.2.3 Аэрогенный путь поступления загрязняющих веществ

Загрязнение поверхностных вод приняло глобальный характер с региональными и локальными особенностями. Одной из основных причин этого явления стало распространение загрязняющих веществ, прежде всего ксенобиотиков, включая металлы, аэрогенным путем на большие расстояния. Этот процесс стал неуправляемым. Проблема аэрогенного загрязнения водоемов приобрела международный характер, и этот вопрос обсуждался на заседаниях ООН и других международных конференциях (Моисеенко, Т. И., 2009). Общеизвестно, что атмосферные поступления загрязняющих веществ аэрогенным путём в водоёмы происходят в виде «сухих» и «мокрых» осадков -

с дождём и снегом, где их концентрация резко возрастает и является высокотоксичной, показателем чего являются «кислотные дожди», обезрыбление тысячи водоёмов по всему миру (Израэль Ю. А., 1989).

Исследования Л. В. Ефремовой (2002) показали, что г. Санкт-Петербург оказывает влияние по переносу металлов и других загрязняющих веществ в Ладожское озеро аэрогенным путем. Такие опасные металлы, как свинец, кадмий, медь, цинк и пр., поступают в озеро десятками тонн в год. Так, в течение года выпадение цинка составляет 10,8; свинца 4,5; железа 16,5; кадмия 0,2; хрома 1,3 мг/м². Мощным источником поступления загрязняющих веществ в озеро является такой промышленный центр, как Кириши-200 тыс. т/год (Стекольников, А. А., 2014). Свой вклад в поступление загрязняющих веществ в озеро вносят ряд соседних стран. Исследования по поступлению металлов аэрогенным путем с атмосферными осадками на литоральную акваторию южной части Ладожского озера представлены в таблице 8. Атмосферное поступление загрязняющих веществ аэрогенным путем наиболее опасно для мелководной литоральной зоны по сравнению с пелагиалью, где кратность разбавлений резко возрастает, учитывая это, было проведено сравнение полученных результатов с предельно допустимой концентрацией в воде водоёма, используемого для рыбохозяйственных целей.

Пробы отбирались на побережьях трех губ, исследовали 12 металлов и все они значительно превышали норматив. Аэрогенные поступления загрязняющих веществ особенно опасны для литоральной зоны озера ввиду отсутствия кратности разбавления. Это связано и с тем, что приходящая часть водного баланса озера состоит на 85,0% из притока речных вод, 2,0% родниковых и 13,0% из атмосферных осадков - более 10,0% приходится на загрязненный приток. В таблице 8 показаны значимые максимальные величины содержания металлов в пробах дождя. Анализ полученных данных выявил многократное превышение исследуемых металлов. Выявлено значимое превышение по таким опасным металлам, как ртуть, кадмий и свинец.

Таблица 8 — Концентрации тяжелых металлов в атмосферных осадках побережья южной части 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

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 озеро, а также характером донных отложений и активностью гидродинамических процессов.

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

Число загрязняющих веществ, поступающих в водоемы и водотоки, постоянно растет, а контроль токсичных компонентов недостаточен из-за трудностей их аналитического определения, невозможности учета их суммарных эффектов и процессов трансформации в водной экосистеме. Наиболее приемлемым выходом из создавшейся ситуации является введение в практику государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды в части поверхностных вод водных объектов методов биотестирования токсичности – интегральной оценки токсичности воды и донных отложений.

Биотестирование воды и донных отложений (весенний период 2021 г.)

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 загрязнения 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 исследования эколого-токсикологического состояния среды обитания рыб, и оценки качества воды и степени ее опасности для живых организмов с помощью биотестирования. Как видно из таблицы 9 в опыте с экспозицией 96 часов, острой токсичностью исследованные пробы воды и элюutriаты донных отложений Шлиссельбургской губы Ладожского озера не обладают.

Таблица 9 — Результаты биотестирования проб воды и донных отложений (весенний период 2021 г.) Шлиссельбургской губы в остром опыте (96 часов)

Место отбора проб	Номер станции	Тестируемая проба	Выживаемость, %				ЛТ50 суток	% гибели на 4 суток	Заключение о степени острой токсичности пробы
			24 ч.	48 ч.	72 ч.	96 ч.			
Шлиссельбургская губа	Станция Ш1	Вода	100,0	100,0	100,0	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция Ш1	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция Ш2	Вода	100,0	100,0	100,0	93,3	>4,0	6,7	не токсична
	Станция Ш2	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична

Продолжение табл. 9

	Станция ШЗ	Вода	100,0	96,7	90,0	83,3	>4,0	16,7	не токсична
	Станция ШЗ	водная вытяжка донных отложений	100,0	96,7	96,7	93,3	>4,0	6,7	не токсична
	Станция Ш4	Вода	100,0	100,0	100,0	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция Ш4	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	96,7	>4,0	3,3	не токсична
Контроль (вода)			100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	-
Контроль (водная вытяжка донных отложений)			100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	-

В пробе Ш2 элютриата донных отложений Шлиссельбургской губы выживаемость тест - объекта была на уровне контроля. В пробах воды и элютриатах донных отложений Ш1 и Ш4 на четвертые сутки опыта наблюдалась незначительная гибель (3,3%).

Метод основан на определении изменений выживаемости и плодовитости дафний при воздействии токсических веществ, содержащихся в тестируемой воде, по сравнению с контролем. В пробах воды Ш2 и ШЗ гибель дафний составила 6,7% и 16,7%, соответственно. В элютриате донных отложений ШЗ-6,7%. Как видно из таблицы 9, в опыте с экспозицией 96 часов, острой токсичностью исследованные пробы воды и элютриаты донных отложений Волховской губы Ладожского озера не обладают.

В пробах воды и донных отложений ВЗ и В4 Волховской губы наблюдалась незначительная гибель на четвертые сутки опыта, что составило 3,3%. В пробах воды В1 и В2 гибель дафний составила 16,7% и 20,0% соответственно. В элютриатах донных отложений этих станций гибель тест - объекта составила 6,7%.

Как видно из таблицы 10, в опыте с экспозицией 96 часов острой токсичностью, исследованные пробы воды элютриаты донных отложений Свирской губы Ладожского озера, не обладают.

**Таблица 10 - Результаты биотестирования проб воды и донных отложений
(весенний период 2021 г.) Волховской губы
в остром опыте (96 часов)**

Место отбора проб	Номер станции	Тестируемая проба	Выживаемость, %				ЛТ50 суток	% гибели на 4 суток	Заключение о степени острой токсичности пробы
			24 ч.	48 ч.	72 ч.	96 ч.			
Волховская губа	Станция В1	вода	100,0	96,7	90,0	83,3	>4,0	16,7	не токсична
	Станция В1	водная вытяжка донных отложений	100,0	96,7	96,7	93,3	>4,0	6,7	не токсична
	Станция В2	вода	100,0	96,7	90,0	80,0	>4,0	20,0	не токсична
	Станция В2	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	96,7	93,3	>4,0	6,7	не токсична
	Станция В3	вода	100,0	100,0	100,0	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция В3	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция В4	вода	100,0	100,0	96,7	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция В4	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	96,7	96,7	>4,0	3,3	не токсична
Контроль (вода)			100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	-
Контроль (водная вытяжка донных отложений)			100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	-

В пробах воды и элютриатах донных отложений С1, С3 и С4 (донные) Свирской губы наблюдалась незначительная гибель тест-объекта, на четвертые сутки опыта, что составило 3,3%. В пробах воды С4 и С2 гибель дафний составила 6,7% и 10,0%, соответственно. В элютриате донных отложений в пробе С2 наблюдалась незначительная гибель дафний (6,7%).

Таблица 11 — Результаты биотестирования проб воды и донных отложений (весенний период 2021 г.) Свирской губы в остром опыте (96 часов)

Место отбора проб	Номер станции	Тестируемая проба	Выживаемость, %				ЛТ50, сутки	% гибели на 4 сутки	Заключение о степени острой токсичности и пробы
			24 ч.	48 ч.	72 ч.	96 ч.			
Свирская губа	Станция С1	вода	100,0	100,0	100,0	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция С1	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция С2	вода	100,0	100,0	90,0	90,0	>4,0	10,0	не токсична
	Станция С2	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	96,7	93,3	>4,0	6,7	не токсична
	Станция С3	вода	100,0	100,0	100,0	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция С3	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция С4	вода	100,0	100,0	96,7	93,3	>4,0	6,7	не токсична
	Станция С4	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	96,7	>4,0	3,3	не токсична
Контроль (вода)			100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	-
Контроль (водная вытяжка донных отложений)			100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	-

В результате проведенных исследований в весенний период 2021 г. вод и донных отложений Шлиссельбургской, Волховской и Свирской губы методом биотестирования с использованием в качестве тест-объекта *Daphnia magna*, было выявлено отсутствие острой токсичности, однако в отдельных пробах наблюдалась слабая токсичность, где гибель дафний составила более 10,0%. Исследования по оценке токсичности проб воды и элютриатов донных отложений были продолжены в хроническом эксперименте с экспозицией до 24

суток. Хронические опыты по влиянию тестируемых проб на тест-объект учитывали, как по его выживаемости, так и по плодовитости *Daphnia magna*.

Таблица 12 — Результаты определения хронической токсичности проб воды и водных вытяжек (элютриатов) донных отложений в весенний период 2021 г.

Время от начала биотестирования сутки	Место отбора, вид пробы	Количество выживших дафний (среднее арифметическое по параллельным сериям), экз.		Процент гибели самок по отношению к контролю	Плодовитость дафний (рассчитывается на одну выжившую самку среднее арифметическое по параллельным сериям), экз.		Критерии достоверности и отклонений опытных данных от контрольных по плодовитости дафний «+» - достоверное отличие «-» - не достоверное отличие	Оценка качества водной среды: оказывает (не оказывает) хроническое токсическое действие
		в контроле	в опыте		в контроле	в опыте		
24	Шлиссельбургская губа Ш1 (вода)	30	27	10,0	6,0	3,4	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Шлиссельбургская губа Ш1 (донные)	30	23	23,3	5,8	4,3	+	Оказывает по показателю выживаемость и плодовитость тест-объекта
24	Шлиссельбургская губа Ш2 (вода)	30	22	26,7	6,0	4,0	+	Оказывает по показателю выживаемость и плодовитость тест-объекта

Продолжение табл. 12

24	Шлис- сельбург- ская губа Ш2 (дон- ные)	30	24	20,0	5,8	4,4	+	Оказывает по показателю выживаемость и плодовитость тест-объекта
24	Шлис- сельбург- ская губа Ш3 (вода)	30	22	26,7	6,0	4,2	+	Оказывает по показателю выживаемость и плодовитость тест-объекта
24	Шлис- сельбург- ская губа Ш3 (дон- ные)	30	24	20,0	5,8	4,8	+	Оказывает по показателю выживаемость и плодовитость тест-объекта
24	Шлис- сельбург- ская губа Ш4 (вода)	30	27	10,0	6,0	3,2	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Шлис- сельбург- ская губа Ш4 (дон- ные)	30	28	6,7	5,8	3,5	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Волховская губа В1 (вода)	30	21	30,0	6,2	5,0	+	Оказывает по показателю выживаемость и плодовитость тест-объекта
24	Волховская губа В1 (донные)	30	20	33,3	6,0	4,9	+	Оказывает по показателю выживаемость и плодовитость тест-объекта

Продолжение табл. 12

24	Волховская губа В2 (вода)	30	24	20,0	6,2	4,5	+	Оказывает по показателю выживаемость и плодовитость тест-объекта
24	Волховская губа В2 (донные)	30	21	30,0	6,0	4,8	+	Оказывает по показателю выживаемость и плодовитость тест-объекта
24	Волховская губа В3 (вода)	30	26	13,3	6,2	3,7	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Волховская губа В3 (донные)	30	25	16,7	6,0	4,4	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Волховская губа В4 (вода)	30	28	6,7	6,2	6,0	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Волховская губа В4 (донные)	30	24	20,0	6,0	4,6	+	Оказывает по показателю выживаемость и плодовитость тест-объекта
24	Свирская губа С1 (вода)	30	27	10,0	5,9	4,06	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Свирская губа С1 (донные)	30	26	13,3	5,6	6,0	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Свирская губа С2 (вода)	30	27	10,0	5,9	3,96	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Свирская губа С2 (донные)	30	26	13,3	5,6	4,0	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта

Продолжение табл. 12

24	Свирская губа С3 (вода)	30	28	6,7	5,9	3,3	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Свирская губа С3 (донные)	30	23	23,3	5,6	4,7	+	Оказывает по показателю выживаемость и плодовитость тест-объекта
24	Свирская губа С4 (вода)	30	25	16,7	5,9	4,5	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Свирская губа С4 (донные)	30	27	10,0	5,6	5,8	–	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект

Как видно из таблицы 12, в весенний период 2021 г. хроническую токсичность показали все пробы воды Шлиссельбургской губы: Ш1 и Ш4 - по показателю плодовитость тест - объекта; Ш2 и Ш3 по показателю выживаемость (гибель составила 26,7%) и плодовитость (суммарное количество выметанной молоди в опыте на каждой станции за 24 дня наблюдения достоверно отличалось от соответствующих показателей в контроле). Пробы донных отложений станций Шлиссельбургской губы Ш1, Ш2, Ш3 хронически токсичны по двум показателям выживаемость и плодовитость, проба Ш4 только по плодовитости тест-объекта. Гибель рачков в первых трёх пробах (Ш1, Ш2, Ш3) составила 23,3%, 20,0% и 20,0% соответственно.

В Волховской губе хронической токсичностью обладали пробы воды В1, В2 по показателю выживаемость (гибель 30,0% и 20,0%) и плодовитость тест-объекта, т. к. суммарное количество выметанной молоди в опыте на каждой станции за 24 дня наблюдения достоверно отличалось от соответствующих показателей в контроле. Вода станции В3 хронически токсична только по показателю плодовитость, а вода станции В4 не проявила токсического действия на тест – объект. Пробы донных отложений станций В1, В2, В4

хронически токсичны по двум показателям – выживаемость и плодовитость. Гибель самок в каждой из этих проб составила 33,3%, 30,0% и 20,0%. Элютриат донных отложений Волховской губы В3 обладал хронической токсичностью только по показателю плодовитость тест – объекта. Проба воды В4 Волховской губы была признана хронически не токсичной, наблюдалась незначительная гибель тест – объекта, которая составила 6,7%; размножение дафний в этой пробе было на уровне контроля.

В Свирской губе пробы воды С1, С2, С3 и С4 обладали хронической токсичностью по показателю плодовитость тест - объекта, т. к. суммарное количество выметанной молоди в опыте на каждой станции за 24 дня наблюдения достоверно отличалось от соответствующих показателей в контроле. Проба донных отложений Свирской губы С2 проявила хроническую токсичность по показателю плодовитость тест-объекта, проба С3 по двум показателям – выживаемость и плодовитость. Хронической токсичности не наблюдалось только в пробах донных отложений С1 и С4, т.к. за всё время экспозиции здесь наблюдалась незначительная гибель тест – объекта от 10,0% до 13,3%, размножение дафний было на уровне контроля.

Биотестирование воды и донных отложений (летний период 2022 г.)

Результаты исследований, показанные в таблице 13, доказывают отсутствие острой токсичности. В пробе Ш3 элютриата донных отложений Шлиссельбургской губы выживаемость тест - объекта была на уровне контроля. В пробе воды и элютриате донных отложений станции Ш4 на четвертые сутки опыта наблюдалась незначительная гибель - 3,3%, как и в пробе воды Ш1. В пробах воды Ш2 и Ш3 гибель дафний в каждой составила 10,0% по сравнению с контролем. В элютриате донных отложений Ш1 и Ш2 - 6,7%.

Таблица 13 — Результаты биотестирования проб воды и донных отложений
(летний период 2022 г.) Шлиссельбургской губы
в остром опыте (96 часов)

Место отбора проб	Номер станции	Тестируемая проба	Выживаемость, %				ЛТ50, сутки	% гибели на 4 сутки	Заключение о степени острой токсичности пробы
			24 ч.	48 ч.	72 ч.	96 ч.			
Шлиссельбургская губа	Станция Ш1	вода	100,0	100,0	100,0	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция Ш1	водная вытяжка донных отложений	100,0	96,7	96,7	93,3	>4,0	6,7	не токсична
	Станция Ш2	вода	100,0	100,0	96,7	90,0	>4,0	10,0	не токсична
	Станция Ш2	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	96,7	93,3	>4,0	6,7	не токсична
	Станция Ш3	вода	100,0	100,0	96,7	90,0	>4,0	10,0	не токсична
	Станция Ш3	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
	Станция Ш4	вода	100,0	100,0	100,0	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция Ш4	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	96,7	>4,0	3,3	не токсична
Контроль (вода)			100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	-
Контроль (водная вытяжка донных отложений)			100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	-

Как видно из таблицы 14, в опыте с экспозицией 96 часов, острой токсичностью исследованные пробы воды и элютриаты донных отложений Волховской губы Ладожского озера не обладают.

В пробе воды В3 и пробе воды и донных отложений В4 Волховской губы наблюдалась незначительная гибель на четвертые сутки опыта, что составило 3,3%. В пробах воды В2 и В1 гибель дафний составила 6,7% и 13,3%,

соответственно. В элютриатах донных отложений этих станций гибель тест - объекта составила 16,7%.

Таблица 14 — Результаты биотестирования проб воды и донных отложений (летний период 2022 г.) Волховской губы в остром опыте (96 часов)

Место отбора проб	Номер станции	Тестируемая проба	Выживаемость, %				ЛТ50, сутки	% гибели на 4 сутки	Заключение о степени острой токсичности пробы
			24 ч.	48 ч.	72 ч.	96 ч.			
Волховская губа	Станция В1	вода	100,0	96,7	90,0	86,7	>4,0	13,3	не токсична
	Станция В1	водная вытяжка донных отложений	100,0	96,7	90,0	83,3	>4,0	16,7	не токсична
	Станция В2	вода	100,0	96,7	96,7	93,3	>4,0	6,7	не токсична
	Станция В2	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	90,0	83,3	>4,0	16,7	не токсична
	Станция В3	вода	100,0	100,0	100,0	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция В3	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	96,7	93,3	>4,0	6,7	не токсична
	Станция В4	вода	100,0	100,0	96,7	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция В4	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	96,7	96,7	>4,0	3,3	не токсична
Контроль (вода)			100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	-
Контроль (водная вытяжка донных отложений)			100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	-

Как видно из таблицы 15, в опыте с экспозицией 96 часов острой токсичностью исследованные пробы воды элютриаты донных отложений Свирской губы Ладожского озера не обладают. В пробах воды С1, С2 и С3 Свирской губы и элютриате донных отложений станции С1 выживаемость тест - объекта была на уровне контроля. В пробе элютриата донных отложений

станции С3 Свирской губы наблюдалась незначительная гибель тест объекта, на четвертые сутки опыта, что составило 3,3%. В пробе воды С4 гибель дафний составила 6,7%. В элютриате донных отложений пробы С2 наблюдалась такая же гибель тест- объекта (6,7%).

Таблица 15 — Результаты биотестирования проб воды и донных отложений (летний период 2022 г.) Свирской губы в остром опыте (96 часов)

Место отбора проб	Номер станции	Тестируемая проба	Выживаемость, %				ЛТ50, сутки	% гибел и на 4 сутки	Заключение о степени острой токсичности пробы
			24 ч.	48 ч.	72 ч.	96 ч.			
Свирская губа	Станция С1	вода	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
	Станция С1	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
	Станция С2	вода	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
	Станция С2	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	96,7	93,3	>4,0	6,7	не токсична
	Станция С3	вода	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
	Станция С3	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция С4	вода	100,0	100,0	96,7	93,3	>4,0	6,7	не токсична
	Станция С4	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
Контроль (вода)			100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	-
Контроль (водная вытяжка донных отложений)			100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	-

В результате проведенных исследований в летний период 2022 г. вод и донных отложений Шлиссельбургской, Волховской и Свирской губы методом биотестирования с использованием в качестве тест-объекта *Daphnia magna*,

было выявлено отсутствие острой токсичности, однако, в отдельных пробах наблюдалась слабая токсичность, где гибель дафний составила более 10,0%. Исследования по оценке токсичности проб воды и элютриатов донных отложений были продолжены в хроническом эксперименте с экспозицией до 24 суток. Хронические опыты по влиянию тестируемых проб на тест-объект учитывали, как по его выживаемости, так и по плодовитости.

Таблица 16 — Результаты определения хронической токсичности проб воды и водных вытяжек (элютриатов) донных отложений в летний период 2022 г.

