



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра водных биоресурсов, аквакультуры и гидрохимии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(Бакалаврская работа)

На тему «Влияние экологического состояния Воткинского водохранилища
на его ихтиофауну и рыбохозяйственную деятельность в регионе»

Направление подготовки 35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура,
профиль «Управление водными биоресурсами и аквакультура»

Исполнитель _____ Культенко Валентин Петрович

(подпись) (фамилия, имя, отчество)

Руководитель _____ Королькова С.В., к.т.н.

(подпись) (фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____ Королькова С.В., к.т.н.

(подпись) (фамилия, имя, отчество)

« ____ » _____ 2025 г.

Санкт-Петербург

Оглавление

Введение.....	3
ГЛАВА 1. ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА: ФОРМИРОВАНИЕ, РЕЖИМ И АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ.....	7
1.1. Морфометрические и гидрологические характеристики Воткинского водохранилища.....	7
1.2. Современное состояние загрязнения Воткинского водохранилища: гидрохимический анализ.....	10
1.3. Вывод к первой главе.....	12
ГЛАВА 2. ЗООПЛАНКТОН И ИХТИОФАУНА ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И АНТРОПОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ.....	14
2.1. Структура и динамика зоопланктонных сообществ Воткинского водохранилища.....	14
2.2. Рыбные сообщества Воткинского водохранилища: пространственно- временная организация.....	17
2.3. Вывод к второй главе.....	19
ГЛАВА 3. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА: ТРАНСФОРМАЦИЯ ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ И РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ И РИСКИ.....	21
3.1. Экологические последствия загрязнения тяжелыми металлами и биогенными элементами Воткинского водохранилища.....	21
3.2. Состояние рыбных запасов в Воткинском водохранилище: анализ и тенденции.....	28
3.3. Вывод к третьей главе.....	34
ГЛАВА 4. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОХРАНЕ И УПРАВЛЕНИЮ ЭКОСИСТЕМОЙ ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА: БАЛАНС МЕЖДУ ПРОМЫСЛОМ И СОХРАНЕНИЕМ РЕСУРСОВ.....	35
4.1. Организация государственного контроля и надзора за экологическим состоянием водохранилища.....	35
4.2. Управление рыбными запасами: стратегии контроля и защиты экосистем Воткинского водохранилища.....	39
4.3. Вывод к четвёртой главе.....	41
Заключение	43
Список литературы.....	46

Введение

Водоохранилища — ключевые, базовые элементы гидротехнических и водохозяйственных систем любого ранга, поскольку именно они позволяют осуществить регулирование водных ресурсов, преобразование гидросферы в желаемом для общества направлении [35].

Актуальность данной выпускной квалификационной работы обусловлена важной ролью водохранилищ в обеспечении устойчивого водоснабжения для сельского хозяйства и производстве электроэнергии. Водоохранилища служат ключевым элементом в управлении водными ресурсами, однако их эксплуатация и воздействие на окружающую среду требуют глубокого анализа. Несмотря на значительные преимущества, связанные с использованием водохранилищ, их влияние на экосистемы может проявляться в изменении гидрологического режима, ухудшении качества воды и снижении биоразнообразия. Эти изменения могут оказывать негативное воздействие на рыбоводство и другие виды деятельности, зависящие от состояния водных ресурсов. Учитывая, что рыбоводство является важной частью экономики региона, понимание взаимосвязей между водохранилищами и экосистемами становится особенно актуальным. Таким образом, исследование взаимодействия водохранилищ с окружающей средой и их влияние на рыбохозяйственную деятельность является важным шагом к разработке рекомендаций по воспроизводству промыслового вида рыб. Это позволит не только сохранить экосистемы, но и обеспечить устойчивое развитие рыбоводства и других отраслей экономики, что в свою очередь будет способствовать социально-экономическому развитию региона.

Новизна в том, что данная работа представляет собой многоаспектное обобщение многолетних наблюдений за экологическим и промышленным состоянием Воткинского водохранилища с выведением рекомендаций по улучшению работы, связанной с рыбохозяйственной деятельностью.

Исходя из актуальности, цель — анализ влияние экологического состояния Воткинского водохранилища на его ихтиофауну и рыбохозяйственную деятельность в регионе.

Для достижения цели работы необходимо последовательно решить несколько исследовательских задач:

- изучить гидробиологические характеристики Воткинского водохранилища;
- проанализировать структуру зоопланктонных и рыбных сообществ и их роль в пищевой цепи водоема;

- проанализировать уровень загрязнения тяжелыми металлами (Cu, Fe, Mn, Zn) в воде и донных отложениях и их влияние на физиологическое состояние рыб (анализ гематологических показателей у окуня и других видов);

- рассмотреть динамику промышленного вылова за последние 10 лет;

- оценить результативность законодательных и технологических мер по снижению загрязнения (аэрация, применение сульфатов железа, зарыбление хищными видами);

- разработать ряд рекомендаций по улучшению экологического состояния искусственного водоёма.

Объект исследования: Воткинское водохранилище как экосистема, включая его физико-химические характеристики, гидрологические условия и биоценозы.

Предмет исследования: влияние экологического состояния Воткинского водохранилища на ихтиофауну (разнообразие и численность рыб) и рыбохозяйственную деятельность в регионе, включая аспекты управления рыбными ресурсами и охраны окружающей среды.

Приведенные выше цели и задачи работы определяют структуру работы, включающее введение, четыре главы с выводами, заключение и список литературы.

Первая глава представляет собой теоретическое исследование по вопросу функционирования и гидробиологическим характеристикам Воткинского водохранилища. Проанализировано влияние климатических факторов на экологию водохранилища и его полноводность. Рассмотрен «транзитный характер» загрязнения вод Воткинского водохранилища с целью установления степени негативного влияния на реку Каму (местонахождение водохранилища).

Вторая глава, посвященная обобщению информации о биологическом разнообразии Воткинского водохранилища, с включением следующих ключевых аспектов: бентос и зоопланктон, рыбы. Представлен подробный анализ численности основных таксонов зоопланктона на разных участках водоема. Определение характера ихтиофауны в контексте Воткинского водохранилища, которое оказывает большую роль на миграционный пути рыб. Определение динамики численности и состава ихтиофауны с учётом сезонных изменений, а также их вариации в зависимости от времени суток.

Третья глава, посвящена тому что Воткинское водохранилище характеризуется нормальной общей минерализацией, однако в периоды зимней сработки и весеннего наполнения фиксируются систематические

превышения ПДК. Основные источники — это промышленные и сельскохозяйственные стоки, поверхностный сток с удобрениями, что приводит к эвтрофикации, накоплению токсинов в гидробионтах. Однако, это не мешает восстановлению запасов стреляди и росту вылову рыб промышленного значения (плотва и густер). Несмотря на антропогенное давление, водохранилище сохраняет промысловую ценность, но требует комплексного мониторинга и экологических мер для долгосрочной устойчивости.

В последней, четвертой главе обобщаются действующие законодательные акты, регулирующие отношения по использованию и охране водных объектов, статистика сбросов загрязняющих веществ и мероприятия по борьбе с загрязнением данного водохранилища. Обобщение данных докладов, включающих в себя информации по контролю за соблюдением Правил рыболовства. Приведено сравнение количественных показателей вылова промысловых видов рыб за последние десятилетие. Уделено внимание вопросам воспроизводства в условия заводского выращивания рыб и проблемам его развития. Предложены меры по улучшению экологических характеристик, которые оказывают прямое влияние на качество рыбной продукции.

В разделе «Заключение» подводится итог исследования гидробиологических характеристик Воткинского водохранилища, включая анализ зоопланктонных и рыбных сообществ, их роль в экосистеме и уровень загрязнения тяжелыми металлами. Оценивалось влияние загрязнителей на здоровье рыб и динамика промышленного вылова за последние 10 лет. Также рассмотрены законодательные и технологические меры по снижению загрязнения. На основе полученных данных разработаны рекомендации по улучшению состояния водоема, что может способствовать эффективному управлению ресурсами и устойчивому развитию рыбного промысла, а также сохранению биологического разнообразия и экономическому благополучию региона.

Таким образом, результаты работы могут служить основой для более эффективного управления ресурсами Воткинского водохранилища и оптимизации рыбного промысла. Реализация предложенных рекомендаций будет способствовать не только сохранению биологического разнообразия, но и повышению эффективности рыбоводства, что принесет долгосрочную выгоду местному населению и экономике региона в целом.

Завершается работа библиографическим списком, насчитывающим 37 источников.

Материалы для исследования: научная литература, статьи, нормативные документы, справочные данные.

Практическая ценность работы – данную работу можно использовать как аналитический материал при повторном проведении исследования в Воткинском водохранилище.

ГЛАВА 1. ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА: ФОРМИРОВАНИЕ, РЕЖИМ И АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

1.1. Морфометрические и гидрологические характеристики Воткинского водохранилища

На берегах Воткинского водохранилища расположены города Оханск, Оса, Чайковский. Водоохранилище образовано плотиной Воткинской ГЭС на Каме. Плотина была создана в 1961 году, и осенью того же года началось наполнение водохранилища водой [34]. Воткинское водохранилище поднимает уровень Камы на высоту 23 метра. В водохранилище впадает 57 небольших рек. Максимальная ширина водохранилища в приплотинном участке составляет 10 км, в средней 6 км. Площадь мелководий с глубинами до 2 м составляет 14% общей площади, с глубинами до 5 м – 35,5 %, с глубинами более 7 м – 50 %. Воткинское водохранилище расположено в юго-западной части индустриально и аграрно развитого Пермского края. Площадь водоема при НПУ составляет 1120 км², а объем - 9,4 км³ (Рис.1).

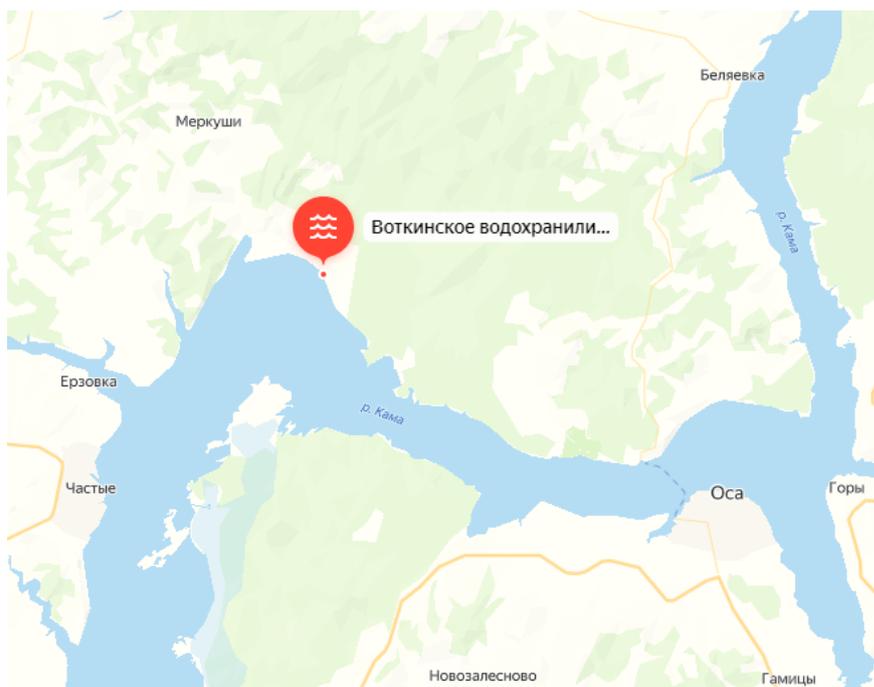


Рис.1. Местоположение Воткинского хранилища. Фотография из Яндекс.Карт

Водоохранилище образовано в долине р. Камы в 1964 г. и используется для целей гидроэнергетики, водного транспорта, рекреации, водоснабжения, а также служит местообитанием представителей водной фауны, в том числе промысловых рыб [28]. Широкие плёсы глубиной 20—25 м, судовой ход был спрямлён и расширен до 300—400 м, это позволило организовать двухсторонний путь судов и сократило путь между Пермью и населенными пунктами, расположенными в нижней Каме. При нормативном подпорном уровне вод

водохранилища его площадь составляет 1120 км², объем водной массы 9,4 км³, длина 360 км. Максимальная ширина водоема достигает 8,2 км, средняя – 3,4 км, наибольшая глубина – 30 м, при средней величине – 8,4 м.

Создание дополнительных плесов помогло избежать усложнение логистики в водоеме, но до сих пор главными задачами Воткинского водохранилища является: получение электроэнергии, осуществление судоходства, водоснабжение городов, развитие рыбного хозяйства. Воткинское водохранилище относится к водохранилищам с сезонным регулированием стока.

Таким образом, по размерам данное водохранилище занимает девятнадцатое место в рейтинге по площади крупнейших водохранилищ в России (на первом месте Куйбышевское (Самарское) — 6450 км²). Оно было образовано в ходе строительства Воткинской ГЭС на реке Каме.

Вода в Воткинское водохранилище поступает в основном из Камского водохранилища (90-92%), боковая приточность незначительна (5-7%), еще меньше доля осадков, выпадающих на зеркало водоема (1-1,5%). Расход воды идет через Плотину Воткинской ГЭС (98-99%), испарение с водной поверхности невелико (0,7-1,5%). Соотношение поступления и расхода воды, то есть водный баланс водохранилища, определяет его уровневый режим. Воткинское водохранилище является водоемом сезонного регулирования за счет работы ГЭС.

