

# ОТЧЕТ

## О ПРОВЕДЕННЫХ РАБОТАХ ПО БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ БЕЛОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА МЕТОДОМ КОРРЕКЦИИ АЛЬГОЦЕНОЗА

Руководитель работ,  
Генеральный Директор  
ООО Научно-производственное объединение «Альгобиотехнология»

\_\_\_\_\_ В.Т. Лухтанов

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2013 г.

г. Воронеж  
2013 г.

## **РАБОТА ВЫПОЛНЕНА:**

ООО НПО «Альгобиотехнология»  
Российская Федерация, 394049, г. Воронеж,  
ул. Лидии Рябцевой, 50  
тел. +7 (473) 239-04-71  
факс: +7 (473) 239-04-72  
[www.algobiotechnologia.com](http://www.algobiotechnologia.com)  
E-mail: [abt-vrn@yandex.ru](mailto:abt-vrn@yandex.ru)  
<http://www.facebook.com/abt.vrn>  
<https://twitter.com/algobiotechnolog>

## **СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ:**

<b>Руководитель работ, Генеральный директор</b>	Лухтанов В. Т.
Технический директор	Кравченко С. Ф.
Директор по науке, к.г.н	Кульнев В. В.
Заведующий производством	Брычаева И. Н.
Микробиолог, к.б.н.	Биломар Е.Е.
Альголог	Цыганова Н. Л.
Гидробиолог	Киреева Н. В.
Нормоконтроль	Мухина Т.Ф.
Операторы установок	Балабаева Т. П., Кравченко Ю.И., Палагина Н.И.

**Эколого-гидрохимические и эколого-гидробиологические работы  
2010-2011 гг.**

**ООО «Экогеосистема»**

Российская Федерация, 394005, г. Воронеж,

ул. Вл. Невского, 48

тел/факс: +7 (473) 273-95-88

Руководитель работ	Косинов А. Е.
Общее руководство	д.г-м.н проф. Косинова И. И
Эколого-гидрохимические работы	к.г.н. Валяльщикова А. А.
Эколого-гидробиологические работы: фитопланктон	д.г.н. Анциферова Г.А.
Эколого-гидробиологические работы: зоопланктон	к.б.н. Животова Е.Н.
Эколого-гидробиологические работы: зообентос	с.н.с. Силина А.Е.

**Эколого-гидрохимические и эколого-гидробиологические работы выполнены ФГУП РосНИИВХ 2012 гг.**

Российская Федерация, 620049, г. Екатеринбург,

ул. Мира, 23

тел/факс: +7 (343) 374-26-79

Руководитель работ	заведующий отделом восстановления рек и водоемов, д.т.н. Попов А.Н.
Ответственный исполнитель	заведующий сектором гидробиологических исследований, к.б.н. Павлюк Т.Е.
Эколого-гидрохимические работы	аналитическая лаборатория ФГУП РосНИИВХ
Эколого-гидробиологические работы: фитопланктон	с.н.с., к.б.н. Еремкина Т.В.
Эколого-гидробиологические работы: зоопланктон	н.с., Алексюк В.А.

**. Эколого-гидрохимические работы в 2013 г. выполнены ФГБУ «Уральское УГМС».**

Российская Федерация, 620990, г. Екатеринбург,

ул. Народной Воли, 64  
тел: +7 (343) 261-25-61; факс: +7 (343) 261-77-24

**Эколого-гидробиологические работы в 2013 году выполнены  
сотрудниками Института экологии Волжского бассейна Российской  
академии наук (ИЭВБ РАН);**

Российская Федерация, 445003, г. Тольятти,  
ул. Комзина, 10  
тел: +7 (8482) 489-977; факс: +7 (8482) 489-504

Эколого-гидрохимические работы	лаборатория по мониторингу поверхностных вод ФГБУ «Уральское УГМС»
Эколого-гидробиологические работы: фитопланктон	к.б.н., Тарасова Н.Г.
Эколого-гидробиологические работы: зоопланктон	к.б.н., Мухортова О. В.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	7
1. КРАТКИЙ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК .....	11
2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕЛОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА .....	14
2.1.Описания мест отбора проб .....	14
2.2.Методы гидрохимических исследований.....	18
2.3.Методы исследования фитопланктона .....	20
2.4.Методы исследования зоопланктона .....	23
2.5.Методы исследования макрозообентоса .....	24
2.6. Методы биологической оценки качества воды водохранилища.....	27
2.7. Общие методы математической и статистической обработки данных.....	32
3. ПРОЕКТ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ВОДОХРАНИЛИЩА ПОСРЕДСТВОМ ВСЕЛЕНИЯ ЗЕЛеной МИКРОВОДОРОСЛИ И ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ .....	35
3.1.Правовое обеспечение и исходный материал для проведения работ.....	35
3.2.Характеристика штамма <i>Chlorella vulgaris</i> ИФР № С-111 .....	36
3.3.Выделение аборигенного штамма <i>Ch. vulgaris</i> и сравнительный анализ со штаммом ИФР № С-111.....	38
3.4.Подготовка альголизанта штамма <i>Ch. vulgaris</i> ИФР № С-111 .....	39
3.4.1.Определение возможности развития хлореллы в условиях Белоярского водохранилища.....	39
3.4.2. Адаптация штамма к воде Белоярского водохранилища.....	43
3.4.3.Расчет нормы вселения в водоем.....	44
3.4.4.Выращивание штамма на воде Белоярского водохранилища .....	46
3.5. Вселение хлореллы в Белоярское водохранилище.....	46
3.6. Приживаемость штамма .....	52
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕЛОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ИХ АНАЛИЗ .....	53
4.1. Гидрохимическое состояние акватории .....	53

4.2. Фитопланктон, его разнообразие, динамика.....	56
4.3. Зоопланктон, его разнообразие, динамика.....	69
4.4. Макрозообентос, его разнообразие, сезонная динамика и трофическая структура.....	75
4.5. Анализ экологического состояния акватории по комплексным гидрохимическим и биологическим показателям.....	87
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	95
ЛИТЕРАТУРА.....	100

#### ТЕКСТОВЫЕ И ГРАФИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ:

1. Аттестат, лицензия и область аккредитации лаборатории мониторинга поверхностных вод ФГБУ «Уральское УГМС».
2. Протоколы испытаний аккредитованной лаборатории мониторинга поверхностных вод ФГБУ «Уральское УГМС».
3. Графические материалы, отражающие динамику изменения гидрохимического состава Белоярского водохранилища за четырехлетний цикл проведения работ по биологической реабилитации методом коррекции альгоценоза.
4. Видовой состав, обилие и экологическая характеристика фитопланктона Белоярского водохранилища.
5. Видовой состав, обилие и экологическая характеристика зоопланктона Белоярского водохранилища.
6. Видовой состав, обилие и экологическая характеристика макрозообентоса Белоярского водохранилища.

## ВВЕДЕНИЕ

Создание водохранилищ на равнинных реках существенно изменило комплекс гидрологических, гидрохимических и гидробиологических характеристик экосистем. Уменьшение проточности и водообмена, увеличение прозрачности, прогрева толщи воды, образование обширных мелководий, накопление биогенных веществ и органических соединений при затоплении обусловили развитие процессов эвтрофикации, что в свою очередь способствовало обильному развитию фитопланктона [151, 175], в том числе развитию синезеленых водорослей (цианобактерий) и отдельных их представителей, вызывающих «цветение» воды. Интенсификация «цветения» усиливается за счет антропогенной нагрузки, так как водохранилища, в основном, находятся в зонах мощной промышленной индустрии и интенсивного сельского хозяйства. Обильно «цветут» до настоящего времени водохранилища Волги (Розенберг, 2012), Дона [157, 156], сибирских рек. Возбудителями «цветения» воды являются представители из различных систематических групп водорослей, но самые благоприятные условия создаются для чрезвычайно активной вегетации синезеленых из родов *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Oscillatoria*, *Microcystis* [40, 41, 159].

«Цветение» воды приводит к вторичному загрязнению водохранилищ продуктами распада синезеленых водорослей, значительно ухудшая санитарно-гигиенические показатели воды, что в первую очередь отрицательно сказывается на здоровье населения, использующего некачественную питьевую воду [31]. Разлагающиеся водоросли вызывают негативные явления и в самом водоеме: снижение содержания растворенного кислорода, появление цианотоксинов в воде, образование заморных зон, гибель гидробионтов.

Таким образом, «цветение» воды это последствие экологических нарушений в функционировании экосистем.

Технология хозяйствования и активизация стихийной рекреационной и натуралистической деятельности на водосборе и акватории Белоярского водохранилища привели к ситуации, которая в 2008, 2009 годах инициировала вопрос об улучшении гидрохимического, санитарного и гидробиологического состояния водоема. Одним из методов улучшения состояния водоема - биоманипуляция путем коррекции альгоценоза штаммом хлореллы (*Chlorella vulgaris* ИФР №С-111) был применен в 2010-2013 гг.

Большинство водохранилищ Российской Федерации являются водоемами многоцелевого назначения. Качество воды является важной составляющей нормальной жизнедеятельности всего живого и, прежде всего человека. В связи с этим биологическая реабилитация Белоярского водохранилища стала актуальной и необходимой.

**Объект исследования:** Белоярское водохранилище.

**Предмет исследования:** экологическое состояние Белоярского водохранилища.

**Проблема, требующая решения:** постоянная и всё возрастающая эвтрофикация Белоярского водохранилища.

**Гипотеза исследования:** альголизация Белоярского водохранилища штаммом *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 приведет к снижению уровня вторичного загрязнения биогенными элементами, уменьшению видового разнообразия и биомассы синезеленых водорослей, улучшению рекреационных свойств акватории, то есть к восстановлению функционирования водохранилища как водоема многоцелевого хозяйственного использования.

**Цель работы:** восстановление экологической системы и биологическая реабилитация Белоярского водохранилища посредством альголизации штаммом *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111.

**Для выполнения поставленной цели были определены следующие задачи:**



- выяснить физико-географические характеристики, исходный режим, основные экологические проблемы Белоярского водохранилища и сопредельных территорий.

- провести комплексные гидрохимические и гидробиологические исследования состояния Белоярского водохранилища для определения уровня загрязненности и оценки влияния альголизации на качество воды и водные экосистемы в течение вегетативных сезонов 2010-2013 гг.

- разработать проект биологической реабилитации Белоярского водохранилища на основе гидрохимического и гидробиологического анализа исходного режима, с учетом климатических особенностей.

- вырастить адаптированный штамм *Ch. vulgaris* ИФР № С-111.в необходимом объеме в соответствии с ТУ 9291-003-12001826-05 (далее ТУ).

- осуществить альголизацию Белоярского водохранилища штаммом *Ch. vulgaris* ИФР № С-111. в течение 2010-2013 гг.

- выяснить степень приживаемости штамма *Ch. vulgaris* ИФР № С-111. в течение 2010-2013 гг. согласно технологической инструкции (далее ТИ).

- снизить развитие цианобактерий в пользу развития зеленых водорослей, а соответственно снизить риск вторичного загрязнения и повысить самоочищающую способность водоема.

Исследования Белоярского водохранилища выполнялись в соответствии с заданием в рамках Договоров № 22/03 от 22 марта 2010 г., № 14-03/553 от 22 ноября 2011 г., № 14-03/553 от 22 ноября 2012 г., № 14-03/101 от 20 февраля 2013 г., заключенных ОАО «Концерн Росэнергоатом» с НПО «Альгобиотехнология».

Отчет изложен на 118 страницах, содержит 17 таблиц, 39 рисунков, 5 текстовых приложений, использовано 19 формул и 198 литературных и веб-источников.

**Ключевые слова:** альголизация, аквакультура, синезеленые водоросли, микроводоросль, суспензия хлореллы, фитопланктон, зоопланктон, «цветение» воды, водохранилище, гидрохимия.

## 1. КРАТКИЙ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Белоярское водохранилище – это искусственный водоем, расположенный на Среднем Урале, на юге Свердловской области, в 60 км юго-восточнее г. Екатеринбурга, у г. Заречный (Рис. 1). Оно было создано в 1959 – 1963 гг. путем зарегулирования русла р. Пышмы, в 73 км от ее истока.

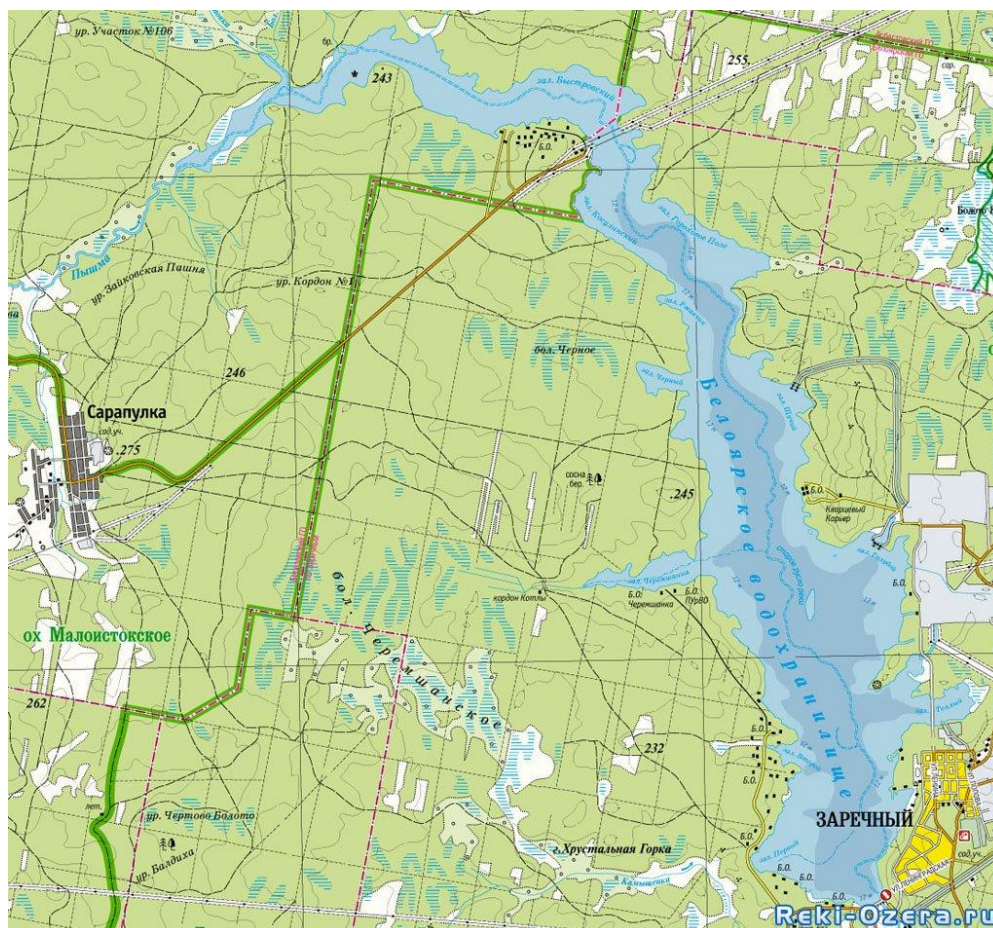


Рис. 1 – физическая карта Белоярского водохранилища [38]

Водохранилище расположено в бассейне реки Оби на реке Пышма, впадающей в реку Тура – приток реки Тобол (бассейн Иртыша). Протяженность водохранилища составляет двенадцать километров, ширина до четырех километров, средняя глубина до 4-5 м, по руслу реки – до 20 м [38]. У Белоярского водохранилища наибольшая площадь зеркала среди водохранилищ Свердловской области – при НПУ 38 км<sup>2</sup>. Площадь водосбора в створе гидроузла составляет 944 км<sup>2</sup>, объем при НПУ (нормальный подпорный уровень) – 265 млн м<sup>3</sup>[142].

Белоярское водохранилище расположено на Зауральской складчатой возвышенности в зоне позднепалеозойских интрузивных пород. Рельеф окружающей территории создан преимущественно эндогенными процессами и представляет собой предгорные равнины с высотами до 150–250 м [29, 120]. Средний Урал в районе работ наиболее низкогорный (самая высокая г. Средний Басег – 994 м), сильно сглаженный.

Растительность представлена типичными для подзоны южной тайги этого региона сосновыми лесами с примесью ели, пихты и лиственницы. Имеются большие вкрапления мелколиственных пород: березы, осины, особенно на местах бывших вырубок и пожарищ. Из широколиственных встречается липа. Почвы водосбора в основном дерново-подзолистые, встречаются лугово-болотные и торфяно-подзолистые.

Климат прилегающей территории континентальный, для которого характерна длительная и холодная зима и короткое теплое лето. Средняя температура января – 17°С (в г. Екатеринбурге – 15,4° С); средняя температура июля + 20°С (в г. Екатеринбурге + 17,4° С). Среднегодовое количество осадков 450 – 500 мм, они выпадают неравномерно: 300 – 350 мм осадков приходится на теплую часть года. Зимой преобладают юго-западные ветры, летом – северные, северо-западные, западные [120, 88].

Реки Среднего Урала принадлежат бассейнам Северного Ледовитого океана и Каспийского моря. Реки западного склона более полноводны; для них характерны высокие и продолжительные половодья в мае – июне, нередко переходящие в высокие летние паводки, связанные с обильными дождями в горах. Наименьшая водность у рек восточного склона. Питание рек главным образом снеговое и дождевое. Наиболее крупные озёра расположены на восточном склоне.

Исследуемый водоем в основном питается водами р. Пышма. Также в него впадает несколько крупных речек (Черная, Черемшана, Пушкариха и др.). Он был образован в 60-ых годах в связи со строительством Белоярской АЭС, расположенной на берегу, и используется в качестве

охлаждителя её реакторов, а также для технического водоснабжения станции. Белоярская атомная станция располагается в 7 км выше от плотины, пущена в эксплуатацию в 1964 г. Главные источники загрязнения водоема – промливневой и обводный каналы в районе АЭС и селитебная зона. В августе 1992 г экспедицией Госкомчернобыля России в районе Белоярской АЭС обнаружены аномальные концентрации цезия-137 и кобальта-60.

Кроме того, последствием деятельности первых двух блоков стало появление тяжелого водорода – трития. В воде Белоярского водохранилища его концентрация в два-три раза превышает природный фон [179, 180, 163].

Вода водохранилища используется и для садкового рыбного хозяйства. Водоем имеет рекреационное значение и является местом любительской рыбной ловли. Ихтиофауна формируется за счет рыбы из реки Пышма, а также вселенных видов: лещ, судак, сиговые, карп [38]. Среди уральских водохранилищ Белоярское водохранилище отличается наибольшей видовой представленностью (8 видов) и высокой численностью (119 экз./м<sup>2</sup>) гирудофауны [181].

Берега водохранилища сильно изрезаны, преимущественно пологие, местами каменистые, в основном покрыты сосново-березовыми разнотравными лесами и кустарниками, местами заболочены. (Рис.1). Гидротехнические сооружения относятся к I классу капитальности [142]. Дно суглинистое, плохо очищенное от коряг, илистое местами песок или камень.

Окрестности водохранилища известны как место туризма и осенней охоты на водоплавающую дичь. В последние годы на водохранилище возникло несколько баз отдыха промышленных предприятий. Построены лодочные станции, благоустроены пляжи, оборудованы пристани для катеров, улучшены подъезды к водоему. Густые смешанные леса, сосновые боры привлекают многочисленных грибников и ягодников.

## 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕЛОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

### 2.1. Описания мест отбора проб

Белоярское водохранилище было создано более тридцати лет назад, и, судя по рассказам местных жителей, все эти годы на всей площади водохранилища наблюдалось интенсивное «цветение» синезелеными водорослями, причем начиная с мая и заканчивая октябрем.



Рис. 2 – карта-схема точек альголизации и мониторинга Белоярского водохранилища с изменениями [178].

Таблица условных обозначений к рисунку 2.

№ точки забора	Координаты
Точка №1 200 м от берега напротив строящейся АЭС, левобережье, Голубой залив	N' 56° 51' 191'' E' 61° 17' 944''
Точка №2 100 м от берега ниже действующей БАЭС, левобережье, Теплый залив	N' 56° 49' 736'' E' 61° 18' 631''



Точка №3 100 м от берега городского пляжа г.Заречный, у плотины, левобережье	N' 56° 48'408'' E' 61° 18'491''
Точка №4 150 м между берегами залива Черемшана, правобережье	N' 56° 50'820'' E' 61° 13'138''
Точка №5 30 м от берега от пирса рыбоохраны базы отдыха Белоярского водохранилища, правобережье, у ЛЭП	N' 56° 55'160'' E' 61° 13'201''
Точка №6 Верховья Белоярского водохранилища, правобережье	N' 56° 56'287'' E' 61° 08'831''

Запах геосмина, вызываемый разлагающимися синезелеными водорослями был ощутим далеко от береговой зоны. Причинами бурного развития водорослей являются большое количество биогенных элементов, поступающих с водами р. Верхняя Пышма и повышенная температура воды в низовьях водохранилища.

В ходе проводимых исследований ежемесячно отбирались пробы воды из Белоярского водохранилища (Рис. 2) для гидрохимического анализа, для качественной и количественной оценки зоо- и фитопланктона.



Рис.3 – Голубой залив. Точка №1.



Рис.4 – Теплый залив. Точка №2.



Рис. 5 – городской пляж. Точка №3.





Рис. 6 – залив Черемшана. Точка №4.



Рис. 7 – у ЛЭП. Точка №5.



Рис. 8 – верховья Белоярского водохранилища. Точка №6.

## 2.2. Методы гидрохимических исследований

В ходе работ был выполнен отбор проб и проведен гидрохимический анализ качества воды в ключевых точках, привязка которых отражена на рисунке 2 и в таблице 1.

При этом пробоотбор воды производился в приповерхностной части водоема, с глубины 0,5 метра.

Таблица 1 – привязка точек гидрохимического мониторинга Белоярского водохранилища в 2013 г.

№ точки мониторинга	Описание точки мониторинга	Географические координаты
2	Теплый залив	N 56°49.736` E 61°18.631`
3	Низовья водохранилища – левобережье в районе пляжа	N 56°48.408` E 61°18.491`
5	У ЛЭП	N 56°55.160` E 61°13.201`

Отбор проб воды производился в соответствии с рядом нормативных документов [55; 85; 86;87.].

Всего было отобрано и сделан анализ для 18 проб воды.

Гидрохимический анализ воды проводился по следующим компонентам и показателям: рН, полифосфаты, железо общее, ионы марганца, меди, цинка, азот аммонийный, азот нитритный, азот нитратный, химическое потребление кислорода, нефтепродукты, биохимическое потребление кислорода (за пять суток), концентрация растворенного кислорода, а также такие органолептические показатели как запах, цветность и взвешенные вещества.

Анализ проводился в соответствии с методиками, внесенными в государственный реестр методик количественного химического анализа природных вод, почв и отходов и действующими нормативными документами. Нормативные документы на методы испытаний каждого из определяемых компонентов приведены далее в таблице 2.

Таблица 2 – нормативные документы на методы испытаний

№ п/п	Наименование показателя, размерность	Нормативная документация на методы исследований
1	2	3
1	Водородный показатель	ПНДФ 14.1:2:3:4.121-97
2	Полифосфаты, мг/дм <sup>3</sup>	ПНД Ф 14.1:2:112-97
3	Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	ПНД Ф 14.1:2.22-95
4	Марганец, мг/дм <sup>3</sup>	ПНД Ф 14.1:2:4.188-02
5	Медь, мг/дм <sup>3</sup>	ПНД Ф 14.1:2.22-95
6	Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	ПНД Ф 14.1:2.22-95
7	Аммоний и ионы аммония, мг/дм <sup>3</sup>	ПНД Ф 14.1:2.1-95
8	Нитриты, мг/дм <sup>3</sup>	ПНД Ф 14.1:2.3-95
1	2	3
9	Нитраты, мг/дм <sup>3</sup>	ПНД Ф 14.1:2.4-95
10	ХПК, мг/дм <sup>3</sup>	ПНД Ф 14.1:2.100-97
11	Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	ПНД Ф 14.1:2.116-97
12	БПК <sub>5</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97
13	Растворенный кислород,	РД 52.24.419-95

	мг/дм <sup>3</sup>	
14	Запах, балл	ГОСТ 3351-74
15	Цветность, градус	ГОСТ 3351-74
16	Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	РД 52.24.468-2005

### 2.3. Методы исследования фитопланктона

Основным объектом исследований являются низшие микроскопические водоросли, которые составляют сообщества фитопланктона.

Сбор фактического материала осуществлялся стандартными методами, изложенными в ряде литературных источников [111, 151, 46, 149]. Пробы воды для определения состава фитопланктона отбирались: с поверхности и с глубин одной (1S), двойной (2S), тройной прозрачности (3S). Затем, вся вода сливалась в одну емкость, тщательно перемешивалась и отбиралась средневзвешенная проба объемом 1 литр, которая характеризует средний состав фотического слоя эпилимниона. График пробоотбора приведен в таблице 3.

Общий объем обработанного материала составил 50 проб, что позволяет выявить систематический и эколого-географический состав сообщества низших водорослей и проследить особенности их развития.

Для таксономического определения низших микроскопических водорослей они изучались с помощью оптического микроскопа при рабочем увеличении 1200<sup>x</sup>-600<sup>x</sup> и 1200<sup>x</sup>. Увеличение определяется путем умножения номера объектива на номер окуляра.

Таблица 3 – график отбора проб фитопланктона Белоярского водохранилища

№ точки забора	Периодичность или дата сбора			
	2010	2011	2012	2013
1.		–	–	–
2.		–	–	VI-VII
3.	Ежемесячно IV	VI, VII, VIII,	Ежемесячно	V-X

	– X	IX-начало X	V-X*	
4.		–	–	–
5.		–	–	V-VII
6.	Ежемесячно IV – X	VI, VII, VIII, IX-начало X	Ежемесячно V-X*	IX – X
Объем обработанного материала	14 проб объемом 1,5-2 л	8 проб объемом 2 л	14 проб объемом 3 л	14 проб объемом 1 л

Примечание. \*В июне пробы отбирались дважды: в начале и в конце месяца.

Собранный материал просматривался под микроскопом дважды: первоначально, при их поступлении в лабораторию, изучались «живые» пробы. Это позволяет зафиксировать состояние живого материала до наступления его возможных изменений при хранении проб в течение некоторого времени, пока происходит осаждение осадка.

Количественные пробы фитопланктона фиксировались 40% раствором формалина и ставились на 10 суток на отстаивание в прохладное место, после чего пробы сгущали осадочным методом.

При изготовлении препарата для просмотра под микроскопом на предметное стекло пипеткой наносили 0,02 мл тщательно перемешанной взвеси осадка-концентрата, она закрывается покровным стеклом (12x12 мм). Далее в каждом препарате в средней части стекла по горизонтальным рядам насчитывали не менее 500 экземпляров низших водорослей с последующим пересчетом процентных содержаний отдельных форм. Для более полного выявления их видового состава просматривался весь препарат.

Определение водорослей проводилось по соответствующим определителям с применением общепринятых методик исследований [69; 51, 62, 77, 92, 97, 109, 117, 118, 131, 132, 140, 176, 66; 67, 68, и др. 107; 95; 30; 108, 49;].

Для учета встречаемости микроскопических водорослей применялась шкала, которая рассчитывает баллы, исходя из полученных значений процентного содержания отдельных таксонов. Значения обилия переводились в балльную шкалу следующим образом: для таксонов, составляющих в общем

составе микроскопических водорослей менее 0-1,00 %, - 1 балл, 1,01-3,00% – 2 балла, 3,01-10,00% - 3 балла, 10,01-20,00% - 5 баллов, 20,01-40,00% - 7 баллов и 40,01-100% - 9 баллов [174]. Балльная система показателей встречаемости таксонов необходима при проведении оценки эколого-биологического качества вод.

