



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Водных биоресурсов, аквакультуры и гидрохимии

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему: Проблема загрязнения соединениями токсичных металлов  
рыбохозяйственных водоемов Северо-Запада Российской Федерации

Исполнитель Волков Ярослав Сергеевич

Руководитель к.т.н., заведующая кафедрой, Королькова Светлана Ви-  
тальевна

«К защите допускаю»

Заведующая кафедрой

(Подпись)

к.т.н.,

Королькова Светлана Витальевна

«16» июня 2018 г.

Санкт-Петербург

2018



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Водных биоресурсов, аквакультуры и гидрохимии

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
**(бакалаврская работа)**

На тему: Проблема загрязнения соединениями токсичных металлов  
рыбохозяйственных водоемов Северо-Запада Российской Федерации

Исполнитель Волков Ярослав Сергеевич  
Руководитель к.т.н., заведующая кафедрой, Королькова Светлана Ви-  
тальевна

«К защите допускаю»  
Заведующая кафедрой

---

(Подпись)

к.т.н.,  
Королькова Светлана Витальевна

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Санкт-Петербург

2018

# Содержание

Введение.....	3
Глава 1. Общая эколого-токсикологическая характеристика металлов, включая нормирование в Российской Федерации.....	6
1.1. Металлы, нормируемые в рыбной продукции в Российской Федерации.....	9
Глава 2. Загрязнение металлами рыбохозяйственных водоемов.....	14
Северо-Запада Российской Федерации.....	14
2.1. Озеро Ильмень.....	14
2.1.1. Качество воды.....	15
2.1.2. Донные отложения.....	16
2.1.3. Рыбы.....	19
2.2. Река Волхов.....	21
2.2.1. Качество воды.....	22
2.2.1. Донные отложения.....	28
2.2.3. Беспозвоночные и рыбы.....	31
2.3. Ладожское озеро.....	41
2.3.1. Качество воды.....	43
2.3.2. Донные отложения.....	48
2.3.3. Рыбы.....	52
Выводы.....	61
Список использованной литературы.....	63

## Введение

Во второй половине XX века в связи с развитием промышленности, в т.ч. металлургии, машиностроения, химической и нефтехимической промышленности, а также создания крупных агропромышленных комплексов, экологическое состояние водных объектов рыбохозяйственного значения Советского Союза стало постепенно ухудшаться, что было связано с поступлением в них различными путями – через сброс промышленных, сельскохозяйственных, коммунально-бытовых сточных вод, через атмосферу и т.д.) экотоксикантов различных классов опасности и типов биологического воздействия. Это сказалось и сказывается до сих пор на состоянии ихтиофауны водоемов и кормовой базы для нее. К концу XX века в рыбохозяйственных водоемах, по данным Л.А. Кудерского [37], в несколько раз сократились запасы и уловы промысловых рыб, особенно ценных лососевых и сиговых рыб [37]. Одной из наиболее вероятных причин отмеченного впоследствии уменьшения запасов и уловов рыб явилось загрязнение районов нерестилищ и нарушение процессов естественного воспроизводства [37].

Токсичные химические соединения металлов считаются одним из наиболее опасным видом загрязнения для биоты водоемов [50], для которой являются ксенобиотиками. Наряду с особенно опасными СОЗ – стойкими органическими загрязнителями [50], химические соединения токсичных металлов называют супертоксикантами XXI века [24].

**Целью** настоящей работы является провести анализ информации по оценке влияния одной из основных групп контаминантов рыбохозяйственных водоемов – токсичных химических соединений металлов и дать оценку группе этих экотоксикантов при воздействии их на биотические и абиотические компоненты рыбохозяйственных водоемов.

В соответствии с поставленной целью был сформулирован следующий круг задач:

1. Провести анализ информации по качественным и количественным показателям загрязнения рыбохозяйственных водоемов химическими соединениями металлов.

2. Изучить их содержание в воде и сопоставить с действующими рыбохозяйственными ПДК.

3. Выяснить содержания металлов в донных отложениях и сопоставить их с кларковыми значениями [15].

4. Выяснить содержание металлов в тканях и органах рыб и сопоставить их с действующими в Российской Федерации нормативами (ДОК – допустимое остаточное количество).

**Объект и предмет исследования.** Объект исследования – рыбохозяйственные водоемы Северо-Запада Российской Федерации: озеро Ильмень, река Волхов, Ладожское озеро; предмет исследования – вода, донные отложения, рыбы.

**Практическая ценность работы.** Качество воды стало одной из важнейших проблем в рыбохозяйственном отношении. Оценивая с этих позиций состояние водных ресурсов Северо-Запада России, следует отметить, что токсикологическая ситуация в ряде водоемов, особенно используемых в рыбохозяйственных целях, достигает критического уровня [37].

В целом эта важнейшая проблема включает широкий круг вопросов по выяснению особенностей распределения опасных токсикантов в воде, донных отложениях, водных растениях, тканях и органах рыб, их перераспределение, накопление, миграции в водных экосистемах, в том числе и в организме рыб, а также ответной реакции рыб на комплексное воздействие химических соединений. Учитывая большую актуальность данной проблемы, в данной работе рассматривается комплекс вопросов, касающихся особенностей распространения и накопления химических соединений тяжелых металлов в воде, донных отложениях и гидробионтах (преимущественно в рыбах) в ряде водных объектов Северо-Запада РФ – озеро Ильмень, Ладожское озеро и река Волхов.

**Структура дипломной работы:** выпускная квалификационная работа на 76 стр. состоит из введения, 2 глав с 12 подглавами, заключения, в котором содержатся выводы, списка использованной литературы в количестве 99 наименований.

## Глава 1. Общая эколого-токсикологическая характеристика металлов, включая нормирование в Российской Федерации

На территории Российской Федерации большинство водоемов имеет рыбохозяйственный статус. Снижение качества поверхностных вод в результате антропогенного воздействия – является одной из серьезных проблем рыбного хозяйства [33]. Для живых организмов водоемов угрозу представляют вещества с высокими классами опасности – химические соединения токсичных металлов 1-го и 2-го класса опасности [26, 27].

Контаминация природных поверхностных вод тяжелыми металлами является проблемой в экотоксикологии, что связано с распространенностью и множественностью путей поступления в окружающую среду этой группы загрязнителей, их токсичностью, стабильностью в водной среде и способностью к биогенной миграции в живых организмах водоемов. Некоторые из них являются неотъемлемой частью организма рыб, так как они входят в состав ферментов, гормонов, регулирующих дыхание, кроветворение, пищеварение, углеводный и жировой обмен [51, 52].

Некоторые металлы, такие, как свинец, кадмий, никель, ртуть и др. и неметалл мышьяк опасны для водных биоценозов, так как даже при незначительных концентрациях способны оказывать токсическое действие на водные организмы, что проявляется в подавлении их иммунной системы, запуске патологических процессов в органах и тканях с последствиями для роста, воспроизводства, и пр. [32]. Употребление в пищу рыбы, содержащей в тканях повышенные концентрации соединений элементов, способных к кумуляции в организмах рыб (ртуть, кадмий, свинец, алюминий, мышьяк) может привести к отравлению человека [51, 24].

Проявление кумулятивных свойств тяжелых металлов усугубляет экологические проблемы, связанные с их нахождением в природной среде. [25,33,39,53]. В теле рыб количество тяжелых металлов может повышаться в десятки и сотни раз, по сравнению с фоновыми концентрациями [76]. Ток-

сичные металлы характеризуются отдаленными последствиями для организмов - мутагенное, тератогенное, эмбриотоксическое, гонадотоксическое и другие действия [27, 87]. При биологической трансформации соединений тяжелых металлов образуются генетически опасные метаболиты: переходные металлы (Mn, Cr и др.) образуют комплексные соединения с молекулами ДНК клеток и вызывают их повреждение [39,76]. Присутствие металлов в рыбе, в количествах, в 2-3 раза превышающих фоновые концентрации, нежелательно, а в количествах, превышающих ДОК (допустимое остаточное количество) – недопустимо [39,46].

Микроэлементы делятся на три группы. Первая группа – эссенциальные микроэлементы: железо, медь, цинк, марганец, кобальт, хром, молибден, йод. Вторая группа условно-эссенциальные микроэлементы: мышьяк, бор, фтор, никель, кремний, ванадий. Третья группа – это токсические элементы: алюминий, кадмий, свинец, ртуть, бериллий, барий, висмут. Многие комплексные соединения металлов «копируют» пространственную структуру важных органических соединений - аминокислот, гормонов, нейромедиаторов и поэтому могут связываться с соответствующими рецепторами (эффект мимикрии).

Так, образуемый метилртутью и аминокислотой цистеином комплекс «копирует» пространственную структуру аминокислоту метионин, участвующую в синтезе адреналина и холина. Важный механизм токсического действия заключается также в замене эссенциальных металлов в металлосодержащих комплексах на токсичные с некоторыми похожими свойствами (например, валентностью), приводящей к потере биологической активности

Рыбы оказались наиболее наглядными индикаторами токсического загрязнения рыбохозяйственных водоемов соединениями токсичных металлов, которые изменениями своих организмов и жизненных циклов отражают изменения, происходящие в их среде обитания [3, 28, 47, 67].

Критерием оценки контаминации рыбохозяйственных водоемов считаются показатели токсических соединений в воде, грунте, рыбе, уровень

содержания которых не должен превышать величин ПДК и ДОК (допустимое остаточное количество), а также мировых кларковых величин [23].

Важными тестами в ихтиопатологии являются патологоанатомический и патоморфологический методы [4]. На определенную группу экотоксикантов выявляется специфическая реакция организма. Степень повреждения тканей и органов, как правило, увеличивается с увеличением концентрации и продолжительности воздействия экотоксикантов [72].

Поступление соединений токсичных металлов в водные объекты происходит тремя путями: со промышленными, сельскохозяйственными и коммунально-бытовыми сточными водами, загрязненным поверхностным стоком и аэрогенным путем. Третий путь поступления металлов в водные объекты становится все более опасным [18,20].

В организм рыб соединения металлов попадают, как правило через дыхательную и пищеварительную системы, а в меньшей степени, через кожные покровы [63].

Динамика содержания и форма аккумулируемых металлов, а также характер их распределения в организме зависит от сезонной смены гидрохимической обстановки в том или ином водоеме и от биологического состояния рыб: от особенностей годового цикла пластического и генеративного обмена, от биохимических и морфофизиологических изменений тканей и органов гидробионтов в течение года.

Во всех органах пресноводных рыб по уровню концентрации больше всего присутствует металлов биофилов – железа, цинка, меди. Концентрации высокотоксичных металлов – кобальта, кадмия, ртути, свинца и др. в рыбах гораздо меньше.

Чаще всего концентрация металлов выше в жабрах, печени, селезенке и почках рыб, т.е. в тех органах, которые играют наиболее важную роль в детоксикации и выведении металлов из организма. В наименьших концентрациях - в мышцах, скелете и чешуе. Выведение металлов из организма рыб происходит в основном через почки и кишечный тракт, в меньшей степени –

через жабры. Специфические белки – металлотионеины (МТ) способствуют связыванию и выведению избыточных количеств металлов (в том числе биофильных) из организма [30, 35, 89].

### 1.1. Металлы, нормируемые в рыбной продукции в Российской Федерации

Это соединения неэссенциальных металлов, к которым относятся свинец, кадмий, ртуть и неметалл мышьяк, они свещества 1-го и 2-го классов опасности и обладают кумулятивным действием, опасны для рыб в очень малых концентрациях [57,68]. Качество рыбной продукции является крайне серьезной проблемой из-за наличия в органах и тканях рыб тяжелых металлов. Водные организмы способны накапливать металлы, особенно кадмий, ртуть, свинец, мышьяк, в тысячи и более раз превышающих их фоновое содержание в воде [31,50].

**Свинец.** Этот металл является экотоксикантом водных экосистем [54]. Многие химические соединения свинца (галогениды, сульфаты, фосфаты и гидроксиды) нерастворимы в воде и поэтому обладают низкой токсичностью в водных биоценозах. Растворимые соединения свинца более токсичны [53]. Предельно-допустимая концентрация свинца для водоемов рыбохозяйственного значения – 6 мкг/л, ДОК (допустимое остаточное количество) в рыбных продуктах, установленные в Российской Федерации – 1 мкг/л [60].

Свинец имеет сходство с кальцием в процессах отложения в скелетной мускулатуре рыб. Повышение уровня свинца в организме гидробионтов может быть причиной нарушения обменных процессов [42]. Особенностью действия свинца на рыб является потемнение хвостового стебля (нейротоксикоз), а также искривление тела. [49]. Металл обладает гемолитическими свойствами, в крови рыб наблюдается распад эритроцитов, нейтрофилия. У рыб, длительное время подверженных влиянию свинца, этот микроэлемент обнаруживается в жабрах, кишечнике, печени и мышцах [12, 91].

Предприятия цветной металлургии вносят основной вклад в загрязнение окружающей среды свинцом - 660 тонн/год или 87% поступлений свинца

от всех отраслей промышленности. Ежегодно на поверхность мирового океана выпадает из атмосферы свинца около 21 тыс. тонн/год [14]. Пестициды, содержащие свинец, могут увеличивать содержания свинца в растениях. В донных отложениях происходит метилирование свинца микроорганизмами [2].

Показано, что икринки радужной форели более чувствительны к свинцовой интоксикации, нежели молодь. При хроническом воздействии свинца на икринки рыб появившиеся из них мальки более уязвимы к свинцовой интоксикации, т.е. токсическое действие свинца более опасно для рыб на их ранних стадиях развития [99].

Хроническое действие высоких концентраций свинца на рыб приводит к изменению в структуре тканей, в повреждении митохондрий и эритроцитов. Симптомами свинцовой интоксикации могут служить потемнение дистального отдела почек, сколиозы, лордозы, омертвление сенсорных клеток боковых линий [53].

**Кадмий.** Кадмий принадлежит к числу наиболее опасных экотоксикантов [44]. В незагрязненных и слабозагрязненных водах концентрации кадмия незначительны, а в сточных водах концентрация кадмия может составлять до 1 мкг/л [23, 10]. Кадмий способен десорбироваться из взвешенных частиц и донных отложений и переходить в толщу воды, что представляет определенную угрозу для жизнедеятельности водных организмов [2].

. Предельно допустимая концентрация кадмия для рыбохозяйственных водоемов – 5 мкг/л. Допустимое остаточное количество кадмия в рыбопродуктах, установленное в России, составляет 0,1 мг/кг [60].

Токсическое действие кадмия меняется в зависимости от жесткости и pH воды. В работах E.L. Porter (1995) [98] обосновывается необходимость еще более жестких ПДК для кадмия [98]. В работах отмечается, что биологические последствия загрязнения водной среды кадмием приводят к массовой гибели гидробионтов [29,83]. Кадмий хорошо растворим в жирах и накапли-

вается в печени и почках. Метаболизм кадмия тесно связан с метаболизмом цинка и кадмий способен замещать цинк в тканях [53].

При отравлении хлористым кадмием диагностируется гиперплазия и распад респираторного эпителия жабр, эпидермиса кожи, некроз тканей кишечника и проксимальных канальцев почки, ее гемопозитической ткани [12]. Хроническая интоксикация кадмием характеризуется замедлением роста рыб и деформацией их позвоночника.

Основными источниками антропогенного загрязнения водных биогеоценозов являются: промышленные сточные воды химических заводов, в т.ч. по производству красителей, никель-кадмиевых аккумуляторов, минеральных удобрений, а также тепловые электростанции и автомобильный транспорт [12,36].

**Ртуть.** Ртуть – чрезвычайно опасна даже в металлической форме, однако еще опасней ее способность к накоплению в живых водных организмах, возрастающая по трофической цепи, и отдаленные гонадо-, нейротоксическое и канцерогенные свойства [53]. В водной среде ртуть ( $\text{Hg}^{2+}$ ) преобразуется микроорганизмами в высокотоксичную метилртуть  $\text{Hg}(\text{CH}_3)_2$ , которая более интенсивно поглощается тканями. Около 95% метиловой ртути поглощается жабрами, и большая ее часть остается в теле, а выделяется совсем незначительная часть – менее 1%.

Поступление ртути в организм водных животных верхних звеньев пищевых цепей осуществляется двумя путями: прямым поглощением растворенных форм ртути из водной среды через покровы или органы дыхания, поступление ртути из пищи через пищеварительный тракт.

Низкие значения рН (слабокислая среда), и низкая минерализация поверхностных вод способствует более интенсивному накоплению и трофической миграции ртути, но наличие комплексов с железом и др. веществами и повышенная температура замедляют процесс накопления ртути.

Концентрация ртути увеличивается при миграции по пищевой цепи, т.е. при переходе от воды к рыбе. Также количество метилртути в организме

животных возрастает с повышением их трофического уровня [82]. Т.к. рыбы являются консументами высокого порядка, для оценки загрязнения водных объектов ртутью чаще всего измеряют концентрацию ртути в их мышечной ткани [45]. В водоемах, в которых были отмечены концентрации ртути в мышечной ткани рыб, были обнаружены уменьшение биоразнообразия, в т.ч. ихтиофауны, упрощение системы сообществ, снижение суммарной биомассы планктона [82].

У метилртути более высокая по сравнению с неорганическими формами ртути способность проникать через биологические мембраны. [84]. Метилртуть преодолевает плацентарный барьер, что сказывается на естественном воспроизводстве рыб, вызывает появление недоразвитых особей с последующей их гибелью [18].

Ртуть, как и свинец, метилируется в донных отложениях водоемов, водной толще, а также в кишечном тракте рыб [84].

Было показано, что более 80-95% ртути в мышечной ткани рыб представлено метилртутью. Порог токсического действия ртути составляет 0,01 мкг/л. ДОК для рыбопродуктов – 0,3-0,6 мг/кг, ПДК для воды рыбохозяйственных водоемов – 0,001 мг/л [60].

**Мышьяк** – неметалл. Его содержание в земной коре составляет  $1 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^3\%$ . В природе распространен пентавалентный мышьяк, хотя и трехвалентный мышьяк также обнаруживается в воде. Контаминация водоемов мышьяком происходит естественным путем при извержении вулканов и ветровой эрозии почвы. Мышьяк применяется в химической промышленности в сплавах с медью и свинцом.

Антропогенная контаминация водоемов мышьяком происходит при контакте поверхностных вод с отвалами твердых мышьяксодержащих отходов [8]. В пресноводных объектах среднее содержание мышьяка обычно ниже, чем в морской воде, но в донных отложениях его содержание его накапливается много, и превышает концентрацию в воде [16].

В незагрязненных поверхностных водах его содержание обычно не превышает 1-10мкг/л, но в загрязненных водоемах может достигать 100-5000 мкг/л и выше. Для рыб мышьяк является медленно действующим токсикантом. Концентрация мышьяковистого ангидрида ( $As_2O_3$ ) 50-100 мг/л высокотоксична. Чувствительнее к мышьяку некоторые представители зоопланктона и зообентоса [49].

Мышьяк обладает мутагенным и канцерогенным действием на водные организмы. Мышьяк принадлежит к числу нормируемых химических элементов в мышечной ткани рыб, рыбохозяйственная ПДК мышьяка – 0,05 мг/л. Допустимое остаточное количество в рыбной продукции (ДОК) – 1 мг/л [60,85].

## Глава 2. Загрязнение металлами рыбохозяйственных водоемов Северо-Запада Российской Федерации

### 2.1. Озеро Ильмень

Озеро Ильмень является одним из самых больших озер Северо-Западного региона России, относится к бассейну Балтийского моря (рис. 1). Сток из оз. Ильмень осуществляется через р. Волхов, которая за год выносит в Ладожское озеро, в среднем,  $17 \text{ км}^3$  вод [17]. В истоке расположен г. Великий Новгород. Озеро Ильмень представляет собой мелководное озеро с плоским дном. В озеро Ильмень впадают 19 крупных рек и множество мелких и ручьев. Наиболее крупные реки, впадающие в озеро – Мста, Ловать, Пола и Шелонь [11]. Общее поступление воды в озеро из рек –  $11,6 \text{ км}^3$ .