Максимальное наполнение происходит в конце мая – начале июня, затем до конца лета наблюдается постепенное снижение уровня воды (сработка). Изменение расходов воды по длине водохранилища характеризуется нелинейностью – наблюдается волна расхода с различным положением гребня и ложбины в периоды наполнения и сработки водоема.

Во время весеннего наполнения расходы воды уменьшаются от района выклинивания подпора к нижним участкам водоема. В летне-осенний период наблюдается некоторое увеличение расходов по длине водохранилища. В период зимней сработки водоема отмечается заметное увеличение расходов воды от верхних участков к плотине [16].

Воткинское водохранилище является русловым, то есть представляет собой узкий вытянутый водоем со значительной извилистостью, повторяющей изгибы исходного русла реки. Вытянутое вдоль Камы более чем на 300 км, оно по своим очертаниям, морфологическим особенностям вмещающих их котловин относится к типично долинному водохранилищу: ширина и глубина водоема плавно нарастают сверху вниз по длине, достигая наибольших значений у плотины Воткинской ГЭС [25].

Данное водохранилище отличается от многих других водоемов тем, что поток воды идет из Камского водохранилища, более того оно из самых длинных

водоемов. Оно также способно регулировать уровень воды при помощи сезонного регулирования работы ГЭС, испарение водоема незначительное.

Скорости проточного течения Воткинского водохранилища оценены по соотношению среднемесячных величин расходов воды и площадей живых сечений на границах морфометрических участков водоема. Их внутригодовой ход аналогичен ходу других показателей динамики вод водохранилища и характеризуется четко выраженными фазами: период весеннего наполнения с максимальными в году величинами скоростей течения, летнее-осенний период и период зимней сработки водоема. Летом и зимой скорости течения заметно ниже, чем во время прохождения весеннего половодья. При этом их величины в эти периоды почти одинаковы. Водность лет влияет на величину скорости проточного течения особенно сильно во время весеннего наполнения водоема, а в остальные периоды её влияние заметно меньше. В многолетнем аспекте максимальные скорости отмечаются в многоводные годы, минимальные – в маловодные.

Термический режим Воткинского водохранилища обусловлен тепловым балансом территории и его изменением во времени, а также особенностями динамики водной массы. Приход и расход тепла осуществляется через водную поверхность и зависит от её состояния. Распределение запаса тепла в водной массе, помимо климатических условий, определяется также своеобразием морфометрии ложа и гидродинамическими процессами. Из последних наибольшее влияние на термику вод оказывают величины водообмена, скорости течения и ветровое перемешивание. Несмотря на значительную протяженность водохранилища в направлении с севера на юг, температура воды изменяется мало. В большинстве случаев разница не превышает 1-2°C. Наибольший прогрев водной толщи отмечается в конце июля – начале августа, когда температура по всей глубине превышает 18° С. Охлаждение водоема начинается с конца августа, ледовые явления обычно возникают в 1-2 декадах ноября [1].

Следовательно, Воткинское водохранилище является типичным представителем русловых водоемов с выраженной долинной морфологией и сложным уровневый режимом, что делает его важным объектом для дальнейших исследований в области экологии и ресурсного управления. Гидрологический режим отличается нелинейной динамикой расходов с максимальным наполнением в весенний период и постепенной сработкой уровня летом. Термический режим, несмотря на значительную протяжённость водохранилища, остаётся относительно однородным (перепады температуры не превышают 1–2°C), что обусловлено интенсивным водообменом и ветровым перемешиванием. Уникальность объекта подчёркивается его ролью в экосистеме Камского бассейна и устойчивым сочетанием хозяйственных и природоохранных задач.

1.2. Современное состояние загрязнения Воткинского водохранилища: гидрохимический анализ

Характерной особенностью Воткинского водохранилища является весьма большая однородность химического состава его вод как по акватории, так и по живому сечению. Исключение составляют аномальные участки в районах промышленного загрязнения. Весной водоем характеризуется ярко выраженным преобладанием гидрокарбонатных формаций. Воткинское водохранилище характеризуется преобладанием гидрокарбонатных вод с сезонными вариациями в химическом составе: Весной доминирует гидрокарбонатная формация, с локальным присутствием гидрокарбонатно-хлоридной и гидрокарбонатно-сульфатной фаций. Летом состав вод более однороден, с преобладанием гидрокарбонатно-хлоридно-кальциевых вод, но встречаются и гидрокарбонатно-хлоридно-натриевые и гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатные фации. Зимой выделяются два гидрохимических района: Хлоридно-гидрокарбонатные воды (участок от Камской ГЭС до Усть-Качки), Хлоридно-гидрокарбонатно-кальциевые воды (от Усть-Качки до Воткинской ГЭС). В отдельных случаях отмечаются воды гидрокарбонатно-хлоридно-натриевой и гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатной фаций. Донные отложения водохранилища делятся на два класса: Окислительные илы (желто-бурые, красновато-коричневые) – формируются в зонах активного перемешивания вод, богатых кислородом. Содержат окисленные формы железа и марганца, что способствует накоплению катионогенных элементов. Восстановительные (глеевые) илы (серые, сизые) – образуются в глубоководных, застойных зонах с дефицитом кислорода. Характеризуются высоким содержанием органики и неокисленных форм металлов [16].

Морфометрические особенности водохранилища в сочетании с характером затопленных почв и растительности, а также источников грунтообразующего материала дают свою, отличную от других водохранилищ картину распределения донных отложений [2]. По результатам анализов рассматриваемые субстраты отнесены к двум геохимическим классам, выделенным для водохранилищ А.И.Перельманом, Н.С. Касимовым [30]: 1-й класс – окислительные илы; 2-й класс – восстановительные (глеевые) илы. Первые отлагаются на участках, для которых характерны постоянные движения водных масс и наличие водной растительности, т. е. условия, обеспечивающие достаточно высокое для нормального развития окислительного процесса содержание кислорода в воде, например грунтом. За счет окисленных форм железа и марганца донные отложения приобретают желтый, бурый, красновато-коричневый цвет. Окислительные илы выявлены в пробах 3, 4, 5, 6, 16. Они индуцируют в границах акватории участки геохимического обогащения катионогенными элементами, родственными железу и марганцу. Вторые – глеевые илы – отражают ситуацию, складывающуюся в застойных, зачастую наиболее глубоководных участках водохранилищ. Для них характерно

высокое содержание органики как в водной массе, так и в илах, дефицит содержания кислорода в воде и, как следствие, преобладание в геохимическом спектре илового субстрата неокисленных форм металлов, придающих субстрату характерный серый или сизый цвет пробы 7, 9, 10, 11, 13. См. Таблицу 1. Своеобразие гидрохимического режима рассматриваемого водохранилища, обусловленное неравномерным стоком, неоднородным по температуре, биогенной нагрузке и химизму, приводит к тому, что на значительной части акватории окислительные и восстановительные условия могут чередоваться во времени.

Таблица 1. Средние концентрации загрязняющих веществ (мг/л) в верхней части Камского водохранилища поданным в Росгидромет [37].

№ проб	Валовое содержание элементов в пробах, мг/кг сухой массы												
	Ni	Co	Cr	Mn	V	Cu	Zn	Pb	As	Sb	Ba	Sr	Zr
1	18	18	18	4000	50	40	60	20	10	30	700	700	50
2	100	30	180	1000	300	150	180	20	0	0	1000	300	180
3	70	18	300	1000	100	70	90	30	0	0	900	400	500
4	40	15	50	600	100	60	60	10	0	0	700	400	150
5	100	30	400	2000	200	70	150	20	0	30	700	400	400
6	90	20	300	3000	180	90	100	30	0	0	600	300	500
7	90	30	300	5000	200	70	100	20	0	30	500	300	400
8	70	30	300	7000	300	70	100	30	0	30	500	300	400
9	70	20	300	7000	200	90	180	30	0	0	700	200	150
10	2000	100	5000	5000	150	90	150	20	0	0	500	100	150
11	2000	100	5000	4000	150	70	90	15	0	30	400	100	150
12	200	40	1500	5000	300	100	200	40	100	30	600	150	400
13	40	20	100	3000	100	70	90	20	0	30	700	200	200
14	100	30	300	4000	300	100	200	40	100	30	700	200	300
15	300	40	1500	5000	200	100	180	30	0	30	700	200	300
16	90	20	180	1000	180	90	100	30	0	0	700	200	500

Возможно влияние антропогенного фактора поспособствовало увеличению роста загрязненности водного объекта в течении длительного времени.

Это могло привести к появлению двух хлоридных районов в Усть-Качке и Воткинской ГЭС. Данное обстоятельство диктует насущную необходимость организации системы биогеохимического мониторинга на базе рассмотренного объекта с целью контроля за развитием ситуации, ее углубленного изучения с оценкой состояния биотических компонентов и разработкой мер по предотвращению возможных негативных последствий [37].

Загрязнение вод Воткинского водохранилища, с одной стороны, носит транзитный характер, так как с водами Камского водохранилища поступает много вредных веществ, а с другой, связано с интенсивным сбросом сточных вод от предприятий, расположенных вдоль водохранилища. К основным загрязняющим продуктам относятся нефтепродукты, фенолы, сульфаты, хлориды. Высокое содержание в водах Камы железа, меди и марганца связано не только с гидрохимическими особенностями реки, но и с поступлением со сточными водами предприятий [2]. Будучи частью хозяйственного объекта, оно подвергается серьезному антропогенному влиянию. Но больше всего загрязнений приходит из сточных вод и, скорей всего, из реки Камы, которая также подвержена загрязнению из сточных вод (70%- отходы ЖКХ).

Таким образом, Воткинское водохранилище характеризуется сезонной динамикой химического состава вод (гидрокарбонатные формации весной, хлоридно-кальциевые летом, зональное разделение зимой) и наличием двух типов донных отложений (окислительные и восстановительные илы). Несмотря на «транзитный характер» загрязнения вод Воткинского водохранилища, факты загрязнения и даже его увеличения все же есть, это замечено было другими исследователями. Это оказывает негативное влияние в первую очередь на реку Каму, где находится само водохранилище. Антропогенное влияние (промышленные стоки, транзит загрязнений из Камского водохранилища, ЖКХ-отходы) приводит к росту концентрации нефтепродуктов, фенолов, сульфатов, хлоридов, Fe, Cu, Mn. Формирование хлоридных районов (Усть-Качка, Воткинская ГЭС) требует внедрения системы биогеохимического мониторинга для контроля загрязнения и минимизации экологических рисков. Рис.2.

1.3. Выводы к первой главе

Воткинское водохранилище, созданное в 1961–1964 гг. в результате возведения плотины Воткинской ГЭС на р. Каме, представляет собой природно-техногенный комплекс, выполняющий мультифункциональную роль в экономике и экосистемах Пермского края. Его ключевые функции включают: гидроэнергетику, судоходство, водоснабжение, рыбохозяйственную деятельность. Гидрологический режим характеризуется сезонным регулированием стока с пиковым наполнением в весенний период и постепенной сработкой уровня в меженные фазы. Основной источник водного питания (90–92%) — транзитные воды Камского водохранилища,

тогда как боковая приточность и атмосферные осадки вносят минимальный вклад. Гидрохимический режим соответствует гидрокарбонатному классу вод, однако отличается сезонной и зональной вариабельностью. Наибольшее воздействие на химический состав оказывают: антропогенная нагрузка (промышленные и коммунальные стоки) и трансграничный перенос загрязняющих веществ из вышерасположенного Камского водохранилища. Устойчивое функционирование водохранилища как экосистемы и ресурсной базы возможно лишь при интеграции природоохранных стратегий в региональные программы развития.



Рис.2.Схема-план Воткинского водохранилища. Фото из открытых источников.

ГЛАВА 2. ЗООПЛАНКТОН И ИХТИОФАУНА ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И АНТРОПОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ

2.1. Структура и динамика зоопланктонных сообществ Воткинского водохранилища

Мониторинг состояния сообщества проводит Пермский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ПермНИРО). Показано, что обилие зоопланктона р. Камы отличается большими колебаниями год от года. В 2014–2019 гг. в Камском водохранилище обнаружено 100 видов, в Воткинском – 69, в обоих водоемах – 106 видов. Большую часть из них (40–45%) составляли Rotifera, на долю Cladocera приходилось 35–40%, Copepoda – <20%. Видовая плотность (число видов в пробе) была высокой во все годы наблюдений. В пробах из пелагиали Воткинского обнаруживали в среднем – 18 ± 3 вида. В период 2012–2014 гг. были выявлены не указанные в обзорном списке семь видов коловраток *Keratella serrulata*, *Notholca acuminata*, *Euchlanis lyra* Hudson, 1886, *Mytilina mucronata*, *Synchaeta oblonga* Ehrenberg, 1831, *S. stylata* Wierzejski, 1893, *Filinia brachiata*– и два вида ракообразных *Alonella nana* и *Plyocryptus agilis* Kurz, 1878. В Воткинском регистрировали четыре вида: *E. lyra*, *Notholca acuminata*, *Synchaeta oblonga* и *Alonella nana*. Повсюду в пелагиали Воткинского водохранилища почти ежегодно были многочисленны коловратки *Euchlanis dilatata lucksiana* (15–95% Nrot) и *Kellicottia longispina* (10–80% Nrot). Среди ракообразных преобладали копеподы *Mesocyclops leuckarti* (30–80% Ncr) и *Thermocyclops crassus* (10–35% Ncr), которые в сумме формировали до 75% Ncr. В отдельные годы (2014–2015 гг.) массовым видом была *Daphnia galeata* (25–26%). В пелагиали Воткинского водохранилища летом 2014–2019 гг. численность зоопланктона варьировала в пределах 13–107, в среднем 76 ± 15 тыс. экз./м³, биомасса составляла 0.1–1.4, в среднем 1.0 ± 0.2 г/м³. Наибольший вклад в численность сообщества вносили копеподы (~60%) и коловратки (>25%), биомассу формировали в основном кладоцеры (~80%). Соотношение численности основных таксонов зоопланктона год от года во всех трех участках водоема было нестабильным, варьировал не только вклад коловраток, но и доля копепод. Вариации структуры биомассы определялись преимущественно колебаниями обилия Cyclopoidea. Количество велигеров моллюсков рода *Dreissena* в Воткинском водохранилище (в среднем 4.0 ± 0.5 тыс. экз./м³) было в 4 раза выше по сравнению с Камским, однако их биомасса не превышала 0.01 г/м³. Анализ динамики биомассы зоопланктона Воткинского водохранилища за 54 года показал, что наблюдались значительные межгодовые колебания во все периоды исследований, а также четкая тенденция к росту биомассы в современный период. См. Таблица 2 [31].

