

«УТВЕРЖДАЮ»
Технический директор
ОАО ЕВРАЗ «НТМК»

_____ В.А.Сизов

«_____» _____ 2013 г.

О Т Ч Е Т

О ПРОВЕДЕННЫХ РАБОТАХ ПО БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ НИЖНЕТАГИЛЬСКОГО ГОРОДСКОГО ПРУДА И ЛЕНЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В 2013 ГОДУ МЕТОДОМ КОРРЕКЦИИ АЛЬГОЦЕНОЗА С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

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

_____ В.Т. Лухтанов

«_____» _____ 2013 г.

г. Воронеж
2013 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. КРАТКИЙ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК	9
2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	15
2.1.Описание мест отбора проб	17
2.2.Методы гидрохимических исследований	20
2.3.Методы исследования фитопланктона	23
2.4.Методы исследования зоопланктона	24
2.5. Методы биологической оценки качества воды водохранилища.....	27
2.6. Общие методы математической и статистической обработки данных	29
3. ПРОЕКТ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ НИЖНЕТАГИЛЬСКОГО ГОРОДСКОГО ПРУДА ПОСРЕДСТВОМ ВСЕЛЕНИЯ ЗЕЛЕННОЙ МИКРОВОДОРОСЛИ И ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ	29
3.1.Правовое обеспечение и исходный материал для проведения работ	29
3.2.Характеристика штамма <i>Chlorella vulgaris</i> ИФР № С-111	30
3.3.Выделение аборигенного штамма <i>Ch. vulgaris</i> и сравнительный анализ со штаммом ИФР № С-111.....	31
3.4.Подготовка альголизанта штамма <i>Ch. vulgaris</i> ИФР № С-111	33
3.4.1.Определение возможности развития хлореллы в условиях Нижнетагильского городского пруда.....	33
3.4.2. Адаптация штамма к воде Нижнетагильского городского пруда.....	36
3.4.3.Расчет нормы вселения в водоем.....	38
3.4.4.Выращивание штамма на воде Нижнетагильского городского пруда	39
3.5. Вселение хлореллы в Нижнетагильский городской пруд.....	39
3.6. Приживаемость штамма	44
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ.....	46
4.1. Гидрохимическое состояние акватории	46
4.2. Фитопланктон, его разнообразие, динамика.	54
4.3. Зоопланктон, его разнообразие, динамика	62
4.4. Анализ экологического состояния акватории по комплексным гидрохимическим и биологическим показателям	67

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	73
------------------	----

Список литературных и веб-источников.	80
--	----

ТЕКСТОВЫЕ И ГРАФИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ (отдельный том):

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 Нижнетагильского городского пруда за четырехлетний цикл проведения работ по биологической реабилитации методом коррекции альгоценоза.
4. Видовой состав, обилие и экологическая характеристика фитопланктона Нижнетагильского городского пруда.
5. Видовой состав, обилие и экологическая характеристика зоопланктона Нижнетагильского городского пруда.

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
E-mail: abt-vrn@yandex.ru
<http://www.facebook.com/abt.vrn>
<https://twitter.com/algobiotechnolog>

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ:

Руководитель работ, Генеральный директор	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 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.

ВВЕДЕНИЕ

Создание водохранилищ на равнинных реках существенно изменило комплекс гидрологических, гидрохимических и биологических характеристик экосистем. Уменьшение проточности и водообмена, увеличение прозрачности, прогрева толщи воды, образование обширных мелководий приводит к депонированию загрязнителей, в том числе тяжелых металлов, нефтепродуктов, АСПАВ, фенолов, биогенных веществ (неорганические формы азота и фосфора). Каждый водоем обладает специфической микрофлорой, способной к расщиплению сложных углеводов. Большинство представителей подобных бактерий являются аэробами и обитают в пределах батиаля, поэтому степень их активности напрямую зависит от количества растворенного в воде кислорода. Однако в водоемах со значительным вторичным загрязнением, к которым относится и Нижнетагильский городской пруд, и Леновское водохранилище, кислород расходуется на окисление большого количества органических соединений, образующихся при отмирании гидробионтов и попадающих в водоем со сточными водами, промышленными отходами и в результате затопления берегов с отходами производства и потребления [93].