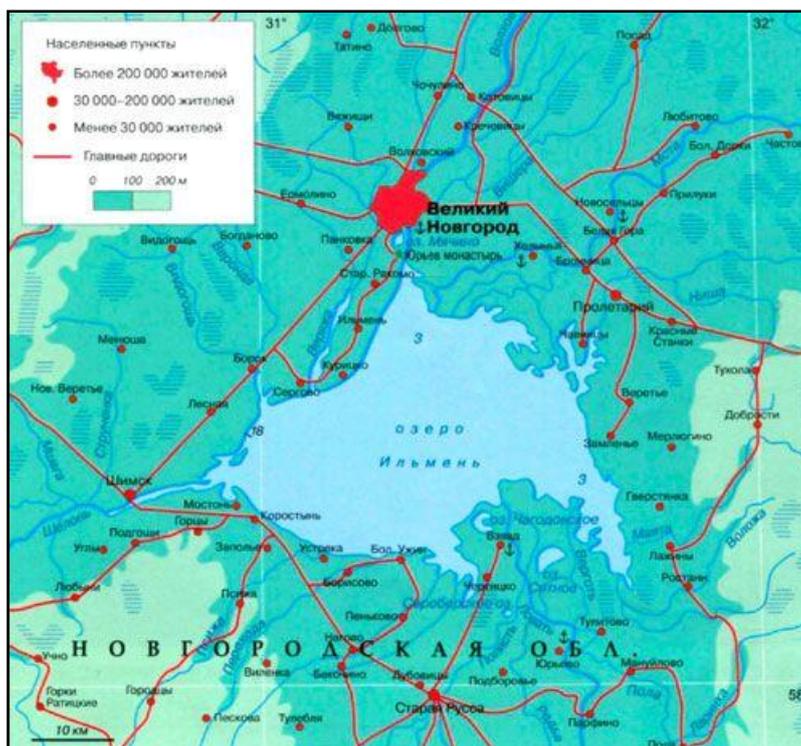


Рис. 1. Озеро Ильмень

Озеро Ильмень является высокопродуктивным водоемом, расположенным в низменной центральной части Новгородской области. Площадь поверхности около  $1000 \text{ км}^2$  (средняя длина 45 км). Максимальная глубина

озера – 4-5 метров в центральной части, средняя глубина 2,8 метров. Площадь водосборной территории равна 59 600 км<sup>2</sup>.

Озеро Ильмень является водным объектом промышленного рыболовства. В озере Ильмень и впадающих в него реках и ручьях наблюдается 30 видов рыб (снеток, плотва, окунь, лещ, синец, карась, щука, судак, красноперка и другие). Основное промысловое значение имеют лещ, судак, щука, синец, плотва, снеток. Ядро ихтиоценоза - окунь (33%), плотва (33%), лещ (13%), щука (9%).

Озеро Ильмень, наряду с другими водоемами Северо-Запада РФ загрязняется различными экотоксикантами, в т.ч. соединениями тяжелых металлов..

### 2.1.1. Качество воды

Антропогенное влияние на качество водных масс отмечается в озере Ильмень с 1923 – 1924 гг. , когда началось наблюдение за постепенным загрязнением воды за счет роста хозяйственной деятельности в регионе, внесения минеральных удобрений на полях и загрязнения рек, впадающих в озеро Ильмень, промышленными сточными водами [73]. Источники загрязнения расположены в истоке р. Волхов (г. В.Новгород) и прибрежных городах. Из-за деятельности в реках Мста, Ловать, Шелонь, Пола и др. концентрации загрязнителей в отдельные сезоны года превышает ПДК меди в 2,6-6,3 раза, марганца до 3,2-7,5 раза, кадмия 4-16 раз. В воде рек в течение долгих лет определяются хлорорганические пестициды [86].

А в самом озере превышаются ПДК по меди в 4,6-5,1 раза (максимум 11 раз), марганцу в 6,0-6,7 раза (максимум 16 раз), фенолам в отдельные месяцы в 20 раз.

По данным Кузьминой И.А. и Кузнецовой О.В. [38,40], были зафиксированы превышения предельно допустимых концентраций БПК и ХПК, свидетельствующие о загрязнении вод озера Ильмень органическими соединениями. . Также отличие значений между поверхностью и дном колеблется в

пределах 1%. Однородность качества воды по составу в оз. Ильмень объясняется постоянным перемешиванием воды озера волнениями от ветра.

Данные гидрохимического анализа воды озера Ильмень и впадающих в него рек показали на содержание загрязняющих веществ в концентрациях, выше предельно допустимых для водоемов рыбохозяйственного значения, к которому относится озеро Ильмень. Воды озера Ильмень могут быть отнесены к классу «умеренно загрязненные».

### 2.1.2. Донные отложения

В донных отложениях озера Ильмень присутствуют соли тяжелых металлов, концентрация хрома в 5,0 раз превышает геохимический фон, что вызвано сбросом промышленных и коммунально-бытовых сточных вод г. Великого Новгорода [48,85]. Результаты анализ донных отложений оз. Ильмень представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Содержание металлов в донных отложениях в оз. Ильмень (мг/кг) 2007 г [40]

Металлы	Акватории отбора проб				Кларковые величины мг/кг
	Ст.1	Ст.2	Ст.3	Ст.4	
Cu	21	22	24	14	47,0
Pb	15	17	20	10	16,0
Zn	112	135	140	73	83,0
Cd	0,45	0,90	0,98	0,25	0,13
Hg	0,083	0,137	0,134	0,052	0,4
Cr	52	60	64	31	70,0
Ni	35	39	41	19	58,0
V	47	52	53	27	135,0
As	2,6	3,9	3,4	2,3	66,0
Fe	29	38	38	20	42000,0
Mn	0,52	1,19	0,92	1,02	1000,0

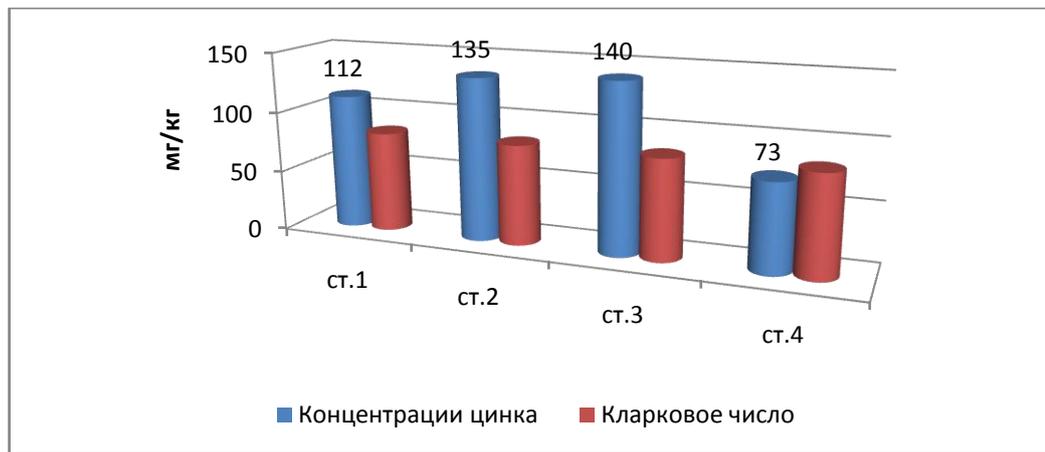


Рис. 2. Превышение содержание цинка в донных отложениях в оз. Ильмень (мг/кг) 2007 г.

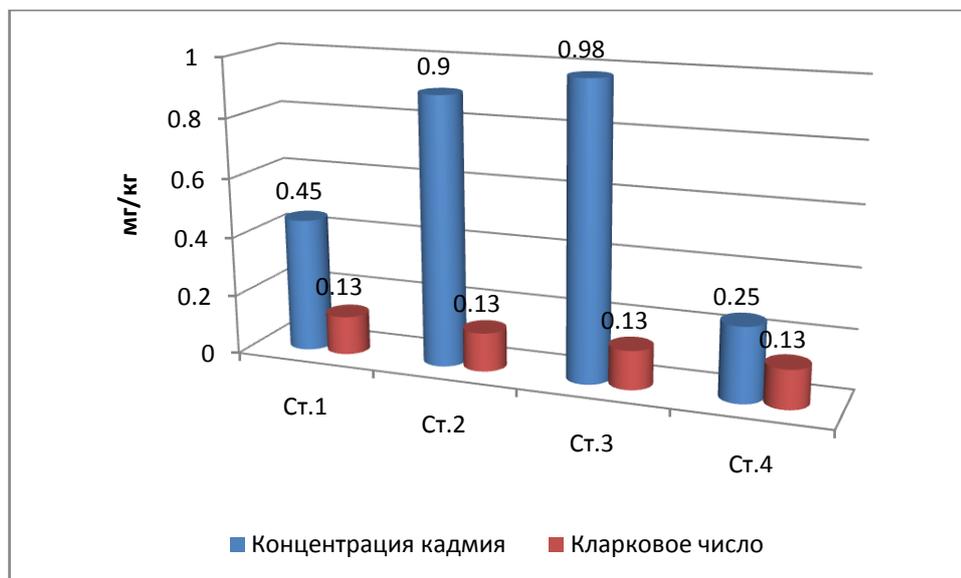


Рис. 3. Превышение содержания кадмия в донных отложениях в оз. Ильмень (мг/кг) 2007 г.



Рис. 4. Превышение содержание свинца в донных отложениях в оз. Ильмень (мг/кг) 2007 г.

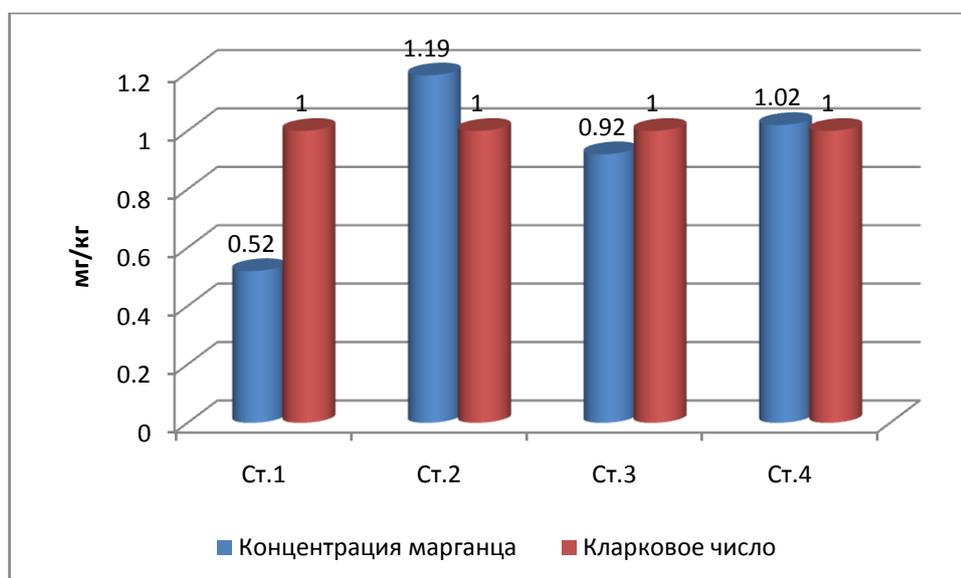


Рис. 5. Превышение содержание марганца в донных отложениях в оз. Ильмень (мг/кг) 2007 г.

В озере Ильмень накапливаются тяжелые металлы – медь, марганец, свинец, кадмий и железо - поступающих с водами впадающих в него рек, причем в местах впадения Ловати, Шелони и Веряжи больше, чем в других створах, что определяется с гранулометрическим и композиционным составом донных отложений в этих местах озера Ильмень [38,40].

Донные отложения являются средой обитания бентофауны, и накопление соединений тяжелых металлов может привести к изменению их количества, состава и биоразнообразия, а также нарушению трофической цепи биоценоза [38,40].

### 2.1.3 Рыбы

Изучение информации по исследованию состояния ихтиофауны озера Ильмень показало, что в настоящее время основными промысловыми видами рыб озера являются лещ, судаки и плотва [5, 77].

Вскрытие рыб показало, что более 60-70% имели проявления хронического токсикоза с обратимыми повреждениями, не угрожающие жизни особям. Такие повреждения были отмечены в жабрах, ткани и печени рыбах.

Был проведен анализ мышечной ткани рыб на содержание 10 металлов, нормируемых в РФ, в тч. ртуть, свинец, кадмий и ртуть [77].

Таблица 2

Средние концентрации металлов в мышечной ткани рыб озера Ильмень 2014г. [77]

Виды рыб	Cd	Pb	Cu	Zn	As	Al	Cr	Mn	Ni	Hg
Лещ	0,006	0,022	0,384	2,517	0,214	2,819	0,168	0,194	0,015	0,025
Судак	0,005	0,021	0,392	2,834	0,398	2,567	0,171	0,159	0,011	0,014
Плотва	0,002	0,014	0,323	1,705	0,291	1,413	0,163	0,143	0,011	0,016
ДОК мг/кг	0,2	1,0	5,0	40,0	1,0	5,0	0,5	-	0,5	0,3-0,9

Содержание нормируемых металлов в мышечной ткани рыб оказалось ниже ДОК (допустимое остаточное количество). Позже проведено повторное исследование тех же видов рыб (Табл. 3), были получены сопоставимые результаты с данными, приведенными в Таблице 2 [78].

Таблица 3

Содержание нормируемых металлов в мышечной ткани рыб озера Ильмень 2014г. [78]

Виды рыб	Металлы			
	As	Cd	Pb	Hg
Лещ	0,36	0,007	0,024	0,026
Судак	0,41	0,006	0,026	0,018
Плотва	0,29	0,002	0,014	0,019
ДОК, мг/кг	1,0	0,2	1,0	0,3-0,9

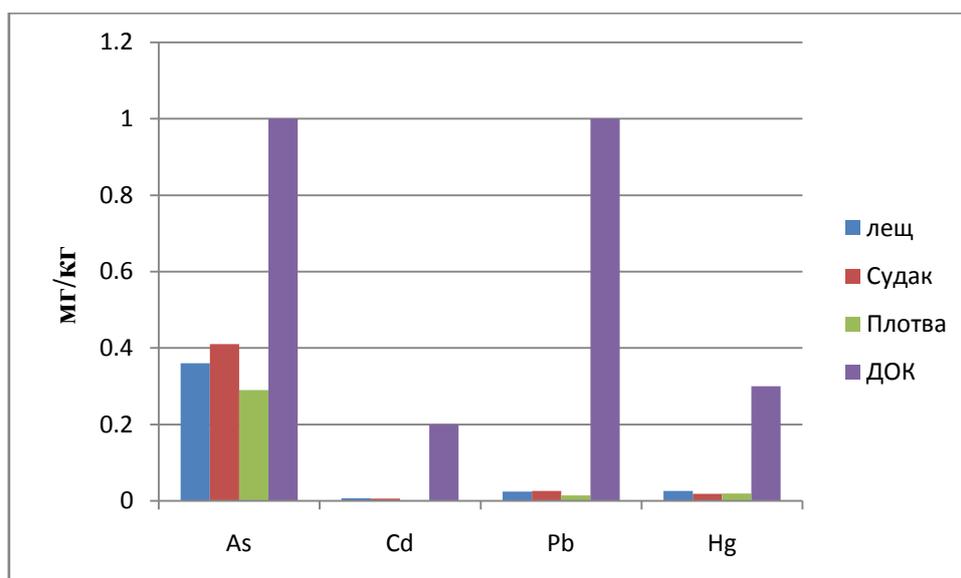


Рис. 6. Содержание нормируемых металлов в мышечной ткани рыб озера Ильмень 2014г.

По данным на озеро Ильмень можно сделать вывод, что концентрация тяжелых металлов оказалась выше в пробах илистых донных отложений. Характерно вторичное загрязнение вод озера через выделение соединений металлов из донных отложений, при этом отмечено низкое содержание их в мышечной ткани рыб.

## 2.2. Река Волхов

Река Волхов вытекает из озера Ильмень и впадает в Волховскую губу Ладожского озера (рис. 2). Длина реки – 224 км, водосбор – около 13 тыс. км<sup>2</sup>. В нижнем течении река зарегулирована плотиной – Волховской ГЭС с образованием Волховского руслового водохранилища.



Рис. 7. Река Волхов.

### 2.2.1. Качество воды

Летом 1986 г у истока реки Волхов были обнаружены значительное количество погибших особей коловраток, кладоцер, копепоид [71], что позволило сделать вывод о поступлении в реку загрязненных вод озера Ильмень.

По мере продвижения вниз по течению в реку проникают токсичные сбросные воды крупных промышленных предприятий городов Великий Новгород, Кириши, Волховстрой, Новая Ладога и др. Здесь расположены предприятия химической промышленности (г. Великий Новгород), крупный завод по нефтепереработке, нефтехимии и биохимии (г. Кириши), цветной металлургии (г. Волхов), судостроения (г. Новая Ладога), машиностроения, деревообработки, производящие минеральные удобрения и др.

В Таблице 4 показано, что наибольшее количество токсикантов поступает со сточными водами Биохимического завода (г. Кириши), ГРЭС-19, Нефтеперерабатывающего завода, Волховского алюминиевого завода.

Объем сбросов сточных вод в р. Волхов некоторыми береговыми предприятиями 1990г. [58]

Предприятие	Объем сточных вод, тыс. м <sup>3</sup> /сутки	Кратность повышения ПДК по веществам с наибольшей концентрацией
Новгородское ПО «Азот» (исток р.Волхов)	19,5	45 БПК
		80 нефть
		1030 метан
		77 аммонийный азот
Нефтеперерабатывающий завод (г. Кириши)	15,8	600 нефть
		1000 аммонийный азот
Биохимзавод (г. Кириши)	5,0	21 железо
		24 цинк
		30 фенолы
ГРЭС-19 (г.Кириши)	2,3	8 БПК
		2000 хром
		80 цинк
		480 медь
		51 аммонийный азот
		20 сульфаты
Волховский алюминиевый завод – ВАЗ (низовье р.Волхов)	11,8	20 железо
		18 нефть
		21 нитриты

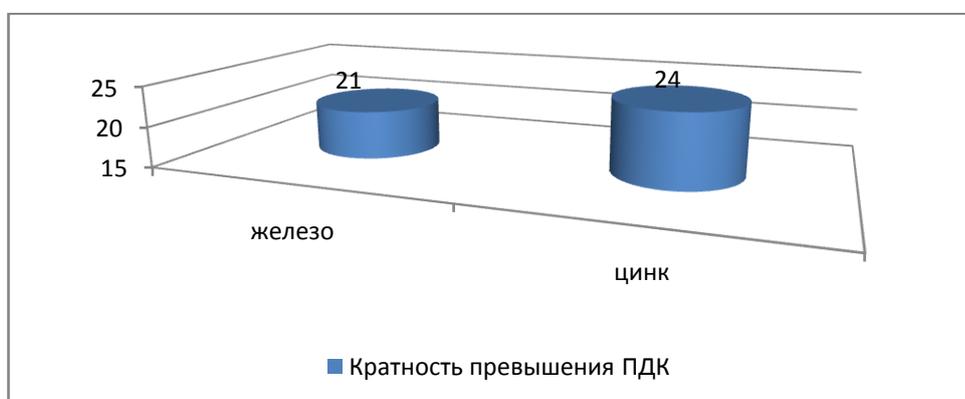


Рис. 8. Кратность превышения ПДК по железу и цинку в сточных водах Биохимзавода (г.Кириши)

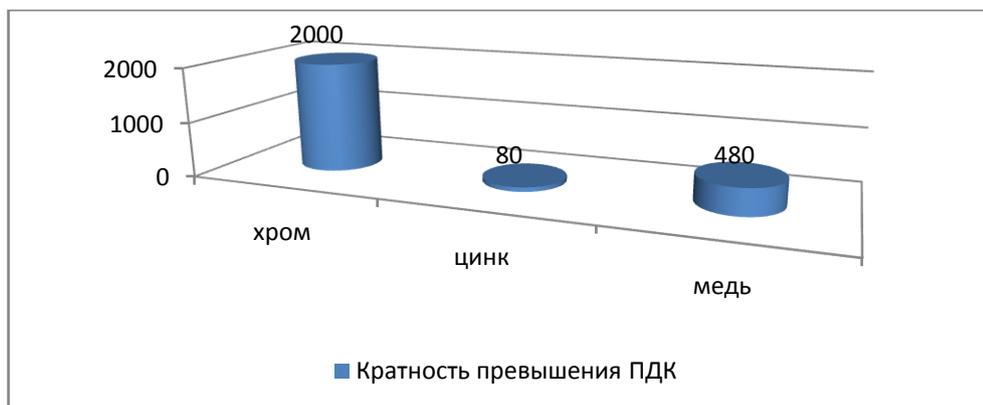


Рис. 9. Кратность превышения ПДК хрома, цинка и меди в сточных водах р.Волхов ГРЭС-19 (г.Кириши)



Рис. 10. Кратность превышения ПДК железа в сточных водах р. Волхов Волховским алюминиевым заводом

Содержащиеся в них токсичные вещества в тысячи раз превышают рыбохозяйственные нормативы. Возможно поступление в р. Волхов токсичных химических соединений и аэрогенным путем. В итоге эти факторы ухудшают экологическое состояние реки Волхов на всем ее протяжении от истока до устья, тем самым ухудшая состояние водных организмов. В результате в начале 90-х годов воды р. Волхов характеризовались как «умеренно-загрязненные».