Таблица 2. Численность (тыс. экз./м³) и биомасса (г/м³) зоопланктона Камского водохранилища в 2014–2019 гг. [31].

Таксон	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Пелагиаль						
Cladocera	10±30.78±0.23	13±61.21±0.42	4±10.45±0.16	14±31.26±0.45	5±20.74±0.26	1.0±0.50.06±0.02
Cyclopoida	33±90.12±0.03	36±150.11±0.04	79±120.28±0.02	36±140.10±0.02	67±120.15±0.02	4±10.02±0.01
Calanoida	1.0±0.10.02±0.001	2.0±0.50.06±0.02	2±0.50.04±0.01	3±10.06±0.01	2±0.50.05±0.02	1±0.50.02±0.01
Rotifera	12±50.01±0.001	34±80.04±0.01	20±40.03±0.01	20±60.02±0.01	26±100.02±0.01	6±10.01±0.01
<i>N_{zoo}/B_{zoo}</i>	60±180.93±0.26	95±321.42±0.49	107±180.80±0.19	74±241.44±0.49	105±250.98±0.30	13±20.11±0.03
<i>Dreissena veliger</i>	5±20.01±0.01	9±40.01±0.01	2±10.01±0.01	1.0±0.50.01±0.001	5±20.01±0.01	1.0±0.50.01±0.001
Литораль						
Cladocera	29±152.97±1.51	32±131.29±0.64	39±131.02±0.15	36±91.43±0.40	10±30.43±0.09	1.0±0.10.02±0.01
Cyclopoida	73±260.24±0.1	46±170.10±0.03	113±180.42±0.11	55±150.11±0.03	68±160.14±0.04	3.0±0.30.01±0.001
Calanoida	5±20.12±0.05	36±190.13±0.05	2.0±0.50.05±0.01	3±10.08±0.04	3±10.05±0.02	2.0±0.30.04±0.01
Rotifera	64±170.04±0.03	80±170.12±0.03	107±440.11±0.05	36±100.06±0.01	50±200.05±0.02	11±50.01±0.01
<i>N_{zoo}/B_{zoo}</i>	177±603.38±0.72	200±611.65±0.72	262±391.61±0.20	140±361.67±0.43	134±370.67±0.17	18±50.08±0.01
<i>Dreissena veliger</i>	6±2<0.01	7±2<0.01	2.0±0.50.31±0.18	10±30.01±0.01	4±2<0.01	1.0±0.2<0.01

Качественный состав донных отложений является важнейшим фактором экологического состояния окружающей среды, поскольку определяет величину депонирования загрязняющих веществ, а также масштабы и скорость их поступления в водные массы и биоту. Изучение радиальной дифференциации состава ДО водохранилищ позволяет получить данные об истории (продолжительности и темпах) осадконакопления, количестве и динамике

химических элементов в наносах, осуществить прогноз потенциального ухудшения качества воды в будущем, послужить отправной точкой для будущих исследований [18]. Наименьшая биомасса зоопланктона отмечена в верхнем районе водохранилища, в среднем и приплотинном районах ее величины примерно одинаковы. В распределении отдельных групп зоопланктеров отмечается следующее: максимальный уровень развития коловраток зарегистрирован в верхнем районе, тогда как биомасса ветвистоусых ракообразных возрастает к приплотинному району, таблица 3,4 [16].

Таблица 3. Изменение биомассы зоопланктона в зависимости от местоположения в водохранилище [13].

Районы	Коловратки	Кладоцеры	Копеподы	Всего
Верхний	1.74	12.71	148.93	163.38
Средний	0.85	71.06	458.75	530.66
Приплотинный	0.70	144.18	332.95	477.83
В среднем по водохранилищу	1.10	75.98	313.54	390.62

Таблица 4. Изменение численности бентоса в зависимости от местоположения в водохранилище [20].

Группы	Верхний	Средний	Приплотинный	В среднем по водоему
Олигохеты	0.88	2.68	0.93	1.5
Брюхоногие моллюски	44.70 (0.12)	9.0	0.07	17.92 (0.06)
Двустворчатые моллюски	70.8 (0.3)	98.67 (9.98)	62.97 (5.42)	72.24 (5.23)
Ракообразные	5.53	1.55	0.1	2.39
Ручейники	0.54	0.09	-	0.21
Хирономиды	0.85	1.01	0.94	0.93
Прочие	0.03	0.09		0.04
Всего зообентоса	123.33 (8.24)	113.05 (15.31)	65.01 (7.46)	100.45 (10.32)

Таким образом, многолетний мониторинг зоопланктона Воткинского водохранилища выявил положительную динамику численности и биомассы сообществ, сопровождаемую значительными межгодовыми колебаниями. За период 2014–2019 гг. зафиксировано обогащение таксономического состава за счет обнаружения ранее не регистрируемых видов коловраток (*Keratella serrulata*, *Notholca acuminata* и др.) и ракообразных (*Alonella nana*, *Pliocryptus agilis*), что свидетельствует о процессах вселения аллохтонных видов и адаптивной перестройке экосистемы. Антропогенный прессинг оказывает модулирующее влияние на сообщества, усиливая вариабельность соотношения таксонов и способствуя интродукции устойчивых к загрязнению видов (напр., *Dreissena spp.*). Рост биомассы зоопланктона в современный период, на фоне увеличения

численности велигеров моллюсков, подчеркивает необходимость комплексного мониторинга, включая оценку донных отложений как депо загрязняющих веществ, для прогнозирования экологических рисков и разработки мер по сохранению биоразнообразия.

2.2. Рыбные сообщества Воткинского водохранилища: пространственно-временная организация

К настоящему времени в Воткинском водохранилище известно 35 видов рыб. Наиболее многочисленны и широко распространены в водоёме лещ, чехонь, плотва, густера, судак, окунь, уклея, пескарь, ерш, елец. Обычны щука, жерех, язь, синец, голавль, налим, сом, белоглазка, голавль, головешка-ротан, единичны - сазан, подуст, таймень и стерлядь. В прибрежье обитает щиповка, в пелагиали крупных заливов – тюлька. Из пойменных и придаточных водоёмов попадают линь, краснопёрка, серебряный и золотой караси, вьюн. В устьях небольших притоков встречаются речной голянь, голец, бычок-подкаменщик и хариус. В приплотинном районе отмечен проникший сюда из Каспия бычок кругляк, по сведениям рыбаков там же появилась и игла-рыба. В Красную Книгу РФ занесены стерлядь Верхней и Средней Камы, европейская популяция тайменя, бычок-подкаменщик [1].

Данный район густозаселен, некоторые виды занесены в Красную Книгу (таймень). Многие виды рыб либо выращиваются, либо вылавливаются.

Ихтиофауна здесь носит транзитный характер, поскольку данный участок является, в первую очередь, миграционным путем поднимающихся и скатывающихся рыб, останавливаемых плотиной Воткинской ГЭС. В связи с этим состав ихтиофауны отличается особым динамизмом. В разные сезоны года и отдельные периоды, иногда даже в различное время суток видовой состав и распределение рыб могут существенно меняться [16]. По результатам наших многолетних исследований ихтиофауна р. Камы ниже плотины Воткинской ГЭС в настоящее время включает 29 видов, относящихся к 11 семействам, входящих в 8 отрядов. Чаще всего в уловах встречались лещ и судак ($P > 50\%$), окунь, язь и стерлядь встречались чуть реже ($P = 25-50\%$), обычными ($P = 5-25\%$) были плотва, чехонь, белоглазка, жерех, налим, щука, ерш, сом, серебряный карась, елец и синец. Такие виды, как голавль, уклея, берш, микижа, тюлька, сазан, подуст, красноперка, бычок-кругляк, муксун и европейский хариус встречались значительно реже, или их поимки были единичными ($P < 5\%$). Наличие таких видов, как сазан, муксун и микижа (радужная форель), не характерных для Средней Камы, но эпизодически встречающихся в уловах, связано с нижележащими садковыми хозяйствами, занимающимися рыборазведением, в процессе работы которых часть выращиваемой рыбы, попадает в реку. Также стоит отметить наличие на данном участке такого вида, как таймень.

Эпизодические поимки данного вида браконьерами и рыбаками-любителями могут свидетельствовать о том, что в Нижнекамском водохранилище сохранилась немногочисленная популяция этого вида [14]. Таким образом, из 42 видов, характерных для Средней Камы, в нижнем бьефе Воткинской ГЭС встречается 27 видов, из которых постоянно обитает 20, а другие встречаются в лишь определенное время года, или эпизодически [20]. Ихтиофауна состоит из 7 фаунистических комплексов или генетически однородных групп видов, связанных общим происхождением: понто-каспийский пресноводный, бореальный равнинный, бореальный предгорный, верхнетретичный равнинный комплекс, арктический пресноводный, понто-каспийский морской и китайский равнинный. Представителями понто-каспийского пресноводного комплекса являются лещ, синец, белоглазка, густера, красноперка, жерех, укляя, голавль, подуст, чехонь, верховка, быстрянка. Бореальный равнинный фаунистический комплекс сложился в условиях резких сезонных изменений климата и содержит в настоящее время небольшое число видов рыб, связанных в своем становлении с водоемами в равнинных участках Палеарктики. Из представителей бореального равнинного комплекса в Воткинском водохранилище обитают: щука, карась золотой и серебряный, плотва, язь, елец, пескарь, озерный голянь, линь, щиповка, окунь, ерш. Бореальный предгорный комплекс в настоящее время представлен лишь 2 видами – голец и бычок-подкаменщик. Древний верхнетретичный равнинный комплекс состоит из 6 видов – стерлядь, сазан, сом, вьюн, судак, берш. Понто-каспийский морской фаунистический комплекс включает такие виды как тюлька, рыба-игла, бычок-кругляк. Китайский равнинный комплекс в Воткинском водохранилище представляет головешка-ротан. Арктический пресноводный фаунистический комплекс - налим [8].

Таким образом, помимо того, что существуют деление на регионы в Воткинском водохранилище, со своими определенными видами (Бореальный равнинный-щука, ерш; Арктический пресноводный фаунистический комплекс-налим). Бореальный равнинный самый богатый по числу видов. Как и в случае с бентосом в уловах рыб обнаружены виды, которые редки или единичны.

Ихтиофауна водоема отличается разнообразием (35 видов рыб), включая как аборигенные, так и интродуцированные виды. Однако из-за зарегулирования стока плотиной ГЭС она носит транзитный и динамичный характер, что влияет на миграции и распределение рыб. Особую ценность представляют редкие виды, занесенные в Красную книгу РФ (стерлядь, таймень, бычок-подкаменщик), чье состояние требует мониторинга и охраны. Зоопланктон и бентос водохранилища демонстрируют тенденцию к росту биомассы, что может быть связано как с естественными процессами, так и с эвтрофикацией. Обнаружение новых для водоема видов коловраток и

ракообразных указывает на изменения в экосистеме, вероятно, вызванные климатическими и антропогенными факторами.

Таким образом, Воткинское водохранилище остается важным водохозяйственным объектом, но его устойчивое использование требует комплексного подхода, сочетающего экологическую безопасность и рациональное природопользование.

Воткинское водохранилище обладает богатой и разнообразной ихтиофауной, представленной 35 видами рыб, относящимися к 7 фаунистическим комплексам. Наиболее многочисленными являются лещ, судак, плотва, окунь, чехонь и густера, тогда как стерлядь, таймень и бычок-подкаменщик, занесенные в Красную книгу РФ, встречаются редко и требуют особой охраны. Зоопланктон водохранилища характеризуется высокой видовой плотностью (в среднем 18 видов в пробе), с преобладанием коловраток (40–45%) и ветвистоусых ракообразных (35–40%). Наблюдается тенденция к росту биомассы зоопланктона, что может быть связано как с естественными процессами, так и с антропогенной эвтрофикацией. В последние годы обнаружены новые для водоема виды коловраток и ракообразных, что свидетельствует об изменениях в экосистеме.