Время от начала биотестирования сутки.	Место отбора, вид пробы	Количество выживших дафний (среднее арифметическое по параллельным сериям), экз.		% гибели самок по отношению к контролю	Плодовитость дафний (рассчитывается на одну выжившую самку среднее арифметическое по параллельным сериям), экз.		Критерии достоверности отклонений опытных данных от контрольных по плодовитости дафний «+» - достоверное отличие «-» - не достоверное отличие	Оценка качества водной среды: оказывает (не оказывает) хроническое токсическое действие
		в контроле	в опыте		в контроле	в опыте		
24	Шлиссельбургская губа Ш1 (вода)	30	28	6,7	7,2	4,11	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Шлиссельбургская губа Ш1 (донные)	30	26	13,3	6,7	4,85	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Шлиссельбургская губа Ш2 (вода)	30	25	16,5	7,2	5,32	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Шлиссельбургская губа Ш2 (донные)	30	27	10,0	6,7	7,78	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект

24	Шлиссель-бургская губа ШЗ (донные)	30	28	6,7	6,7	7,5	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Шлиссель-бургская губа Ш4 (вода)	30	26	13,3	7,2	8,35	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Шлиссель-бургская губа Ш4 (донные)	30	29	3,3	6,7	6,93	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Волховская губа В1 (вода)	30	24	20,0	6,8	5,7	+	Оказывает по показателю выживаемость и плодовитость тест-объекта
24	Волховская губа В1 (донные)	30	21	30,0	7,4	5,52	+	Оказывает по показателю выживаемость и плодовитость тест-объекта
24	Волховская губа В2 (вода)	30	25	16,7	6,8	5,56	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Волховская губа В2 (донные)	30	21	30,0	7,4	6,0	+	Оказывает по показателю выживаемость и плодовитость тест-объекта
24	Волховская губа В3 (вода)	30	26	13,3	6,8	5,88	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Волховская губа В3 (донные)	30	23	23,3	7,4	5,87	+	Оказывает по показателю выживаемость и плодовитость тест-объекта
24	Шлиссель-бургская губа ШЗ (вода)	30	25	16,7	7,2	3,72	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта

Продолжение табл. 16

24	Волховская губа В4 (вода)	30	28	6,7	6,8	7,57	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Волховская губа В4 (донные)	30	26	13,3	7,4	5,58	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Свирская губа С1 (вода)	30	29	3,3	7,0	7,41	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Свирская губа С1 (донные)	30	27	10,0	7,5	8,48	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Свирская губа С2 (вода)	30	27	10,0	7,0	5,78	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Свирская губа С2 (донные)	30	25	16,7	7,5	6,08	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Свирская губа С3 (вода)	30	28	6,7	7,0	5,64	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Свирская губа С3 (донные)	30	26	13,3	7,5	8,58	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Свирская губа С4 (вода)	30	27	10,0	7,0	7,67	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Свирская губа С4 (донные)	30	29	3,3	7,5	7,55	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект

Как видно из таблицы 16, в летний период 2022 года хроническую токсичность показали пробы воды Ш1, Ш2 и Ш3 и донных отложений Ш1 Шлиссельбургской губы по показателю плодовитость тест - объекта, т. к. суммарное количество выметанной молоди в опыте на каждой станции за 24 дня наблюдения достоверно отличалось от соответствующих показателей в контроле. Выживаемость самок в этих пробах мало отличалась от контроля. Пробы, отобранные на других станциях Шлиссельбургской губы, были признаны не токсичными, т.к. за всё время экспозиции наблюдалась незначительная гибель тест – объекта от 3,3% до 13,3%, размножение дафний было на уровне контроля.

В Волховской губе хронической токсичностью обладали пробы воды В2, В3 и донных отложений В4 по показателю плодовитость тест- объекта, т. к. суммарное количество выметанной молоди в опыте на каждой станции за 24 дня наблюдения достоверно отличалось от соответствующих показателей в контроле. Проба воды В1 и пробы станций В1, В2 и В3 донных отложений хронически токсичны по двум показателям – плодовитость и выживаемость. Гибель самок в этих пробах составила 20,0 – 30,0 %. Вода станции В4 хронически не токсична (гибель 6,7%), размножение дафний в этой пробе было на уровне контроля.

В Свирской губе пробы воды С2 и С3, и элютриат донных отложений пробы С2 обладали хронической токсичностью по показателю плодовитость тест - объекта, т. к. суммарное количество выметанной молоди в опыте на каждой станции за 24 дня наблюдения достоверно отличалось от соответствующих показателей в контроле. Остальные пробы, отобранные на других станциях Свирской губы, были признаны не токсичными. За всё время экспозиции наблюдалась незначительная гибель тест – объекта от 3,3% до 16,7%, размножение дафний было на уровне контроля.

Биотестирование воды и донных отложений (осенний период 2022 г.)

Как видно из таблицы 17, в опыте с экспозицией 96 часов, острой токсичностью исследованные пробы воды и элютриаты донных отложений Шлиссельбургской губы Ладожского озера не обладают.

В пробе воды станции Ш1 и водных вытяжках донных отложений Ш3 и Ш4 Шлиссельбургской губы выживаемость тест - объекта была на уровне контроля. В пробах воды Ш2, Ш3 и Ш4 и элютриате донных отложений станции Ш1 на четвертые сутки опыта наблюдалась незначительная гибель - 3,3%. В пробе элютриата донных отложений станции Ш2 гибель дафний составила 6,7% по сравнению с контролем.

Таблица 17 — Результаты биотестирования проб воды и донных отложений (осенний период 2022 г.) Шлиссельбургской губы в остром опыте (96 часов)

Место отбора проб	Номер станции	Тестируемая проба	Выживаемость, %				ЛТ50, сутки	% гибели на 4 сутки	Заключение о степени острой токсичности пробы
			24 ч.	48 ч.	72 ч.	96 ч.			
Шлиссельбургская губа	Станция Ш1	вода	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
	Станция Ш1	водная вытяжка донных отложений	100,0	96,7	96,7	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция Ш2	вода	100,0	100,0	96,7	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция Ш2	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	96,7	93,3	>4,0	6,7	не токсична
	Станция Ш3	вода	100,0	96,7	96,7	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция Ш3	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
	Станция Ш4	вода	100,0	100,0	100,0	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция Ш4	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
Контроль (вода)			100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	-
Контроль (водная вытяжка донных отложений)			100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	-

Как видно из таблицы 18, в опыте с экспозицией 96 часов., острой токсичностью исследованные пробы воды и элютриаты донных отложений Волховской губы Ладожского озера не обладают.

В пробе воды В3 и пробе воды и донных отложений В4 Волховской губы наблюдалась незначительная гибель на четвертые сутки опыта, что составило 3,3%. В пробах воды В1 и В2 гибель дафний составила 6,7%. В пробах элютриатов донных отложений станций В2 и В3 гибель тест - объекта составила 6,7%, а в пробе станции В1 – 13,3%.

Таблица 18 — Результаты биотестирования проб воды и донных отложений (осенний период 2022 г.) Волховской губы в остром опыте (96 часов)

Место отбора проб	Номер станции	Тестируемая проба	Выживаемость, %				ЛТ50, сутки	% гибели на 4 сутки	Заключение о степени острой токсичности пробы
			24 ч.	48 ч.	72 ч.	96 ч.			
Волховская губа	Станция В1	вода	100,0	100,0	96,7	93,3	>4,0	6,7	не токсична
	Станция В1	водная вытяжка донных отложений	100,0	96,7	90,0	86,7	>4,0	13,3	не токсична
	Станция В2	вода	100,0	96,7	96,7	93,3	>4,0	6,7	не токсична
	Станция В2	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	96,7	93,3	>4,0	6,7	не токсична
	Станция В3	вода	100,0	96,7	96,7	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция В3	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	96,7	93,3	>4,0	6,7	не токсична
	Станция В4	вода	100,0	100,0	100,0	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция В4	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	96,7	96,7	>4,0	3,3	не токсична
Контроль (вода)			100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	-
Контроль (водная вытяжка донных отложений)			100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	-

Как видно из таблицы 19, в опыте с экспозицией 96 часов, острой токсичностью исследованные пробы воды элютриаты донных отложений Свирской губы Ладожского озера не обладают.

В пробе воды С3 Свирской губы и элютриате донных отложений станции С4 выживаемость тест - объекта была на уровне контроля. В пробах воды станции С4 и пробах элютриатов донных отложений станции С1 и С2 Свирской губы наблюдалась незначительная гибель тест объекта, на уровне 3,3%. В пробах воды С1 и С2 и элютриате станции С3 гибель дафний, по сравнению с контролем, составила 6,7%.

Таблица 19 — Результаты биотестирования проб воды и донных отложений (осенний период 2022 г.) Свирской губы в остром опыте (96 часов)

Место отбора проб	Номер станции	Тестируемая проба	Выживаемость, %				ЛТ50, сутки	% гибели на 4 сутки	Заключение о степени острой токсичности пробы
			24 ч.	48 ч.	72 ч.	96 ч.			
Свирская губа	Станция С1	вода	100,0	100,0	96,7	93,3	>4,0	6,7	не токсична
	Станция С1	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция С2	вода	100,0	100,0	96,7	96,7	>4,0	6,7	не токсична
	Станция С2	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	96,7	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция С3	вода	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
	Станция С3	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	96,7	93,3	>4,0	6,7	не токсична
	Станция С4	вода	100,0	100,0	96,7	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция С4	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
Контроль (вода)			100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	-
Контроль (водная вытяжка донных отложений)			100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	-

В результате проведенных исследований в осенний период 2022 г. воды и донных отложений Шлиссельбургской, Волховской и Свирской губ методом биотестирования с использованием в качестве тест-объекта *Daphnia magna*, было выявлено отсутствие острой токсичности, однако в отдельных пробах наблюдалась слабая токсичность, где гибель дафний составила более 10,0%. Исследования по оценке токсичности проб воды и элютриатов донных отложений были продолжены в хроническом эксперименте с экспозицией до 24 суток. Хронические опыты по влиянию тестируемых проб на тест-объект учитывали, как по его выживаемости, так и по плодовитости.

Таблица 20 — Результаты определения хронической токсичности проб воды и водных вытяжек (элютриатов) донных отложений в осенний период 2022 г.

Время от начала биотестирования сутки.	Место отбор, вид пробы	Количество выживших дафний (среднее арифметичес- кое по параллельным сериям), экз.		% гибели самок по отношению к контролю	Плодовитость дафний (рассчитывается на одну выжившую самку среднее арифметическое по параллельным сериям), экз.		Критерии достоверности отклонений опытных данных от контрольных по плодовитости дафний «+» - достоверное отличие «-» - не достоверное отличие	Оценка качества водной среды: оказывает (не оказывает) хроническое токсическое действие
		в контроле	в опыте		в контроле	в опыте		
24	Шлис- сельбург- ская губа Ш1 (вода)	30	28	6,7	5,4	3,46	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Шлис- сельбург- ская губа Ш1 (дон- ные)	30	23	13,3	5,8	4,6	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Шлис- сель- бургска я губа Ш2 (вода)	30	27	10,0	5,4	5,4	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект

Продолжение табл. 20

24	Шлис-сель-бургская губа Ш2 (донные)	30	27	10,0	5,8	6,2	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Шлис-сель-бургская губа Ш3 (вода)	30	26	13,3	5,4	5,54	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Шлис-сель-бургская губа Ш3 (донные)	30	28	6,7	5,8	5,96	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Шлис-сель-бургская губа Ш4 (вода)	30	28	6,7	5,4	3,57	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Шлис-сель-бургская губа Ш4 (донные)	30	29	3,3	5,8	5,72	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Волховская губа В1 (вода)	30	25	16,7	7,2	4,76	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Волховская губа В1 (донные)	30	22	26,7	6,4	4,36	+	Оказывает по показателю выживаемость и плодовитость тест-объекта
24	Волховская губа В2 (вода)	30	25	16,7	7,2	6,28	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Волховская губа В2 (донные)	30	22	26,7	6,4	4,82	+	Оказывает по показателю выживаемость и плодовитость тест-объекта

Продолжение табл. 20

24	Волхов- ская гу- ба В3 (вода)	30	27	10,0	7,2	7,96	–	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Волхов- ская гу- ба В3 (донные)	30	25	16,7	6,4	4,88	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Волхов- ская гу- ба В4 (вода)	30	29	3,3	7,2	7,17	–	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Волхов- ская гу- ба В4 (донные)	30	26	13,3	6,4	7,04	–	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Свир- ская губа С1 (вода)	30	25	16,7	6,5	4,44	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Свир- ская губа С1 (донные)	30	27	10,0	5,3	5,33	–	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Свир- ская губа С2 (вода)	30	25	16,7	6,5	4,6	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Свир- ская губа С2 (донные)	30	26	13,3	5,3	3,38	+	Оказывает по показателю плодовитость тест-объекта
24	Свир- ская губа С3 (вода)	30	29	3,3	6,5	6,62	–	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Свир- ская губа С3 (донные)	30	25	16,7	5,3	5,6	–	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект

Продолжение табл. 20

24	Свир- ская губа С4 (вода)	30	27	10,0	6,5	6,85	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Свир- ская губа С4 (донные)	30	27	10,0	5,3	5,4	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект

Как видно из таблицы 20, в осенний период 2022 г. хроническую токсичность показали пробы воды Ш1 и Ш4 и донных отложений Ш1 Шлиссельбургской губы по показателю плодовитость тест- объекта, т. к. суммарное количество выметанной молоди в опыте на каждой станции за 24 дня наблюдения достоверно отличалось от соответствующих показателей в контроле. Выживаемость самок в этих пробах мало отличалась от контроля. Пробы, отобранные на других станциях Шлиссельбургской губы, были признаны не токсичными, т.к. за всё время экспозиции наблюдалась незначительная гибель тест – объекта от 3,3% до 13,3%, размножение дафний было на уровне контроля.

В Волховской губе хронической токсичностью обладали пробы воды В1, В2 по показателю плодовитость тест-объекта, т. к. суммарное количество выметанной молоди в опыте на каждой станции за 24 дня наблюдения достоверно отличалось от соответствующих показателей в контроле. Пробы донных отложений этих станций хронически токсичны по двум показателям – плодовитость и выживаемость. Гибель самок в каждой из этих проб составила 26,7%. Элютриат донных отложений Волховской губы В3 обладал хронической токсичностью только по показателю плодовитость тест – объекта. Остальные пробы, отобранные на других станциях Волховской губы, были признаны не токсичными, за всё время экспозиции гибель тест – объекта колебалась от 3,3% до 16,7%, размножение дафний было на уровне контроля.

В Свирской губе пробы С1 вода, С1 и С2 элютриаты донных отложений обладали хронической токсичностью по показателю плодовитость тест-объекта, т. к. суммарное количество выметанной молоди в опыте на каждой станции за 24 дня наблюдения достоверно отличалось от соответствующих показателей в контроле. Остальные пробы, отобранные на других станциях Свирской губы, были признаны не токсичными. За всё время экспозиции наблюдалась незначительная гибель тест – объекта от 3,3% до 16,7%, размножение дафний было на уровне контроля.

Биотестирование воды и донных отложений (осенний период 2023 г.)

Как видно из таблицы 21, в опыте с экспозицией 96 часов, острой токсичностью исследованные пробы воды и элютриаты донных отложений Шлиссельбургской губы Ладожского озера не обладают.

Таблица 21 — Результаты биотестирования проб воды и донных отложений (осенний период 2023 г.) Шлиссельбургской губы в остром опыте (96 часов)

Место отбора проб	Номер станции	Тестируемая проба	Выживаемость, %				ЛТ50, сутки	% гибели на 4 сутки	Заключение о степени острой токсичности пробы
			24 ч.	48 ч.	72 ч.	96 ч.			
Шлиссельбургская губа	Станция Ш1	вода	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
	Станция Ш1	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
	Станция Ш2	вода	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
	Станция Ш2	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична

Продолжение табл. 21

	Станция Ш3	вода	100,0	100,0	100,0	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция Ш3	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
	Станция Ш4	вода	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
	Станция Ш4	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
Контроль (вода)			100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	-
Контроль (водная вытяжка донных отложений)			100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	-

В пробах воды Ш1, Ш2, Ш4 и элютриатах донных отложений Ш1, Ш2, Ш3 и Ш4 Шлиссельбургской губы выживаемость тест - объекта была на уровне контроля. В пробе воды Ш3 наблюдалась незначительная гибель тест – объекта на четвертые сутки опыта, что составило 3,3%.

Таблица 22 — Результаты биотестирования проб воды и донных отложений (осенний период 2023 г.) Волховской губы в остром опыте (96 часов)

Место отбора проб	Номер станции	Тестируемая проба	Выживаемость, %				ЛТ50, сутки	% гибели на 4 сутки	Заключение о степени острой токсичности пробы
			24 ч.	48 ч.	72 ч.	96 ч.			
Волховская губа	Станция В1	вода	100,0	100,0	100,0	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция В1	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	96,7	93,3	>4,0	6,7	не токсична
	Станция В2	вода	100,0	100,0	100,0	96,7	>4,0	3,3	не токсична

Продолжение табл. 22

	Станция В2	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	96,7	93,3	>4,0	6,7	не токсична
	Станция В3	вода	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
	Станция В3	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
	Станция В4	вода	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
	Станция В4	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
Контроль (вода)			100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	-
Контроль (водная вытяжка донных отложений)			100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	-

Как видно из таблицы 22, в опыте с экспозицией 96 часов, острой токсичностью исследованные пробы воды и элютриаты донных отложений Волховской губы Ладожского озера не обладают.

В пробах воды В3, В4 и донных отложений В3 и В4 Волховской губы выживаемость тест - объекта была на уровне контроля. В пробах воды В1 и В2 наблюдалась незначительная гибель тест-объекта на четвертые сутки опыта, что составило 3,3%. В элютриатах донных отложений этих станций процент гибели тест – объекта несколько увеличился и составил 6,7%.

Как видно из таблицы 23, в опыте с экспозицией 96 часов, острой токсичностью исследованные пробы воды элютриаты донных отложений Свирской губы Ладожского озера не обладают.

В пробах воды С 1 и С3 Свирской губы выживаемость тест - объекта была на уровне контроля. В пробе С2 и С4 наблюдалась незначительная гибель дафний на четвертые сутки опыта, что составило 3,3%.

В элютриатах донных отложений только в пробе С2 наблюдалась незначительная гибель (3,3%), в остальных пробах выживаемость тест-объекта была на уровне контроля.

Таблица 23 — Результаты биотестирования проб воды и донных отложений (осенний период 2023 г.) Свирской губы в остром опыте (96 часов)

Место отбора проб	Номер станции	Тестируемая проба	Выживаемость, %				ЛТ50, сутки	% гибели на 4 сутки	Заключение о степени острой токсичности пробы
			24 ч.	48 ч.	72 ч.	96 ч.			
Свирская губа	Станция С1	вода	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
	Станция С1	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
	Станция С2	вода	100,0	100,0	100,0	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция С2	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция С3	вода	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
	Станция С3	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
	Станция С4	вода	100,0	100,0	100,0	96,7	>4,0	3,3	не токсична
	Станция С4	водная вытяжка донных отложений	100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	не токсична
	Контроль (вода)		100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	-
	Контроль (водная вытяжка донных отложений)		100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	-

В результате проведенных исследований в осенний период 2023 г. воды и донных отложений Шлиссельбургской, Волховской и Свирской губы методом биотестирования с использованием в качестве тест-объекта *Daphnia magna*, было выявлено отсутствие острой токсичности, однако, в отдельных пробах

наблюдалась слабая токсичность, где гибель дафний составила более 10,0%. Исследования по оценке токсичности проб воды и элютриатов донных отложений были продолжены в хроническом эксперименте с экспозицией до 24 суток. Хронические опыты по влиянию тестируемых проб на тест-объект учитывали, как по их выживаемости, так и по плодовитости.

Как видно из таблицы 24, хронической токсичностью обладают пробы воды Ш1, Ш2 и Ш4 Шлиссельбургской губы по показателю плодовитость тест-объекта, т. к. суммарное количество выметанной молоди в опыте на каждой станции за 24 дня наблюдения достоверно отличалось от соответствующих показателей в контроле. В пробе воды Ш3 наблюдалась гибель дафний в размере 30,0%. Количество выметанной молоди в данной пробе было значительно меньше, чем в контроле. Данная проба проявила хроническую токсичность по обоим показателям (выживаемость и плодовитость).

Таблица 24 — Результаты определения хронической токсичности проб воды и водных вытяжек (элютриатов) донных отложений в осенний период 2023 г.