В работах [79,80] исследовались сезонные колебания концентраций соединений тяжелых металлов в воде и донных отложений реки Волхов (Таблица 5). В весенний период отмечено повышение предельно допустимой концентрации (ПДК) алюминия, меди, марганца на всех акваториях р. Волхов от истока до устья, свинца на трех акваториях реки Волхов, хрома на двух акваториях реки Волхов. При этом концентрации мышьяка, кадмия, кобальта, никеля и селена не превышали рыбохозяйственных ПДК. Также было показано, что концентрация кислорода, соединений азота, кислотность, БПК и др. были в пределах нормы [79,80].

Наиболее высокие концентрации соединений тяжелых металлов в воде реки Волхов были отмечены в весенний период года, это объясняется залповым их поступлением с загрязненным поверхностным стоком [79,80]. В летний период года средние концентрации соединений тяжелых металлов снижались, потом незначительно повышались осенью. Минимальные концен-

трации соединений тяжелых металлов определялись в зимний период, из-за ледостава, препятствующего поступлению в воду реки Волхов поверхностных стоков, а также загрязнения аэрогенным путем, накопления соединений тяжелых металлов из водной среды реки Волхов и осаждения их в донные отложения.

Таблица 5

Средние значения содержания металлов в воде р. Волхов в весенний период года (мг/л) 2014г. [80]

Акватория	Металлы									
	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Se
Исток р.Волхов	0,26	0,005	0,004	0,001	0,0034	<b>0,012</b>	<b>0,061</b>	0,0026	<b>0,0076</b>	0,0001
Р.Волхов ниже г. В. Новгорода, 15 км	<b>0,27</b>	0,005	0,0016	0,001	0,0036	<b>0,009</b>	<b>0,057</b>	0,0024	<b>0,0061</b>	0,0001
Р. Волхов, 5 км ниже г. В. Новгорода	<b>0,048</b>	0,006	0,00039	0,002	0,009	<b>0,021</b>	<b>0,034</b>	0,002	<b>0,008</b>	0,0001
Р. Волхов, 50 м ниже устья сбросного канала Киришской ГРЭС-19	<b>0,089</b>	0,008	0,00021	0,003	<b>0,027</b>	<b>0,027</b>	<b>0,069</b>	0,003	0,004	0,0001
Р.Волхов верхний бьеф Волховского руслового водохранилища	<b>0,29</b>	0,009	0,00062	0,005	<b>0,038</b>	<b>0,038</b>	<b>0,093</b>	0,006	0,003	0,0001
Рыбохозяйственные ПДК, мг/л	0,04	0,05	0,005	0,005	0,02	0,001	0,01	0,01	0,006	0,0016

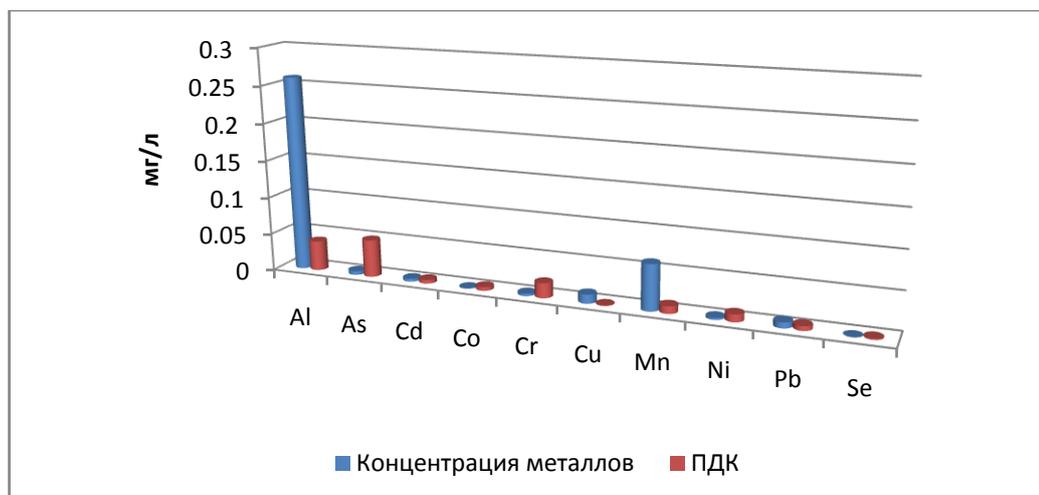


Рис. 11. Концентрация металлов в истоке р. Волхов, 2014 г.

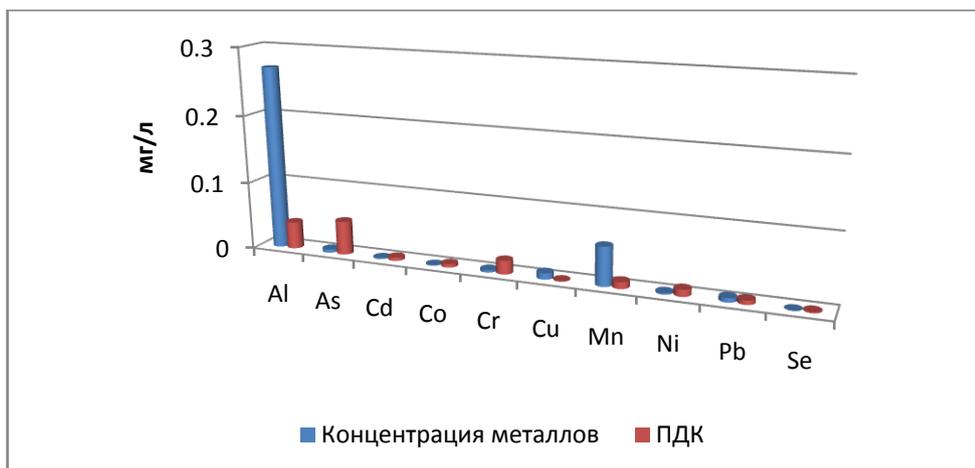


Рис. 12. Концентрация металлов в р.Волхов ниже г. В. Новгорода, 15 км, 2014 г.

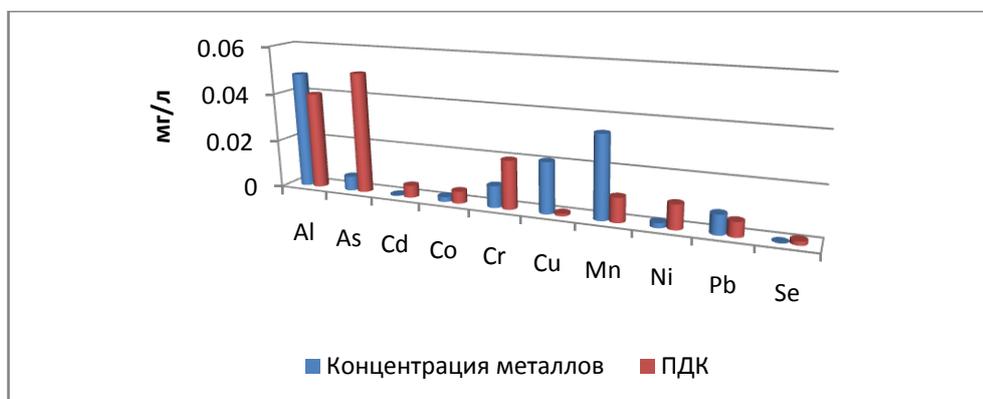


Рис. 13. Концентрация металлов в р. Волхов, 5 км ниже г. В. Новгорода, 2014 г.

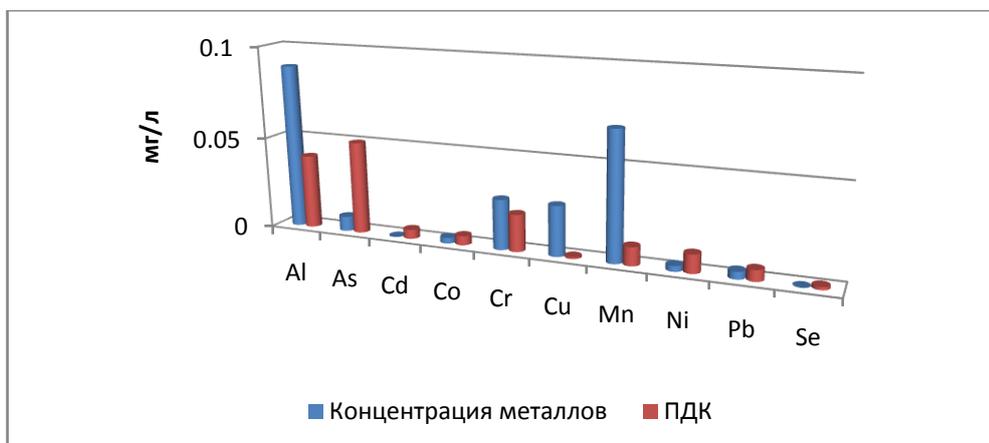


Рис. 14. Концентрация металлов в р. Волхов, 50 м ниже устья сбросного канала Киришской ГРЭС-19, 2014 г.

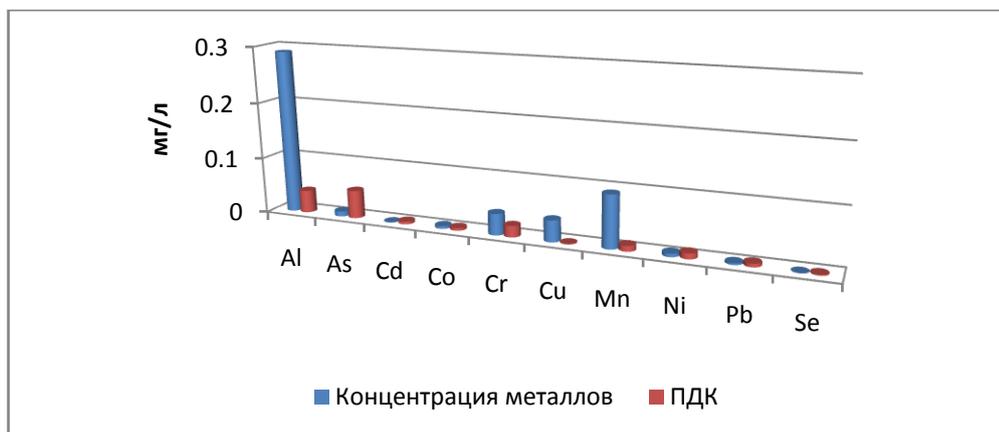


Рис. 15. Концентрация металлов в р.Волхов в верхнем бьефе Волховского руслового водохранилища, 2014 г.

### 2.2.1. Донные отложения

В таблице 6 представлены результаты анализа разных абиотических средах (лед, снег, донные отложения) на присутствие в них соединений тяжелых металлов на различных участках берега реки Волхов, из этих данных следует, что в этих средах концентрации соединений тяжелых металлов сравнительно невысокие [79].

Для сравнительной оценки загрязнения донных отложений реки Волхов соединениями тяжелых металлов используются кларковые значения их содержания в земной коре [15].

Таблица 6

Накопление тяжелых металлов в воде и донных отложениях в различных участках р. Волхов 2012г [79]

Пункт	Zn	Fe	Cu	Cr	Ni	Cd	Pb
Снег, мг/л							
Район г.Кириши	<b>0,52</b>	<b>0,675</b>	<b>0,025</b>	<b>0,059</b>	<b>0,191</b>	0,002	
Лед, мг/л							
Район г.Кириши	<b>0,25</b>	<b>0,125</b>	<b>0,026</b>	<b>0,038</b>	<b>0,161</b>	0,002	
Донные отложения, мг/кг							
Верховье	108,0	710,0	38,12	53,18	65,0	0,26	17,35
Ниже ПО «Азот»	96,0	690,0	43,16	69,12	66,0	0,30	9,63
Район г. Кириши	196,0	710,0	72,06	93,62	230,0	0,81	9,71

Пункт	Zn	Fe	Cu	Cr	Ni	Cd	Pb
Ниже ВАЗ*	234,64	700,0	57,62	89,12	87,0	0,36	27,94
Рыбохозяйственные ПДК, мг/л	0,01	0,1	0,001	0,02	0,01	0,005	0,006
Кларковые величины, мг/кг	83,0	42000,0	47,0	70,0	58,0	0,13	16,0

\*- ВАЗ – Волховский алюминиевый завод

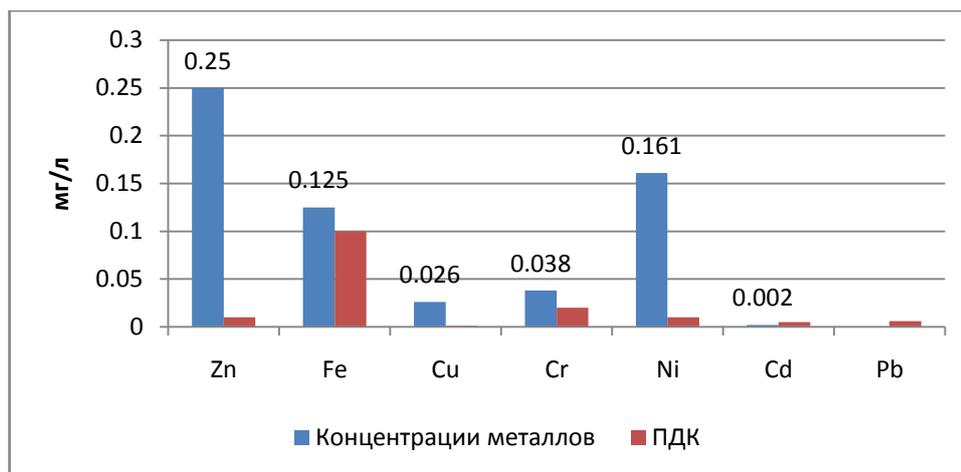


Рис. 16. Концентрация металлов в снегу в районе г. Кириши

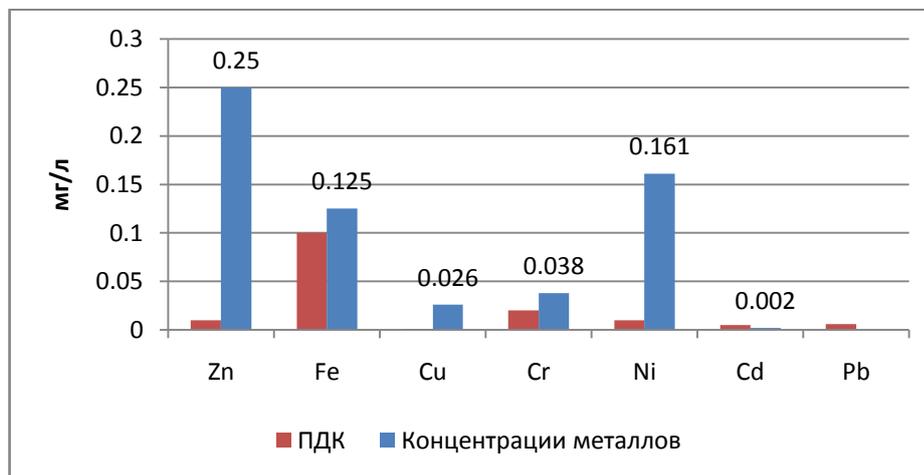


Рис. 17. Концентрация металлов во льду в районе г. Кириши

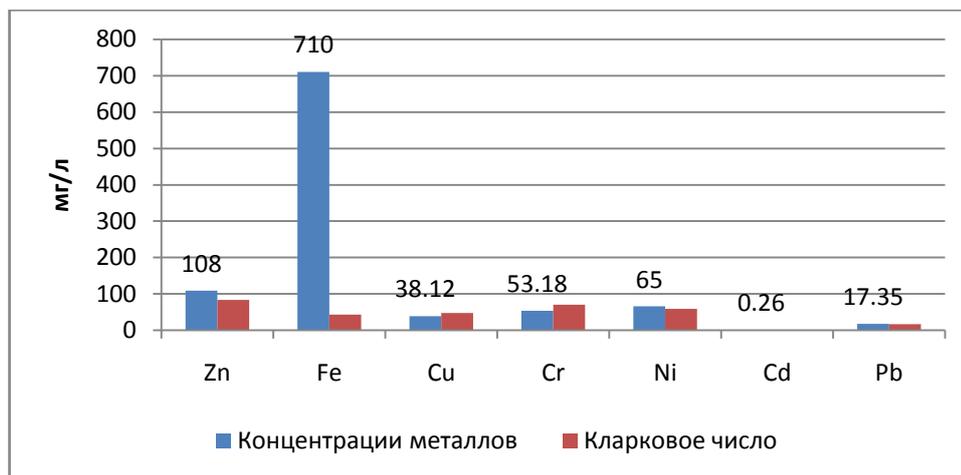


Рис. 18. Концентрации металлов в донных отложениях в верховье р. Волхов

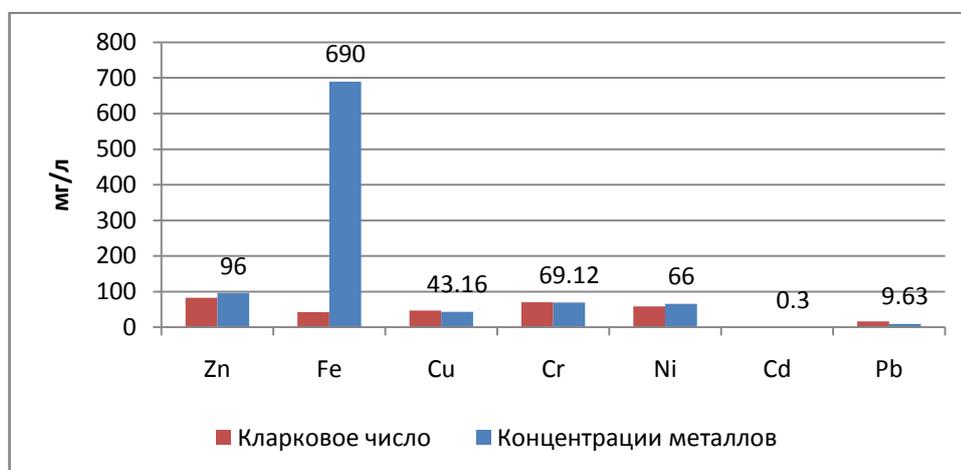


Рис. 19. Концентрации металлов в донных отложениях ниже ПО «Азот»

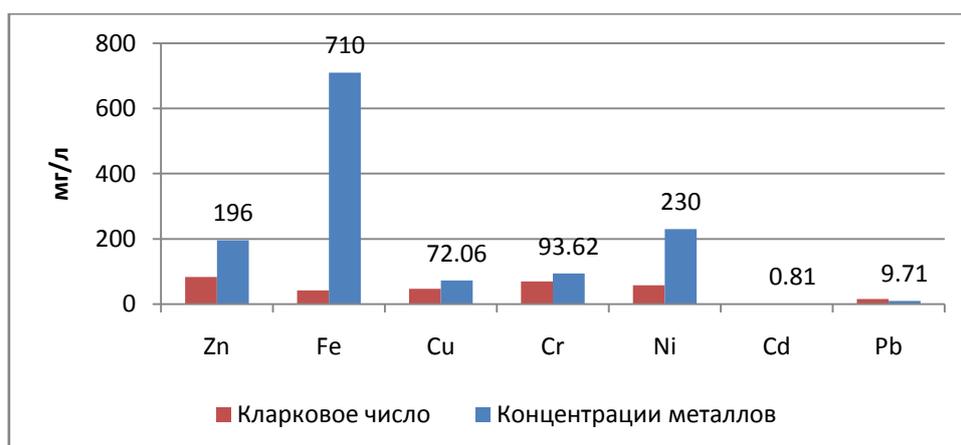


Рис. 20. Концентрации металлов в донных отложениях в районе г. Кириши

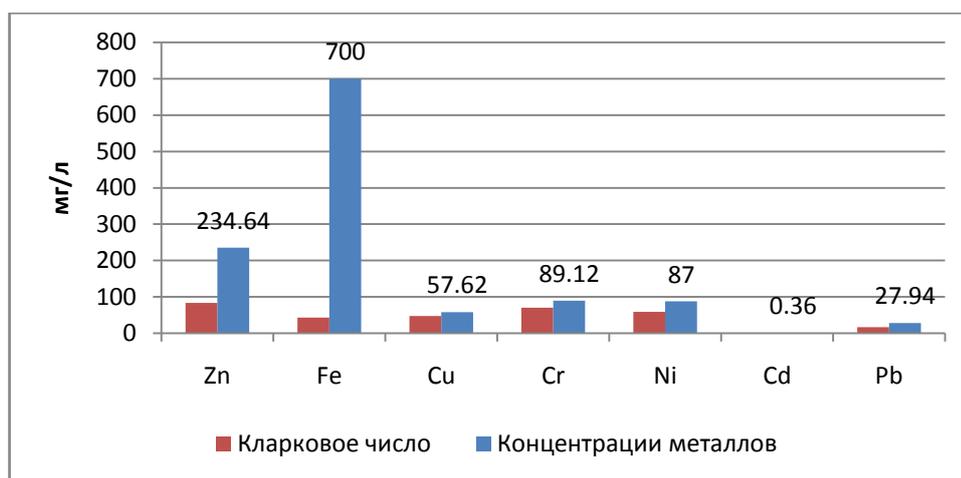


Рис. 21. Концентрации металлов в донных отложениях в районе ниже ВАЗ

В тоже время показано, что концентрация соединений цинка, железа, никеля в снежном покрове и на льду (район г. Кириши) в 3-13 раз выше, чем в воде реки Волхов.