Ихтиофауна водохранилища имеет транзитный характер, поскольку оно служит миграционным коридором для рыб, перемещающихся через плотину ГЭС. Это приводит к динамичным изменениям видового состава в зависимости от сезона. Также отмечается появление интродуцированных видов (например, бычок-кругляк, рыба-игла), что связано с деятельностью человека.

Таким образом, ихтиоценоз Воткинского водохранилища представляет собой сложную и изменчивую систему, находящуюся под влиянием как природных, так и антропогенных факторов. Для сохранения биоразнообразия и устойчивого рыбного хозяйства необходим регулярный мониторинг, охрана редких видов и контроль за интродукцией чужеродных видов.

2.3. Вывод к второй главе

Воткинское водохранилище представляет собой уникальный ихтиокомплекс, объединяющий 35 видов рыб, относящихся к 7 фаунистическим комплексам, что отражает разнообразие экологических ниш и историко-генетических связей. Доминирующую роль играют представители понто-каспийского пресноводного (лещ, судак, густера) и бореального равнинного (щука, плотва, окунь) комплексов. При этом редкие и охраняемые виды (стерлядь, таймень, бычок-подкаменщик), занесенные в Красную книгу РФ, демонстрируют критически низкую численность, что требует усиления мер их защиты. Зоопланктонное сообщество характеризуется высокой таксономической

плотностью (18 ± 3 вида/пробу) с доминированием коловраток (Rotifera) и клadoцер (Cladocera). Наблюдается тенденция к росту биомассы, обусловленная как естественными циклами, так и эвтрофикацией, усиленной антропогенной нагрузкой. Обнаружение новых для водоема видов (*Keratella serrulata*, *Polydora agilis*) свидетельствует о перестройке экосистемы под влиянием климатических и техногенных факторов. Транзитный характер ихтиофауны, обусловленный зарегулированием стока плотиной Воткинской ГЭС, приводит к динамичной сезонной и суточной изменчивости видового состава. Миграционные барьеры способствуют фрагментации ареалов и сокращению популяций проходных видов. Отмечена интродукция аллохтонных видов (бычок-кругляк, рыба-игла, ротан), связанная с антропогенной деятельностью (садковые хозяйства, балластные воды), что создает риски биологических инвазий.

ГЛАВА 3. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА: ТРАНСФОРМАЦИЯ ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ И РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ И РИСКИ

3.1. Экологические последствия загрязнения тяжелыми металлами и биогенными элементами Воткинского водохранилища

Величина общей минерализации и главных ионов химического состава вод во всех частях водохранилища и во все фазы его водного режима находится в норме. Превышение норм ПДК по аммонийному азоту отмечено в большей части водохранилища в период зимней сработки (в 1,1–1,8 раза). В эту же фазу водного режима отмечалось превышение предельно-допустимых концентраций по нитритному азоту (в 2 раза) в районе г. Перми; по общему железу (в 3–9 раз), по меди (в 2–5 раз), по марганцу (в 12–20 раз, увеличиваясь у г. Перми до 40 раз), цинку (в 1,5–2,0 раза), фенолам (в 1,5–2,0 раза) – в целом по всему водоему. В период весеннего наполнения водохранилища наблюдалось превышение предельно-допустимых концентраций в целом по водоему: по Feобщ – в 3–7 раз, по Cu – в 2–4 раза, по Mn – в 5–8 раз, по ХПК – в 1,8–3,2 раза. В летне-осенний период по всему водохранилищу отмечено превышение ПДК: по Feобщ – в 1,2–3,1 раза, Cu – в 3–5 раза [11].

Анализ среднесезонных величин азота аммонийного показал, что на Камском и Воткинском водохранилищах средние концентрации одинаковы и составляют 0,17 мг/л, на Нижнекамском водохранилище 0,12 мг/л. Превышений ПДКр.х по данному показателю на камских водохранилищах нет (0,30–0,43 ПДКр.х). Средний за многолетний период годовой сток азота аммонийного составил на Воткинском водохранилище 572 т/год [32]. Изменчивость концентраций азота аммонийного высокая ($C_v=0,94–1,01$). Содержание ионов аммония в водах исследуемых водохранилищ имеет схожие концентрации (0,32–0,33 мг/л) и составляет 0,64–0,66 ПДКр.х. Основными источниками поступления ионов аммония в водные объекты являются животноводческие фермы, хозяйственно-бытовые сточные воды, поверхностный сток с сельхозугодий, а также сточные воды предприятий пищевой, лесохимической и химической промышленности. Изменчивость данного элемента на Воткинском водохранилищах небольшая $C_v=0,62–0,66$. Концентрации фосфатов (0,02 мг/л) практически не отличаются на разных водохранилищах каскада, превышений ПДКр.х. нет. К естественным источникам поступления фосфатов относят процессы выветривания и растворения пород, а также процессы биологической переработки остатков животных и растительных организмов. Антропогенные источники поступления фосфатов – это сельское хозяйство (смыв фосфорсодержащих удобрений с полей), хозяйственно-бытовые стоки (поступление синтетических моющих средств) и другие сточные воды предприятий. Изменчивость годового стока фосфатов небольшая $C_v=0,44–0,50$.

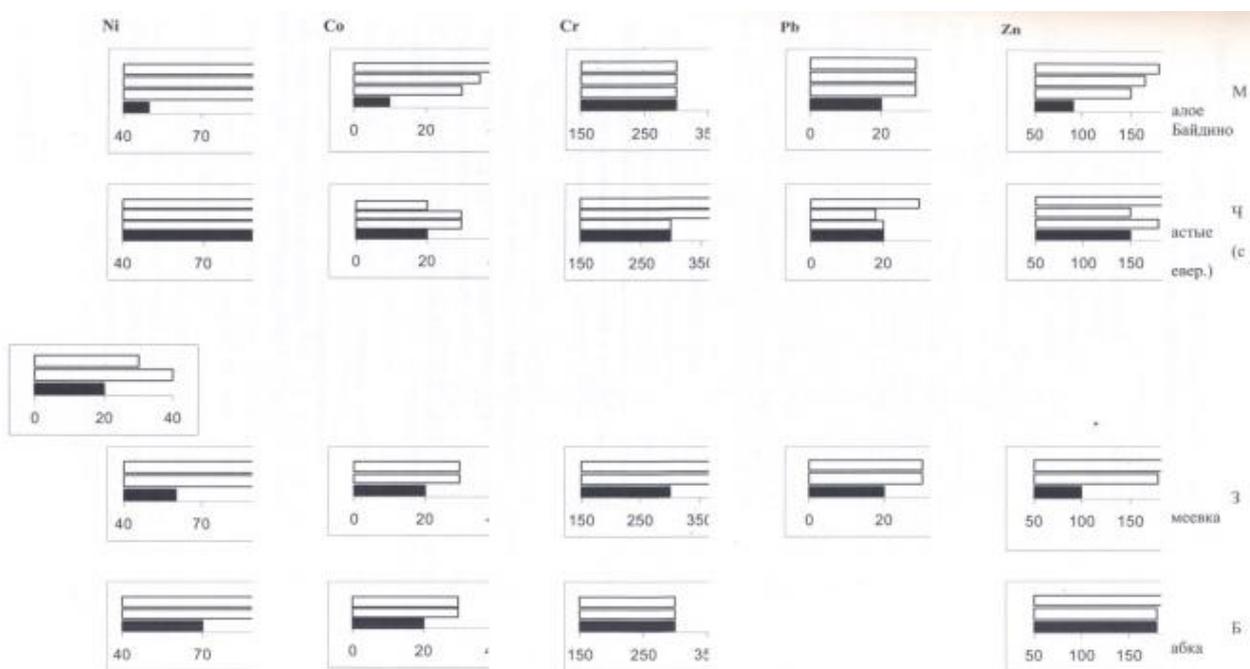
Концентрации железа общего на камских водохранилищах изменяются в пределах 0,13–0,34 мг/л, что превышает ПДКр.х. в 1,3–3,4 раза. Анализ концентраций нитратов и нитритов по длине Камского каскада показал их увеличение в 2–4 раза от Камского водохранилища к Нижнекамскому водохранилищу. Более высокие концентрации нитратов и нитритов в водах Нижнекамского водохранилища объясняются увеличением площадей сельскохозяйственной угодий. Концентрации железа общего на камских водохранилищах превышают ПДКр.х. в 1,3–3,4 раза. По длине водохранилищ Камского каскада выявлена следующая закономерность: наибольшая изменчивость биогенных элементов отмечается на Воткинском водохранилище, имеющем высокую проточность и принимающем большое количество сточных вод г. Перми, наименьшая на Нижнекамском водохранилище. Наименьшая изменчивость у фосфатов ($C_v=0,44-0,50$), наибольшая у нитратов ($C_v=0,25-1,82$). Возможно, данная тенденция снижения концентраций и коэффициентов вариации железа говорит о том, что главный источник этого элемента находится на водосборе Камского водохранилища. См. на таблицу 16. Примечание: К – Камское водохранилище, В – Воткинское водохранилище, Н – Нижнекамское водохранилище [36].

Таблица 16. Средние величины концентраций биогенных веществ (мг/л), превышений ПДКр.х. ($C_i/ПДКр.х.$), годового стока биогенных элементов (тонны) и коэффициентов вариации (C_v) за многолетний период [36].

Показатели	ПДК	мг/л			$C_i/ПДКр.х.$			C_v		
		К	В	Н	К	В	Н	К	В	Н
Азот аммонийный	0,4	0,17	0,17	0,12	0,43	0,43	0,30	0,94	1,01	1,01
Азот нитритов	0,02	0,012	0,012	-	0,60	0,60	-	0,89	0,96	
Азот минеральный	-	0,16	0,18	-	-	-	-	1,05	0,13	
Аммоний-ион	0,5	0,32	0,33	0,33	0,64	0,66	0,66	0,62	0,66	0,17
Нитраты	40	0,78	1,03	1,76	0,020	0,026	0,044	1,66	1,82	0,25
Нитриты	0,08	0,008	0,01	0,028	0,10	0,13	0,35	0,65	0,83	0,36
Фосфаты	0,2	0,020	0,020	0,020	0,10	0,10	0,10	0,44	0,50	0,46
Железо общее	0,1	0,34	0,27	0,13	3,4	2,7	1,3	0,67	0,61	0,30

Возможно анализ было тяжело проводить из-за инцидента в 2023 год, когда вода в Воткинском водохранилище достигла небывалого минимума приток составил ниже нормы в 2,5 раза, что привело к обмелению рек в Добрянском округе были отменены все рейсы парома СП-2 по маршруту Добрянка — Сенькино — Добрянка, поставив под угрозу местное судоходство и обмелению даже Камского водохранилища, как сообщал «Коммерсантъ» в прошлом году [17].

Таблица.5. Вертикальное распределение концентраций тяжелых металлов в колонках донных грунтов Воткинского водохранилища (черным цветом обозначено содержание ТМ в первичном грунте, белым цветом - в вышележащих горизонтах илов) [29].



Среди загрязняющих веществ, определяющих качество воды, особое место занимают микроэлементы и тяжелые металлы (ТМ), которые при определенных концентрациях становятся одними из наиболее сильных токсикантов, оказывающих неблагоприятное воздействие на живые организмы. Содержание меди превышает КПВ, а ее максимальное содержание (400 мг/кг) в 2.6 раза больше соответствующей КВВ (149 мг/кг). Концентрации цинка варьируются от 150 до 300 мг/кг, значительно водохранилища отличается большим разнообразием. На таблице. 5 показана вертикальная дифференциация ряда тяжелых металлов в 4 колонках донного грунта, отобранных в пределах разных съемочных профилей. По причине пространственной неоднородности мощности иловых отложений горизонты илов показаны безотносительно к их мощности для удобства сравнения колонок между собой. Полученные данные свидетельствуют о том, что первичные грунты, как правило, характеризуются меньшим содержанием тяжелых металлов, чем перекрывающие их иловые отложения, за исключением хрома, содержание которого в некоторых колонках примерно одинаково. Характер вертикального распределения ТМ различается от профиля к профилю. Так, верхние горизонты илов на всех профилях характеризуются более высоким содержанием цинка по сравнению с нижележащими. Похожая картина наблюдается также для никеля и кобальта (профиль «Малое Байдино») и свинца (профиль «Частые»). Возможно, это

связано с увеличением или изменением характера антропогенной нагрузки на водоем в последние годы. См. Таблица 6.

Таблица.6. Среднее содержание микроэлементов в иловых отложениях Воткинского водохранилища и кларки их концентрации (КК) [29].