Подсчитывалась также численность клеток (колоний) в 1 л воды (млн.кл./л) и биомасса (миллиграмм на 1 л (мг/л) на основе измерения размеров клеток в камере Горяева. Расчет численности микроскопических водорослей в 1 л воды производился по формуле:

$$N = n \times k \times \frac{A}{a} \times v \times \frac{1000}{V}, \quad (1)$$

где  $N$  – количество микроводорослей в 1 л воды исследуемого образца,  $k$  – коэффициент, показывающий во сколько раз объем счетной камеры меньше  $1 \text{ см}^3$ ,  $n$  – количество организмов, обнаруженных на просмотренных клетках камеры Горяева,  $A$  – количество клеток в камере,  $a$  – количество просмотренных клеток камеры,  $v$  – первоначальный объем отобранной пробы ( $\text{см}^3$ ),  $V$  – объем взвеси-концентрата пробы ( $\text{см}^3$ ) [46, 149, 150].

Подобный учет количественного соотношения при изучении микроскопических водорослей, хотя и не совершенно точен, но дает вполне сравнимые результаты не только по одному, но и по различным местам обитания.

Для определения биомассы производилось измерение размеров клеток микроводорослей, створок или панцирей диатомовых. Оно производилось с помощью окулярного микрометра, содержащего измерительную линейку (предметное стекло с нанесенной на него линейкой, цена каждого деления составляет 10 микрометров, мкм). Так определялись линейные размеры организма. Для каждого вида водоросли отдельно тело приравнивалось к какой-либо геометрической фигуре или комбинации этих фигур, после чего вычислялись их объемы по

известным в геометрии формулам на основании линейных размеров вида водоросли. Биомасса рассчитывалась для каждого вида отдельно, затем суммировалась.

Полученные результаты в отчете представлены в виде списков обнаруженных таксонов низших водорослей с указанием средней численности (млн. кл./л) и средней биомассы (мг/л) по каждой пробе и месяцам опробования, а также в виде общего списка.

#### 2.4. Методы исследования зоопланктона

Материалом для исследований послужили количественные пробы зоопланктона (Табл. 4), которые отбирались в стандартных станциях, выбранных и утвержденных заказчиком для проведения гидрохимического и гидробиологического анализа.

Таблица 4 – график сбора зоопланктона Белоярского водохранилища

№ точки забора	Периодичность или дата сбора			
	2010	2011	2012	2013
1.	Ежемесячно VI – IX	–	–	
2.		–	–	VI-VII
3.		V,VI, VIII, IX	первая половина V, вторая половина V, VI,VII, VIII, IX	V-X
4.		–	–	
5.		–	–	V-VII
6.		V,VI, VIII, IX	первая половина V, вторая половина V, VI,VII, VIII, IX	VIII-X
Объем обработанного материала	35 проб	8 проб	12 проб	12 проб

За отчетный период с 2010 по 2013 гг. всего отобрано и проанализировано 67 проб зоопланктона

Отбор количественных проб зоопланктона проводился в верхних слоях воды путем процеживания через планктонную сеть Апштейна 50л воды, что соответствует классическому методу [149]. Пробы фиксировались 40% формалином. Камеральная обработка проводилась с использованием кристаллизатора Цееба по общепринятой методике порционного подсчета [92,93]. Определение видового состава организмов зоопланктона проводилось по ряду определителей [102; 122 – 127].

Биомасса зоопланктона определялась умножением индивидуальной массы каждого организма на его численность.

## 2.5. Методы исследования макрозообентоса

Макрозообентос изучали в литоральной зоне Белоярского водохранилища на различных грунтах (мелкогалечный, песчаный, песчано-галечный, заиленный песчаный). Сбор осуществляли со дна глубиной до 1 м. В отличие от исследований планктона макрозообентос был собран только в 2010-2011. Конкретные сроки сбора отражены в таблице 5.

Таблица 5 – график сбора макрозообентоса Белоярского водохранилища

№ точки забора	Месяц сбора		Температура, °С		
			2010	2011	
	2010	2011		май	сентябрь
1.	V, VIII, X			+17-+18	+6
2.	VIII, X			+24°	+12
3.	V, VIII, X	V, VI, VIII, X		+17-+18	+6
4.					
5.					
6.		V, VI, VIII, X			
7.	VIII, X				
Объем обработанного материала	19 проб	8 проб			



Пробы на скальном грунте (станция 2, ниже БАЭС, левобережье) как и в пункте №7, у Черного болота, выше АЭС, правобережье в мае отобрана не была из-за технических сложностей отбора. Температура воды в обследованных пунктах в точке, наиболее близкой к БАЭС отличалась более высокими показателями (Табл.5).

Пробы макрозообентоса отбирались ковшовым дночерпателем Петерсена с площадью охвата дна  $1/40 \text{ м}^2$ , по 2 черпания на 1 пробу. Донный грунт промывали в лабораторных условиях по общепринятой методике [74].

Для определения хирономид, мокрецов, лимонид, клещей и олигохет изготавливались временные (в глицерине) и постоянные (в жидкости Фора) препараты на предметных стеклах [190]. Количественные пробы зафиксированы 70%-м этиловым спиртом. Определение проводилось по монографиям и определителям [122,124,125,126,127], а также по эталонным коллекциям препаратов, проверенных ведущими специалистами по группам ИБВВ РАН, ЗИН РАН, МГУ, СпбГУ и др. Некоторые виды беспозвоночных нуждаются в проверке и в списке приводятся со знаком «?». Численность рассчитывалась в экз. на  $1 \text{ м}^2$ , биомасса – в г на  $1 \text{ м}^2$ .

Для выявления вида сообществ проводилось ранжирование видов по индексу плотности  $p$  Бродской - Зенкеевича [78].

$$p = \sqrt{B \times P}, \quad (2)$$

где  $B$  – биомасса,  $P$  – встречаемость.

Это средняя геометрическая биомассы и встречаемости. Для оценки доминирования обе величины брали в процентах. В этом случае индекс становится безразмерным с колебаниями от 0 до 100%. Для оценки же детерминирования биомассу лучше брать в абсолютных единицах, поэтому индекс будет иметь определенную размерность, например, если биомасса берется в  $\text{г}/\text{м}^2$ , то индекс будет г  $0.5 \text{ м}^{-1}$  [191].

При описании структуры сообществ применялись индексы Шеннона  $H'$  (15) и их производные: показатель выровненности  $E$  (17), концентрации доминирования Симпсона для численности и биомассы ( $Cч$ ,  $Cб$ ) (18), устойчивости сообществ  $A$  [27], а также энтропийный показатель фон Форстера и индекс видового разнообразия Маргалефа (3).

При учете организмов методом выборочного обследования их численность (при прочих равных условиях) пропорциональна количеству проб, поэтому для выделения классов может использоваться шкала Любарского, а для биомассы использовали аналогичную кубически трансформированную шкалу, поскольку биомасса равна численности, умноженной на средний вес особи.

Таблица 6 – шкала доминирования по численности и биомассе

балл	Границы классов		Название степени доминирования
	по численности	По биомассе	
1	$0 < p_i \leq 4$	$0 < b_i \leq 1$	Малозначительный вид
2	$4 < p_i \leq 16$	$1 < b_i \leq 6$	Второстепенный
3	$16 < p_i \leq 36$	$6 < b_i \leq 22$	Субдоминант
4	$36 < p_i \leq 64$	$22 < b_i \leq 50$	Доминант
5	$64 < p_i \leq 100$	$50 < b_i \leq 100$	Абсолютный доминант

Примечание. Здесь  $p_i$  – доля  $i$ -того вида от общей численности, %;  $b_i$  – от общей биомассы [192].

При загрязнении обычно уменьшается общее число видов животных в сообществе, причем это сокращение часто идет быстрее, чем уменьшение обилия организмов. В результате падает значение индекса удельного видового богатства, находимого, например, по формуле Маргалефа

$$D_{Mg} = (S - 1) / \ln N, \quad (3)$$

где  $S$  – общее число видов,  $N$  – общее число особей всех видов [Баканов Исп зообентоса, Мэггаран].

К этой группе методов можно отнести показатель «экотоксикологический индекс» [2, 194], название которого не вполне

оправдано. Недостаток данного метода - высокая чувствительность к сезонным, то есть не связанным с загрязнением, а обусловленным особенностями жизненного цикла животных, колебаниям числа видов фауны [32].

Для описания трофической структуры использовались показатели конкуренции (отношения хищных видов к мирным) и трофического разнообразия *Hmp* для трофических гильдий, а также для каждой трофической группы и гильдии рассчитывалась доля их биомассы в сообществе. Данные по пищевой специализации видов взяты из монографии А.В. Монакова [116] и отдельных работ Э.И. Извековой [82 и др.], А.И. Шиловой [190], В.М. Глухой [50], А.Н. Поповой [139], Е.И. Лукина [104] и др.

## 2.6. Методы биологической оценки качества воды водохранилища

### Индекс загрязнения воды

Индекс загрязнения воды, рассчитывают по группе гидрохимических показателей, часть из которых – водородный показатель (рН), биохимическое потребление кислорода БПК<sub>5</sub> и химическое потребление кислорода является обязательной.

В нашем случае при расчете ИЗВ использовались следующие компоненты и показатели: водородный показатель, фосфаты, общее железо, марганец, медь, цинк, ионы аммония, нитраты, нитриты, химическое потребление кислорода, нефтепродукты и биохимическое потребление кислорода (за пять суток).

ИЗВ рассчитывается по формуле:

$$\text{ИЗВ} = \sum_{i=1}^N \frac{C_i / \text{ПДК}_i}{N} \quad (4)$$

где  $C_i$  - концентрация компонента (в ряде случаев – значение параметра);

$N$  - число показателей, используемых для расчета индекса;

ПДК<sub>г</sub>- установленная величина для соответствующего типа водного объекта.

В зависимости от величины ИЗВ участки водных объектов подразделяют на классы (Табл. 7.)

Таблица 7 – классы качества вод в зависимости от значения индекса загрязнения воды

Воды	Значения ИЗВ	Классы качества вод
Очень чистые	до 0,2	1
Чистые	0,2-1,0	2
Умеренно загрязненные	1,0-2,0	3
Загрязненные	2,0-4,0	4
Грязные	4,0-6,0	5
Очень грязные	6,0-10,0	6
Чрезвычайно грязные	>10,0	7

Для оценки качества вод по показателям фитопланктона, зоопланктона и макзообентоса использовался сапробиологический анализ Пантле и Бука в модификации Сладечека [23]. Сапробность – это способность жить в водах, содержащих разлагающиеся органические вещества растительного и животного происхождения при постоянно низком содержании кислорода. Данный метод учитывает относительную частоту встречаемости гидробионтов ( $h$ ) и их индикаторную значимость ( $s$ ). Обе величины входят в формулу для вычисления индекса сапробности ( $S$ ):

$$S = \frac{\sum(sh)}{\sum h}, \quad (5)$$

Определение относительной частоты встречаемости вида производили по шестиступенчатой шкале, которую использовали для оценки обилия фитопланктона (см. пункт 4.2.). Индикаторную значимость

и зону сапробности определяют для каждого вида перифитона по спискам сапробных организмов, данным в приложении 1 к "Унифицированным методам исследования качества воды" [174], а также с использованием показателей сапробности, взятых из различных работ [6; 162; 169; 52, 22, 46]. Для статистической достоверности результатов обращали внимание на то, чтобы в пробе содержалось не менее 12 индикаторных видов с общей суммой встречаемости  $h$  равной 30 [149,150].

Индекс сапробности указывали с точностью до одной сотой. Для ксеносапробной зоны он находился в пределах 0-1,00, олигосапробной – 1,01 – 1,50 (чистые воды),  $\beta$ -мезосапробной зоне – 1,51–2,50 (воды умеренного загрязнения),  $\alpha$ -мезосапробной – 2,51–3,50 (загрязненные), полисапробной зоне – 3,51 – 4,50 (очень грязные) [149,150].

ГОСТ вводит также такое понятие как «токсобность» и предписывает «влияние токсичных веществ на флору и фауну оценивать по наличию в водном объекте видов различной токсобности». Связующим звеном сапробных и токсобных состояний водных экосистем является сапротоксобный анализ. Дескриптором качества воды является индекс сапротоксобности:

$$S_T = \frac{\sum_{i=1}^n [S_{Ti}N_i]}{\sum_{i=1}^n N_i}, \text{ балл} \quad (6)$$

где  $S_T$ - индекс сапротоксобности по сообществу;

$i$  – порядковый номер вида;

$n$  – общее количество видов;

$S_{Ti}$ - индивидуальная сапротоксобность  $i$ -го вида;

$N_i$ - численность  $i$ -го вида.

Данный индекс представляет собой модификацию биотического индекса по Вудивисса Яковлевым [194] для оценки водоемов Кольско-Беломорского региона [53, 194]

Для выяснения загрязненности водоема по зоопланктону использовали традиционный показатель в относительных величинах, таких

как соотношение числа видов или численности ветвистоусых рачков к веслоногим [81]. Изменения в составе ракообразных хорошо коррелируют с количеством  $\text{NH}_4$ , показателем органического загрязнения.

По группе коловраток более эффективны в биологическом анализе количественные и качественные показатели в прибрежных зонах в период пиков развития (для умеренных широт – это май-июня и конец августа-начало сентября) [102]. Так как род *Brachionus* связан с эвтрофными водами (за исключением *B. sericus* который, как правило, живет в ацидофильных и *B. plicatilis* в соленой воде), а виды рода *Trichocerca* почти чисто олиготрофные, был предложен коэффициент  $Q_{B/T}$ :

$$Q_{\frac{B}{T}} = \frac{N_B}{N_T}; \quad (7)$$

где  $N_B$  – число видов рода *Brachionus*;  $N_T$  – число видов рода *Trichocerca*.

Этот коэффициент может быть установлен для отдельных стоячих или медленно текущих водных объектов характер или даже для отдельных образцов, если представители, по крайней мере, один из этих родов присутствуют. Этот коэффициент часто применяется в лимнологии. Значения  $Q_{B/T}$  меньше, чем 1,0 означают гипотрофию (олиготрофность), значения между 1,0 и 2,0 мезотрофию, значения более 2,0 правильную трофность водоема (ксенотрофность), по согласованию с коэффициентами сапробности фитопланктона.

Классы качества и степень загрязнения воды определялись согласно стандартным классификаторам [54, 57; 191, 192], которые регламентируют содержание программ контроля гидрологических, гидрохимических и гидробиологических показателей (Табл. 8).

Таблица 8 – классификация качества воды водоемов и водотоков по гидробиологическими и гидрохимическим показателям

Класс качества воды	Степень загрязненности воды	Гидробиологические показатели			Гидрохимический индекс загрязнения воды (ИЗВ)	Градации по Яковлеву [1988] индекса видового разнообразия Шеннона
		По фито- и зоопланктону, перифитону	По зообентосу			
			Индекс сапробности по Пантле и Букку (в модификации Сладечека)	Отношение общей численности олигохет к общей численности донных организмов %		
I	Очень чистые	Менее 1,00	1-20	10	Менее 0,3	$\geq 2$
II	Чистые	1,00-1,50	21-35	7-9	0,3-1,0	$\geq 2$
III	Умеренно загрязненные	1,51-2,50	36-50	5-6	1,0-2,5	$\geq 2$
IV	Загрязненные	2,51-3,50	51-65	4	2,5-1,0	1,0-2,0
V	Грязные	3,51-4,00	66-85	2-3	1,0-6,0	0-1,0
VI	Очень грязные	Более 4,00	86-100 или макрозообентос отсутствует	0-1	6,0-10,0	0

Примечание. Допускается оценивать класс воды и как промежуточный между вторым и третьим (II-III), третьим и четвертым (III-IV), четвертым и пятым (IV-V).

Анализ макрозообентоса в оценке качества воды носил второстепенный характер, так как к первому десятилетию XXI века установлено, что отсутствует достоверная корреляция между характеристиками загрязнения воды и грунта, в связи с чем, методы оценки качества воды по показателям зообентоса не достаточно надежны [32]. Поэтому оценивали качество воды, прежде всего, по особенностям планктонных организмов и гидрохимическим показателям (ИЗВ).

## 2.7. Общие методы математической и статистической обработки данных

Для численности клеток, биомассы и индекса сапробности рассчитывалась средняя арифметическая по формуле:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (8)$$

где  $x_i$  – значение варьирующего признака для каждого члена совокупности;

$n$  – объем (математический вес, частота), при котором получена данная величина варьирующего признака.

Статистическая ошибка средней арифметической или средняя ошибка с учетом поправки Пирсона для бесконечной генеральной совокупности вычислялась по следующей формуле:

$$m_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (9)$$

где  $\sigma$  – выборочное стандартное отклонение;

$n$  – объем выборки.

Величину средней и её ошибку записывали в общепринятом виде:

$$\bar{x} \pm m_{\bar{x}} \quad (10)$$

Точность ошибки ( $E$ ) для биологических исследований не должна превышать 5%ного барьера. При необходимости распространения данных выборки на всю генеральную совокупность её находили по следующей формуле:

$$E = \frac{m_{\bar{x}}}{\bar{x}} \times 100\% \quad (11)$$

Для оценки показателей вариации относительной численности использовалась формула несмещенного квадратического отклонения  $\sigma$ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (12)$$

где  $n$  – объём выборки (число видов),  $i$  – положение варианты в вариационном ряду,  $x_i$  – значение конкретной варианты вариационного



ряда,  $\bar{x}$  – среднее арифметическое значений вариант.

Для малых выборок:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}{n}}{n-1}}, \quad (13)$$

Степень достоверности результатов определялась по методу Стьюдента. Критерий достоверности вычислялся по формуле

$$t_{\bar{x}} = \frac{\bar{x}}{m_{\bar{x}}} \quad (14)$$

с последующим сравнением с табличной величиной  $t_s$ .

В составе показателей альфа-разнообразия, учитывающих видовое богатство и выравненность обилий видов, использованы:

1) индекс Шеннона

$$H' = -\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i, \quad (15)$$

где  $p_i$  – удельное обилие, доля особей  $i$ -того вида. В выборке определяется как  $p_i = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$  (16)

2) выравненность по Шеннону

$$E = \frac{H'}{\ln n} \quad (17)$$

В качестве меры доминирования, уделяющей большее внимание обилию обычных видов, а не видовому богатству, использован индекс Симпсона (Simpson, 1949), вычисляемый по формуле несмещенной оценки для выборки:

$$D = \sum_{i=1}^S \left( \frac{n_i \times (n_i - 1)}{N \times (N - 1)} \right) \quad (18)$$

Где  $n_i$  – число особей или биомасса  $i$ -того вида,  $N$  – число особей всех видов,  $S$  – число всех видов. Биологическая интерпретация этого индекса такова:  $D$  – это вероятность того, что две случайно отобранных особи будут относиться к одному и тому же виду. При отсутствии

доминирования величина индекса равна  $1/S$ , при максимальном доминировании индекс равен единице.

Все расчеты и построение графиков производили при помощи пакета программ MS Excel 2010.

### **3. ПРОЕКТ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ВОДОХРАНИЛИЩА ПОСРЕДСТВОМ ВСЕЛЕНИЯ ЗЕЛЕННОЙ МИКРОВОДОРОСЛИ И ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ**

#### **3.1. Правовое обеспечение и исходный материал для проведения работ**

Проект служит основой проведения работ по биологической реабилитации Белоярского водохранилища методом коррекции альгоценоза.

Для восстановления экологической системы Белоярского водохранилища и предотвращения «цветения» синезелеными водорослями была использована новейшая биотехнология, основанная на альголизации водоема штаммом *Ch. vulgaris* ИФР № С-111.

Эта биотехнология с 2001 года применяется на Пензенском водохранилище хозяйственно-питьевого назначения и показывает высокую эффективность в сдерживании развития синезеленых водорослей. С 2006 года эта биотехнология применяется на Волгоградском и Цимлянском водохранилищах. С 2009 года – на Ижевском и Матырском. Внедренные штаммы хлореллы, в отличие от аборигенных видов, постоянно присутствующих в каждом водоеме, обладают хорошо выраженными планктонными свойствами и ингибируют развитие синезеленых водорослей, тем самым предотвращая «цветение» воды. Во всех водоемах, где применяется указанная биотехнология, значительно снизился ИЗВ.

Схема биологической реабилитации водоёмов включает действия, направленные на поглощение загрязняющих веществ, улучшение санитарного состояния, предотвращение «цветения» воды, биологическую мелиорацию высшей водной растительности путем вселения растительноядных рыб (фитофагов) и, наконец, вылов рыбы и прочих биологических объектов. Причем рыба рассматривается не как объект промыслового или любительского лова, а как компонент экосистемы,

предназначенный для выноса из водоёма первичной продукции, которая трансформируется в рыбную продукцию, в виде ихтиомассы.

В целях проведения необходимых работ были отобраны два образца воды Белоярского водохранилища. Первый образец был отобран 06 февраля 2010 г. в количестве 5 л. Температура воды в этот период была 05°C. Второй образец был отобран 22 марта 2010 г. в количестве 60 л. Температура воды была 05°C. Вода отбиралась с глубины 1,5 м.

- Образец № 1 - вода для биологической пробы.

- Образец № 2 - вода для выращивания штамма *Ch. vulgaris* ИФР № С-111, адаптированного к воде Белоярского водохранилища.

В работе использованы патенты Российской Федерации с разрешения их автора Николая Ивановича Богданова:

№ 1751981. Штамм микроводоросли *Chlorella vulgaris* ИФР № 111 – продуцент биомассы.

№2263141. Способ борьбы с «цветением» водоёмов синезелеными водорослями.

### **3.2. Характеристика штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111**

Исходным материалом для проведения альголизации является суспензия хлореллы штамма *Ch. vulgaris* ИФР № С-111 произведенная на производственной базе ООО НПО «Альгобиотехнология» по ТУ 9291-003-12001826-05.

Штамм *Ch. vulgaris* ИФР № С-111 выделен из образцов воды Нурекского водохранилища (Таджикистан) в 1977 году. Для этого были изучены микроводоросли Нурекского водохранилища, где среди фитопланктона была обнаружена *Ch. vulgaris*. Определение вида проводилось по В.М. Андреевой (1975).

*Морфологические признаки.* Молодые клетки слабоэллипсоидные, размером от 1,5 до 2,0 мкм. Взрослые – шаровидные, на жидкой

питательной среде 6-8 мкм в диаметре, на дно не осаждаются, стенки сосуда не обрастают. На агаризированной питательной среде на 7 – 10-й день на свету образуются круглые, гладкие и выпуклые колонии с ровными краями. Диаметр колоний 3-4 мм, окрашены в темно-зеленый цвет, размер клеток 5-8 мкм. Хлоропласт широкопоясковидный незамкнутый.

*Физиологические признаки.* Делится на 2-8, очень редко на 16 автоспор. Штамм автотрофный.

*Культуральные свойства.* Оптимальные условия культивирования при естественном солнечном освещении в лотках с открытой поверхностью и толщиной слоя суспензии, не превышающей 20 см. Режим освещения соответствует естественной суточной инсоляции в летний период. Штамм обладает способностью свободного парения и равномерного распределения в культуральной среде.



Рис. 9 – штамм *Ch. vulgaris* ИФР № С-111. Увеличение 1000<sup>x</sup>.

### 3.3. Выделение аборигенного штамма *Ch. vulgaris* и сравнительный анализ со штаммом ИФР № С-111

Для проведения сравнительного анализа был выделен аборигенный штамм *Chlorella vulgaris*. Сравнительный анализ аборигенного штамма и предполагаемого альголизанта *Ch. vulgaris* ИФР № С-111 необходим, чтобы определить преимущества того и другого штаммов. Для выделения использовался метод накопительных культур. Накопительной называют культуру, в которой преобладают представители одной физиологической группы или одного вида микроорганизмов. Метод накопительных культур был введен в практику микробиологических исследований С.Н. Виноградским и М. Бейеринком. Сущность его заключается в создании элективных, т.е. избирательных, условий, указанных в пункте 3.2., которые обеспечивают преимущественное развитие зеленых водорослей из смешанной популяции.

Физиологические особенности аборигенного штамма Белоярского водохранилища соотнесительно со штаммом *Ch. vulgaris* ИФР № С-111 представлены в таблице 9 .

Таблица 9 – физиологические особенности штаммов

№	Показатели	Аборигенный штамм хлореллы	<i>Ch. vulgaris</i> ИФР № С-111	Прим.
1	Размер клетки, мкм	4-7	5-8	
2	Рост на питательной среде	Удовлетворительный	Хороший	
3	Способность к осаждению	осаждается	Не осаждается	
4	Прилипание к стенкам сосуда	прилипает	Не прилипает	
5	Отношение к свету	Не светолюбив	светолюбив	

Приведенные показатели свидетельствуют о том, что аборигенная форма хлореллы не имеет планктонных свойств и по основным показателям уступает штамму *Ch. vulgaris* ИФР № С-111.

Для определения взаимного влияния аборигенного штамма водохранилища и предполагаемого альголизанта *Ch. vulgaris* ИФР № С-

111 были смешаны культуры одного и другого штаммов в соотношении 1/4, добавлена питательная среда по ТИ, затем произведено культивирование штаммов по ТУ.

Штамм ИФР № С-111 не оказывал отрицательного воздействия на аборигенный штамм. Он находился в активном состоянии и развивался. За одинаковый промежуток времени культура *Ch. vulgaris* ИФР № С-111 достигла требуемой плотности в 50 млн. клеток в мл, а аборигенный штамм опустился на дно и прилип к стенкам сосуда.

На основании приведенного сравнительного анализа сделано заключение, что предполагаемый альголизант активнее аборигенного штамма и не снизит его популяции в Белоярском водохранилище.

### **3.4. Подготовка альголизанта штамма *Ch. vulgaris* ИФР № С-111**

#### **3.4.1. Определение возможности развития хлореллы в условиях Белоярского водохранилища**

Первоначальной работой по Белоярскому водохранилищу было проведение биологической пробы, которая заключалась в том, чтобы определить возможность развития штамма ИФР № С-111 в данном водоеме. В лаборатории ООО НПО «Альгобиотехнология» образец воды № 1 Белоярского водохранилища, отобранный 06 февраля 2010 года, использовался для приготовления питательной среды.

Из пробы подготовленной таким образом отобрали 0,5 литра и внесли в стеклянную колбу объёмом 10 л. В последнюю внесли 0,5 л суспензии хлореллы штамма *Ch. vulgaris* ИФР № С-111, выращенную в соответствии с ТУ. Колбу выставляли на солнечный свет, при отсутствии солнечного света использовали искусственное освещение. Каждый последующий день вливали 0,5 л предварительно размешанной воды из Белоярского водохранилища. После того, как была израсходована вся вода образца, проводилось культивирование биопробы.

Для определения возможности или невозможности развития штамма хлореллы в исследуемом водоеме каждый день, в том числе и в день постановки опыта, в одно и то же время суток производилось измерение ряда параметров (Табл. 10) как визуально, так и с помощью приборов.