Как видно из Рис. 17-21, превышения кларковых значений содержания соединений тяжелых металлов в донных отложениях реки Волхов отмечены для практически всех металлов на разных участках реки Волхов.

Таким образом, полученные результаты исследований донных отложений и абиотических компонентов демонстрируют пространственную неоднородность загрязнения металлами вдоль реки Волхов от истока до устья.

### 2.2.3. Беспозвоночные и рыбы

Для характеристики степени загрязненности водных масс реки Волхов приведены сведения о составе компонентов бентофауны и численности отдельных ее таксонов (таблица 7). По степени загрязненности воды тяжелыми металлами реку Волхов можно разделить на три участка: верхний (от истока до г. Кириши), средний (от г. Кириши до плотины Волховской ГЭС), нижний (от плотины до устья).

Верхний участок реки Волхов, водный режим и гидрофауна данного участка находятся под непосредственным влиянием озера Ильмень. У ее истока (выше г. В.Новгорода) бентофауна еще достаточно разнообразна (таб-

лица 7). Здесь с формами, характерными для загрязненных вод (олигохеты), значительную долю биомассы составляют требовательные к качеству воды др, гидробионты, например, ручейники и др. [74].

Ниже г. В.Новгорода после попадания в реку Волхов сточных вод городских промышленных и хозяйственно-бытовых предприятий наблюдается качественное и количественное обеднение бентофауны – из ее состава выпадают требовательные к качеству воды моллюски, снижается видовое разнообразие и численность хирономид: олигохеты представлены тубифицидами – типичными для загрязненного речного дна.

Таблица 7

Численность, экз./м<sup>2</sup>, компонентов донных биоценозов р.Волхов  
1988г. [74]

Группа	Верхний участок			Средний участок			Нижний участок	
	Исток реки	Ниже г.В.Новгорода	Выше стоков г.Кириши	Ниже сбросов БХЗ	Устье реки Черной	Устье канала ГРЭС-19	Ниже стоков ВАЗ	Устье р.Волхов
Trichoptera	600	-	100	-	-	-	-	-
Chironomidae	950	300	1600	-	100	-	100	300
Mollusca	500	700	1300	1000	200	-	1500	100
Heleidae	200	-	200	300	-	-	-	-
Onodonta	470	-	100	-	-	-	-	-
Oligochaeta	800	3700	1100	100	2400	450	2500	350
Hiradmea	200		-	-	-	-	-	-
Nematoda	300	200	-	-	500		-	250

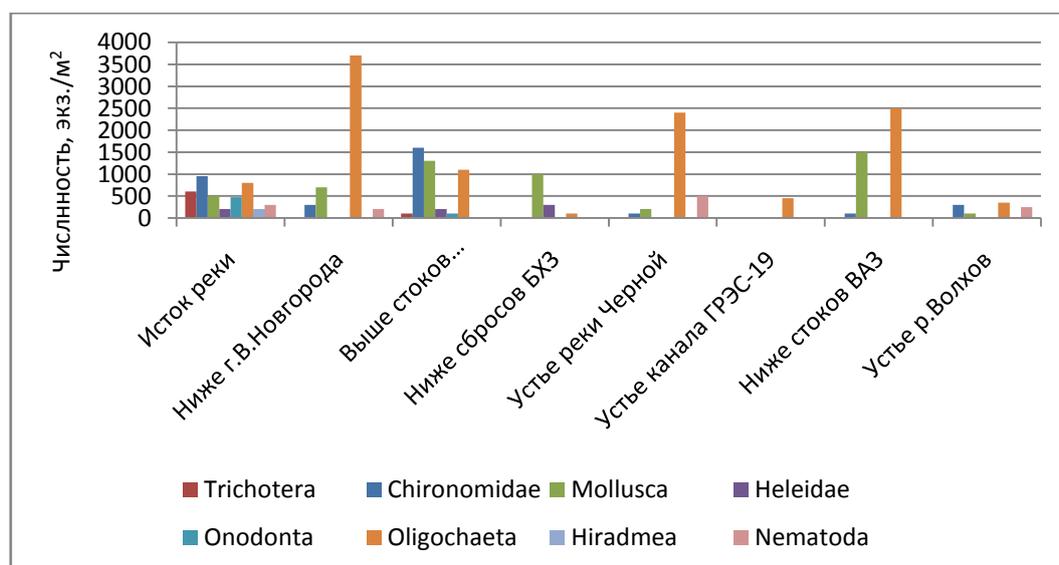


Рис. 22. Численность донных биоценозов р.Волхов от истока до устья

Их плотность - до 7 тыс. экз./м<sup>2</sup> и процентное содержание - до 94,4 % от всего бентосного состава - характерно для сильно загрязненных участков реки. Представители зоопланктона также испытывают негативное влияние экотоксикантов, это можно определить по числу погибших кладоцер, которое увеличивается в четыре раза по сравнению с таковыми в верховьях реки.

Средний участок реки р. Волхов и загрязнен стоками Киришского биохимического завода, крупного нефтеперерабатывающего завода, ГРЭС-19, г. Кириши и других объектов, что сказывается на обитающих здесь беспозвоночных и рыб. Бентофауна представлена лишь токсикорезистентными организмами – личинками хирономид *Chironomus plumosus* и тубифицидами – что характерно для  $\alpha$ -мезосапробных зон, а в устье канала ГРЭС-19 отмечены только тубифициды. Угнетение бентофауны наблюдается в приплотинном участке Волховской ГЭС – у шлюза бентос практически отсутствует [74]. Нижний участок реки Волхов и его бентофауна находятся под воздействием Ладожского озера, благодаря чему происходит некоторое разбавление загрязненной волховской воды чистой Ладожской водой.

Участок реки Волхов в районе Волховской ГЭС находится под воздействием выбросов экотоксикантов, сбрасываемых Волховским алюминиевым заводом и поэтому здесь большинство олигохет – более 65 % численности всего бентосного сообщества, и также моллюски, главным образом, *Valvata*

*piscinalis*, *Viviparus viviparous* (таблица 7). В устье р. Волхов фауна бентоса частично восстанавливается, однако и здесь индекс сапробности по зообентосу соответствует  $\alpha$ -мезосапробной зоне, и плотность олигохет 4600 экз./м<sup>2</sup>) свидетельствует о средней степени контаминации воды. В целом донное сообщество среднего и нижнего участков реки Волхов по сравнению с верхним качественно и количественно обеднено и находится на стадии деградации [74].

Было проведено патологоанатомическое исследование (Таблица 8), которое показало, что было выявлено много случаев поражения рыб хроническим токсикозом [80].

Таблица 8

Результаты патологоанатомического исследования рыб реки Волхов в весенний период года 2014г. [80]

Акватория отлова рыб	Виды рыб	Количество исследованных рыб, экз.	Доля пораженных токсикозом рыб, %	Степень выраженности токсикоза в баллах	Количество пораженных рыб по баллам, экз.
1.Исток р.Волхов	Лещ	10	70	2-3,0	2,0-1; 3,0-6
	Судак	10	70	2-3,0	2,0-2; 3,0-5
	Плотва	20	80	2-3,0	2,0-5; 3,0-11
2.Р.Волхов ниже г. В.Новгорода, 15 км	Лещ	10	90	2-3-3,5	2,0-2; 3,0-5; 3,5-2
	Судак	10	80	2-3-3,5	2,0-1; 3,0-4; 3,5-3
	Плотва	20	80	2-3,0	2,0-3; 3,0-13
3.Р. Волхов, 5 км ниже г. В.Новгорода	Лещ	10	60	2-3,0	2,0-2; 3,0-4
	Судак	10	60	2-3,0	2,0-1; 3,0-5
	Плотва	20	60	2-3,5	2,0-2; 3,0-9; 3,5-1
	Уклея	20	50	2-3,0	2,0-3; 3,0-7
4.Р. Волхов, 50 м ниже устья сбросного канала Киришской ГРЭС-19	Лещ	10	100	2-3,5-4,0	3,0-5; 3,5-3; 4,0-2
	Судак	10	100	2-3,5-4,0	3,0-3; 3,5-5; 4,0-2
	Плотва	20	100	2-3,5-4,0	2,0-3; 3,0-8; 3,5-8; 4,0-1
	Уклея	20	80	2-3-3,5	2,0-5; 3,0-9; 3,5-2
	Карп	10	100	3-3,5	3,0-7; 3,5-3
	Налим	5	100	3-4,0	3,0-3; 3,5-2
5.Р. Волхов верхний бьеф	Лещ	10	100	3-4,0	3,0-5; 4,0-5
	Плотва	10	100	3-3,5-4,0	3,0-2; 3,5-5;

Акватория отлова рыб	Виды рыб	Количество исследованных рыб, экз.	Доля пораженных токсикозом рыб, %	Степень выраженности токсикоза в баллах	Количество пораженных рыб по баллам, экз.
Волховского руслового водохранилища					4,0-3
	Налим	5	100	3-4,0	3,0-2; 4,0-3
	Сом	5	100	3-4,0	3,0-2; 4,0-2

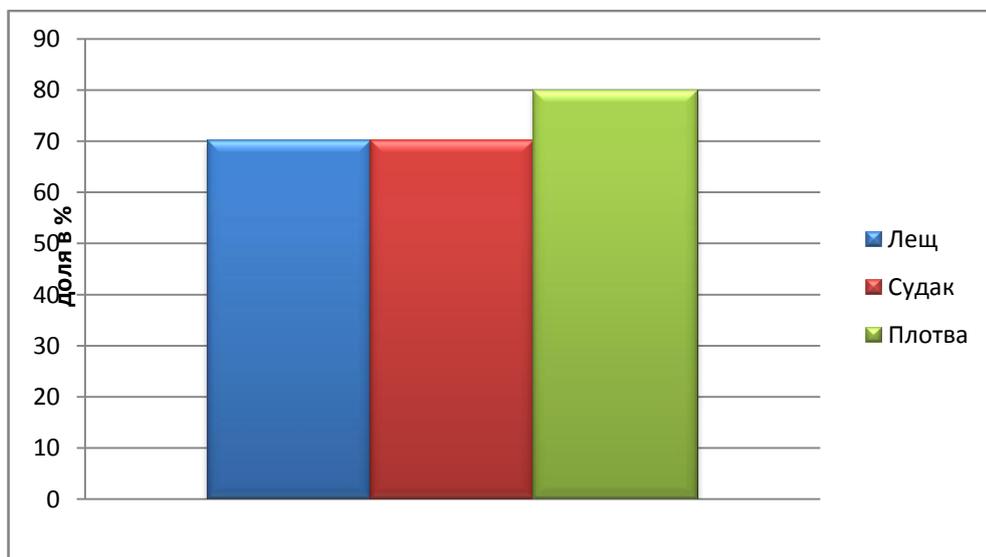


Рис. 23. Доля пораженных токсикозом рыб в истоке р. Волхов

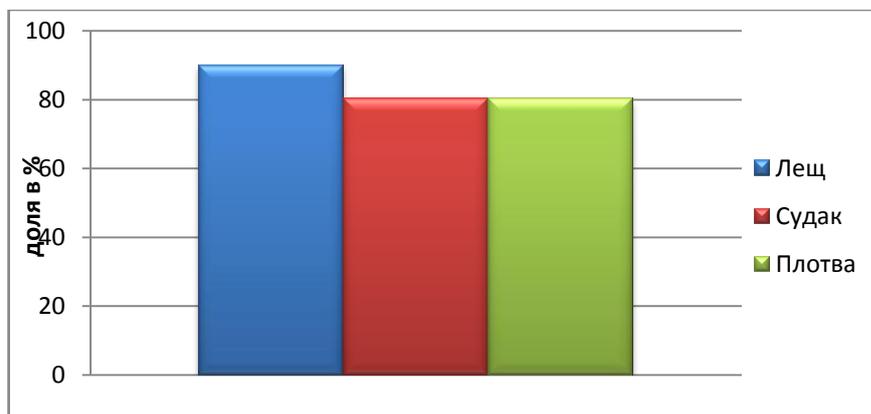


Рис. 24. Доля пораженных токсикозом рыб в р. Волхов ниже г.В.Новгорода, 15 км.

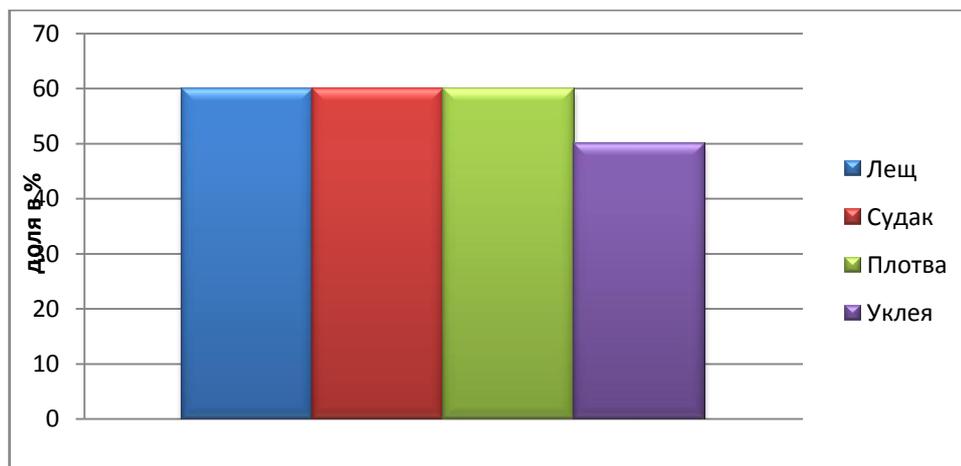


Рис. 25. Доля пораженных токсикозом рыб в р. Волхов 5 км ниже г.В. Новгорода

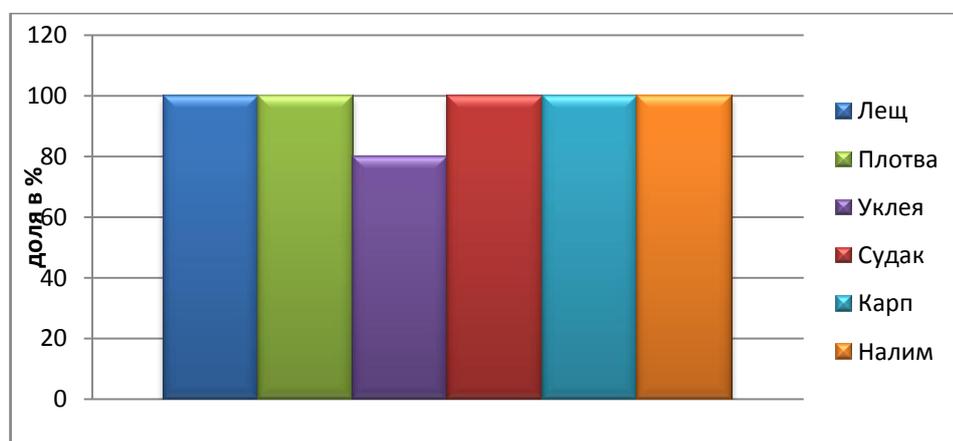


Рис. 26. Доля пораженных токсикозом рыб в р. Волхов 50 м. ниже сбросного канала Киришской ГРЭС-19

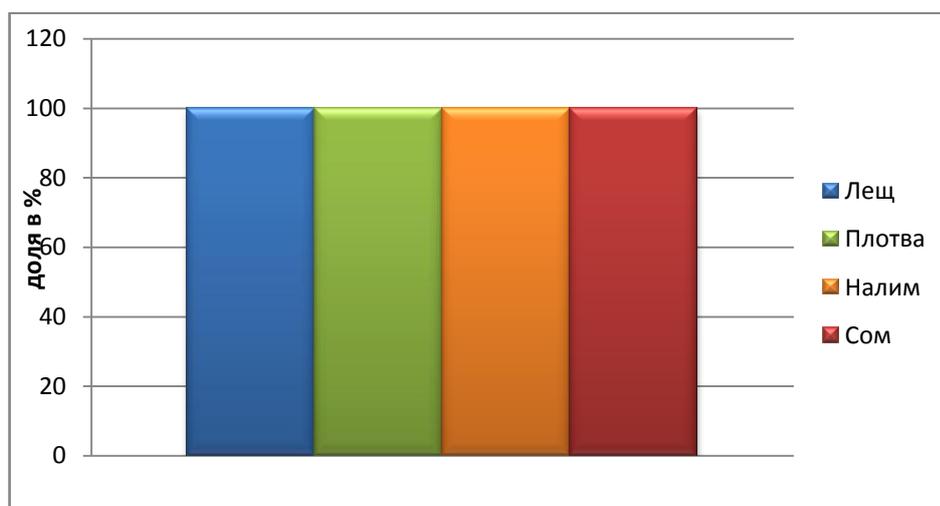


Рис. 27. Доля пораженных токсикозом рыб в верхнем бьефе Волховского руслового водохранилища

На трех участках акватории реки Волхов (1,2,3) токсикоз рыб был менее выражен (рис 23,24,25), и преобладали особи с обратимыми изменениями (2,0 балла) и средними повреждениями (3,0-3,5), что было обусловлено нарушениям гемодинамики, перерождением печени и т.д. Рыб с клиническими проявлениями токсикоза не наблюдалось. Наиболее выраженный токсикоз у рыб проявлялся на двух нижних участках акватории (4 и 5) реки Волхов (рис. 26, 27), это было обусловлено воздействием сбросных теплых вод Киришской ГРЭС-19, стоков крупного Нефтеперерабатывающего завода и Волховского алюминиевого завода [80].

Летом и осенью наблюдалось некоторое улучшение состояния рыб, но на нижнем участке акватории, независимо от сезона года, токсикоз не проходил. Отмечены наибольшие поражения у рыб старшего возраста, ведущих придонный образ жизни [78,80].

Для комплексной характеристики загрязненности реки Волхов проводили исследования не только качества воды и состава донных отложений, концентрации тяжелых металлов определялись в организме у карася, обитающего в прудах-отстойниках (район г. Кириши), и у паразитических плероцеркоидов *Ligula intestinalis*, локализующихся в полости его тела (Таблица 9) (рис. 28, 29,30,31,32) [74]. Показано, что соединения тяжелых металлов перераспределяются по организму рыбы и паразитов, обитающих внутри нее.

