

На правах рукописи

ХАМИТОВА МАДИНА ФАРХАДОВНА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК В УСЛОВИЯХ ЛОКАЛЬНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В
РЕГИОНЕ СРЕДНЕЙ ВОЛГИ**

Специальность 03.02.10 – гидробиология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Казань – 2017

Работа выполнена на кафедре «Водные биоресурсы и аквакультура» в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский государственный энергетический университет»

Научный руководитель:

Калайда Марина Львовна

доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой «Водные биоресурсы и аквакультура» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет»

Официальные оппоненты:

Зайцев Вячеслав Федорович

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой «Гидробиология и общая экология», федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Астраханский государственный технический университет»

Дмитрий Федорович Павлов

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник «Лаборатории физиологии и токсикологии» федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт биологии внутренних вод имени И.Д. Папанина РАН»

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга» Татарское отделение

Защита состоится « » 2017 г. в час. мин. на заседании диссертационного совета Д 002.036.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте биологии внутренних вод имени И.Д. Папанина РАН по адресу: 152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, п. Борок, д. 109. Тел. +7(48547)24042, email:dissovet@ibiw.yaroslavl.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН и на сайте ИБВВ РАН (<http://www.ibiw.ru>), с авторефератом – в сети Интернет на сайтах ВАК РФ (<http://vak.ed.gov.ru>) и ИБВВ РАН (<http://www.ibiw.ru>).

Автореферат разослан « » 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Доктор биологических наук

Л.Г. Корнева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время отмечается значительное снижение качества вод, в большой степени связанное с воздействием на водные ресурсы деятельности предприятий различных отраслей. Сточные воды способны вызывать эвтрофирование водных экосистем, загрязнение органическими веществами и тяжелыми металлами, оказывать токсическое воздействие на гидробионтов, изменять структуры биоценозов, что является значимыми проблемами современности. В этих условиях особенно важным становится выбор критериев оценки состояния водоемов, которые ложатся в основу выбора методов реабилитации водных экосистем. Мировой опыт направлен на оценку качества водной среды по состоянию отдельных сообществ, однако при разнонаправленном воздействии возникает необходимость в комплексной оценке характеристик структурной организации контурных и внутренних сообществ гидробионтов. Сложная экологическая ситуация складывается в районе крупнейшего водохранилища волжского каскада – Куйбышевского, особенно, в районах концентрации населения и производств. Исследование участка локального загрязнения Волжского плеса в районе сбросов сточных вод Марийского целлюлозно-бумажного комбината (ОАО «МЦБК») в качестве модельного, с большим содержанием органических веществ, позволяет проследить процесс изменения характеристик биоценоза по мере снижения содержания органических веществ: от зоны максимального загрязнения во вторичном отстойнике, до участка Волжского плеса – менее подверженного воздействию сточных вод.

Цель исследования: изучить закономерности изменения структуры внутренних и контурных сообществ гидробионтов в ходе сукцессии, вызванной локальным загрязнением сточными водами промышленных предприятий.

Для ее достижения необходимо решить следующие **задачи:**

1. Охарактеризовать участки с разной степенью локального загрязнения на основе физико-химических показателей вод и донных отложений.

2. На основе качественного состава, количественных и структурных характеристик провести сравнительный анализ состояния планктонных и бентосных сообществ водной экосистемы на контрольных участках и в местах локального загрязнения с разным уровнем антропогенного загрязнения.

3. Провести сравнительный анализ результатов оценки изменения состояния вод по стандартным и широко используемым гидробиологическим показателям, разработать и апробировать новый критерий, позволяющий оценить состояние водоема и охарактеризовать состояние сообщества

гидробионтов на участках локального загрязнения сточными водами предприятий.

4. Разработать мероприятия по реабилитации водных экосистем в условиях локального загрязнения и оценить эффективность их использования.

Научная новизна работы:

1. Впервые разработан показатель состояния гидробиоценоза и качества среды (индекс Y) на основе отношения макробеспозвоночных к содержанию кислорода в воде.

2. Впервые изучены биологические особенности моллюска *Lithoglyphus naticoides* (Preiffer, 1828) в условиях расширения ареала, выявлена вторая кладка яйцевых капсул.

3. Впервые выявлены закономерности накопления тяжелых металлов в водных растениях и беспозвоночных искусственного биоценоза мобильного биоплато.

Теоретическая значимость. Полученные результаты вносят существенный вклад в исследования закономерностей структурной организации гидробиоценозов на участках с разной степенью органического загрязнения, а также расширяют представления о гетеротрофной сукцессии в условиях органического загрязнения.

Практическая значимость.

1. Показано, что зоопланктон активнее участвует в самоочищении вод, а макрозообентос, как биоиндикатор, в большей степени отражает степень органического загрязнения и нарушенности биоценоза.

2. Разработан новый показатель состояния гидробиоценоза (индекс Y) для оценки степени восстановления участков, подверженных антропогенному органическому загрязнению.

3. Предложен способ реабилитации экосистем в условиях локальных загрязнений – организация мобильных биоплато, позволяющих проводить доочистку вод, стимулировать восстановление «самоочищающей» способности водных объектов, путем формирования искусственных биоценозов.

4. Разработана компьютерная программа «БИОПЛАТО», которая позволяет оптимизировать процесс доочистки вод с использованием высшей водной растительности.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. По мере сокращения концентрации органических веществ на участках локального загрязнения смена преобладающих групп гидробионтов происходит в следующей последовательности: бактериопланктон → фитопланктон (в направлении зеленые → синезеленые водоросли) → зоопланктон (за счет ветвистоусых ракообразных). Структура зообентоса восстанавливается в местах

массового развития зоопланктона и остается нестабильной в течение года на всех станциях вторичного отстойника.

2. Наиболее эффективным критерием оценки состояния биоценоза в условиях локального органического загрязнения является разработанный показатель состояния донного гидробиоценоза (индекс Y), отражающий соотношение групп макробеспозвоночных, различающихся в зависимости от используемого источника кислорода и принадлежности к группе насекомых.

3. При доочистке вод, в условиях с высокой степенью органического загрязнения, с помощью мобильного биоплато, эйхорния (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) является наиболее эффективным компонентом искусственного биоценоза.

4. Водные макробеспозвоночные (мшанки и моллюски дрейссена), в составе биоценоза биоплато, в отличие от водных растений, способны к накоплению хрома.

Личный вклад автора в работу состоит в непосредственном участии на всех этапах работы и обсуждении полученных результатов, подборе методик, написании статей и материалов.

Достоверность результатов работы обеспечена сходимостью теоретических решений и экспериментальных данных, полученных в работе, их согласием с известным опытом в оценке состояния водных экосистем.

Апробация работы. Основные результаты и положения диссертации были доложены и обсуждены на конференциях: IV и V международных конгрессах «Чистая вода. Казань» (Казань, 2013, 2014), Международной научно-практической конф. «Микроэлементы и регуляторы роста в питании растений: теоретические и практические аспекты» (Ульяновск, 2014), II Всероссийской конференции с международным участием. Современное состояние биоресурсов внутренних вод. (Борок, 2014), Межвузовской студенческой научно-практической конференции. Экологическая политика: проблемы и перспективы (Пермь, 2015), Международном научном форуме «Бутлеровское наследие-2015», (Москва, 2015), Международной Молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения» (Казань, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017), Аспирантско-магистерский научный семинар (КГЭУ, Казань, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016).

Публикации. По теме диссертации опубликованы 44 научные работы, в том числе 10 работ в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 33 материала докладов в трудах международных, всероссийских и региональных конференций, одно учебное пособие.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, шести глав и выводов. Содержит 204 страницы, 129 рисунков, 34 таблицы, 10 приложений, список литературы из 354 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, отмечается научная новизна и практическая значимость результатов диссертационной работы. Приведены основные положения, выносимые на защиту.

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР ПО СОСТОЯНИЮ ГИДРОБИОЦЕНОЗА КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И МЕТОДАМ ЕГО ОЦЕНКИ

В первой главе рассмотрены особенности компонент гидробиоценоза Куйбышевского водохранилища на разных этапах его существования. Проведена оценка состояния бактерио-, фито-, зоопланктона и зообентоса в условиях изменения качества вод. Проведен обзор методов оценки качества вод по гидробиологическим показателям. Показано, что гидробиологические критерии считаются наиболее чувствительными к антропогенным воздействиям, однако могут давать противоречивые результаты, в связи с чем, поиск индикативных показателей должен быть продолжен.

ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ, МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Всего за период с 2011 по 2016 гг. в Волжском плесе Куйбышевского водохранилища, р. Казанка, малых реках, впадающих в Тетюшский плес и озерах Кабан (г. Казань) автором было собрано и обработано 908 проб фито-, зоопланктона и зообентоса; 48 проб на санитарно-микробиологический анализ; 52 пробы воды, грунта, растений и гидробионтов на элементный химический анализ; 368 проб на содержание органических веществ и БПК₅. При отборе проб проведено 1878 замеров глубин, прозрачности, температуры, кислотности и содержания кислорода в воде. Блок-схема исследования представлена на рисунке 1.

Модельный участок исследования расположен в Волжском плесе Куйбышевского водохранилища в районе Лопатинской Воложки. ОАО «МЦБК» введено в эксплуатацию в 1938 г. Вторичный отстойник – система

межостровных замкнутых заливов, из которых сточные воды по каналу-протоке попадают в русловую часть Куйбышевского водохранилища, где воды дополнительно разбавляются основным потоком водохранилища и водами реки Илеть, впадающей выше по течению.

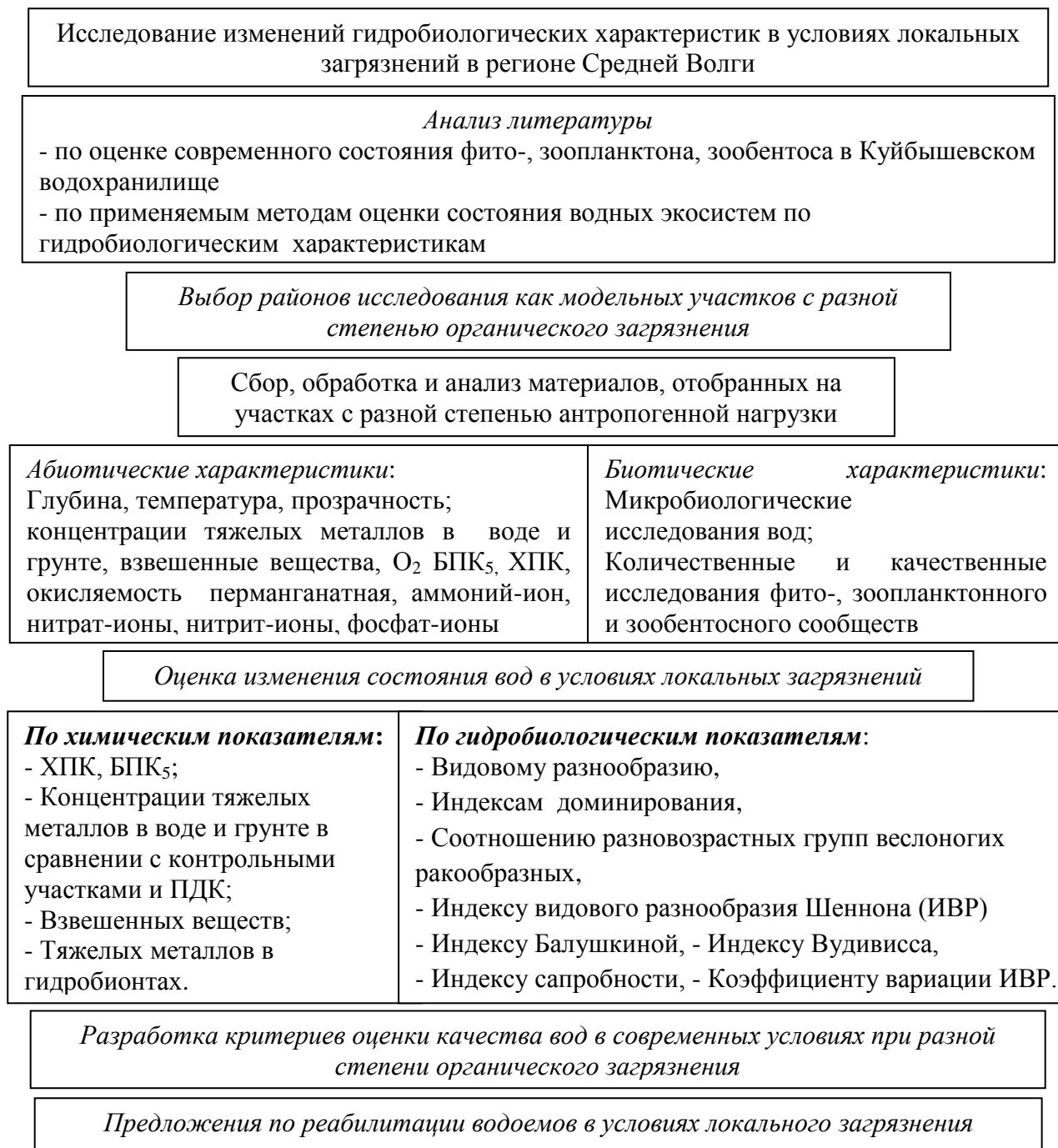


Рисунок 1 – Блок-схема исследования

Гидрохимические и гидробиологические пробы в районе Лопатинской воложки отбирались раз в две недели в течение вегетационных сезонов 2011-2014 гг. на станциях, обозначенных на рисунке 2.

Станции 1 и 2 – контрольный участок Волжского плеса на 500 м выше

сброса сточных вод ОАО «МЦБК». Пробы отбирались на русловом (ст.1) участке р. Волга и в прибрежной (ст.2) части островных участков реки: ст. 9 – зона смешения сточных вод, поступающих из протоки от вторичного отстойника, с водами Куйбышевского водохранилища; станции 10,11 – р. Волга на 500 м места ниже впадения сбросного канала в русловой и прибрежной части соответственно. На русловых участках р. Волга (станции 1,2,9,10,11) донные отложения были представлены плотными песками с локальными глинистыми или иловыми включениями. На прибрежных (станции 1,2,10,11) – плотным песком с малыми примесями илов и растительных остатков.

Отбор проб во вторичном отстойнике ОАО «МЦБК» проводился с 7 станций: станции 3,4,12 – место сброса сточных вод комбината из первичного отстойника во вторичный отстойник; ст. 5 – мелководный участок вторичного отстойника; ст. 6 – глубоководный участок вторичного отстойника; ст. 7 – залив внутри вторичного отстойника; ст. 8 – канал – протока из вторичного отстойника в Куйбышевское водохранилище. На всех станциях внутри вторичного отстойника грунты характеризовались черными илами и серыми илами в сбросном канале.



Рисунок 2 – Схема станций отбора проб в районе сброса сточных вод ОАО «МЦБК»

Гидрохимические, гидробиологические исследования проводились стандартными методами (Мордухай-Болтовской, 1954; Баранов, 1958; Жадин, 1960; Гончаренко, 1964, 1970; Константинов, 1970; Курбангалиева, 1974; Лаугасте, 1974; Винберг, 1977; Руководство по методам..., 1983; Зиганшина, 1989; Бисерова, 1990; Руководство по гидробиологическому..., 1992). Точки отбора проб фиксировались с помощью GPS навигатора Garmin

GPSMap 62s. Глубина и рельеф дна определялись с помощью эхолота Lowrance Elite-4X DSI; прозрачность измеряли диском Секки; описывался тип, цвет и наличие запаха грунта; в поверхностном слое воды измеряли температуру и pH. Подготовка материала для элементного химического анализа проводилась по ГОСТ 26929-94 (1994).

Для сравнения были отобраны гидробиологические материалы на малых типичных родниковых реках Бутырская и Безымянная перед их впадением в Тетюшский плес водохранилища и в районе сбросов сточных вод Казанского оптико-механического завода (ОАО «КОМЗ») в р. Казанка.

При разработке методов эффективной локальной доочистки сточных вод, проведены экспериментальные исследования по оценке способности водных растений и гидробионтов накапливать загрязняющие вещества, эксплуатировалось экспериментальное мобильное биоплато (на оз. С. Кабан в 2013 г. и во вторичном отстойнике ОАО «МЦБК» в 2014 г.).

Статистическая обработка и построение графиков производились при помощи программ Microsoft Excel 2007, PSPP 0.8.1. и Statgraphics plus 5.1

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВОД ПО ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ ФАКТОРАМ СРЕДЫ В УСЛОВИЯХ ЛОКАЛЬНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

В третьей главе отмечено сохранение режима р. Волга на контрольных участках Волжского плеса, сложившегося к концу XX столетия.