Таблица 10 – результаты измерений и наблюдений за развитием популяции хлореллы биопробы

сутки	Поста-новка опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
дата	13.10.2009	14.10.2009	15.10.2009	16.10.2009	17.10.2009	18.10.2009	19.10.2009	20.10.2009	21.10.2009	22.10.2009	
Объем культуры штамма хлореллы, л	0,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
Объем воды образца, л	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	–	–	–	–	
Оптическая плотность	до добавления порции воды водохранилища не размешанная	1,7	0,69	0,5	0,42	0,43	0,45	0,4	0,45	0,52	0,56
	до добавления порции воды водохранилища размешанная	–	–	0,83	0,76	0,67	0,63	0,59	0,68	0,79	0,8
	после добавления порции воды водохранилища	0,93	0,49	0,64	0,6	0,57	0,54	0,59	0,68	0,79	0,8
Цвет биопробы	зелен.	зелен.	зелен.	зелен.	зелен.	зелен.	зелен.	зелен.	зелен.	зелен.	
Придонный рост	–	+	+	±	±	±	±	±	±	±	
Наличие делящихся клеток при микроскопировании	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Среднее число клеток после добавления порции воды водохранилища, млн. в 1 мл		5,89±0,18	5,95±0,29	6,97±0,256	6,86±0,175	6,353±0,24	6,98±0,204	7,29±0,2156	7,508±0,245	8,466±0,274	
Точность среднего числа клеток, %		3,04	4,84	3,67	2,54	3,73	2,92	2,96	3,26	3,23	
Общее кол-во клеток во всем объеме биопробы, млрд.	9,433	8,8027	11,892	17,415	20,573	22,235	24,439	25,518	26,277	29,63	



Прирост числа клеток, % от числа клеток предыдущего дня	-	-6,68	35,09	46,45	18,134	8,078	9,914	4,42	2,97	12,76
---	---	-------	-------	-------	--------	-------	-------	------	------	-------

Поскольку плотность суспензии увеличилась, цвет биопробы оставался зеленым, а при микроскопировании штамм хлореллы сохранял свои параметры, то опыт был продолжен. Если бы плотность снизилась, то было бы сделано заключение, что вода этого образца не является пригодной для выращивания хлореллы.

Динамика числа клеток популяции хлореллы в биопробе на основе воды из Белоярского водохранилища для большей наглядности отображена в виде графика (Рис.10).

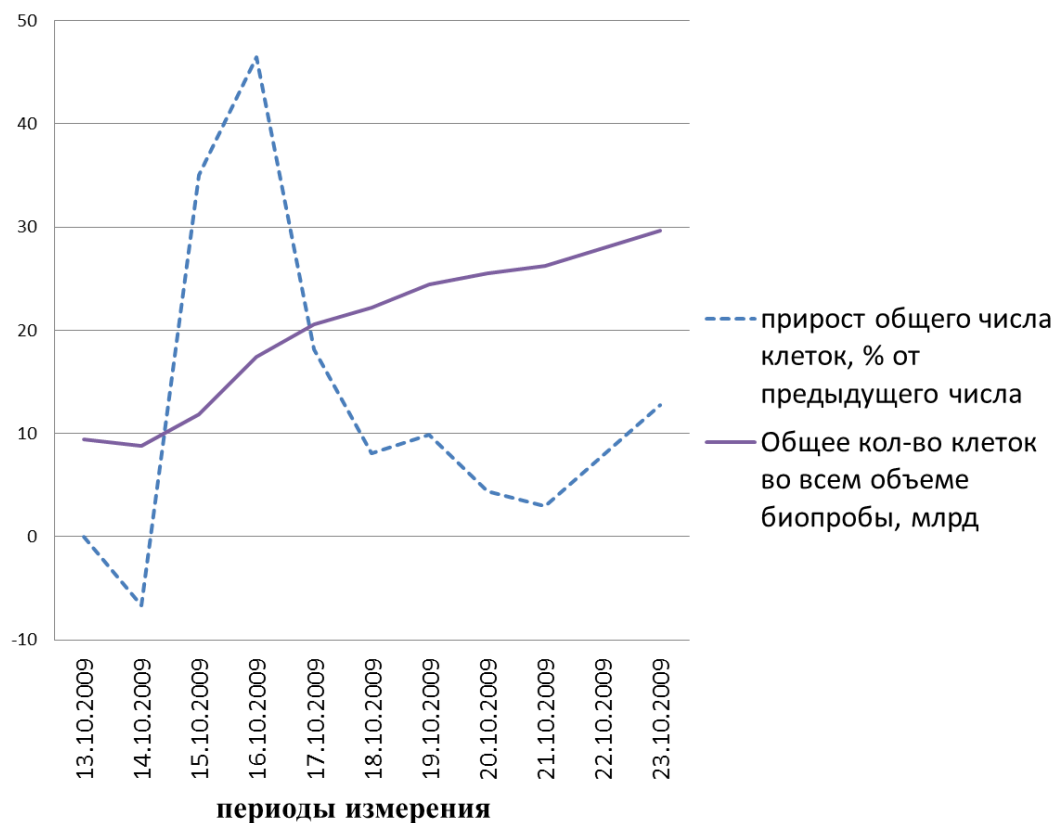


Рис. 10 – динамика популяции хлореллы в биопробе.

Отрицательные показатели роста численности популяции хлореллы в первые сутки может быть результатом испытываемого стресса в связи с новыми для популяции гидрохимическими условиями. В последующие дни наблюдается стабильное увеличение общего числа клеток в популяции при сохранении жизнеспособности и физиологических особенностей

штамма. Наибольший прирост числа клеток хлореллы может быть объяснен наличием прямой пропорциональной зависимости между долей приливаемой воды, а, соответственно, и питательных веществ (минеральных солей с биогенными химическими элементами) относительно общего объема биопробы. В первые дни (после привыкания к особенностям воды водохранилища), когда доли приливаемой воды были наибольшими, прирост также был наибольшим. По мере снижения процента поступления биогенных элементов наблюдается и снижение темпов прироста. При микроскопировании было выяснено, что в пробе практически отсутствовали сгустки слипшихся клеток хлорелл, а также не были или присутствовали во фрагментарном состоянии иные микроводоросли, то есть штамм способен поддерживать свою культуральную чистоту. Кроме того, по истечении 15 суток проба оставалась зеленой, не наблюдалось осаждения микроводоросли.

По истечении 9 суток суспензия хлореллы соответствовала требованиям ТУ. Идентификация штамма проводилась при микроскопическом исследовании по параметрам, указанным ТУ. В поле зрения было не менее 90% клеток хлореллы рассматриваемого временного микропрепарата биопробы.

Таким образом, особенности роста штамма хлореллы в биопробе позволяют сделать вывод о потенциальной возможности длительного положительного роста и размножения хлореллы в условиях Белоярского водохранилища.

Именно на основе положительной биологической пробы, которая характеризует работоспособность штамма в конкретном водоеме, ООО НПО «Альгобиотехнология» приняло решение о возможности проведения работ по биологической реабилитации Белоярского водохранилища методом коррекции альгоценоза.

### 3.4.2. Адаптация штамма к воде Белоярского водохранилища

Адаптация штамма является необходимым условием, так как использование неадаптированного штамма не гарантирует получения положительного результата предотвращения «цветения» водоёма.

Адаптация штамма преследует цель закрепить на клеточном уровне физико-химические условия водоёма, на котором будет использоваться штамм для предотвращения «цветения» воды.

Проба воды из Белоярского водохранилища профильтрована через мембранный фильтр с порами 0,1 микрона. На основе фильтрата выращена адаптированная суспензия *Ch. vulgaris* ИФР №С-111 с целью создания музейной культуры и для дальнейшей альголизации Белоярского водохранилища в 2010 и последующих годах.

Адаптация штамма *Ch. vulgaris* ИФР № С-111 к воде водохранилища проводилась в соответствии с ТУ.

Визуально рост определился на вторые сутки. В процессе работы отмечалось изменение процентного соотношения различных форм микроводорослей. Так в первый день наблюдений в планктонной части пробы *Ch. vulgaris* ИФР № С-111 обнаруживалась в единичных экземплярах в поле зрения микроскопа, а процент синезеленых водорослей составлял от 30% до 40% от общего числа клеток. К 4-му дню наблюдений рост хлореллы был значительный - от 30% до 40% от числа клеток 3 дня. Изменение плотности суспензии представлено в таблице 11.

Таблица 11 – изменение плотности хлореллы

Сутки	1	2	3	4
Среднее количество клеток в образце, млн./мл	10	28	45	50
Оптическая плотность	0,9	1,7	2,1	2,4

Подсчет осуществлялся при помощи камеры Горяева.

Синезеленые водоросли к 4 дню встречались единично, чувствовали себя угнетенно и осели на дно сосуда. В поле зрения микроскопа было отмечено появление рыхлой разлагающейся массы синезелёных водорослей.

Затем хлорелла заняла ведущее место и фактически стала монокультурой. В результате был получен адаптированный к воде Белоярского водохранилища штамм микроводоросли *Ch. vulgaris* ИФР № С-111. Адаптированный к воде Белоярского водохранилища штамм хранится как музейная культура в виде суспензии хлореллы, и используется только для этого водоема.

Всего было произведено 50 литров суспензии, которая была переведена в архив для хранения и в 2010 году использовалась в качестве маточной культуры при выращивании всего объема альголизанта Белоярского водохранилища. При выращивании последней промышленной партии в июле 2013 года 50 литров суспензии хлореллы осталось в архиве. На момент окончания Договора 2013 года в архиве ООО НПО «Альгобиотехнология» содержится необходимое количество адаптированного штамма хлореллы для продолжения работ по Белоярскому водохранилищу.

### **3.4.3. Расчет нормы вселения в водоем**

По п.2.2 был произведен расчет нормы вселения с точки зрения поддержания достаточной численности клеток альголизанта в единице объема для выполнения возложенной на него миссии за весь вегетационный период.

Экспериментально нами доказано, что при численности *Ch. vulgaris* ИФР № С-111 800-1000 клеток в одном миллилитре (в весовом выражении- 0,2 г/м<sup>3</sup>) через 4 дня происходит угнетение развития синезеленых водорослей, вызванное её экзометаболитами. Такую

численность НПО «Альгобиотехнология» считает верхним пределом достаточности концентрации альголизанта для предотвращения «цветения» водоема синезелеными водорослями.

Гидрохимические показатели Белоярского водохранилища, полученные в ходе ранее проведенных исследований не являются сдерживающим фактором роста численности *Ch. vulgaris* ИФР № С-111. Тогда как зоопланктон и личинки ихтиофауны в период своего массового развития (июнь – август) использующие хлореллу в своём рационе, существенно снижают её популяцию. Основываясь на результатах исследований, масса зоопланктона, питающаяся фитопланктоном в среднем по водоему составит 0,5 г/м<sup>3</sup>. При этом суточное потребление хлореллы может составить 0,1г/м<sup>3</sup>, что соизмеримо с верхним пределом достаточности концентрации альголизанта для предотвращения «цветения» водоема синезелеными водорослями. В весенние месяцы влияние зоопланктона значительно ослабевает, а при температуре воды водохранилища ниже +12°С, он не учитывается. При достаточно высокой температуре и хорошей солнечной инсоляции в период весенне-летних месяцев, в гидрохимических условиях Белоярского водохранилища *Ch. vulgaris* ИФР № С-111 может ежедневно удваивать свою численность. Учитывая, что таких комфортных условий обитания до массового развития зоопланктона, у хлореллы 8 -10 дней, объем альголизанта вносимого на всю акваторию Белоярского водохранилища был определен по формуле 1:

$$M_a = \frac{V_v \times m_{\text{дк}}}{2^n}, \quad (19)$$

где  $M_a$  – масса альголизанта (живой водоросли) (кг.);

$V_v$  – объем метрового слоя водохранилища (м<sup>3</sup>);

$m_{\text{дк}}$  – удельная масса достаточной концентрации альголизанта (кг.);

$n$  – минимальное число дней комфортных условий обитания.

Рассчитанная по формуле величина составляет 40 кг, что соответствует 1000 кг суспензии хлореллы, выращенной по ТУ, плотностью  $10^9$  кл./мл или 400 кг суспензии хлореллы плотностью  $2,5 \times 10^9$ .

#### **3.4.4. Выращивание штамма на воде Белоярского водохранилища**

Производство (культивирование) хлореллы производилось согласно ТУ из архивного материала в производственных условиях ООО НПО «Альгобиотехнология». Производство организовано с использованием последних достижений в биотехнологии, сертифицировано по безопасности и имеет всю необходимую разрешительную документацию.

Доставка суспензии к местам вселения

Доставка суспензии хлореллы плотностью  $10^9$  и  $2,5 \times 10^9$  клеток в мл к местам вселения осуществлялась специализированным транспортом НПО «Альгобиотехнология» в пластиковых емкостях. Сроки доставки от места производства до места назначения составлял не более трех суток, что обеспечивает сохранность функциональных качеств суспензии.

#### **3.5. Вселение хлореллы в Белоярское водохранилище**

На основании анализа отчета о проведенных исследованиях акватории Белоярского водохранилища были определены точки вселения хлореллы с позиции равномерного распределения штамма по акватории с учетом преобладающего течения и расположения застойных и мелководных зон (Рис.2). Вселение производилось с участием представителя заказчика и оформлено актами о вселении, один экземпляр каждого из них предоставлен заказчику сразу же после выполнения вселения.

Вселение суспензии хлореллы *Ch. vulgaris* штамма ИФР № С-111 производилось трехкратно в течение 2010-2013 гг., график которого представлен в виде таблицы.

Таблица 12 – график альголизации Белоярского водохранилища

Год	Дата	Вес суспензии, кг	Плотность кл./мл
2010	Начало апреля (подледная)	1000	$10^9$
	Май	1000	$10^9$
	Конец июля	1000	$10^9$
2011	Март (подледная)	1000	$10^9$
	Май	1000	$10^9$
	Конец июля	1000	$10^9$
2012	Март (подледная)	400	$2,5*10^9$
	Май	400	$2,5*10^9$
	Конец июля	400	$2,5*10^9$
2013	Март (подледная)	400	$2,5*10^9$
	Май	400	$2,5*10^9$
	Конец июня	400	$2,5*10^9$
	Конец июля	400	$2,5*10^9$

Четырехлетняя альголизация является минимальным сроком, необходимым для стабилизации структуры микроводорослей водоемов.



Рис. 16 – подледная альголизация Белоярского водохранилища.



Рис. 17 – вселение хлореллы в Белоярское водохранилище





Рис. 18 – вселение хлореллы в Белоярское водохранилище



Рис. 14 – альголизация Белоярского водохранилища 21 июля 2010 года.



Рис. 15 – альголизация Белоярского водохранилища в 2011 г.

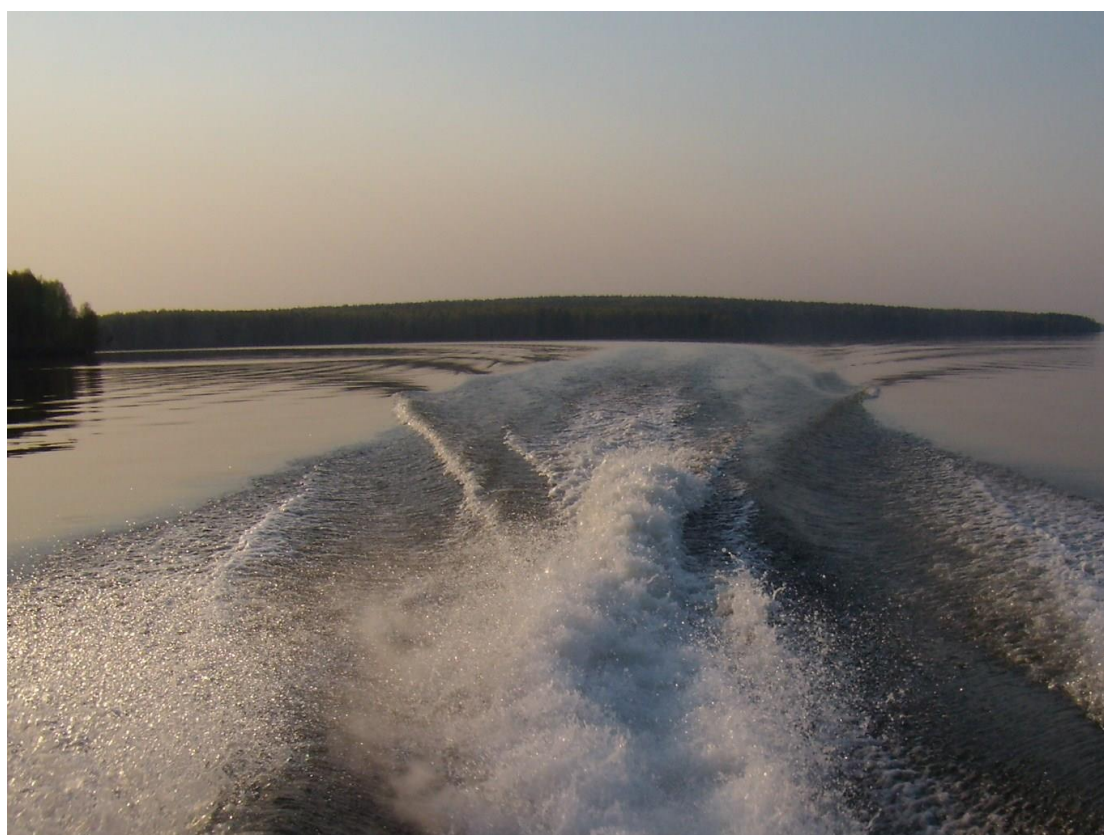


Рис. 16 – состояние Белоярского водохранилища 21 июля 2010 года.





Рис. 17 – состояние водной растительности Белоярского водохранилища 21 июля 2010 года



Рис. 18 – состояние Белоярского водохранилища в июле 2012 года

Таким образом, общий объем альголизанта, вселенного в Белоярское водохранилище за весь период реализации проекта составил 9584 кг альголизанта плотностью от 1 до 2,5 млрд.кл./мл.

### 3.6. Приживаемость штамма

Отобранные пробы воды Белоярского водохранилища в кратчайшие сроки доставляли в лабораторию НПО «Альгобиотехнология», где после предварительной оценки видового состава и обилия планктона производили посев образцов проб воды из водохранилища на селективной для хлореллы питательной среде. Для того чтобы не допустить попадания спор хлореллы извне емкости с культивируемыми образцами затыкались ватными тампонами. Образцы культивировались в течение 4 суток. Подлинность штамма контролировалась по ТУ (см. пункт 3.2.). Начальная плотность хлореллы в образцах составляло от 20 до 1224 тыс. кл. в 1 л (Прил.4). Ежедневный прирост плотности хлореллы на селективной среде составлял 50-100%, что свидетельствует о хорошей приживаемости.

Таблица 13 – результаты контрольного этапа проекта по числу клеток *Ch. vulgaris* ИФР-111.

Дата сбора	2010	2010	08.2010	2011	2011	2011	2012	2012	2012	2013	2013	2013	$\bar{x} \pm m_{\bar{x}}$
Кол-во клеток, тыс./1 мл	4,51	4,66	5,89	2,3	2,7	3,5	4,08	4,92	6,49	6,52	4,31	5,65	4,63±0,4

#### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕЛОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ИХ АНАЛИЗ

Надо сказать, что проведенные комплексные исследования являются самыми масштабными исследованиями за всю историю Белоярского водохранилища.

ООО НПО «Альгобиотехнология» ежегодно отчитывалась написанием отчета по биологической реабилитации Белоярского водохранилища методом коррекции альгоценоза, и основной упор в них был сделан на анализ изменения химического состава поверхностных вод Белоярского водохранилища. Поэтому в итоговом отчете приоритет отдан гидробиологическим исследованиям.

##### 4.1. Гидрохимическое состояние акватории

Для описания гидрохимического состояния акватории Белоярского водохранилища было проанализировано изменение содержания ряда химических веществ в пробах воды из ключевых точек опробования. Динамика изменения концентрации поллютантов за четырехлетний цикл проведения работ по биологической реабилитации Белоярского водохранилища методом коррекции альгоценоза представлена в виде графиков в приложении 3.

В таблице 14 приведены данные по относительному снижению концентрации загрязняющих веществ в ключевых точках мониторинга.

Таблица 14 – снижение значений гидрохимических показателей Белоярского водохранилища в 2013 г по сравнению с 2012 г.

компоненты	Теплый залив						Пляж						У ЛЭП					
	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
Фосфаты	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Железо общее	+		+		+	+	+		+		+	+	+			+	+	+
Марганец		+	+	+	+	+		+		+	+		+	+	+	+	+	+
Медь	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+
Цинк	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Аммоний	+	+	+	+		+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+
Нитраты		+					+	+						+		+		
Нитриты		+		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+			+	+
ХПК		+				+							+	+				+
Нефтепродукты		+										+	+					+
БПК <sub>5</sub>			+					+			+			+			+	+
Цветность	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+		+	+	+	+	+
Взвешенные вещества	+	+	+	+	+	+		+	+		+			+	+		+	+

Как видно из таблицы 14, происходит перманентное снижение концентрации полифосфатов. Менее стабильно уменьшается содержание таких компонентов группы азота, тяжелых металлов и органлептических показателей. Имеет место эпизодическое снижение ХПК, БПК<sub>5</sub> и нефтепродуктов. Таким образом, оказалась выполнена задача, которая заключается в улучшении качества воды не менее чем по четырем показателям. В Приложении 3 в графическом виде представлена динамика изменения всех 16 показателей, во всех ключевых точках мониторинга, за все четыре года проведения исследований. Для удобства восприятия качественных изменений на графики нанесен уровень ПДК. Всего на графиках изображено 1152 точки, каждую из которых детерминирует состояние определенного показателя, в зависимости от десятков других параметров (температура, инсоляция, загрязнение, метеорные осадки и. т. д), что делает весьма затрудняет выявление погодных закономерностей

Для сравнительной интегральной помесечной оценки качества воды по гидрохимическим показателям был использован индекс загрязнения воды, рассчитываемый по формуле 4. Результаты расчетов представлены на гистограммах (Рис. 19 – 24).

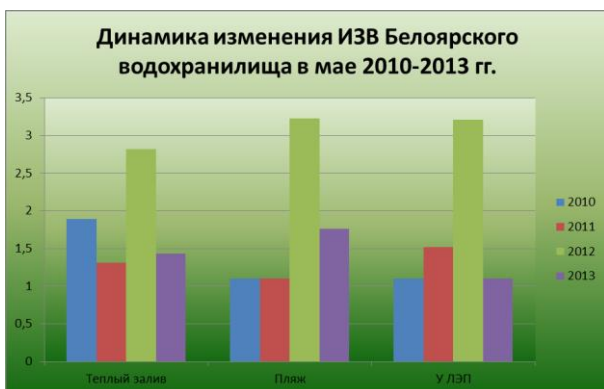


Рис 19

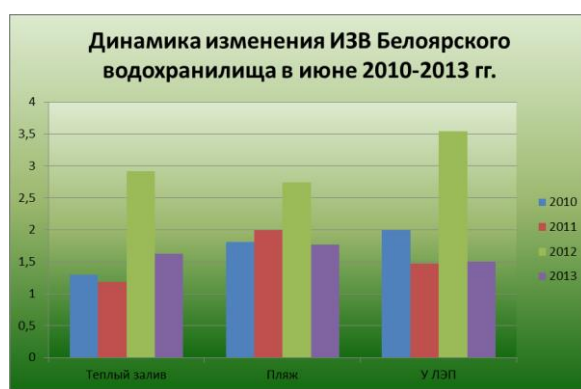


Рис. 20



Рис 21

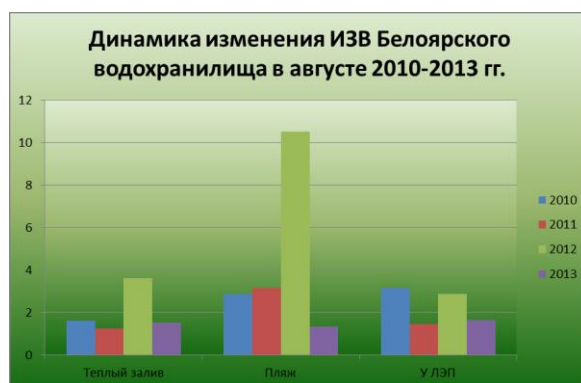


Рис. 22

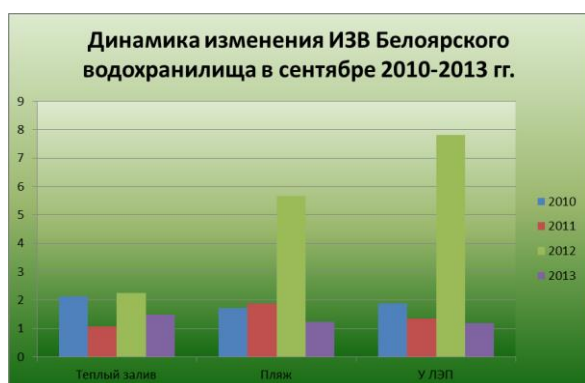


Рис 23

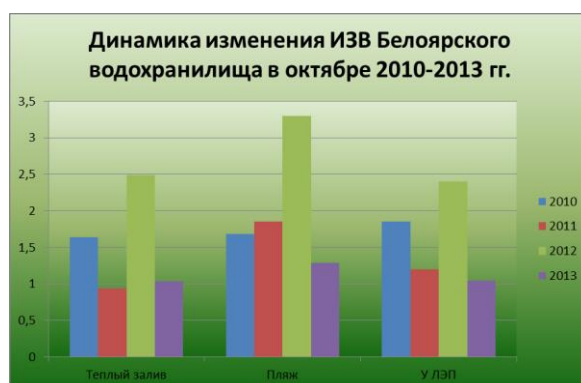


Рис. 24

Для удобства анализа изменения ситуации к рисункам 19 – 24 данные были сведены в таблицу 15.

Таблица 15 – значения индекса загрязнения воды Белоярского водохранилища в 2010 – 2013 гг.

Точка	май				июнь				июль				август				сентябрь				октябрь			
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
2	1,9	1,3	2,8	1,4	1,3	1,2	2,9	1,6	1,8	1,1	2,2	1,4	1,6	1,3	3,6	1,5	2,1	1,1	2,3	1,5	1,6	0,9	2,5	1,0
3	1,1	1,1	3,2	1,8	1,8	2,0	2,7	1,8	1,9	2,0	2,1	1,2	2,9	3,2	10,5	1,4	1,7	1,9	5,7	1,2	1,7	1,9	3,3	1,3
5	1,1	1,5	3,2	1,1	2,0	1,5	3,5	1,5	1,9	1,4	2,3	1,1	3,2	1,5	2,9	1,6	1,9	1,4	7,8	1,2	1,9	1,2	2,4	1,1

Таблица 15а – средние значения ИЗВ Белоярского водохранилища в 2010 – 2013 гг. В скобках указан класс качества воды в зависимости от значения ИЗВ.

Точка	2010	2011	2012	2013
Теплый залив	1,7 (3)	1,2 (3)	2,7 (4)	1,4 (3)
Пляж	1,9 (3)	2,0 (3)	4,6 (5)	1,5 (3)
у ЛЭП	2,0 (3)	1,4 (3)	3,7 (4)	1,3 (3)

В 2010 и 2011 гг. качество воды во всех точках относилось к третьему классу, и оценивалось как «Умеренно-загрязненные» воды.

В 2012 году произошло ухудшение ситуации. В Теплом заливе и у ЛЭП воды относились к четвертому классу, и оценивались как «Загрязненные» воды. А на точке «Пляж» - к пятому классу – «Грязные». Такое положение дел обусловило либо загрязнение воды от техногенного источника, либо непрофессиональный отбор и анализ проб ФГУП РосНИИВХ.

В 2013 году во всех точках воды относились к третьему классу и оценивались как «Умеренно загрязненные».

Анализ данной ситуации показал, что проведение биологической реабилитации Белоярского водохранилища методом коррекции альгоценоза существенным образом повышает способность водоема к самоочищению.

#### **4.2. Фитопланктон, его разнообразие, динамика.**

За весь период исследования (2010-2013 гг.) в составе фитопланктона обнаружено 442 вида и внутривидовых таксонов, относящихся к 8 отделам (Рис. 25.), из которых один отдел принадлежит прокариотическому царству настоящих бактерий, остальные – эукариотическому царству растений.