Увеличение содержания растворенного кислорода возможно благодаря усилению роли фотосинтезирующих организмов. Наиболее приемлемой группой являются мелкоклеточные зеленые водоросли планктонных штаммов, в частности *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111, которые в отличие от нитчатых форм синезеленых водорослей активно потребляются водными животными, поэтому явления разложения их биомассы, сопровождаемого потреблением кислорода, не происходит.

Большинство водохранилищ Российской Федерации являются водоемами многоцелевого назначения, и в связи с этим качество воды является важной составляющей нормальной жизнедеятельности всего живого и, прежде всего, человека.

Проблема, требующая решения: необходимость снижения уровня

загрязнения Нижнетагильского городского пруда и Леновского водохранилища в условиях постоянного и все возрастающего техногенного прессинга.

Цель работы: снижение загрязнения тяжелыми металлами и нефтепродуктами источников технического водоснабжения (Нижнетагильского городского пруда и Леновского водохранилища) основной промплощадки НТМК при проведении биологической реабилитации методом коррекции альгоценоза.

Для выполнения поставленной цели были определены следующие задачи:

- выяснить физико-географические характеристики, исходный режим, основные экологические проблемы Нижнетагильского городского пруда, Леновского водохранилища и сопредельных территорий.
- провести комплексные гидрохимические и гидробиологические исследования состояния Нижнетагильского городского пруда для определения уровня загрязненности и оценки влияния альголизации на качество воды и водные экосистемы в течение вегетационного сезона 2013 г.
- разработать проект биологической реабилитации Нижнетагильского городского пруда 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 Нижнетагильского городского пруда и двукратно Леновского водохранилища штаммом *Ch. vulgaris* ИФР № С-111. в течение 2013 г.
- снизить общий уровень загрязнения Нижнетагильского городского пруда;
- восстановить рекреационные свойства Нижнетагильского городского пруда;

Исследования Нижнетагильского городского пруда выполнялись в соответствии с техническим заданием в рамках расширенного пролонгированного Договора ДГНТЗ-003612 от 11 февраля 2011 г.,

заключенного ОАО ЕВРАЗ «НТМК» с НПО «Альгобиотехнология».

В ходе проводимых гидрохимических исследований ежемесячно отбиралось 3 пробы воды на гидрохимический анализ и по 2 пробы на фитопланктон и зоопланктон из Нижнетагильского городского пруда, на акватории Леновского водохранилища отбор проб не производился. Уровень загрязнения водоема оценивался в сравнении с СанПиН для рыбохозяйственных водоемов [104].

Отчет изложен на 90 страницах, содержит 16 таблиц, 28 рисунков, 5 текстовых и графических приложений, 132 использованных литературных и веб-источника.

Ключевые слова: альголизация, аквакультура, микроводоросль, суспензия хлореллы, фитопланктон, поллютанты, зоопланктон, сапробность, водоем, металлургия.

1. КРАТКИЙ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

В широтном отношении Свердловская область находится между 56° и 62° с.ш. в средних широтах в пределах умеренного пояса. Основная часть территории области лежит в зоне тайги. Только на юго-востоке тайга сменяется зональными лесостепными ландшафтами. В горной полосе прослеживаются высотно-поясные изменения климата, почвенно-растительного покрова и животного мира от пояса горной тайги до горных тундр.

Свердловская область находится внутри материка Евразия. Внутриконтинентальное положение, удаленность от Атлантического океана оказали воздействие на формирование климата.

Наиболее важной особенностью физико-географического положения области является ее положение на стыке крупных природных регионов – природных комплексов разного типа: секторных, зональных и аazonальных (тектогенных).

Климат Свердловской области формируется под действием трех основных климатообразующих факторов: солнечной радиации, циркуляции воздушных масс и влияния подстилающей поверхности.

Суммарная солнечная радиация распределяется по территории в целом широтно, то есть зонально. На севере области суммарная радиация составляет 80, а на юге 95 ккал на 1 см^2 в год. Часть суммарной радиации отражается от земной поверхности, а остальная радиация поглощается и расходуется на нагрев. Потери радиации в результате отражения зависят от характера подстилающей поверхности. Как известно, снежный покров отражает до 80 % суммарной радиации, лес – около 20 %, распаханый почвенный субстрат еще меньше – лишь 10-15 %.

В умеренных широтах господствует западный перенос воздушных масс, с которым связано развитие циклонической деятельности. Воздушные массы Атлантики приносят на территорию Свердловской области осадки. Зимой они вызывают потепление, а летом формируют прохладную погоду.