В зоне максимального органического загрязнения – у сбросов сточных вод во вторичный отстойник, ХПК варьировало от 69,4 до 270 мгО₂/дм³. На контрольных станциях характерны величины ХПК от 19,1 до 27,7 мгО₂/дм³, что свидетельствует о низкой концентрации органических веществ. Динамика БПК₅ (мгО₂/дм³) в сточных водах приведена на рисунке 3. Если для «грязных» вод характерны значения БПК₅ более 10 мг/л, то в наиболее загрязненных участках отстойника величины БПК₅ в среднем в двадцать раз выше. На контрольных створах Волжского плеса показатель БПК₅ варьировал от 1,4 до 2,6, в зонах процессов «самоочищения» – 4,02 мгО₂/л. При работе очистного сооружения около 60 лет на контрольных участках показатель БПК₅ соответствует чистым и умеренно загрязненным водам (рисунок 3, 4).

Проведенное исследование концентрации биогенных и органических веществ на контрольном участке показало увеличение (в пределах ПДК) концентраций аммоний-иона, нитрат-иона и фосфат-иона по сравнению с 2000-ми годами.

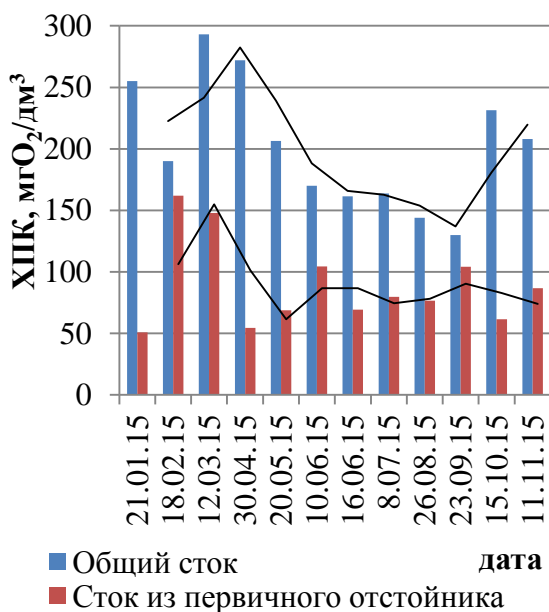


Рисунок 3 – Динамика БПК₅ в сточных водах



Рисунок 4 – Динамика БПК₅ в воде контрольных участков Волжского плеса

Анализ химического состава воды Волжского плеса на контрольном участке, проведенный рентгенофлуоресцентным методом, выявил превышение ПДК: стронция в 1,58, железа – в 2, цинка – в 6, меди – в 40 раз. Из тяжелых металлов в воде вторичного отстойника встречались Sr>Mn>Fe>Co>Zn>Cu>Rb. В наиболее загрязненном участке вторичного отстойника были встречены Mn, Co, Rb, которые не отмечались в воде контрольного участка (таблица 1).

Таблица 1 – Концентрации тяжелых металлов (в долях ПДК) в воде вторичного отстойника и Волжском плесе

Участок исследования/Показатель	Элементы								
	Sr	Fe	Zn	Mn	Cu	Rb	Co	Ni	Pb
<i>Вторичный отстойник ОАО «МЦБК»</i>									
У сброса сточных вод из первичного отстойника	1,60	3,0	4,0	60,0	30,0	0,05	4,0	-	-
Залив вторичного отстойника	2,2	4,0	355	40,0	-	-	41,0	-	-
<i>Волжский плес</i>									
Контрольный участок (выше 500 м зоны смешения)	1,58	1,2-2,1	6,0	-	0,75-40,0	-	-	-	-
Зона смешения вод	1,68	2,0	48,0	20,0	-	-	-	-	-
Ниже по течению (500 м от зоны смешения вод)	1,65	6,0	14,0	10,0	50,0	-	-	3,0	13,3
ПДК (мг/л)	0,4	0,1	0,01	0,01	0,001	0,1	0,01	0,01	0,006

Исследование показало, что основными загрязнителями вторичного отстойника являются органические вещества и тяжелые металлы.

В родниковой воде малых рек Тетюшского плеса из тяжелых металлов были встречены Sr>Ba. Следует отметить большую концентрацию магния и

присутствие бария, который не отмечался в воде водохранилища. В общем устье водотоков из тяжелых металлов встречены Sr>Ba>Fe>Br и Zn в р. Безымянной. В донных отложениях контрольных участков Волжского плеса среди металлов 1 класса опасности был встречен Pb в концентрации выше средней по водохранилищу, 2 класса – Ni, Cu (концентрации более чем в 20 раз выше средних по водохранилищу), Zn и Cr (более 3-9 раз), 3 класса – Mn, Ba и Sr. Сравнение участков исследования по содержанию тяжелых металлов в воде и донных отложениях выявило большее загрязнение воды на участке Волжского плеса в районе сброса сточных вод ОАО «МЦБК» по сравнению с р. Казанка в районе сброса сточных вод ОАО «КОМЗ». При этом в донных отложениях р. Казанка отмечалось большее содержание тяжелых металлов.

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ВОД ПО ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ В УСЛОВИЯХ ЛОКАЛЬНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

В четвертой главе описаны результаты гидробиологических исследований на контрольных участках и в условиях локальных загрязнений.

Проведенная оценка микробиальной компоненты биоценоза свидетельствует о том, что участок Волжского плеса водохранилища (включая вторичный отстойник) относится к мезосапробной зоне. На различных участках отстойника общее микробное число варьировало от 9813 до 49000 КОЕ/мл. У сбросов сточных вод наблюдалось высокое количество колиформных бактерий: до 773 070 КОЕ/100мл. Во всех пробах грунта были обнаружены бактерии родов: *Bakterium*, *Pseudomonas* и *Clostridium*, которые являются аммонификаторами, а отдельные представители рода *Clostridium* – целлюлозоразрушающими бактериями.

В составе фитопланктона встречены 70 видов и внутривидовых таксонов водорослей из 6 отделов, из которых на контрольном участке Волжского плеса – 49, во вторичном отстойнике – 59 (рисунок 5).

Во вторичном отстойнике кроме места сброса сточных вод, основу численности составляли цианобактерии. Наибольшая численность и биомасса фитопланктона отмечалась на мелководном участке отстойника – до 708879 тыс. кл/л и 325,78 мг/л соответственно. Основу численности составляли *Aphanothece globosa* Elenkin (до 57%), 42% биомассы формировали крупные золотистые водоросли *Dinobryon divergens* Imhof. По индексам плотности в отстойнике доминировали зеленые водоросли *Chlamydomonas* sp. (12,98), к субдоминантам относились цианобактерии *Microcystis aeruginosa* f. *flos-aquae* (Wittr.) Elenk. (9,99).

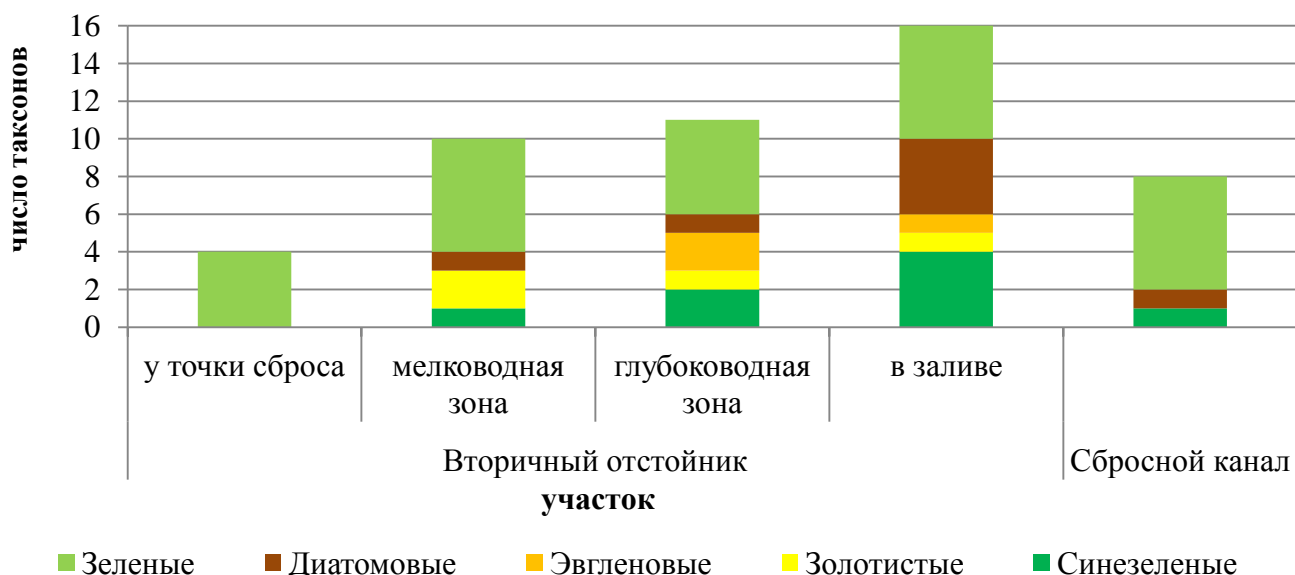


Рисунок 5 – Таксономическое разнообразие фитопланктона во вторичном отстойнике ОАО «МЦБК»