Время от начала биотестирования сутки	Место отбора, вид пробы	Количество выживших дафний (среднее арифметическое по параллельным сериям), экз.		Процент гибели самок по отношению к контролю	Плодовитость дафний (рассчитывается на одну выжившую самку - среднее арифметическое по параллельным сериям), экз.		Критерии достоверности отклонений опытных данных от контрольных по плодовитости дафний «+» - достоверное отличие «-» - не достоверное отличие	Оценка качества водной среды: оказывает (не оказывает) хроническое токсическое действие
		в контроле	в опыте		в контроле	в опыте		
24	Шлиссельбургская губа Ш1 (вода)	30	28	6,7	5,6	3,0	+	Оказывает на плодовитость тест-объекта

24	Шлис- сельбургская губа Ш1 (донные)	30	27	10,0	5,1	3,6	+	Оказывает на плодовитость тест-объекта
24	Шлис- сельбургская губа Ш2 (вода)	30	27	10,0	5,6	3,0	+	Оказывает на плодовитость тест-объекта
24	Шлиссель- бургская губа Ш2 (донные)	30	26	13,3	5,1	3,3	+	Оказывает на плодовитость тест-объекта
24	Шлис- сельбургская губа Ш3 (вода)	30	21	30,0	5,6	3,8	+	Оказывает на плодовитость и выживаемость тест-объекта
24	Шлис- сельбур- гская губа Ш3 (донные)	30	29	3,3	5,1	4,6	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Шлиссель- бургская губа Ш4 (вода)	30	27	10,0	5,6	4,2	+	Оказывает на плодовитость тест-объекта
24	Шлиссель- бургская губа Ш4 (донные)	30	29	3,3	5,1	4,8	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Волховская губа В1 (вода)	30	26	13,3	5,2	2,8	+	Оказывает на плодовитость тест-объекта
24	Волховская губа В1 (донные)	30	19	36,7	6,8	5,3	+	Оказывает на плодовитость и выживаемость тест-объекта
24	Волховская губа В2 (вода)	30	26	13,3	5,2	3,5	+	Оказывает на плодовитость тест-объекта
24	Волховская губа В2 (донные)	30	20	33,3	6,8	5,0	+	Оказывает на плодовитость и выживаемость тест-объекта
24	Волховская губа В3 (вода)	30	27	10,0	5,2	3,8	+	Оказывает на плодовитость тест-объекта

24	Волховская губа В3 (донные)	30	25	16,7	6,8	4,8	+	Оказывает на плодовитость тест-объекта
24	Волховская губа В4 (вода)	30	29	3,3	5,2	4,7	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Волховская губа В4 (донные)	30	27	10,0	6,8	6,2	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Свирская губа С1 (вода)	30	29	3,3	6,0	5,8	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Свирская губа С1 (донные)	30	26	13,3	5,2	5,0	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Свирская губа С2 (вода)	30	26	13,3	6,0	4,3	+	Оказывает на плодовитость тест-объекта
24	Свирская губа С2 (донные)	30	25	16,7	5,2	3,0	+	Оказывает на плодовитость тест-объекта
24	Свирская губа С3 (вода)	30	29	3,3	6,0	5,7	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Свирская губа С3 (донные)	30	26	13,3	5,2	5,2	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект
24	Свирская губа С4 (вода)	30	26	13,3	6,0	4,3	+	Оказывает на плодовитость тест-объекта
24	Свирская губа С4 (донные)	30	28	6,7	5,2	5,0	—	Не оказывает хроническое токсическое действие на тест-объект

Элютриаты донных отложения Шлиссельбургской губы на всех станциях не проявили хронической токсичности по показателю выживаемость тест – объекта. В пробах донных отложений Ш1 и Ш2 токсичность проявилась только по показателю плодовитость, наблюдалось достоверное отличие от контроля. Водные вытяжки донных отложений станций Ш3 и Ш4 не оказали хроническое токсическое действие на тест-объект.

По результатам проведенных исследований в Волховской губе хронической токсичностью обладают пробы воды В1, В2 и В3 по показателю плодовитость тест- объекта, т. к. суммарное количество выметанной молоди в опыте на каждой станции за 24 дня наблюдения достоверно отличалось от соответствующих показателей в контроле. Пробу воды В4 следует признать безвредной по показателю токсичность. Гибель дафний в этой пробе, по окончании эксперимента, составила 3,3%.

Плодовитость тест – объекта в тестируемых пробах не имела достоверных отличий от контрольных. Элютриаты донных отложения Волховской губы на станциях Ш1а и Ш2 проявили хроническую токсичности по показателю выживаемость и плодовитость тест – объекта. В пробе донных отложений Ш3 токсичность проявилась только по одному показателю - плодовитость, там было отмечено достоверное отличие количества выметанной молоди в опыте от контрольной плодовитости. Водная вытяжка донных отложений станции Ш4 не оказала хроническое токсическое действие на тест-объект.

Исходя из таблицы 24, пробы воды С2 и С4 Свирской губы обладают хронической токсичностью по плодовитости тест- объекта, т. к. суммарное количество выметанной молоди в опыте на каждой станции за 24 дня наблюдения достоверно отличалось от соответствующих показателей в контроле. Пробы воды С1 и С3 не оказали хроническое токсическое действие на тест-объект. Гибель дафний во всех пробах воды Свирской губы была незначительной и колебалась от 3,3% до 13,3%.

Элютриаты донных отложения Свирской губы на всех станциях не проявили хронической токсичности по показателю выживаемость тест –

объекта. В пробе донных отложений С2 токсичность проявилась по показателю плодовитость, здесь наблюдалось достоверное отличие от контроля. Остальные водные вытяжки донных отложений станций С1, С3 и С4 не оказали хроническое токсическое действие на тест-объект.

Биотестирование атмосферных осадков (проб дождя) уже в остром эксперименте (Таблица 25) показало их токсичность - массовую гибель более 50% подопытных организмов в течение четырехсуточного опыта. В различных пробах гибель колебалась от 56,7% до 83,3% от числа подопытных организмов. Исходя из процента гибели тест-организмов и динамики отхода, несколько более токсичными оказались пробы, отобранные на побережье Волховской губы. Причина острой токсичности проб атмосферных осадков связана с более высоким уровнем содержания загрязняющих веществ, чем в воде.

Таблица 25 — Результаты биотестирования проб атмосферных осадков в остром опыте (96 часов)

Место отбора проб	Номер станции	Тестируемая проба	Выживаемость, %				ЛТ50, сутки	% гибели на 4 сутки	Заключение о степени острой токсичности и пробы
			24 ч.	48 ч.	72 ч.	96 ч.			
Побережье Шлиссельбургской губы	Станция 1	Осадки (дождь)	73,3	66,7	46,7	33,3	3	66,7	токсична
	Станция 2	Осадки (дождь)	80,0	73,3	56,7	43,3	4	56,7	Токсична
	Станция 3	Осадки (дождь)	76,7	63,3	50,0	40,0	3	60,0	Токсична
Побережье Волховской губы	Станция 1	Осадки (дождь)	46,7	40,0	23,3	16,7	<1	83,3	Токсична
	Станция 2	Осадки (дождь)	56,7	43,3	30,0	23,3	2	76,7	Токсична
	Станция 3	Осадки (дождь)	50,0	40,0	26,7	20,0	1	80,0	Токсична
Побережье Сви́рской губы	Станция 1	Осадки (дождь)	73,3	46,7	30,0	26,7	2	73,3	Токсична
	Станция 2	Осадки (дождь)	80,0	66,7	50,0	33,3	3	66,7	Токсична
	Станция 3	Осадки (дождь)	76,7	70,0	46,7	36,7	3	63,3	Токсична
Контроль (вода)			100,0	100,0	100,0	100,0	>4,0	0,0	-

Биотестирование проб атмосферных осадков во всех случаях показало острую токсичность и даже в тех случаях, когда содержание металлов было минимальным. Учитывая механизмы разбавления токсинов в озере и связанные с ним процессы самоочищения водоёма данный параметр нивелируется в воде, что доказывают наши предыдущие исследования, где содержание тяжелых металлов находятся в значительно меньших концентрациях.

Проведенные нами исследования эколого-токсикологического состояния среды обитания рыб - оценка качества воды и донных отложений с помощью биотестирования показывают 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 основными токсинами являются для данных акваторий цинк и медь. Поэтому, несмотря на безопасность продукции по тяжелым металлам, содержание их в воде опасно как для каждого отдельного организма, так и для целой популяции рыб, что сказывается в снижении уловов и нерациональному использованию водных биоресурсов, что не дает возможность полноценную реализацию Указа Президента РФ от 21.01.2020 №20 («Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации»). Поэтому следующие наши исследования были направлены на изучение воспроизводства рыб.

2.2.5 Влияние загрязняющих веществ на воспроизводство рыб

Литоральная зона южной акватории Ладожского озера является местом нереста и нагула молоди основных видов рыб озера, где доминирующим отрицательным фактором воздействия являются тяжелые металлы. Особенностью размножения рыб является наружное оплодотворение и развитие эмбрионов во внешней среде. Это влечет за собой большую гибель

потомства на ранних стадиях развития в результате влияния неблагоприятных факторов внешней среды. Рыба на разных стадиях онтогенеза проявляет различную степень толерантности к токсическому воздействию. В этом отношении для них, как и для позвоночных, в целом существует правило: при всех других равных условиях токсичность загрязняющих веществ тем выше, чем на более ранней стадии развития находится организм. (Никольский, Г. В., 1974; Шатуновский, М. И. 1996). На нарушение процесса естественного воспроизводства рыб в результате загрязнения нерестилищ и среды обитания рыб, с последствиями для ихтиофауны озера, указывали и другие исследователи (Аршаница Н. М., 1988; Федорова, Г. В., 1992; Огородникова В. А., Суслопарова, О. Н., 1995).

Отлов личинок и установление видовой принадлежности проводили согласно определителю молоди пресноводных рыб (Коблицкая А. Ф., 1981). Исследования по оценке состояния личинок литоральной зоны южной части Ладожского озера, проведённые в 2023 г. (Рисунок 7, 8, 9) на ряде станций, показали их массовое поражение, что отражено в таблице 26.

Таблица 26 – Исследование личинок на акваториях литоральной зоны южной части Ладожского озера

Акватории отлова личинок	Количество личинок, экз.	Количество пораженных личинок, %	Количество погибших личинок, %	Количество личинок с поражением 4 балла
Шлиссельбургская губа	1000	30	1-3	2-10
Волховская губа	1000	70	2-7	20-30
Свирская губа	1000	29	2-3	2-6

Как видно из таблицы 26, более высокий процент визуального поражения личинок оказался в Волховской губе на акватории и станциях отлова, тяготеющих к источникам загрязнения - стокам Сясьского ЦБК и выносом загрязняющих веществ рекой Волхов.

Исследование личинок карповых и окуневых рыб на акваториях литоральных зон южной части Ладожского озера показало, что количество визуально пораженных личинок в Шлиссельбургской губе колебалось до 30,0%, в Волховской – до 70,0%, в Свирской – до 29,0%. Среди исследованных личинок были выявленные погибшие. В Шлиссельбургской губе количество которых колебалось по станциям от 1,0% до 3,0%, в Волховской – 2,0% до 7,0%, в Свирской от 2,0% до 3,0%.

Отмеченные патологические изменения дали возможность охарактеризовать наиболее выраженные его проявления, связанные с черепными дефектами, аномалиями позвоночника (сколиоза), дефектами глаз (пучеглазия) и гемодинамические нарушения. Именно эти патологии являются причиной их массовой гибели. Было установлено снижение процента пораженных особей мальков и сеголеток с костными повреждениями и патологиями глаз (Таблица 27), а среди сеголеток их уже были единицы.

Таблица 27 - Результаты исследования мальков рыб в Волховской губе

Акватории отлова личинок	Количество исследованных мальков, экз.	Количество пораженных личинок %	Учитываемые дефекты
Шлиссельбургская губа	100	7	Сколиоз, черепные дефекты, пучеглазие
Волховская губа	100	6	
Свирская губа	100	5	

Процент поражения личинок снижался по мере удаления от источников загрязнения и побережья. Не удалось исследовать личинок ценных видов рыб (сигов, лососей), но ориентируясь на литературные данные, эти рыбы значительно более чувствительны к токсикантам, по сравнению с исследованными видами. Их инкубационный период намного длиннее, что сказывается на более продолжительном периоде воздействия загрязняющих веществ. Исследования рыб старших возрастных групп, на исследуемых акваториях показали высокий процент пораженных особей, с признаками

интоксикации, протекающей хронически, что проявлялось в легких и средних баллах поражения.

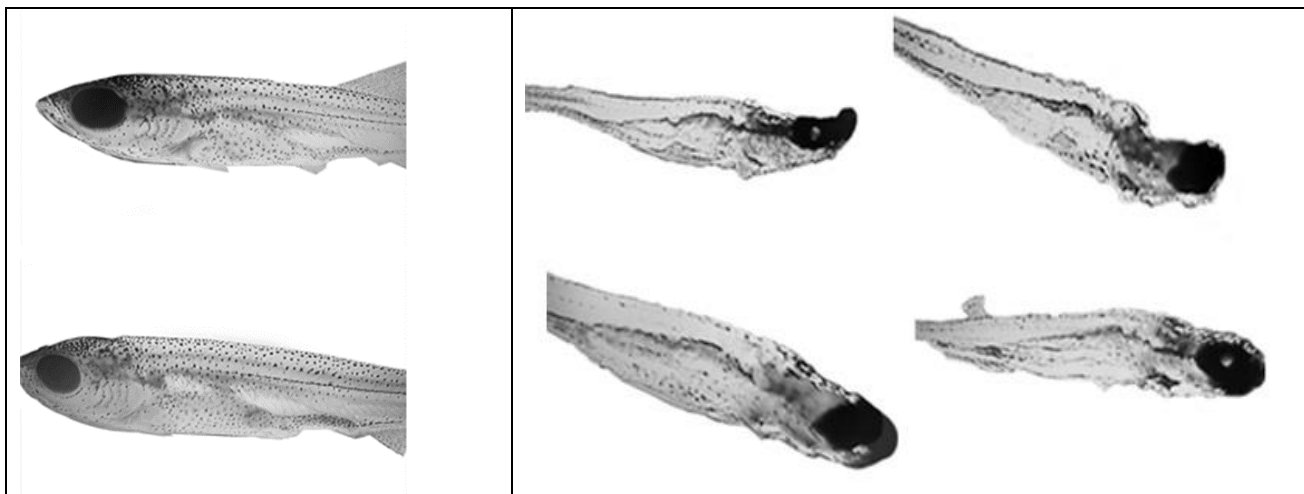


Рисунок 7 — Здоровые личинки рыб

Рисунок 8 — Личинки рыб с деформацией позвоночника, головы, повреждением глазного яблока



Рисунок 9 — Личинки с деформацией позвоночника и тела

По результатам исследований, установлено воздействие загрязняющих веществ на 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, и процента патологий и гибели личинок, и молоди рыб, что является основной причиной изменения структуры ихтиофауны и изменения рыбохозяйственного статуса водоема.

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

При оценке качества безопасности продукции, согласно ветеринарным правилам, утвержденным 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.

Исследование рыб проводили в литоральных зонах и тяготеющих к ним акваториях трёх губ (Шлиссельбургской, Волховской, Свирской), южной части Ладожского озера, имеющей особо важное рыбохозяйственное значение. На анализ отбирали туводных рыб, обитающих на обследованных акваториях, половозрелого возраста, в количестве 10 экземпляров каждого вида (лещ, окунь, плотва, судак) с каждой станции. В процессе идентификации пищевой продукции к объектам технического регулирования, использовали следующее: оценка по наименованию и ее признакам, изложенным в определении такой продукции в ТР и ТР/ТС на отдельные виды пищевой продукции, а также визуальный, органолептический, и аналитический методы. Использован органолептический метод, как основной, так как согласно Техническому регламенту Таможенного союза ТР ТС 021/2011 "О безопасности пищевой продукции", Утверждённой Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года N 880 статье 6, п. 3.3 указано, что органолептический метод применяется, если пищевую продукцию невозможно идентифицировать методом по наименованию и визуальным методом. Поэтому учитывали: оценка внешнего вида рыб (количество и состояние слизи, состояние чешуи, цвет глаз и жабр), степень деформации тела рыбы, наличие механических повреждений. При внешнем осмотре у большинства исследуемых экземпляров рыб

южной части озера (Шлиссельбургской, Волховской, Свирской губ) поверхность тела была покрыта тонким слоем прозрачной слизи. Слизь не имела посторонних запахов и мутного цвета. При оценке жабр учитывался внешний вид – у некоторых экземпляров, особенно в Волховской губе Ладожского озера, отмечались анемии и кровоизлияния жаберной ткани. При наличии обильного кровоизлияния в жабрах, отмечался затхлый и кисловатый запах. Также оценивалось наличие механических повреждений и чешуйчатого покрова рыб. В большинстве случаев чешуя была неповрежденной и плотно прилегала к телу, встречались экземпляры рыб с механическими повреждениями тела, отмечались кровоподтёки. Оценивалась степень прозрачности роговицы и положения глазного яблока относительно уровня его орбиты – у свежевывловленной рыбы роговица была светлая, глазное яблоко выпуклое. Состояние брюшка было в норме в большинстве случаев. Также у исследуемых экземпляров рыб отмечалось запавшее анальное отверстие, бледно-розового цвета. Консистенция рыб была плотной, цвет мяса на срезе – блестящий, свойственный для каждого вида. Запах определялся пробой варки и соответствовал свежей рыбе. Опасные зооантропонозные гельминты в мышечной ткани рыб не обнаружены. По итогам проведения органолептических исследований проведена выбраковка рыбы, потерявшей товарный вид (Таблица 28).

Таблица 28 – Выбраковка рыбы по товарному виду, выловленных в южных акваториях Ладожского озера

Акватория	Недоброкачественные органолептические показатели	Процент выбраковки рыбы
Шлиссельбургская губа	низкая упитанность, деформация тела (сколиоз)	2,5 % (1 экземпляр)
Волховская губа	низкая упитанность; искривление позвоночника; травмированная поверхность тела; слизь липкая, присутствует неприятный запах	5 % (2 экземпляра)
Свирская губа	низкая упитанность, травмированная поверхность тела	2,5 % (1 экземпляр)

Далее проводились исследования физико-химических и микробиологических показателей пищевой продукции признакам, изложенным в соответствующих нормативно - правовых документах.

На базе Регионального центра эпизоотического и экологического мониторинга Ладожского озера, проведена оценка соответствия рыбной продукции непромышленного изготовления животного происхождения ветеринарно-санитарной экспертизы согласно требованиям, установленными ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». При отборе образцов использовалось технологическое оборудование и инвентарь, контактирующие с пищевой продукцией, которые изготовлены из материалов, соответствующих требованиям, предъявляемым к материалам, контактирующим с пищевой продукцией. Отходы были отдельно размещены в промаркированные, находящиеся в исправном состоянии и используемые исключительно для сбора и хранения таких отходов и мусора, закрываемые емкости и утилизированы в соответствии с действующими правилами законодательства.

При использовании контейнеров для перевозки исключалось её соприкосновение, загрязнение и изменение органолептических свойств пищевой продукции. В лаборатории на базе ГБУ ЛО «СББЖ Лужского района», где были исследованы основные показатели согласно ТР ЕАЭС 040/2016, предъявляемые для рыбной продукции категории рыба-сырец (свежая), данные исследований приведены в таблице 29.

Таблица 29 - Микробиологические нормативы безопасности пищевой рыбной продукции для категории рыба-сырец (свежая)

Показатель	Норматив	Вид акватории		
		Шлиссельбургская губа	Свирская губа	Волховская губа
Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), КОЕ/г, не более	5×10^4	$3,4 \times 10^3 \pm 0,2 \times 10^3$	$3,9 \times 10^3 \pm 0,1 \times 10^3$	$4,2 \times 10^3 \pm 0,3 \times 10^3$

Продолжение табл. 29

Бактерии группы кишечных палочек (колиформы) (БГКП), не допускаются в массе продукции, г	0,01	-	-	-
<i>S. aureus</i> , не допускаются в массе продукции, г	0,01	-		
Сальмонеллы	Не допускается в 25 г	Не выделено	Не выделено	Не выделено
<i>L. monocitogenes</i>	Не допускается в 25 г	Не выделено	Не выделено	Не выделено

Увеличение количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов относительно исследуемых акваторий свидетельствует о корреляции между токсикологическим состоянием ихтиофауны и получаемой продукции. Несмотря на безопасность относительно показателей ветеринарно-санитарной экспертизы, рыбы из более загрязнённых акваторий имеют очевидно нарушение микробиома и естественных механизмов защиты организма, что выражается в сравнительном увеличении КМАФАнМ.

Далее проводились патоморфологические исследования рыб, кроме туводных (лещ, окунь, плотва, судак) для сравнения отобранных рыб ведущие пелагический образ жизни (укля, корюшка). В таблице 30 представлены материалы сезонных исследований патоморфологического состояния рыб Шлиссельбургской губы озера. Оценку состояния рыб проводили согласно методике Н. М. Аршаница, Л. А. Лесников (1987).

Таблица 30 – Результаты сезонного исследования Шлиссельбургской губы

Сезоны	Станции отлова рыб	Виды рыб	Количество осмотренных рыб	Оценка состояния рыб		
				Количество особей с патологическими изменениями, %	Степень выраженности патологий в баллах	Количество экземпляров по баллам
Весна	Ш1 5 км от истока р. Нева	лещ	10	20	2,0	2-2,0
		плотва	10	30	2-3,0	2-2,0;1-3,0
		окунь	10	30	2-3,0	1-2,0;2-3,0
	Ш2 Литоральная зона	лещ	10	30	2-3,0	2-2,0;1-3,0
		плотва	10	40	2-3,0	1-2,0;2-3,0
		окунь	10	40	2-3,0	2-2,0;2-3
	Ш3 Литоральная зона	лещ	10	30	2-3,0	2-2,0;1-3,0
		плотва	10	40	2-3-4,0	2-2,0;2-3,0
		окунь	10	30	2-3,0	1-2,0;1-3,0;1-4,0
	Ш4 За пределами литоральной зоны	лещ	10	30	2-3,0	2-2,0;1-3,0
		плотва	10	30	2,0	3-2,0
		окунь	10	30	2,0	3-2,0
		уклея	10	20	2,0	2-2,0
Лето	Ш1 5 км от истока р. Нева	лещ	10	30	2-3,0	2-2,0;1-3,0
		плотва	10	40	2-3,0	2-2,0;2-3,0
		окунь	10	40	2-3,0	2-2,0;2-3,0
	Ш2 Литоральная зона	лещ	10	40	2-3,0	2-2,0;2-3,0
		плотва	10	30	2-3,0	1-2,0;2-3,0
		окунь	10	40	2-3,0	2-2,0;2-3,0
	Ш3 Литоральная зона	лещ	10	30	2-3,0	2-2,0;1-3,0
		плотва	10	40	2-3,0	2-2,0;2-3,0
		окунь	10	30	2-3,0	2-2,0;1-3,0
	Ш4 За пределами литоральной зоны	лещ	10	30	2-3,0	2-2,0;1-3,0
		плотва	10	30	2,0	3-2,0
		окунь	10	30	2,0	3-2,0
		уклея	10	20	2,0	2-2,0
Осень	Ш1 5 км от истока р. Нева	лещ	10	40	2-3,0	3-2,0;1-3,0
		плотва	10	30	2-3,0	2-2,0;1-3,0
		окунь	10	30	2-3,0	2-2,0;1-3,0
	Ш2 Литоральная зона	лещ	10	30	2-3,0	1-2,0;2-3,0
		плотва	10	30	2-3,0	2-2,0;1-3,0
		окунь	10	30	2-3,0	2-2,0;1-3,0
	Ш3 Литоральная зона	лещ	10	30	2-3,0	2-2,0;1-3,0
		плотва	10	40	2-3,0	3-2,0;1-3,0
		окунь	10	30	2-3,0	2-2,0;1-3,0
	Ш4 За пределами литоральной зоны	лещ	10	30	2-3,0	2-2,0;1-3,0
		плотва	10	20	2,0	2-2,0
		окунь	10	20	2,0	2-2,0
		уклея	10	20	2,0	2-2,0

Весеннее исследование рыб показало их поражение на всех обследованных акваториях и носило массовый характер, который колеблется от 20,0% до 40,0% от

количества исследованных рыб. На всех акваториях были отмечены признаки интоксикации, с вовлечением в патологический процесс жаберной ткани, паренхиматозных органов, желудочно-кишечного тракта.