Территория области открыта для притока воздушных масс из области Сибирского антициклона, который зимой охватывает южные районы Сибири и

обуславливает формирование морозной погоды с наиболее низкими температурами воздуха.

Барьерное влияние Уральских гор обуславливает определенные климатические различия западного и восточного склонов Урала. Горы делают эти различия более заметными и резкими. Меняется режим и количество осадков: на западном макросклоне в год их выпадает больше на 100-200 мм. В восточных предгорьях и в западносибирской части области выше летние и ниже зимние температуры. На случайно западную и восточную части области относят к разным климатическим секторам: переходному и континентальному. Границу между ними проводят по восточной подошве горной полосы Урала.

Анализ хода изотерм января показывает, что на формирование зимних температур основное влияние оказывает частое поступление воздушных масс с запада. Наблюдается понижение температуры к востоку, северо-востоку от -16 до $-18...-19^{\circ}\text{C}$. Изотермы -16 и -17°C проходят меридионально. Лишь на севере области изотерма -19°C приближается к субширотному простиранию.

Июльские изотермы направлены субширотно. На летний температурный режим определяющее влияние оказывает солнечная радиация. Самые высокие температуры на юго-востоке области 18°C , на севере 17°C .

Основную часть осадков приносят циклоны с западным переносом воздушных масс.

Максимум осадков на территории области приходится на теплый сезон, в течение которого выпадает около 60-70% их годовой суммы. В зимний период образуется снежный покров, мощность которого на юго-востоке наименьшая – 45-50 см. В западных предгорьях, на Среднем Урале она увеличивается до 70 см. Примерно такая же мощность снежного покрова на равнинах севера области. А наибольшей величины она достигает в среднегорьях Северного Урала – 90 см и более.

Продолжительность залегания снежного покрова составляет от 150-160 дней на юго-востоке области (здесь он стает в середине апреля) до 170-180 на севере и до 180-190 дней в горах Северного Урала. На вершинах и склонах горных хребтов пятна снега (снежники) в отдельные годы могут сохраняться в

течение всего лета.

Коэффициент увлажнения на большей части территории Свердловской области равен 1,2-1,6. В горной полосе Северного Урала он еще выше. Климат большей части области избыточно влажный [64, 95, 93].

Более чем из 220 водоемов Свердловской области, в том числе 128 водохранилищ, большинство не соответствует санитарно-гигиеническим требованиям, предъявляемым к природным водам. Максимальные превышения предельно-допустимых концентраций (ПДК) химических веществ регистрируются в местах расположения металлургических и химических предприятий (плавающие примеси, краска, нефтепродукты и др.). Нижнетагильский район, в пределах которого расположен Нижнетагильский городской пруд, относится к числу наиболее загрязненных регионов России.

Нижнетагильский городской пруд прилегает с южной стороны к городу Нижний Тагил и принадлежит к числу наиболее загрязненных водоемов Среднего Урала (Рис. 1.). На территории города в водные объекты бассейна реки Тагил более чем в 140 точках сбрасываются сточные воды предприятий металлургической, горнорудной, машиностроительной, химической, автотранспортной, железнодорожной, пищевой промышленности и др.

Наиболее загрязненным притоком городского пруда является река Малая Кушва, в которую сбрасываются хозяйственные стоки жилого массива Дзержинского района, промстоки Уралвагонзавода и Нижнетагильского металлургического комбината.