Выявлены типичные виды фитопланктона, встречающиеся только на участке максимального органического загрязнения, которые могут выступать в качестве видов-индикаторов, и участвуют в процессах «самоочищения» вод: из зеленых водорослей: *Chlorella vulgaris* (Beijerinck, 1890), *Monoraphidium contortum* (Thur.) Kom.-Legn., *Raphidocelis subcapitata* (Korsch.) Nyg.; на участке снижения органического загрязнения – отмечены максимальные значения фитопланктона за счет развития из зеленых – *Coelastrum microporum* Näg., *Monoraphidium tortile* (W. et G.S. West) Kom.-Legn., из цианобактерий – *Aphanothece globosa*, из золотистых водорослей – *Dinobryon divergens*; при дальнейшем снижении органического загрязнения – на участках восстановления качества вод из зеленых – *Ankyra judai* (G.M. Smith) Fott, из цианобактерий – *Aphanothece saxicola f.endophytica* (W. et G. S. West) Elenk., из диатомовых – *Diatoma hyemale* (Roth) Heib. var. *Hyemale*.

В составе зоопланктона встречены 110 видов и форм, на контрольном участке Волжского плеса – 63, во вторичном отстойнике – 71. Современное состояние структуры зоопланктона на контрольных участках Волжского плеса (рисунок 6) выявило соотношения, аналогичные предыдущему периоду (Курбангалиева, 1974, Дюзбан, Дюзбан, 1976, Калайда, 2003).

На контрольном участке были широко представлены хищные виды ветвистоусых рачков – *Polyphemus pediculus* (Linne, 1778), *Bythotrephes longimanus* (Leydig, 1860), *Leptodora kindtii* (Focke, 1844), не встречающиеся в районах сбросов сточных вод Волжского плеса в предыдущих исследованиях (Калайда, 2003) ни разу. На всех станциях Волжского плеса встречались велигеры дрейссены и покоящиеся яйца мшанки ползучей.

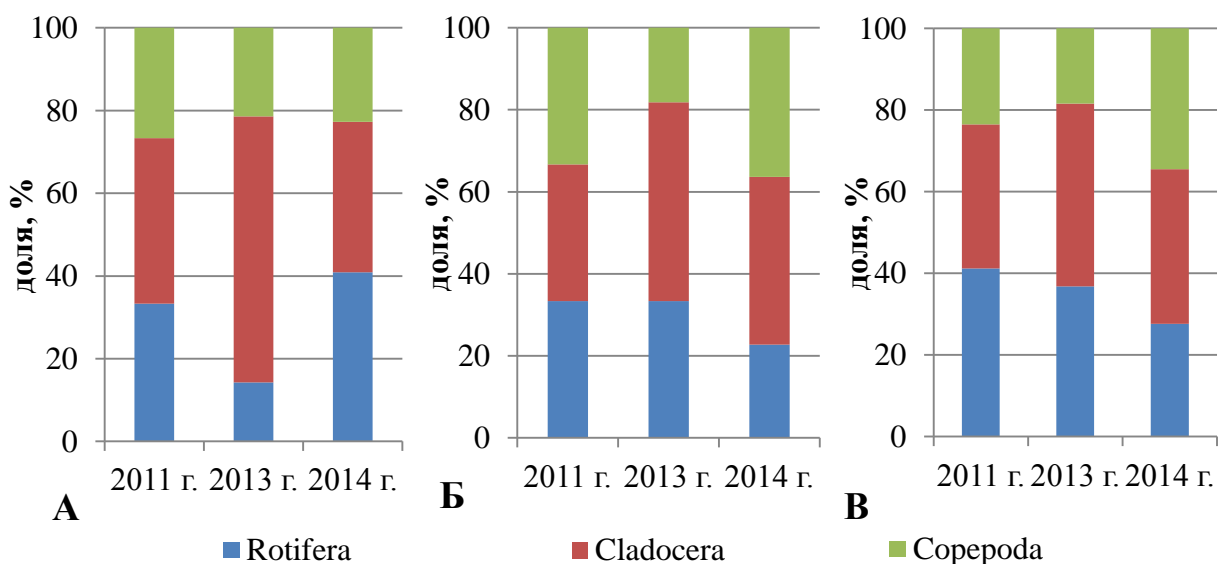


Рисунок 6 – Соотношение основных групп зоопланктона в Волжском плесе:
 А – контрольный участок; Б – зона смешения вод; В – ниже по течению

Исследование зоопланктона вторичного отстойника выявило сокращение качественных (рисунок 7) и количественных показателей его развития, в составе доминирующих видов отсутствовали коловратки и ракообразные. Отмечалось большее развитие инфузорий *Paramecium caudatum* (Ehrenberg, 1836) и представителей класса *Peritricha* sp. (рисунок 8), в районе сброса вод во вторичный отстойник они составляли до 89,5% численности зоопланктона, встречались мелкие круглые и кольчатые черви и разнообразные планктонные формы личинок насекомых.

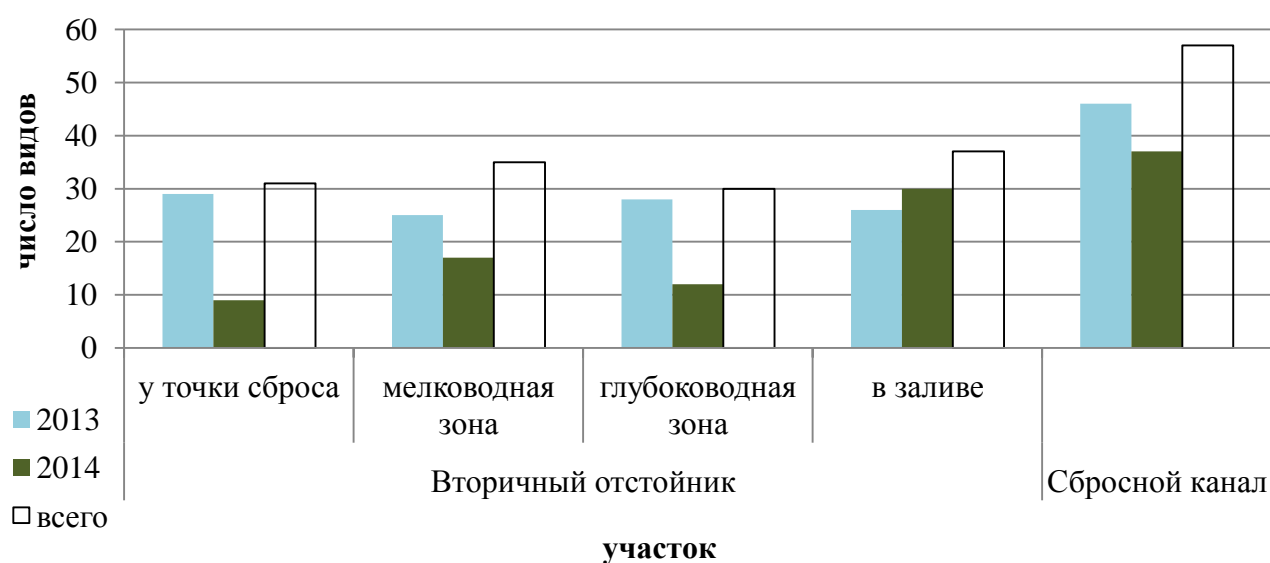


Рисунок 7 – Таксономическое разнообразие зоопланктона во вторичном отстойнике ОАО «МЦБК»