Химический элемент	Содержание, мг/кг сухой массы			Руководство по Оценке качества ДО, мг/кг	
	Мин.	Средн.	Макс.	КПВ	КВВ
Ag	0,09	1,18	10	-	-
As	0	-	от 70 до 100	9,79	33,0
Ba	500	642	900	-	-
Be	2	4,08	6	-	-
Bi	0	0,53	1	-	-
Co	18	27	40	-	-
Cr	200	317	400	43,4	111
Cu	90	125	400	31,6	149
Ga	15	18	20	-	-
Ge	0	0,64	1,5	-	-
Li	15	21	30	-	-
Mn	1800	5800	10000	-	-
Mo	1	1,48	1,8	-	-
Nb	18	21	30	-	-
Ni	70	99	150	22,7	48,6
Pb	18	29	40	35,8	128
Sb	0	18	30	-	-
Sc	15	23	30	-	-
Sn	3	4,86	10	-	-

Sr	100	173	400	-	-
Ti	5000	7667	9000	-	-
V	200	328	400	-	-
W	0	1,39	9	-	-
Y	50	59	70	-	-
Yb	5	6,06	7	-	-
Zn	150	216	300	121	459
Zr	200	342	600	-	-

Кроме того, что азот и фосфор, накапливаясь в водоеме, вызывают его цветение, разнообразные соединения азота и фосфора оказывают вредное воздействие на гидробионты и здоровье человека. Основные показатели качества воды по химическим и гидробиологическим показателям Воткинского пруда за июнь – сентябрь 2018 г. представлены в таблице 7. На основе этих данных (таблиц 7 и 8) можно отметить, повышение концентрации взвешенных веществ и ХПК в сентябре 2018 г. Отмирание большей части биомассы водных организмов в конце вегетационного сезона в первую очередь привело к повышению значений содержания взвешенных веществ и показателя ХПК в поверхностных слоях воды, но в то же время слабо повлияло на изменение показателя БПК [23]. В летнее время года водохранилище подвергалось сильному антропогенному влиянию, чем в сентябре. На этот рост повлияло еще отмирание некоторых представителей бентоса и мелких рачков. Основным фактором, определяющим биологическую продуктивность водоемов и, как следствие, интенсивность процессов эвтрофирования, является содержание биогенных элементов, в первую очередь содержание фосфора. Связано это с чрезвычайной важностью этого элемента для биологических процессов, что находит свое отражение в известном стехиометрическом соотношении – коэффициенте Редфилда, согласно которому соотношение концентраций основных биогенных элементов в фитопланктоне является следующим: по числу атомов O:C:N:P = 212:106:16:1, по молярному весу O:C:N:P = 109:41:7,2:1. Для нашего случая (основываясь на данных, полученных с Воткинского пруда) соотношение концентраций основных биогенных элементов по молярному весу составляет O:C:N:P = 8:0,47:14,2:1.

Таблица 7. Данные экологического мониторинга Воткинского пруда за период июнь – сентябрь 2018 г. [23].

Наименование показателя	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	ПДКрх
-------------------------	------	------	--------	----------	-------

БПК ₅	4,46	5,49	5,17	2,71	2,1
Взвешенные вещества	5,8	2,45	8,1	52,4	0,75фон
ХПК, мгО/дм ³	21,9	31,9	25,6	24,8	30
Нитрат-ион	0,513	0,41	0,186	1,4	40
Нитрит-ион	0,02	0,02	0,086	0,0446	0,08
Фосфат-ион	0,05	0,05	0,05	0,058	0,61
Аммоний-ион	0,0146	0,1	0,125	0,79	0,5
Кислород растворенный	11,9	13,8	10,5	9,6	Не<4

Таким образом, в фотическом слое на каждый миллиграмм фосфора, используемого в процессе фотосинтеза, приходится 14,2 мг азота. Так как отношение концентрации азота к концентрации фосфора превышает 7,2, можно говорить о том, что фосфор является лимитирующим элементом [30]. На основе данных, полученных при изучении состава воды Воткинского пруда, можно сделать вывод, что водохранилище так же, как и многие другие поверхностные водоемы, страдает от сине-зеленых водорослей [23].

Таблица 8. Сезонная динамика среднего содержания взвешенных веществ и средних значений показателей ХПК в Воткинском водохранилище за июнь – сентябрь 2018 г. [12].



Более того было выявлено наличие загрязняющих веществ у рыб, так окунь из верхней части Воткинского водохранилища – от 120,1 до 147,8 тыс./1 мкл (в различные годы и сезоны) и из средней части Воткинского водохранилища – 132,0 тыс./1 мкл. При сезонном анализе гематологических показателей окуня из верхней части Воткинского водохранилища выявлено, что наибольшее количество лейкоцитов характерно для весенней пробы в основном за счет увеличения лимфоцитов и нейтрофилов. Причем максимум биогенных веществ наблюдается в весенний, минимум – в летний период. Процентное содержание форменных элементов крови может меняться в зависимости от стадии зрелости гонад и функционального состояния рыб, что показано таблица 8 [12]. Таким

образом, наибольшее количество лейкоцитов и нейтрофилов характерно лишь для летнего периода развития рыб. С течением роста организма увеличивается и устойчивость к загрязнению.

В итоге, мы видим колебания в Воткинском водохранилище на протяжении последнего десятилетия. Хотя данные редко обновлялись, содержание тяжелых металлов обнаружено у некоторых видов рыб и нарушают ПДК для них, водоем стал страдать от сине-зеленых водорослей в силу увеличения фосфора. Загрязнения создали благоприятную среду с каждым годом было замечено увеличение донных организмов и бентоса в данном водоеме. Но что насчет влияния на рыбохозяйственную часть и улова водных биоресурсов? Воткинское водохранилище испытывает значительное антропогенное воздействие, что проявляется в систематическом превышении ПДК по ряду загрязняющих веществ. Наиболее критичными являются: Тяжелые металлы (медь, железо, марганец, цинк, свинец) – их концентрации в воде и донных отложениях превышают допустимые нормы; Биогенные элементы (азот, фосфор) – способствуют эвтрофикации, провоцируя цветение воды и размножение сине-зеленых водорослей; Органические загрязнители (фенолы, ХПК) – их уровень возрастает в летне-осенний период, что связано с отмиранием водных организмов и антропогенными сбросами. Химический состав вод Воткинского водохранилища характеризуется нормальной общей минерализацией, однако в периоды зимней сработки и весеннего наполнения фиксируются системные превышения ПДК по ряду параметров: тяжелые металлы- цинк ($2 \times \text{ПДК}$), биогены- аммонийный азот ($1.8 \times \text{ПДК}$), органические токсиканты - фенолы ($2 \times \text{ПДК}$). Основные последствия загрязнения: ухудшение качества воды, особенно вблизи промышленных зон (г. Пермь); накопление токсинов в гидробионтах – у рыб (например, окуня) наблюдаются изменения гематологических показателей, что свидетельствует о хроническом стрессе из-за загрязнения; развитие сине-зеленых водорослей, что снижает кислородный режим и ухудшает условия обитания рыб; изменение донных экосистем – увеличение биомассы бентоса, но с доминированием устойчивых к загрязнению видов. Влияние на рыбное при употреблении загрязненной рыбы. Экстремальное обмеление 2023 года (приток ниже нормы в 2.5 раза) подчеркивает уязвимость экосистемы к климатическим и антропогенным стрессорам, требуя интеграции адаптационных мер в управление водными ресурсами.

3.2. Состояние рыбных запасов в Воткинском водохранилище: анализ и тенденции

Наиболее массовыми и широко распространенными видами в водохранилище являются: плотва, уклея, окунь, ерш, чехонь, тюлька, лещ, налим, щука, а также судак, язь, густера, красноперка, карась, сазан. Повсеместно

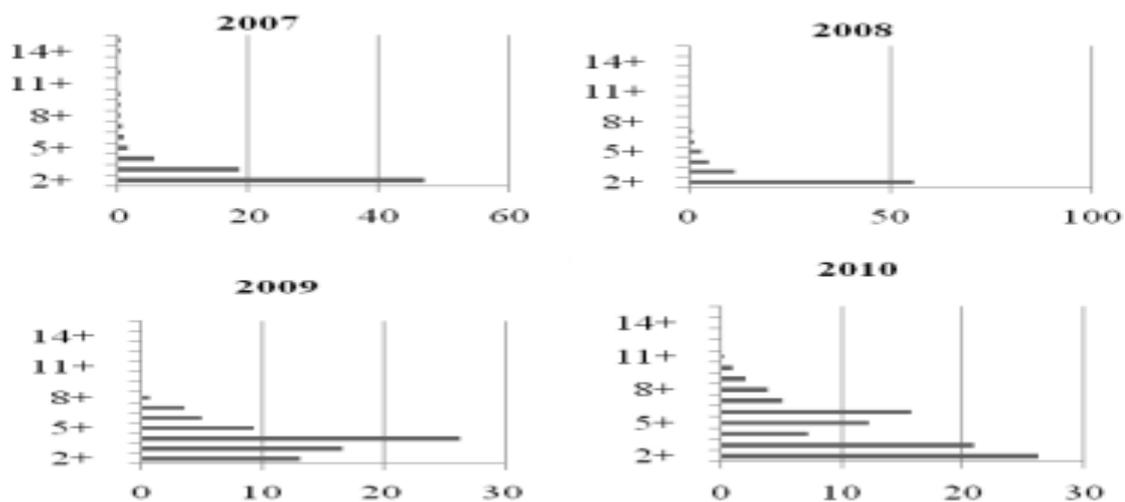
распространены, но немногочисленны шиповка, елец, вьюн. Более локально обитают два вида карасей и линь. На Воткинском водохранилище общее допустимый улов устанавливается на следующие виды: лещ, судак, щука, сом и стерлядь. На стерлядь ОДУ устанавливается только в последние годы и ведется лишь прогнозирование, так как до 2018 г. стерлядь Воткинского водохранилища была занесена в Красную Книгу Пермского края. Из видов, на которые не устанавливается ОДУ, доминирующими по массе являются: чехонь, плотва и жерех. На рис. 11 и 12 представлены возрастные пирамиды выборки леща, которые хорошо отражают возрастную структуру промыслового стада рыб, так как вылов проводился с использованием сетей с максимально широким разнообразием ячеи, и, как следствие, в уловах были представлены рыбы практически всех возрастных групп, начиная с 1+ лет. Возрастные пирамиды выборки рыб 2007–2010 годов, когда происходило увеличение промысла леща, отвечают возрастной структуре растущей или устойчивой по численности популяции. В уловах 2019 г. присутствуют рыбы возрастных групп с 0+ до 19+ лет, причем наиболее многочисленными являются особи младших возрастных групп, следовательно, промысел в рамках установленных ОДУ не наносит ущерб промысловому стаду леща в Воткинском водохранилище. Такую же картину мы наблюдаем у судака [8].

Таким образом, можно утверждать, что при данном уровне промысла на Воткинском водохранилище сохраняется нормальная структура стада рыб, их запасы не подрываются. ОДУ тщательно прогнозируется, чтобы не было сокращение численности и перелова рыбы.

Таблица 9. Динамика уловов основных промысловых видов рыб на Воткинском водохранилище, тонны [16].

Виды рыбы	Год								Итого
	2006	2007	2008	2009	2010	2013	2018	2019	
Виды, по которым определяются ОДУ									
Лещ	115	81	91	92	144	199	146	178	1047
Судак	11	10	13	16	21	41	47	52	211
Щука	2	1	4	2	7	1	18	17	54
Сом	4	4	4	5	7	8	7	9	48
Всего	133	96	111	116	179	250	219	256	1359

Таблица 10. Возрастные пирамиды уловов леща 2007–2010 гг., в % от численности [16].



Для нереста условия хорошие. Погодные условия можно характеризовать как благоприятные как для нереста, так и для развития молоди рыб, нерест щуки был растянутый без ярко выраженного пика он начался в апреле по сведениям рыбаков и продолжался до 23 мая, позднее отмечены только отнерестившиеся особи. Нерест окуня предположительно начался 6-7 мая до 23 мая (отмечена икра на сетях) и продолжался до 23 мая, после в уловах отмечены только отнерестившиеся особи, пика нереста отследить не удалось. У плотвы нерест начался 12-13 мая, когда отмечены первые текущие самки, массово плотва нерестилась 14-15 мая при температуре воды 11,5 С°, и нерест её закончился до 18 мая, после в уловах попадались только отнерестившиеся особи. В целом условия нереста на Воткинском водохранилище в мае-июне 2012-13 г., можно характеризовать как благоприятные, о чем свидетельствует преимущественно теплая тихая погода своевременный прогрев воды при быстром и равномерном затоплении нерестилищ, стабильный уровень воды после достижения НПУ. Благоприятные условия для нереста сохраняют численность многих видов рыб это помогает избежать спада в рыбохозяйственной деятельности данного региона [22]. По данным сетных уловов в составе ихтиофауны на мелководье приплотинного района и по численности, и по массе доминировала плотва (38,2 % и 49,9% соответственно), уклейка составила 32,9% численности и 14,9 % массы). На долю леща, окуня, жереха и судака приходилось от 2,1 до 8,2 % численности от 3,0 до 12,4% массы. Чехонь в уловах была представлена значительно только в период нереста с 5 – 12 июня, поэтому её относительная численность и масса на стандартную сетепостановку была невысокой. В уловах бреднем численно преобладала плотва многочисленным был лещ, часто попадали тюлька, уклейка и судак. По массе в уловах преобладал лещ, значительную массу обеспечивали судак, щука и плотва. Смотрите на таблицу 11.

Климатические условия влияют на нерест, они способствуют постоянству в улове рыбы и иногда ее выращиванию.

Таблица 11. Видовой состав рыб в уловах разными орудиями лова в нерестовый период 2012-2013 гг. [33].