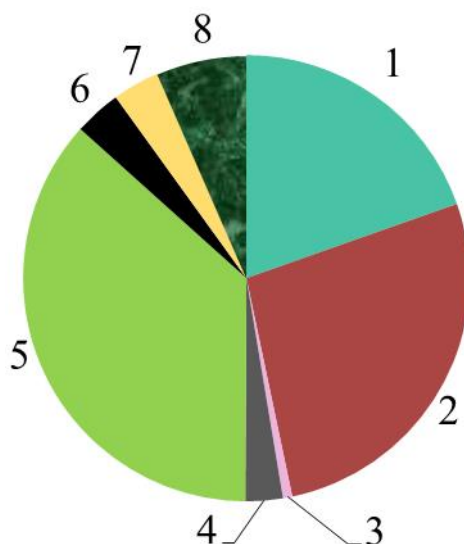


Рис. 25 – соотношение отделов микроводорослей по числу видов.

Таблица значений и условных обозначений

№. Отдел	Кол-во видов	Доля, %	Отдел	Кол-во видов	Доля, %
1. Cyanophyta	87	19,7	5. Chlorophyta	162	36,65
2. Bacillariophyta	119	26,9	6. Dinophyta	15	3,39
3. Xanthophyta	3	0,7	7. Chrysophyta	15	3,39
4. Cryptophyta	12	2,71	8. Euglenophyta (Euglenozoa)	29	6,56

Наибольшее число видов относится к отделу зеленых водорослей (Chlorophyta), чуть меньшее количество относится к отделам диатомовых водорослей (Bacillariophyta) и цианобактериям (Cyanophyta). Остальные отделы занимают незначительные по величине доли в общем видовом разнообразии.

Для отражения динамики альгофлоры, выявления тенденций её изменения в результате вселения хлореллы, она была проанализирована по ряду критериев: динамике видового состава (Рис. 26, 27) и биомассы (Рис. 28), динамике экологических групп, тенденциям изменения коэффициентов видового разнообразия Шеннона.

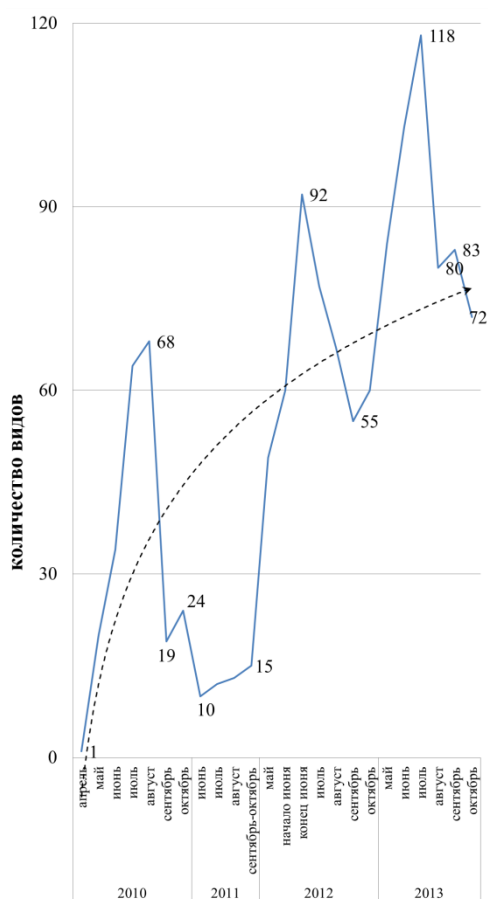


Рис. 26 – динамика суммарного количества видов микроводорослей планктона Белоярского водохранилища.

— количество видов

- -> линия тренда количества видов

Общее количество видов в течение исследуемого периода обнаруживает весьма резкие колебания. Наименьшее их число зарегистрировано в 2011 году, что, возможно, является следствием аномально жаркого лета 2010 г, в течение которого большинство фоновых видов не смогло оставить для обычного возобновления достаточное количество спор (акинет, гетероцист и т.п.). В последующие годы общее количество видов неуклонно возрастает, что иллюстрирует линия тренда.

Таким образом, вселение хлореллы в течение четырех лет не повлекло за собой уменьшение суммарного видового разнообразия аборигенных видов водорослей.

Для отражения изменения структуры видового разнообразия по отделам, данные по числу видов обобщены и представлены на рисунке 27 в виде нормированной диаграммы.

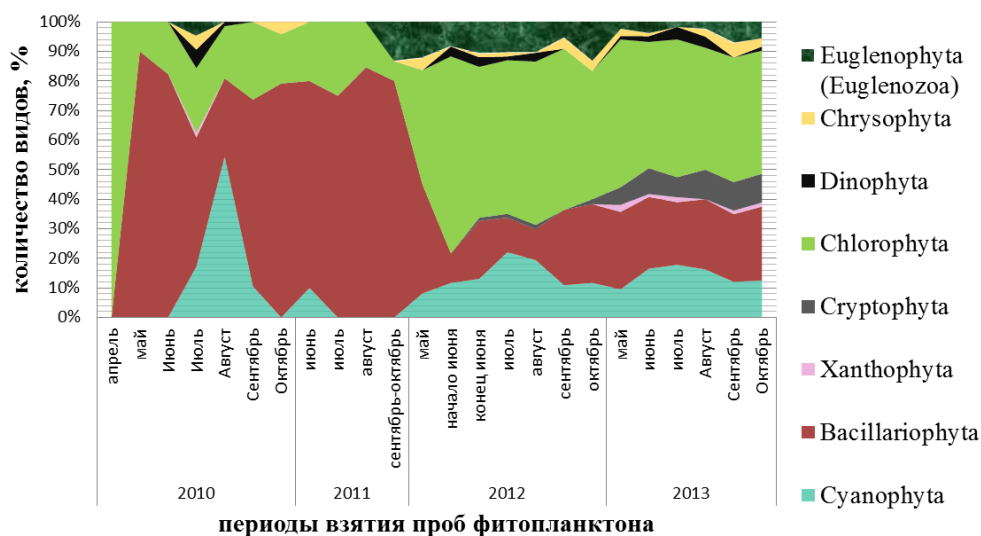


Рис. 27 – динамика относительного видового разнообразия водорослей в планктоне Белоярского водохранилища.

Таблица абсолютных значений, экз.

Отдел	2010						2011				2012						2013							
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	июнь	июль	август	сентябрь-октябрь	май	начало июня	конец июня	июль	август	сентябрь	октябрь	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
Cyanophyta	0	0	0	11	37	2	0	1	0	0	0	4	7	12	17	13	6	7	8	17	21	13	10	9
Bacillariophyta	0	18	28	28	18	12	19	7	9	11	12	18	6	18	9	7	14	16	22	25	25	19	19	18
Xanthophyta	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	0	1	1
Cryptophyta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	5	9	8	8	8	7
Chlorophyta	1	2	6	14	12	5	4	2	3	2	1	19	40	47	40	37	30	26	42	44	55	33	35	30
Dinophyta	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	2	3	1	2	0	0	1	2	5	3	0	1
Chrysophyta	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	2	0	1	1	0	2	2	2	1	0	2	4	2
Euglenophyta	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	2	6	5	10	8	7	3	8	2	4	2	2	6	4

Судя по диаграмме (Рис. 27) доля видов синезеленых водорослей наиболее велика в летний период 2010 года, то есть в первый год альголизации. В последующие года доля видов синезеленых водорослей уменьшается, хотя

закономерное для второй половины лета увеличение числа видов сохраняется.

Наибольшую долю в видовом разнообразии в первые два года работы занимают диатомовые водоросли, уступая место доминатов по видовому разнообразию в 2012 и 2013 гг. зеленым водорослям.

Однако для выявления роли отделов в альгоценозе, в определении биологических особенностей фитопланктона имеет значение не столько число видов, сколько их биомасса (Табл. 19).

Таблица 19 – показатели биомассы отделов водорослей (мг/л) планктона Белоярского водохранилища.

Отдел	2010							2011				2012					2013							
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	июнь	июль	август	сентябрь-октябрь	май	начало июня	конец июня	июль	август	сентябрь	октябрь	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Cyanophyta	0	0	0	0,240978	1,168009	0,07776	0	5	0	0	0	0,02	0,045	1,2565	10,295	1,98	1,0785	0,275	0,264338	3,555673	20,15393	12,41027	10,49425	1,867662
Bacillariophyta	0	3,8742	6,117012	1,90195	2,90023	161,0902	0,55978	0,001893	0,67076	1,607655	1,607655	19,43	2,84	5,305	28,98	6,005	38,285	29,405	470,1881	0,714964	5,899227	0,806282	1,557044	2,119646
Xanthophyta	0	0	0	0,015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00748	0,00168	0,00416	0	0,00504	0,00336
Cryptophyta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,29	0	0	0	0,065426	0,189484	0,759758	0,327922	0,107164	0,261898
Chlorophyta	0,00195	2,52685	0,703825	1,107916	0,948175	82,4715	0,30996	0,000866	38,57948	0,11205	0,11205	1,795	1,805	1,87	18,32	0,935	0,56	1,16	0,55613	3,459275	0,991095	0,199184	0,208194	0,336342
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Dinophyta	0	0	0	0,84385	1,6	0	0	0	0	0	0	0	0	2,05	6,39	0	0	0	0,02058	1,48	1,323	6	0	0,28

Chrysophyta	0	0	0	0,065429	0	0	0	0,00029	0	0	0	0	0	0,005	0	0	0	0	0,31	0	0,04848	0,01098	0	6	0,009362	4	0,020206	2	0,007324
Euglenophyta	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,035	1,015	0,305	7,345	0,215	2,215	4,365	9	0,0393	2	6	4	2	0,009362	0,020206	

Для возможности сравнения абсолютные значения биомассы водорослей представлены в виде нормированной диаграммы (Рис. 28), показывающей доли отделов относительно суммарной биомассы, принимаемой за 100%. Следует отметить, что, так как в различные периоды времени собиралось неодинаковое число проб, взята средняя арифметическая биомасса за каждый период времени.

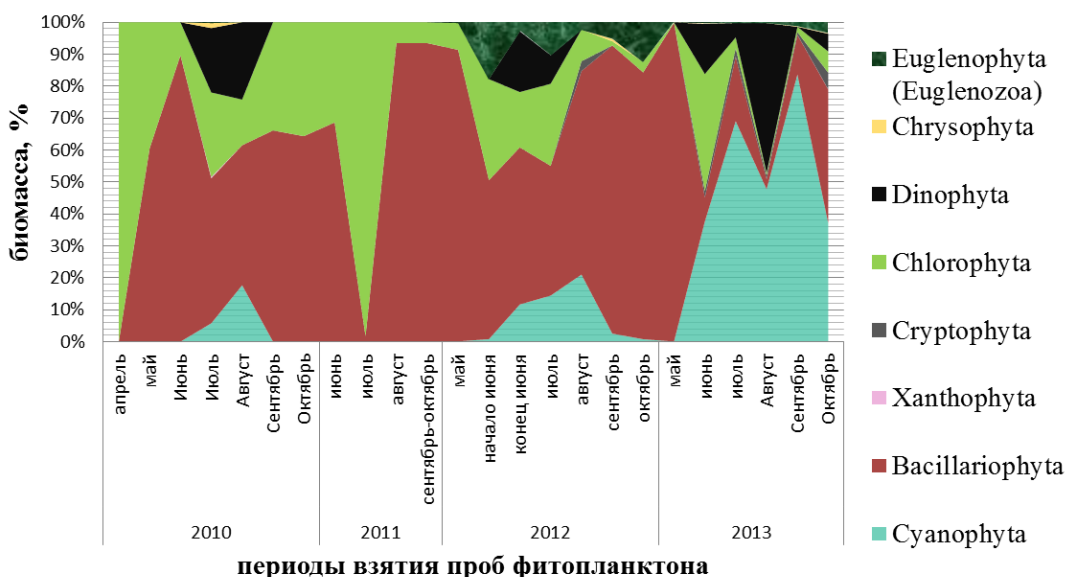


Рис. 28 – динамика относительной биомассы отделов микроводорослей в планктоне Белоярского водохранилища.

В динамике биомассы планктонных водорослей можно условно выделить два периода за исследуемые четыре года: с 2010 по май 2013 и с июня до октября 2013 г. На протяжении первого периода преобладающую роль в образовании биомассы планктонных водорослей играют диатомовые и зеленые водоросли (Рис. 28), которых во втором периоде сменяют цианобактерии.

В течение всего вегетационного периода 2012 года биомасса водорослей существенно выше, что отмечалось ранее другими

исследователями [58] и обусловлено поступлением хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод с водами р. Пышма. Среднесезонные численность и биомасса фитопланктона в 2012 г. были достаточно высокими (Прил.3, табл. 3.2.) и превышали величины 1980-х годов (20 мг/л) [73].

Наблюдается сходство годовой динамики структуры по доле биомассы отделов водорослей. Весной и осенью биомасса создается в основном за счет диатомовых и зеленых водорослей, тогда как летом увеличивается роль цианей, зеленых, динофитовых и, реже, эвгленовых водорослей по сравнению с весенним и осенним соотношениями биомассы этих отделов.

На протяжении четырех лет наблюдений в динамике суммарной биомассы фитопланктона зарегистрировано два периода с высокими показателями (Рис. 28а). Следует отметить, что явление «цветения» водохранилища в 2010 и 2013 гг. по сравнению с 2009 г. поменяло характер. Во-первых, оно значительно сократило свою длительность. Если в 2009 году (по устному заявлению начальника отдела экологии администрации г. Заречный Н.Б. Арефьевой) в Белоярском водоеме-охладителе АЭС массовое развитие водорослей наблюдалось с начала июня и до конца сентября, то в последующие четыре года «цветение» длилось не более десяти дней. Во-вторых, если основу биомассы водорослей в 2009 году создавали цианобактерии, что сопровождалось отчетливым запахом дуста, то в подобные периоды 2010 и 2013 гг. массово развивались диатомовые (в основном представитель каспийской альгофлоры *Actinocyclus variabilis* (Makar.) Makar.), неприятный запах при этом отсутствовал. Ядовитых видов диатомовых, например из рода *Nodularia*, не обнаружено. Судя по линии тренда (Рис.), возрастание биомассы фитопланктона незначительное. Таким образом, не смотря на преобладание по относительной биомассе цианобактерий в структуре водорослей 2013 года (Рис. 28), их роль по абсолютным показателям

биомассы крайне низка, явления «цветения» этого отдела не наблюдалось на всем протяжении исследования.

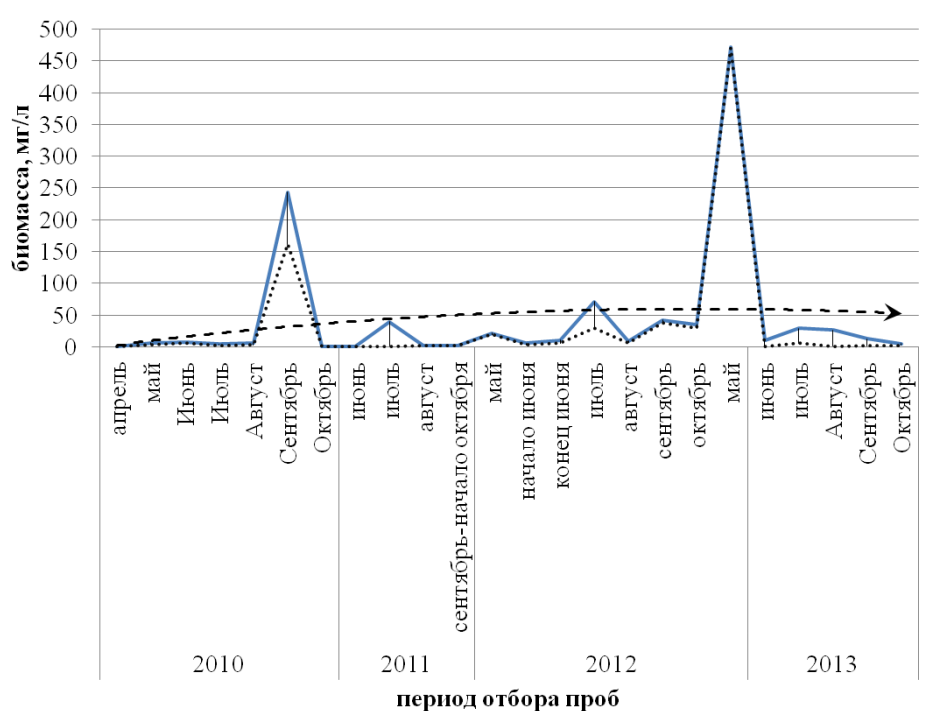


Рис. 28а – динамика суммарной биомассы фитопланктона Белоярского водохранилища. Таблица значений и условных обозначений.

Биомасса, мг/л	2010						2011				2012				2013									
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	июнь	июль	август	сентябрь- начало октября	октябрь	май	начало июня	конец июня	июль	август	сентябрь	октябрь	май	июнь	июль	Август	сентябрь
..... Bacillariophyta	0	3,8742	6,117012	1,90195	2,90023	161,0902	0,55978	0,001893	0,67076	1,607655	1,607655	19,43	2,84	5,305	28,98	6,005	38,285	29,405	470,1881	0,714964	5,899227	0,806282	1,557044	2,119646
— Суммарная	0,00195	6,40105	6,820837	4,185122	6,616414	243,6395	0,87003	0,0027615	39,25024	1,719705	1,719705	21,285	5,705	10,7865	71,33	9,425	42,4485	35,205	471,1959	9,451356	29,19149	25,99014	12,54754	5,050152
--> Линия тренда суммарной биомассы																								

Однако различные виды синезеленых водорослей имеют неодинаковое значение для загрязнения воды. Среди зарегистрированных 442 видов водорослей Белоярского водохранилища только для 12 видов и форм есть указание в литературе на их токсичность (Прил.3, Табл. 3.6) и у

23 видов неоднократно зафиксированы факты «цветения» [94, 95]. Только 9 видов из них сочетают в себе оба свойства: и токсичность, и способность к быстрому и массовому увеличению биомассы, то есть к цветению. Наиболее часто встречаемыми и массовыми являются *Microcystis aeruginosa*, *Planktothrix agardii*. Такие виды как *C. kuetsingiana*, *A. Hassali*, *A. planctonica* (= *schereemetievii*) характеризуются либо средними потенциальными способностями к «цветению», либо являются сопутствующими другим «цветущим» видам синезеленых. Данные об экологических особенностях видов представлены в приложении 3, таблице 3.6.

Динамика ряда показателей токсичных видов в абсолютных величинах представлена на диаграмме (Рис.29, А). На ней же для сравнения приведена кривая, отражающая изменение суммарной биомассы цианобактерий.

Практически ежегодно (кроме 2011 г.) в летний период были зарегистрированы виды и формы синезеленых водорослей, как выделяющие токсины, так и способные к массовому развитию в благоприятных условиях. Судя по диаграмме (Рис.29, А), можно сказать, что существует тенденция увеличения как числа видов за единицу времени, так и абсолютных значений биомассы цианей.



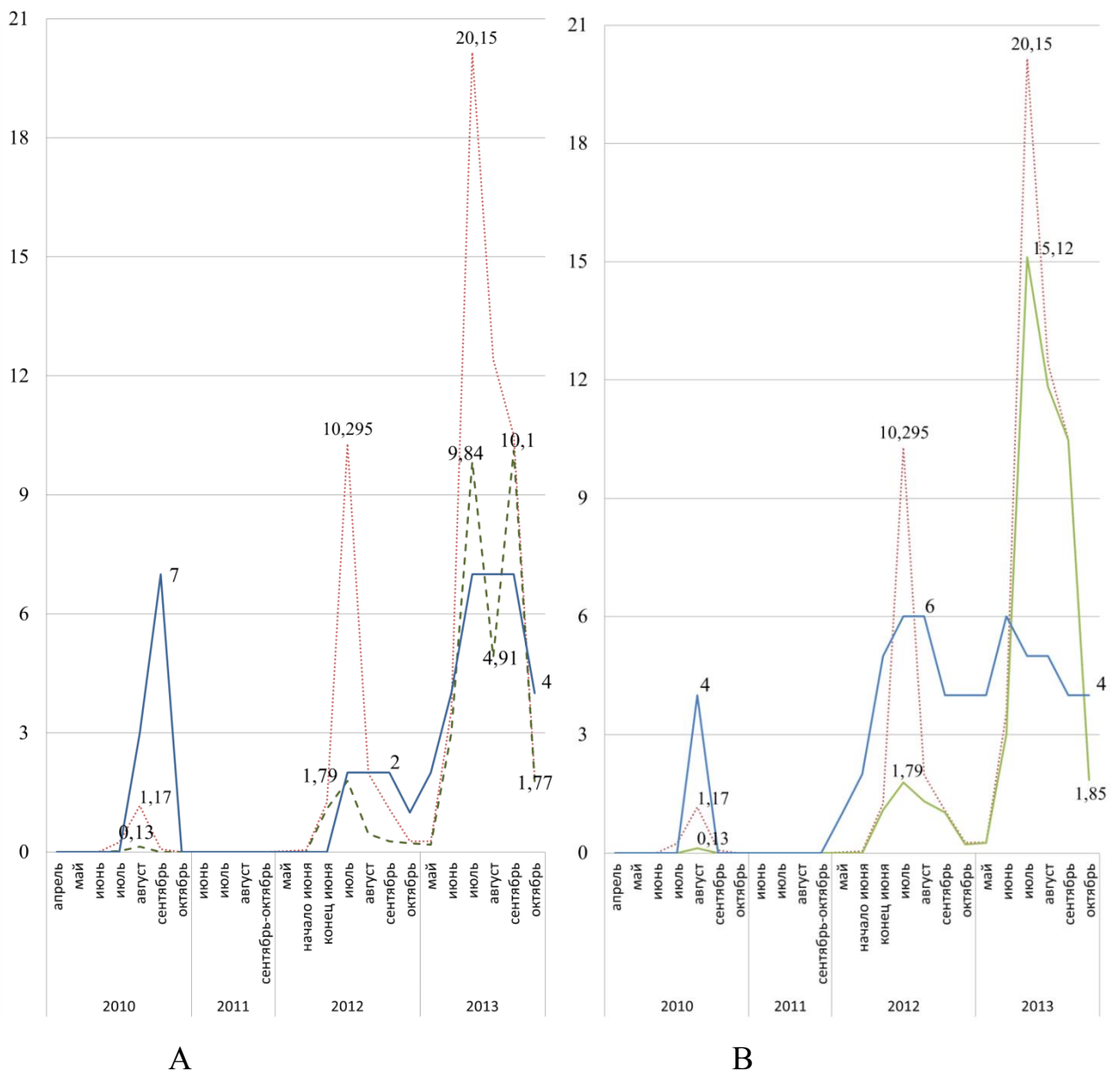


Рис. 29 – динамика показателей синезеленых водорослей.

А – видов, способных к цветению; В.– токсичных видов.

- ..... биомасса синезеленых водорослей, мг/л;
- биомасса токсичных видов синезеленых, мг/л;
- количество токсичных видов синезелены;
- - биомасса видов, способных вызывать «цветение» водоемов;
- количество видов синезеленых, способных вызывать «цветение» водоемов.

Кроме того, во время «пиков» показателей синезеленых водорослей возрастает и доля биомассы токсичных видов относительно суммарной биомассы отдела, а именно, в 2010 их доля составляет 10,77%, в 2012 – 66,41%, в 2013 – 75,03%.

Число видов, способных к цветению испытывает небольшие колебания, но суммарное число видов не превышает семи (Рис.29, В). Биомасса данных в первые два года альголизации крайне низкая. В последующие два года возрастают как абсолютные значения, так и доля, относительно общей биомассы отдела.

Тем не менее, о положительном изменении микроводорослевого сообщества свидетельствует несколько фактов. Во-первых, число видов нитчатых цианей с полной длиной трихомы (то есть более 100 мкм) уменьшается на всем протяжении исследования. Например, в 2012 году только для двух видов: *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs (отбор 25-27.06) и *Oscillatoria agardhii* Gom. (отбор 27.08). Во-вторых, суммарная биомасса синезеленых с первого – 2010 – года работы ООО НПО «Альгобиотехнология» от двух до порядка раз ниже, чем в 2009 году (по устному заявлению начальника отдела экологии администрации г. Заречный Н.Б. Арефьевой) биомасса цианей в 2009 году составляла от 200 до более 1000 мг/л), когда биологическая реабилитация ещё не проводилась.

Поскольку альголизация водоема является одним из видов вмешательства в водную экосистему, необходимым пунктом исследований является анализ изменения степени устойчивости альгоценоза планктона. Наиболее доступным и наглядным способом является сравнение структуры относительного доминирования видов по обилию, благодаря которому оценивается доля вклада каждого вида (тыс.кл./л) в балловом эквиваленте (см. п.2.3). Так как апрельские и октябрьские сообщества планктонных водорослей чаще всего являются неполными из-за действия объективных факторов – ограничивающего действия температур, небольшого светового дня, для сравнения динамики относительного

доминирования взяты данные за период с мая по сентябрь. Для простоты выявления изменений структуры относительного обилия видов фитопланктона проанализированы данные за первый и последний года альголизации (Рис. 30.).

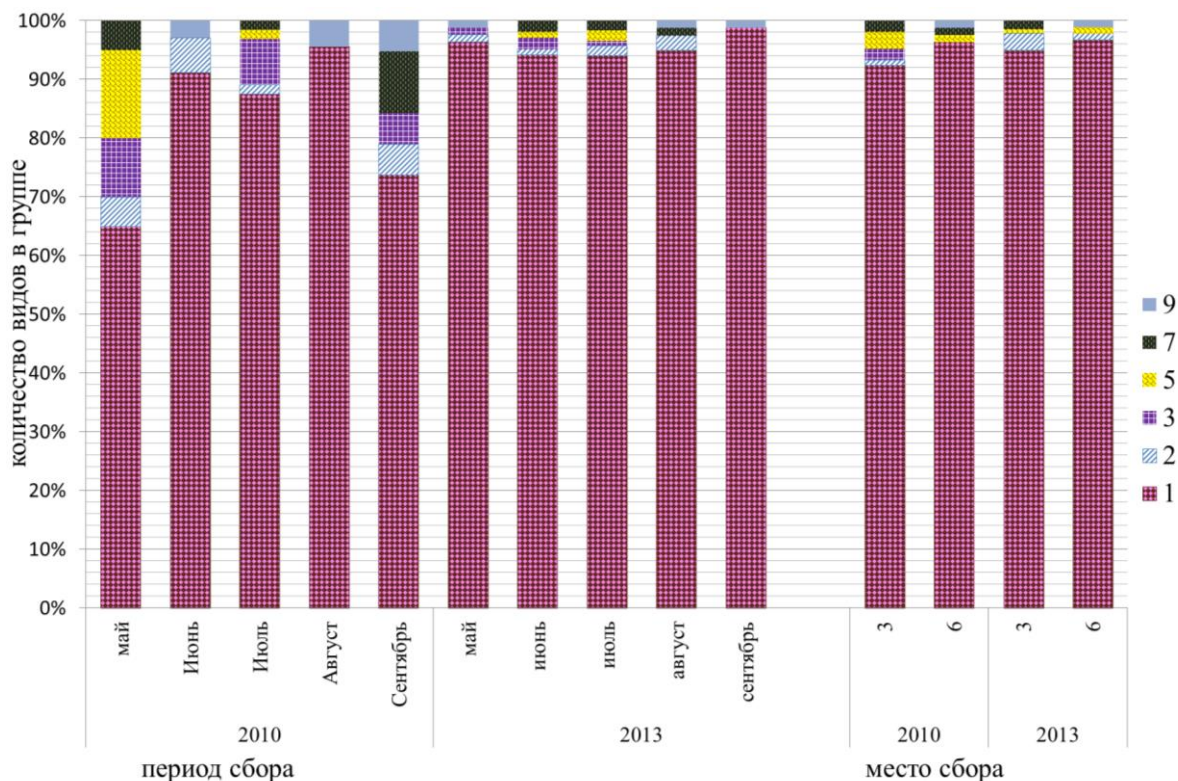


Рис. 30 – соотношение групп видов фитопланктона Белоярского водохранилища по относительному доминированию.