У отдельных особей отмечалось снижение упитанности, поражения мягких тканей плавников и пр. Данное исследование в весенний период показало, что на всех обследованных акваториях повреждения у рыб носили однотипный характер, и были связаны с нарушением гемодинамики и очагами перерождения в печени.

Изменения в печени были связаны с очагами перерождения и изменением окраски органа, обычно локальным, изменением консистенции. Со стороны желчного пузыря отмечали степень наполнения, изменение окраски и консистенцию содержимого. В сердце отмечали анемию и дряблость мышц. Почка была увеличена, кровенаполнена, отека, иногда с образованием камней в почечных канальцах. В желудочно-кишечном тракте отмечали отеки слизистой оболочки, очаги гиперемии, скопление слизистого содержимого. Со стороны гонад отмечали инъекцию сосудов. В плавательном пузыре наблюдали кровенаполнение сосудов, редко разлитые кровоизлияния. Изменения в головном мозге были связаны с инъекцией сосудов, а иногда с мелкоочечными кровоизлияниями. Также важно отметить, что состояние рыб за пределами литоральной зоны было удовлетворительным.

Летнее исследование рыб показало практически идентичную картину поражения рыб, как в процентном отношении, так и в проявлении патологического процесса. При этом преобладали особи с легкими повреждениями, сгладилась картина поражения жаберной ткани рыб. Было также отмечено, что сильнее поражены рыбы старших возрастных групп и ведущие придонный образ жизни. На примере уклей было показано, что рыбы, ведущие пелагический образ жизни, менее поражены в процентном отношении и проявление интоксикации наблюдается в легкой форме.

У рыб, отловленных на контрольных станциях, проявление интоксикации носило легкий характер. При осеннем исследовании Шлиссельбургской губы, состояние рыб было удовлетворительным. Картина интоксикации была сглажена,

преобладали особи с легким проявлением патологического процесса. Если весной встречались особи с низкой упитанностью, наружным проявлением интоксикации, то осенью такие случаи были единичны. Таким образом признаки интоксикации в весенний период, были связаны с зимовкой, нарастанием количества токсинов в виде загрязняющих веществ, поступающих с поверхностным стоком и атмосферными осадками. В Таблице 31 представлены материалы патологоанатомического исследования рыб Волховской губы Ладожского озера.

На этой акватории отлов рыб был произведен также в литоральной зоне, и за ее пределами. Как видно из таблицы 31, были исследованы различные виды туводных рыб в различные сезоны года.

Таблица 31 – Результаты сезонного исследования Волховской губы

Сезоны	Станции отлова рыб	Виды рыб	Количество осмотренных рыб	Оценка состояния рыб		
				Количество особей с патологическими изменениями, %	Степень выраженности патологий в баллах	Количество экземпляров по баллам
Весна	В1 5 км от устья р. Волхов	лещ	10	50	2-3-4,0	2-2,0;2-3,0;1-4,0
		судак	10	50	2-3,0	2-2,0;3-3,0
		плотва	10	60	2-3-4,0	3-2,0;2-3,0;1-4,0
		окунь	10	50	2-3,0	2-2,0;2-3,0; 1 -4,0
	В2 Район Сясьского ЦБК	лещ	10	60	2-3,0	2-2,0;4-3,0
		судак	10	70	2-3-4,0	2-2,0;4-3,0; 1-4,0
		плотва	10	60	2-3,0	2-2,0; 4-3,0
		окунь	10	50	2-3,0	2-2,0;3-3,0
	В3 5 км слева от устья р. Волхов	лещ	10	50	2-3,0	2-2,0;3-3,0
		судак	10	40	2-3,0	2-2,0;2-3,0
		плотва	10	50	2-3,0	2-2,0;3-3,0
		окунь	10	40	2-3,0	2-2,0;2-3,0
	В4 За пределами литоральной зоны	лещ	10	40	2-3,0	2-2,0;2-3,0
		судак	10	40	2-3,0	2-2,0;2-3,0
		окунь	10	50	2-3,0	1-2,0;4-3,0
		корюшка	10	30	2,0	3-2,0

Продолжение табл. 31

Лето	В1 5 км от устья р. Волхов	лещ	10	50	2-3,0	2-2,0;3-3,0
		судак	10	60	2-3,0	4-2,0;2-3,0
		плотва	10	50	2-3,0	3-2,0;2-3,0
		окунь	10	50	2-3,0	2-2,0;3-3,0
	В2 Район Сясьского ЦБК	лещ	10	60	2-3-4,0	2-2,0;3-3,0;1-4,0
		судак	10	60	2-3-4,0	2-1,0;4-3,0
		плотва	10	50	2-3,0	2-2,0;3-3,0
		окунь	10	60	2-3,0	2-2,0;4-3,0
	В3 5 км слева от устья р. Волхов	лещ	10	50	2-3,0	2-2,0;3-3,0
		судак	10	40	2-3,0	1-2,0;3-3,0
		плотва	10	50	2-3,0	2-2,0;3-3,0
		окунь	10	40	2-3,0	2-2,0;2-3,0
	В4 За пределами литеральной зоны	лещ	10	40	2-3,0	2-2,0;2-3,0
		судак	10	30	2-3,0	2-2,0;1-3,0
		плотва	10	50	2-3,0	2-2,0;3-3,0
		корюшка	10	30	2,0	3-2,0
Осень	В1 5 км от устья р. Волхов	лещ	10	40	2-3,0	2-2,0;2-3,0
		судак	10	50	2-3,0	3-2,0;2-3,0
		плотва	10	40	2-3,0	2-2,0;2-3,0
		окунь	10	50	2-3,0	2-2,0;3-3,0
	В2 Район Сясьского ЦБК	лещ	10	50	2-3,0	3-2,0;2-3,0
		судак	10	60	2-3,0	2-2,0;4-3,0
		плотва	10	50	2-3,0	2-2,0;3-3,0
		окунь	10	50	2-3,0	2-2,0;3-3,0
	В3 5 км слева от устья р. Волхов	лещ	10	40	2-3,0	2-2,0;2-3,0
		судак	10	40	2-3,0	2-2,0;2-3,0
		плотва	10	30	2-3,0	2-2,0;1-3,0
		окунь	10	40	2-3,0	2-2,0;2-3,0
	В4 За пределами литеральной зоны	лещ	10	40	2-3,0	3-2,0;1-3,0
		судак	10	30	2-3,0	2-2,0;1-3,0
		плотва	10	40	2-3,0	2-2,0;2-3,0
		корюшка	10	20	2,0	2-2,0

Полученные в весенний период результаты исследований показывают их массовую интоксикацию с проявлением патологического процесса в легкой, средней и тяжелой (опасной) степени тяжести. Показано, что процент пораженных рыб доходит до 70 от числа исследованных. Указанная акватория находится под влиянием сточных вод Сясьского ЦБК и загрязненного стока реки Волхов. Наибольшая доля обнаруженных патологий рыб была отмечена в весенний период на станциях 1 и 2, а на контрольной станции, находящейся за пределами мелководной литеральной зоны и удаленной от источников загрязнения

пораженных рыб, оказалась несколько ниже, и ее проявления были менее выражены.

На загрязняемых акваториях проявление интоксикации было отмечено как внешне, так и при патологоанатомическом вскрытии. Были выловлены рыбы с низкой упитанностью, особи с потускнением наружных покровов тела, пучеглазием, гиперемией тела, поверхностными повреждениями мягких тканей плавников. В жаберной ткани отмечали неравномерность окраски, отечность, кровоизлияния, очаги поверхностного, а иногда тканевого некроза. На вскрытии все отмеченные проявления интоксикации были связаны в основном с нарушением гемодинамики, процессами перерождения, кровоизлияниями, а иногда с развитием общей анемии. У отдельных особей зафиксировано обострение патологического процесса, что свидетельствует о возможной хронической интоксикации.

Летнее исследование рыб также носило массовый характер поражения внутренних органов, хотя признаки интоксикации были заметно сглажены и менее выражены. На отдельных акваториях стали преобладать особи с легкой степени интоксикацией. В жабрах наблюдали значительное ослизнение, изменение окраски и ее неравномерность, отечность, локальные очаги поверхностного некроза, слабовыраженную дискомплексацию. В печени отмечали локальную гиперемию, очаги перерождения, с вовлечением в процесс желчного пузыря (степень наполнения, изменение окраски и консистенции). Для селезёнки - отёчность, кровоизлияние, почка увеличена, кровенаполнена, слизистая кишечника локально отёчна и гиперемирована. В почках отмечали увеличение и кровенаполнение. На контрольной станции состояние рыб было удовлетворительным, признаки интоксикации были менее выражены. Только лёгкие обратимые проявления интоксикации отмечены у корюшки, ведущей пелагический образ жизни и обитающей в пелагиали. Со стороны желудочно-кишечного тракта наблюдали отечность, гиперемию слизистой оболочки.

В осенний период количество особей с явными признаками интоксикации было ниже, чем в предыдущие сезоны, однако процент поражения внутренних органов продолжал оставаться высоким на всех станциях, включая контрольную.

Выявленные проявления были идентичны летним, но заметно сглажены. Летние и осенние улучшения состояния рыб и на этой загрязняемой акватории связано с их активным питанием, активацией процессов самоочищения среды обитания, активацией самоочищения - выносом загрязняющих веществ с этой мелководной акватории в озеро. Сезонные ихтиотоксикологические исследования, проведённые на акватории Свирской губы, также показали, что и эта акватория подвергается токсическому воздействию, что показали результаты проведённых исследований (Таблица 32).

Результаты исследования рыб показывают, что патологические изменения на этой акватории, на всех станциях, носит массовый характер, что проявляется как внешне, так и при вскрытии. Симптомы хронической интоксикации были однотипны для всех видов рыб.

Таблица 32 – Результаты сезонного исследования Свирской губе

Сезоны	Станции отлова рыб	Виды рыб	Количество осмотренных рыб	Оценка состояния рыб		
				Количество особей с патологическими изменениями, %	Степень выраженности патологий в баллах	Количество экземпляров по баллам
Весна	С1 1 км от устья р. Свирь	лещ	10	20	2,0	2-2,0
		плотва	10	30	2-3,0	1-2,0; 2-3,0
		окунь	10	30	2-3,0	2-2,0; 1-3,0
	С2 Литоральная зона	лещ	10	40	2-3,0	3-2,0; 1-3,0
		плотва	10	30	2,0	3-2,0
		окунь	10	40	2-3,0	3-2,0; 1-3,0
		судак	10	40	2,0	4-2,0
	С3 Литоральная зона	лещ	10	40	2-3,0	3-2,0; 1-3,0
		окунь	10	30	2,0	3-2,0
		судак	10	40	2,0	4-2,0
		плотва	10	30	2,0	3-2,0
	С4 За пределами литоральной зоны	лещ	10	30	2,0	3-2,0
		окунь	10	30	2,0	3-2,0
		судак	10	20	2,0	2-2,0
		корюшка	10	20	2,0	2-2,0

Продолжение табл. 32

Лето	С1 1 км от устья р. Свирь	лещ	10	30	2-3,0	2-2,0; 1-3,0
		плотва	10	20	2-2,0	2-2,0;
		окунь	10	30	2-3,0	2-2,0; 1-3,0
	С2 Литоральная зона	лещ	10	40	2-3,0	3-2,0; 1-3,0
		плотва	10	30	2,0	3-2,0
		окунь	10	40	2-3,0	2-2,0; 3-3,0
		судак	10	30	2-3,0	2-2,0; 3-3,0
	С3 Литоральная зона	лещ	10	40	2-3,0	2-2,0; 2-3,0
		окунь	10	40	2,0	4-2,0
		судак	10	30	2-3,0	1-2,0; 3-2,0
		плотва	10	30	2,0	3-2,0
	С4 За пределами литоральной зоны	лещ	10	40	2-3,0	3-2,0; 1-3,0
		окунь	10	30	2,0	3-2,0
		судак	10	30	2,0	3-2,0
		корюшка	10	20	2,0	2-2,0
Осень	С1 1 км от устья р. Свирь	лещ	10	30	2-3,0	2-2,0; 1-3,0
		плотва	10	20	2-3,0	2-2,0
		окунь	10	30	2-3,0	2-2,0; 1-3,0
	С2 Литоральная зона	лещ	10	40	2-3,0	3-2,0; 1-3,0
		плотва	10	30	2-3,0	2-2,0; 1-3,0
		окунь	10	40	2-3,0	2-2,0; 2-3,0
		судак	10	30	2-3,0	1-2,0; 2-3,0
	С3 Литоральная зона	лещ	10	40	2-3,0	2-2,0; 2-3,0
		окунь	10	30	2-3,0	1-2,0; 2-3,0
		судак	10	40	2-3,0	2-2,0; 2-3,0
		плотва	10	30	2,0	3-2,0
	С4 За пределами литоральной зоны	лещ	10	30	2,0	3-2,0
		окунь	10	40	2,0	4-2,0
		судак	10	30	2,0	3-2,0
		корюшка	10	20	2,0	2-2,0

Весенние исследования показали довольно высокий процент поражения рыб. При внешнем осмотре рыб проявление патологий наблюдались в потускнении наружных покровов, жаберной ткани, паренхиматозных органах, желудочно-кишечном тракте и редко в головном мозге. Как видно из таблицы, патологические изменения носили легкий и средний характер повреждений и более выражено проявлялось на станциях, тяготеющих к источникам загрязнения, выносу загрязняющих веществ рекой Свирь. Следует отметить, что у леща, судака и окуня отмечена выраженная инъеция сосудов головного мозга, с мелкоточечными кровоизлияниями. Как в предыдущих опытах, более пораженными оказались рыбы старших возрастных групп, ведущие придонный образ жизни, а менее

пораженными обитатели пелагиали, и в данном случае корюшка. Показательным оказалось то, что на контрольной станции за пределами литорали поражение всех исследованных видов рыб носили более легкий обратимый характер.

В летнее исследование рыб, как видно из таблиц, процент патологий не снизился, но картина визуального проявления интоксикаций несколько сгладилась и в целом была идентична весенним заключениям.

Осеннее исследование показало некоторый процент снижения визуального поражения рыб с доминированием рыб с легкими повреждениями и особенно их благоприятное состояние было на контрольной станции.

Резюмируя результаты проведенных исследований на южной акватории озера, необходимо отметить довольно массовое поражение рыб с признаками интоксикации, протекающей в хронической форме. Наиболее неблагоприятным сезоном в жизни рыб на загрязняемых акваториях является весенний период. В это время отмечается более высокий уровень их поражения. В летний период состояние рыб стабилизируется и в некоторой степени улучшается. Осень наиболее благоприятный период в жизни рыб - улучшается их состояние, снижается процент заболеваемости, и проявление интоксикации становится менее выраженным.

Таким образом, южная акватория Ладожского озера и особенно мелководная литоральная зона, судя по состоянию рыб, является наиболее загрязняемой акваторией. Наиболее высокий уровень загрязнения отмечен в Волховской губе озера. Патологоанатомические проявления хронической интоксикации у рыб южной акватории озера представлены на рисунках 10-17.



Рисунок 10— Анемия жаберной ткани рыб

Рисунок 11 — Патология жабр рыб:
неравномерность окраски, повреждение
мягких тканей



Рисунок 12 — Патология жабр рыб:
неравномерность окраски, регенерация
тканевого некроза

Рисунок 13 — Печень леща в нормальном
физиологическом состоянии



Рисунок 14 — Патология печени рыб:
перерождение печени



Рисунок 15 — Патология печени рыб:
гиперемия печени рыб



Рисунок 16 — Патология печени рыб:
перерождение и деформация органа



Рисунок 17 — Патология печени рыб: очаги
перерождения

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. На гистологических препаратах наблюдается изменение архитектоники эпителиальной и собственной пластин жабр. На некротизированных участках визуализируются повреждения стенки кровеносных сосудов. Отмечалось наличие

некрозов с дискомплексацией эпителиальной ткани или 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 гемопоэтической ткани почки наблюдается большое количество гранул гемосидерина и в соединительной ткани различной степени распада, перенаполненными 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.

Ткань головного мозга рыб менее реактивна по сравнению с тканями других органов и способна к восстановлению. Более устойчивой к токсикологическому воздействию оказалась герминативная ткань рыб, что является проявлением высокой степени надежности в развитии и функционировании репродуктивной системы.

Патологоанатомические исследования на водоемах бассейна Ладожского озера подтверждает это, тогда как поражение других органов рыб было очевидно и четко проявлялось визуально. Гистоморфологические изменения во внутренних

органах рыб и жаберной ткани рыб южных акваторий Ладожского озера представлены на рисунках 18-22.

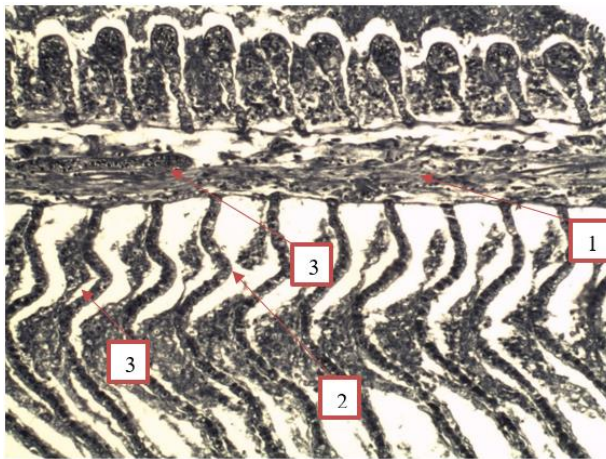


Рисунок 18 — Фрагмент жабр леща из южной части Ладожского озера с сохраненной архитектоникой. Стрелками обозначены: 1 – лепестки (первичные ламеллы); 2 – лепесточки (вторичные ламеллы); 3 – капилляры. Окраска железным гематоксилином по Гейденгайну, увеличение: x200

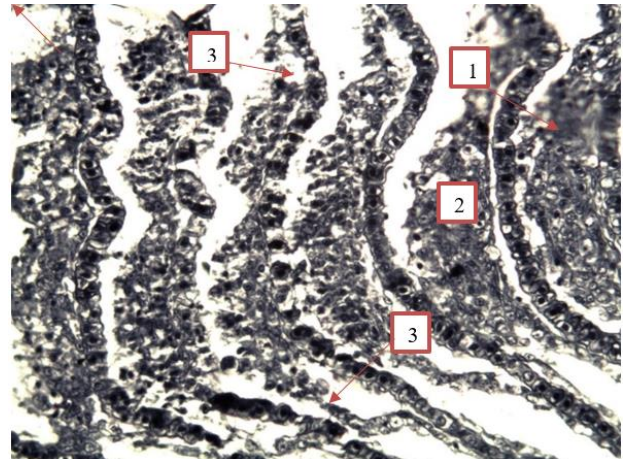


Рисунок 19 — Фрагмент жабр леща из южной части Ладожского озера с поврежденными кровеносными сосудами ламелл. Стрелками обозначены: 1 – лепестки (первичные ламеллы); 2 – лепесточки (вторичные ламеллы); 3 – поврежденные капилляры. Окраска железным гематоксилином по Гейденгайну, увеличение: x200.