Виды рыб	По набору ставных сетей		Бредень	
	N*, % шт.	B*, % кг	N*, % шт.	B*, % кг
Тюлька	-	-	17,67	0,20
Щука	0,15	2,36	1,49	15,08
Синец	<0,01	<0,01	-	-
Лещ	4,22	12,41	27,42	43,54
Белоглазка	<0,01	<0,01	-	-
Уклейка	32,89	14,93	5,44	0,96
Жерех	7,91	4,21	-	-
Густера	0,35	0,81	1,12	0,83
Карась	0,04	0,20	-	-
Голавль	0,01	0,04	-	-
Язь	1,18	0,70	3,19	1,33
Чехонь	2,26	2,95	-	-
Плотва	38,22	49,90	34,35	15,01
Красноперка	2,43	1,08	0,19	0,03
Гибрид	0,06	0,18	-	-
Судак	2,08	6,87	5,94	21,46
Окунь	8,19	3,03	2,86	1,56
Ерш	<0,01	<0,01	0,33	0,04
Сом	0,01	0,33	-	-
Всего	10791	5174	1138	212

В Воткинском водохранилище в пределах Пермского края в 2018 г., в сравнении с 2017 г., уловы незначительно снизились (на 2.3%) и составили 305 т. Снижение уловов рыбы в пределах Пермского края в 2018 г. произошло по синцу (на 13.9%), по язю (на 10.6%), по лещу (на 8.7%) и уклейке (на 2.0%). По остальным видам рыб уловы выросли. Наибольшее увеличение вылова произошло по налиму (на 15.3%), по жереху (на 15.1%), по судаку (на 10.7%), по сому (на 7.1%), по густере (на 5.8%), по уклейке (на 4.7%), по щуке (на 3.9%) и по плотве (на 2.1%). Уловы

чехони увеличились незначительно. Общий допустимый улов в данном водохранилище на 2020 год составил 39 тонн. Общие допустимые уловы (ОДУ) рыбы на 2020 г. для Воткинского водохранилища определены величиной 352.2 т, в том числе: в пределах Пермского края – 313.2 т (лещ – 211 т, судак – 61 т, щука – 30 т, сом – 11 т, стерлядь – 0.2 т), в пределах Удмуртской Республики – 39 т (лещ – 30 т, судак – 5 т, щука – 2 т, сом – 2 т), что показано на таблицу 12. Промышленное рыболовство в Пермском крае осуществляется на основании договоров о закреплении долей квот добычи (вылова) водных биологических ресурсов, в отношении которых устанавливается общий допустимый улов, а также на основании договоров пользования водными биоресурсами, общий допустимый улов которых не устанавливается. На Камском и Воткинском водохранилищах, а также на реке Каме ниже плотины Воткинской ГЭС промысел осуществляется на рыболовных участках (РЛУ), на Широковском водохранилище выделен один рыболовный участок, но промысел на нем не осуществляется. На прочих реках и озерах промысловое рыболовство может осуществляться без предоставления РЛУ в пользование, поскольку перечень рыболовных участков для осуществления рыболовства на прочих реках и озерах в административно-территориальных единицах Пермского края отсутствует [33].

Даже сейчас выловы таких рыб как: окунь, чехонь, уклея, сом и стерлядь остаются высокими, их снижение незначительное.

Таблица 12. Уловы рыбы в водных объектах Пермского края в 2018 г., тонн [33].

Виды водных биоресурсов	Озера	Реки			Водохранилища				Итого
		р. Кама ниже плотины Воткинской ГЭС	Прочие	Всего	Камское	Воткинское	Прочие (малые)	ВСЕГО	
ИТОГО	2,43	48,60		48,60	349,75	304,96		654,71	705,74
Виды, в отношении которых устанавливается ОДУ:									
Лещ	0,15	19,50		19,50	105,70	146,23		251,93	271,58
Судак		12,45		12,45	35,21	46,84		82,05	94,50
Щука	0,64	0,95		0,95	33,00	18,28		51,28	52,87
Сом пресноводный		0,80		0,80	0,53	7,24		7,77	8,57
Всего	0,79	33,70		33,70	174,44	218,59		393,03	427,52
Виды, в отношении которых ОДУ не устанавливается:									
Тюлька					0,03	0,12		0,15	0,14
Карповые	0,59	13,60		13,60	137,79	76,05		213,84	228,03
Плотва	0,49	2,00		2,00	65,08	11,44		76,52	79,01

Карась					0,16	0,05		0,21	0,21
Жерех		2,50		2,50	2,46	4,03		6,49	8,99
Язь	0,10	3,00		3,00	4,94	5,50		10,44	13,54
Чехонь		5,50		5,50	34,32	37,79		72,11	77,61
Синец				0,00	10,71	1,61		12,32	12,32
Густера		0,60		0,60	19,92	11,03		30,95	31,55
Уклейка					0,20	4,60		4,80	4,80
Окуневые:	1,05	1,00		1,00	24,89	8,01		32,90	34,95
Окунь пресноводный	1,05	1,00		1,00	24,89	8,01		32,90	34,95
Налим		0,30		0,30	12,60	2,19		14,79	15,09
ВСЕГО:	1,64	14,90		14,90	175,31	86,37		261,68	278,22

Планировалось в больших объемах садковое выращивание форели, выращивание в УЗВ осетровых и икорное производство. По ряду причин объективного и субъективного характера данное хозяйство функционировало непродолжительное время и в 2015 году полностью прекратило свое существование [3]. Ныне выращивают стерлядь. В Воткинском водохранилище в настоящее время наблюдается рост численности стерляди «заводского» происхождения и состояние промыслового запаса позволяет организовывать промысел в ограниченном объеме по схеме «пастбищной» аквакультуры. В наиболее крупных не зарегулированных притоках рек Камы – Вятке и Белой состояние речных популяций стерляди относительно стабильное, на Вятке осуществляется её промышленный вылов в количестве 0,5–0,9 т. За период 2013–2017 гг. в Камское водохранилище и его притоки в рамках компенсационных мероприятий было выпущено более 1,5 млн экз., а Воткинское за 2010–2020 гг. около 2 млн экз. [17].

На Воткинском водохранилище (в пределах Пермского края) вылов рыбы увеличился относительно 2021 г. на 96,7 т (33,3%). Рост уловов наблюдался по плотве (на 231,3%), по густере (на 111,7%), по язю (на 107,1%), по окуню (на 86,1%), по чехони (на 67,8%), по налиму (на 65,3%), по уклейке (на 55,6%), по синцу (на 53,2%), по жереху (на 29,4%), по щуке (на 12,6%) и по судаку (на 6,6%). Снижение уловов произошло по карасю – на 51,3% и по сому – на 2,3%. Вылов леща остался на уровне 2021г [33]. Проведенные исследования показали, что намечаемая хозяйственная деятельность в 2024 г: вылов стерляди, леща, судака, щуки и сома пресноводного в объеме 954 т (в Пермском крае) и леща, судака, щуки и сома пресноводного в объеме 57 т (в Удмуртском секторе Воткинского водохранилища) не окажет негативного воздействия воспроизводительную способность популяций промысловых биоресурсов и не подорвет их запасы.

В 2024 году на Воткинском водохранилище наблюдается значительный рост промысловых уловов (на 33,3% относительно 2021 года), особенно по ценным видам рыб - плотве (+231,3%), густере (+111,7%) и язю (+107,1%). При этом

запланированный на 2024 год вылов в объеме 1011 тонн (954 т в Пермском крае и 57 т в Удмуртии) не создаст угрозы для воспроизводства рыбных запасов. Стабильность популяций основных промысловых видов (лещ, судак, щука, сом) подтверждает эффективность действующей системы регулирования рыболовства, хотя требует продолжения мониторинга для отдельных уязвимых видов, показавших снижение уловов (карась -51,3%).

Несмотря на антропогенное влияние, ОДУ почти не менялось за последние 10 лет, активно развивается промышленно выращивание рыб, есть надежды, что в будущем будут выращивать не только стрелядь.

Таким образом, там обитают рыбы окунево-плотвичного типа, которые устойчивы к загрязнению. Более того, высокий уровень ОДУ для вылова рыб и каждый год растет их вылов (в основном сетевой лов), пока там выращивают лишь стрелядь. Планируется открытие новых рыболовных участков, возможно в будущем будут выращивать другие виды рыб.

Современное промысловое состояние Воткинского водохранилища характеризуется стабильностью рыбных запасов, несмотря на антропогенное влияние и климатические изменения, которое выражено в следующих аспектах :

- общий допустимый улов (ОДУ) в 2020 году составил 352,2 тонны, включая 313,2 тонны в Пермском крае и 39 тонн в Удмуртской Республике;

- промысел ведется рационально – возрастная структура популяций (например, леща и судака) свидетельствует о нормальном воспроизводстве без признаков перелова;

- благоприятные погодные условия (своевременный прогрев воды, стабильный уровень) способствуют успешному нересту большинства видов рыб;

- в 2018 году наблюдалось незначительное снижение уловов (на 2,3%), в основном за счет леща, синца, язя и уклеи;

- стерлядь, ранее занесенная в Красную книгу, восстанавливается благодаря искусственному зарыблению (более 2 млн экз. за 2010–2020 гг.);

- ведётся расширение садкового рыбоводства, включая форель и осетровых, но пока реализуется только выращивание стерляди;

- планируется создание новых рыболовных участков и развитие аквакультурных проектов.

Таким образом, промысловое состояние Воткинского водохранилища демонстрирует устойчивость рыбных запасов благодаря рациональному регулированию и благоприятным экологическим условиям. Стабильность ОДУ за последнее десятилетие подтверждает эффективность квот, основанных на

прогнозировании и мониторинге, также рост вылова в 2024 г. на 33.3% (до 1011 т) обусловлен увеличением доли плотвы (+231.3%), густеры (+111.7%) и язя (+107.1%), что отражает адаптацию экосистемы к антропогенной нагрузке. Создание новых рыболовных участков с учетом миграционных путей и нерестилищ для предотвращения фрагментации ихтиоценоза. Современная промысловая система водохранилища служит моделью сбалансированного природопользования, где экологическая устойчивость сочетается с экономической эффективностью.

3.3. Вывод к третьей главе

Воткинское водохранилище сохраняет промысловую устойчивость благодаря рациональному управлению, но его экологическое состояние остаётся хрупким. Баланс между эксплуатацией ресурсов и их охраной возможен только при интеграции научных данных, технологических инноваций и жёсткого экологического контроля. Систематическое превышение ПДК по меди (до 5×), железу (до 9×), марганцу (до 40×) и фенолам (2×) в периоды зимней сработки и весеннего наполнения создаёт токсическую нагрузку на экосистему. Накопление металлов в донных отложениях (медь — 400 мг/кг, цинк — 300 мг/кг) угрожает биоте, включая рыб, у которых выявлены гематологические нарушения (окунь). Обмеление 2023 года (приток ниже нормы в 2,5 раза) обострило проблему загрязнения, поставив под угрозу судоходство и устойчивость экосистемы. Загрязнение, эвтрофикация и климатические аномалии требуют усиления контроля за стоками и адаптации управления водным режимом. Тем не менее, успешное выращивание стерляди по схеме пастбищной аквакультуры открывает возможности для развития УЗВ-технологий и интродукции новых видов (форель, осетровые). Сохранение биоразнообразия, контроль за загрязнением и развитие аквакультуры – ключевые направления для устойчивого рыболовства в будущем.

ГЛАВА 4. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОХРАНЕ И УПРАВЛЕНИЮ ЭКОСИСТЕМОЙ ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА: БАЛАНС МЕЖДУ ПРОМЫСЛОМ И СОХРАНЕНИЕМ РЕСУРСОВ

4.1. Организация государственного контроля и надзора за экологическим состоянием водохранилища

Постановлением Правительства Удмуртской Республики от 1 июля 2013 года № 272 утверждена государственная программа Удмуртской Республики «Окружающая среда и природные ресурсы». Основными целями Программы являются: снижение негативного воздействия на окружающую среду, предотвращение неблагоприятных экологических ситуаций и нанесения ущерба природе, удовлетворение нужд экономики в природных ресурсах при их рациональном использовании, восполнении и сохранении необходимых запасов, а также сохранение биологического разнообразия и обеспечение устойчивого существования животного мира, охотничьих ресурсов и водных биологических ресурсов, создание условий для стабильного развития охотничьего хозяйства Удмуртской Республики. Предотвращение отрицательного воздействия на ВБР при осуществлении промышленного и любительского рыболовства предопределено требованиями Федерального закона от 20 декабря 2004 г. № 166-ФЗ «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» и Правилами рыболовства и достигается ограничениями по срокам лова рыб (например, запрет лова в период нереста) (пункты 28, 78, 86) Правил рыболовства), по разрешенным орудиям и способам лова (пункты 31-33, 47-49), по минимальным размерам добываемых водных биоресурсов (пункты 34, 78, 87) Правил рыболовства), по объемам вылова (суточная норма вылова для любительского рыболовства) (пункты 79, 88 Правил рыболовства) и т.д. В соответствии с Федеральным законом №166-ФЗ промышленное рыболовство осуществляется гражданами и юридическими лицами на основании договоров о предоставлении водных биоресурсов в пользование с органами государственной власти (ст. 19.1), а также разрешений на вылов (добычу) водных биоресурсов (ст. 33.2). Разрешенные для промысла орудия и способы добычи (вылова) водных биоресурсов приведены в пунктах 31-33 «Правил рыболовства Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна». Применение на водных объектах Пермского края и в Удмуртском секторе Воткинского водохранилища орудий и способов добычи водных биоресурсов с соблюдением требований действующего законодательства не окажет какого-либо негативного воздействия на водную среду, поверхность дна и берегов [24].