Таблица 9

Содержание тяжелых металлов, мг/кг в организме карася (пруды-отстойники в районе г. Кириши) и у плероцеркоидов *Ligula intestinalis* (из полости тела рыбы) 1988г. [74]

Объект	Cu	Zn	Cd	Pb	Cr
Карась: мышцы	2,59	23,57	0,19	1,96	3,53
Жабры	3,58	77,28	0,20	2,06	6,80
Печень	9,90	42,84	0,19	2,00	9,86

Чешуя	<b>6,17</b>	148,45	0,19	1,97	27,05
<i>Ligula intestinalis</i> (полость тела рыбы)	3,57	114,53	0,19	1,92	10,68

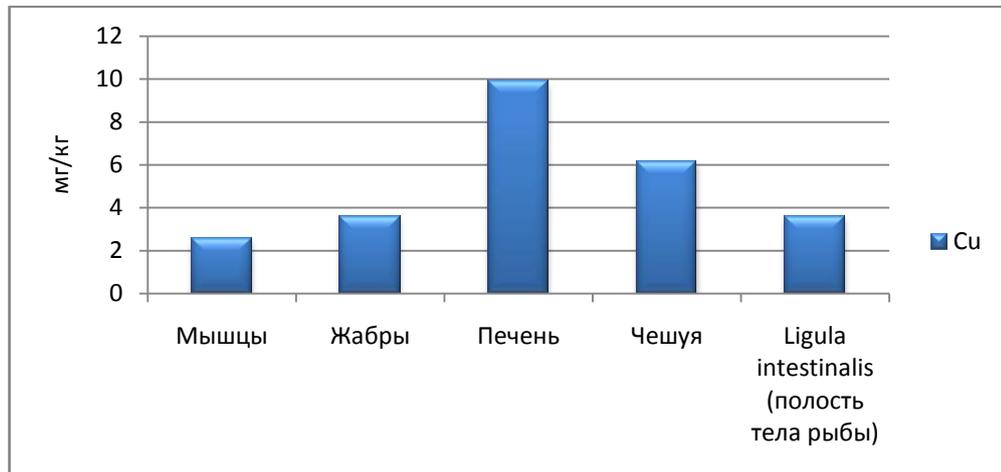


Рис. 28. Содержание меди в организме карася (пруды-отстойники в районе г. Кириши) и у плероцеркоидов *Ligula intestinalis* (из полости тела рыбы)

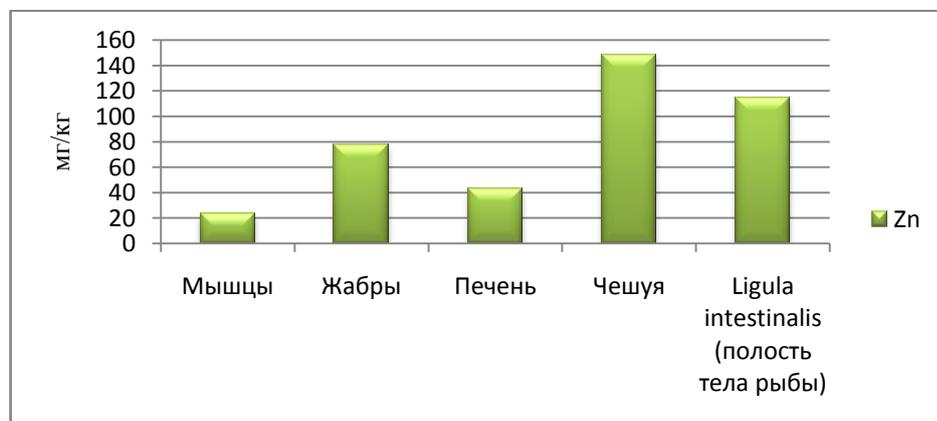


Рис. 29. Содержание цинка в организме карася (пруды-отстойники в районе г. Кириши) и у плероцеркоидов *Ligula intestinalis* (из полости тела рыбы)

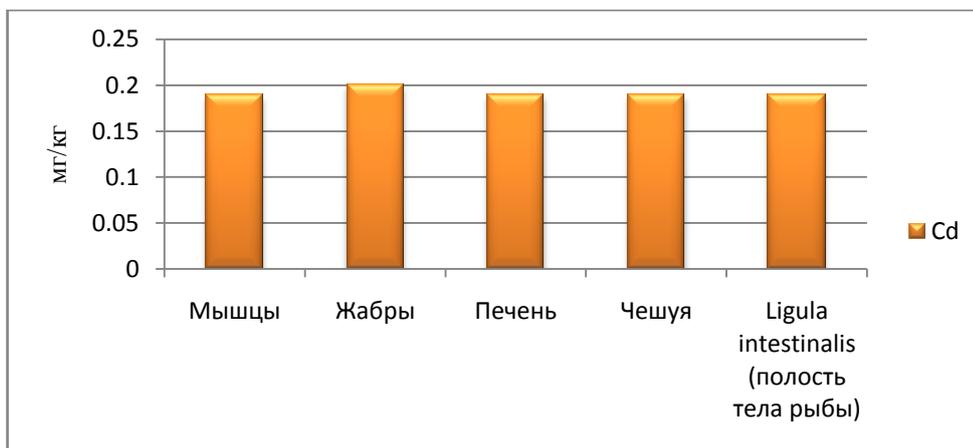


Рис. 30. Содержание кадмия в организме карася (пруды-отстойники в районе г. Кириши) и у плероцеркоидов *Ligula intestinalis* (из полости тела рыбы)

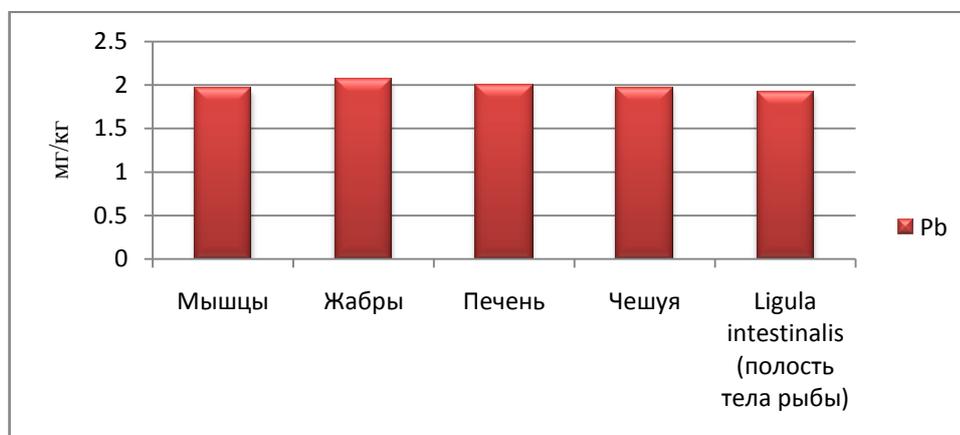


Рис. 31. Содержание свинца в организме карася (пруды-отстойники в районе г. Кириши) и у плероцеркоидов *Ligula intestinalis* (из полости тела рыбы)

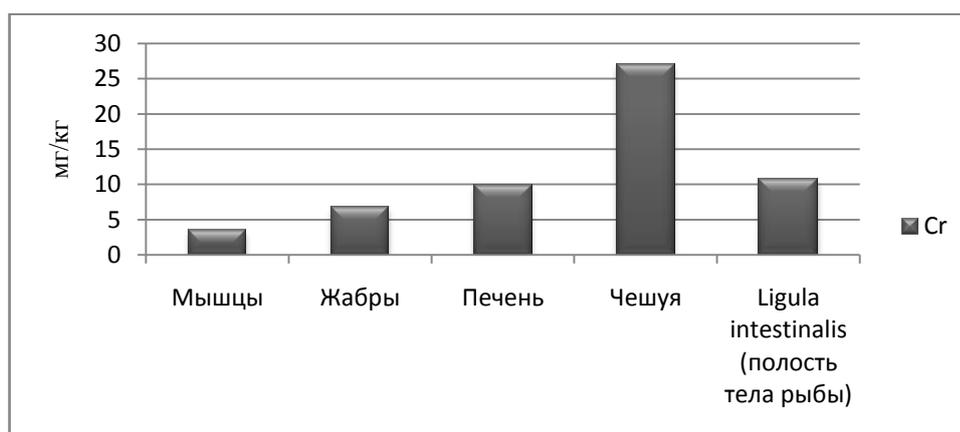


Рис. 32. Содержание хрома, мг/кг в организме карася (пруды-отстойники в районе г. Кириши) и у плероцеркоидов *Ligula intestinalis* (из полости тела рыбы)

Этому способствует осмотический способ питания гельминта за счет организма своего хозяина и достаточно активная миграция ряда поллютантов из его организма, включая и соединения тяжелых металлов. Установлена высокая концентрация цинка в чешуе карася и в лентецах, а в других его органах содержание металла в 1,5-5 раз ниже по сравнению с паразитом. Количественные показатели кадмия и свинца у них весьма сходны. В то же время накопление меди и хрома в чешуе и меди в печени рыбы оказалось 2-3 раза выше, чем в лигулах. Эти данные указывают на весьма сложные обменные процессы, происходящие в системе паразит-хозяин [74].

Эти данные об интенсивном накоплении микроэлементов наиболее массовыми паразитами рыб позволяют авторам исследования дополнить уже хорошо известную схему передачи этих токсикантов, включая соединения тяжелых металлов, по трофическим цепям, поскольку в ней участвуют и ихтиопаразиты различных таксонов. Они в процессе своей жизнедеятельности и питания за счет хозяина сами аккумулируют практически те же элементы, которые присутствуют и у рыб.

Таким образом, ихтиопаразиты представляют собой дополнительное неизвестное ранее звено в общей цепи передачи этих поллютантов, происходящей непосредственно в организме рыб. Этот процесс протекает весьма интенсивно и определяется главным образом их локализацией, морфологией органов прикрепления и способом фиксации в рыбах и др.

В условиях тяжелой токсикологической ситуации, особенно в районе крупного Киришского промышленного узла, при патологоанатомическом обследовании рыб разного возраста реки Волхов регистрируются тяжелые аномалии жабр и внутренних органов [59]. Самые тяжелые признаки токсикоза наблюдаются у молодых и взрослых рыб вблизи крупных промышленных объектов и в нижнем течении реки Волхов. Помимо этого в печени радужной форели (3+), на внутренней и наружной поверхностях верхнего отдела кишечника, выращиваемых в Киришском садковом хозяйстве, обнаружены новообразования.

Накопление соединений тяжелых металлов и других контаминантов в донных отложениях реки Волхов происходит одновременно с заилением, что приводит к сокращению площади нерестилищ, что, в свою очередь, является причиной значительного снижения уровня их воспроизводства и нагула, особенно Волховского сига, гибели садковых и речных рыб. В конечном итоге эти факторы приводят к сокращению промысловых запасов рыб особенно в низовьях реки Волхов..

Результаты комплексных исследований пореке Волхов показывают, что эколого-токсикологическое состояние реки Волхов неудовлетворительное, и она является важным источником выноса загрязняющих веществ в Волховскую губу Ладожского озера и далее в центральную часть Ладожского озера.

### 2.3. Ладожское озеро

Ладожское озеро – озеро в Карелии (северный и восточный берег) и Ленинградской области (западный, южный и юго-восточный берег), крупнейшее пресноводное озеро в Европе (рис. 33). Это пресноводный глубоководный холодноводный олиготрофный водоем, который включает бассейны трех крупных озер – Онежского (сток р. Свирь), Ильмень (сток р. Волхов), Сайма (сток р. Вуокса и р. Бурная) и водосборы еще 50000 озер меньшей площади и 3500 рек. Вся водная масса огромного водосборного бассейна – более 50 тыс. га. – Ладожского озера ( $908 \text{ км}^3$ ) сбрасывается в Финский залив Балтийского моря через единственную р. Неву. Бассейн Ладожского озера относится к бассейну Балтийского моря Атлантического океана.

Площадь Ладожского озера без островов составляет от 17,6 тысяч  $\text{км}^2$  (с островами 18,1 тысяч  $\text{км}^2$ ); объём водной массы  $908 \text{ км}^3$ ; длина с юга на север 219 км, наибольшая ширина 138 км. Глубина изменяется неравномерно: в северной части от 70 до 230 м, в южной от 20 до 70 м. На берегах Ладожского озера расположены города Приозерск, Новая Ладога, Шлиссельбург в Ленинградской области, Сортавала, Питкяранта, Лахденпохья в Карелии.



Рис. 33. Ладожское озеро

В Ладожское озеро впадают 35 рек. Крупнейшей рекой, которая впадает в него, является река Свири. В него также впадают реки крупные реки Вуокса, Волхов, Морье, Авлога, Бурная, Сясь. В южной половине озера имеются Свирская, Волховская и Шлиссельбургская губы - три крупных залива.

Озеро судоходно, является частью водной магистрали, входящей в состав Волго-Балтийского водного пути и Беломорско-Балтийского канала, при этом наиболее интенсивное судоходство отмечается на юге озера от реки Невы до реки Свири.

Ладожское озеро богато пресноводной рыбой, которая на нерест заходит в реки- здесь вылавливается 53 вида рыб, таких, как: лосось, форель, паляя, сиги, ряпушка, судак, корюшка, лещ, сырть, синец, густера, краснопёрка, жерех, сом, плотва, окунь, щука, налим, ладожская рогатка и другие. Численность ценных рыб, обитающих в Ладожском озере: лосося, форели, палии, озёрно-речных сегов – постоянно снижается из-за антропогенного

воздействия на озеро, а озерный лосось, кумжа и волховский сиг занесены в Красную книгу России [37].

К наиболее продуктивной промысловой акватории относится мелководная южная часть озера с глубинами до 20 м, а к наименее продуктивным - северный шхерный район. Ведущее промысловое значение имеют около 10 видов рыб, среди которых наиболее массовыми являются ряпушка, рипус и корюшка, а наиболее ценными – судак, сига, форель [37].

### 2.3.1. Качество воды

Начиная с 50-х гг. XX в., антропогенное воздействие на экосистему Ладожского озера стало постепенно возрастать. К концу 90-х гг. в бассейне Ладожского озера функционировало около 600 разнопрофильных промышленных предприятий (Волховский алюминиевый завод, ТЭЦ, котельные, нефтехимические и асфальтобитумные производства, пиролиз и т.д.), которые ежегодно сбрасывали в озеро и его бассейн около 400 млн. м<sup>3</sup> сточных вод, из которых половина - около 170 млн. м<sup>3</sup> - без предварительной очистки [90].

Со сточными водами различных предприятий Карелии, Ленинградской, Новгородской и Псковской областей в Ладожское озеро различные химические соединения - фенолы, кислоты, нефтепродукты, формальдегиды, СПАВ, хлориды, сульфаты, ряд канцерогенов, и, кроме этого, соединения тяжелых металлов [70,90].

Источниками загрязнения в границах частного водосбора Ладожского озера являются целлюлозно-бумажные комбинаты г. Сясьстрой, и г. Питкяранты, деревообрабатывающие предприятия г. Сортавала, г. Лахденпохья, г. Ляскеля, г. Приозерска, металлургические комбинаты г. Тихвин и г. Вяртсиля, глиноземные комбинаты г. Пикалево и г. Тихвин, агропромышленные комплексы обеспечивают смывы с полей минеральных удобрений и ядохимикатов, свой вклад вносят коммунально-бытовые сточные воды многих городских и сельских поселений на берегах Ладожского озера и рек, в него впадающих.

По данным Невско-Ладожского бассейнового водного управления МПР (НЛБВУ), в бассейне Ладожского озера в пределах России зарегистрировано 417 предприятий-водопользователей, из них 225 находятся в Ленинградской области, 76 – в Новгородской области, 89 – в Республики Карелии и 27 – в Псковской области [56].

Водоснабжение Санкт-Петербурга осуществляется водой Ладожского озера через Неву.

В прибрежной зоне Ладожского озера в 1991-1993 гг. концентрация железа достигала 65446, алюминия – 4788, марганца – 3088, кобальта – 14,7, свинца – 3,65 мкг/л [95].

В Ладожском озере наблюдается несколько участков прибрежных зон и губам, где наблюдается существенное ухудшение качества воды. Наиболее загрязненный район Ладожского озера – Волховская губа. Качество воды здесь отличается в худшую сторону от остальной акватории озера из-за сильной контаминации од рек Волхов и Сясь промышленными и коммунально-бытовыми сточными водами [64].

В юго-восточной части губы, находящейся под влиянием сточных вод Сясьского ЦБК, на расстоянии нескольких сот метров от места их поступления постоянно существует бескислородная среда. Вблизи устьев рек Волхов и Сясь в июле 1993 года были обнаружены следующие концентрации соединений тяжелых металлов: цинка 47 мкг/л, меди 3,0 мкг/л, алюминия 101 мкг/л, марганца 17 мкг/л, железа 535 мкг/л и фенолов 1,0 мкг/л. Содержание нефтепродуктов в районе реки Сясь в 1997 г. достигало 0,083 мг/л [93].

Второй район повышенной контаминации воды – Свирская губа Ладожского озера. Здесь отмечается повышенное содержание цинка (12,8-36,3 мкг/л), меди (1,2-3,92 мкг/л), марганца (более 10 мкг/л), железа (до 100 мкг/л), а также ртути, кадмия, свинца и др. [93]. Выносимые из Свирской губы загрязнения распространяются как в северном направлении, так и к Волховской губе.

У западного побережья Ладожского озера загрязненная акватория располагается вблизи города Приозерск. Долгое время там работал Приозерский ЦБК, который закрыт с 1988 г., но следы того загрязнения остались. Здесь в 1996 г. в воде определялись следующие концентрации тяжелых металлов: цинк до 5,0-7,5 мкг/л, медь 0,3-0,9 мкг/л, кадмий 0,04-0,09 мкг/л, свинец 0,3-1,0 мкг/л, нефтепродукты 0,04-0,125 мг/л. Воды в районе г. Приозерска характеризуются как «умеренно загрязненные» [92,93,94].

Контаминанты включаются в Ладожском озере в биопродюционные процессы, накапливаются в донных отложениях – соединения тяжелых металлов, пестициды и др., разлагаются в ходе деструкции на другие, не менее вредные компоненты - органические вещества, нефтепродукты, часть выносятся из озера [6].

В бухте Петрокрепость определяются соединения тяжелых металлов, нефтепродукты, пестициды, фенолы, СПАВ, биогенные элементы, а также другие органические вещества и взвеси. [6].

На долю загрязненных прибрежных участков приходится значительная часть Ладожского озера. Общая площадь зон прямого антропогенного влияния на качество водных масс ориентировочно составляет 460 км<sup>2</sup>, или 2,6% акватории озера [34].

В таблице 10 приведены данные о превышении рыбохозяйственных ПДК по некоторым металлам при наибольшей их концентрации в сточных водах (рис. 34, 35). Помимо этого, в бассейн Ладожского озера ежедневно проникают вредные стоки других предприятий [95].