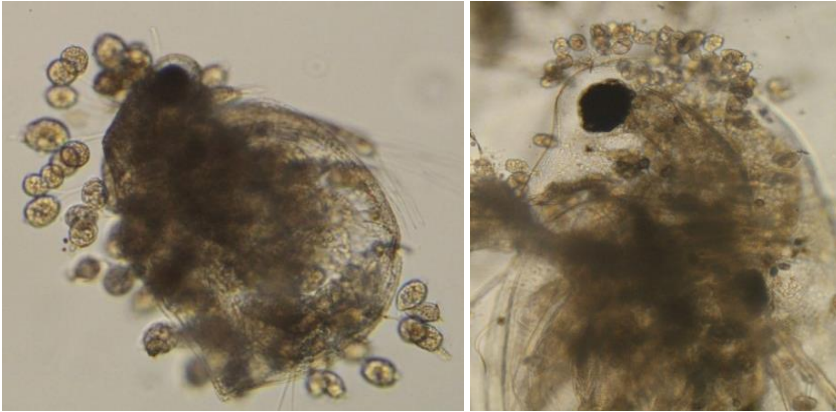


Рисунок 8 –
 Ветвистоусые
 ракообразные в заливе
 вторичного отстойника
 ОАО «МЦБК» с
 эпибионтами –
 инфузориями класса
Peritricha

Выявлены закономерности в смене зоопланктонных сообществ: на наиболее загрязненном участке (полисапробная зона) преобладают инфузории *Paramecium caudatum* и представители отряда *Peritricha*, вариабельность показателей видового разнообразия составила более 40%; на участке снижения органического загрязнения (α -мезосапробная зона) сначала отмечается максимальное развитие фитопланктона и низкое развитие зоопланктона (максимальные численности зоопланктона варьировали от 0,26 до 7,18 тыс. экз/м³). Комплекс характерных форм включал: из коловраток *Brachionus calyciflorus* (Pallas, 1766), *Brachionus variabilis* (Hempel, 1986), *Trichocerca helminthoides* (Gosse, 1896), *Lecane luna* (O.F. Muller, 1776), из ветвистоусых ракообразных: *Bosmina longirostris* (O.F. Muller, 1785), *Chydorus sphaericus* (O.F. Muller, 1785), *Daphnia pulex* (De Goer, 1778), *Ceriodaphnia laticaudata* (P.E. Muller, 1867), *Moina macrocopa* (Straus, 1820), *Rhynchotalona falcata* (Sars, 1861), из веслоногих ракообразных: *Metacyclops gracilis* (Lilljeborg, 1853), *Cyclops kolensis* (Lilljeborg, 1901). При дальнейшем снижении органического загрязнения (β -мезосапробная зона) отмечались максимальные биомассы зоопланктона (до 76,7 г/м³), обусловленные развитием сначала *Daphnia pulex*, а затем – *Moina macrocopa* и *Ceriodaphnia laticaudata*. На участках восстановления качества вод из ветвистоусых ракообразных к типичным формам можно отнести: *Bosmina longirostris*, *Chydorus sphaericus*, *Daphnia cucullata* (Sars, 1862); среди веслоногих ракообразных: *Eudiaptomus graciloides* (Lilljeborg, 1888), *Cyclops kolebsis* и *Metacyclops gracilis*, копеподитные и науплиальные стадии веслоногих рачков. Коэффициенты вариации индексов видового разнообразия Шеннона на участках восстановления – 13-22%; в зоне смешения вод вариабельность видового разнообразия выше – до 37%; на этих участках широко представлены хищные виды ветвистоусых рачков – *Polyphemus pediculus*, *Bythotrephes longimanus*, *Leptodora kindtii*.

По «шкале трофии» (Китаев, 1984) весь участок Волжского плеса относится к низкому классу, а мелководный участок внутри вторичного

отстойника – к повышенному классу трофии. Биомасса зоопланктона в малых реках, была еще ниже (до 0,023 г/м³), а поступающие в Куйбышевское водохранилище воды характеризовались α-олиготрофным типом. По индексам плотности во вторичном отстойнике отмечалось увеличение доминирования *Asplanchna priodonta* (Gosse, 1850) и смена доминант с *Bosmina longirostris* на *Daphnia pulex* и *Moina macroscopa*.

В составе зообентоса встречены 160 видов и форм, из них на контрольном участке Волжского плеса – 49. Наиболее часто встречались моллюски *Lithoglyphus naticoides*, с 2013 года их частота встречаемости – 100% и *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771). Литоглиф является самоакклиматизантом на участке исследований, и данные по его биологическим особенностям не многочисленны, поэтому ему уделено особое внимание в работе (рисунок 9). Интерес представляет вопрос о размножении литоглифов. По данным разных авторов (Березкина, Старобогатов, 1988; Березкина, 2011) литоглифы размножаются один раз в год в начале лета. Проведенные нами исследования позволили выявить более сложную картину воспроизводства литоглифов в условиях Волжского плеса Куйбышевского водохранилища. В условиях расширения ареала, выявлена вторая кладка яйцевых капсул моллюска (рисунок 10). Литоглифы со второй кладкой яйцевых капсул были встречались с конца июля по конец августа. Показано, что размножение не только не синхронизировано, но и у одного моллюска растянуто во времени.

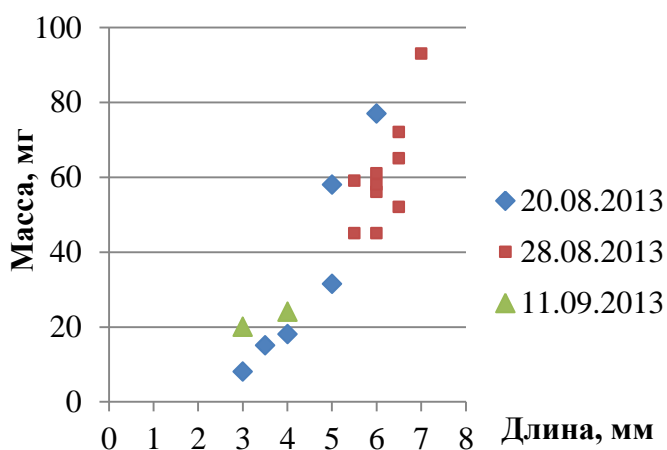


Рисунок 9 – Размерно-весовая характеристика *Lithoglyphus naticoides*



Рисунок 10 – *Lithoglyphus naticoides* с яйцевыми капсулами (стрелкой отмечена 2-ая кладка)

Основу численности мягкого бентоса (до 60%) летом составляли личинки хирономид, а осенью – олигохеты (62%). В прибрежной зоне численность зообентоса варьировала до 0,62-1,12 тыс. экз./м². В 2014 г. отмечалось значительное увеличение численности полихет *Hurania invalida* (Grube, 1860),

максимум их развития приходился на начало августа (0,22 тыс. экз./м²). В бентосе родниковых малых рек (Тетюшский плес) основу численности и биомассы составляли ручейники *Stenophylax stellatus* (Curtis 1834) и *Hydropsyche angustipennis* (Curtis, 1834), «ловчими сетями» они перекрывали поперечник реки (рисунок 11).



Рисунок 11 – Ручейники *Stenophylax stellatus* в бентосе р. Безымянной и «ловчие сети» *Hydropsyche angustipennis* в р. Бутырская

Анализ бентоса родниковых рек выявил комплекс видов, характерных для олигосапробных вод региона. На участке-антиподе малым рекам, вторичном отстойнике ОАО «МЦБК» встречены 40 видов и форм зообентоса (рисунок 12), из которых наиболее часто встречались *Culex* sp., *Eristalis* sp., *Chironomus* гр. *plumosus* (Linne, 1758), *Glyptotendipes* гр. *griepkoveni* (Kieffer, 1913).