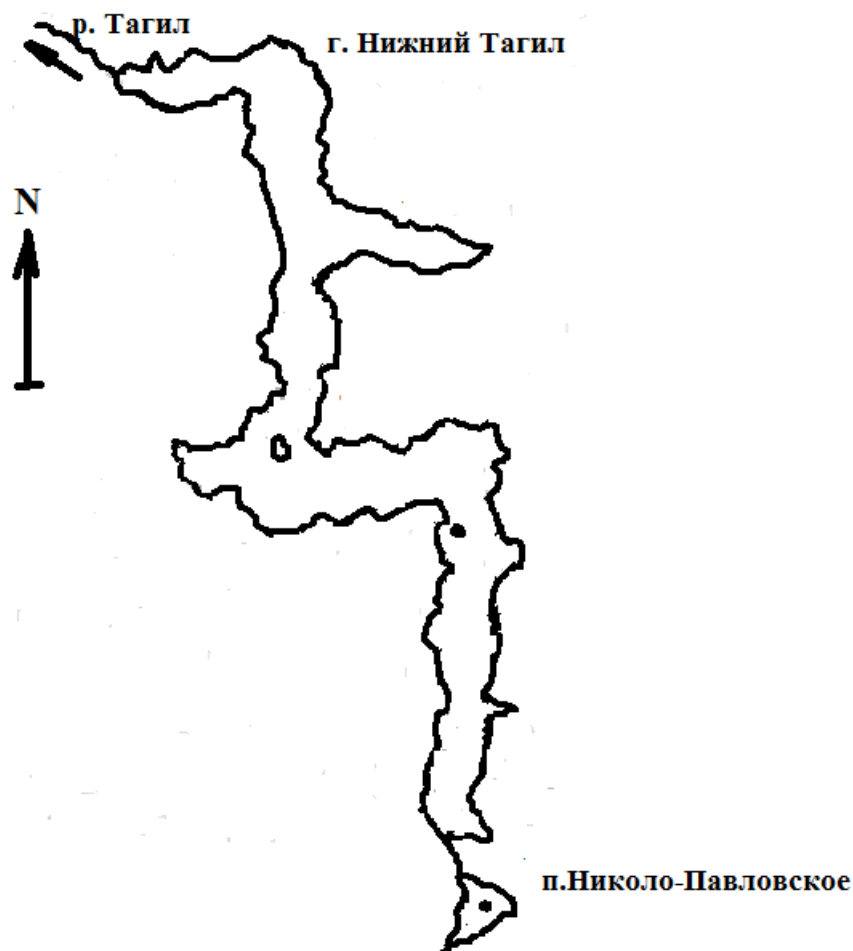


Рис. 1 – схема Нижнетагильского городского пруда

Еще одним притоком является река Вязовка. Истоки ее находятся на территории УХП и УВЗ и принимают промышленные стоки этих предприятий: 2 стока УХП и выпуски промстоков ряда цехов Нижнетагильского металлургического комбината.

Леневское водохранилище располагается в пригороде Нижнего Тагила и образовано в августе 1978 г. в долине р. Тагил, у пос. Леневка (Рис 2). Водохранилище является каскадным с Нижнетагильским городским прудом, располагаясь выше него в 31 км. На больших площадях акватории остался затопленный древостой. Берега водохранилища пологие, водохранилище простирается с юга на север на 16 км, форма вытянутая, от впадения р. Тагил идет постепенное расширение, достигающее у плотины 4 км, глубина у плотины достигает 17 м.