Таблица 10

Кратность превышения ПДК ряда тяжелых металлов в сточных водах, поступающих в бассейн Ладожского озера 1990г. [90]

Бассейны рек, города	Кратность превышения ПДК
р. Сясь	Cr – 500
	Fe – 68
Бассейн р. Сясь	Cr – 1000

Бассейны рек, города	Кратность превышения ПДК
	Fe – 18
г. Пикалево (р. Сясь)	Cr – 2000 Mn – 2600
г. Сясьстрой (р. Сясь)	Cr – 1000 Fe – 400
г. Волховстрой (р. Волхов)	Cr – 1000 Fe – 60
г. Новая Ладога (р. Волхов)	Cr – 700 Cu – 50
г. Кириши (р. Волхов)	Cr – 2000 Zn – 80 Fe – до 200 Cu – 480
г. Лодейное Поле (р. Свирь)	Cr – 5000
г. Подпорожье (р. Свирь)	Cr – до 5000 Fe – до 140
г. Приозерск (р. Вуокса)	Cr – 5000 Fe – 200

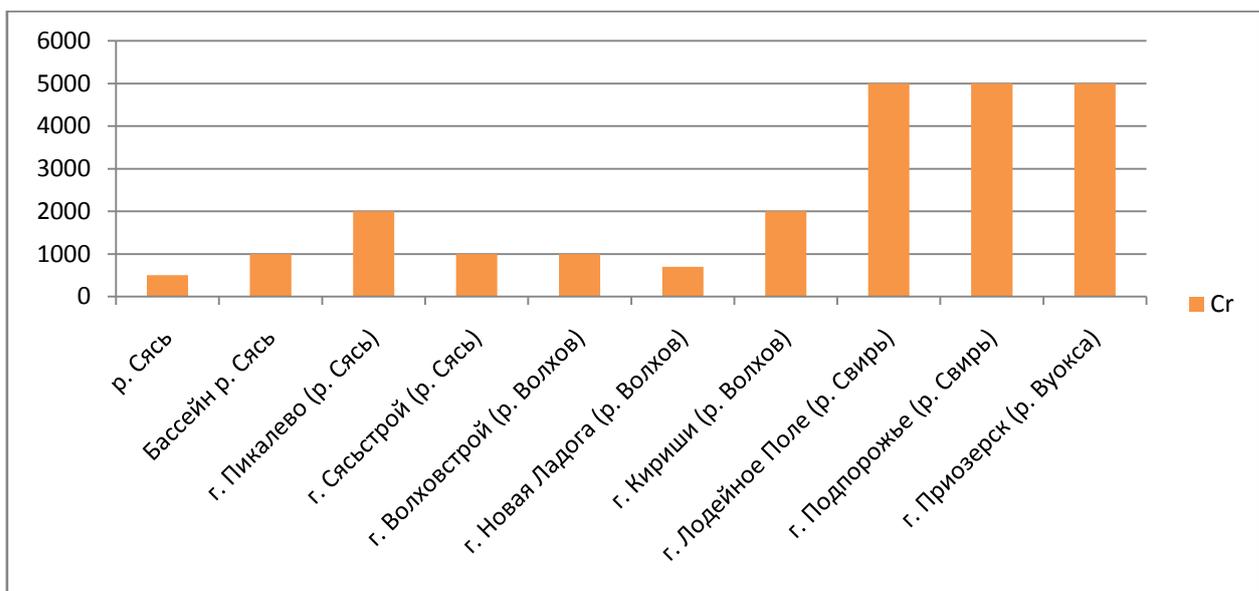


Рис. 34. Кратность превышения ПДК хрома в сточных водах, поступающих в бассейн Ладожского озера 1990 г.

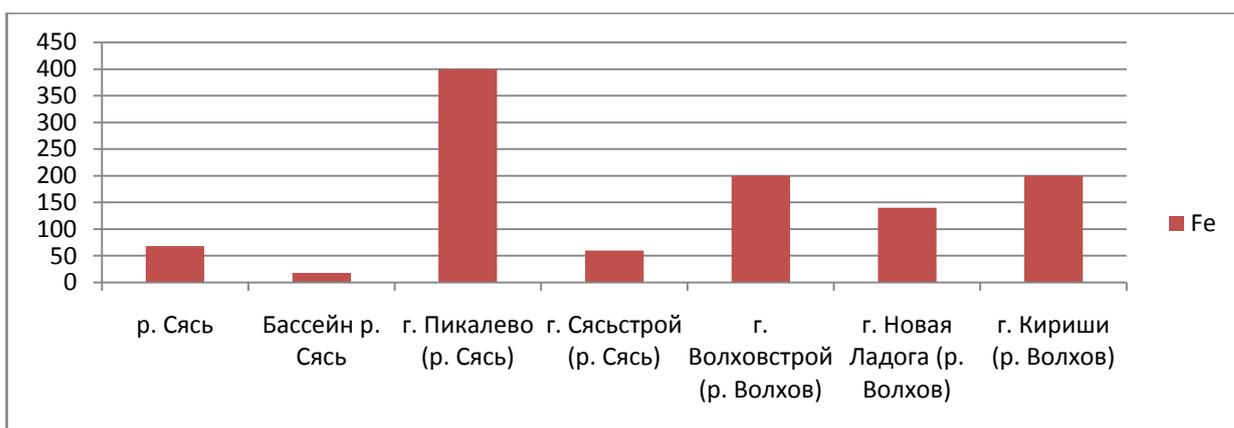


Рис. 35. Кратность превышения ПДК железа в сточных водах, поступающих в бассейн Ладожского озера 1990 г.

Пространственное распределение соединений меди, цинка, свинца, хрома в озере колеблется в значительных пределах, при этом повышенное содержание их выявляется в прибрежных водах. В шхерах с закрытыми или полуоткрытыми заливами, где водообмен достаточно затруднен, имеет место увеличение количество элементов в воде, а также в донных отложениях и водных организмах. Наиболее высокими концентрациями их характеризуются воды заливов Импилахти, Хинденселькя, Акимварского и Сортавальского, в которые поступают сточные воды из разнопрофильных антропогенных источников (Таблица 11) (рис. 36) [90].

Таблица 11

Содержание тяжелых металлов в воде (мг/л) ряда участков Ладожского озера 1990г. [90]

Зоны озера	Zn	Cu	Fe	Ni	Cd	Cr	Pb	Hg
Северная зона	0,01-0,03	0,01	0,15-1,41	0,001-0,005	-	0,01-0,1	0,006-0,009	0,001-0,0001
Южная зона: Волховская губа	0,03	0,019	0,047	0,017	0,002	0,018	-	-
Приустьевое пространство р, Волхов	0,04	0,023	0,087	0,031	0,002	0,008	-	-
Рыбохозяйственные ПДК, мг/кг	0,01	0,001	0,1	0,01	0,005	0,002	0,006	0,001

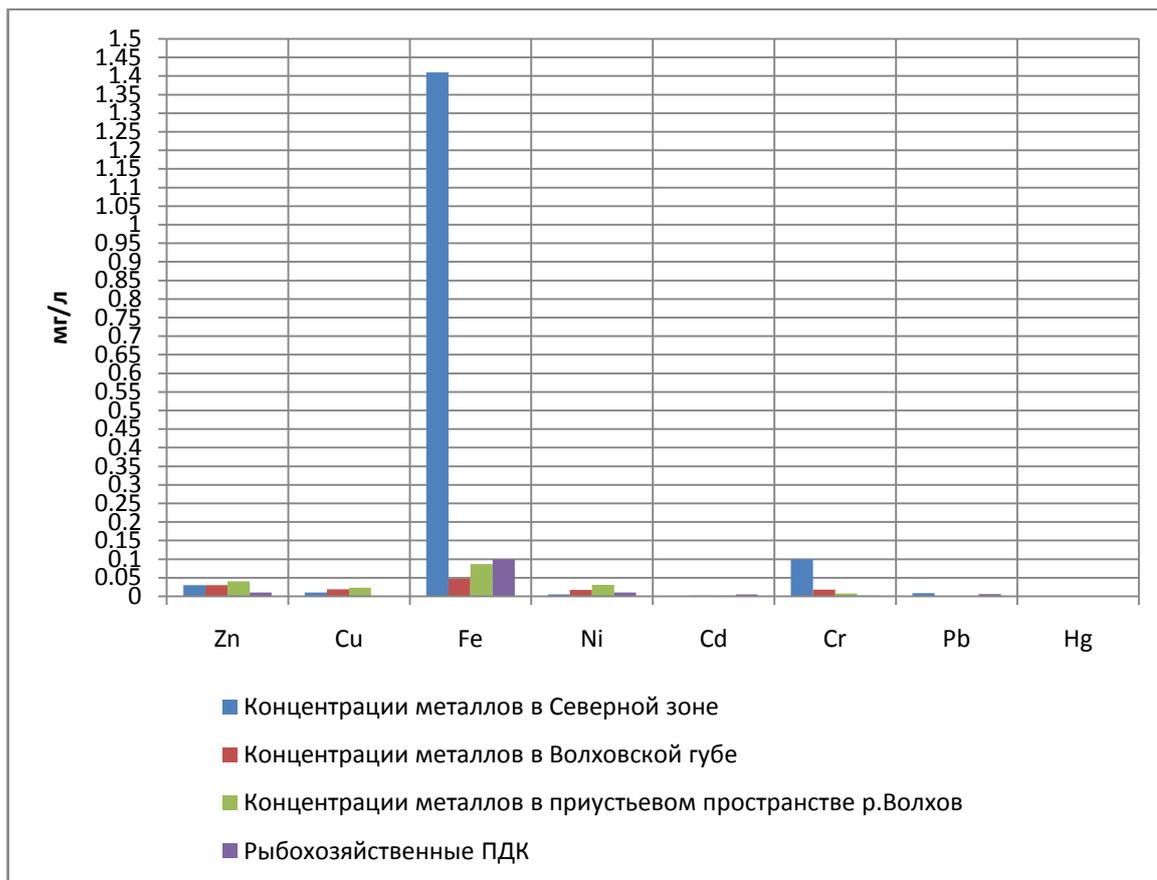


Рис. 36. Содержание тяжелых металлов в воде (мг/л) ряда участков Ладожского озера 1990г.

Исключение составляет железо – диапазон его колебаний на севере от 0,15 до 0,57 мг/л и в отдельных пробах воды до 1,41 мг/л, что намного превышает рыбохозяйственные ПДК для (0,1 мг/л). В Волховской губе концентрация их и особенно цинка, меди и никеля превышает таковую на севере, что обусловлено поступлением значительного количества экотоксикантов со сточными водами промышленных предприятий, расположенных в береговой зоне залива и в нижнем течении реки Волхов.

### 2.3.2. Донные отложения

Соединения железа, марганца, алюминия в максимальных количествах в июне-июле концентрируются на глубине 5-10 м, потом постепенно проинфильтровываются в придонные слои воды. При этом содержание меди в придонных слоях

более чем в 3 раза превышает ее содержание в поверхностных слоях, ускоряя накопление их в донных отложениях [9].

Данные Таблицы 12 свидетельствуют о высоком содержании соединений тяжелых металлов в грунтах разного состава, но больше всего накапливается в иле, где в наибольших количествах концентрируются медь и свинец. В песчаных грунтах определяются свинец, медь и железо. Самые высокие количественные показатели их выявлены в грунтах вблизи г. Питкяранта, в бухте Петрокрепость, на о. Валаам и в Волховской губе, т.е. зонах, подвергающихся интенсивному антропогенному воздействию (рис. 37, 38,39) [9].

Таблица 12

Содержание тяжелых металлов в разнокачественных донных отложениях (мкг/г с.в.) прибрежных зон ряда участков Ладожского озера в 1986г.

[61]

Участки озера	Cu	Pb	Cd	Hg	Cr	Ni	Zn	Fe
Песок								
Вблизи устья р.Сясь	4,680	3,360	0,080	0,080	-	-	-	-
Вблизи устья р.Паша	1,420	12,360	0,380	0	-	-	-	-
Северо- восточный уча- сток Свирской губы	1,200	2,000	0,080	0,030	-	-	-	-
Севернее г.Приозерска	2,890	1,210	0,190	0,010	-	-	-	-
Вблизи п.Моторное	3,720	3,900	0,130	0,010	-	-	-	-
Юго-западный участок бухты Петрокрепость	10,100	6,600	0,080	0,040	-	-	-	-
Ил								
Вблизи	45,400	16,300	0,810	0,020	-	-	-	-

Участки озера	Cu	Pb	Cd	Hg	Cr	Ni	Zn	Fe
г.Питкяранта								
Шхеры южнее г. Питкяранта	20,00	8,840	0,290	0,030	-	-	-	-
Глина								
Северо-западнее архипелага Валаам	30,00	4,870	0,260	0,020	-	-	-	-
Контроль песок								
Вблизи устья р.Видлицы	3,600	0,950	0,050	0,010	-	-	-	-
Район банки Сев.Головешка	6,000	2,500	0,120	0,040	-	-	-	-

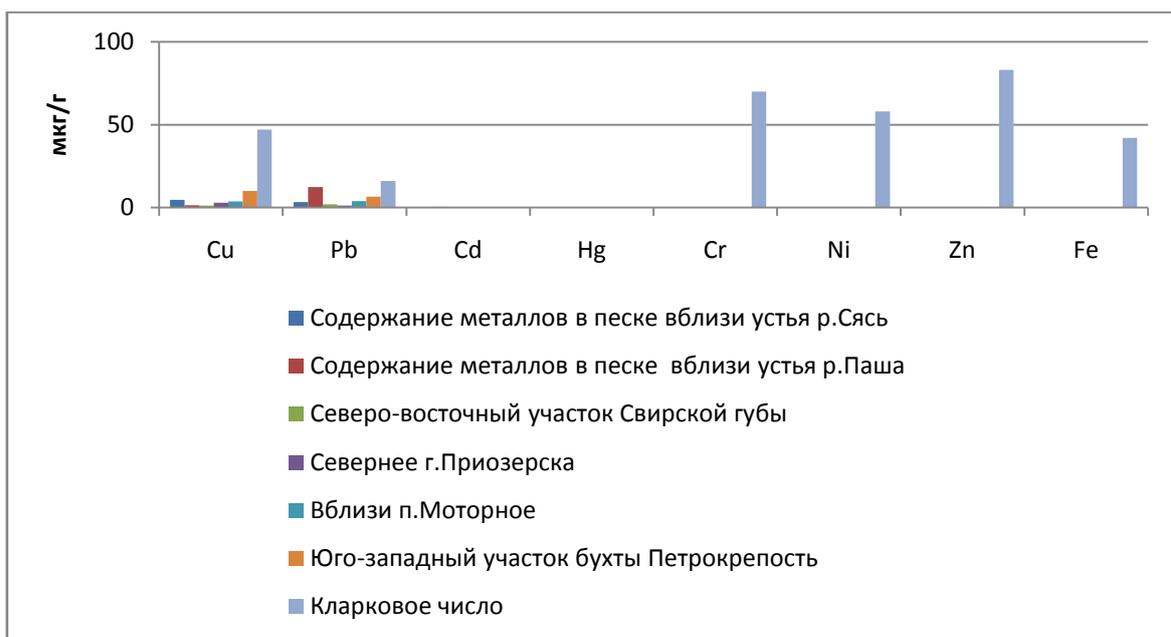


Рис.37. Содержание тяжелых металлов в песке (мкг/г с.в.) прибрежных зон ряда участков Ладожского озера в 1986г.

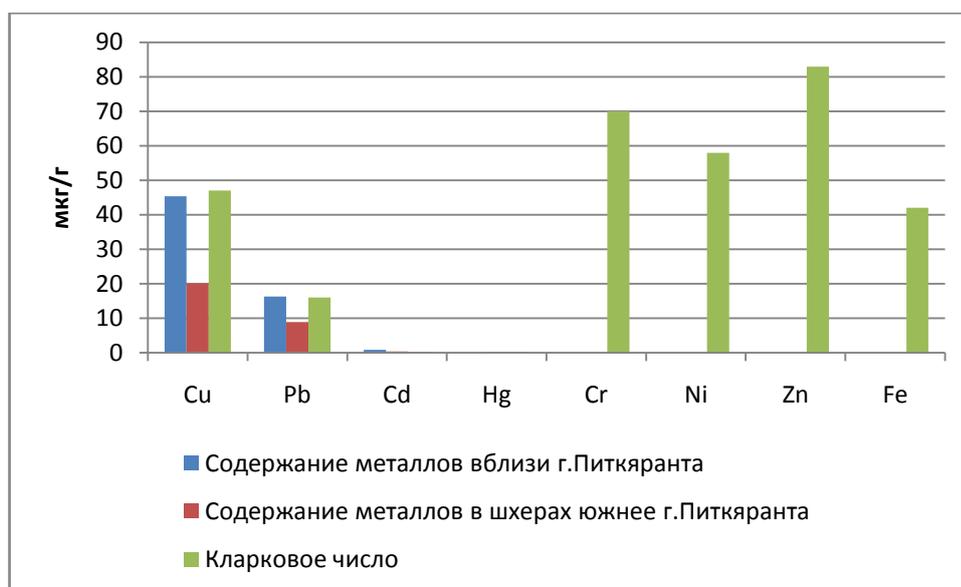


Рис. 38. Содержание тяжелых металлов в иле (мкг/г с.в.) прибрежных зон ряда участков Ладожского озера в 1986г.

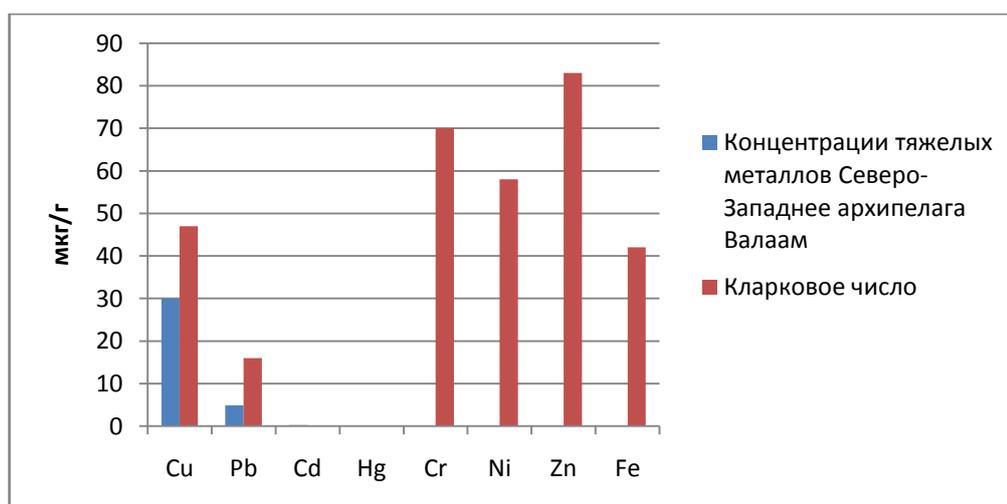


Рис. 39. Содержание тяжелых металлов в глине (мкг/г с.в.) прибрежных зон ряда участков Ладожского озера в 1986г.

В наиболее глубоководных частях акватории озера также отмечено загрязнение донных отложений соединениями тяжелых металлов [41].

При рассмотрении всей акватории Ладожского озера отмечается ожидаемое уменьшение концентрации тяжелых металлов от прибрежных к удаленным от берега участкам озера. В последних сокращается содержание в воде взвешенных веществ, увеличивается прозрачность воды - до 3-4 м, мес-

тами до 5,5 против 1-1,5 м в Волховской губе, уменьшается концентрация солей ряда тяжелых металлов и других основных загрязняющих веществ [22,69,96,97]. Таким образом, вода центральной акватории Ладожского озера по многим показателям чище, чем прибрежные участки.

### 2.3.3. Рыбы

В таблице (таблице 13) представлено содержание четырех металлов, концентрация которых в рыбопродуктах нормируются в РФ. Данные, представленные в таблице, показывают, что в мышечной ткани рыб обнаружены все исследуемые металлы ниже ДОК (допустимое остаточное количество), за исключением ртути.

Содержание нормируемых металлов в мышечной ткани рыб в Волховской губе Ладожского озера в летний период 2012 г [19].