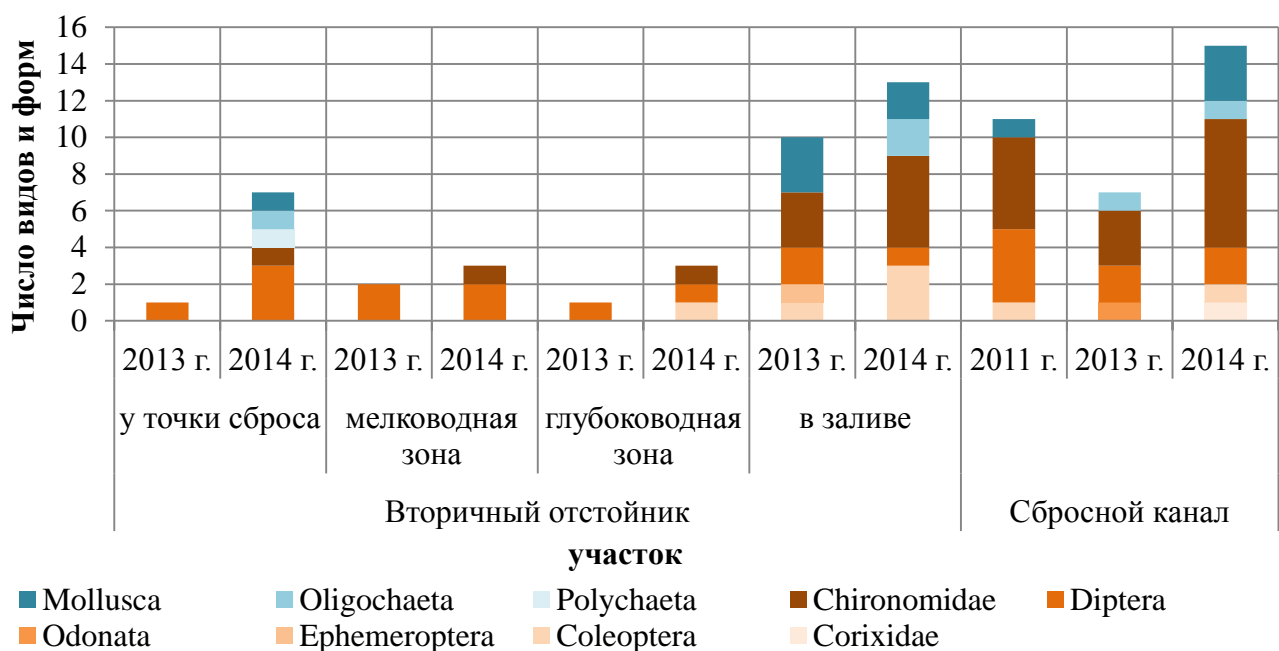


Рисунок 12 – Таксономическое разнообразие зообентоса во вторичном отстойнике ОАО «МЦБК»

Структура основного комплекса видов зообентоса на участках наибольшего органического загрязнения представлена формами насекомых, способных к атмосферному дыханию. При улучшении состояния в экотопе, увеличивалось разнообразие и представленность вторичноводных насекомых с дыханием, растворенным в воде кислородом, на контрольных участках преобладали первичноводные животные.

Во вторичном отстойнике численность зообентоса варьировала от 20 до 420 экз/м², наибольшая его биомасса отмечена в 2013г. в заливе (до 51,02г/м²) и в канале в 2014г. (до 64,5 г/м²). На остальных станциях отстойника биомасса зообентоса не превышала 1,76 г/м². По количественному развитию зообентоса класс вод (Китаев,1984) во вторичном отстойнике оценивается как β-олиготрофный и, только в заливе, как гипертрофный.

Исследование компонент гидробиоценозов и гидробионтов в районах сбросов сточных вод выявило на всех участках от 4 до 7 загрязнителей тяжелых металлов. Из высоко опасных тяжелых металлов в донных отложениях и воде присутствовал свинец, из умеренно опасных – Cu, Cr, Zn, Ni. На участках сбросов сточных вод основными загрязнителями, попадающими по пищевым цепям в рыб, в настоящее время, являются медь и цинк. В Волжском плесе в окуне отмечается превышение допустимого остаточного количества по цинку и меди соответственно в 3,5 и 4,7 раза. Свинец также представляет потенциальную угрозу, поскольку накапливается в гидробионтах.

Проведенные исследования выявили сокращение присутствия в гидробионтах меди, ртути и кадмия по сравнению с концом XX столетия.

ГЛАВА 5. ИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ГИДРОБИОЦЕНОЗА В УСЛОВИЯХ ЛОКАЛЬНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

В пятой главе проведена индикация состояния гидробиоценозов в условиях локальных загрязнений. Рассмотрено изменение показателей биологического разнообразия по фитопланктону: по индексу Шеннона (от 0,35 до 3,63) воды на участке Волжского плеса характеризуются от «чистой» (в заливе вторичного отстойника) до «грязной» в сбросном канале, при этом контрольная станция Волжского плеса и район сбросов сточных вод оцениваются одинаково как «загрязненные» участки. По индексу трофности район сбросов сточных вод оценивается как олиготрофный, а контрольные участки Волжского плеса – эвтрофные.

Исследование зоопланктона вторичного отстойника выявило сокращение качественных и количественных показателей развития зоопланктона в условиях сильного органического загрязнения, отмечалось большее развитие инфузорий.

Индексы видового разнообразия Шеннона (ИВР) зоопланктона во вторичном отстойнике значительно варьировали – от 0,19 до 3,63, и характеризовали воду отстойника как «умеренно загрязненную», для бентоса была характерна еще более высокая вариабельность ИВР. Коэффициент вариации индексов видового разнообразия лучше отражал состояние экосистемы (рисунок 13).

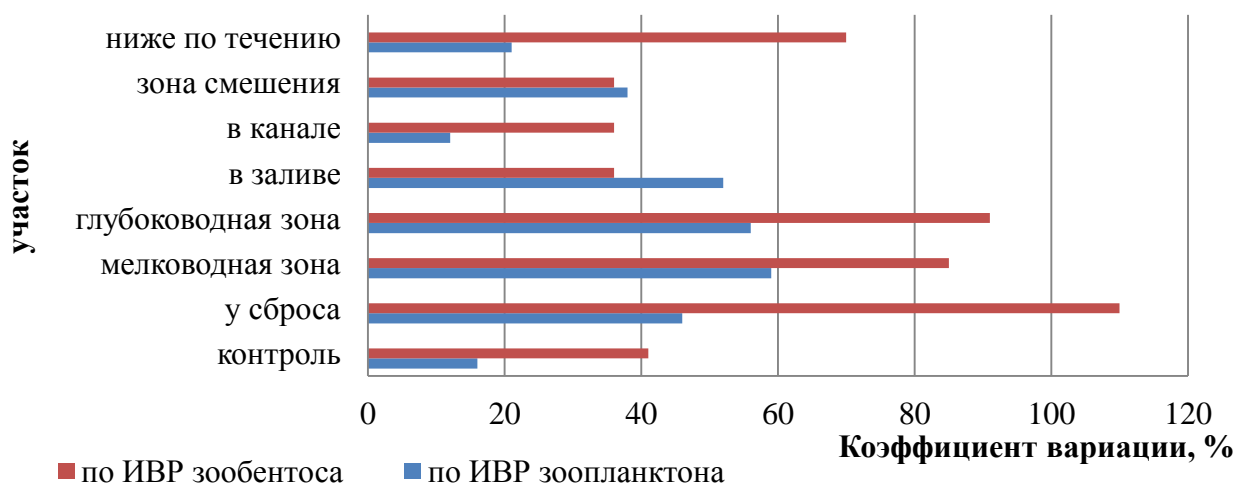


Рисунок 13 – Коэффициенты вариации индексов видового разнообразия Шеннона (ИВР) зоопланктона и зообентоса в Волжском плесе

Индексы сапробности, рассчитанные для сообществ фито-, зоопланктона и макрозообентоса, слабо отражали состояние экотопов в отстойнике, так из макробеспозвоночных в отстойнике преобладали личинки *Culex*, относящиеся к β -мезосапробам ($S = 1,55$). На контрольном участке Куйбышевского водохранилища отмечались наименьшие значения индексов сапробности (1,96-2,13), участок относился к β -мезосапробной зоне. Класс участков по трофности сильно варьировал и различался для разных сообществ. По индексу Балушкиной воды на контрольном участке оценивались как умеренно загрязненные и загрязненные, аналогичным было качество вод и на участках Волжского плеса ниже сброса. По индексу Вудивиса наименьшая степень загрязнения отмечалась на контрольном участке: он оценивался как «незначительно загрязненный» (ИВ 6-7), во вторичном отстойнике воды оценивались как сильно загрязненные (ИВ 1-2). В целом, индекс Вудивиса в большей степени отражал состояние качества вод исследованного участка.