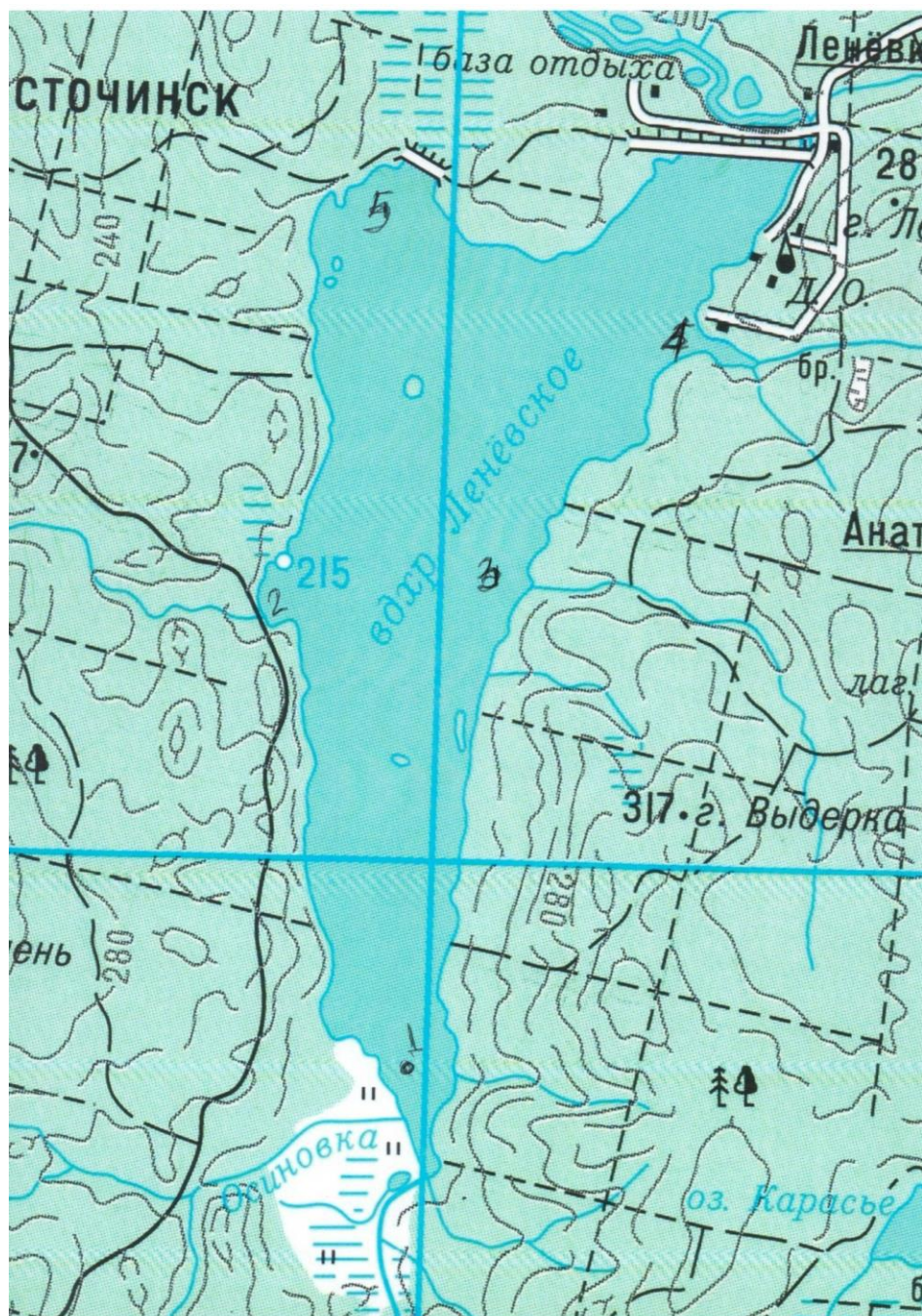


Рис. 2 – схема расположения Леневого водохранилища с точками альголизации.

Таблица условных обозначений к рисунку 2

№ точки забора	Координаты
Точка №1 200 м от устья реки Осиновка	N' 57° 38' .531'' E' 59° 59' 944''
Точка №2 Левобережье, залив на отметке 215 м	N' 57° 41' 362'' E' 59° 58' 432''
Точка №3 Правобережье, напротив точки №2	N' 57° 41' 380'' E' 60° 00' 448''
Точка №4 Правобережье, возле базы отдыха «Леневка»	N' 57° 43' 366'' E' 59° 59' 228''
Точка №5 Низовья водохранилища, в районе базы МЧС	N' 57° 42' 750'' E' 60° 02' 595''

С запада водохранилище окружено горами. В водохранилище впадает 7 рек и ручей, имеются 3 острова. В верховье, при впадении Тагила, образовался большой заболоченный участок с коряжником и топляком. К западу возвышается выступ горы «Юрьев камень», на восточном побережье, в 35 км от г. Нижний Тагил, располагается санаторий-профилакторий «Леневка».

На водохранилище сильное влияние оказывает металлургическая промышленность. В апреле 2003 г. произошел аварийный прорыв дамбы Ляхвинского рудника. Кислые медьсодержащие шахтные воды были сброшены выше Леневского водохранилища, где в контрольном створе концентрация меди, цинка и марганца тысячекратно превышала ПДК, рН воды в водохранилище снизилась до значения 5,5. Для раскисления шахтных вод применяется известь. Менее значительные несанкционированные сбросы токсичных металлов происходили неоднократно (www.nr2.ru/ekb/13-58633.html).

В 2013 году альголизация Леневского водохранилища проводилась дважды – апреле в р. Тагил, и в июне непосредственно на акватории водоема.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Описания мест отбора проб

В ходе проводимых исследований в 2013 г. ежемесячно отбирались пробы воды из Нижнетагильского городского пруда (Рис. 3) для гидрохимического анализа, для качественной и количественной оценки зоо- и фитопланктона.