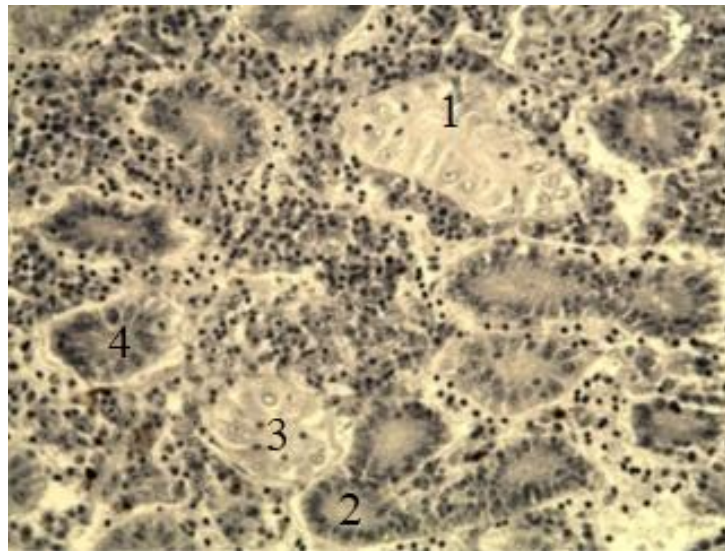


Рисунок 20 — Зернистая дистрофия эпителиоцитов почечных канальцев плотвы из южной части Ладожского озера. Стрелками обозначены: 1 – мочесобираательная трубка; 2 – проксимальный извитой каналец; 3 – сосудистый клубочек; 4 – дистальный извитой каналец. Окраска железным гематоксилином по Гейденгайну, увеличение: x200

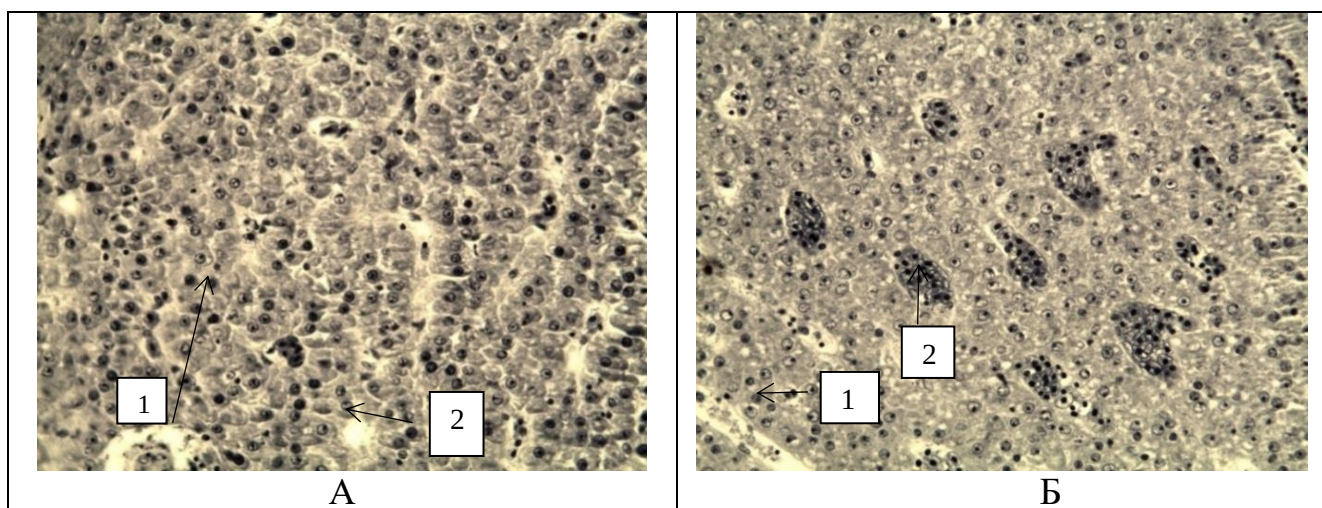


Рисунок 21 — Фрагмент печени леща (А) и окуня (Б) из южной части Ладожского озера. Стрелками обозначены: А) 1 – ядра гепатоцитов; 2 – центральная вена (вторичные ламеллы); Б) 1 – кровеносный сосуд; 2 – скопление макрофагов, содержащие меланин гематоксилином по Гейденгайну, увеличение: x200

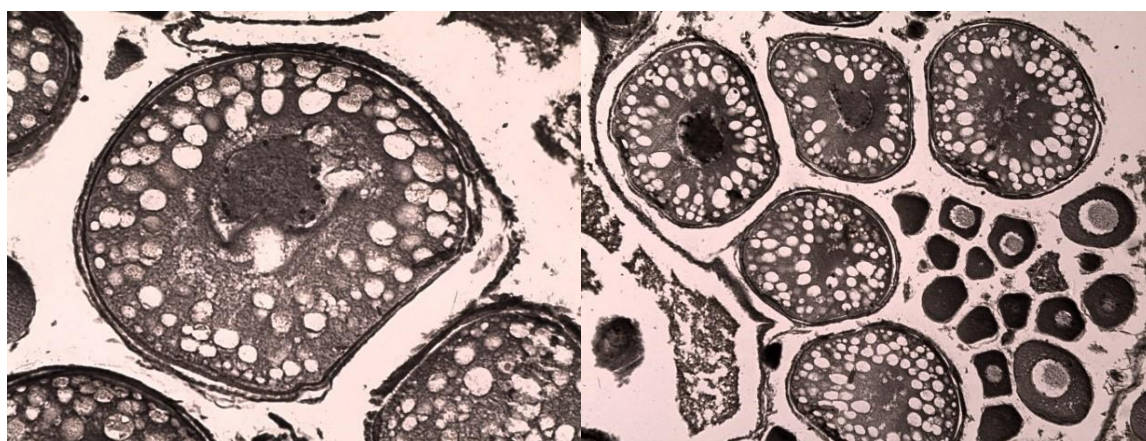


Рисунок 22 — Вакуолизации ооцит старшей генерации в период вителлогенеза у окуня из южной части Ладожского озера. Окраска железным гематоксилином по Гейденгайну, увеличение: x200

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.

3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Актуальность исследования связана с важностью Ладожского озера, как источника питьевой воды и водоема высшей рыбохозяйственной категории, а также большой значимостью южной части озера в рыбохозяйственном отношении и уязвимости этой акватории к токсическому воздействию, необходимостью оценки состояния популяции рыб в современных условиях. Исследования проведены как в рамках государственного мониторинга водных биологических ресурсов, так и в соответствии с Указом Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития РФ на период до 2024 г., 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». В ходе выполнения работы были использованы современные биологические и химико-аналитические методы оценки состояния ихтиофауны и среды ее обитания. Показано, что общие гидрохимические и физические качества, параметры воды на обследованных акваториях, таких как растворенный кислород и концентрация водородных ионов pH , а также электропроводность, минерализация, окислительно-восстановительный потенциал, были в пределах нормы и соответствовали среднемесячным значениям. Полученные результаты согласуются с данными, отражёнными в докладе Комитета по природным ресурсам Ленинградской области за исследуемый период и на основании проведенных исследований, сделан вывод, что основной потенциальный источник интоксикации гидробионтов не связан с физическими и гидрохимическими параметрами воды южной части Ладожского озера.

Проведенные результаты исследований металлов в воде и донных отложениях, дают основания считать металлы значимыми токсикантами в оценке среды обитания рыб Ладожского озера. 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 концентрации марганца

встречалось на всех станциях и в среднем составило 3 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 уровня 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 раз 3 на станциях С1, С2, С4. В результате исследования донных отложений, нами отмечено, что концентрации анализируемых металлов не превышала ПДК. Хотя в донных отложениях разных акваторий отмечена тенденция к увеличению меди и цинка. Так, выявлено увеличение меди на 29,3%, а цинка на 52,5% в Волховской губе, по сравнению с остальными акваториями. Однако отмеченное наличие металлов в среде обитания рыб и их совокупное действие, сказывается на них, и особенно на их воспроизводстве. Это убедительно показали результаты биотестирования воды, эллютриатов донных отложений и атмосферных осадков. Большинство проб оказались токсичными в хроническом опыте по одному или двум показателям (выживаемость и плодовитость).

На основе исследования нормируемых металлов в мышечной ткани рыб, сделан вывод, что металлы не превышали ДОК, что свидетельствует о безопасности рыбной продукции, поступающей из южных акваторий Ладожского озера по данным критериям. Однако прослеживается процесс аккумуляции металлов в органах и тканях рыб, поэтому был расширен спектр изучаемых металлов, характерных для южной части Ладожского озера, согласно метаанализа открытых источников литературы (Перевозников, М. А., 1999; Аршаница, Н. М., 2011; Сусарева, О. М., 2013). Поэтому исследовали такие металлы как кадмий, медь, цинк, мышьяк, ртуть, свинец. Отмечено повышенное количество меди в мышечной ткани в организме рыб Волховской и Свирской губ, на 30,0% и на 18,0%, соответственно, относительно Шлиссельбургской акватории. Содержание цинка выше на 36,0%, у рыб, выловленных на акватории Волховской губы и на 26,0% больше в мышечной ткани в организме рыб, выловленных на акватории Свирской

губы, по сравнению со Шлиссельбургской. В печени, содержание цинка и меди выше у рыб, находящихся в Волховской губе. Так по сравнению с другими акваториями, концентрация цинка увеличена в 2 раза по сравнению со Шлиссельбургской губой, а медь превышена в 5,9 раз и 2,6 раз, по сравнению со Шлиссельбургской и Свирскими губами. Полученные данные отражают факт ассоциированного действия всех исследуемых металлов, но преимущественно двух преобладающих: цинка и меди. Несмотря на повышенное содержание меди во всех акваториях южной части Ладожского озера, цинк подавляет всасывание меди, и препятствует ее физиологическому усвоению в организме рыб, что, в последствии, может привести к снижению ферментной активности, снижению усвояемости пищи, приростов и нарушению микрофлоры кишечника, а также снижению общей резистентности.

Исследования атмосферных осадков показали, насколько значима роль металлов в загрязнении акваторий в южной части озера. Особенно на литоральных зонах всех трех губ в виде сухих и мокрых осадков. Исследования содержания металлов в пробах атмосферных осадков выявили все 12 металлов (Al, V, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, Pb, Hg). Особенно опасны они для литоральной зоны ввиду кратности разбавления. Связано с тем, что приходная часть водного баланса озера состоит на 85% из притока речных вод, 2% родниковых и 13% из атмосферных осадков. Более 10% приходится на загрязненный атмосферный приток только в виде дождя. Анализ полученных данных выявил многократное превышение контролируемых металлов. Аэрогенные загрязнения некоторых водоемов Северо-Запада очень значимы и в отдельных случаях являются единственным источником их загрязнения металлами и даже гибелью рыб, а также исчезновением некоторых чувствительных видов (Борисов, М. Я., 2005). Загрязнения поверхностных вод аэрогенным путем приобрело глобальный характер с региональными и локальными особенностями, одной из основных причин этого явления стало распространение металлов на большие расстояния. Этот процесс приобрел международный характер и стала предметом обсуждения в ООН и целого ряда международных конференций (Моисеенко Т. И., 2009).

Нарушение естественного воспроизводства рыб, как массовое явление, было отмечено и ранее, не только в Ладожском озере, но и в реке Волхов (Кольчугина, О. А., 2009; Стекольников, А. А., 2016). Исследование личинок рыб на акваториях литоральных зон южной части Ладожского озера показало, что количество визуально пораженных личинок в Шлиссельбургской губе колебалось до 30,0%, в Волховской – до 70,0%, в Свирской – до 29,0%. Среди исследованных личинок были выявлены погибшие. В Шлиссельбургской губе количество которых колебалось по станциям от 1,0% до 3,0%, в Волховской – от 2,0% до 7,0%, в Свирской от 2,0% до 3,0%. Анализ живых и погибших личинок показал, что основные патологические проявления воздействия загрязняющих веществ связаны с поражением костной ткани, искривлением позвоночника в сколиозе, деформацией тела, головы, а также поражением глаз (экзофтальмия), развитием анемии. Подобные патологические изменения связаны с воздействием металлов, что нашло подтверждение у специалистов исследующих личинок (Брагинский, Л. П., 1989). Высокий процент поражения личинок токсикантами с последующей гибелью, в отличие от половозрелых особей, связан с тем, что рыба на разных стадиях онтогенеза проявляет разную степень толерантности к токсическому действию. Это объясняется тем, что в равных условиях токсичность загрязняющих веществ тем выше, чем на более ранней стадии развития находится организм. В Ладожском озере согласно анализу литературных источников, в большей степени пострадали сиги и лососи. Это связано с тем, что это наиболее чувствительные к токсическому воздействию виды, а также с тем, что инкубационный период у них длительный по сравнению с карповыми, окуневыми и другими. Это подтверждено и экспериментально (Аршаница, Н. М., Каримов, Б. К., 2011).

Резюмируя результаты изложенного, можно сделать вывод: нарушение естественного воспроизводства в литоральной зоне южной части Ладожского озера, месте нереста и нагула молоди основных видов рыб озера, связано с воздействием токсического фактора со стороны металлов, что является основной причиной изменения структуры рыбного населения озера и изменения рыбохозяйственного статуса водоема.

На исследуемых акваториях проводились органолептические и микробиологические исследования рыб на соответствие безопасности рыбной продукции, поступающей из южных районов Ладожского озера, на базе ветеринарной лаборатории ГБУ ЛО «СББЖ Лужского района». Показано, что наибольшее количество выбракованных рыб обнаружено на акватории тяготеющей к источникам загрязнения в Волховской губе: стокам Сясьского ЦБК и устью реки Волхов – 5,0% от числа исследованных. Это проявляется в виде снижения упитанности, высокой степени выраженности интоксикации, присутствием неблагоприятного запаха. На других акваториях – в Свирской и Шлиссельбургских губах количество выбракованных рыб не превышало 2,5%, и было в основном связано с деформацией тела и низкой упитанностью.

Патоморфологическое исследование рыб на литоральных зонах южной части озера и тяготеющим к ним акваториям показало воздействие на них токсикологического фактора: комплексного воздействия металлов (в особенности меди и цинка), что проявляется в развитии патологических процессов в органах и тканях рыб, в основе которых лежат нарушения кровоснабжения. Независимо от сезона года, акватории вылова и вида рыб, отмечались признаки хронической интоксикации. Патологические проявления действия загрязняющих веществ наблюдались как при внешнем осмотре, так и при вскрытии. В большей степени патологии отмечены в жаберной ткани, в паренхиматозных органах, желудочно-кишечном тракте и головном мозге, а в меньшей степени в гонадах. В большинстве случаев нами наблюдались лёгкие и средние степени патологических изменений. Наибольшая доля поражённых рыб с тяжелой степенью течения патологического процесса наблюдалась на акваториях, тяготеющих к источникам загрязнения, что было характерно для литоральной зоны Волховской губы, а также устья реки Сясь и истока реки Невы. Что касается сезонности исследования, то наиболее неблагоприятным для ихтиофауны является весенний период. Это связано как с ослабленным состоянием рыб после зимовки, так и поступлением загрязненного поверхностного стока.

Важное значение в исследовании приобрел гистологический анализ органов и тканей, который подтвердил патологические изменения на клеточном уровне и показал более четкую картину воздействия загрязняющих веществ. Выраженное проявление интоксикации проявляется в жаберной ткани в виде нарушения архитектоники эпителиальной и собственных пластин жабр. На некротизированных участках визуализируются поврежденные стенки кровеносных сосудов. Отмечается наличие некрозов с дискомплексацией эпителиальной ткани. В области жаберных дуг наблюдалось срастание вторичных ламелл с образованием цельных пластов. Изменения печени связаны со скоплением пигментных образований и лимфоцитов среди гепатоцитов, которые были часто вакуолизированы с незначительными пигментными ядрами является признаком дистрофических изменений в органе. Показано, что герминативная ткань более устойчива к токсическому воздействию по сравнению с другими органами и тканями. Выявленные гистологические нарушения во внутренних органах и жабрах рыб южной части Ладожского озера носят массовый характер и являются выраженным подтверждением воздействия токсического фактора.

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 РФ, гл. V, установлено, что рыбная продукция, поступающая из южной части Ладожского озера, соответствует нормам качества и безопасности, однако антропогенное воздействие сказывается на экологическом состоянии ихтиофауны, особенно в ранний период онтогенеза, рыб, вызывая гибель молоди, что приводит к снижению запасов и уловов ценных видов рыб.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При эколого-токсикологической оценке состояния ихтиофауны южных районов Ладожского озера были сделаны следующие **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;
- ПДК_{вр} - предельно допустимая концентрация в воде водоёма, используемого для рыбохозяйственных целей;
- ДОК - допустимая остаточная концентрация;
- ЛТ50 - среднее время летального исхода (время до смерти) после воздействия на организм токсичного вещества или стрессового состояния;
- СМЗ - среднемесячные значения.

5. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абакумов, В. А. Контроль изменения биологического разнообразия планетарной экологической системы / В. А. Абакумов // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1988. – Т. XI. – С. 23–32.
2. Абакумов, В. А. Продукционные аспекты биомониторинга пресноводных экосистем / В. А. Абакумов // Продукционно-гидробиологические исследования водных экосистем. – Ленинград : Наука, 1987. – С. 51–61.
3. Алхименко, А. П. Ладоге нужен закон об охране труда / А. П. Алхименко, В. А. Румянцев // Ладожскому озеру – надежную защиту. – Санкт-Петербург : Ин-т озераведения РАН, 2009. – С. 4–13.
4. Андроникова, И. Н. Зоны экологического риска в прибрежных районах Ладожского озера / И. Н. Андроникова, И. М. Распопов // Биология внутренних вод. – 2007. – № 2. – С. 3–10.
5. Андроникова, И. Н. Индикация экологического состояния Ладожского озера по зоопланктону / И. Н. Андроникова // Ладога / под ред. В. А. Румянцева, С. А. Кондратьева. – Санкт-Петербург : Нестор–История, 2013. – С. 350–355.
6. Антропогенное эвтрофирование Ладожского озера / под ред. Н. А. Петровой. – Ленинград : Наука, 1982. – 304 с.
7. Аршаница, Н. М. Антропогенное влияние на популяцию сигов южной части Ладожского озера / Н. М. Аршаница, Г. В. Федорова // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. – 1986. – Вып. 257. – С. 75–84.
8. Аршаница, Н. М. Видовая чувствительность рыб к некоторым типам загрязнения водоемов / Н. М. Аршаница // Материалы Всероссийской научной конференции «Экологические проблемы пресноводных рыбохозяйственных водоемов России. – Санкт-Петербург, 2011. – С. 35–40.
9. Аршаница, Н. М. Влияние загрязнений на воспроизводство рыб / Н. М. Аршаница // Материалы Международной конференции по воспроизводству рыб. – Санкт-Петербург : Нестор–История, 2010. – С. 12–14.

10. Аршаница, Н. М. Влияние загрязнения на экосистему Ладожского озера / Н. М. Аршаница // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. – 1988. – Вып. 185. – С. 138.
11. Аршаница, Н. М. Использование патологоанатомического и патоморфологического методов для оценки состояния рыб Ладожского озера // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. – 2009. – Вып. 338. – С. 11–15.
12. Аршаница, Н. М. Ихтиотоксикология. Токсикозы рыб. Диагностика и профилактика : учебное пособие для вузов / Н. М. Аршаница, А. А. Стекольников, М. Р. Гребцов. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 160 с.
13. Аршаница, Н. М. Материалы ихтиотоксикологических исследований в бассейне Ладожского озера /Н. М. Аршаница// Сборник научных трудов ГосНИОРХ. – 1988. – Вып. 285. – С. 12–23.
14. Аршаница, Н. М. Памятная записка о симпозиуме по водной токсикологии (СЭВ) / Н. М. Аршаница. – Ленинград, 1970. – С. 79–84.
15. Аршаница, Н. М. Патоморфологический анализ в полевых и экспериментальных условиях / Н. М. Аршаница, Л. А. Лесников // Методы ихтиотоксикологических исследований. – Ленинград, 1987. – С. 7–9.
16. Аршаница, Н. М. Патоморфология рыб и моллюсков как показатель качества вод /Н. М. Аршаница// Экологические проблемы пресноводных рыбохозяйственных водоемов России : материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 80-летию Татарского отделения ФГБНУ «ГосНИОРХ». – Санкт-Петербург, 2011. – С. 29–35.
17. Аршаница, Н. М. Рыбы как индикаторы качества вод /Н. М. Аршаница// Материалы Всесоюзной конференции «Методология экологического нормирования». – Харьков, 1990. – Ч. 2. – С. 73–74.
18. Асанова, Т. А. Гистологический метод в оценке состояния токсического поражения пищеварительной железы моллюсков / Т. А. Асанова, Н. М. Аршаница, А. А. Стекольников // Международный вестник ветеринарии. – 2021. – № 1. – С. 173–177.

19. Балущкина, Е. В. Применение интегрального показателя для оценки качества вод по структурным характеристикам донных сообществ / Е. В. Балущкина // Реакция озерных экосистем на изменение биотических и абиотических условий : труды ЗИН РАН. – Санкт-Петербург, 1997. – Т. 272. – С. 266–292.
20. Барбашова, М. А. Использование структурных характеристик макробентоса для оценки качества вод юго–западного района Ладожского озера / М. А. Барбашова // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем : сборник материалов международной конференции. – Санкт-Петербург : ЛЕМА, 2007. – С. 267–272.
21. Барбашова, М. А. Макробентос и его многолетняя изменчивость в открытых районах озера / М. А. Барбашова, Т. Д. Слепухина // Ладожское озеро – прошлое, настоящее, будущее / под ред. Б. А. Румянцева, В. Г. Драбковой. – Санкт-Петербург : Наука, 2002. – С. 202–210.
22. Барбашова, М. А. Макробентос как индикатор состояния озера / М. А. Барбашова // Ладога / под ред. В. А. Румянцева, С. А. Кондратьева. – Санкт-Петербург : Нестор История, 2013. – С. 355–358.
23. Барбашова, М. А. Макробентос Ладожского озера и его изменения под влиянием факторов среды : дисс. ... канд. биолог. наук: 03.02.08/ Барбашова М. А.. – СПб., 2015. – 165 с.
24. Барбашова, М. А. Макрозообентос литоральной зоны заливов шхерного района озера / М. А. Барбашова, Т. Д. Слепухина // Ладожское озеро – прошлое, настоящее, будущее : монография/ под ред. В. А. Румянцева, В. Г. Драбковой. – Санкт-Петербург : Наука, 2002. – 327 с.
25. Ладожское озеро - прошлое, настоящее, будущее. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургская издательско-книготорговая фирма "Наука", 2002. – 327 с. – ISBN 5-02-024949-1. – EDN OBHYNW.
26. Барбашова, М. А. Макрофауна литоральной зоны Ладожского озера / М. А. Барбашова, Е. А. Курашов // Литоральная зона Ладожского озера / под ред. Е. А. Курашова. – Санкт-Петербург : Нестор–История, 2011. – С. 219–251.