Места отлова рыб, №	Виды рыб	Металлы			
		Cd	As	Pb	Hg
1 5 км. от устья р. Волхов	Судак	0,0016	0,118	0,029	0,297
	Лещ	0,0017	0,098	0,026	<b>0,324</b>
	Плотва	0,0013	0,049	0,018	0,251
2 15 км, от устья р. Волхов	Судак	0,0013	0,126	0,021	0,243
	Лещ	0,0014	0,103	0,019	0,235
	Чехонь	0,0032	0,024	0,016	<b>0,311</b>
3 Р-н пос. Дубно	Окунь	0,0022	0,109	0,071	<b>0,305</b>
	Лещ	0,0031	0,103	0,024	0,326
	Плотва	0,0021	0,084	0,019	0,193
4 Р-н Сясьско- го ЦБК	Судак	0,0021	0,064	0,022	0,291
	Лещ	0,0032	0,065	0,027	<b>0,308</b>
	Чехонь	0,0011	0,058	0,012	<b>0,324</b>
	Щука	0,0017	0,099	0,033	<b>0,811</b>
5 Р-н пос. Ки- риково	Лещ	0,0024	0,081	0,027	<b>0,363</b>
	Судак	0,0016	0,108	0,051	<b>0,308</b>
	Плотва	0,0021	0,097	0,023	0,203
6 Центральный район озера	Судак	0,0028	0,072	0,024	0,297
	Ерш	0,0011	0,147	0,036	0,207
	Налим	0,0031	0,191	0,102	<b>0,502</b>
	Сиг	0,001	0,029	0,019	0,108
ДОК, мг/кг		0,2	1,0	1,0	0,3-мирные; 0,6-хищники

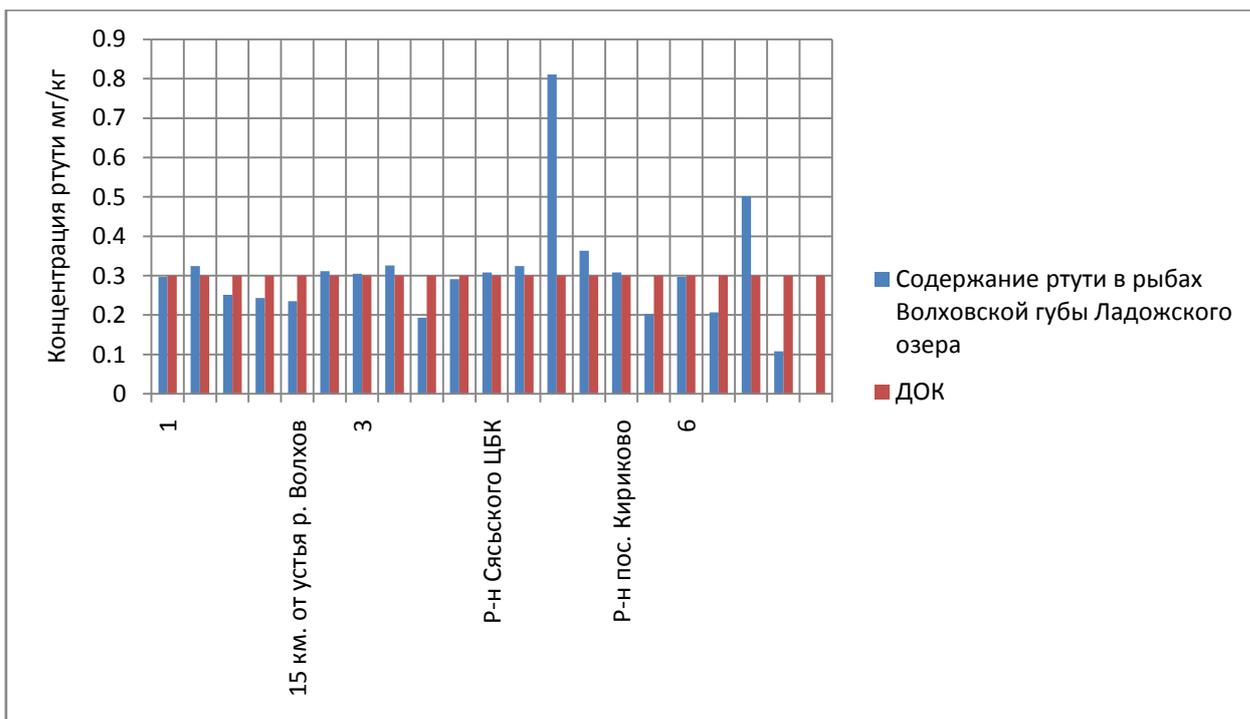


Рис. 40. Содержание ртути в мышечной ткани рыб в Волховской губе Ладожского озера в летний период 2012 г

Низкий уровень накопления тяжелых металлов у рыб объясняется наличием в их организме системы детоксикации и выведения избыточных количеств металлов. Как видно из Таблицы 13, содержание ртути у рыб на всех акваториях близко к ДОК или превышает этот показатель, а других тяжелых металлов содержится еще меньше. Наиболее высокие уровни аккумуляции ртути обнаружены у крупных особей щуки, чехони и налима (рис. 40)

Ихтиопатологические исследования по оценке состояния рыб Волховской губы Ладожского озера, проводимые в 80-х годах прошлого века, обнаружили токсикозы у всех видов рыб, часто сопровождающиеся опасными для жизни повреждениями [7].

Патологоанатомическое исследование рыб было проведено летом 2012 года на пяти акваториях, находящихся на разном удалении от источников загрязнения – рек Волхов, Сясь (Таблица 14) [19].

Состояние рыб по результатам патологоанатомического исследования оценивали по пятибалльной системе (1 – не выявлено визуально патологиче-

ских изменений; 2 – выявлены обратимые повреждения; 3 – выявлены повреждения средней степени тяжести; 4 – выявлены опасные повреждения, угрожающие жизни рыб; 5 – выявлены признаки предсмертного состояния).

Таблица 14

Результаты патологического исследования рыб Волховской губы Ладожского озера в летний период 2012г [19].

Акватория отлова рыб, № местонахождения	Виды рыб	Количество исследованных экземпляров рыб	Доля пораженных токсикозом рыб, %	Степень выраженности токсикоза в баллах	Количество, экземпляров
1 5 км. от устья р. Волхов	Судак	10	60	2-3,0	2,0-2; 3,0-4
	Лещ	20	70	2-3-3,5	2,0-4; 3,0-8; 3,5-2
	Плотва	20	60	2-3,0	2,0-4; 3,0-8
	Окунь	20	60	2-3,0	2,0-3; 3,0-9
	Ерш	20	70	2-3-3,5	2,0-2; 3,0-7; 3,5-5
2 15 км, от устья р. Волхов	Судак	20	50	2-3,0	2,0-6; 3,0-4;
	Лещ	20	60	2-3-3,5	2,0-5; 3,0-5; 3,5-2
	Плотва	20	50	2-3,0	2,0-5; 3,0-5;
	Ерш	20	60	2-3-3,5	2,0-2; 3,0-8; 3,5-2
	Чехонь	10	40	2-3,0	2,0-3; 3,0-1
3 Р-н пос. Дубно	Лещ	10	40	2-3,0	2,0-3; 3,0-1
	Плотва	20	40	2-3,0	2,0-5; 3,0-3
	Окунь	20	40	2-3,0	2,0-3; 3,0-5
	Сиг	5	20	2,0	2,0-1
	Ерш	10	50	2-3,0	2,0-2; 3,0-3
4 Р-н Сясьского ЦБК	Лещ	10	80	2-3-3,5	2,0-2; 3,0-4; 3,5-2
	Плотва	20	80	2-3-3,5	2,0-1; 3,0-3; 3,5-3

Акватория отлова рыб, № местонахождения	Виды рыб	Количество исследованных экземпляров рыб	Доля пораженных токсикозом рыб, %	Степень выраженности токсикоза в баллах	Количество, экземпляров
	Окунь	20	70	2-3-3,5	2,0-2; 3,0-3; 3,5-2
	Чехонь	10	50	2-3,0	2,0-3; 3,0-2
5 Р-н п. Кириково	Судак	10	50	2-3,0	2,0-3; 3,0-2
	Лещ	10	50	2-3,0	2,0-3; 3,0-2
	Плотва	20	50	2-3,0	2,0-3; 3,0-1
	Окунь	20	40	2-3,0	2,0-2; 3,0-3
	Ерш	10	60	2-3,0	2,0-3; 3,0-3



Рис. 41. Доля пораженных токсикозом рыб в 5 км. от устья р. Волхов



Рис. 42. Доля пораженных токсикозом рыб в 15 км. от устья р. Волхов

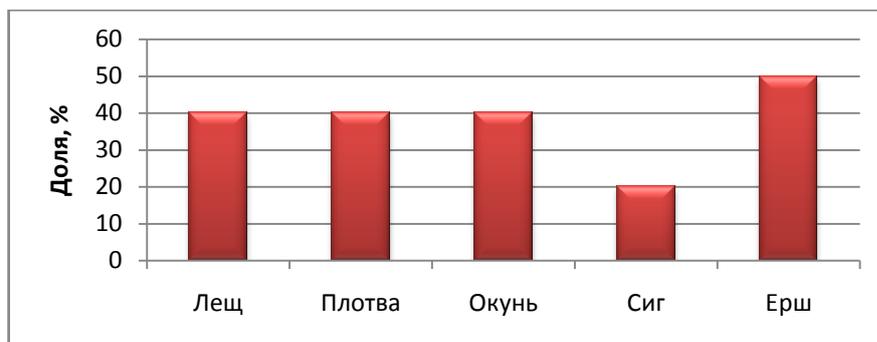


Рис. 43. Доля пораженных токсикозом рыб в р-не пос. Дубно

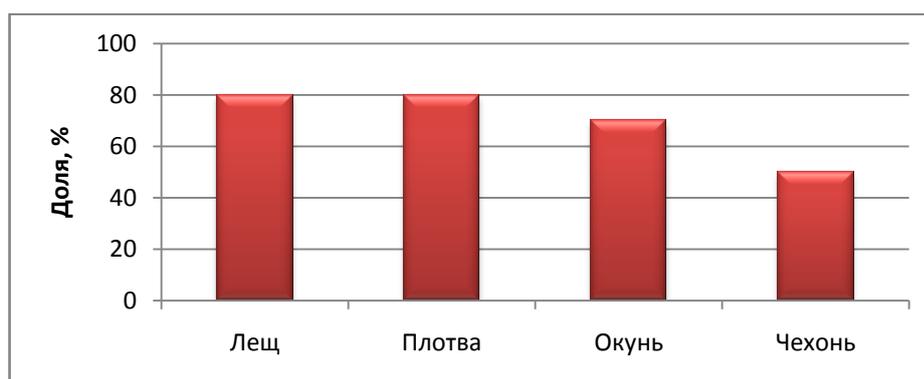


Рис. 44. Доля пораженных токсикозом рыб в р-не Сясьского ЦБК

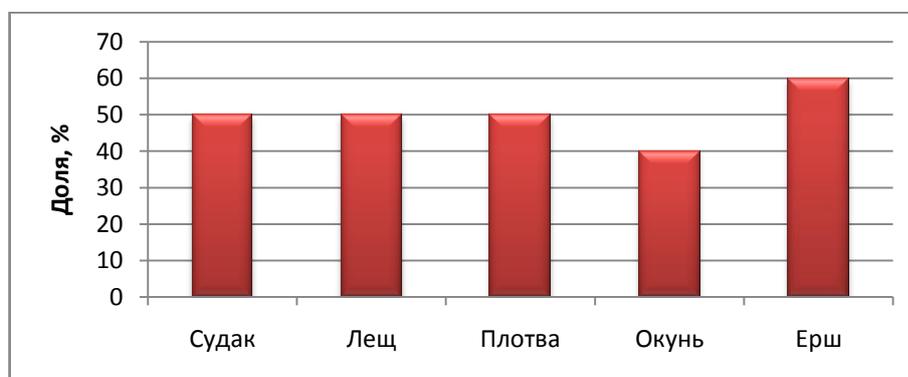


Рис. 45. Доля пораженных токсикозом рыб в р-не п. Кириково

Результаты патологоанатомического исследования рыб (таблица 14) в Волховской губе Ладожского озера показали, что у рыб визуальные проявления хронического токсикоза отмечались у значительной части особей, см. Рис. 42, 43, 45. В наибольшей степени признаки токсикоза у рыб из всех исследованных акваторий были выражены в наиболее загрязненных акваториях, примыкающих к устью реки Волхов и г. Сясьстрой с Сясьским ЦБК (Рис.

41, 44), здесь отмечены рыбы с признаками истощения и развитием общей анемии. Кроме того, возрастала доля особей с более серьезными повреждениями, при этом симптоматика токсикоза отличалась однотипностью в течение всего года.

При сравнении результатов патологоанатомических исследований 2012 г у рыб из Волховской губы Ладожского озера и аналогичных исследований 80-х годов XX века, следует отметить, что доля больных рыб во все времена довольно высокая, однако вызванные токсикозом патологоанатомические изменения в настоящее время имеют менее выраженный характер.

Также были проведены патологоанатомические исследования рыб бухты Петрокрепость Ладожского озера. У большинства рыб (лещ, окунь, плотва, налим, ерш) были отмечены признаки развития хронического токсикоза, преимущественно в обратимой форме (рис 46, 47). Наибольшая доля особей с признаками токсикоза наблюдалась в зимний и весенний период, тогда же доля особей с выраженными патологическими изменениями (3-4 балла) (Таблица 15). Летом и осенью состояние рыб улучшалось. Преобладали особи с легкими обратимыми патологическими изменениями (2 балла), также были отмечены опасные патологии, но единично (4 балла) (рис 48, 49) [6].

Таблица 15

Доля особей (%) с различной степенью развития токсикоза у рыб бухты Петрокрепость Ладожского озера 2015г [6]

Вид	Степень развития токсикоза (баллы)			
	Отсутствие (1)	2	3	4
Плотва	34	26	37	3
Окунь	45	20	35	0
Налим	30	20	37	13
Лещ	35	20	37	8
Ерш	23	15	47	15

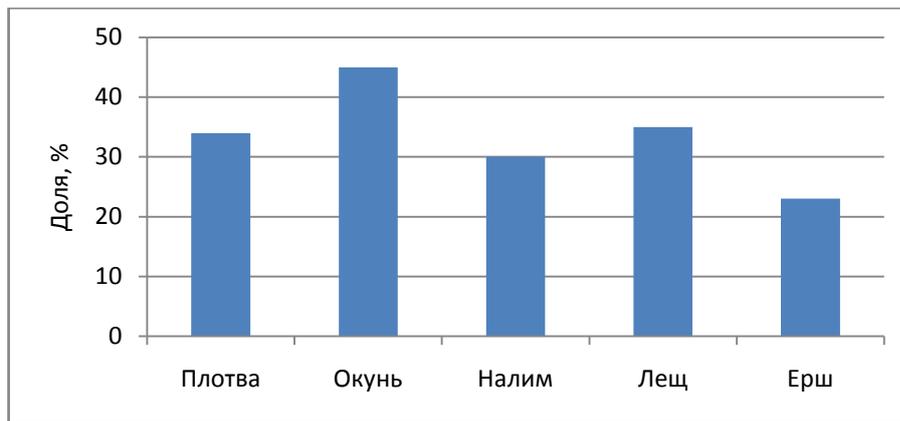


Рис. 46. Доля особей, с отсутствием токсикоза бухты Петрокрепость Ладожского озера 2015г.

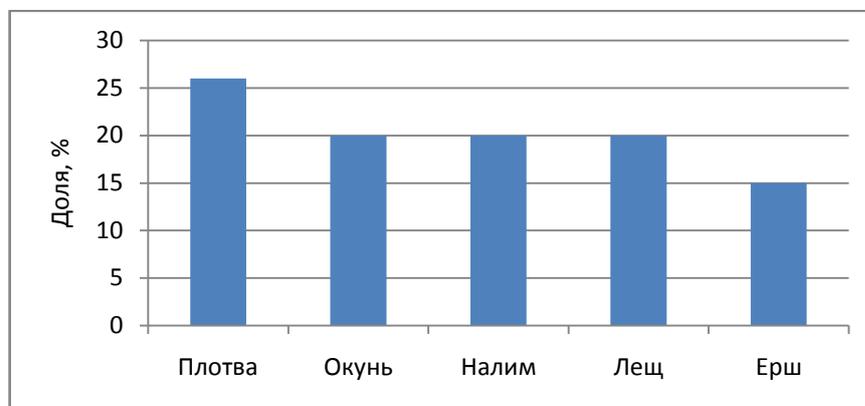


Рис. 47. Доля особей, пораженных токсикозом второй степени бухты Петрокрепость Ладожского озера 2015г.

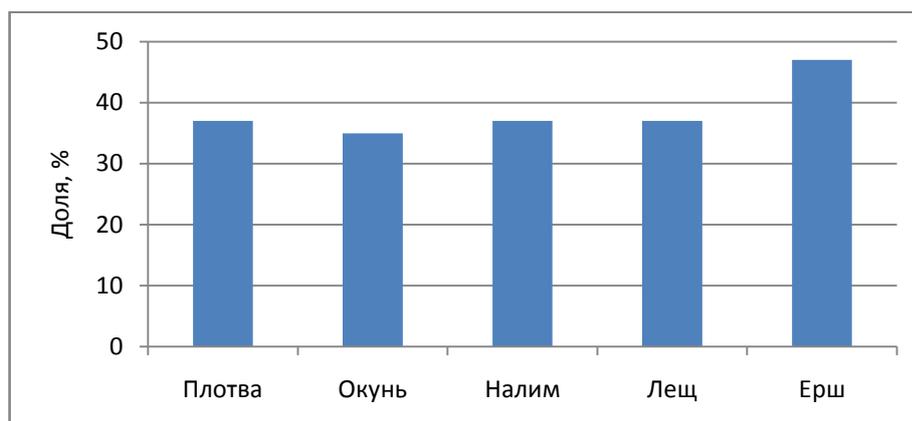


Рис. 48. Доля особей, пораженных токсикозом третьей степени бухты Петрокрепость Ладожского озера 2015г.

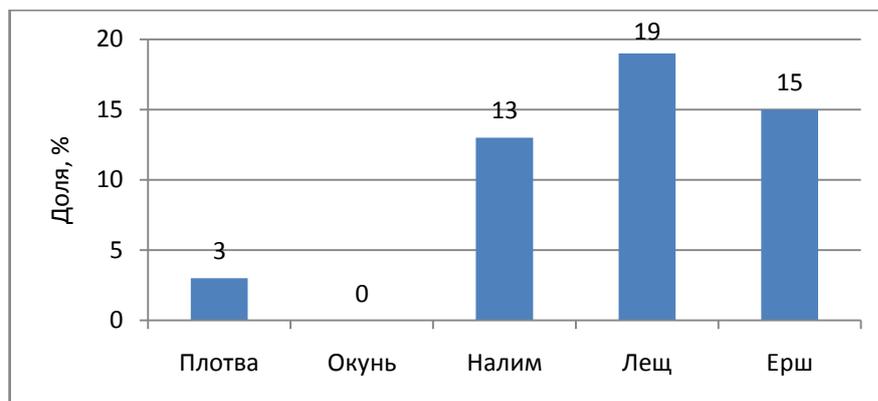


Рис. 49. Доля особей, пораженных токсикозом четвертой степени бухты Петрокрепость Ладожского озера 2015г.

Таким образом, акватория Волховской губы и бухты Петрокрепость Ладожского озера по-прежнему характеризуются достаточно высоким уровнем загрязнения соединениями тяжелых металлов, что сказывается на состоянии обитающих рыб.

## Выводы

В результате проведенного исследования на водных объектах Северо-Запада России, а именно озеро Ильмень – р. Волхов – Ладожское было выявлено следующее:

1. Качество водной массы под влиянием хозяйственной деятельности изменилось на значительных акваториях. Но если в больших озерах ухудшения, таких как оз. Ильмень и Ладожское озеро, качества воды отмечается на отдельных (хотя и обширных) участках и основная часть акватории либо слабо изменена, либо сохраняет естественное состояние, то в р. Волхов преобразования водных масс отмечается на всем ее протяжении. Этому способствует гидродинамический режим, благодаря которому загрязняющие компоненты достаточно быстро распространяются с помощью водного потока. В том случае, когда источники загрязнения располагаются по реке последовательно и между соседними источниками полного самоочищения воды не происходит, река на всем протяжении заполняется измененными водами и превращается в угнетенное состояние.

2.

3. Анализ данных о содержании соединений тяжелых металлов в водной массе оз. Ильмень, р. Волхов и Ладожском озере показал, что все они присутствуют в водной среде (ртуть, кадмий, мышьяк, свинец, алюминий и т.д.). Были выявлены существенные превышения ПДК в воде, таких тяжелых металлов как алюминия, меди, марганца, хрома и свинца и др., это объясняется сбросом неочищенных промышленных сточных вод.

4. Анализ данных показал, что тяжелые металлы в донных отложениях оз. Ильмень, р. Волхов и Ладожского озера присутствуют в концентрациях, значительно превышающих кларковые значения, при этом накопление тяжелых металлов в донных осадках может приводить к вторичному загрязнению водной массы.

5. Анализ данных содержания нормируемых тяжелых металлов в мышечной ткани рыб Российской Федерации показал, что все они выявлены в

рыбах, но их концентрации были близки к ДОК и незначительно превышали его; однако отмечено существенное превышение ДОК - накопление ртути в мышечной ткани рыб Волховской губы Ладожского озера, которое превышало ДОК почти в два раза.

5. Отмечено распределение тяжелых металлов в организме рыб таким образом, что носителями соединений тяжелых металлов оказываются рыбные эндопаразиты.