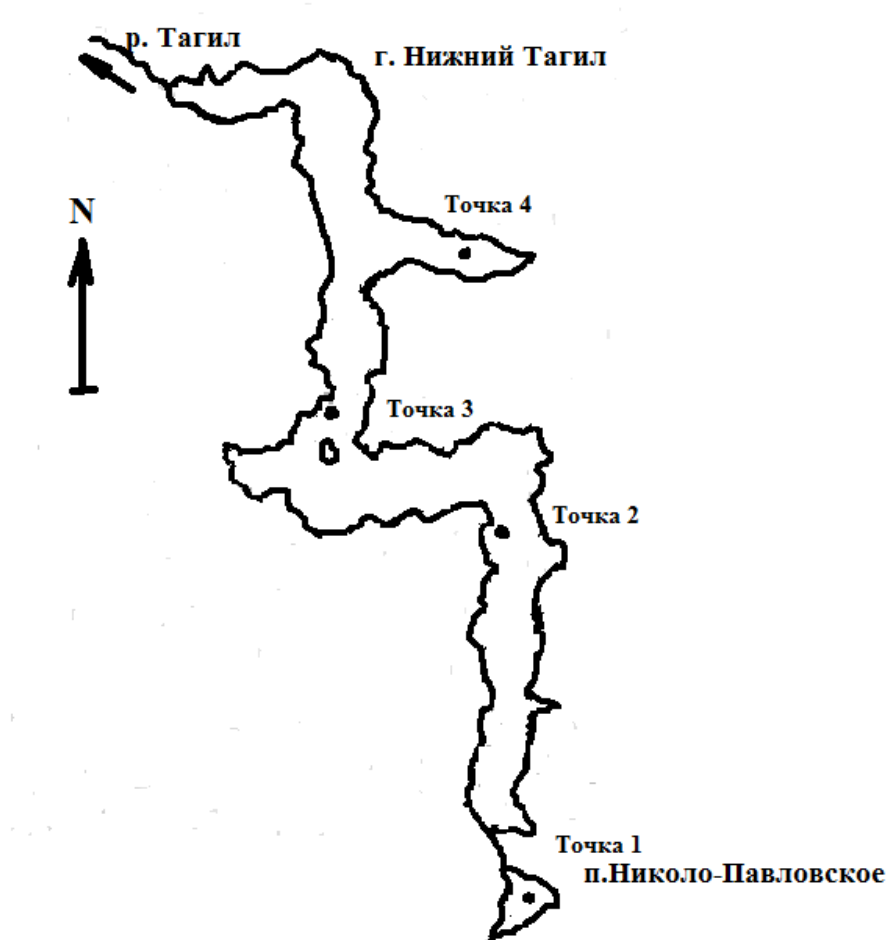


Рис. 3. – схема Нижнетагильского городского пруда с точками альголизации и мониторинга.

Таблица условных обозначений к рисунку 3

№ точки забора	Координаты
Точка №1 20 м от берега напротив села Монзино, правобережье	N' 57° 53' .221'' E' 60° 00' 016''
Точка №2 500 м от берега ниже базы отдыха «Старатель», правобережье	N' 57° 52' 265'' E' 59° 58' 866''
Точка №3. Левобережье 20 м от берега напротив домов №17 и №19 села Фотеево,	N' 57° 51' 267'' E' 60° 00' 853''
Точка №4 100 м от берега напротив устья р. Большая Кушва	N' 57° 48' 257'' E' 60° 00' 709''

Мониторинг экологического состояния Леновского водохранилища в 2013 году не проводился, так как данные работы не были предусмотрены техническим заданием к Договору. Основные характеристики точек пробоотбора приводятся далее (Рис. 4 – 7).

Точка наблюдения №1 расположена на акватории Нижнетагильского городского пруда напротив железнодорожной станции Монзино.



Рис. 4 – точка отбора №1

Точка наблюдения №2 расположена на акватории Нижнетагильского городского пруда напротив спортивной базы «Старатель» ОАО «НТМК».



Рис. 5 – точка отбора №2

Точка наблюдения №3 располагается на акватории Нижнетагильского городского пруда напротив домов №17 и №19 села Фатеево.



Рис. 6 – точка отбора № 3

Точка наблюдения №4 располагается напротив устья реки Большая Кушва, у спортивного комплекса «Форум».



Рис. 7 – точка пробоотбора №4

2.2. Методы гидрохимических исследований

В ходе работ был выполнен отбор проб и проведен гидрохимический анализ качества воды в ключевых точках на акватории Нижнетагильского городского

пруда, привязка которых отражена на рисунке 1 и в таблице к этому рисунку.

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

Таблица 1 – привязка точек гидрохимического мониторинга Нижнетагильского городского пруда в 2013 г.