Поскольку ряд наиболее часто используемых индексов качества вод, в условиях вторичного отстойника, оказались неприменимыми, то, по результатам анализа сообщества макробеспозвоночных, нами разработан Индекс (Y). Исходя из полученных данных, нами предложена зависимость соотношения этих групп гидробионтов, позволяющая оценить состояние биоценоза по среднесезонным показателям.

$$Y = \frac{P_{пв} + 0,5P_{дрк}}{P_{дав} + 1},$$

где, $P_{пв}$ – доля (%) от общей численности зообентоса первичноводных организмов, не относящихся к насекомым; $P_{дрк}$ – доля (%) дышащих растворенным в воде кислородом от общей численности вторичноводных насекомых; $P_{дав}$ – доля (%) дышащих атмосферным воздухом насекомых (личинок насекомых) от общей численности зообентоса (табл.2). Главным критерием состояния системы является отношение макробеспозвоночных к кислороду в воде, поэтому данный индекс может рассматриваться как показатель органического загрязнения экосистемы. Чем ниже индекс, тем критичнее состояние водной экосистемы.

Таблица 2 – Зависимость значений индекса Y от состояния донного сообщества

Донный гидробиоценоз	Уровень воздействия	Значение Y
Нестабильный	Очень сильное	0-1
На ранней стадии адаптации	Сильное	1-3
Подверженный воздействию	Умеренное	3-12
Приспособившийся	Слабое	12-48
Стабильный неоднородный	Незначительное	48 - 100
Нестабильный однородный (олигохетный, гаммаридный, корофиумный и т.п.)	Сильное однонаправленное	100

Индекс отражает уже состоявшееся негативное воздействие на водную экосистему и оценивает ее способность к восстановлению. Проверка рабочей модели оценки индекса Y показала возможность его использования (рисунок 14).

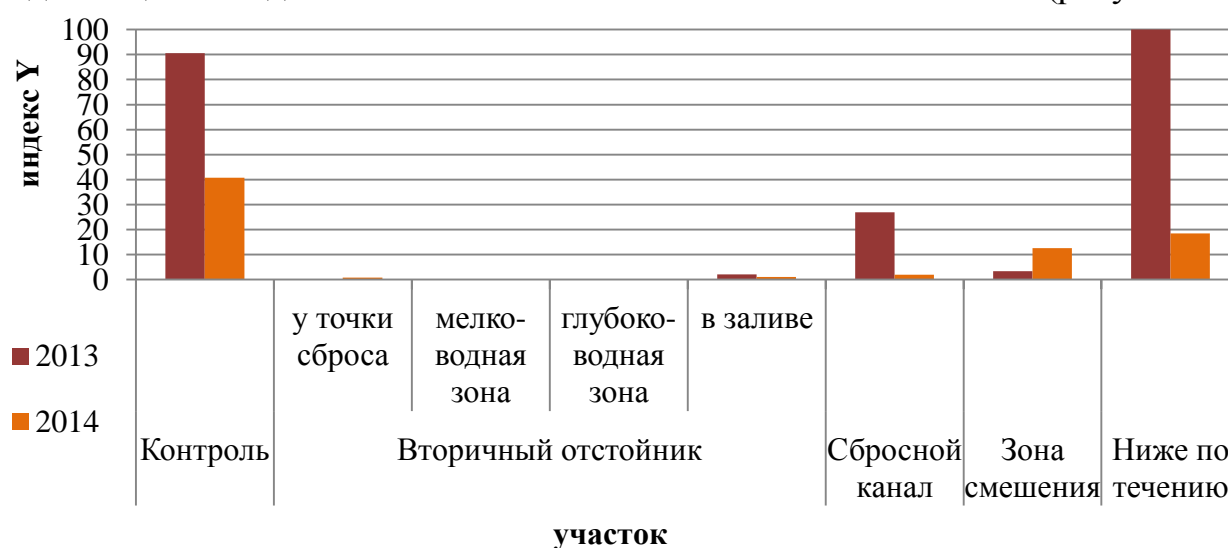


Рисунок 14 – Значения показателя состояния донного гидробиоценоза (индекс Y) в Волжском плесе и вторичном отстойнике ОАО «МЦБК»

ГЛАВА 6. РЕАБИЛИТАЦИЯ ВОДОЕМОВ В УСЛОВИЯХ ЛОКАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ ГИДРОБОТАНИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

В шестой главе рассмотрены биогидроботанические методы реабилитации водоемов в условиях локального загрязнения. Показана эффективность использования мобильных биоплато, как концентраторов моллюсков дрейссены, клубчатых мшанок, молоди рыб. На основе экспериментальных данных, получены коэффициенты биологического поглощения, отражающие избирательное накопление элементов в водных растениях (рисунок 15, таблица 3).

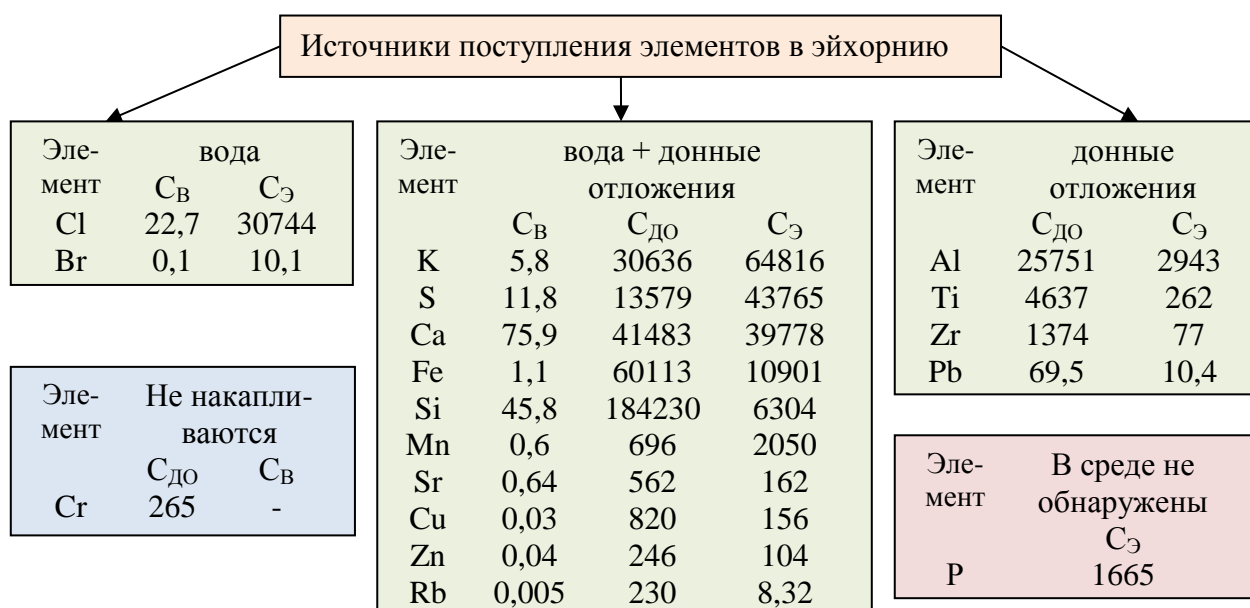


Рисунок 15 – Схема источников поступления элементов в эйхорнию (C_B - концентрация в воде, мг/л; $C_{до}$ - концентрация в донных отложениях, мг/кг сухой массы; $C_Э$ – максимальные концентрации в эйхорнии, мг/кг сухой массы)

Экспериментально определены коэффициенты диффузии ряда тяжелых металлов из воды в биомассу элодеи, роголистника и эйхорнии. Коэффициенты биологического поглощения элементов из водной среды выше, чем из грунта. Наибольший коэффициент биологического поглощения эйхорнией из воды отмечен у железа (2219), а из грунта – у марганца (2,95). Выявлена способность аккумуляции эйхорнией свинца (0,15). Моллюски дрейссены являются накопителями железа, марганца, хрома и меди. Хром не отмечен у водных растений и аккумуляировался только беспозвоночными гидробиоценоза мобильной установки.