## Список использованной литературы

1. Алабастер Дж. Критерии качества воды для пресноводных рыб / Дж. Алабастер, Р. Ллойд. – М.: Мир, 1984. – с.344.
2. Анохина О.К. Экологическое нормирование содержания загрязняющих веществ в донных отложениях Куйбышевского водохранилища: автореф. Дис. ... канд. Хим. Наук / О.К. Анохина; Казан. Гос. Ун-т – Казань, 2004. – 24с.
3. Аршаница Н.М., Перевозников М.А. Ихтиотоксикологический мониторинг водоемов // 1 конгресс ихтиологов России: тез. докл. Астрахань, 1997. – с. 140-142.
4. Аршаница Н.М., Онищенко Л.С. Использование патологоанатомического и патоморфологического методов для оценки состояния рыб Ладожского озера. Проблемы ихтиопатологии в начале XXI века. Сб. науч. Трудов, Выпуск. 338 ФГБНУ «ГосНИОРХ». С-Петербург, 2009. С. 11-15.
5. Аршаница Н.М. 1988. Материалы ихтиопатологических исследований в бассейне Ладожского озера // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. Вып. 285. Стр. 12-23.
6. Аршаница Н.М., Ляшенко О.А., Гребцов М.Р., Стекольников А.А. Волховская губа Ладожского озера как источник загрязнения р.Невы // Международный вестник ветеринарии. №1. 2016. С. 35-41.
7. Аршаница Н.М. Пелядь как тест-объект для биоиндикации природных и сточных вод. Биоиндикация и биотестирование природных вод. Тезисы докладов Всесоюзной конференции. Ростов-на-Дону. 30 сентября – 4 октября 1986. – С. 16-17.
8. Батян А.Н., Фрумин Г.Т., Базымь В.Н. Основы общей и экологической токсикологии: учебное пособие, дон. УМО. СПб.: Спец. Лит; 2009. С. 13-24.
9. Белкина Н.А., Васильева Е.П. 1996. Влияние антропогенного фактора на формирование химического состава донных отложений Ладожского озера.

– В сб. Тез. докл. Междун. конф. Крупные озера Европы – Ладожское и Онежское. Петрозаводск: 43-44 стр.

10.Белоконь В.Н. Формы нахождения тяжелых металлов в донных отложениях Сасыкского водохранилища // Гидробиол. журн. – 1989. – Т.25. - №3. – с.83-88.

11.Бойцов А.В., Васильев В.Ю., Горбовская А.Д., Огурцов А.Н., и др. Экосистема оз. Ильмень и его поймы // Под. ред. акад. РЭА Сергеева Ю.Н. СПб.: Изд-во С-Петербур. Ун-та, 1997. 247с.

12.Болезни рыб: Справочник / Под ред. Осетров В.С. – М., 1989. – 288 с.

13.Богданова Е.А. 1995. Паразитофауна и заболевания рыб крупных озер Северо-Запада России в период антропогенного преобразования их экосистем. СПб: 140 с.

14.Венецианов Е.В., Кочарян А.Г. Тяжелые металлы в природных водах.// Воды суши: проблема и решения. – М.. 1994. – с.2-15.

15.Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. Геохимия. 1962. №7. Стр. 555-571.

16.Галиунин Р.В., Галиунина Р.А., Возняк В.М. Распределение Бенз(А)пирена, мышьяка и тяжелых металлов в системе почва, растения, вода, донные отложения. Агрохимия, 2009. №3. С. 66-70.

17.Грани У., Савин В., Мальцман Т., Манхеймер Ю., Задонская В. / Мониторинг озера Ильмень и его притоков. Новгород, 2001. 64с.

18.Гребцов Р.М. Содержание металлов в рыбах Волховской губы Ладожского озера. Материалы III Международного конгресса ветеринарных фармакологов и токсикологов. Санкт-Петербург, 2014. С.72-74.

19.Гребцов, М.Р. Содержание металлов в рыбах и среде их обитания Волховской губы Ладожского озера в летний период/ М.Р. Гребцов // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии.–2014г. –№3.– С.226-228.

20.Гриб И.В., Комаровский Ф.Я. Экспертная оценка токсических загрязнений пресноводных экосистем // Гидробиол. журнал. – 1990. Т.26, №2. – с. 65-71.

21.Гусаков Б.Л., Петрова Н.А. 1987. Перед лицом Великих озер. Л.: 125 с.

22.Гусаков Б.Л., Петрова Н.А., Курашев Е.А., Слепухина Т.Д., Зайцева И.И, Петрова Т.Е., Черных О.А. 1992. Критерии состояния экосистемы Ладожского озера // Ладожское озеро, критерии состояния экосистемы. Санкт-Петербургское отделение «Наука». Стр. 280-295.

23.Гусева Т.В., Молчанова Я.П., Заика Е.А., Виниченко В.Н., Аверочкин Е.М. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы // Под. ред. Гусевой Т.В. – М.: Социально-экологический союз, 2000. – 148 с.

24.Давыдова С.Л., Тарасов В.И. Тяжелые металлы как супертоксиканты XXI века. РУДН. М. 2002 – 140с.

25.Демченко Н.С., Макаров Н.В. Определение токсических элементов в воде естественных водоемов, донных отложениях и биологических объектах методом рентгенфлуоресцентного анализа с предварительными концентрациями. // Первая Всесоюз. Конф. По рыбохозяйственной токсикологии: Тез. Докл. – Рига. Ч.1. – 1988. С.118-120.

26.Евтушенко Н.Ю. Проблемы и задачи ихтиотоксикологического биомониторинга. // 2-ая Всесоюз. Конф. По рыбохозяйственной токсикологии: Тез. докл. СПб., 1991. – Т.1. – с. 172-173

27.Евтушенко Н.Ю., Линник П.Н., Сытник Ю.М., Осадчая Н.Н. Некоторые аспекты нормирования концентрации тяжелых металлов в водоемах, подверженных антропогенному влиянию. // 2-я Всесоюз. Конф. По рыбохозяйственной токсикологии: - Тез. Докл. – СПб., 1991. – Т.1. – С. 182-184.

28.Евтушенко Н.Ю. Интенсивность метаболических процессов у рыб под воздействием повышенных концентраций ТМ в воде // Первая Всесоюз-

ная конф. По рыбохозяйственной токсикологии: Тез. докл. Рига. – 1988. Ч.1. – с.132-133.

29.Евтушенко Н.Ю. Накопление тяжелых металлов рыбами при их тепловодном выращивании / Н.Ю. Евтушенко, Ю.М. Сытник // Вторая Всесоюз. Конф. По рыбохозяйственной токсикологии: тез. Докл. – СПб., 1991. – Т.1. – С.182-184.

30.Жуленко В.Н., Ньюкканов А.Н. Ветсанэкспертиза речного окуня в республике Саха // Ветеринария, 2000, №4. С. 55-57.

31.Заботкина Е.А. Влияние ионов кадмия на некоторые морфофункциональные и иммунофизиологические показатели сеголеток речного окуня *Perca fluviatilis* (Perciformes, Percidae) / Е.А. Заботкина, Т.Б. Лапирова, Е.А. Назарова // Вопросы ихтиологии. – 2009. – Т.49, №1. – с. 117-124.

32.Зигель Х. Некоторые вопросы токсичности ионов металлов. М.: Мир, 1993. – с.366.

33.Зимаков И.Е. Роль химических наук в решении проблем ихтиотоксикологии / Первая Всесоюзная конференция по рыбохозяйственной токсикологии: Тез. Докл., Рига, - 1988 – 4.1. – С. 148-149.

34.Зозуля С.С., Матвеев А.А., Орешко Г.В., Якунина О.В. 1990. Оценка современного состояния Ладожского озера по гидробиологическим показателям // Гидрохимические материалы. Том 108. Стр. 136-146.

35.Калушин Н.А., Лукин А.А., Амундсен П.А. Рыбы пресных вод Субарктики как биоиндикаторы техногенного загрязнения. Апатиты. 1999. – с.142.

36.Комаровский Ф.Я., Полищук Л.Р. Ртуть и другие тяжелые металлы в водной среде: миграция, накопление, токсичность для гидробионтов (обзор) // Гидробиологический журнал, 1981. – Т.17 - №5. – С. 71-83.

37.Кудерский Л.А. Состояние рыбных запасов Ладожского озера / Л.А. Кудерский // Ладожскому озеру - надежную защиту: сб. науч. трудов / Инст. озероведения РАН. - СПб., 2009. - С.78-85.

38.Кузнецова, О.В. Исследование сезонной динамики распределения растворенных солей речных стоков в озере Ильмень // География, природные ресурсы и туристско-рекреационный потенциал Балтийского региона: Материалы Междунар. науч.- практ. конф., 11-13 октября 2007 года. – Великий Новгород, 2007. С. 46-49.

39.Кузубова Л.И. Токсиканты в пищевых продуктах: Аналит. Обзор / АН СССР. Сиб. Отделение. Гос. Публ. Науч.-техн. Б-ка. – Новосибирск, 1990. – с.127.

40.Кузьмина И.А., Кузнецова О.В. Анализ результатов гидро- и геохимического мониторинга озера Ильмень. Вестник Новгородского Государственного университета. №76. 2014, с.69-73.

41.Куликов И.В., Яковлева Т.В., Михалюк Т.Ю. 1993. Площадной распространение основных техногенных компонентов в Ладожском озере // Эволюция природных обстановок и современное состояние экосистемы Ладожского озера. Русское географическое общество РАН. Санкт-Петербург. Стр. 36-42.

42.Кулик В.А., Бурда Т.И. Изменения в азотистом обмене белого амура, вызванные свинцом. // 2-ая Всесоюз. Конф. По рыбохозяйственной токсикологии: Тез. Докл. – СПб., 1991. – Т.1. – С.321-322.

43.Лаптева А.М. Содержание мышьяка в мышцах, печени и икре двенадцати видов промысловых рыб Баренцева моря. Вопросы рыболовства, 2004. Том 5. №1 (17), с.165-173.

44.Лапшина Т.П., Хоменко А.Н. Перечень приоритетных загрязняющих веществ и показателей качества воды, рекомендуемый для контроля загрязненности природных и сточных вод // Процессы загрязнения и самоочищения водных объектов под воздействием хозяйственной деятельности человека // Гидрохим. Материалы. – 1990. – Т.19. – С. 115-125.

45.Лобус Н.В., Комов В.Т., Гусева Е.С., Нгуен Т.Х.Т. Содержание ртути в мышечной ткани пресноводных рыб // Экология внутренних вод Вьетнама. М.: Т-во научных изданий КМК. 2014. С.63-73.

46. Лукьяненко В.И. 100-летие рыбохозяйственной токсикологии: итоги и перспективы. // 2-я Всесоюзная конференция по рыбохозяйственной токсикологии: Тез. Докл. – СПб., 1991. – Т.2. – с.12-16.

47. Маляревская А.Я., Комаровский Ф.Я., Красина Ф.М. Диагностика отравления рыб // 2-я Всесоюзн. Конф. По рыбохозяйственной токсикологии: Тез. докл. – СПб., 1991. – Т.2. – с.34-35.

48. Матвеев А.А., Резников С.А., Зозуля С.С., Якунина О.В. 1990. Гидрохимическая и гидробиологическая характеристика озера Ильмень // Гидрохимические материалы. Том 108. Стр. 124-135.

49. Метелев В.В., Канаев А.И., Дзасохова Н.Г. Водная токсикология. М.1971. – 246 с.

50. Моисеенко Т.И. Водная экотоксикология. Теоретические и прикладные аспекты. М. Наука, 2009. 399 с.

51. Моисеенко Т.Н. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология / Т.Н. Моисеенко, Л.П. Кудрявцева, Н.А. Гашкина / М: Наука, 2006. 261 с.

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

53. Мур Дж.В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния, Пер. с англ., М.: Мир, 1987. 288 стр.

54. Набиванец Ю.Б. Формы нахождения цинка и свинца в природных водах // Гидробиологич. Журнал. – 1989. – Т.25 - №3. – с.80-83.

55. Немова Н.Н. Биохимическая индикация состояния рыб / Н.Н. Немова, Р.У. Высоцкая. – М.: Наука, 2004. – 212с.

56. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2002 году. – СПб.: Сезам, 2003. – 468 с.

57. Перевозников М.А., Богданова Е.А., Тяжелые металлы в пресноводных экосистемах. С-Петербург: ГосНИОРХ, 1999. – с.228.

58.Перевозников М.А. 1992. Разработка принципов ихтиотоксикологического мониторинга рыбохозяйственных водоемов и контроля качества рыбной продукции. – Фонды ГосНИОРХ: 183с.

59.Перевозников М.А., Богданова Е.А., Пономаренко А.М. 1990. Распространение тяжелых металлов среди различных звеньев экосистемы бассейна Ладожского озера. Сб. науч. трудов ГосНИОРХ, в.313: с. 25-43.

60.Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды и водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение / Гос. Ком. РФ по рыболовству; Сост.: Н.А. Шиленко и др. – М.: Издательство ВНИРО, 1999. – 304 с.

61.Петрова И.В. Уровень загрязнения донных отложений реки Волхов и побережья Ладожского озера. Сборник трудов ГосНИОРХ, вып. 285, Л. 1988, с. 51-56.

62.Петрухин В.А., Анурпанова Г.А., Бурцева и др. Фоновое содержание свинца, ртути, мышьяка и кадмия в природных средах (по мировым данным). Сообщ. 3. В кн.: Мониторинг фонового загрязнения природных сред. Л. Гидрометиздат., 1986. Вып.3., с.34-40.

63.Попов П.А. Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации. Новосибирск: НГУ, 2002. С. 270.

64.Расплетина Г.Ф., Ульянова Д.З., Шерман Э.Э. 1967. Гидрохимия Ладожского озера // Гидрохимия и гидрооптика Ладожского озера. ЛО «Наука». Ленинград. Стр. 60-122.

65.Расплетина Г.Ф. 1992. Обеспеченность озерной экосистемы фосфором // Ладожское озеро, критерии состояния экосистемы. Санкт-Петербургское отделение «Наука». Санкт-Петербург. Стр. 74-87.

66.Расплетина Г.Ф., Гусаков Б.Л. 1982. Применение прямого и косвенного методов для расчета биогенной нагрузки и концентрации веществ в воде Ладожского озера // Антропогенное эвтрофирование Ладожского озера. ЛО «Наука». Ленинград. Стр. 222-242.

67. Решетников Ю.С., Попова О.А. Ихтиотоксикологический мониторинг пресноводных экосистем Севера // Антропол. Воздействие на природу Севера и его экологические последствия: тез. докл. Всерос. Совещ. И выезд научн. Сесс. Апатиты, 1988. – с. 42-43.

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

69. Румянцев В.Б., Дружинин Г.В., Чехин Л.П. 1985. Изменчивость оптических свойств воды крупных озер в современных условиях // Проблемы исследования крупных озер СССР. ЛО «Наука». Ленинград. Стр. 103-107.

70. Рыжков Л.П. 1999. Озера бассейна северной Ладоги. Петрозаводск: 202 с.

71. Сергеева В.А. 1988. Состояние и распределение зоопланктона в очагах загрязнения Ладожского озера. – Сб. научн. трудов ГосНИОРХ, вып. 285. С. 114-128.

72. Смирнов В.П., Карпиков Н.М. К вопросу о патологическом изучении рыб в водной токсикологии // Проблемы водной токсикологии. – Петрозаводск, 1988. – С. 72-76.

73. Смирнова Л.Ф., Гулин В.В. 1986. Анализ гидролого-гидрохимического режима оз. Ильмень и его влияние на состояние запасов рыб в период с 1968 по 1976 гг. // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. Том 155. Стр. 3-11.

74. Сношкіна Е.В. 1988. Оценка степени загрязнения водоемов системы оз. Ильмень – р. Волхов – Ладожское озеро – р. Нева – Невская губа по составу донных организмов. – Сб. науч. трудов ГосНИОРХ, в. 285: С. 85-97.

75. Современное состояние экосистемы Ладожского озера. ЛО «Наука». Ленинград. 1987. 213 стр.

76. Соколов Л.И. Рыбы в условиях мегаполиса (г. Москва) // Соросовский образовательный журнал, 1998 №5. С. 23-30

77.Стекольников А.А. Особенности сезонного эколого-токсикологического состояния реки Волхов /А.А. Стекольников// Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2014. - №3. – С.236-241.

78.Стекольников А.А. О токсикозах рыб реки Волхов // А.А. Стекольников // Материалы III Международного конгресса ветеринарных фармакологов и токсикологов. Санкт-Петербург, 2014 – С. 256-258.

79.Стекольников А.А. Особенности сезонного распределения металлов в абиотических компонентах и ихтиофауне реки Волхов / А.А. Стекольников // Ветеринария. – 2013. - №9. – С. 43-47.

80.Стекольников А.А. Особенности весеннего распределения металлов в рыбах и среде их обитания реки Волхов / А.А. Стекольников // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2014. – №2. – С. 113-115.

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

82.Степанова И.К., Комов В.Т. Роль трофической структуры экосистемы водоемов Северо-Запада России в накоплении ртути в рыбе // Гидробиологический журнал. 2004. Т.40, №2. С.87-96

83.Сухачев В.А., Лапатыко Е.И., Ядренкин А.В., Фалеев В.И., Литвинов Ю.Н., Новиков Е.А., Торопов К.В., Мокин М.П. Загрязнение ртутью и другими тяжелыми металлами водных и наземных биоценозов. // Поведение ртути и других тяжелых металлов в экосистемах. – Новосибирск, 1989. – Ч.2. – с. 101-114.

84.Трахтенберг И.М., Коршун М.Н. Ртуть и ее соединения в окружающей среде – Киев, Высшая школа., 1990. – 232 с.

85.Фомин Г.С. Вода. Контроль химической, биологической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. Энциклопедический справочник. – М.: Протектор, 2000. – 848с.

86.Фрумин Г.Т., Скакальский Б.Г., Драбкова В.Г. 1995. Состояние и загрязнение поверхностных вод // Состояние окружающей среды Северо-Западного и Северного регионов России. «Наука». Санкт-Петербург. Стр. 86-126.

87.Хайдер Г. Поражение крови рыб при отравлении тяжелыми металлами. Методы исследования токсичности на рыбах. – М.: Агропромиздат, 1985. – с.71-74.

88.Хендерсон-Селлерс Б., Маркленд Х.Р. Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования. Л.: Гидрометиздат, 1990. 278с.

89.Хьюз М. Неорганическая химия биологических процессов. М, 1983., с.414.

90.Широков Л.В. 1990. Оценка ущерба рыбным запасам Ладожского озера в связи с загрязнением. – Фонды ГосНИОРХ: 113-122.

91.Экология и промышленность России. – М.: 1998. – с.15.

92.Экологическая обстановка в Санкт-Петербурге и Ленинградской области в 1997 г. (справочно-аналитический обзор). Ленкомэкология. Санкт-Петербург. 1998. 290 стр.

93.Экологическая обстановка в Санкт-Петербурге и Ленинградской области в 1995 году (аналитический обзор). Ленкомприрода. Санкт-Петербург. 1996. 136 стр.

94.Экологическая обстановка в Санкт-Петербурге и Ленинградской области в 1996 г. (справочно-аналитический обзор). Гидрометеиздат. Санкт-Петербург. 1997. 271 стр.

95.Экологические проблемы Северо-Запада России и пути их решения. 1997. Спб: 528с.

96.Юдин Е.А. 1987. Пространственно-временная неоднородность распределения взвесей // Современное состояние экосистемы Ладожского озера. ЛО «Наука». Ленинград. Стр. 92-100.

97.Юдин Е.А. 1992. Режим распределения взвесей в озере // Ладожское озеро, критерии состояния экосистемы. Санкт-Петербургское отделение «Наука». Санкт-Петербург. Стр. 67-74.

98.Porter E.L. Development of proposed Canadian Environment Quality Guidelinesfor cadmium / E.L. Porter, R.A. Kent, D.E. Anderson et al. // J.Geochem. Explor. – 1995. – V.52. – p.205-219.

99.Wood C.M. Toxic responses of the gill // C.M. Wood // Target organ toxicity in marine and freshwater teleosts / Ed.D.Schlentz, W.H. Benson, L. Taylor and Francis, 2001. – p. 1-89.