Таким образом, существует программа, цель которой улучшение экологического состояния Воткинского водохранилища. Приведенные законодательные акты требуют недопущения перелова, наказание за

несоблюдение и анализ риска негативного влияния промышленного или любительского рыболовства на экосистему.

В 2021 году проведено 60 проверок соблюдения требований водного законодательства; из них плановых – 29, внеплановых – 31. Проведено 7 административных расследований, 14 рейдовых проверок и 13 выездных обследований. В ходе контрольно-надзорных мероприятий выявлено 11 нарушений требований водного законодательства РФ, устранено 6 нарушений с учетом переходящих. В отчетном периоде выдано 12 предписаний, выполнено 5 предписаний с учетом, переходящих с предыдущего года. Основными видами нарушений в 2021 году явились: пользование водными объектами без разрешительных документов, либо с нарушением условий водопользования; сброс сточных вод с превышением установленных нормативов; использование прибрежной защитной полосы водного объекта, водоохранной зоны водного объекта с нарушением ограничений хозяйственной и иной деятельности; самовольное подключение к централизованным системам водоснабжения и водоотведения. 2021 году за нарушения в области обращения с отходами были наложены штрафы на общую сумму 1 460,0 тыс. руб., взыскано 980,0 тыс. руб.

По результатам осуществляемых проверок и фиксирования нарушений законодательства в частности охраны водных ресурсов чревато привлечением к несению административной и уголовной ответственности.

Регулирование режима работы гидроузла Воткинского водохранилища осуществляется оперативной службой Филиала Публичного акционерного общества "РусГидро" - "Воткинская ГЭС" (Филиал ПАО "РусГидро" - "Воткинская ГЭС"). Система позволяет гарантированно оповестить об угрозе чрезвычайных ситуаций персонал Филиала ПАО "РусГидро" - "Воткинская ГЭС" и подрядных организаций, осуществляющих свою деятельность на территории объекта, а также территориальные органы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Пермский край, Удмуртская Республика), население и объекты экономики, расположенные в зоне действия системы (6 км в нижнем бьефе). В систему предустановлены сигналы оповещения гражданской обороны (в том числе "Внимание всем!"), сигналы оповещения об угрозе подтопления (затопления) [9].

Существует система предупреждения для избежание угроз наводнения и прочих чрезвычайных ситуаций, связана с системой оповещения близлежащего населения. Она является частью Филиала ПАО "РусГидро" и Воткинской ГЭС.

Государственные функции по согласованию нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты исполняется Росприроднадзором на основании Водного кодекса Российской Федерации от

03.06.2006 № 74-ФЗ (принят ГД ФС РФ 12.04.2006), постановления Правительства РФ № 469 от 23.07.2007 «О порядке утверждения нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей» и Приказом Минприроды РФ от 29.12.2020 № 1118 «Об утверждении. Методики разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей». За отчетный период в Управление для согласования нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты поступило 2 проекта. По результатам рассмотрения принято решение о согласовании нормативов предельно допустимых сбросов. Государственная услуга по выдаче разрешений на сбросы веществ (за исключением радиоактивных веществ) и микроорганизмов в водные объекты предоставляется Росприроднадзором на основании пп. 1.1 п. 1 ст. 11 Федерального закона от 21.07.14 № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды»; в соответствие с Федеральным законом от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», Административного регламента Федеральной службы по надзору в сфере природопользования по предоставлению государственной услуги по выдаче разрешений на сбросы загрязняющих веществ (за исключением радиоактивных веществ) и микроорганизмов в водные объекты (утв. приказом Росприроднадзора от 09.01.13 № 2). За отчетный период в Управление для получения разрешений на сброс загрязняющих веществ (за исключением радиоактивных веществ) и микроорганизмов в водные объекты поступило и рассмотрено 5 заявлений. В 2021 году выдано 4 разрешения с установленными лимитами на сбросы загрязняющих веществ в водные объекты, в том числе следующим крупным предприятиям: АО «Воткинский завод»; ООО «Удмуртская птицефабрика»; ООО «Тепловодоканал». За отчетный год в пределах нормативов допустимых сбросов в водные объекты разрешения не выдавались исходя из таблицы 13.

Таблица. 13 Анализ изменения числа поступления заявлений на сброс загрязняющих веществ в поверхностный слой водного объекта [8].

Наименование показателя	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Нормирование сбросов загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты				
Поступило заявлений	54	15	7	5
Выдано разрешений	48	11	7	4
Отказано	6	2	1	0

Резкое снижение поступивших заявлений по сравнению с предыдущими годами обусловлено вступлением в силу с 01.01.19 положений Федерального закона от 21.07.14 № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» (далее – Закон № 219-ФЗ), также

в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.04.2020 №440 "О продлении действия разрешений и иных особенностях в отношении разрешительной деятельности в 2020 - 2022 годах"[8].

Ныне в соответствии с пунктом 16 2025 не требуется (указанные требования вступили в силу с 06.10.2023). За отчетный период в Управление для получения разрешений на сброс загрязняющих веществ (за исключением радиоактивных веществ) и микроорганизмов в водные объекты поступило и рассмотрено 4 заявления (2 заявления на переоформление разрешения). По результатам рассмотрения заявлений принято – 2 положительных решения (о переоформлении) и 1 отрицательное. Динамика за последние пять лет предоставления государственной услуги о выдаче разрешения на сбросы представлен на таблице 14.

Таблица 14. Изменение числа заявлений на сброс вредоносных веществ в Воткинское водохранилище [9].

Наименование показателя	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Поступило заявлений	15	7	5	2	4
Выдано разрешений	11	7	4	2	2
Отказано	2	1	0	0	1

Согласно п.1 Постановления, разрешения на сброс загрязняющих веществ в окружающую среду, лимиты на сбросы загрязняющих веществ, полученные юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями, осуществляющими хозяйственную и (или) иную деятельность на объектах, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду и относящихся в соответствии с Федеральным законом «Об охране окружающей среды» к объектам I категории, сроки действия которых истекают (истекли) в период со дня вступления в силу настоящего Постановления по 31 декабря 2023 г. продлеваются на 12 месяцев [9].

Существует система регулирований для снижения загрязнений, которое также способствует улучшению экологического состояния данного водоема. Она не испытала особо сильных изменений за прошлый год, замечен спад числа заявлений это вызвано постановлением Правительства РФ от 12 марта 2022 г. № 353 «Об особенностях разрешительной деятельности в Российской Федерации в 2022 и 2023 годах».

Таким образом, принят ряд четких и жестких государственных мер, по улучшению и снижению антропогенного влияния на Воткинское водохранилище. Они не претерпели особо сильных изменений и планируется

дальнейшая работа по улучшению ситуации и продлений заявлений на сброс отходов.

4.2. Управление рыбными запасами: стратегии контроля и защиты экосистем Воткинского водохранилища

Воткинское водохранилище, являясь ключевым водным объектом Уральского региона, сталкивается с двойственным вызовом: сохранением биоразнообразия и поддержанием хозяйственной деятельности. Интенсивное антропогенное воздействие, включая промышленные сбросы, сельскохозяйственную нагрузку и нерациональный промысел, угрожает устойчивости его экосистемы. В ответ на эти вызовы реализуется комплекс мер, сочетающих строгий нормативный контроль, инновационные технологии реабилитации водных ресурсов и научно обоснованное управление биоценозами. Контроль за соблюдением Правил рыболовства осуществляет Волго-Камское территориальное управление Росрыболовства.

Основные требования к пользователям водных биоресурсов при осуществлении промышленного рыболовства:

- соблюдать законодательство о рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов;
- не допускать ухудшения среды обитания водных биологических ресурсов;
- содержать рыболовный участок в состоянии, отвечающем санитарным и экологическим требованиям в соответствии с законодательством Российской Федерации;
- осуществлять учет добываемых (вылавливаемых) водных биологических ресурсов на территории рыболовного участка;
- предоставлять в установленном законодательством Российской Федерации порядке статистическую отчетность об улове водных биологических ресурсов при осуществлении рыболовства на рыболовном участке;
- осуществлять за счет собственных средств содержание и охрану рыболовного участка;
- осуществлять допуск на рыболовный участок должностных лиц территориальных органов Федерального агентства по рыболовству;
- в случае причинения вреда (ущерба) водным биологическим ресурсам и (или) среде их обитания в результате своей деятельности компенсировать причиненный вред (ущерб) в установленном законодательством Российской Федерации порядке, а также извещать в 10-дневный срок

территориальные органы Федерального агентства по рыболовству о причинении такого вреда (ущерба);

– использовать рыболовный участок по назначению и в установленных границах.

Ныне проводятся мероприятия по снижению уровня загрязнения. Один из таких методов использования хищных рыб и сульфатов. В качестве примера на притоке реки Свратки в Бренское озеро (располагающегося на окраине г. Брно) добавлялись сульфаты (такие, как сульфат железа (3) $\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2$), которые осуществляли связывание свободного фосфора. С помощью сульфата железа происходило удаление доступного фосфора из водной толщи и замедление обменных реакций между донными отложениями и придонными слоями воды. Для улучшения кислородного режима (аэрация гипополимниона) в озере сконструировали установки оксигенации, которые углублялись на 3 м под воду. С помощью 15 установок подавали обогащенную кислородом воду с поверхности озера в глубь, где вода содержит мало кислорода. Каждая установка имеет насос с частотным преобразователем для регулирования мощности по оборотам. Мощность регулируется для содержания кислорода в определенной глубине. Радиус действия каждой установки 70 м. С помощью этих мер удалось сократить содержание сине-зеленых водорослей до 90 %. Но осталась еще одна проблема: в озеро попадают сточные воды от города и деревень (некоторые не имеют канализации). Для решения этой проблемы выполнили еще одно мероприятие – добавление хищных рыб, которые потребляли зоопланктон. В отличие от других видов рыб они не рыхлят дно, что дает возможность удержания осажденного фосфора и препятствует его обратному поступлению в воду. Каждый год в воду добавлялся сульфат железа в количестве 20 мг/л (= 20 г/м³). Эти мероприятия проводились с мая по сентябрь (152 дня). В 2010 г. добавлялось 19,3 мг/л сульфата железа, в 2011 г. – 17,5 мг/л (в зависимости от расхода реки). В результате проведения этих мероприятий была снижена концентрация фосфора с 0,085 мг/л до 0,025 мг/л., следовательно, эти мероприятия могут использоваться и на Воткинском водохранилище при условии полного учета всех факторов, действующих на водохранилище, сокращения сброса загрязненных сточных вод и проведения комплексной программы по его реабилитации [27].

Таким образом, использование детергентов может улучшить обстановку в водоеме, как видно из итогов эксперимента.

Регулярные многолетние мониторинговые наблюдения за распределением, численностью, качеством и воспроизводством водных биоресурсов, являющихся объектами рыболовства, а также средой их обитания в Пермском крае и Удмуртском секторе Воткинского водохранилища проводятся

Пермским филиалом ФГБНУ «ВНИРО» («ПермНИРО») ранее – Пермское отделение ФГБНУ «ГосНИОРХ») в соответствии с Государственным заданием.

Осуществляется мониторинг за проведением рыбохозяйственных мероприятий цель которых контроль численности рыб и не допущения вреда по отношению к ним и среды, где находятся.

Следовательно, управление рыбными запасами Воткинского водохранилища базируется на комплексном подходе, сочетающем регуляторные меры, технологические инновации и экосистемные решения: Соблюдение правил рыболовства (учет уловов, компенсация ущерба, охрана среды обитания) обеспечивает минимизацию антропогенного воздействия, кроме того, мониторинг ПермНИРО отслеживает динамику популяций, качество воды и эффективность рыбохозяйственных мероприятий. Эффективность стратегии подтверждена международным опытом (Брненское озеро), но требует адаптации к специфике водохранилища, включая климатические и гидрологические особенности.

4.3. Вывод к четвёртой главе

Таким образом, действующие законодательные и практические меры направлены на стабилизацию экологического состояния Воткинского водохранилища. Однако для долгосрочного улучшения необходимы системные инвестиции в очистные технологии, научные исследования и экологическое просвещение населения. Есть практические мероприятия по снижению загрязнения: применение сульфатов железа для связывания фосфора (аналог успешного опыта в Чехии); аэрация гипolimниона (обогащение глубинных слоев кислородом) для борьбы с сине-зелеными водорослями; зарыбление хищными видами (щука, судак) для контроля численности мелких рыб и зоопланктона; соблюдение Правил рыболовства (запреты в нерест, ограничения орудий лова, суточные нормы вылова); контроль промысла через квоты (ОДУ) и борьба с браконьерством. Современные стратегии управления Воткинским водохранилищем демонстрируют умеренную эффективность, но требуют усиления межведомственной координации, внедрения инновационных технологий и адаптации к климатическим вызовам. Успешное сочетание регуляторных, технологических и экосистемных подходов может стать моделью для других водохранилищ России, обеспечивая устойчивое использование водных ресурсов в условиях растущей антропогенной нагрузки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подведём итог проделанным исследованиям, направленным на достижение поставленных целей и задач. В ходе работы были получены следующие результаты:

-изучены гидробиологические характеристики водохранилища свидетельствуют о выраженной сезонной динамике водного режима, обусловленной работой ГЭС. Установлено, что 90-92% водного баланса

формируется за счет транзитного стока из Камского водохранилища, что определяет специфику химического состава вод;

-проанализирован зоопланктонных сообществ выявил 69 видов с доминированием Rotifera (40-45%) и Cladocera (35-40%). Ихтиофауна представлена 35 видами рыб, относящимися к 7 фаунистическим комплексам, с преобладанием леща, судака и плотвы. Обнаружены новые для водоема виды коловраток, что свидетельствует об изменениях в экосистеме;

-обобщены данные загрязнения тяжелыми металлами показало устойчивое превышение ПДК по Fe (в 3-9 раз), Cu (в 2-5 раз) и Mn (в 12-20 раз). Гематологический анализ окуня выявил повышенное содержание лейкоцитов (120,1-147,8 тыс./мкл), что указывает на хронический токсический стресс инхтофауны;

-динамика промышленного вылова демонстрирует положительную тенденцию - рост на 33,3% в 2024 году относительно 2021 года. При этом объем ОДУ (1011 т) не превышает воспроизводственные возможности популяций.