27. Барбашова, М. А. Многолетние изменения макробентоса центральной части Ладожского озера / М. А. Барбашова // Вода: химия и экология. – 2014. – № 8. – С. 55–61.

28. Барбашова, М. А. Оценка экологического состояния Щучьего залива Ладожского озера по структуре сообществ макробентоса / М. А. Барбашова // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем : сборник тезисов докладов II Международной конференции. – Санкт-Петербург, 2011. – С. 30.

29. Барбашова, М. А. Сезонная динамика структурных и количественных показателей макрозообентоса в центральной части бухты Петрокрепость Ладожского озера / М. А. Барбашова // Водные экосистемы: трофические уровни и проблемы поддержания биоразнообразия: материалы Всероссийской конференции с международным участием «Водные и наземные экосистемы: проблемы и перспективы исследований» (Вологда, 24–28 ноября 2008 г.) – Вологда, 2008. – С. 134–137.

30. Борисов, М. Я. Миграция тяжелых металлов в системе оз. Воже и их накопление в рыбе / М. Я. Борисов // Экологическое состояние континентальных водоемов северных территорий. – Санкт-Петербург, 2005. – С. 248–257.

31. Борисов, М. Я. Токсикологическое загрязнение оз. Воже и его притоков / М. Я. Борисов // Современные проблемы водной токсикологии: тезисы докладов международной конференции. – Борок, 2006. – С. 17–18.

32. Брайнина, Х. З. Твердофазные реакции в электроаналитической химии / Х. З. Брайнина, Е. Я. Нейман. – Москва : Химия, 1982. – 264 с.

33. Бреховский, В. Ф. Донные отложения Иваньковского водохранилища / В. Ф. Бреховский, Т. Н. Казмирук, В. Д. Казмирук. – Москва : Наука, 2006. – 174 с.

34. Бульон, В. В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов / В. В. Бульон. – Ленинград : Наука, Ленингр. отд-ние, 1983. – 150 с.

35. Виноградов, А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры / А. П. Виноградов // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–571.

36. Возможность сохранения популяций осетровых рыб на Северо-западе / П. Е. Гарлов, Н. М. Аршаница, А. А. Стекольников [и др.] // Международный вестник ветеринарии. – 2020. – № 4. – С. 116-123.
37. Волховская губа Ладожского озера как источник загрязнения р. Невы / Н. М. Аршаница, О. А. Ляшенко, М. Р. Гребцов [и др.] // Международный вестник ветеринарии. – 2016. – № 1. – С. 35–40.
38. Воспроизводство рыб и беспозвоночных при воздействии загрязняющих веществ / Е. А. Курашов, Н. М. Аршаница, А. А. Стекольников [и др.] // Международный вестник ветеринарии. – 2020. – № 3. – С. 105–115.
39. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов I–IV групп : справочник / А. Л. Бандман, Г. А. Гудзовский, Л. С. Дубейковская [и др.] ; под общ. ред. В. А. Филова. – Ленинград : Химия, Ленинград. отд-ние, 1988. – 512 с.
40. Гальдер, Ф. Военный дневник: 1939–1940 / Ф. Гальдер. – Москва : АСТ; Санкт-Петербург : Terra Fantastica, 2002. – 638 с.
41. Геоэкология Ладожского озера / В. И. Гуревич, И. В. Куликов, Т. Ю. Михалюк [и др.] ; под ред. В. Л. Иванова и В. И. Гуревича ; ВНИИ геологии и минер. ресурсов Мирового океана (ВНИИОкеангеология). – Санкт-Петербург : ВНИИОкеангеология, 1995. – 209 с.
42. Гидрохимия и гидрооптика Ладожского озера : сборник статей / отв. ред. чл.-кор. АН СССР О.А. Алекин. – Ленинград : Наука, Ленингр. отд-ние, 1967. – 218 с.
43. Глазовский, Н. Ф. Техногенные потоки вещества в биосфере / Н. Ф. Глазовский // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. – Москва, 1982. – 278 с.
44. Глазунова, И. А. Содержание и особенности распределения тяжелых металлов в рыбах верховьев Оби : дис.... канд. биол. наук: 03.00.16/ Глазунова Ирина Алексеевна - Барнаул, 2005. – 103 с.
45. Говоркова, Л. К. Выявление факторов накопления тяжелых металлов в органах рыб различных трофических групп: на примере Куйбышевского

водохранилища : дис.... канд. биол. наук: 03.00.16/ Говоркова Лада Константиновна – Казань, 2004. – 170 с.

46. Головатый, С. Е. Тяжелые металлы в агроэкосистемах / С. Е. Головатый. – Минск : Ин-т почвоведения и агрохимии, 2002. – 239 с.

47. Грищенко Л. И., Акбаев М. Ш., Васильков Г. В. Болезни рыб и основы рыбоводства — М.: Колос, 1999. — 456 с.

48. Гребцов, М. Р. К вопросу аэрогенного поступления металлов в Волховскую губу Ладожского озера / М. Р. Гребцов // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2015. – № 2. – С. 374–376.

49. Гребцов, М. Р. Содержание металлов в рыбах Волховской губы Ладожского озера и среде их обитания / М. Р. Гребцов // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2013. – № 4. – С. 70–74.

50. Гребцов, М. Р. Эколого-токсикологическое состояние Волховской губы Ладожского озера / М. Р. Гребцов // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2014. – № 3. – С. 229–235.

51. Григорьев, С. В. Ладожское озеро как объект хозяйственного использования / С. В. Григорьев, А. Г. Люллин ; АН СССР. Ин-т озероведения. – Ленинград : Наука, 1975. – 124 с.

52. Гусаков, Б. Л. Влияние водной и антропогенной нагрузок на отдельные участки прибрежной зоны озера / Б. Л. Гусаков, Н. А. Петрова // Ладожское озеро – критерии состояния экосистемы / под ред. Н. А. Петровой, А. Ю. Тержевика. – Санкт-Петербург : Наука, 1992. – С. 266–279.

53. Гусаков, Б. Л. Перед лицом великих озер / Б. Л. Гусаков, Н. А. Петрова. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1987. – 125 с.

54. Деньон, Г. Р. Исследование кумулятивного эффекта тяжелых металлов у некоторых видов рыб озера Нокуэ (Государство Бенин) : автореф. дис.... канд. биол. наук : 03.00.10 / Деньон Гнимабу Рене ; – Москва, 2007. – 20 с.

55. Донные отложения водохранилищ и их влияние на качество воды : монография / А. И. Денисова, Е. П. Нахшина, Б. Н. Новиков, А. К. Рябов. – Киев : Наукова думка, 1987. – 164 с.

56. Драбкова, В. Г. Современное состояние и экологические проблемы Ладожского озера / В. Г. Драбкова // Ладожскому озеру надежную защиту : сборник научных трудов / Ин-т озероведения РАН. – Санкт-Петербург, 2009. – С. 50–62.
57. Ефремова, Л. В. Ладожское озеро: прошлое, настоящее, будущее: монография / Л. В. Ефремова; под общ. В. А. Румянцева, В. Г. Драбковой. – Санкт-Петербург : Наука, 2002. – С. 55–56.
58. Загрязнение ртутью и другими тяжелыми металлами водных и наземных биоценозов / В. А. Сухачев, Е. И. Лапытько, А. В. Ядренкин [и др.] // Поведение ртути и других тяжелых металлов в экосистемах. – Новосибирск, 1989. – Ч. 2. – С.101–114.
59. Ильницкий, А. П. Канцерогенные вещества в водной среде / А. П. Ильницкий, А. А. Королев, В. В. Худолей. – Москва, 1993. – 222 с.
60. Инвазивные амфиподы как фактор трансформации экосистемы Ладожского озера / Е. А. Курашов, М. А. Барбашова, Д. В. Барков [и др.] // Российский журнал биологических инвазий. – 2012. – № 2. – С. 87–104.
61. Исследования по ихтиологии и смежным дисциплинам на внутренних водоемах в начале XXI века : к 80-летию профессора Л. А. Кудерского. Т. 337. – Санкт-Петербург, Москва. – 2007. – 645 с.
62. Истомин, Э. Г. Голубое диво: историко–географический справочник о реках, озерах и болотах Новгородской области / Э. Г. Истомин, Э. М. Яковлев. – Ленинград, 1989. – 222 с.
63. Карпенко, Л. Ю. Роль слущивания кишечного эпителия в проявлении отравления рыб свинцом и кадмием / Л. Ю. Карпенко, А. А. Бахта, П. А. Полистовская, К. П. Кинаревская // Материалы национальной научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов СПбГАВМ. – Санкт-Петербург, 2018. - С. 43-45.
64. Кашулин, Н. В. Рыбы пресных вод Субарктики как биоиндикаторы техногенного загрязнения / Н. В. Кашулин. – Апатиты, 1999. – 142 с.

65. Кислотные дожди / Ю. А. Израэль, И. М. Назаров, А. Я. Прессман [и др.]. – 2-е изд. – Ленинград, 1989. – 269 с.
66. Китаев, С. П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон / С. П. Китаев. – Москва, 1984. – 207 с.
67. Коблицкая, А. Ф. Определитель молоди пресноводных рыб / А. Ф. Коблицкая. – Москва, 1981. – 208 с.
68. Ковальский, В. В. Геохимическая экология: очерки / В. В. Ковальский ; АН СССР, Ин-т геохимии и аналит. химии им. В. И. Вернадского. – Москва : Наука, 1974. – 299 с.
69. Кокуричева, М. П. Методическое пособие по проведению гистологических исследований органов и тканей рыб в водной токсикологии / М. П. Кокуричева ; Гос. науч.-исслед. ин-т озерного и речного рыбного хоз-ва. – Ленинград : ГосНИОРХ, 1976. – 53 с.
70. Кольчугина, О. А. Уровень поражения токсикозами рыб Волховского водохранилища / О.А. Кольчугина (Кузнецова), Н.М. Аршаница, В.З. Латыпова // Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: новые методы и технологии исследований: труды Всероссийской научной конференции с международным участием. - Т.4. - Казань: Изд-во «Отечество», 2009. - С. 128-131
71. Кондратьев, С. А. Формирование качества воды в системе Ладожского озера – река Нева – Невская губа восточной части Финского залива / С. А. Кондратьев // Финский залив в экосистеме Северо-Запада России. – Санкт-Петербург, 2012. – С. 77–101.
72. Концепция и проект Федерального закона «Об охране Ладожского озера» / В. А. Румянцев, А. П. Алхименко, Л. А. Кудерский, И. А. Соболев. – Санкт-Петербург : ИНОЗ РАН, 2008. – 109 с.
73. Крючков, А. М. Электропроводность воды как показатель степени антропогенного воздействия на экосистему / А. М. Крючков // Ладожское озеро – критерии состояния экосистемы. – Санкт-Петербург : Наука, 1992. – С. 60–67.

74. Кудерский, Л. А. Избранные труды. Исследования по ихтиологии, рыбному хозяйству и смежным дисциплинам. Том 3 : сборник научных трудов / Л. А. Кудерский. - Москва : КМК, 2013. - 526 с.

75. Кудерский, Л. А. Исследования по ихтиологии, рыбному хозяйству и смежным дисциплинам. Том 5 : монография / Л. А. Кудерский. - Москва : КМК, 2017. - 293 с.

76. Кудерский, Л. А. Осетровые рыбы в бассейне Онежского и Ладожского озер / Л. А. Кудерский // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. – 1983. – Вып. 205. – С. 128–149.

77. Кудерский, Л. А. Рыбы в опасности: некоторые последствия хозяйственной деятельности на внутренних водоемах / Л. А. Кудерский // Водные биологические ресурсы, воспроизводство и экология гидробионтов : сборник научных трудов / Всерос. НИИ прудового рыб. хоз-ва. – Москва, 1982. – Вып. 66. – С. 56–83.

78. Кудерский, Л. А. Рыбы как биологические индикаторы качества вод / Л. А. Кудерский // Методы ихтиотоксикологических исследований : тезисы докладов Первого Всесоюзного симпозиума ихтиотоксикологических исследований. – Ленинград, 1987. – С. 71–73.

79. Курашов, Е.А. Бентос озера / Е. А. Курашов, М. А. Барбашова, Д. С. Дудакова. – Санкт-Петербург : Нестор–История, 2013. – С. 309–319.

80. Курашов, Е. А. Мейобентос профундали и закономерности его изменения / Е. А. Курашов // Ладожское озеро: прошлое, настоящее, будущее / под ред. В. А. Румянцева, В. Г. Драбковой. – Санкт-Петербург : Наука, 2002. – С. 211–224.

81. Курашов, Е. А. Первое обнаружение понто-каспийской инвазивной амфиподы *Chelicorophium curvispinum* (G.O. Sars, 1895) (Amphipoda, Crustacea) в Ладожском озере / Е. А. Курашов, М. А. Барбашова, В. Е. Панов // Российский журнал биологических инвазий. – 2010. – № 3. – С. 62–72.

82. Курочкина, В. А. Формирование и экологические свойства русловых отложений в водотоках на урбанизированных территориях : автореф.....

дис.канд.тех. наук 25.00.36/ Курочкина Валентина Александровна. – Москва, 2012. – 20 с.

83. Кухарев, В. И. Биоресурсы Онежского озера / В. И. Кухарев, А. А. Лукин ; Карельский научный центр Российской акад. наук, Ин-т водных проблем Севера, Северный НИИ рыбного хозяйства ПетрГУ. – Петрозаводск, 2008. – 271 с.

84. Ладога / под ред. В. А. Румянцева, С. А. Кондратьева. – Санкт-Петербург : Нестор–История, 2013. – 468 с.

85. Ладожское озеро: атлас/ Отв. ред. В. А. Румянцев. – Санкт-Петербург: Ин-т озероведения РАН, 2002. – 128 с.

86. Ладожское озеро – критерии состояния экосистемы / под ред. Н. А. Петровой, А. Ю. Тержевика. – Санкт-Петербург : Наука, 1992. – 328 с.

87. Ладожское озеро – прошлое, настоящее, будущее / под ред. В. А. Румянцева, В. Г. Драбковой. – Санкт-Петербург : Наука, 2002. – 327 с.

88. Левченко, А. Б. Эколого-географические и технологические проблемы нехватки питьевой воды в современном мире и пути решения проблемы / А. Б. Левченко, В. Ю. Цветков // Ладожскому озеру – надежную защиту. – Санкт-Петербург : Ин-т озероведения РАН, 2009. – С. 86–95.

89. Леонов, А. Г. Неудовлетворительное экологическое состояние Ладожского озера и прежде всего мест нереста / А. Г. Леонов, А. С. Шурухин // Современное состояние и проблема антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата. – Москва, 2021. – С. 394–421.

90. Леонов, А. Г. Рыбные ресурсы Ладожского озера и их использование в начале XXI века / А.Г. Леонов, А. Я. Тесля // Исследование больших озер Северо–Запада европейской части России. – Санкт-Петербург, 2009. – С. 121–136.

91. Леонова, Г. А. Гидробионты Братского водохранилища как объекты мониторинга тяжелых металлов / Г. А. Леонова, В. А. Бычинский // Водные ресурсы. – 1998. –Т. 25, № 5. – С. 603–610.

92. Лепнева, С. Г. Фауна СССР. Ручейники. Т. 2, вып. 1. Личинки и куколки подотряда Коль чатошупиковых (*Annulipalpia*) / С. Г. Лепнева ; под ред. Е. Н. Павловского. – Москва ; Ленинград : Наука, 1964. – 562 с.

93. Лесников, Л. А. Вопросы методик в водной токсикологии / Л. А. Лесников. – Ленинград : ГосНИОРХ, 1979. – 168 с.

94. Приемы биоиндикации и биотестирования при текущем надзоре за загрязненностью водных объектов и выявлении превышения их ассимилирующей способности Метод. указания / Гос. НИИ озер. и реч. рыб. хоз-ва, Гос. н.-и. предприятие биомониторинга и токсикологии; [Л. А. Лесников, Т. К. Мосиенко]. — СПб. : ГосНИОРХ, ГНИПБИТ.- 1992. — 27 с.

95. Лесников, Л. А. Региональные проблемы нормирования загрязнения вод / Л. А. Лесников // Экологические аспекты регламентирования антропогенного загрязнения водоемов России (региональные ПДК). – Ярославль, 1998. – С. 21–37.

96. Летанская, Г. И. Мониторинг фитопланктона Ладожского озера / Г. И. Летанская // Ладожское озеро. Мониторинг исследования современного состояния и проблемы управления Ладожским озером и другими большими озерами. – Петрозаводск, 2000. – С. 168–178.

97. Летанская, Г. И. Осенний мониторинг фитопланктона Ладожского озера (1992–2002 гг.) / Г. И. Летанская, Е. В., Протопопова // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды : материалы II Международной научной конференции, 22–26 сентября 2003 г., Минск – Нарочь. – Минск, 2003. – С. 299–301.

98. Летанская, Г. И. Оценка трофического статуса Ладожского озера / Г. И. Летанская, А. Г. Русанов // Ладога / под ред. В. А. Румянцева, С. А. Кондратьева. – Санкт-Петербург : Нестор–История, 2013. – С. 341–347.

99. Летанская, Г. И. Современное состояние фитопланктона и тенденции его изменения в период летней стратификации озера / Г. И. Летанская // Ладожское озеро – прошлое, настоящее, будущее / под ред. В. А. Румянцева, В. Г. Драбковой. – Санкт-Петербург : Наука, 2002. – С. 165–175.

100. Летанская, Г. И. Современное состояние фитопланктона Ладожского озера (2005–2009 гг.) / Г. И. Летанская, Е. В. Протопопова // Биология внутренних вод. – 2012. – № 4. – С. 17–24.

101. Ливанов, Г. А. Программа снижения диоксиновой опасности в крупных городах на примере Санкт-Петербурга / Г. А. Ливанов, В. В. Худолей // Сокращение выбросов стойких органических загрязнителей (СОЗ), в частности, диоксинами и фуранами. – Москва : ЦМП, 2000. – С. 245–248.

102. Линник, П. Н. Определение свободных и связанных ионов кадмия в природных водах методом инверсионной вольтамперметрии / П. Н. Линник, И. В. Искра // Гидробиологический журнал. – 1993. – Т. 29, № 5. – С. 96–103.

103. Линник, П. Н. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах : монография / П. Н. Линник, Б. Н. Набиванец. – Санкт-Петербург : Гидрометиздат, 1986. – 269 с.

104. Литоральная зона Ладожского озера / под ред. Е. А. Курашова. – Санкт-Петербург : Нестор–История, 2011. – 416 с.

105. Лукин, А. А. Эколого-токсикологическая характеристика рыб-аборигенов и интродуцентов в условиях Кольской Субарктики: (на примере оз. Имандра) : дис.... канд. биол. наук 03.00.10 / Лукин Анатолий Александрович – Апатиты, 1992. – 206 с.

106. Лукьяненко, В. И. Общая ихтиотоксикология / В. И. Лукьяненко. – Москва : Лег. и пищ. пром-сть, 1983. – 320 с.

107. Лукьяненко, В. И. Экологические аспекты ихтиотоксикологии / В. И. Лукьяненко. – Москва : Агропромиздат, 1987. – 240 с.

108. Марченко, А. Л. Тяжелые металлы в массовых видах рыб из водоемов южного Приморья : автореф. дис. канд. биол. наук 03.00.16 / Марченко Анастасия Леонидовна Владивосток, 2007. – 24 с.

109. Методика выполнения измерений массового содержания кадмия, свинца и меди в природных, питьевых и очищенных сточных водах методом инверсионной вольтамперометрии : ПНД Ф 14.1:2.174–2000. – Москва, 2000. – 14 с.

110. Методика выполнения измерений массового содержания цинка в природных, питьевых и очищенных сточных водах методом инверсионной вольтамперометрии : ПНД Ф 14.1:2:4.198–03. – Москва, 2003. – 12 с.

111. Михайлов Е.В., Дрожжин О.С., Шипилов Е.В., Иванова Н.Н. Сезонные изменения содержания тяжелых металлов в прудовой воде рыбоводческого хозяйства Воронежской области // Ученые записки учреждения образования Витебского ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. 2023. Т. 59, № 2. С. 38–41.

112. Многолетний мониторинг формирования биоты на месте экосистемы, разрушенной стоками целлюлозно-бумажного производства (залив Щучий, Ладожское озеро) / И. М. Распопов, И. Н. Андроникова, М. А. Барбашова [и др.] // Охрана и рациональное использование водных ресурсов Ладожского озера и других больших озер. – Санкт-Петербург : АССПИН, 2003. – С. 338–342.

113. Моисеенко, Т. И. Водная экотоксикология: теоретические и практические аспекты / Т. И. Моисеенко. – Москва : Наука, 2006. – 399 с.

114. Моисеенко, Т. И. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология / Т. И. Моисеенко, Н. М. Кудрявцева, Н. А. Гашкина. – Москва : Наука, 2006. – 261 с.

115. Моисеенко, Т. И. Экологические аспекты подогретых вод АЭС в интересах рыбного хозяйства Севера / Т. И. Моисеенко, В. А. Яковлев, А. А. Лукин // Антропогенное воздействие на экосистемы Кольского Севера. – Апатиты, 1988. – С. 71–72.