Таблица значений и условных обозначений.

баллы	Группы видов по относительному обилию	Период сбора										Место сбора			
		2010					2013					2010		2013	
		май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	май	июнь	июль	август	сентябрь	пляж	верховье	пляж	верховье
1	спорадичные	65	91,18	87,5	95,6	73,69	96,43	94,2	94,1	95	98,8	92,39	96,4	94,96	96,7
2	малочисленные	5	5,88	1,56	0	5,26	1,19	1	1,7	2,5	0	0,95	0	2,88	1,1
3	со средним обилием	10	0	7,82	0	5,26	1,19	1,9	0,8	0	0	1,9	0	0	0
5	субдоминанты	15	0	1,56	0	0	0	1	1,7	0	0	2,86	1,2	0,72	1,1
7	доминанты	5	0	1,56	0	10,53	0	1,9	1,7	1,25	0	1,9	1,2	1,44	0
9	супердоминанты	0	2,94	0	4,4	5,26	1,19	0	0	1,25	1,2	0	1,2	0	1,1
Сумма,%		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Показателем устойчивости сообщества видов является близость к соотношению кривой Раункиера (Рис.31.) – логарифмической кривой, образующейся при наличии в сообществе обратной пропорциональной зависимости между баллом группы относительного доминирования видов и количеством входящих в неё видов.

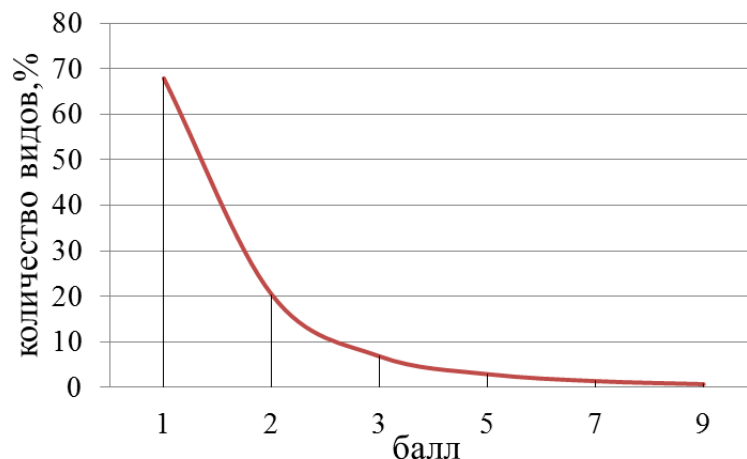


Рис. 31 – кривая Раункиера.

Следует отметить, что ни одно из представленных на рисунке 30 соотношений видового разнообразия групп относительного обилия видов фитопланктона не обладает полным соответствием кривой Раункиера. Это может быть объяснено длительным антропогенным влиянием на гидроэкосистему водохранилища (как действием АЭС, так и рекреационной нагрузкой, неконтролируемыми стоками прибрежных поселений и т.п.). Тем не менее, более близкой к кривой является соотношение групп видов последнего года альголизации (2013), так как группы видов с балльной оценкой выше 1 близки по своему значению, тогда как для соотношения групп начала альголизации характерны заниженные доли групп с балльными оценками 2 и 3, увеличенные доли групп видов доминантов различного уровня или же отсутствие ряда групп. Например, в августе 2010 года представлены виды, относящиеся к двум группам – спорадичным и супердоминантам, тогда как все промежуточные группы отсутствуют. Подобная скудность групп видов в 2013 году наблюдается только в сентябре, что может быть вызвано помимо

антропогенного воздействия селективным действием циркадных абиотических факторов (изменением длины светового дня, снижением температуры).

Следовательно, изменение структуры альгоценоза Белоярского водохранилища свидетельствует об увеличении степени устойчивости за счет выравнивания и уменьшения долей видов суб-, и супер доминантов, увеличения доли очень редких, или спорадических, видов.

#### 4.3. Зоопланктон, его разнообразие, динамика

За 2010-2013 гг. в составе зоопланктоноценозов зарегистрировано 127 видов и подвидов, относящихся к четырем крупным группам царства животных: подцарству Простейшие, типу Коловратки и двум группам типа Членистоногие класса Ракообразные (подотряду Ветвистоусые и отряду Веслоногие). На основе данных встречаемости видов, представленных в таблице 5.3. приложения 5, составлена обобщающая диаграмма динамики видового разнообразия зоопланктона (Рис.32.).

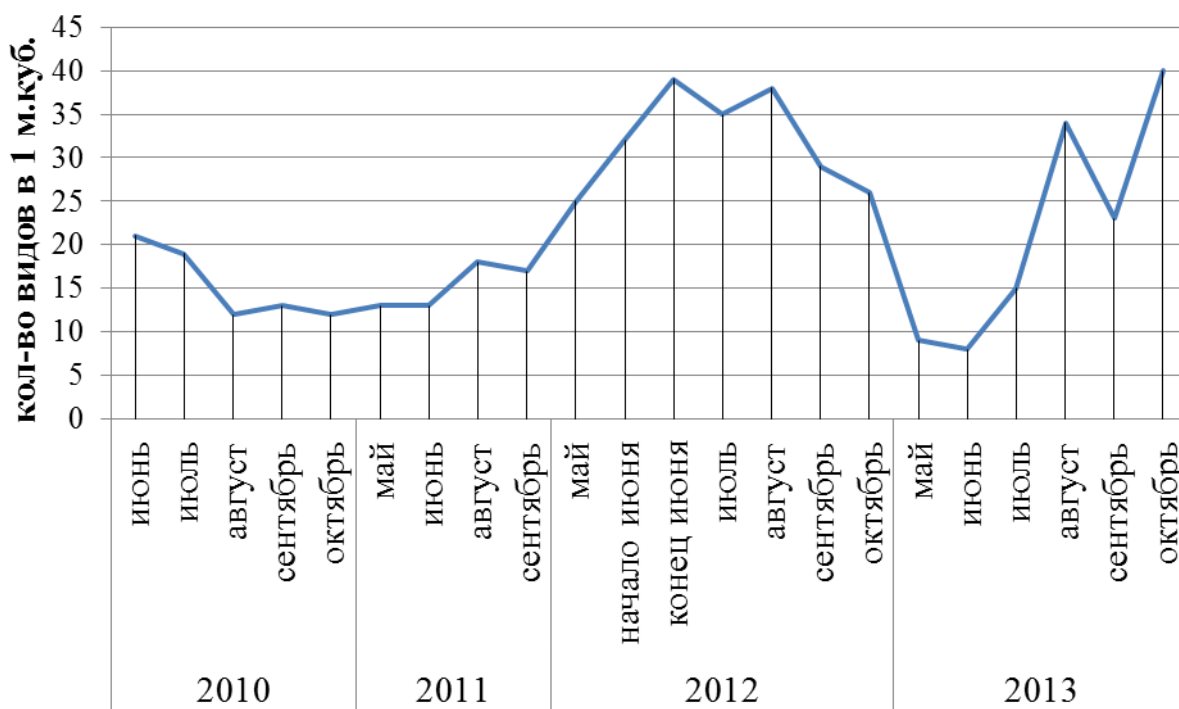


Рис. 32– динамика видового разнообразия зоопланктона Белоярского водохранилища.

Таблица значений

год	2010				2011				2012				2013									
месяц	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	май	июнь	август	сентябрь	май	начало июня	конец июня	июль	август	сентябрь	октябрь	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
Кол-во видов	21	19	12	13	12	13	13	18	17	25	32	39	35	38	29	26	9	8	15	34	23	40

За исследуемый период число видов обнаруживает достаточно резкие колебания (Рис.), а именно от 9 до 40 при среднем арифметическом 22,3 вида на 1 м<sup>3</sup>. Изменения в первые два года изучения водоема-охладителя определялись, по всей вероятности, прямым влиянием аномально высоких температур, что в условиях повышенного температурного фона в связи с использованием для охлаждения БАЭС, неблагоприятно сказывается на мезофильной в основном фауне планктонных организмов. Также предпочтением невысоких температур можно объяснить и увеличение числа видов относительно теплой осенью 2013 года. Кроме того, возможно, что в результате длительного вселения их кормового объекта – хлореллы – также способствовало увеличению числа видов в 2012 и 2013 гг.

Отличительной особенностью данного водоема является однородный состав и относительно равномерное распределение зоопланктона по акватории, а также отсутствие пелагобентосных форм, которые характерны для литорального планктона многих водоемов. Наиболее часто встречаемыми, то есть обнаруживаемыми в 85-100% проб являются такие виды как *Keratella cochlearis cochlearis* (Gosse), *K. quadrata quadrata* (Mull.) (Rotatoria), *Chydorus sphaericus* (O.F.Mull.) (Cladocera), *Eudiaptomus graciloides* Sars. (Copepoda). Следует отметить, что данные виды, а также виды со встречаемостью более 40%, являются олиго-бетамезосапробами или олигосапробами, то есть характеризуют гидроэкосистему как умеренно загрязненную. Большинство видов зоопланктона, а именно 74 вида, являются редко встречаемыми, то есть, зарегистрированы менее чем в 10% проб.

Соотношение видового разнообразия вышеперечисленных крупных таксонов зоопланктона также обнаруживало колебания. Для демонстрации этого факта данные таблицы Приложения обобщены и представлены в виде диаграммы (Рис.33.)

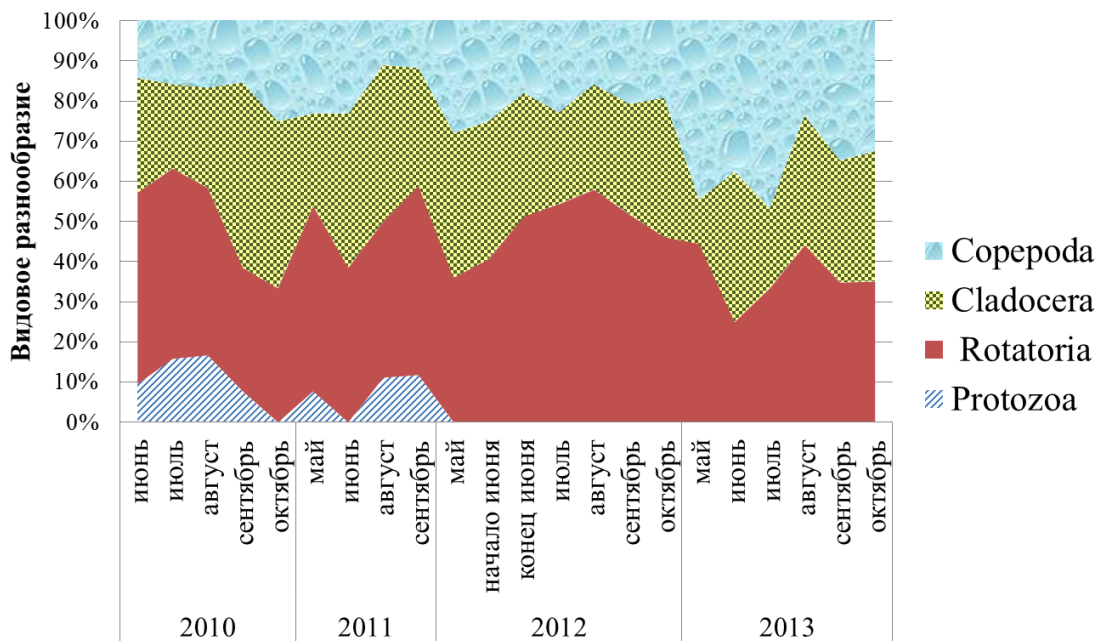


Рис. 33 – Динамика видового разнообразия основных таксонов зоопланктона Белоярского водохранилища

Таблица значений, %

Название таксона	2010				2011				2012				2013										
	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	май	июнь	август	сентябрь	май	начало июня	конец июня	июль	август	сентябрь	октябрь	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	
Protozoa	9,52	15,7	16,6	7,7	0	7,69	0	11,1	11,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rotatoria	47,62	47,37	41,66	30,77	33,33	46,15	38,46	38,89	47,07	36	40,6	51,28	54,28	57,89	51,72	46,15	44,44	25	33,33	44,12	34,78	35	
Cladocera	28,57	21,05	25	46,15	41,67	23,08	38,46	38,89	29,41	36	34,4	30,77	22,86	26,32	27,59	34,62	11,12	37,5	20	32,35	30,44	32,5	
Copepoda	14,29	15,79	16,67	15,38	25	23,08	23,08	11,11	11,76	28	25	17,95	22,86	15,79	20,69	19,23	44,44	37,5	46,67	23,53	34,78	32,5	

Простейшие фиксировались в пробах только в первые два года исследований. Их исчезновение объясняется, по-видимому, двумя

причинами: либо недостаточным количеством отбираемых образцов, либо отсутствием нужной квалификации специалистов команды РосНИИВХ, либо результатом недофиксации формалином, в результате которой организмы с тонкими оболочками – простейшие – разрушались во время транспортировки на значительно большее расстояние в 2013 г, чем в предыдущий год.

Доли коловраток (*Rotatoria*) и ветвистоусых (*Cladocera*) и веслоногих остается в целом неизменной, а именно средняя арифметическая за вегетативный сезон у коловраток колеблется от 36,1% до 48,3%, а у ветвистоусых – 27,2 до 32,5% от общего числа видов в пробе. В 2013 году для данных двух групп зафиксировано некоторое снижение количества одновременно встречающихся видов. Ветвистоусые, напротив, к 2013 году демонстрируют четкую тенденцию увеличения видового разнообразия. Их среднее арифметическое за 2010 равно 17,4%, 2011 – 17,3%, в 2012 – 21,36%, а в 2013 – уже 36,57% от общего числа видов в пробе.

Ежегодно наблюдается смена таксонов в видовом разнообразии зоопланктона. В весенний и осенний период наибольшим разнообразием характеризуются коловратки, в летние месяцы – рачковый планктон.

Для наглядности отображения изменения биомассы зоопланктона средние арифметические величины обследованных точек сбора по данному показателю представлены на рисунке (Рис. 34.).



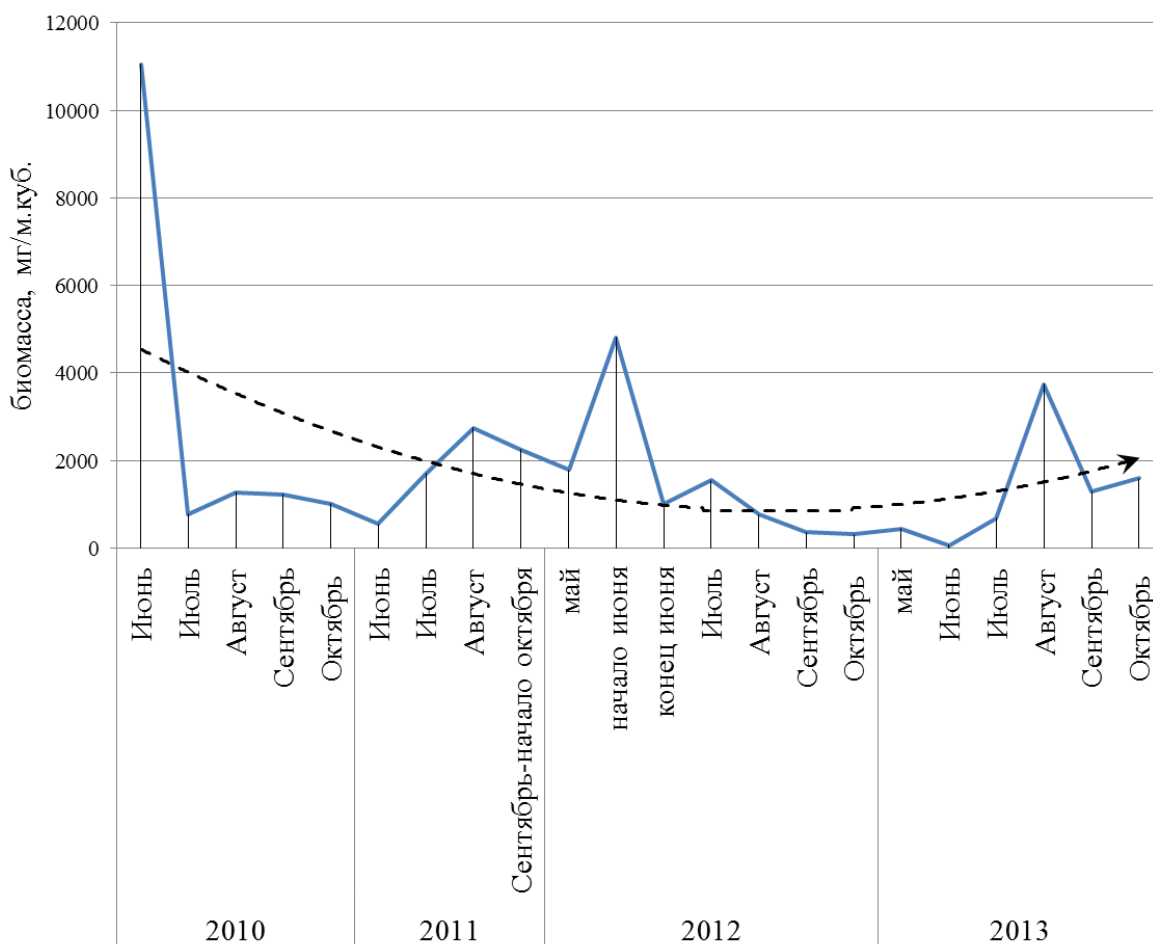


Рис. 34 – динамика биомассы зоопланктона Белоярского водохранилища.

— количество видов; - -> – полиномиальная линия тренда для количества видов зоопланктона.

Таблица значений к рисунку 34.

2010			2011			2012					2013										
Июнь	Июль	Август	Июнь	Июль	Август	Сентябрь-начало октября	май	начало июня	конец июня	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь		
11050	780	1280	1230	1010	550	1700	2750	2250	1787	4815,333	1018	1542	759	362,9	317,6667	443,92	61,517	675,97	3747,1	1295,6	1593,5

Пики биомассы зоопланктона приходятся либо на начало лета (2010 и 2012 гг.), либо на конец лета (2011 и 2013 гг.). В начале и конце

вегетационного сезона наблюдается естественный спад общей биомассы. Виды, создающие основу биомассы зоопланктона, в разные годы исследования различные. Так если основная доля биомассы практически во всех станциях в 2010 году создается такими видами ветвистоусых рачков как *Bosmina kessleri* и *Daphnia cucullata*, то в 2011 наибольших значений достигают такие виды коловраток как *Chidorus sphaericus*, и *Keratella quadrata*, а также вид кругоресничных инфузорий *Epistylis plicatilis*, тогда как виды прошлого года играют значительную роль только единожды (июнь, станция 6, верховье). Биомасса планктонных животных в 2012 году, как в верховье, так и у плотины носит кладоцерно - копеподитный характер, причем на долю видов рода *Bosmina* (*B. kessleri* (Uijanin) и *B. obtusirostris* Sars) приходится до 83% от суммарной биомассы зоопланктона из 83,8%, приходящихся на ветвистоусых. Оба вида, преобладающих в 2012 году не встречены в 2013. Им на смену пришел веслоногий рачок *Eudiaptomus graciloides* (Lilljeborg), который образует ассоциации весной с другим веслоногим рачком *Acanthocyclops vernalis* (Fisch.), летом – с видами ветвистоусых *Chydorus sphaericus* (O.F. Müll.), *Daphnia galeata* Sars, а осенью – с другим видом того же рода *E. gracilis* (Sars). Следует подчеркнуть, что поскольку рачок *E. graciloides* является хозяйственно важным видом, увеличение его биомассы, его стабильная высокая численность повышают кормность водоема. Одной из вероятных причин этого может быть вселение зеленой микроводоросли, повлекшего увеличение биомассы планктонных фитофагов, в том числе и *E. graciloides*.

Предположение, выдвинутое нами для объяснения увеличения доли и числа видов синезеленых водорослей в 2013 году, а именно увеличение сбрасываемых бытовых отходов, подтверждает и факт исчезновения обычного для водохранилища очень чувствительного к загрязнению городскими сточными водами видов *Daphnia longispina* O.F.Müll., *Pompholyx complanata* Gosse. Следует отметить, что наибольшую

встречаемость устойчивые к загрязнению виды рачков и коловраток обнаруживали в составе зоопланктоценозов 2012 года, то есть в тот год, когда биомасса зоопланктона была наименьшей за весь период исследования (Рис. 34). Кроме того, именно в этом году в число преобладающих по биомассе входят коловратки рода *Brachionus* с приуроченностью к бета-альфамезосапробным водоемам. Таким образом, возможно, наибольшее антропогенное загрязнение приходилось именно на 2012 год. В связи с этими выводами было принято решение о дополнительном (четвертом) вселении хлореллы в водоем-охладитель в течение 2013 года. Результатом его является снижение общего числа видов, устойчивых к загрязнению. По-прежнему часто встречаемыми видами из этой группы организмов являются только *Keratella c. cochlearis* (Gosse) и *Chydorus sphaericus* (O.F.Mull.).

#### 4.4. Макрозообентос, его разнообразие, сезонная динамика и трофическая структура.

По результатам двухлетнего (2010 и 2011 гг.) исследования макрозообентоса было обнаружено 173 вида, относящихся к пяти типам животного царства: круглые черви Nematelminthes, кольчатые черви Annelida, моллюски Mollusca, мшанки Tentaculata, членистоногие Arthropoda (Рис. 35.).

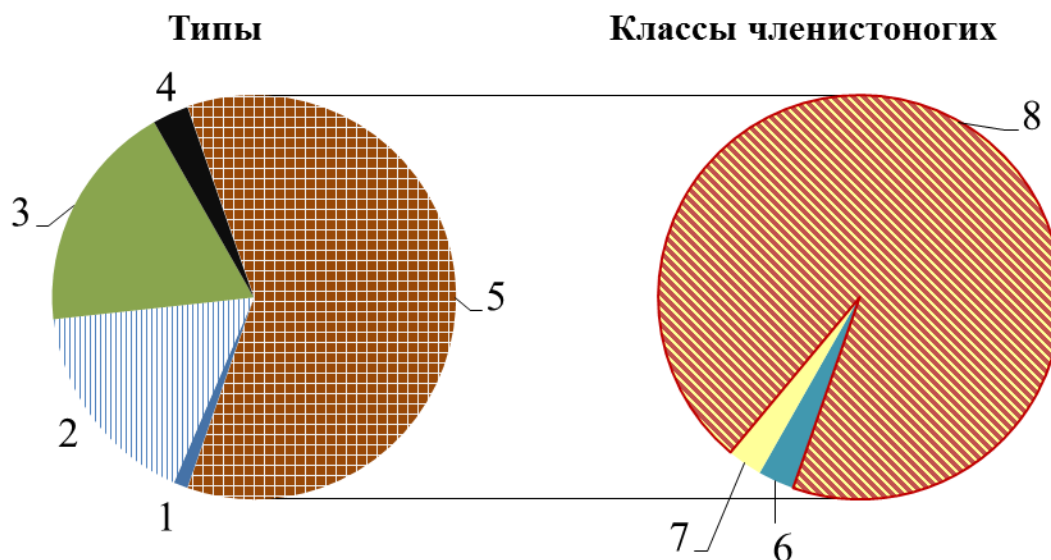


Рис. 35 – соотношение наиболее крупных таксонов макрозообентоса  
Белоярского водохранилища по видовому разнообразию.

Таблица значений и условных обозначений к рисунку 35.

Основная часть, правая диаграмма				Вспомогательная часть, левая диаграмма			
№	Название типа	Кол-во видов	Доля кол-ва видов, %	№	Название класса членистоногих	Кол-во видов	Доля кол-ва видов, %
1	Nemathelminthes	2	1,16	6	Crustacea	3	1,73
2	Annelida	29	16,76	7	Arachnida	3	1,73
3	Mollusca	32	18,5	8	Insecta	99	57,23
4	Tentaculata	5	2,89				
5	Arthropoda	105	60,69				
Итого		173	100	Всего членистоногих		105	60,69

Более половины видов макрозообентоса принадлежит типу членистоногих, а среди членистоногих по видовому разнообразию преобладают виды класса насекомые (Рис. 35). Среди насекомых наибольшее количество видов зарегистрировано в составе отряда Двукрылых (72 вида или 41,62% от общего числа видов). Типы Nemathelminthes, Tentaculata, представлены одним классом: Nematoda и Bryozoa соответственно, классы членистоногих Crustacea, Arachnida также характеризуются слабой таксономической представленностью, в частности среди ракообразных были встречены представители ракушковых раков, а среди паукообразных – представители группы клещей. Нельзя не отметить, что среди паукообразных, в отличие от ракообразных, только некоторые виды, объединенные в группу Hydracarina, являются настоящими гидробионтами.

Обилие видов макрозообентоса представлено в виде сводных таблиц по месяцам сбора каждого года исследований ( Прил. 6, Табл.6.1.) и по станциям сбора (Прил.6, Табл.6.2.). Для наглядности данные таблицы 6.1. приложения 6 обобщены для наиболее значимых групп макрозообентоса и представлены в виде диаграммы (Рис. 36.).

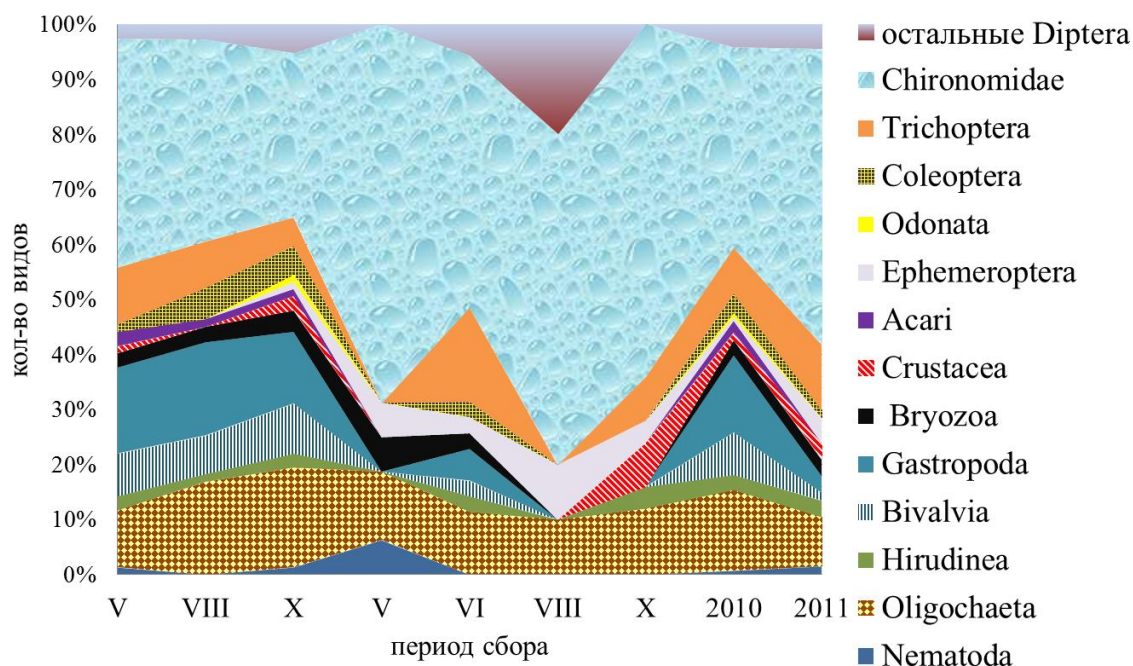


Рис. 36. – динамика видового разнообразия основных групп макрозообентоса Белоярского водохранилища.

Таблица значений видового разнообразия (%) к рисунку 36.