Описание точки мониторинга	Географические координаты
20 м от берега напротив села Монзино, правобережье	N' 57° 53' .221'' E' 60° 00' 016''
500 м от берега ниже базы отдыха «Старатель», правобережье	N' 57° 52' 265'' E' 59° 58' 866''
20 м от берега напротив домов №17 и №19 села Фотеево, левобережье	N' 57° 51' 267'' E' 60° 00' 853''

Отбор проб воды производился в соответствии с рядом нормативных документов [45; 61; 62; 63.].

Всего за 2013 год 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 ³	ПНД Ф 14.1:2:112-97
3	Железо общее, мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.22-95
4	Марганец, мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:4.188-02

5	Медь, мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.22-95
6	Цинк, мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.22-95
7	Аммоний и ионы аммония, мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.1-95
8	Нитриты, мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.3-95
9	Нитраты, мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.4-95
10	ХПК, мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.100-97
11	Нефтепродукты, мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.116-97
12	БПК ₅ , мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.3:4.123-97
13	Растворенный кислород, мг/дм ³	РД 52.24.419-95
14	Запах, балл	ГОСТ 3351-74
15	Цветность, градус	ГОСТ 3351-74
16	Взвешенные вещества, мг/дм ³	РД 52.24.468-2005

Индекс загрязнения воды

Индекс загрязнения воды, рассчитывают по группе гидрохимических показателей, часть из которых – водородный показатель (рН), биохимическое потребление кислорода БПК₅ 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:

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

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

N - число показателей, используемых для расчета индекса;

ПДК_г - установленная величина для соответствующего типа водного объекта.

В зависимости от величины ИЗВ участки водных объектов подразделяют на классы (Табл. 3.)

Таблица 3 – 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

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 [81, 105, 38, 102, 103]. Пробы воды для определения состава фитопланктона отбирались в объеме 1 литр: 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.

Таблица 4 – график сбора проб фитопланктона Нижнетагильского городского пруда

№ точки забора	Периодичность или дата сбора			
	2010	2011	2012	2013
1. «Монзино»	Ежемесячно IV-X	VI, VIII, X	V, начало и конец VI, VII-X	Ежемесячно V-X
2. «Старатель»		VI, VIII, X		
3. «Фотеево»		VI, VIII, X		Ежемесячно V-X
4. «Кушва»	Ежемесячно IV-X	VI, VIII, X	V, начало и конец VI, VII-X	
Объем обработанного материала	14 проб объемом 1,5-2 л	12 проб объемом 2 л	14 проб объемом 3 л	12 проб объемом 0,5 л

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

Общий объем обработанного материала составил 52 пробы, 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 $1200\times$ - $600\times$ и $1200\times$. Увеличение определяется путем умножения номера объектива на номер окуляра. 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 прохладном месте, 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 [54; 41, 48, 49, 58, 66, 71, 80, 84, 87, 88, 89, 91, 94, 119, 120, и др.].

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 [115]. 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:

$$N = n \times k \times \frac{A}{a} \times v \times \frac{1000}{V}, (2)$$

где N – количество микроводорослей в 1 л воды исследуемого образца, k – коэффициент, показывающий во сколько раз объем счетной камеры меньше 1 см³, n – количество организмов, обнаруженных на просмотренных клетках камеры Горяева, A – количество клеток в камере, a – количество просмотренных клеток камеры, v – первоначальный объем отобранной пробы (см³), V – объем взвеси-концентрата пробы (см³) [38, 102, 103].

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, которые отбирались в стандартных станциях, выбранных и утвержденных заказчиком для проведения гидрохимического и гидробиологического анализа.

Таблица 5 – график сбора зоопланктона Нижнетагильского городского пруда

№ точки забора	Периодичность или дата сбора			
	2010	2011	2012	2013
1.	Ежемесячно VI-IX	Ежемесячно VI-IX	*V-X	VI, VIII-IX
2.				V, VI
3.			*V-X	V, VI
4.	Ежемесячно VI-IX	Ежемесячно VI-IX	*V-X	VII-IX
Объем обработанного материала	8 проб объемом 1-1,5 л	8 проб объемом 1-1,5 л	14 проб объемом 1 л	14 проб объемом 1 л

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

За отчетный период с 2010 по 2013 гг. всего отобрано и проанализировано 44 пробы зоопланктона.