116. Моисеенко, Т. И. Экотоксикологический подход к оценке качества вод / Т. И. Моисеенко // Водные ресурсы. – 2005. – Т. 32, № 4. – С. 410–424.

117. Морозов, Н. П. Микроэлементы в промысловой ихтиологии Мирового океана / Н. П. Морозов, С. А. Петухов. – Москва, 1986. – 160 с.

118. Мур, Дж. В. Тяжелые металлы в природных водах. Контроль и оценка влияния / Дж. В. Мур, С. Рамамутри. – Москва : Мир, 1987. – 208 с.

119. Науменко, М. А. Анализ морфометрических характеристик подводного рельефа Ладожского озера на основе цифровой модели / М. А. Науменко // Известия РАН. Серия Географическая. – 2013. – № 1. – С. 62–72.

120. Науменко, М. А. Закономерности пространственно–временной изменчивости термических процессов в крупных димиктических озерах: автореф. дис. докт.географ. наук 11.00.11 / Науменко Михаил Арсеньевич – Санкт-Петербург, 1998. – 38 с.

121. Науменко, М. А. Ладожское озеро и его водосбор: цифровая модель и новые результаты / М. А. Науменко, С.Г. Каретников // Труды XII съезда Русского географического общества. – 2005. – Т. 6. – С. 82–86.

122. Науменко, М. А. Морфометрия и особенности гидрологического режима / М. А. Науменко, С. Г. Каретников // Ладожское озеро: прошлое, настоящее, будущее. – Санкт-Петербург : Наука, 2002. – С. 16–49.

123. Науменко, М. А. Новое определение морфометрических характеристик Ладожского озера / М. А. Науменко // Доклады Академии наук. – 1995. – Т. 345, № 4. – С. 514–517.

124. Науменко, М. А. О климатических трендах температуры поверхности воды Ладожского озера в безледный период / М. А. Науменко, В. В. Гузиватый, С. Г. Каретников // Доклады Академии наук. – 2006. – Т. 408, № 5. – С. 675–678.

125. Никаноров, А. М. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах / А. М. Никаноров, А. В. Жулидов. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1991. – 311 с.

126. Никольский, Г. В. Экология рыб / Г. В. Никольский. – Москва : Высш. школа, 1974. – 445 с.

127. Нормативно-правовые аспекты решения проблемы сохранения популяций ценных видов рыб в Северо-Западном регионе / П. Е. Гарлов, Д. К. Дирин, Н. М. Аршаница [и др.] // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2020. – № 3. – С. 129-133.

128. Нормативные данные по предельно допустимым уровням загрязнения вредными веществами объектов окружающей среды. – Санкт-Петербург, 1994. – 316 с.

129. Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга. Региональный норматив. – Санкт-Петербург, 1996. – 10 с.

130. Огородникова, В. А. Распределение и численность ранней молоди массовых видов рыб в южной части Ладожского озера / В. А. Огородникова, О. Н. Суслопарова // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. – 1995. – Вып. 314. – С. 231–247.

131. Охлопкова, А. Н. Течения Ладожского озера / А. Н. Охлопкова // Гидрологический режим и водный баланс Ладожского озера. – Ленинград : Изд-во Ленинград. ун-та, 1966. – С. 265–278.

132. Оценка токсикологического состояния бухты Петрокрепость Ладожского озера на основании исследования рыб и биотестирования / Н.М. Аршаница, О.А. Ляшенко, А.А. Стекольников, С.Б. Екимова // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2017. – № 3. – С. 154–158.

133. Оценка экологического состояния литоральной зоны Ладожского озера по результатам исследований 2019 года / Ю. В. Крылова, Е.А. Курашов, А. М. Пономаренко [и др.] // Труды Карельского научного центра РАН. – Петрозаводск, 2022. – № 6. – С. 102–120.

134. Оценка экологического состояния озера и качества его вод по гидрохимическим показателям / Н. В. Игнатьева, Т. Н. Петрова, О. М. Сусарева, В. А. Щербак. – Санкт-Петербург : Нестор-История, 2013. – С. 333–341.

135. Оценка экологического состояния рек бассейна Ладожского озера по гидрохимическим показателям и структуре гидробиоценозов / отв. ред. И. С. Трифонова. – Санкт-Петербург : Лема, 2006. – 130 с.

136. Пашкова, И. М. Аккумуляция тяжелых металлов тканями рыб озер Псковско-Чудского и Выртсьявр / И. М. Пашкова, М. А. Глушанкова // Вторая Всесоюзная конференция по рыбохозяйственной токсикологии, посвященная

100-летию проблемы качества воды в России : тезисы докладов. – Санкт-Петербург, 1991. – Т.1. – С. 116–117.

137.Перевозников, М. А. Распространение тяжелых металлов среди различных звеньев экосистемы бассейна Ладожского озера / М. А. Перевозников, Е. А. Богданова, А. М. Пономаренко // Труды ГосНИОРХ. – Ленинград, 1990. – Вып. 313. – С.25–28.

138.Перевозников, М. А. Тяжелые металлы в пресноводных экосистемах : монография / М. А. Перевозников, Е. А. Богданова. – Санкт-Петербург : ГосНИОРХ, 1999. – 228 с.

139.Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды и водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение / Гос. комитет РФ по рыболовству; сост.: Н. А. Шиленко [и др.]. – Москва : Изд-во ВНИРО, 1999. – 304 с.

140. Петрова, И. В. Ртуть, кадмий и свинец в сестоне реки Волхов, Ладожского озера и реки Невы / И. В. Петрова, В. В. Свиридов // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. – 1988. – Вып. 285. – С. 67–74.

141.Петрова, И. В. Способ расчет наибольших недействующих концентраций загрязняющих веществ для донных отложений / И. В. Петрова // Влияние биологически активных веществ на гидробионтов : сборник научных трудов ГосНИОРХ. – Ленинград, 1988. – Вып. 287. – С.79–87.

142.Петрова, И. В. Уровень загрязнения донных отложений реки Волхов и побережья Ладожского озера / И. В. Петрова // Сборник трудов ГосНИОРХ. – Ленинград, 1988. – Вып. 285. – С. 51–56.

143.Петрова, Н. А. Сукцессии фитопланктона при антропогенном эвтрофирование больших озер / Н. А. Петрова. – Ленинград : Наука, 1990. – 198 с.

144.Плохинский, Н. А. Биометрия / Н. А. Плохинский. – 2-е изд. – Москва : Изд-во МГУ, 1970. – 367 с.

145. Плохинский, Н. А. Руководство по биометрии для зоотехников / Н.А. Плохинский. – Москва : Колос, 1969. – С. 107.
146. Поленов, А. Л. Гипоталамическая нейросекретция / А. Л. Поленов. – Ленинград : Наука, 1971. – 168 с.
147. Попов, П. А. Оценка эколого-токсикологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации / П. А. Попов. – Новосибирск, 2002. – 269 с.
148. Поступление веществ в озеро с речным стоком и вынос с водами р. Невы / Г. Ф. Расплетина, Т. П. Кулиш, О. А. Черных [и др.] // Ладожское озеро – прошлое, настоящее, будущее / под ред. В. А. Румянцева, В. Г. Драбковой. – Санкт-Петербург : Наука, 2002. – С. 56–71.
149. Прибрежно-водные экотоны больших озер / И. М. Распопов, И. Н. Андроникова, Т. Д. Слепухина [и др.]. – Санкт-Петербург, 1998. – 54 с.
150. Приймак, А. Я. Изменения в структуре популяции сига лудоги Ладожского озера под влиянием антропогенных факторов / А. Я. Приймак // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. – 1988. – Вып. 285. – С. 44–50.
151. Природные ресурсы больших озер СССР и вероятные их изменения / под ред. О. А. Алекина. – Ленинград : Наука, 1984. – 286 с.
152. Пространственное распределение и сезонная динамика основных сообществ биоты южной части Ладожского озера / О. Н. Суслопарова, А. Г. Леонов, О. И. Мицкевич [и др.] // Современные проблемы гидроэкологии : тезисы докладов 4-й международной конференции. – Санкт-Петербург, 2010. – С. 176.
153. Расплетина, Г.Ф. Биогенные элементы / Г. Ф. Расплетина, О. М. Сусарева // Ладожское озеро – прошлое, настоящее, будущее. – Санкт-Петербург : Наука, 2002. – С. 77–86.
154. Расплетина, Г. Ф. Минерализация и электропроводность воды / Г. Ф. Расплетина, О. М. Сусарева, А. М. Крючков // Ладожское озеро – прошлое, настоящее, будущее / под ред. В. А. Румянцева, В. Г. Драбковой. – Санкт-Петербург : Наука, 2002. – С. 72–73.
155. Расплетина, Г. Ф. Применение прямого и косвенного методов для расчета биогенной нагрузки и концентрации веществ в воде Ладожского озера /

Г. Ф. Расплетина, Б. Л. Гусаков // Антропогенное эвтрофирование Ладожского озера. – Ленинград : Наука, 1982. – С. 222–242.

156. Распопов, И. М. Видовое и ценотическое разнообразие высших водных и прибрежно–водных растений в литоральной зоне Ладожского озера / И. М. Распопов // Ладога / под ред. В. А. Румянцева, С. А. Кондратьева. – Санкт-Петербург : Нестор–История, 2013. – С. 241–253.

157. Распопов, И. М. Высшие водные растения как структурообразующий фактор в развитии гидробиоценозов / И. М. Распопов // Ладожское озеро – прошлое, настоящее, будущее / под ред. В. А. Румянцева, В. Г. Драбковой. – Санкт-Петербург : Наука, 2002. – С. 242–245.

158. Распопов, И. М. Гидробиологическая характеристика заливов западной части шхерного района Ладожского озера, пригодных для разведения водоплавающей птицы / И. М. Распопов, М. А. Рычкова, Г. А. Стальмакова // Биологические ресурсы Ладожского озера (зоология) / отв. ред. С. В. Калесник. – Ленинград : Наука, 1968. – С. 71–104.

159. Распопов, И. М. Роль литоральной зоны в оценке состояния экосистемы Ладожского озера / И. М. Распопов, И. Н. Андроникова // Ладожское озеро: прошлое, настоящее, будущее. – Санкт-Петербург : Наука, 2002. – С. 264–268.

160. Распределение микроэлементов в теле карпа обыкновенного (*Cyprinus carpio*) при использовании пробиотической добавки Бацелл-м / Е. В. Михайлов, О. С. Дрожжин, В. В. Шипилов [и др.] // Вестник Дагестанского научного центра РАН. – 2024. – № 94. – С. 13-19

161. Ревич, Б. А. Окружающая среда и здоровье населения. Региональная экологическая политика : монография / Б. А. Ревич, С. Л. Феалнани, Г. И. Тихонова. – Москва : ЦЭМР, 2003. – 149 с.

162. Результаты оценки экологического благополучия сообществ зообентоса по индексу «разности выравнинностей» (De') / С. Г. Денисенко, М. А. Барбашова, В. В. Скворцов [и др.] // Биология внутренних вод. – 2013. – № 1. – С. 46–55.

163. Река Волхов как источник загрязнения Ладожского озера / А. Ю. Романов, А. А. Стекольников, М. Р. Гребцов, В. А. Гребенников // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2021. – № 2. – С. 96–99.

164. Решетников, Ю. С. Ихтиотоксикологический мониторинг пресноводных экосистем Севера / Ю. С. Решетников, О. А. Попова // Антропологическое воздействие на природу Севера и его экологические последствия : тезисы докладов Всероссийского совещания и выездной научной сессии. – Апатиты, 1998. – С. 42–43.

165. Ровинский, Ф. Я. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов / Ф. Я. Ровинский, Т. А. Теплицкая, Т. А. Алексеева. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1988. – С. 207–222.

166. Родионова, Н. В. О видовом составе зоопланктона Ладожского озера / Н. В. Родионова // Литоральная зона Ладожского озера / под ред. Е. А. Курашова. – Санкт-Петербург : Нестор-История, 2011. – С. 156–170.

167. Роль волнения в формировании биоценозов бентоса больших озер / И. М. Распопов, Ф. Ф. Воронцов, Т. Д. Слепухина [и др.]. – Ленинград : Наука, 1990. – 114 с.

168. Роль *G. fasciatus* в формировании трансграничного потока вещества и энергии в литоральной зоне Ладожского озера / Е. А. Курашов, Д. В. Барков, А. Г. Русанов, М. А. Барбашова // Литоральная зона Ладожского озера / под ред. Е. А. Курашова. – Санкт-Петербург : Нестор-История, 2011. – С. 350–355.

169. Роскин, Г. Н. Микроскопическая техника / Г. Н. Роскин, Л. Б. Левинсон. – Москва, 1957. – 468 с.

170. Руднева, Н. А. Тяжелые металлы и микроэлементы в гидробионтах Байкальского региона / Н. А. Руднева. – Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2001. – 136 с.

171. Руководство по гигиене водоснабжения / ред. С. Н. Черкинский. – Москва : Медицина, 1975. – 328 с.

172. Руководство по обеспечению качества питьевой воды. – 4-е изд. – Женева : ВОЗ, 2017. – 604 с.

173. Румянцев, В. А. Ладожское озеро: общая характеристика, экологическое состояние / В. А. Румянцев, Л. А. Кудерский // Общество. Среда. Развитие. – 2012. – № 1. – С. 222–229.

174. Румянцев, В. А. Озера европейской части России / В. А. Румянцев, В. Г. Драбкова, А. В. Измайлова ; ФАНО, ФГБУН Ин-т озероведения РАН. – Санкт-Петербург : Лема, 2015. – 389 с.

175. Румянцев, В. А. Современное состояние и совершенствование системы мониторинга Ладожского озера / В. А. Румянцев, Н. Э. Филатов, С. А. Кондратьев // Современное состояние и проблема антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата. – Москва, 2021. – С. 540–559.

176. Румянцев, В. А. Формирование качества воды Ладожского озера в современных условиях как основа его рыбных ресурсов / В. А. Румянцев // Исследования по ихтиологии и смежным дисциплинам на внутренних водоемах в начале XXI века : сборник научных трудов ГосНИОРХ. – 2007. – Вып. 337. – С. 472–483.

177. Рыбакин, В. Н. Какие угрозы таят в себе воды Ладожского озера в XXI веке / В. Н. Рыбакин // Ладожское озеро. – Санкт-Петербург, 2009. С.139–142.

178. Рыбные ресурсы Ладожского и Онежского озер / сост. Л. А. Кудерский [и др.]. – Москва : ВНИЭРХ, 1997. – 39 с.

179. Рылина, О. Н. Влияние кадмия на рыб при различных путях, сроках и количествах его поступления в организм: дисс. ...канд. биол. наук: 03.00.10 / О. Н. Рылина. – Санкт-Петербург, 1998. – 187 с.

180. СанПиН 2.3.2.1078.01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов (в редакции постановлений Главного государственного санитарного врача РФ от 06.07.2011 № 90). – Москва, 2001. – URL: <http://pravo.gov.ru/> (дата обращения: 08.02.2025).

181. Сезонные и межгодовые изменения основных компонентов экосистемы (фито-, зоопланктон, макробентос) Южной Ладogi по результатам исследований в 2009–2010 гг. / О. Н. Сулопарова, О. И. Мицкевич, В. А.

Огородникова, Т. В. Терешенкова // Исследования экосистем крупных рыбопромысловых водоемов Северо–Запада России : сборник научных трудов ГосНИОРХ. – Санкт-Петербург, 2011. – Вып. 341. – С. 201–243.

182. Семенов, В. В. Химическое загрязнение поверхностных водоемов России / В. В. Семенов, М. А. Перевозников, С. Г. Ивахнюк. – Санкт-Петербург : Нестор–История, 2014. – 254 с.

183. Семенов, В. Г. Эффективность прудовой аквакультуры на фоне применения биогенной кормовой добавки Akwa-Biot-Norm / В. Г. Семенов, Н. И. Косяев, Д. А. Никитин // Молодежь и инновации : Материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. В 2-х частях, Чебоксары, 11–12 марта 2021 года. Том Часть 1. – Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет, 2021.

184. Сергеева, В. А. Состояние и распределение зоопланктона в очагах загрязнения Ладожского озера // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. – 1988. – Вып. 285. – С. 114–128.

185. Слепухина, Т. Д. Восстановление макробентоса после закрытия целлюлозно–бумажного производства (на примере двух заливов Ладожского озера) / Т. Д. Слепухина, И. В. Белякова, Ф. Ф. Воронцов // Экологическое состояние рыбохозяйственных водоемов Балтийского моря (в пределах Финского залива). – Санкт-Петербург, 1993. – С. 73–74.

186. Слепухина, Т. Д. Донные беспозвоночные / Т. Д. Слепухина, Н. А. Алексеева // Антропогенное эвтрофирование Ладожского озера / под ред. Н. А. Петровой. – Ленинград : Наука, 1982. – С. 181–191.

187. Слепухина, Т. Д. Зообентос как индикатор качества вод в озерах / Т. Д. Слепухина // Водные ресурсы. – 1987. – № 5. – С. 145–148.

188. Слепухина, Т. Д. Многолетние сукцессии и флуктуации макрозообентоса в различных зонах Ладожского озера / Т. Д. Слепухина, М. А. Барбашова, Г. Ф. Расплетина // Ладожское озеро. – Петрозаводск, 2000. – С. 249–255.

189. Слепухина, Т. Д. Оценка трофического уровня глубоких озер по составу сообществ донных беспозвоночных (на примере Ладожского озера) / Т. Д. Слепухина // Гидробиологический журнал. – 1986. – Т. 22. – № 6. – С. 31–36.

190. Слепухина, Т. Д. Экология макрозообентоса больших озер Северо–Запада СССР : автореф. дис. докт. биол. наук 03.00.18 / Слепухина Татьяна Дмитриевна – Ленинград, 1991. – 40 с.

191. Сношкина, Е. В. Оценка степени загрязнения водоемов системы оз. Ильмень – р. Волхов – Ладожское озеро – р. Нева – Невская губа по составу донных организмов / Е. В. Сношкина // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. – Ленинград, 1988. – Вып. 285. – С. 85–97.

192. Соболев, К. Д. Загрязнение тяжелыми металлами естественных и искусственных кормов и его влияние на рыб в условиях сбросных теплых вод : дис. канд. биол. н. 03.00.10. / Соболев Константин Дмитриевич – Санкт-Петербург, 2006. – 115 с.

193. Соболев, К. Д. Накопление тяжелых металлов и содержание витаминов в естественной пище рыб озера Песью и реке Волхов / К. Д. Соболев // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. – 2005. – Вып. 333. – С. 356–361.

194. Соболев, К. Д. Особенности накопления тяжелых металлов в органах и тканях рыб различных экологических групп / К. Д. Соболев // Современные проблемы водной токсикологии: Тез. докл. – Борок, 2005. – С. 128–129.

195. Соболев, К. Д. Экологические особенности накопления ионов тяжелых металлов у выращиваемого и свободноживущего карпа в условиях сбросных теплых вод электростанций / К. Д. Соболев, Н. М. Аршаница // Проблемы экологической безопасности промысла рыб во внутренних водоемах : сборник научных трудов ГосНИОРХ. – 2004. – Вып. 330. – С. 125–132.

196. Современное состояние экосистемы Ладожского озера / Е. А. Курашов, В. А. Авинский, Г. И. Летанская [и др.] // Доклады VI Всероссийского гидрологического съезда (28 сентября – 1 октября 2004 г., Санкт-Петербург). – Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 2004. – С. 206–207.

197. Современное экологическое состояние Волховской губы Ладожского озера / М. А. Наumenко, В. А. Авинский, М. А. Барбашова [и др.] // Экологическая химия. – 2000. – № 9 (2). – С. 90–105.

198. Современный ихтиотоксикологический режим Волховской губы Ладожского озера / А. Ю. Романов, Н. М. Аршаница, М. Р. Гребцов, А. А. Стекольников // Международный вестник ветеринарии. – 2021. – № 4. – С. 103–108.

199. Соколов, Л. И. Рыбы в условиях мегаполиса (г. Москва) / Л. И. Соколов // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – № 5. – С. 30–35.

200. Сорбционная способность и факторы формирования химического состава донных отложений Куйбышевского и Нижнекамского водохранилищ / Н. Ю. Степанова, В. З. Латыпова, О. К. Анохина, Р. Г. Таиров // Экологическая химия. – 2003. – Т. 12, № 2. – С. 105–116.

201. Сорокикова, Л. М. Формирование гидрохимического режима Курейского водохранилища в первые годы наполнения / Л. М. Сорокикова // Водные ресурсы. – 1994. – Т. 21, № 6. – С. 662–666.

202. Состав и количественные показатели донных беспозвоночных / Н. П. Финогенова, Т. Д. Слепухина, С. М. Голубков [и др.] // Финский залив в условиях антропогенного воздействия / под ред. В. А. Румянцева, В. Г. Драбковой. – Санкт-Петербург, 1999. – С. 189–211.

203. Стекольников, А. А. К вопросу сезонного состояния рыб реки Волхов / А. А. Стекольников // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2013. – № 4. – С. 62–65.

204. Стекольников, А. А. Особенности сезонного экологотоксикологического состояния реки Волхов / А. А. Стекольников // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2014. – № 3. – С. 236–241.

205. Степанова, Н. Ю. Экология Куйбышевского водохранилища: донные отложения, бентос, бентосоядные рыбы / Н. Ю. Степанова, В. З. Латыпова, В. А. Яковлев. – Казань : ФЭН, 2004. – 332 с.

206. Сусарева, О. М. Кислород и водородный показатель / О. М. Сусарева, Н. В. Игнатьева // Ладога / под ред. В. А. Румянцева, С. А. Кондратьева. – Санкт-Петербург : Нестор–История, 2013. – С. 182–184.