Таксон	2010			2011				Всего за год	
	V	VIII	X	V	VI	VIII	X	2010	2011
Nematoda	1,3	0	1,3	6,25	0	0	0	0,7	1,5
Oligochaeta	10,39	16,9	18,18	12,5	11,43	10	12	14,69	8,96
Hirudinea	2,6	1,41	2,6	0	2,86	0	4	2,8	3
Bivalvia	7,78	7,04	9,09	0	2,86	0	0	7,68	1,49
Gastropoda	15,58	16,9	12,99	0	5,71	0	0	13,99	2,99
Bryozoa	2,6	2,82	3,9	6,25	2,86	0	0	2,8	3
Crustacea	1,3	0	2,6	0	0	0	8	1,4	3
Acari	2,6	1,41	1,3	0	0	0	0	2,1	0
Ephemeroptera	0	0	1,3	6,25	2,86	10	4	0,7	4,48
Odonata	0	0	1,3	0	0	0	0	0,7	0
Coleoptera	1,3	5,63	5,19	0	2,86	0	0	3,5	1,5
Trichoptera	10,39	8,45	5,19	0	17,14	0	8	8,38	11,9
Chironomidae	41,56	36,62	29,87	68,75	45,71	60	64	36,36	53,7

остальные Diptera	2,6	2,82	5,19	0	5,71	20	0	4,2	4,48
Итого, %	100	100	100	100	100	100	100	100	100

В 2010 году выявлено 144 вида беспозвоночных, из них 106 – в живом виде, другие виды идентифицированы по остаткам их жизнедеятельности (домикам, раковинам, личинным шкуркам, головным капсулам, флотобластам и статобластам и др.). По результатам определения зообентосных проб, собранных в мае-октябре 2011 г., выявлено 67 видов макробеспозвоночных. При этом в живом виде отмечено 59 видов беспозвоночных: все виды брюхоногих моллюсков определены по раковинам, мшанки – по флото- и статобластам, 5 видов ручейников – по домикам, 2 вида хирономин – по головной капсуле. Из приведенного списка 23 вида в 2011 встречены впервые. Наиболее многочисленными среди них являются представители зоофитоса *Enchytraeidae* sp., *Ecnomus tenellus* (Rambur), *Tinodes valvatus* Martynov, *Orthocladus thienemanni* Kieffer, *Chironomus pseudothummi* Strenzke, *Pseudochironomus prasinatus* (Staeger) (Табл. 6.1. Прил. 6).

В течение вегетативных сезонов 2010 и 2011 наблюдается сходная тенденция в соотношении видового разнообразия (Рис. 37.). В июле-августе увеличивается доля ручейников, брюхоногих и двустворчатых моллюсков. В весенний и осенние периоды увеличивают свое относительное разнообразие поденки и двукрылые, в том числе хирономиды. Доли малощетинковых червей, пиявок остаются приблизительно одинаковыми в течение всего периода исследований.

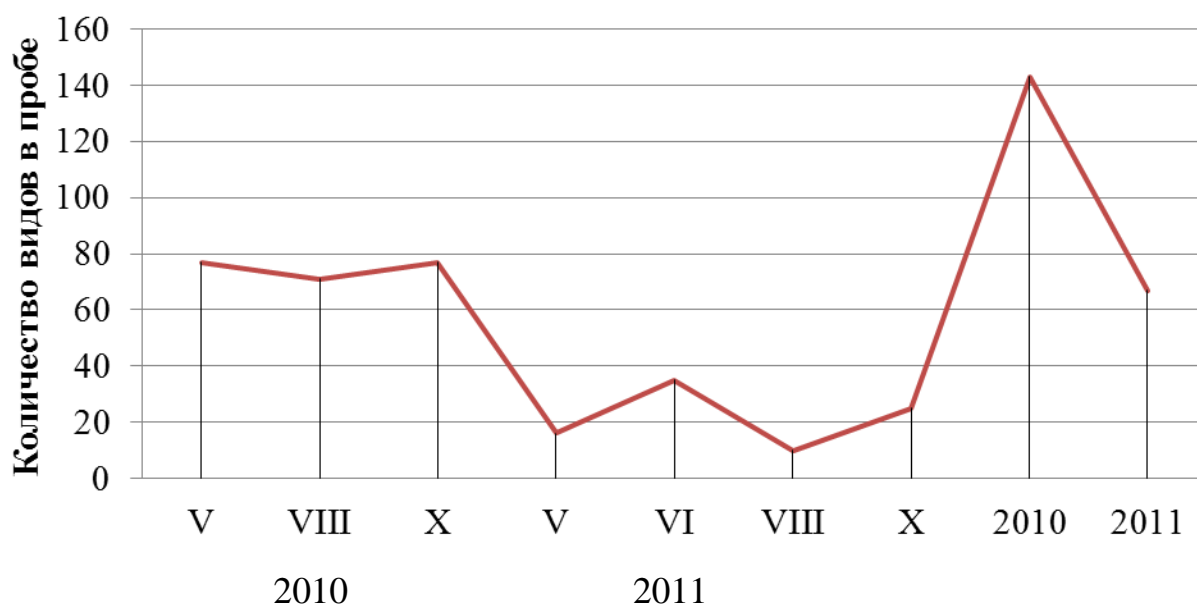


Рис. 37 – динамика видового разнообразия макрозообентоса Белоярского водохранилища.

Таблица значений к рисунку 37

Год	2010			2011				общее	
Месяц	V	VIII	X	V	VI	VIII	X	2010	2011
Число видов	77	71	77	16	35	10	25	143	67

Суммарное количество видов обнаруживает значительные изменения. Наибольшие показатели зарегистрированы в 2010 году. Это может быть обусловлено тем, что, несмотря на аномально высокие температуры 2010 года, на дне сохранились стабильные относительно нормальные температуры. Кроме того, длительное обитание фауны бентических беспозвоночных в условиях повышенной температуры воды из-за сбросов БАЭС привело к формированию экогруппы видов, относительно устойчивых к перегреванию.

Изменения донно-фитофильного зоокомплекса имеют не только количественные изменения, но и качественные. В группе олигохет появились представители сем. Naididae (pp. *Nais*, *Dero*), среди тубифицид – представители рода *Aulodrilus*, при этом роль тубифицид значительно снизилась. Из пиявок вместо крупного хищника хватателя р. *Erpobdella* присутствует мелкий вид хищника высасывателя *Helobdella stagnalis*.

Среди двустворчатых моллюсков изменения минимальны – вместо р. *Amesoda* присутствует р. *Musculium*, виды *Pisidium amnicum* и эвглесиды, кроме р. *Cyclocalyx*, остались в составе донных сообществ, но с меньшим обилием. Из брюхоногих отмечены представители р. *Bithynia* и *Acroloxus*, отсутствующие весной, на фоне редукции разнообразия других семейств, кроме Valvatidae.

В группе мшанок произошла одна видовая смена, однако живых колоний не отмечено. Из клещей остался один из двух ранее отмеченных видов р. *Piona*. Насекомые, кроме хирономид, слабо изменили состав: среди ручейников произошла смена вида р. *Oecetis*, снизилось разнообразие и обилие мокрецов, появился представитель хаоборид р. *Chaoborus*.

Среди хирономид снизилось значение таниподин и особенно ортокладиин и танитарзин, очевидно, за счет массовых вылетов имаго в более ранний летний период, усилились разнообразие и роль хирономин р. *Chironomus*, появились новые представители pp. *Cryptochironomus*, *Psectrocladius*, *Glyptotendipes*, *Polypedilum*, *Dicrotendipes* и вид танитарзин *Virgatanytarsis arduennensis*. По-прежнему в бентосе отсутствуют высшие ракообразные, из насекомых – поденки, стрекозы, чешуекрылые, вислоккрылки, крайне бедны жесткокрылые и полужесткокрылые. Преобладающие жизненные формы мелкоразмерны.

Динамика обилия беспозвоночных дна литорали Белоярского водохранилища, отраженная на рисунке 38, показывает значительные отличия долей отдельных таксонов.



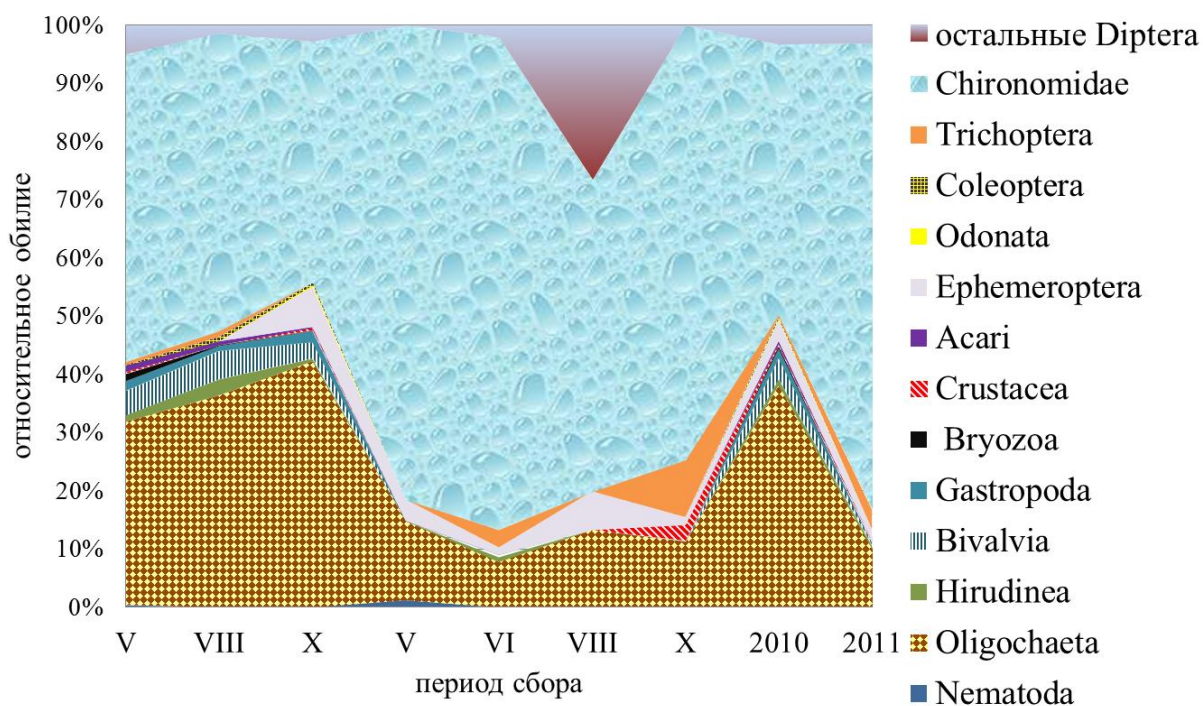


Рис. 38 – динамика обилия основных групп макрозообентоса Белоярского водохранилища.

Таксон	2010			2011				Всего за год	
	V	VIII	X	V	VI	VIII	X	2010	2011
Nematoda	0,4	0	0,2	1,2	0	0	0	0,23	0,23
Oligochaeta	31,5	36,4	42,02	13,6	7,77	13,3	11,24	37,89	9,84
Hirudinea	1,2	2,7	0,44	0	0,82	0	0,07	1,04	0,48
Bivalvia	4,2	4,9	2,84	0	0,4	0	0	3,58	0,23
Gastropoda	1,6	0,8	1,93	0	0,04	0	0	1,68	0,02
Bryozoa	1,2	0,1	0,06	0,1	0,02	0	0	0,42	0,02
Crustacea	0,4	0	0,44	0	0	0	2,81	0,34	0,47
Acari	1,1	0,7	0,22	0	0	0	0	0,57	0
Ephemeroptera	0	0	6,9	3,7	1,23	6,6	1,4	3,66	2,11
Odonata	0	0	0,22	0	0	0	0	0,11	0
Coleoptera	0,1	0,8	0,47	0	0,02	0	0	0,4	0,01
Trichoptera	0,5	1	0,03	0	2,97	0	9,83	0,35	3,34
Chironomidae	52,9	51,2	41,43	81,4	84,68	53,5	74,65	46,53	80,2
остальные Diptera	4,9	1,4	2,8	0	2,05	26,6	0	3,2	3,05
Итого, %	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Как и по видовому разнообразию, так и по обилию ядро макрозообентоса составляют хирономиды. В 2010 году им несколько уступают малощетинковые черви.

Численность макрозообентоса литорали водохранилища в 2010 г. составила 924,2 экз./м<sup>2</sup> (от 340 экз./м<sup>2</sup> у АЭС до 1680 экз./м<sup>2</sup> в верховье). Средняя биомасса макрозообентоса низкая – 2,63 г/м<sup>2</sup> (от 0,63 у АЭС до 5,59 г/м<sup>2</sup> в верховье), что сопоставимо для зообентоса водоемов Западной Сибири [186] и обусловлено отсутствием в бентосе крупных видов – моллюсков, колоний губок, стрекоз, жуков, клопов, пиявок, т.е. смешанных и чистых фильтраторов и хищников крупных форм – К-стратегов.

Ведущими группами в численности и биомассе макрозообентоса являлись хирономиды и олигохеты, в биомассе в отдельных пунктах существенна доля моллюсков и пиявок.

При сопоставлении прошлогодних данных с нынешними оказалось, что в мае 2010 г. и в верховье, и в низовье выраженного численного доминирования видов не проявлялось. В верховье в 2010 г. более высокой численностью обладали хищные мокрецы *Sphaeromyias pictus* и всеядные хирономиды *P. nubeculosum*, в низовье – хищные мокрецы *Probezzia seminigra* и хирономиды *Psilotanypus imicola* при наличии и других видов таниподин. По итогам 2010 года доминирующими видами литорали водохранилища были олигохеты *Limnodrilus hoffmeisteri* (18,9%) и хирономиды *Polypedilum nubeculosum* (12,5%), менее значимы олигохеты *Tubifex tubifex* (6,1%) и хирономиды *Psilotanypus imicola* (6,6%). В отдельных пунктах большое значение имели виды поденок *Caenis horaria*, мокрецы pp. *Sphaeromyias* и *Probezzia*, хирономиды pp. *Procladius* и *Cladotanytarsus*. В мае 2011 г. наблюдается смена доминантов и типов сообществ, с преобладанием видов – сестоно-фитодетритофагов фильтраторов+собирателей (пелофилов) в верховье и видов-фитодетритофагов (псаммопелофилов) в низовье. Вероятно, это произошло из-за смещения сроков вылета имаго насекомых, связанного с особенностями температурного режима водоема и летней температурной аномалии 2010 г. В августе 2010 г. в верховье преобладали хищные

хирономиды р. *Cryptochironomus* и смешанные фильтраторы из моллюсков – эвглесид р. *Pseudeupera*. В 2011 г. доминирование было не выражено, более высокая численность отмечена у всеядных мокрецов *Probezzia* и хирономид сестоно-фитодетритофагов фильтраторов+собирателей р. *Glyptotendipes* (произошла смена жизненной формы на более эврибионтную внутри гильдии). Осенью 2010 г. в верховье было развито богатое пелофильное сообщество при доминировании хирономид *P. nubeculosum*, поденок р. *Caenis* и олигохет *L. hoffmeisteri* и *T. tubifex* при высоком разнообразии последних, в 2011 г. произошло разрушение сообщества, остались лишь *L. hoffmeisteri* и Ostracoda. В низовье в октябре 2010 г. было отмечено 2 вида олигохет при доминировании *L. hoffmeisteri*, и 5 видов хирономид при доминировании *Chironomus muratensis*, а также, единично – мокрецы р. *Sphaeromyias*. В 2011 г. роль олигохет редуцирована почти втрое, преобладают хирономиды, преимущественно ручьевого криофильного комплекса (ортокладиины), а также танитарзины р. *Cladotanytarsus* и хирономины р. *Glyptotendipes*.

В различные сезоны происходила достаточно резкая смена доминантных комплексов из-за вылетов имаго насекомых, деградации сообществ из-за термического стресса в условиях прошлого аномально жаркого лета либо токсификации грунтов.

Среди хирономид в пробах верховья 2011 г. наблюдается рост значимости хирономин, преимущественно р. *Polypedilum* и р. *Cladotanytarsus* (в мае), р. *Chironomus* (в июне), и р. *Glyptotendipes* (в августе), при полном отсутствии группы в октябре. В низовье, как и в 2010 г., отсутствовали живые моллюски, отмечено 6 видов олигохет, по 2-4 вида в различные месяцы, при максимуме в июне (в 2010 г. в тех же пунктах отмечалось по 5 и 9 видов соответственно, при том же доминанте). Появились мелкие пиявки *Helobdella stagnalis* и коконы р. *Erpobdella*, из ручейников в июне появились хищники *Ecnomus tenellus*, в октябре – фито-зоофаги *Athrypsodes aterrimus* и фитодетритофаги *Tinodes valvatus*,

возросло разнообразие хирономид за счет новых для водохранилища видов олиготрофных водоемов из ортокладиин. Последний факт можно объяснить изменением (холодноводностью) термического режима по сравнению с прошлым аномально жарким летом, что не позволило в предшествующем году развиваться комплексу криофильных оксибионтных видов, вероятно, свойственных этому водоему в осенний период. Подобное явление наблюдалось нами в родниковом пруду Среднерусской возвышенности, когда на фоне сильной сапробизации в осенний период усиливалась роль ручьевых видов ортокладиин и танитарзин [158]. Это может быть и результатом смены пункта отбора пробы в октябре 2011 г. (к примеру, вблизи зоны разгрузки грунтовых вод либо ручьевого притока).

Общая численность макрозообентоса в 2011 году в верховье повышалась от мая к июню и снижалась в августе, составляя 420-720 – 300 экз/м<sup>2</sup> (что соответствует, а в августе превышает прошлогодние показатели). В октябре зообентос почти отсутствовал (40 экз/м<sup>2</sup>), отмечены лишь головные капсулы и личинные шкурки вылетевших хирономид и 2 живых вида их других групп. В низовье численность зообентоса составляла 1200-4340 экз/м<sup>2</sup> (вдвое выше прошлогодних), также достигая максимума в июне, оставаясь на сходных позициях в мае и октябре. Показатели средней численности в верховье в 2010/2011 гг. представляли собой величины 1680/370 экз/м<sup>2</sup>, т.е. в 4,5 раза ниже, в низовье наоборот – 500/2306,7 экз/м<sup>2</sup>, т.е. в 4,6 раза выше.

Биомасса макрозообентоса как в 2010, так и в 2011 была низкой. Биомасса макрозообентоса во всех пунктах весной первого изучения была стабильной и составляла от 1,37 г/м<sup>2</sup> у АЭС на грунте с крупным детритом и мелким углем до 5,08 г/м<sup>2</sup> в верховье. Средняя биомасса составила 3,26 г/м<sup>2</sup>, что сходно с данными для притоков Оби, где биомасса в большинстве случаев не превышала 9,2 г/м<sup>2</sup> [186]. Такие низкие показатели биомассы, кроме низкой численности гидробионтов, обусловлены отсутствием крупных форм моллюсков, а также слабым участием средних форм

брюхоногих, которые преимущественно найдены только по раковинам.. Биомасса макрозообентоса в различных пунктах в летний период 2010 года колебалась от 0,14 г/м<sup>2</sup> в левобережье у АЭС до 2,01 г/м<sup>2</sup> в правобережье выше АЭС, составила в среднем 0,7 г/м<sup>2</sup>, что в 4,7 раза ниже весеннего показателя. Общая биомасса бентоса повторяет основные закономерности численности, достигая максимума в верховье (11,34 г/м<sup>2</sup>), минимума – у АЭС (0,37 г/м<sup>2</sup>), в других пунктах составляя стабильно низкие величины – 1,25-6,61 г/м<sup>2</sup>. Общая биомасса макрозообентоса для литорали Белоярского водохранилища составила в 2010 г. 2,63 г/м<sup>2</sup>. В 2011 в верховье составляя 0,7-1,3 г/м<sup>2</sup>, в летние месяцы – и до 0,02 г/м<sup>2</sup> в октябре, в низовье – 1,3-3,8 г/м<sup>2</sup>, что для верховья – 6-кратно, для низовья – 2-кратно ниже прошлогодних весенних показателей. Для осени эта редукция составила величину в 4 порядка для верховья и на треть – в низовье. Это обусловлено отсутствием крупных форм, разрушением осеннего аспекта сообщества верховья и снижением биомассы олигохет при обилии мелких танитарзин в низовье (Приложение 6, таблица 6.1). Средние показатели биомассы в 2010/2011 гг. для верховья составляли 5,59 /0,69 г/м<sup>2</sup>, для низовья – 2,31/2,40 г/м<sup>2</sup>, т.е., наблюдается 8-кратное снижение биомассы зообентоса в верховье, при этом в низовье этот показатель остается неизменным. Феномен резкого повышения численности в низовье обусловлен массовым развитием («вспышкой» численности) мелких танитарзин – фитодетритофагов летом, занявших нишу ушедших, более крупных хищных таниподин, и детритофагов – олигохет. Обычно это связано с гидрологической нестабильностью (усиление r-стратегии) и повышением эвтрофикации, однако осенние данные противоречиво отражают этот факт. В целом сезонная динамика количественных показателей и в верховье, и в низовье носит обратный характер по сравнению с 2010 г., что свидетельствует о серьезных биотических перестройках в донных биоценозах изучаемых зон с ярко выраженным негативным эффектом в верховье в 2011г. Отсутствие летних пиков в 2010 г. может объясняться

аномально жаркими условиями лета 2010 г., вызвавших депрессию летнего развития зообентоса.

Сезонная динамика количественных показателей макрозообентоса свидетельствует о сильном обеднении в качественном (число таксонов) и количественном (численность, биомасса) аспектах макрозообентоса в летний период 2010 года и его полном (в Теплом заливе – по численности, в верховье у базы отдыха – по биомассе) либо частичном (другие пункты) восстановлении в осенний период. Это сказывается и на динамике информационной и трофической структур сообществ. Исключением является верховье водохранилища у впадения Пышмы с количественным максимумом осенью.

В трофических структурах зообентосных сообществ 2010 выявлено 13 гильдий из 5 трофических групп, в полном составе реализующихся только в весенний период. В летних и осенних аспектах сообществ отсутствуют гильдии фитофагов и большинство фильтрующих видов, при полной элиминации чистых фильтраторов, свойственных региональной фауне, редки крупные хищники, которые замещаются массовым развитием эврибионтных пелофильных детритофагов (олигохет) и всеядным *P. nubeculosum*, а также мелкими хищниками (хирономиды п/сем. Tanurodinae) с широкими ареалами. Это свидетельствует об ухудшении экологических условий в водоеме от весны к осени. Сообщества характеризуются невысокими показателями трофического разнообразия, при его оптимизации в летний период в правобережных пунктах ( $H_{tr} > 2,0$  бит/г гильдии), на фоне низкого уровня конкуренции и малой доли хищников. Из-за отсутствия в большинстве аспектов сообществ верховных хищников трофические структуры имеют усеченный, 3-4-уровневый статус. В сообществах Теплого залива и заливе напротив АЭС большое значение имели детритофаги, в других пунктах – «мирные» полифаги, иногда наряду с хищными полифагами и зоофагами. Отмечено усиление хищного звена сообществ в осенний период во всех

пунктах за счет мелких видов – r-стратегов, что подтверждает токсификацию литоральной зоны водохранилища, не дающей возможности развития крупных долгоживущих K-стратегов, в том числе хищных.

#### 4.5. Анализ экологического состояния акватории по комплексным гидрохимическим и биологическим показателям.

Общепринятым методом анализа степени загрязненности является вычисление индекса сапробности по Пантле-Букку. Всего было зарегистрировано среди фитопланктона 185 видов и форм – индикаторов сапробности (Прил.4., Табл.4.6.) и 47 видов и форм этой группы среди зоопланктона (Прил.5, Табл.5.5.). Для общего представления об экологическом состоянии Белоярского водохранилища за весь период работы вычислен данный индекс для планктонной флоры и фауны (Рис. 39.).

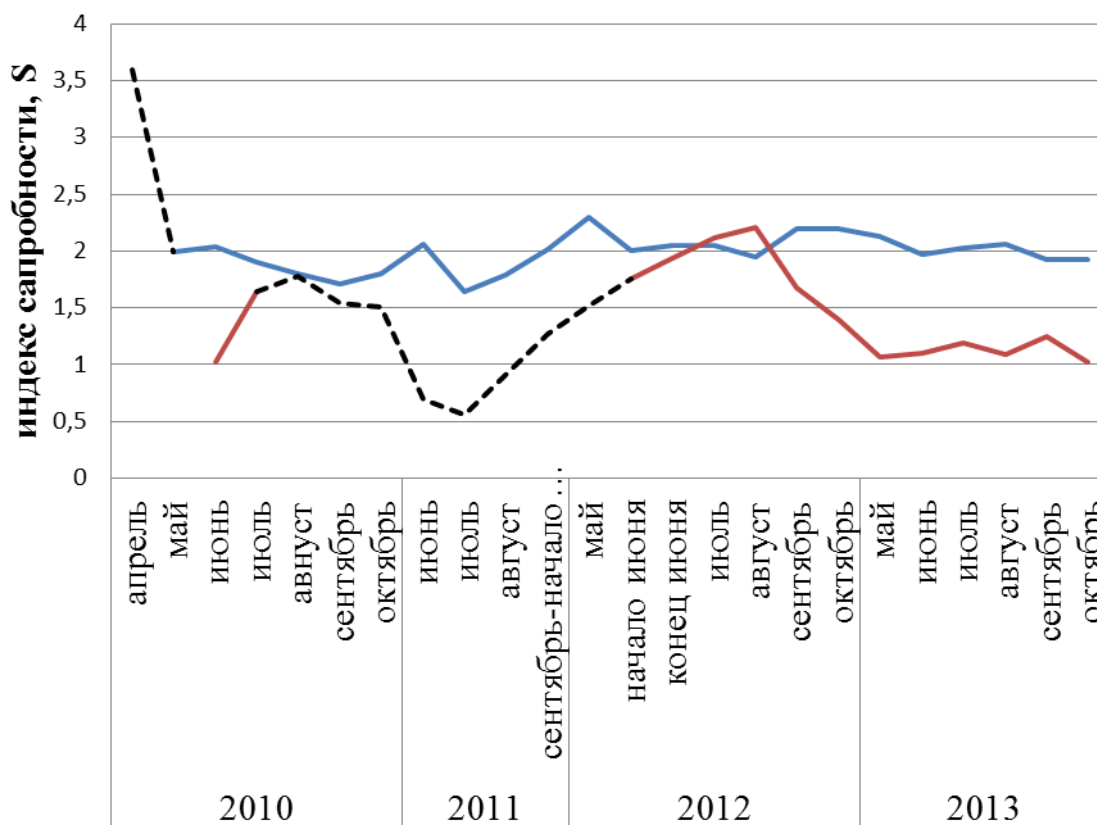


Рис. 39 – динамика индекса сапробности.

- по фитопланктону;
- по зоопланктону;
- некорректные результаты вычислений индекса.

Некоторыми показателями индекса сапробности (по фитопланктону за апрель 2010 года, с августа 2010 по май 2012 по зоопланктону) следует пренебречь, так как число видов – показателей сапробности – по объективным причинам не достигает необходимых 12. Например, фитопланктон в апреле 2010 был представлен только одним видом *Chlorella vulgaris*.

Показатели индекса сапробности по фитопланктону незначительно колеблются в диапазоне от 1,71 до 2,3, что соответствует мезосапробной зоне или III классу вод (умеренно (слабо) загрязненные). По зоопланктону индексы сапробности соответствуют зонам олиго- до мезосапробной или воде II (чистые) и III (умеренно загрязненные) классов [54]. В частности, индекс сапробности как по фитопланктону, так и по зоопланктону повышается в 2012 году, в год предполагаемого повышения уровня загрязнения, а к последнему году проведения работ по биологической реабилитации (2013 г.) индекс снижается, демонстрируя некоторое улучшение качества воды.