Таблица 3 – Коэффициент биологического поглощения (КБП) элементов эйхорнией из воды ($C_э/C_в$) и донных отложений ($C_э/C_{до}$) во вторичном отстойнике ОАО «МЦБК»

КБП	Микроэлементы				Опасные тяжелые элементы		
	Zn	Mn	Cu	Fe	Pb	Ni	Sr
Из воды $C_э/C_в$	159	193	440	2219			17
Из донных отложений $C_э/C_{до}$	0,45	2,95	0,28	0,18	0,15	0,52	0,34

Проведенные мониторинговые исследования воды и биомассы водных растений позволили сделать вывод об эффективности доочистки с помощью водных растений и определить расчетные параметры для математической модели процесса очистки, реализованной в компьютерной программе «Биоплато» и успешно апробированной в эксплуатации экспериментального мобильного биоплато во время Универсиады – 13 в г. Казань на о. С. Кабан.

ВЫВОДЫ

1. Основными загрязняющими веществами у сброса сточных вод во вторичном отстойнике целлюлозно-бумажного комбината являются органические вещества. Во вторичном отстойнике наблюдается сокращение ХПК в воде с 69,4-265,0 мгО₂/дм³ до уровня характерного для контрольного участка реки (в 2,9-4,4 раза). Работа очистного сооружения позволяет использовать его в качестве модельного участка с зонами с разной степенью органического загрязнения, не подверженными токсическому воздействию.

2. На участках сбросов сточных вод в регионе Средней Волги основными загрязнителями, попадающими по пищевым цепям в рыб, в настоящее время являются Cu и Zn. Pb, Hg и Cd – характерные загрязнители гидробионтов в конце XX столетия не отмечены в настоящее время в гидробионтах Волжского плеса.

3. Не смотря на 60-ти летний стаж эксплуатации очистного сооружения, исследования не выявили значительных изменений состояния гидробиоценоза Куйбышевского водохранилища ниже по течению сброса по сравнению с контрольным участком. На участке в районе сброса сточных вод ОАО «МЦБК» было встречено 49 видов и внутривидовых таксонов водорослей, 88 видов и форм зоопланктеров, 72 – зообентонтов. Весь исследованный участок Волжского плеса относится к низкому классу трофии и оценивается как умеренно загрязненный.

4. Во вторичном отстойнике ОАО «МЦБК» было встречено 50 видов и внутривидовых таксонов водорослей, 71 вид и форма зоопланктеров, 40 – зообентонтов. По мере сокращения концентрации органических веществ на

участках локального загрязнения смена преобладающих групп внутренних сообществ гидробионтов идет по схеме: бактериопланктон → фитопланктон (в направлении зеленые → синезеленые водоросли) → зоопланктон (за счет ветвистоусых ракообразных).

5. Структура основного комплекса видов макробеспозвоночных на участках наибольшего органического загрязнения представлена преимущественно формами насекомых, способных к атмосферному дыханию; при улучшении состояния в экотопе увеличивалось разнообразие и представленность вторичноводных насекомых: формы, с дыханием растворенным кислородом, заменяли формы, потребляющие атмосферный воздух. На контрольных участках и в зонах восстановления преобладали первичноводные животные.

6. Зоопланктон активнее участвует в самоочищении вод, а бентос, как биоиндикатор, в большей степени отражает степень органического загрязнения и нарушенности биоценоза.

7. Разработанный показатель состояния донного гидробиоценоза (индекс Y), отражающий соотношение групп макробеспозвоночных, различающихся в зависимости от используемого источника кислорода и принадлежности к группе насекомых, позволяет оценить состояние водоема и охарактеризовать состояние сообщества гидробионтов на участках локального загрязнения сточными водами предприятий.

8. Разработанная конструкция мобильного биоплато позволяет использовать высшие водные растения для доочистки вод в условиях локального загрязнения с разной степенью антропогенного загрязнения. Компьютерная программа моделирования работы водоочистного сооружения с использованием высшей водной растительности «БИОПЛАТО», позволяет моделировать процесс доочистки вод при наличии комбинации водных растений трех видов, включая эйхорнию; анализировать работу во времени с учетом периодической замены растительной массы; оценивать эффективность очистки («самоочистки»).

9. Эйхорния является наиболее эффективным компонентом мобильного биоплато при доочистке вод в условиях с высокой степенью антропогенного органического загрязнения, способным выводить из среды Pb, Ni, Sr, Zn, Mn, Cu, Fe. Водные беспозвоночные, формирующие биоценоз биоплато, в отличие от водных растений способны к накоплению хрома.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. В местах локального загрязнения водоемов в условиях Среднего Поволжья предлагается устройство искусственных биоценозов на базе мобильных биоплато. Для участков сильного антропогенного воздействия рекомендуются полупогруженные водные растения, например, эйхорния, при умеренном антропогенном воздействии – погруженные водные растения (роголистники, элодея канадская).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТАХ:

Статьи в рецензируемых журналах из перечня, рекомендованного ВАК РФ:

1. Калайда М.Л. *Dreissena polymorpha* Pal. (Mollusca) в составе гидробиоценоза мобильного биоплато как аккумуляторы загрязняющих веществ / М.Л. Калайда, М.Ф. Хамитова // **Бутлеровские сообщения.** - №2. - Т.37. - 2014а. - С.122-126.
2. Калайда М.Л. Мшанки *Plumatella fungosa* (Bryozoa) в составе гидробиоценоза мобильного биоплато как аккумуляторы загрязняющих веществ / М.Л. Калайда, М.Ф. Хамитова // **Бутлеровские сообщения.** - №2 - Т.37.- 2014б. - С.127-130.
3. Калайда М.Л. Химические особенности молоди рыб в составе гидробиоценоза мобильного биоплато / М.Л. Калайда, М.Ф. Хамитова // **Бутлеровские сообщения.** - №3. - Т.37. - 2014в. - С.90-96.
4. Калайда М.Л. Особенности химического состава молоди окуня в Волжском плесе Куйбышевского водохранилища / М.Л. Калайда, М.Ф. Хамитова // **Бутлеровские сообщения.** - №12. - Т.40. – 2014г. - С.37-41.
5. Калайда М.Л. Возможности применения эйхорнии в доочистке вод целлюлозно-бумажного комбината. Часть 1. Особенности химического состава воды в Волжском плесе Куйбышевского водохранилища / М.Л. Калайда, М.Ф. Хамитова // **Бутлеровские сообщения.** - №11. - Т.44. - 2015. С.34-46.
6. Калайда М.Л. Возможности применения эйхорнии в доочистке вод целлюлозно-бумажного комбината. Часть 2. Особенности химического состава донных отложений в Волжском плесе Куйбышевского водохранилища / М.Л. Калайда, М.Ф. Хамитова // **Бутлеровские сообщения.** - №11. - Т.44. - 2015. - С. 104-112.
7. Калайда М.Л. Возможности применения эйхорнии в доочистке вод целлюлозно-бумажного комбината. Часть 3. Особенности химического состава

Eichhornia crassipes / М.Л. Калайда, М.Ф. Хамитова // **Бутлеровские сообщения.** - №11. - Т.44. - 2015. - С. 113- 121.

8. Калайда М.Л. Результаты альголизации сточных вод, загрязненных органическими веществами, одноклеточной водорослью *Chlorella vulgaris* / М.Л. Калайда, М.Ф. Хамитова, С. И. Новоточинов // **Бутлеровские сообщения.** - №10. - Т.48. - 2016. - С.143-149.

9. Калайда М. Л. Индикативные показатели эвтрофирования как элемент мониторинга водных экосистем / М.Л. Калайда, М.Ф. Хамитова // **Бутлеровские сообщения.** - №3. - Т.49. - 2017. - С.156-162.

Статьи в других изданиях:

10. Калайда М.Л. Мобильное биоплато как место нагула молоди рыб при реабилитации озера в г. Казань в условиях комплексного антропогенного воздействия / М.Л. Калайда, М.Ф. Хамитова // Современное состояние биоресурсов внутренних вод. Материалы докладов II Всероссийской конференции с международным участием. 6-9 ноября 2014 г., Борок, Россия. В двух томах. - М.: ПОЛИГРАФ ПЛЮС, 2014. - 638 с., Том 1 - С. 224 – 231.

Свидетельства о регистрации программных комплексов

11. Калайда М.Л., Борисова С.Д., Хамитова, М.Ф. Петров А.В. Компьютерная программа моделирования работы водоочистного сооружения с использованием высшей водной растительности «БИОПЛАТО» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013616359, выданное Роспатентом. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 04.07.2013.