207. Сусарева, О. М. Металлы / О. М. Сусарева, Т. Н. Петрова // Ладога / под ред. В. А. Румянцева, С. А. Кондратьева. – Санкт-Петербург : Нестор–История, 2013. – С. 222–226.

208. Сусарева, О. М. Общая минерализация и ионный состав воды / О. М. Сусарева // Ладога / под ред. В. А. Румянцева, С. А. Кондратьева. – Санкт-Петербург : Нестор–История, 2013. – С. 176–182.

209. Токсикозы рыб и их диагностика : научно–методическое пособие. – Санкт-Петербург, 1998. – 45 с.

210. Токсикорезистентность рыб к основным типам загрязняющих веществ / Н. М. Аршаница, Д. С. Беляев, А. А. Стекольников [и др.] // Международный вестник ветеринарии. – 2018. – № 3. – С. 110–123.

211. Толкачев, Г. Ю. Особенности распределения микроэлементов в системе «вода – донные отложения» Верхней Волги и Иваньковского водохранилища : дис. канд. географ. наук 25.00.36 / Толкачев Глеб Юрьевич ; Ин-т водных проблем РАН. – Москва, 2007. – 123 с.

212. Томилина, И. И. Эколого-токсикологический мониторинг озер Северо–Запада и центра Европейской части России, расположенных на особо опасных территориях / И. И. Томилина, В. А. Гремячих, Л. П. Гребенюк // Водные ресурсы. – Т. 41, № 3. – С. 304–311.

213. Трахтенберг, И. М. Ртуть и ее содержание в окружающей среде / И. М. Трахтенберг, М. Н. Коржун. – Киев : Высш. шк., 1990. – 232 с.

214. Тяжелые металлы в гидробионтах Рижского залива / З. К. Сейсума, И. Р. Куликова, Д. Р. Вадзис, М. Б. Легздиня. – Рига, 1984. – 178 с.

215. Федорова, Г. В. Влияние токсических веществ на популяции сигов / Г. В. Федорова, Н. М. Аршаница // V Всесоюзная конференция по водной токсикологии : тезисы докладов. – Москва, 1988. – С. 36–37.

216. Федорова, Г. В. Действие антропогенных факторов на разные звенья экосистемы бассейна Ладожского озера / Г. В. Федорова, Н. М. Аршаница // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. – Ленинград, 1998. – Вып. 285. – С. 3–11.

217. Федорова, Г. В. Ихтиоценоз Ладожского озера и его охрана при загрязнении и антропогенном эвтрофировании / автореф. дис. докт.биол. наук 03.00.10/ Галина Васильевна – Москва, 1992. – 77 с.

218. Федорова, Г. В. Современное состояние популяций сигов южной части Ладожского озера и их уловы / Г. В. Федорова, Л. Я. Приймак // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. – 1986. – Вып. 248. – С.3–13.

219. Федорова, Г. В. Уловы рыб в Ладожском озере и причины их колебания / Г. В. Федорова // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. – 1987. – Вып. 266. – С. 3–10.

220. Флеров, Б. А. К вопросу о приспособлении гидробионтов к токсическому фактору / Б. А. Флеров // Гидробиологический журнал. – 1971. – Т. VII, № 6. – С. 61–68.

221. Фомин, Г. С. Вода. Контроль химической, биологической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам : энциклопедический справочник / Г. С. Фомин. – Москва : Протектор, 2000. – 848 с.

222. Формирование экосистемы залива Щучий Ладожского озера на месте разрушенной стоками целлюлозного производства / И. М. Распопов, И. Н. Андроникова, Ф. Ф. Воронцов [и др.] // Материалы VII съезда ВГБО. – Казань, 1996. – Т. 2. – С. 71–73.

223. Хайдер, Г. Поражение крови рыб при отравлении тяжелыми металлами. Методы исследования токсичности на рыбах / Г. Хайдер. – Москва : Агропромиздат, 1985. – С.71–74.

224. Хьюз, М. Неорганическая химия биологических процессов : монография / М. Хьюз. – Москва, 1983. – 414 с.

225. Чинарева, И. Д. Патогистологические изменения, встречающиеся у рыб бассейна Ладожского озера / И. Д. Чинарева // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. – Ленинград, 1998. – Вып. 285. – С. 24–33.

226. Шатуновский, М. И. Реакция воспроизводительной системы на антропогенные воздействия / М. И. Шатуновский, Н. В. Акимова, Г. И. Рубан // Вопросы ихтиологии. – 1996. – № 2. – С. 229–247.

227. Шитиков, В. К. Комплексные критерии экологического состояния водных объектов: экспертный и статистический подход / В. К. Шитиков, Т. Д. Зинченко // Количественные методы экологии и гидробиологии : сборник научных трудов, посвященный памяти А. И. Баканова / отв. ред. чл.-корр. РАН Г.С. Розенберг. – Тольятти : СамНЦ РАН, 2005. – С. 134–147.

228. Эйхенбергер, Э. Взаимосвязь между необходимостью и токсичностью металлов в водных экосистемах. Некоторые вопросы токсичности ионов металлов в водных экосистемах / Э. Эйхенбергер. – Москва : Мир, 1993. – С. 85.

229. Эйхер, Э. Яды в нашей пище / Э. Эйхер. – Москва, 1993. – 188 с.

230. Экологические критерии управления нагрузкой на водоем / Н. Ю. Степанова, А. М. Петров, В.З. Латыпова [и др.] // Экологическая химия. – 2000. – Т. 9, № 1. – С. 38.

231. Эколого-токсикологическая оценка аэрогенного пути загрязнения рыбохозяйственных водоемов / Н. М. Аршаница, О. А. Ляшенко, М. Р. Гребцов, А. А. Стекольников // Ветеринарный врач. – 2013. – № 1. – С. 6–9.

232. Эколого-токсикологическая ситуация в водной среде (основные принципы оценки и прогнозирования) / Л. П. Брагинский, Ф. Я. Комаровский, Э. П. Щербань [и др.] // Гидробиологический журнал. – 1989. – Т. 25, № 6. – С. 91–101.

233. Al-Yousuf, M. H. Trace metals in Lethrinus lentjan fish from the Arabian Gulf (Ras Al-Khaimah, United Arab Emirates): Metal accumulation in Kidcy and heart tissues / M. H. Al-Yousuf, M. S. El-Shahawi // Bulletin of environmental contamination and toxicology. – 1999. – Vol.62, № 3. – P. 293–300.

234. Arsenic and arsenic compounds (Environmental Health Criteria 224). – Geneva : World Health Organization, 2001. – 521 p.

235. Arsenic in drinking water // Some drinking–water disinfectants and contaminants, including arsenic: IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans ; vol. 84.– Lyon, 2004. – P. 41–267. – (

236. Attrill, M. J. Community and population indicators of ecosystem health: targeting links between levels of biological organisation / M. J. Attrill, M. H. Depledge // *Aquatic toxicology*. – 1997. – Vol. 38, iss. 1/3. – P. 183–197.

237. Barak, N. A. Mercury, cadmium and lead in eels and roach: the effects of size, season and locality on metal concentrations in flesh and liver / N. A. Barak, C. F. Mason // *Science total environment*. – 1990. – Vol. 92. – P. 249–256.

238. Blust, L. I. Organochlorine pesticides / L. I. Blust // *Handbook of Ecotoxicology* / ed. D. J. Hoffman [et al.]. – New York : Lewis Publ., 2005. – P. 314–329.

239. Butcher, D. J. Environmental applications of arsenic speciation using atomic spectrometry detection / D. J. Butcher // *Applied spectroscopy reviews*. – 2007. – Vol. 42. – P. 1–22.

240. Campbell, P. G. C. Acid deposition: effects on geochemical cycling and biological availability of trace elements / P. G. C. Campbell, P. M. Stokes, J. Galloway ; Subgroup on metals of the Tri–Academy Committee on Acid Deposition. – Washington : National Academy Press, 1985. – 83 p.

241. Cash, K. J. Assessing and monitoring aquatic ecosystem health : approaches using individual, population and community/ecosystem measurement / K. J. Cash // *Northern River Basins Study project report*. – № 45 – 1995. – 68 p.

242. Concepts for ecological monitoring of Lake Ladoga / T. Slepukhina, G. Frumin, M. Barbashova, L. Barkan // *Proceedings of the 22 second International Lake Ladoga Symposium*. – Joensuu, 1997. – № 117. – P. 16–25.

243. Contamination of fish from different areas of the river Seine (France) by organic (PCB and pesticides) and metallic (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb and Zn)

micropollutants / M. Chevreuil, A. M. Carru, A. Chesterikoff [et al.] // Science of the total environment. – 1995. – Vol. 162. – P. 31–42

244. Culotta, V. C. Disorders of copper transport / V.C. Culotta, J. D. Gitlin // The molecular and metabolic basis of inherited disease / ed. A. L. Scriver [et al.]. – Washington : McGraw–Hill, 1999. – P. 210–221.

245. Dippong T, Resz M A, Tănăselia C, Cadar O. Assessing microbiological and heavy metal pollution in surface waters associated with potential human health risk assessment at fish ingestion exposure. J Hazard Mater. 2024 Sep 5;476:135187. doi: 10.1016/j.jhazmat.2024.135187.

246. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // Official Journal of the European Communities. L 327. – 2000. – Vol. 43. – P. 1–73.

247. Effect of subchronic exposure to cadmium chloride on endocrine and metabolic function in rainbow trout / A. C. Ricard, C. Daniel, P. Anderson, A. Hontela // Archives of environmental contamination and toxicology. – 1998. – Vol. 34, № 4. – P. 377–381.

248. Evaluation of the roach (*Rutilus rutilus*) and the perch (*Perca fluviatilis*) for the biomonitoring of metal pollution / A. M. Carru, M. J. Teil, M. Blanchard [et al.] // Journal of environmental science and health. Part A: Environmental science and engineering and toxicology. – 1996. – Vol. 31, iss. 5. – P. 1149–1158.

249. Evolution of mercury levels in fish of the La Grande hydroelectric complex / D. Brouard, C. Demers, R. Lalumiere [et al.]. – Montreal, 1990. – 98 p.

250. Heath, A. G. Water pollution and fish physiology / A. G. Heath. – London : Lewis Publ., 2002. – 506 p.

251. Histopathology in fish: Proposal for a protocol to assess aquatic pollution / D. Bernet, H. Schmidt, W. Meier [et al.] // Journal of fish diseases. – 1999. – Vol. 22, № 1. – P. 25–34.

252. Janus, J. A. Integrated criteria document zinc: ecotoxicity : report № 7104028 / J.A. Janus // National institute of public health and environmental protection. – Netherlands, 1993. – 41 p.

253. Katkova-Zhukotskaya O., Bioindication using Fish and its Role in an Integrated Assessment of the Condition of Coastal Ecosystems: a Review /Katkova-Zhukotskaya O., Kalyujnaya S. // Journal of Stress Physiology & Biochemistry. 2023. №4. pp. 203-216

254. Khudoley, V. V. Stockholm convention, and national plan of action against persistent organic pollutants (POPs) / V. V. Khudoley // The International ecological forum. – St. Petersburg, 2002. – P. 89–91.

255. Kurashov, E. A. First record of the invasive Ponto–Caspian amphipod *Pontogammaris rostratus* G. O. Sars, 1894 from Lake Ladoga, Russia / E. A. Kurashov, M. A. Barbashova // Aquatic invasions. – 2008. – Vol. 3 (2). – P. 243–246.

256. Meili, M. Seasonal concentration changes of Hg, Cd, Cu and Al in population of roach / M. Meili, D. Wills // Heavy metals in the environment : international conference / ed. T. D. Lekkas. – 1985. – Vol. 1. – P. 709–711.

257. Molecular/cellular processes and health of individual / K. Hylland, S. Feist, J. Tain, L. Förlin // Effects of pollution on fish: molecular effects and population responses / ed. A. Lawrence, K. G. Hemingway. – New York : Blackwell Sci, 2003. – P. 134–178.

258. Niimi, A. J. Laboratory and field analysis of pentachlorophenol (PCP) accumulation by salmonids / A. J. Niimi, C.Y. Cho // Water research. – 1983. – Vol. 17, № 12. – P. 1791–1795.

259. Proposal for the macro– and meiobenthos monitoring programme of Lake Ladoga / T. Slepukhina, E. Kurashov, E. Koskenniemi [et al.] // Environmental monitoring in Lake Ladoga. Proposal for a monitoring programme : working papers / eds. A.–L. Holopainen, M. Rahkola–Sorsa, M. Viljanen ; University of Joensuu, Karelian Institute. – 2000. – Vol. 1 – P. 49–67.

260. The estimation of the present state of bottom sediments and benthic communities in the Sortavala archipelago of Lake Ladoga / N. Davydova, E. Kurashov,

H. Simola [et al.] // Intercalibration of research methods in Lake Ladoga. – Joensuu, 1992. – P. 41–51.

261. Weis, P. The developmental toxicity of metals and metalloids in fish / P. Weis, J. C. Weis // Metal ecotoxicology. Concept and applications / ed. C. Michall [et al.]. – CRC Press, 1991. – P. 145–169.

262. Whitfield, A. K. Fishes as indicators of environmental and ecological changes within estuaries: a review of progress and some suggestions for the future / A. K. Whitfield, M. Elliott // Journal of fish biology. – 2002. – Vol 61, suppl. A. – P. 229–250.

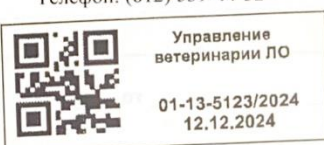
263. Wood, C. M. The physiology of acid/aluminum stress in trout / C. M. Wood, D. G. McDonald // Annales de la Société royale zoologique de Belgique. – 1987. – Vol. 117, № 1. – P. 399–410.

ПРИЛОЖЕНИЕ**АДМИНИСТРАЦИЯ
ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ****Управление ветеринарии
Ленинградской области**

191311, Санкт-Петербург
ул. Смольного, 3
E-mail: veter47@lenreg.ru
Тел./факс: 539-51-51
Телефон: (812) 539-44-32

От

На

АКТ

внедрения методических рекомендаций «Эколого-ихтиотоксикологическая оценка состояния ихтиофауны южных районов литоральной зоны Ладожского озера»

Настоящим актом подтверждаем, что материалы эколого-ихтиотоксикологической оценки состояния ихтиофауны южных районов литоральной зоны Ладожского озера являются результатом исследований по проблеме касающейся не только Ладожского озера, но практически всех рыбохозяйственных водоемов России, и успешно использованы специалистами государственной ветеринарной службы Ленинградской области.

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».

Проведены:

- Впервые на литоральных акваториях южной части Ладожского озера, включающих три губы: Шлиссельбургскую, Волховскую и Свирскую, имеющих особо важное рыбохозяйственное значение, как место нереста и нагула молоди основных видов рыб – проведены комплексные эколого-ихтиотоксикологические исследования, в основу которых были положены биологические методы исследования - биоиндикация на рыбах

и биотестирование при помощи тест-объекта *Daphnia magna Straus*, в сочетании с химико-аналитическим анализом.

- Проведена ветеринарно-санитарная экспертиза рыбы и оценка качества и безопасности рыбной продукции, поступающей из Ладожского озера.

- Массовые исследования личинок различных видов рыб выявили серьезные, несовместимые с дальнейшим развитием патологии характерные для воздействия ксенобиотиков и металлов (поражения костной ткани, глаз, черепно-лицевые патологии и пр.), что свидетельствовало о неблагоприятной токсикологической ситуации в литоральной зоне и выраженном воздействии загрязняющих веществ в период раннего онтогенеза, что негативно сказывается на естественном воспроизводстве рыб.

- Определены источники загрязнения, исследованы основные пути поступления загрязняющих веществ в южные районы литоральной зоны Ладожского озера, дана оценка уровню загрязнения каждой исследуемой акватории.

- Оценка содержания тяжелых металлов в рыбах и среде их обитания (вода, элютриаты донных отложений), а также в атмосферных осадках.

- Даны рекомендации по повышению рыбохозяйственного потенциала Ладожского озера, направленные на заводское своевременное воспроизводство полноценного посадочного материала наиболее ценных видов рыб, мелиорацией нерестилищ и пр.

Результаты исследований дали возможность обосновать новый подход к оценке эколого-ихтиотоксикологического состояния рыбохозяйственных водоемов и построения профилактических мероприятий, исходя из учета гидрологических особенностей водоема и его экологической емкости.

Начальник

Управления ветеринарии
Ленинградской области



Л. Н. Кротов



Министерство
сельского хозяйства
Российской Федерации

ЗОЛОТАЯ ОСЕНЬ 2024

XXVI РОССИЙСКАЯ АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ
СЕРЕБРЯНОЙ МЕДАЛЮ

*Государственное бюджетное учреждение Ленинградской области
«СББЖ Лужского района»*

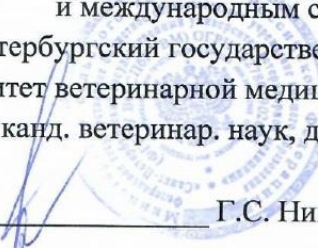
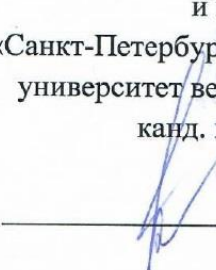
*«За разработку и внедрение методических указаний оценки эколого-ихтиоотоксикологического
состояния ихтиофауны южных районов лимноидальной зоны Ладожского озера»*

ЗАМЕСТИТЕЛЬ МИНИСТРА СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

О.А. ГАТАКОВА

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
и международным связям
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
университет ветеринарной медицины»
канд. ветеринар. наук, доцент



Г.С. Никитин

«15» января 2025 года

Карта обратной связи

Выдана Романову Алексею Юрьевичу в том, что результаты его научной работы по теме кандидатской диссертации: «Эколого-токсикологическая оценка состояния ихтиофауны южных районов Ладожского озера», используются на кафедре аквакультуры и болезней рыб, при выполнении научно-исследовательской работы, чтении лекций, проведении практических занятий с обучающимися факультетов ветеринарной медицины и ветеринарно-санитарной экспертизы ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины».

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры аквакультуры и болезней рыб ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины». Протокол № 7 от 13.01.2025 года.

Заведующий кафедрой
аквакультуры и болезней рыб
ФГБОУ ВО СПбГУВМ,
доктор биологических наук,
доцент



Воронин В.Н.

196084, г. Санкт-Петербург,
ул. Черниговская, 5
ФГБОУ ВО СПбГУВМ
8 (812)387-11-58
e-mail: a.m.lunegov@mail.ru



Федеральное агентство по рыболовству

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный технический
университет»
(ФГБОУ ВО «КГТУ»)

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ МОРСКОЙ
РЫБОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОЛЛЕДЖ
(филиал)

федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический
университет»
(«СПБМРК» (филиал) ФГБОУ ВО «КГТУ»)

Большая аллея, 22, Санкт-Петербург, 197022

Тел./факс: (812) 234-60-30

e-mail: spbmarine@spbmrk.ru;

<http://www.spbmrk.ru>

ОКПО 00471604; ОГРН 1023900592561;

ИНН/КПП 3904014891/781343001

31.01.2025 № 215/04-14
На _____ от _____

ФГБОУ ВО СПбГУВМ
Председателю Диссертационного
совета 35.2.034.03

Белопольскому А.Е.

Карта обратной связи

Выдана Романову Алексею Юрьевичу в том, что результаты его научной работы по теме кандидатской диссертации: «Эколого-токсикологическая оценка состояния ихтиофауны южных районов Ладожского озера», используются в учебном процессе (чтении лекций, учебно-методического материала, проведении практических занятий с обучающимися отделения береговых специальностей по направлению подготовки 35.02.09 «Ихтиология и рыбоводство», 35.02.09 «Водные биоресурсы и аквакультура».

И.О. директора



С.П. Сергиенко



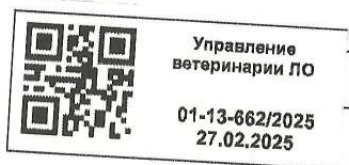
**АДМИНИСТРАЦИЯ
ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Управление ветеринарии
Ленинградской области**

191311, Санкт-Петербург
ул. Смольного, 3
E-mail: veter47@lenreg.ru
Тел./факс: 539-51-51
Телефон: (812)539-44-32

От _

На _



Справка

Дана Романову Алексею Юрьевичу и подтверждает его непосредственное участие и выступление с докладами на конференциях: «О взаимодействии между ветеринарной службой и научно-исследовательскими учреждениями» (пос. Ладожское озеро, Региональный центр эпизоотического и экологического мониторинга Ладожского озера, 2019 г.); конференции «Здоровая рыба в чистой воде» (пос. Ладожское озеро, 2021, 2022); конференция «Ветеринарные аспекты развития аквакультуры в Ленинградской области», (д. Назия, 2023 г.).

Начальник
Управления ветеринарии
Ленинградской области

Л.Н. Кротов



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ВЕТЕРИНАРНОЙ МЕДИЦИНЫ



ДИПЛОМ

награждается

Романов Алексей Юрьевич

**за активное участие в работе III Международной научной
конференции преподавателей, студентов, аспирантов и
молодых ученых**

**«Ветеринарная лабораторная практика»,
посвящённой
ДНЯМ РОССИЙСКОЙ НАУКИ**

Ректор ФГБОУ ВО
СПбГУВМ



К.В. Племяшов

Санкт-Петербург

27-28 февраля 2025 года