Все преобладающие виды зоопланктона и фитопланктона для которых известна приуроченность к определенной зоне сапробности, за период исследования, за исключением 2012 года, предпочитают олиготрофные, олиго-бетамезотрофные или бетамезо-олиготрофные водоёмы.

По данным 2011 г., биоценоз макрозообентоса верховьев в мае, как и в низовьев, был населен монодоминантным хирономидным сообществом при преобладании танитарзин *C. gr. mancus* №2. В субдоминантный комплекс входили полисапробные виды хирономуса *C. gr. plumosus* и тубифицид *L. hoffmeisteri*. В июне в пелофитофильном хирономидном монодоминантном сообществе произошла смена видов за счет вылета



танитарзин и развития комплекса видов р. *Chironomus*, адаптивных к дефициту кислорода в условиях сильного заиления. Доминирует пелофильный вид *C. melanotus*, комплекс субдоминантов расширяется за счет полисапробных видов – хирономин *C. pseudothummi* и *C. balatonicus*, при усилении роли (по индексу плотности р) тубифицид *L. hoffmeisteri*. Майские ценотические показатели в целом значительно хуже июньских. Майский аспект сообщества отличается высокой концентрацией доминирования за счет массового развития доминанта и низкой устойчивостью при умеренной энтропии. Видовое разнообразие от мая к июню возрастает вдвое, энтропия снижается, устойчивость повышается до умеренной, информационное разнообразие от низкого в мае приближается к благополучному значению в июне, (2,94 бит/экз.), но при этом информационный потенциал ( $H_{max}$ ) в верховье остается более низким, чем в низовье. В августе происходит смена доминантного комплекса (мокрецово-хирономидное сообщество), лидируют *S. pictus* и *G. gripekoveni*, без субдоминантов, при невысоких индексах плотности видов, низкой численности и минимальной летней биомассе сообщества (0,66 г/м<sup>2</sup>). При этом индекс Шеннона достигает оптимального уровня ( $H=3,0$ ) из-за низкой концентрации доминирования эдификаторов, устойчивость остается прежней при минимальной избыточности, т.е., информационный ресурс сообщества почти исчерпан ( $F=0,05$ ), что проявляется в единичной представленности большинства видов и невысокой численности доминантов. В октябре отмеченные летом деградационные тенденции приводят в разрушению сообщества, среди выживших видов – доминант 2010 г. *L. hoffmeisteri* и ракушковый рачок, оба единично, поэтому ценотические структуры не анализируются.

Биоценоз низовья Белоярского водохранилища в мае населяло монодоминантное хирономидно-олигохетное сообщество с умеренной устойчивостью и уровнем энтропии, в июне – монодоминантное хирономидное, со сменой основного доминанта на близкий вид р.

*Cladotanytarsus*. Массовое развитие видов этого рода характерно для заиленных песков водохранилищ и прудов-охладителей [155,154]. В июне усилилась роль субдоминантного комплекса за счет хирономин р. *Polypedilum* и ручейников тропического семейства – *E. tenellus*, часто многочисленного в термофицированных участках водоемов [156]. При этом снизилась роль олигохет, возросло общее видовое разнообразие. Информационное разнообразие сообществ осталось на прежнем уровне, не достигая значения 3,0 бит/экз. Благодаря мелким размерам входящих в сообщество видов, индексы доминирования умеренны по численности и низки по биомассе. В октябре низовье населяет монодоминантное хирономидное сообщество с 3 субдоминантами, как и в июне, при близком объеме видов. Информационное разнообразие повышается до 3,18 бит/экз., с высокой выровненностью и низкой концентрацией доминирования и по численности, и по биомассе из-за мелких размеров составляющих сообщество видов. Сообщество устойчиво ( $A=0,35$ ), энтропия понижена благодаря массовым вылетам танитарзин и более упорядоченной структуре.

Таблица 16 – доминантно-информационная структура зообентоса Белоярского водохранилища (верховье и низовье) в мае-октябре 2011 г.

Месяцы	Верховье				Низовье		
	V	VI	VIII	X	V	VI	X
Тип биоце-ноза	Псаммо-пело-литофильный	Пело-фито-фильный	Пело-фильный	Пело-фильный	Литопело-фито-фильный	Псаммо-литопелофильный	Псаммо-литопелофильный
Тип сообщества	Хирономидное	Хирономидное	Мокрецово-хирономидное	*Олигохетное	Хирономидно-олигохетное	Хирономидное	Хирономидное
Вид сообщества (по индексу плотности р)	<i>C.gr.mancus</i> №2 + <i>C.gr.plumosus</i>	<i>C.melanotus</i> + <i>L.hoffmeisteri</i> + <i>C.pseudotohummi</i>	<i>S.pictus</i> + <i>G.gripekoveni</i>	<b>*<i>L.hoffmeisteri</i></b>	<i>C.gr.mancus</i> №2 + <i>L.hoffmeisteri</i>	<i>C.gr.mancus</i> №1 + <i>P.bicrenatum</i> + <i>P.nubeculosum</i>	<b><i>G.paripes</i></b> + <b><i>G.gripekoveni</i></b>

Месяцы	Верховье				Низовье		
	V	VI	VIII	X	V	VI	X
Виды доминанты (р)	<i>C.gr.mancus</i> №2	<i>C.melanotus</i>	<i>S.pictus,</i> <i>G.gripekoveni</i>	<b>*L.hoffmeisteri</b>	<i>C.gr.mancus</i> №2	<i>C.gr.mancus</i> №1	<b><i>G.paripes</i></b>
Виды субдоминанты (р)	<i>C.gr.plumosus,</i> <i>L.hoffmeisteri</i>	<i>L.hoffmeisteri,</i> <i>C.pseudotohummi,</i> <i>C.balatonicus</i>	-	-	<i>L.hoffmeisteri,</i> <i>P.nubeculosum</i>	<i>P.bicrenatum,</i> <i>P.nubeculosum,</i> <i>E.tenellus</i>	<b><i>G.gripekoveni, O.</i></b> <b><i>thienemanni,</i></b> <b><i>T.valvatus</i></b>
Число видов	6(6)	12(18)	9(10)	<b>2(4)</b>	13(16)	18 (21)	<b>20 (22)</b>
Число семейств	2(2)	4(9)	4	<b>2 (3)</b>	5(7)	8(9)	<b>7 (8)</b>
Численность, экз/м <sup>2</sup>	420	720	300	<b>40</b>	1200	4340	<b>1380</b>
Биомасса, г/м <sup>2</sup>	0,78	1,30	0,66	<b>0,024</b>	1,26	3,79	<b>2,16</b>
Информационное разнообразие, Н (бит/экз.)	1,66±0,08	2,94±0,05	3,01±0,09	<b>1,0±0</b>	2,52 ±0,05	2,45±0,03	<b>3,18±0,03</b>
H <sub>max</sub> – H <sub>min</sub> (бит/экз.)	2,58-0,12	3,59-0,17	3,17-0,26	<b>1,0-0,17</b>	3,70-0,12	4,17-0,05	<b>4,32-0,16</b>
Выровненность, V	0,63	0,81	0,94	<b>1,0</b>	0,67	0,58	<b>0,84</b>
Разнообразие Маргалефа, á	0,83	1,67	1,40	<b>0,27</b>	1,69	2,03	<b>2,63</b>
Концентрация доминирования Симпсона, Сч/Сб	0,47/ 0,51	0,18/ 0,16	0,14/ 0,21	<b>0,50/0,72</b>	0,30/ 0,24	0,35/ 0,14	<b>0,10/0,22</b>
Устойчивость сообщества по	0,09	0,22	0,23	<b>0,06</b>	0,16	0,16	<b>0,35</b>

Месяцы	Верховье				Низовье		
	V	VI	VIII	X	V	VI	X
Алимову, А							
Показатель энтропии фон Ферстера, F	0,36	0,18	0,05	<b>0</b>	0,32	0,41	<b>0,26</b>
Индекс сапробности, S	2,49	3,11	2,81	<b>3,5*</b>	2,41	2,36	<b>2,30</b>
Класс качества воды, S	Бэта-альфа-мезосапробный	Альфа-мезосапробный	Альфа-мезосапробный	<b>Альфа-полисапробный</b>	Бэта-альфа-мезосапробный	Бэта-мезосапробный	<b>Бэта-мезосапробный</b>
Индекс сапротоксности, St	2,50	3,35	3,17	<b>2,96*</b>	2,49	1,85	<b>1,71</b>
Класс качества воды, St	Бэта-альфа-сапротоксобоный	Альфа-сапротоксобоный	Альфа-сапротоксобоный	<b>Альфа-сапротоксобоный</b>	Бэта-альфа-сапротоксобоный	Бэта-сапротоксобоный	<b>Бэта-сапротоксобоный</b>

Примечание. \*недостовверные данные из-за малочисленности видов и их обилия.

По сравнению с майским аспектом сообщества 2010 г., и в верховье, и в низовье, кроме смены доминантов и типов сообществ, произошло снижение индекса Шеннона и выровненности, возрастание концентрации доминирования, снижение устойчивости на фоне повышения энтропии в верховье и ее понижения в низовье, т.е. наблюдается ухудшение ценотических показателей сообществ. К осени в верховье ситуация складывается катастрофически, в низовье, наоборот, оптимизируется до относительно благополучного состояния, как и в 2010 г., при повышении устойчивости сообщества за счет роста видового разнообразия и вылетов танитарзин.

Качество воды по индексу сапробности в верховье в мае было сходным с низовьем, однако в июне, за счет развития комплекса полисапробных видов, зообентос показывает сильное органическое

загрязнение по индексу сапробности (альфа-мезосапробность со средним значением индекса) и токсическое воздействие (альфа-сапротоксобность с высоким значением индекса в пределах класса) по индексу сапротоксобности ( $St=3,35$ ). В августе ситуация не изменилась, качество воды остается низким. В октябре из индикаторов остается лишь один представитель полисапробных полисапротоксобных условий. Сам факт разрушения сообщества свидетельствует о катастрофическом внешнем воздействии в условиях верховья водохранилища.

В низовье качество воды незначительно улучшалось от мая к октябрю от промежуточного между умеренно- и тяжелозагрязненным до умеренно загрязненного с высоким значением индекса сапробности в пределах класса (Приложение 6, таблица 6.5). Индекс сапротоксобности также показывает улучшение ситуации от мая к октябрю – от промежуточного бэта-альфа-сапротоксобного уровня к бэта-сапротоксобному с низким значением в пределах класса, что обусловлено развитием биоты и сезонным повышением самоочистительного потенциала данного участка водохранилища. (Однако следует отметить, что из-за слабой видовой представленности в весенних\* аспектах сообществ число видов-индикаторов недостаточно для достоверной оценки).

По визуальным наблюдениям, в 2013 году отсутствовало обильное “цветение” вод синезелеными водорослями, что говорит об относительном экологическом благополучии. Такие признаки: 1) достаточно однообразный видовой состав сообществ; 2) их монодоминантность или доминирование 2-3 видов; 3) тонкостенность створок некоторых видов диатомей, - позволяют предположить, что происходит формирование нового типа сообществ низших водорослей, возможно, связанное именно с альголизацией водоема.

Работы по биологической реабилитации Белоярского водохранилища привели к повышению рекреационного потенциала и улучшению качества

воды по концентрации загрязняющих веществ. Кроме того, «цветение» воды наблюдалось только в прибрежной зоне приплотинной части водохранилища, - на остальной акватории, площадью более 40 квадратных километров – вода не «цвела», и что немаловажно, отсутствовал неприятный запах.

Также в результате альголизации значительно уменьшилась биомасса водорослей, в том числе и синезеленых. Если в 2009 году она составляла более 1000 мг/дм<sup>3</sup> (по устному заявлению начальника отдела экологии администрации г. Заречный Н.Б. Арефьевой), то в 2012 году по данным ФГУП РосНИИВХ (г. Екатеринбург) – организации, проводившей мониторинговые работы, она составила всего 35 мг/дм<sup>3</sup>.

Необходимо отметить положительное влияние альголизации и на представителей ихтиофауны. По словам местных жителей – рыбаков, рыба перестала пахнуть дустом, и вследствие увеличения кормовой базы, а соответственно и массы особей, поймать их стало под силу только опытному рыболову.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании положительного заключения биологической пробы на воде Белоярского водохранилища в течение 2010-2013 гг. осуществлена биологическая реабилитация методом коррекции альгоценоза штаммом хлореллы. Объем альголизанта составил 8800 кг.

### **Гидрохимия**

Гидрохимический мониторинг состояния Белоярского водохранилища проводился четыре года – с 2010 по 2013 гг. Всего отобрано 144 пробы. Пробы анализировались минимум по 16 компонентам ежегодно, пробоотбор проводился ежемесячно в течение всего вегетационного сезона.

За всю историю существования Белоярского водохранилища не проводилось столь масштабных исследований.

Пробы обрабатывались в разных лабораториях. Если результаты химических анализов 2010, 2011 и 2013 года сопоставимы, и помесечные изменения находятся в пределах максимум 50%, то результаты 2012 года по марганцу, цинку и полифосфатам, сведенные в протоколы РосНИИВХ увеличенные в 5-6 раз – недостоверны, так как данные поллютанты являются классическими агентами природного загрязнения и за один год (2012 г.) не могут увеличиться и уменьшиться (2013 г.) в эти же 5-6 раз. Поэтому гидрохимический мониторинг в 2013 году был поручен ФГБУ «Уральское УГМС», в квалификации сотрудников которого не приходится сомневаться.

В 2010 и 2011 гг. качество воды во всех точках относилось к третьему классу, и оценивалось как «Умеренно-загрязненные» воды.

Результаты химических исследований 2012 года по ранее указанным причинам, мы не воспринимаем как достоверные. Тем более, как показали комплексные гидробиологические исследования (фитопланктон и зоопланктон), гидробионты в 2012 году не отреагировали на так называемое «ухудшение качества воды».

В 2013 году во всех точках воды относились к третьему классу и оценивались как «Умеренно загрязненные».

Анализ данной ситуации показал, что проведение биологической реабилитации Белоярского водохранилища методом коррекции альгоценоза стабилизировало экологическую ситуацию на уровне умеренно-загрязненных вод – третий класс качества воды, чем не обладает большинство искусственных водоемов Уральского региона, подверженных техногенному влиянию. Тем самым развеялся миф, о том, что Белоярское водохранилище является самым грязным в Свердловской области.

### **Фитопланктон**

В составе фитопланктона обнаружено 442 вида и внутривидовых таксонов, относящихся к 8 отделам. Наибольшее число видов относится к отделу зеленых водорослей (Chlorophyta) – 162, чуть меньшее количество относится к отделам диатомовых водорослей (Bacillariophyta) – 119 и цианобактериям (Cyanophyta) – 87.

В течение 2010 – 2013 гг. зарегистрирована тенденция к увеличению числа одновременно живущих видов фитопланктона, что опровергает заявления некоторых авторов, что вселение штамма *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111 влечет обеднение видового состава аборигенной альгофлоры.

На протяжении четырех лет наблюдений в динамике суммарной биомассы фитопланктона зарегистрировано два периода с высокими показателями (в мае 2010 и сентябре 2013). Явление «цветения» водохранилища в 2010 и 2013 гг. по сравнению с 2009 г. поменяло характер. Во-первых, оно значительно сократило свою длительность. Если в 2009 году (по устному заявлению начальника отдела экологии администрации г. Заречный Н.Б. Арефьевой) в Белоярском водоеме-охладителе АЭС массовое развитие водорослей наблюдалось с начала июня и до конца сентября, то в последующие четыре года «цветение» длилось не более 10 дней.



Во-вторых, если основу биомассы водорослей до 2010 года создавали цианобактерии, что сопровождалось неприятным запахом, то в мае 2010 и сентябре 2013 массово развивались диатомовые, в основном представитель каспийской альгофлоры *Actinocyclus variabilis*, новый для водоема. Неприятный запах при этом отсутствовал. Наблюдающееся возрастание биомассы фитопланктона незначительное. Таким образом, несмотря на некоторое увеличение одновременно обнаруживаемых токсичных видов и видов, способных вызвать «цветение» водоема, роль цианобактерий по абсолютным показателям биомассы крайне низка, явления «цветения» этого отдела не наблюдалось на всем протяжении исследования.

Структуры фитопланктона по относительному обилию 2013 г. являются более близкими к кривой Раункиера, чем структуры 2010 года. Следовательно, гидробиоценоз на уровне фитопланктона в 2013 году является более устойчивым к колебаниям факторов окружающей среды.

### **Зоопланктон**

За 2010-2013 гг. в составе зоопланктона зарегистрировано 127 видов и подвидов, относящихся к четырем крупным группам царства животных. Преобладающей группой в видовом разнообразии являются коловратки (62 вида). Ветвистоусых и веслоногих зарегистрировано почти в два раза меньше. Простейшие зафиксированы только в составе зоопланктона 2010 и 2011 гг., отсутствие их в 2012 и 2013 можно объяснить либо отсутствием в команде РосНИИВХ специалиста с нужной квалификацией (протозолога), либо разрушением простейших во время транспортировки и фиксации. Суммарное число видов зоопланктона, обнаруживаемых в 2012 и 2013 годах увеличивается, что мы связываем со вселением *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111 как одного из кормовых объектов этих гидробионтов.

В динамике биомассы зоопланктона наблюдается некоторое уменьшение показателей во второй половине вегетационного сезона 2012 и в первой половине 2013 года. К концу четырехлетнего наблюдения

биомасса планктонных животных демонстрирует тенденцию к увеличению.

Кроме того, в состав преобладающих по биомассе к концу исследования входит веслоногий рачок *Eudiaptomus graciloides* (Lilljeborg), который образует ассоциации весной с другим веслоногим рачком *Acanthocyclops vernalis* (Fisch.), летом – с видами ветвистоусых *Chydorus sphaericus* (O.F. Müll.), *Daphnia galeata* Sars, а осенью – с другим видом того же рода *E. gracilis* (Sars).

Следует подчеркнуть, что рачок *E. graciloides* является консументом второго порядка в трофической цепочке водоема, а также хозяйственно важным видом, когда его стабильно высокая численность и биомасса повышают кормовые ресурсы водоема, что мы также связываем с доминированием зеленых водорослей в альгосообществе, что в свою очередь обусловлено проведением биологической реабилитации методом коррекции альгоценоза.

### **Макрозообентос**

В связи с меньшей значимостью для анализа изменений фотического слоя водохранилища анализ бентической фауны проводился по сокращенной программе два года (2010-2011 гг.). В составе фауны макрозообентоса было обнаружено 173 вида, относящихся к пяти типам животного царства. Более половины видов макрозообентоса принадлежит типу членистоногих, а среди них по видовому разнообразию преобладают виды отряда двукрылых насекомых (Diptera). Среди насекомых наибольшее количество видов зарегистрировано в составе отряда Двукрылых (72 вида или 41,62% от общего числа видов).

В связи с меньшей значимостью для анализа изменений фотического слоя водохранилища анализ бентической фауны проводился по сокращенной программе два года (2010-2011 гг.). В составе фауны макрозообентоса было обнаружено 173 вида, относящихся к пяти типам животного царства. Более половины видов макрозообентоса принадлежит

типу членистоногих, а среди них и по видовому разнообразию, и по биомассе преобладают виды отряда двукрылых насекомых (Diptera) (72 вида или 41,62% от общего числа видов). Общее количество видов, регистрируемых за период, уменьшается в 2011 г.

### **Сапробность**

Всего было зарегистрировано среди фитопланктона 185 видов и форм – индикаторов сапробности и 47 видов и форм этой группы среди зоопланктона. Показатели индекса сапробности по фитопланктону незначительно колеблются в диапазоне от 1,71 до 2,3, что соответствует мезосапробной зоне или III классу вод (умеренно (слабо) загрязненные). По зоопланктону индексы сапробности соответствуют зонам олиго- до мезосапробной или воде II (чистые) и III (умеренно загрязненные) классов [54]. В частности, индекс сапробности как по фитопланктону, так и по зоопланктону повышается в 2012 году, а к последнему году проведения работ по биологической реабилитации (2013 г.) индекс снижается, демонстрируя некоторое улучшение качества воды.

Все преобладающие виды зоопланктона и фитопланктона, для которых известна приуроченность к определенной зоне сапробности, предпочитают олиготрофные, олиго-бетамезотрофные или бетамезо-олиготрофные зоны водоёма.

По результатам проведенных работ ООО НПО «Альгобиотехнология», в соответствии с регламентом проведения биологической реабилитации методом коорекции альгоценоза рекомендует ОАО «Росэнергоатом» дальнейшее проведение работ по проекту, поскольку методика биореабилитации предполагает однократное подледное вселение альголизанта в течение четырех лет.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Brundin L. Chironomiden und andere Bodentiere der sudschwedischen Urgebirgs-seen. – Rep. Inst. Freshwat. Res. Drottningholm, 1949, 30. – 914 pp.
2. Camargo J.A. Performance of a new ecotoxicological index to assess environmental impacts on freshwaters communities // Bull. Environ. Contam. and Toxicol. 1990. V. 44. № 4. – P. 529-534.
3. Ettl H. Chlorophyta. Phytomonadina // Susswasserflora von Mitteleuropa. Jena, 1983. Bd 9. – 807 p.
4. Ettl H., Gartner G. Chlorophyta II. Tetrasporales, Chlorococcales, Gloedendrales // Susswasserflora von Mitteleuropa. Jena, 1983. Bd 10.– 436 p.
5. Ettl H., Zerloff G., Heynig H., Mollenhauer D. Dinophyceae (Dinophlagellida) // Susswasserflora von Mitteleuropa. Jena, 1990. Bd 6. – 448 p.
6. Fauna Aquatica Austriaca /A comprehensive Species Inventory of Austrian Aquatic Organisms with Ecological Notes . (By Ed. Moog O).– 1 - 2<sup>nd</sup> Edition, Vienna, 1995- 2002.
7. Fauna Europaea. Путь доступа к изд.: <http://www.faunaeur.org>
8. Hellawell I. M. Biological indicators of fresh-water pollution and Environmental Management. London; New-York, 1986. – 546 p.
9. Husted F. Systematische und ökologische Untersuchungen über die Diatomeenflora von Yova. Bali und Sumatra // Arch. Hydrobiol. Suppl. 1939. Bd 16.: Das Phytoplankton Susswassers. Systematik und Biologie. T. 7. H. 1. Stuttgart, 1983. – 1044 p.
10. Kolbe R. Zur Ökologie, Morphologi und Systematic der Brackwasser Diatomeen. Pflanzenforschung. H.1. 1927.
11. Komarek J., Anagnostidi K. Cyanoprocariota. T. 1. Chroococcales // Susswasserflora von Mitteleuropa, Jena; Stuttgart, 2000. – 643 p.
12. Komarek J., Fott B. Chlorophyceae (Grünalgen) Ordnung: Chlorococcales // Die Binnengewässer Einzeldarstellungen aus der Limnologie und ihren Nachbargebieten. Bd 16.

13. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae 1. Teil: Naviculaceae // Susswasserflora von Mitteleuropa. Jena, 1986. –876 p.
14. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae // Susswasserflora von Mitteleuropa. Jena, 1988. – 596 p.
15. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae // Susswasserflora von Mitteleuropa. Jena, 1991 a. –576 p.
16. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae 4. Teil: Achnanthaceae, Kritische Ergänzung zu Navicula (Lieolatae) und Gomphonema. Geamliteraturverzeichnis // Susswasserflora von Mitteleuropa. Jena, 1991b. – 437 p.
17. Margalef, 1958
18. Pantle R., Buck H. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. – GWF 96/18/ - 1955. – 604 s.
19. Popovsky J., Pfiester L. Dinophyceae (Dinoflagellata) // Susswasserflora von Mitteleuropa. Jena, 1990. – 272 p.
20. Silina A.E., Prokin A.A. The trophic structure of macrozoobentos in march water bodies of the forest-steppe zone in the Middle Russian Hills // Inland Water Biology, “Pleiades Publishing, Inc.», 2008. Vol.1№3.– P. 231-240. (USA)
21. Sládeček V. Diatoms as indicators of organic pollution // Acta Hydrochim. Hydrobiol. 1986. V. 14, No. 5. – P. 555-566.
22. Sládeček V. Rotifers as indicators of water quality.
23. Sládeček V. System of water quality from biological point of view // Ergebnisse der Limnologie. Heft. 7, 1973. – P. 218.
24. Starmach K. Chryzophyceae und Hantophyceae // Susswasserflora von Mitteleuropa, Jena; Stuttgart, 1985. Bd 1. – 515p.
25. Wegl R. Index für die Limnosaprobität // Wasser und Abwasser. 1983. Bd 26. – 175 s.

26. Wiederholm T. (Ed.) Chironomidae of the Holarctic region. Keys & diagnoses. Part. 1. Larvae // Ent. Scand. Suppl. №19. – Lund, Sweden, 1983. – 457 p.
27. Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. – СПб., 2001. – 147 с.
28. Аникин В. В., Стрежнев А. В., Бояркин А. Г. Биопродуктивность сообществ макрозообентоса и биоиндикация Сурского водохранилища. Путь доступа: <http://geoeko.mrsu.ru/2008-2/pdf/14-Anikin.pdf>
29. Архипова Н. П. Окрестности Свердловска. Свердловск, Средне-Уральское книжное издательство, 1981. 192 с.
30. Асаул З.І. Визначник евгленовых водоростей Української РСР. Київ, 1975. 406 с.
31. Ахмадуллова А.Э. Влияние «цветения» синезеленых водорослей на экологическое состояние водоемов. // Альманах научных открытий. Путь доступа: <http://tele-conf.ru/aktualnyie-problemyi-ekologii/vliyanie-tsveteniya-sine-zelenyih-vodorosley-na-ekologicheskoe-sostoyanie-vodoemov.html>
32. Баканов А.И. Бентос пяти волжских водохранилищ и влияние на него антропогенных факторов // актуальные проблемы водохранилищ / Всерос. конф., 29 октября-3 ноября 2002г., пос. Борок, Россия: тез. докл. – Ярославль, 2002. – С. 21-22.
33. Балушкина Е.В. Хирономиды как индикаторы степени загрязнения воды // Методы биологического анализа пресных вод. Л., 1976. С. 106-118.
34. Балушкина Е.В., Винберг Г.Г. Зависимость между массой и длиной тела у планктонных животных // Общие основы изучения водных экосистем. Л., 1979. С. 169-172.
35. Баринаова С.С. Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив, 2006. 498 с.
36. Баринаова С.С., Медведева Л.А. Атлас водорослей-индикаторов сапробности. – Владивосток: Дальнаука, 1996. – 364 с.

37. Белоярское водохранилище [http://aktiv.3dn.ru/publ/sajt\\_aktivnogo\\_otdykha\\_rybalka/vodoemy\\_sverdlovskoj\\_oblasti/belojarskoe\\_vodorkhanilishhe/10-1-0-6](http://aktiv.3dn.ru/publ/sajt_aktivnogo_otdykha_rybalka/vodoemy_sverdlovskoj_oblasti/belojarskoe_vodorkhanilishhe/10-1-0-6)
38. Белоярское водохранилище. Путь доступа: <http://reki-ozera.ru/ozera/108699-ozero-beloyarskoe-vodohranilische.html>
39. Белякова Р.Н., Волошко Л.Н., Гаврилова О.В., Гогорев Р.М., Макарова И.В., Окологков Ю.Б., Руднина Л.А. Водоросли, вызывающие «цветение» водоемов Северо-Запада России. Товар-во науч. изд-ний КМК, М. 2006. 367с.
40. Богданов Н.И. Биологическая реабилитация водоемов. - Пенза, 2008. – 137 с.
41. Богданов Н.И., Асанов А.Ю. Прудовое рыбоводство. – 3 изд., доп. – Пенза, 2011. – 89 с.
42. Винарский М.В. Уральский хребет: «коридор» или «барьер» для расселения моллюсков // Биосфера Земли: прошлое, настоящее и будущее. Екатеринбург, 2009. – С.130-132.
43. Власова Е. Я. Регулирование качества окружающей среды в крупнейших городах : Организационно-экономический аспект : диссертация ... кандидата экономических наук : 08.00.05. - Екатеринбург, 2002. - 256 с.
44. Водные ресурсы Свердловской области/ Под науч. ред. Н. Б. Прохоровой; ФГУП РосНИИВХ. Екатеринбург, 2004. С. 128-130.
45. Водоросли, вызывающие "цветение" водоемов северо-запада России. М., 2006. 367 с.
46. Водоросли. Справочник / Вассер С.П., Кондратьева Р.В., Масюк Н.П. и др. – Киев: Наук.думка, 1989. – 608с.
47. Водоросли. Справочник. Киев: Наукова думка, 1989. 608 с.
48. Водохранилища Урала. Справочник. ЦБНТИ Минводхоза СССР, Москва, 1988. – 195 с.
49. Генкал С.И. Атлас диатомовых водорослей планктона реки Волги. С-Пб., 1992. 128 с.