Таким образом, результаты проведенной работы подчеркивают важность комплексного подхода к управлению ресурсами Воткинского водохранилища и оптимизации рыбного промысла. Оценка природоохранных мер показала:

-эффективность применения сульфатов железа для связывания фосфатов. Это снижает доступность фосфора для фитопланктона, подавляя эвтрофикацию и цветение сине-зелёных водорослей;

-перспективность зарыбления хищными видами. Зарыбление хищными видами (щука, судак, сом) является эффективным инструментом биоконтроля, способным улучшить экологическое состояние водохранилища и повысить рыбохозяйственную продуктивность. В некоторых случаях подавление зоопланктофагов (например, тюльки) уменьшает давление на зоопланктон, что критически важно для борьбы с эвтрофикацией;

-необходимость усиления контроля за сбросами ЖКХ (70% загрязнения), т.к. благодаря отходам ЖКХ водохранилище подвергается сравнительно большему антропогенному влиянию, чем сброс тяжёлых металлов и продуктов химического производства, требуется замена изношенных канализационных сетей (до 40% потерь стоков происходит из-за утечек). Установка датчиков онлайн-контроля на выпусках ЖКХ для измерения ключевых параметров (ХПК, БПК₅, аммонийный азот, фосфаты и т.д.).

На основании полученных данных разработаны следующие рекомендации по улучшению экологического состояния водохранилища с целью сохранения аквакультуры и развития рыбохозяйственной деятельности:

Внедрение системы биогеохимического мониторинга:

- для отдельных уязвимых видов, показавших снижение уловов (карась -51,3%). Установка мультипараметрических датчиков (рН, электропроводность, растворенный кислород, хлорофилла) с передачей данных в режиме реального времени. Использование подводных дронов для отбора проб в труднодоступных зонах;

- подключение лаборатории: Методы ИСП-МС (масс-спектрометрия) для анализа ТМ, биотестирование проб воды на токсичность с использованием дафний и водорослей;

- использовать подводные дроны для отбора проб в труднодоступных зонах водохранилища.

Оптимизация режима работы ГЭС с учетом экологических требований:

- установить турбины с системой оксигенации для обогащения воды кислородом при сбросе;

- закрепить в лицензии ГЭС обязательные параметры: минимальный уровень воды в нерестовый период, пределы суточных колебаний;

- создать рабочую группу с участием ПермНИРО и экологов для разработки адаптивных сценариев работы ГЭС.

Расширение программ искусственного воспроизводства:

- увеличить объемы искусственного воспроизводства стерляди для восстановления популяции ценной рыбы в водоеме;

- разработать программу по созданию искусственных нерестилищ для повышения шансов на успешное размножение стерляди и других видов рыб. Индустриальный выпуск мальков многих видов рыб будет способствовать восстановлению популяции ценной рыбы в Воткинском водохранилище.

Совершенствование очистных сооружений промышленных предприятий:

- установить датчики онлайн-контроля на выпусках ЖКХ для измерения ключевых параметров (ХПК, БПК₅, аммонийный азот, фосфаты и др.);

- разработать гидродинамическую модель водохранилища для прогнозирования распространения загрязнений от точечных источников.

Использование сульфатов железа для борьбы с эвтрофикацией:

- продолжить применение сульфатов железа для связывания фосфатов, что позволит снизить концентрацию фосфора в водной толще и уменьшить цветение водорослей;

- применение коагулянтов, таких как хлорид железа (FeCl_3) и алюминиевый сульфат ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), позволит осаждать фосфаты и тонкодисперсные частицы, что значительно улучшит качество очищенной вод;

- флокулянты помогут объединить мелкие частицы в более крупные агрегаты, что облегчит их последующее удаление;

- комбинировать этот метод с аэрацией гипоплимниона и зарыблением хищными видами для усиления эффекта биоконтроля.

Образовательные программы и вовлечение местного населения:

- разработать образовательные программы для местных жителей о важности охраны экосистемы водохранилища и устойчивого рыбного промысла;

- вовлекать местные сообщества в программы по мониторингу состояния водоема и восстановлению рыбных запасов.

Сотрудничество с научными учреждениями:

- установление партнерских отношений с научно-исследовательскими организациями позволит внедрять инновационные технологии и методы очистки, а также проводить совместные исследования по улучшению существующих процессов.

Эти меры помогут значительно снизить уровень загрязнения водоемов и улучшить состояние экосистемы, обеспечивая при этом устойчивое развитие промышленных предприятий.

Следовательно, дальнейшее устойчивое использование ресурсов требует комплексного подхода, сочетающего научный мониторинг, технологические решения и совершенствование нормативно-правовой базы.

Список литературы:

1.Алексеевнина М.С., Гореликова Н.М. Зообентос //Биология Воткинского водохранилища. Иркутск: Иркут. ун-т, 1988. С. 65–97.

2.Алексеевнина М.С., Преснова Е.В. Изменение структуры бентоценозов Воткинского водохранилища за время его существования (1964-2014 гг.) // Вестник Пермского университета.Сер. Биология. 2017. Вып. 3. С. 328-332.

3. Анохина О.К., Говорков В.И., Ветчанин В.И., Говоркова Л.К. Промысловые уловы и состояние запасов водных биоресурсов Нижнекамского водохранилища // Мат-лы Междунар. науч. конф. «Рыбохозяйственные водоёмы России: фундаментальные и прикладные исследования». СПб, 2014. С.134-140.
4. Биологическое обоснование к прогнозу вылова на 2012 год в основных рыбохозяйственных водоемах Пермского края и в Удмуртском секторе Воткинского водохранилища [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://priroda.permkrai.ru/files/file/perm_odu_i_vu.pdf (дата обращения: 28.05.2020)
5. Водный кодекс Российской Федерации (Федеральный Закон от 03.06.2006 № 74-ФЗ) // Справочно-правовая система «Консультант Плюс». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.consultant.ru> (дата обращения 04.04.2022).
6. Вундцеттель М.Ф., Кузнецова Н.В. Содержание тяжелых металлов в органах и тканях рыб реки Яхрома // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. – 2013. – № 2. – С. 155-158.
7. Вендров С.Л. Влияние водохранилищ лесной зоны на прилегающие территории. – М.: Наука, 1970 - 219 с.
8. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Удмуртской Республики в 2021 году» [Электронное издание] / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Удмуртской Республики; АУ «Управление охраны окружающей среды и природопользования Минприроды Удмуртской Республики».
9. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Удмуртской Республики в 2023 году» [Электронное издание] / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Удмуртской Республики; АУ «Управление охраны окружающей среды и природопользования Минприроды Удмуртской Республики».
10. Гидролого-экологические основы водного хозяйства / Р. А. Нежиховский. - Ленинград : Гидрометеиздат, 1990. - с. 228
11. Двинских С.А., Рыжих К.А. Оценка влияния техногенных нагрузок на качество воды в водохранилище // Комплексные исследования Воткинского водохранилища и оценка его влияния на природу. Пермь, 2007 С.153–157.
12. Зиновьев Е.А., Бакланов М.А. Ихтиофауна бассейна Верхней и Средней Камы // Вестник Удмуртского ун-та. Биология. Ижевск. 2000. № 5. С. 41-46.

13. Зыков Л.А., Герасимов Ю.В., Абраменко М.И. Оценка промыслового возврата стерляди *Acipenser ruthenus* Нижней Волги от молоди искусственного воспроизводства // Вопр. рыболовства. 2017 Т. 18 №4. С. 422–437.
14. Китаев А.Б. Химическая география Камских водохранилищ в современных условиях // Вопросы гидроэкологии и водной экологии Камских водохранилищ и их водосборов. Пермь, 1985. – С.20-27.
15. Китаев А.Б., Матарзин Ю.М. Общая характеристика водохранилища и особенности его гидрологического режима // Биология Воткинского водохранилища. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1988 С. 5-8.
16. Кузин Л. С., Бабкин В. И. Географические закономерности гидрологического режима рек / Л.: Гидрометеиздат, 1979, 200 с.
17. Коммерсантъ [Электронный ресурс]: ГИС-центр ПГНИУ зафиксировал сильнейшее обмеление Воткинского водохранилища- Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/6336264> (Дата обращения: 06.11.2024)
18. Л. Д. Ивашинцова, Г. С. Халевицкая, М. А. Андреева. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 11 Средний Урал и Приуралье.- Л.: Гидрометеиздат, 1973, 848 с.
19. Мацкевич И.К., Матарзин Ю.М. Гидрологический режим водохранилища // Водохранилище Воткинской ГЭС на р. Каме. Пермь, 1968. С. 64-109.
20. Максимович Г.А. Химическая география вод суши. М.: Географгиз, 1955.– 328 с.
21. Михеев П.Б., Огородов С.П. О поимке сибирского тайменя *Hucho taimen* (Pallas, 1773) в Нижнекамском водохранилище // Вопросы ихтиологии, 2015. №6. С. 732-733.
22. МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ПРИКАЗ от 7 ноября 2016 г. N 225 ОБ УТВЕРЖДЕНИИ ПРАВИЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ КАМСКОГО И ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ НА Р. КАМЕ [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://rulings.ru/acts/Prikaz-Rosvodresurov-ot-07.11.2016-N-225/> (24.09.2024)
23. Назаров Н. Н. Вертикальная дифференциация микроэлементного состава и экологическая оценка качества донных отложений Воткинского водохранилища Н. Н. Назаров, А. Суниов // Инновационный потенциал естественных наук тр. междунар. науч. конф.- Пермь, 2006.-Т. 2-С.194-198.

24. Назаров Н.Н. Основные закономерности формирования рельефа дна Воткинского водохранилища / Н.Н. Назаров, Л.А. Кузнецова // Геоморфология Центральной Азии. Барнаул: Изд-во Алтайского ун-та, 2001. С. 161 – 164.
25. Никитин, О. В. Экотехнологии восстановления водоемов : [учеб. пособие / О. В. Никитин, В. З. Латыпова, Ш. Р. Поздняков; КФУ, Ин-т экологии и природопользования, кафедра прикладной экологии. Казань : Изд-во Казанского ун-та, 2015. 139 с.
26. Никольский Г.В. О биологической специфике фаунистических комплексов и значения ее анализа для зоогеографии // Зоол. журн., 1947, т. 26, вып. 3. С. 221-232.; Никольский Г.В. Структура вида и закономерности изменчивости рыб. М.: Пищ. пром., 1980. 183 с.
27. Научный центр «Геоприрода». [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://geoprroda.ru/water/311.html> (дата обращения: 05.02.2019).
28. Общественные слушания. ПермНИРО [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://perm.vniro.ru/ru/ob-slush> (дата обращения: 28.05.2020).
29. Пушкин Ю.А. Ихтиофауна и рыбное хозяйство //Биология Воткинского водохранилища.- Иркутск, 1988 С. 118–143.
30. Перельман А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. М.: Астрель, 1999.- с.762
31. Создание биологического ресурсного кадастра р. Вятки и ее основных притоков. Раздел II-III. Кадастр среднего и нижнего течения р. Вятки. Отчет о НИР Пермского отделения ГосНИОРХ.- Пермь, 2000 254 с.
32. Свод правил (СП) 529.1325800.2023. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Минстрой России, – 2023, – с. 7.
33. Федеральное агентство по рыболовству Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ФГБНУ «ВНИРО») Пермский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПермВНИРО») Материалы, обосновывающие общие допустимые уловы (ОДУ) водных биологических ресурсов на 2020 год в основных водных объектах рыбохозяйственного значения Пермского края и Удмуртском секторе Воткинского водохранилища, включая оценку воздействия на окружающую природную среду намечаемой хозяйственной деятельности и экологическое обоснование ее реализации.
34. Чазов Б.А. Физико-географический очерк // Химическая география вод и гидрогеохимия Пермской области. – Пермь, 1967. – С. 21-26.

35. Экзогенные геоморфологические процессы и методы их изучения [Текст] : монография / И. Е. Егоров ; Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУ ВО "Удмурдский государственный университет", Институт естественных наук, Кафедра физической и общественной географии. - Ижевск : Удмурдский государственный университет, 2017. - 383 с.

36. Ясинский С.В., Кашутина Е.А., Сидорова М.В., Нарыкова А.Н. Антропогенная нагрузка и влияние водосбора на диффузный сток биогенных элементов в крупный водный объект (на примере водосбора Чебоксарского водохранилища) // Водные ресурсы, 2020, том 47, № 5, с. 630–648.

37.P. Lepikhin Scope and structure of diffuse pollution of the Kama reservoir et al 2019 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 321 012050