50. Глухова В.М. Личинки мокрецов подсемейств Palpomyiinae и Ceratopogoninae фауны СССР (Diptera, Ceratopogonidae = Heleidae). – Л., 1979. – 231 с.
51. Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. Сине-зеленые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2. – М.: Сов.наука, 1953. – 652с.
52. Голубева Г.В. Индикационные значения отдельных форм хирономид // Экология гидробионтов водоемов Западного Урала: Межвуз. сб. науч. тр. перм. ун-т. – Пермь, 1988. – С. 43–49.
53. Гольд З.Г., Гольд В.М. Общая гидробиология: Учебно-метод. пособ.– 2-е изд., перераб. – Красноярск: Сиб. федерал.ун-т, 2013. – с.
54. ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков.
55. ГОСТ Р 51592-2000. «Вода. Общие требования к отбору проб»;
56. Гребенников М.Е., Каримов А.В. Пресноводные моллюски семейств Acroloxidae, Planorbidae и Vulinidae Урала и прилегающих территорий по данным зоологического музея ИЭРИЖ //Экология: от генов до экосистем / Матер.конф. молодых ученых 25-29 апреля 2005 г. – Екатеринбург, «Академкнига», 2005. – С. 58-60.
57. Гусева В. П. Планктон и его роль в миграции радионуклидов в водоеме-охладителе Белоярской АЭС. Автореф. дисс. ... к.б.н. Екатеринбург, 2000. 16 с.
58. Гусева В. П. Планктон и его роль в миграции радионуклидов в водоеме-охладителе Белоярской АЭС : дисс. ... кандидата биологических наук : 03.00.16. - Екатеринбург, 2000. - 222 с.
59. Гусева В.П., Чеботина М.Я. Видовой состав и численность фитопланктона некоторых зон Белоярского водохранилища // Радиэкологические исследования компонентов модельных и водных экосистем. – Свердловск, 1988. – С.60-88.



60. Гусева Т.В., Молчанова Я.П., Заика Е.А. и др. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы. – М.: СоЭС, Метод.центр “Эколайн”, 2000. Адрес в Интернет [www.cci.glasnet.ru/mc/refbooks/hydrochem](http://www.cci.glasnet.ru/mc/refbooks/hydrochem)
61. Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л., 1985. – 244 с.
62. Дедусенко-Щеголева Н.Т., Голлербах М.М. Желто-зеленые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 5. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1962. – 272 с.
63. Дедусенко-Щеголева Н.Т., Матвиенко А.М., Шкорбатов Л.А. Зеленые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 8. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1959. – 230 с.
64. Дедусенко-Щеголева Н.Т., Матвиенко А.М., Шкорбатов Ф.Ф. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып.8. Зеленые водоросли. Класс Вольвовковые (Chlorophyta; Volvocineae). М.; Л., 1959. 230 с.
65. Джувеликян Х.А., Силина А.Е., Косинова И.И. Тяжелые металлы и нефтепродукты в донных отложениях Воронежского водохранилища // Экология и промышленность России. – М., 2006. - №5. – С. 22-27.
66. Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные. – Л., 1974. – Т. I. – 403 с.
67. Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные. – Л., 1988. – Т. II. – Вып. 1. – 116 с.
68. Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные. – СПб., 1992. – Т. II. – Вып. 2. – 125 с.
69. Диатомовый анализ. – Л., 1949-1950. – Кн.1-3.
70. Днепродзержинское водохранилище / Под ред. И.П. Лубянова. — Днепропетровск: Изд-во Днепропетровского ун-та, 1971. 128 с.
71. Донные отложения водохранилищ и их влияние на качество воды / А. И. Денисова и др.. Киев: Наук, думка, 1987. - 164 с.

72. Дьяченко А.М., Таршис Г.И., Нифонтова М.Г. Эколого-ботаническая характеристика района Беляской АЭС на Урале // Радиоэкологическое исследование в зоне АЭС / Урал.отд-ние АН СССР. – Свердловск, 1988. – С. 117-121.
73. Еремкина Т. В., Ярушина М. И. Фитопланктон как показатель загрязнения водоемов Среднего и Южного Урала //Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем: Сборник тезисов докладов II Международной конференции (Санкт-Петербург, 10-14 октября 2011 г.). СПб., 2011. С. 69.
74. Жадин В.И. Методы гидробиологического исследования. – М., 1960. –189 С.
75. Журавель П.А. О фауне лиманного комплекса системы Нижнего Днепра и прогноз ее формирования в Каховском водохранилище // Вестник института гидробиологии Днепропетровского гос. ун-та, 1952. № 9. — С. 77-97.
76. Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. Диатомовые водоросли. М., 1951. 619 с.
77. Забелина М.Н., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. Диатомовые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4.– М.: Сов.наука, 1951. – 619с.
78. Зенкевич Л.А., Броцкая В.А. Материалы по экологии руководящих форм бентоса Баренцева моря // Уч. зап. МГУ. Зоол. 1937. № 3. – С. 203-226 .
79. Зимбалева Л.Н., Сухойван П.Г., Черногоренко М.И. Беспозвоночные и рыбы Днепра и его водохранилищ. Киев, 1989. — 245 с.
80. Зинченко Т.Д. Хирономиды поверхностных вод бассейна Средней и Нижней Волги (Самарская область). Эколого-фаунистический обзор. Самара: ИЭВБ1. РАН, 2002. -174 с.
81. Иванова М.Б. Влияние загрязнения на планктонных ракообразных и возможность их использования для определения загрязнения рек //

- Методы биологического анализа пресных вод. ЗИН АН СССР. – Л., 1976. – С.68-80.
82. Извекова Э.И. Питание / Экология массовых видов донных беспозвоночных // Бентос Учинского водохранилища. – М., 1980. – С. 39–121.
83. Извекова Э.И. Питание и пищевые связи личинок массовых видов хирономид Учинского водохранилища. Автореф...канд. биол. наук. – М., 1975. – 20 с.
84. Иоффе Ц.И. Донная фауна Обь-Иртышского бассейна и ее рыбохозяйственное значение // Изв. ВНИОРХ, 1947. Т.25, вып.1. – С.116-123.
85. ИСО 5667/1. Качество воды. Отбор проб. Часть 1. Руководство по составлению программы отбора проб;
86. ИСО 5667/2. Качество воды. Отбор проб. Часть 2. Руководство по методам отбора проб;
87. ИСО 5667/3. Качество воды. Отбор проб. Часть 3. Руководство по хранению и обработке проб.
88. Капустин В.Г., Корнев И.Н. География Свердловской области. Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Дом учителя, 2000. – 300 с.
89. Каримов, Альфрид Вакильевич. Фауна и распространение моллюсков семейств *Vulinidae* и *Planorbidae* (Gastropoda, Pulmonata) в водоёмах Западной Сибири: дисс. ... кандидата биологических наук : 03.00.08. - Омск, 2005. - 196 с.
90. Каховское водохранилище / отв. ред. Я. Я. Цееб. — Киев: Наук, думка, 1964. 304 с.
91. Киевское водохранилище. Гидрохимия, биология, продуктивность. — Киев: Наук, думка, 1972. — 450 с.
92. Киселев И.А. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 6. Пирофитовые водоросли. М., 1954. 212 с.

93. Киселев И.А. Пирофитовые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 6. – М.: Сов.наука, 1954. – 212с.
94. Кондратьева Н. В. Морфология и систематика гормогониевых водорослей, вызывающих «цветение» воды в Днепре и днепровских водохранилищах. Киев, 1972. 149 с.
95. Кондратьева Н.В. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. I. Синьо-зелені водорості – Cyanophyta. Ч. 2. Клас Гормогонієві – Hormogoniophyceae. Київ, 1968. 523 с.
96. Кондратьева Н.В., Коваленко О.В. Краткий определитель видов токсических синезеленых водорослей. – Киев, 1975.
97. Коршиков О.А. Определитель пресноводных водорослей Украинской ССР. – Киев: Изд-во АН УССР, 1953. – 439с.
98. Косинская Е.К. Флора споровых растений СССР. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1960. – 704с.
99. Красноярское водохранилище: мониторинг, биота, качество вод / под ред. А.Ф. Алимova, М.Б. Ивановой; отв. за вып. З.Г. Гольд.- Красноярск: СФУ, 2008
100. Кузикова В.Б., Бусленко Н.М. Донная фауна реки Сыни и ее роль в питании рыб // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 1989, вып.305. – С.81-89.
101. Кузьмин Г.В. Таблицы для вычисления биомассы водорослей. Магадан. 1984. 48 с.
102. Кутикова Л. А. Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Подкласс Eurotatoria (отряды Plomida, Monimotrochida, Paedotrochida) // В серии: Определители по фауне СССР. Л, 1970. 744 с
103. Лазуткина Е.А. Пресноводные гребнежаберные моллюски (Mollusca:Gastropoda: Pectinibranchia) Урала и прилегающих территорий (по материалам коллекции зоомузея ИЭРИЖ УРО РАН) // Проблемы глобальной и региональной экологии / Матер. конф. молодых ученых, 31 марта - 4апреля 2003. Екатеринбург: «Академкнига», 2003. – С. 109-111.

104. Лукин Е.И. Пиявки пресных и солоноватых водоёмов // Фауна СССР. Пиявки. Т. 1. – Л., 1976. – 484 с.
105. Любимова С.А., Стникова О.Ф., Трапезников А.В. Некоторые вопросы гидрохимии белоярского водохранилища // Радиэкологические исследования в зоне АЭС. – Свердловск, 1988. – С. 60-62.
106. Макрушин А.В. Биологический анализ качества вод. – Л., 1974. – 60 с.
107. Матвієнко О.М. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. Золотисті водорості – Chryzophyta. Т. 3, ч. 1. Київ, 1965. 365 с.
108. Матвієнко О.М., Литвиненко Р.М. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. Пірофітові водорості – Pyrrophyta. Т. 3, ч. 2. Київ: «Наукова думка», 1977. 386 с.
109. Матвиенко А.М. Золотистые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 3. – М.: Сов.наука, 1954. – 188с.
110. Матвиенко А.М. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып.3. Золотистые водоросли. М., 1954. 188 с.
111. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Отв. ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовской. – М.: Наука, 1975. – 239с.
112. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция. - Л., 1982.
113. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. - Л., 1982.
114. Минин А.А. Формирование структуры сообщества донных макробеспозвоночных животных в различных экологических условиях (на примере Среднего Урала): Автореф. дис. канд. биол. наук. Тюмень, 2003. - 26 с.
115. Мисейко Г.Н. Зообентос Гилевского и Склюихинского водохранилищ р. Алей Алтайского края // Рыбопродуктивность озер Западной Сибири. — Новосибирск: Наука, 1991. – С. 97-99.

116. Монаков А. В. Питание пресноводных беспозвоночных – М., 1998. – 320 с.
117. Мошкова Н.А., Голлербах М.М. Зеленые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 10 (1). – Л.: Наука, 1986. – 360с.
118. Мошкова Н.А., Голлербах М.М. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып 10 (1). Зеленые водоросли. Класс Улотриксковые. Chlorophyta: Ulotrichophyceae. Ulotrichales. Л., 1986. 360 с.
119. Нахшина Е.П. Микроэлементы в водохранилищах Днепра. Киев: Наук, думка, 1993.-160 с.
120. Национальный атлас России. Том 2. Природа. Экология. М.: Роскартография, 2007. – 495 с.
121. Нохрина Е.С., Басмаджян Е.А., Ковальчук Л.А., Черная Л.В. Изучение гирудофауны Белоярского водохранилища // Экология: от генов до экосистем // матер.конф.молодых ученых 25-29 апреля 2005 г. – Екатеринбург: Академкнига, 2005. –С. 193-194.
122. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Том 1. Низшие беспозвоночные: Губки, Книдарии, Турбеллярии, Коловратки, Гастротрихи, Нематоды, Волосатики, Олигохеты, Пиявки, Мшанки, Тихоходки. – СПб., 1994. – 396 с.
123. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Том 2. Ракообразные: Листоногие, Ветвистоусые, Веслоногие, Остракоды, Кумовые, Мизиды, Изоподы, Декаподы, Амфиподы. – СПб., 1995. – 628 с.
124. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Том 3. Паукообразные и низшие насекомые: Акариды, Орибатидаы, Галакариды, Гидрахниды, Пауки, Ногохвостки, Поденки, Веснянки, Стрекозы, Клобы. – СПб., 1997. – 448 с.
125. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Том 4. Высшие насекомые: Двукрылые насекомые (Комары, Мухи). – СПб., 1999. –1000 с.

126. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Том 5. Высшие насекомые: Ручейники, Бабочки, Жуки, Большекрылые, Сетчатокрылые. – СПб., 2001. – 836 с.
127. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Том 6. Моллюски, Полихеты, Немертины. – СПб., 2004. – 528 с.
128. Осипов, Денис Иванович. Характеристика количественного развития и видового разнообразия зоопланктонных сообществ водоёмов с разным уровнем радиоактивного загрязнения: дисс. ... кандидата биологических наук : 03.00.01 - Москва, 2011. - 138 с.
129. Основные положения Правил использования водных ресурсов... / М-во мелиорации и водного хоз-ва РСФСР. Упр. по регулированию использования водных ресурсов. - Москва : [б. и.], 1966-1970. - 11 т.; 25 см. [5]: ... Белоярского водохранилища на р. Пышме. РВ-149-67 : Утв. ... 23 февр. 1967 г. - 1967. - 11 с., 3 л.
130. Павлова Е В. Морфофизиологические и цитогенетические особенности природных популяций животных, подверженных хроническому воздействию радиации: дисс. ... кандидата биологических наук : 03.00.13. - Челябинск, 1999. - 149 с.
131. Паламарь-Мордвинцева Г.М. Зеленые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 11 (2). – Л.: Наука, 1982. – 586с.
132. Паламарь-Мордвинцева Г.М. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 11(2). Зеленые водоросли. Класс Конъюгаты. Порядок Десмидиевые. Chloropyta. Conjugatophyceae. Desmidiiales (2). Л., 1982. 624 с.
133. Панкратова В.Я. Личинки и куколки комаров подсемейства Chironomidae фауны СССР (Diptera, Chironomidae=Tendipedidae). – Л.,1983. – 296 с.
134. Панкратова В.Я. Личинки и куколки комаров подсемейства Orthocladiinae фауны СССР (Diptera, Chironomidae=Tendipedidae) – Л., 1970. – 344 с.

135. Панкратова В.Я. Личинки и куколки комаров подсемейства Podonominae и Tanypodinae фауны СССР (Diptera, Chironomidae =Tendipedidae). – Л., 1977. – 154 с.
136. Патова Е.Н. Цианопрокариотическое «цветение» водоемов восточноевропейских тундр (флористические и функциональные аспекты) // Теоретические проблемы экологии. №3, 2007.
137. Петров П.Н. Водные жесткокрылые подотряда Aderphaga (Coleoptera) юга Тюменской области // Бюлл. Моск.о-ва испыт. природы. Отдел биологический. – 2002. – Т.107. Вып.3. – С.31-38.
138. Петров П.Н. Водные жесткокрылые подотряда Aderphaga Урала и Западной Сибири // Фауна, вопросы экол., морфол. и эволюции амфибиот. и водн. насекомых России // Матер.П Всерос. симпоз. по амфибиот. и водным насекомым. – Воронеж: ВГУ, 2004. – С. 126-132.
139. Попова А.Н. Личинки стрекоз фауны СССР (Odonata). – М.-Л., – 235 с.
140. Попова Т.Г. Эвгленовые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 7. – М.: Сов.наука, 1955. – 282с.
141. Попченко В.И. Водные малощетинковые черви Севера Европы. – Л., 1988. – 287 с.
142. Поторочина С.А. Водохранилища Свердловской области и их хозяйственное использование. Вода России. Федеральное агентство водных ресурсов (28 мая 2008). Путь доступа: <http://voda.mnr.gov.ru/part/?act=more&id=4886&pid=963>
143. Прошкина-Лавренко А.И. Диатомовые водоросли – показатели солености воды // Диатомовый сборник. Л., 1953. Вып. I. С. 187-205.
144. Радиоэкологические исследования Белоярского водохранилища / М. Я. Чеботина, А. В. Трапезников, В. Н. Трапезникова, Н. В. Куликов; АН СССР, Урал. отд-ние. - Свердловск : Ин-т экологии растений и животных, 1992. - 76,[2] с.
145. РД 118-0290. Методическое руководство по биотестированию воды. - М., 1991.



146. Романенко В.Д. Основы гидроэкологии. Киев: Генеза, 2004. 664 с.
147. Романов Р. Е. Состав и структура альгоценозов притоков Верхней Оби : На примере рек Барнаулка и Большая Лосиха : диссертация ... кандидата биологических наук : 03.00.05. - Новосибирск, 2006. - 277 с.
148. Россолимо Л.Л. Изменение лимнических экосистем под воздействием антропогенного фактора // М., 1977. – 144 с.
149. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Под ред. В.А. Абакумова. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 240с.
150. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / отв. ред. В.А.Абакумов и др. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 318 с.
151. Садчиков А.П. Методы изучения пресноводного фитопланктона. – М.: Университет и школа. 2003. – 157 с.
152. Селезнев Д.Г., Силина А.Е. Описание программы статистической обработки данных и расчетов биотических индексов для гидробиологических мониторинговых исследований // Гидробиол. исслед. водоёмов Среднерусской лесостепи (тр. лаб. мониторинга водн. и наземн. экосист. Среднерусской лесостепи: сектор гидробиол. монит. / биоцентр ВГУ «Веневитиново») – Воронеж, 2002. Т. 1. – С. 229–235.
153. Силивров С. П. Эколого-морфологическая изменчивость щуки (*Esox lucius* L.) и ее хозяйственное значение в разнотипных водоемах Урала: дисс. ... кандидата биологических наук : 03.00.16 / Силивров Сергей Павлович; [Место защиты: Перм. гос. ун-т]. - Пермь, 2008. - 267 с.
154. Силина А.Е. К изучению донных зооценозов стоячих водоемов ядерного цикла Нововоронежской АЭС // Состояние и проблемы экосистем среднерусской лесостепи. – Воронеж, 2004. – С. 75-85. – (Тр. учеб.-науч. центра Воронеж. гос. ун-та «Веневитиново»; Вып. XVIII).
155. Силина А.Е. К изучению макрозообентоса водоема-охладителя Нововоронежской АЭС // Сост. и проблемы экосистем Среднерусской

- лесостепи – Воронеж, 2003. – С. 98–114. – (Тр. биол. учеб.-науч. центра ВГУ «Веневитиново»; Вып. XVI).
156. Силина А.Е. Состояние донных биоценозов р. Дон в зоне влияния Новоронежской АЭС по данным 2003 г. // Сост. и проблемы экосистем Среднерусской лесостепи. – Воронеж, 2004. – С. 103-122. - (Тр. биол. учеб.-науч. центра Воронеж. гос. ун-та "Веневитиново"; Вып. ХУП).
157. Силина А.Е. Эколого-фаунистическая характеристика макрозообентоса Воронежского водохранилища // Гидробиологические исследования водоемов Среднерусской лесостепи / Тр. лаб. биоразнообразия и мониторинга назем.и водн. экосистем Среднерусской лесостепи: сект. гидробиол. монит. Т. 1. – Воронеж: ВГУ, 2002. – С. 266 – 303.
158. Силина А.Е., Прокин А.А. Трофическая структура макрозообентоса болотных водоемов лесостепной зоны Среднерусской возвышенности // Биология внутренних вод, М, Наука, 2008, №3 - С. 35-44.
159. Сиренко Л.А. Физиолого-биохимические особенности синезеленых водорослей и задачи их изучения // “Цветение” воды. – Киев, 1969. – Вып. 2. – С. 7-64.
160. Скальская И.А. Зооперифитон водоемов бассейна Верхней Волги. – Рыбинск, 2002. – 256 с.
161. Скальская И.А. Состав пищи мшанок волжских водохранилищ // Биология, сист. и функц. морф.преснов. животных. – Л.: Наука, 1989. – С. 133–143.
162. Сладечек В., Розмайлова В. Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. III. Индикаторы сапробности. – М. Изд. отд. Упр. дел секр-та СЭВ. 1977. – 92 с.
163. Сливяк В. В. От Хиросимы до Фукусимы / Владимир Сливяк. - Москва : Эксмо, 2012. - 252 с.
164. Смагин А.И. Экология водоемов зоны техногенной радиационной аномалии на Южном Урале: дисс. ... доктора биологических наук : 03.00.16 / Смагин Андрей Иванович. - Пермь, 2008. - 386 с.

165. Соловьев В.В., Алешин О.А. Моллюски озер юга Тюменской области // Эволюционная и популяционная экология: назад в будущее. – Екатеринбург, 2009. – С.210-213.
166. Степанова В.Б. Фауна хирономид (Chironomidae) Обской губы // Проблемы водной энтомологии России и сопредельных стран. Матер. III Всерос. симпоз. по амфиб. и водным насекомым. – Воронеж, 2007. – С.343-346.
167. Суздалева А.Л. Структура и экологическое состояние природно-техногенных систем водоемов-охладителей АЭС: дисс. ... доктора биологических наук : 03.00.16, 05.26.02. - Москва, 2002. - 515 с.
168. Теоретические вопросы классификации озер / Отв. ред. Н.П. Смирнова. – СПб., 1993. – 360 с.
169. Годераш И.К. Функциональное значение хирономид в экосистемах водоемов Молдавии. – Кишинев: «Штиинца». – 1984. – 172 с.
170. Трапезников А.В., Трапезникова В.Н. Радиоэкология пресноводных экосистем. - Екатеринбург: Изд-во УрГСХА, 2006. - 390 стр.
171. Трифонова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. – Л.: Наука, 1990. – 184с.
172. Тузовский П.В. Определитель дейтонимф водяных клещей – М., 1990. – 238 с.
173. Унифицированные методы исследования качества вод. Атлас сапробных организмов. М., 1977. – 277 с.
174. Унифицированные методы исследования качества вод. Методы биологического анализа вод. Индикаторы сапробности. – М., изд-во СЭВ, 1975. – С. 21-31.
175. Хендерсон-Селлерс Б.И., Маркленд Х.Р. Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования. 1990.
176. Царенко П.М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. – Киев: Наук.думка, 1990. 206с.

177. Чеботина М.Я. и др. Планктон и его роль в миграции радионуклидов в водоеме-охладителе АЭС (2002). – Екатеринбург, УрО РАН, 2002. – 88 с.
178. Чеботина М.Я., Николин О.А. Мониторинг трития в водоеме-охладителе Белоярской АЭС // Экология, 2002, №2. – С.151-156.
179. Чеботина М.Я., Трапезников А.В., Гусева В.П., Куликов Н.В.  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  в воде Белоярского водохранилища // Экология. – 1992.№4. – С. 78-81.
180. Чеботина М.Я., Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Куликов Н.В. Радио-экологические исследования Белоярского водохранилища // Свердловск: УрО АН СССР, 1992. – 80 с.
181. Черная Л. В. Сравнительная эколого-физиологическая характеристика представителей гирудофауны Среднего Урала: дисс. ... кандидата биологических наук : 03.00.16. - Екатеринбург, 2003. - 194 с.
182. Чупров С.М., Набатова В.А., Гаевский Н.А., Колмаков В.И. Мониторинг цветения воды водоема-охладителя «Березовской ГРЭС-1». Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Социально-экологические проблемы природопользования в Центральной Сибири». Красноярск, КрасГУ, 28-29 ноября 2006 г. Шарапова А.Т. Особенности распространения и экологии моллюсков-вселенцев в водоем-охладитель Тюменской ТЭЦ –1 в Западной Сибири // Вестник зоологии, т.42, №2, 2008. – С.185-187.
183. Чупров С.М., Набатова В.А., Гаевский Н.А., Колмаков В.И. Сезонные особенности развития фитопланктона водоема охладителя тепловой станции (Березовская ГРЭС-1, Красноярский край) // Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге: мат. II всероссийской конф. (печ Сыктывкар, 5-9 октября 2009 г.) [электронный ресурс]. – Сыктывкар: Институт биологии Коми НЦ УРО РАН, 2009. – режим доступа: [http://ib.komisc.ru/add/conf/algo\\_2009/](http://ib.komisc.ru/add/conf/algo_2009/), свободный.
184. Шарапова Т.А. Бентофауна реки Северная Сосьва. 2010. Путь доступа: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q>

185. Шарапова Т.А. Зообентос р. Щучья // Сб.науч.тр.ГосНИОРХ, 1995. Вып.327. – С.56-63.
186. Шарапова Т.А. Личинки стрекоз (Odonata) в перифитоне Западной Сибири // Проблемы водной энтомологии России и сопредельных стран. Матер.III Всерос. симпоз. по амфиб. и водным насекомым. – Воронеж, 2007. – С.374-376.
187. Шарапова Т.А., Степанова В.Б. Состав и распределение личинок поденок (Ephemeroptera) в равнинных водоемах и водотоках Западной Сибири // Фауна, вопросы экол., морфол. и эволюции амфибиот. и водн. насекомых России // Матер.II Всерос.симпоз. по амфибиот.и водным насекомым. – Воронеж: ВГУ, 2004. – С. 257-261.
188. Шарапова Т.А., Степанова В.Б., Бусленко Н.М. Оценка состояния уральских притоков Оби по показателям зообентоса // Освоение Севера и проблема рекультивации: Матер. науч. конф. – Сыктывкар, 1994. – С.238-241.
189. Шилова А.И. К вопросу о питании личинок *Cricotopus silvestris* F. в связи с характером строения ротового аппарата. – ДАН СССР 1955, т. 100. № 6. – С. 1191–1193.
190. Шилова А.И. Хирономиды Рыбинского водохранилища. – Л., 1976. – 251 с.
191. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. - М.: Наука, 2005. Т. 1. - 281 с.
192. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. - М.: Наука, 2005. Т. 2. - 337 с.
193. Экологический мониторинг. Методы биомониторинга. – Н. Новгород, 1995. – Часть 1. – 190 с.

194. Яковлев В.А. Оценка качества поверхностных вод Кольского Севера по гидробиологическим показателям и данным биотестирования (практические рекомендации) . – Апатиты, 1988. – 25 с.
195. Ярушина М.И. и др. Планктон Белоярского водохранилища на р. Пышма. - 2003.
196. Ярушина М.И., Еремкина Т.В. Фитопланктон эвтрофного озера Силач // Биоразнообразие и биоресурсы Урала и сопредельных территорий: Материалы Междунар. конф., Оренбург, 30-31 января 2001 г. Оренбург: Газпромпечатать, 2001. – С. 50-52.
197. Ярушина М. И., Танаева Г.В., Еремкина Т. В. Флора водорослей водоемов Челябинской области. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – 308 с.
198. Ярушина М.И., Еремкина Т.В. Диатомовые водоросли водоемов Челябинской области // Биология внутренних вод. Приложение к № 2, 2008. – С. 54-59.