Отбор количественных проб зоопланктона проводился в верхних слоях воды путем процеживания через планктонную сеть Апштейна 50л воды, что соответствует классическому методу [Руковод по методам гидробиол. анализ 1983]. Пробы фиксировались 40% формалином. Камеральная обработка проводилась с использованием кристаллизатора Цееба по общепринятой методике порционного подсчета [66]. Определение видового состава организмов зоопланктона проводилось по ряду определителей [75, 87, 88, 89].

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

2.5 Методы биологической оценки качества воды

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):

$$S = \frac{\sum(sh)}{\sum h}, \quad (3)$$

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" [113 – 116], а также с использованием показателей сапробности, взятых из различных работ [6; 32, 109, 113]. Для статистической достоверности результатов обращали внимание на то, чтобы в пробе содержалось не менее 12 индикаторных видов с общей суммой встречаемости h равной 30.

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), β -мезосапробной зоне – 1,51–2,50 (воды умеренного загрязнения), α -мезосапробной – 2,51–3,50 (загрязненные), полисапробной зоне – 3,51 – 4,50 (очень грязные) [119].

ГОСТ [43, 44] 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:

$$S_T = \frac{\sum_{i=1}^n [S_{Ti} N_i]}{\sum_{i=1}^n N_i}, \text{ балл} \quad (4)$$

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 [129] для оценки водоемов Кольско-Беломорского региона [129].

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 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 $Q_{B/T}$:

$$Q_{\frac{B}{T}} = \frac{N_B}{N_T}; \quad (5)$$

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 [43, 44, 46, 126, 129], которые регламентируют содержание программ контроля гидрологических, гидрохимических и гидробиологических показателей (Табл. 6).

Таблица 6 – классификация качества воды водоемов и водотоков по гидробиологическими и гидрохимическим показателям

Класс качес тва воды	Степень загрязненности воды	Гидробиологические показатели			Гидрохимический индекс загрязнения воды (ИЗВ)	Градации по Яковлеву [129] 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 %	Биотический индекс по Вудивиссу в модификации Яковлева		
I	Очень чистые	Менее 1,00	1-20	10	Менее 0,3	≥2
II	Чистые	1,00-1,50	21-35	7-9	0,3-1,0	≥2
III	Умеренно загрязненные	1,51-2,50	36-50	5-6	1,0-2,5	≥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 макрозообе нтос 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. Поэтому оценивали качество воды, прежде всего, по особенностям планктонных организмов и гидрохимическим показателям (ИЗВ).

2.6 Общие методы математической и статистической обработки данных

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

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (6)$$

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:

$$m_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (7)$$

где σ – выборочное стандартное отклонение;

n – объем выборки.

Величину средней и её ошибку записывали в общепринятом виде:

$$\bar{x} \pm m_{\bar{x}} \quad (8)$$

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:

$$E = \frac{m_{\bar{x}}}{\bar{x}} \times 100\% \quad (9)$$

Для оценки показателей вариации относительной численности использовалась формула несмещенного квадратического отклонения σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (10)$$

где n – объём выборки (число видов), i – положение варианты в вариационном ряду, x_i – значение конкретной варианты вариационного ряда, $\bar{x}$ – среднее арифметическое значений вариантов.

Для малых выборок:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}{n}}{n-1}}, \quad (11)$$

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

$$t_{\bar{x}} = \frac{\bar{x}}{m_{\bar{x}}} \quad (12)$$

с последующим сравнением с табличной величиной t_s .

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 Нижнетагильского городского пруда методом коррекции альгоценоза.

Для восстановления экологической системы Нижнетагильского городского пруда 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 [34].

В целях проведения необходимых работ были отобраны два образца воды Нижнетагильского городского пруда. 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 Нижнетагильского городского пруда .

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. 8 – штамм *Ch. vulgaris* ИФР № С-111. Увеличение 1000^x.

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 Нижнетагильского городского пруда соотносительно со штаммом *Ch. vulgaris* ИФР № С-111 представлены в таблице 7 .

Таблица 7 – 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 светолубив	светолубив	

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 Нижнетагильском городском пруду.

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

3.4.1.Определение возможности развития хлореллы в условиях Нижнетагильского городского пруда

Первоначальной работой по Нижнетагильскому городскому пруду 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 Нижнетагильского городского пруда, 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 Нижнетагильского городского пруда. 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. 8) как визуально, так и с помощью приборов.

Таблица 8 – 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 Нижнетагильского городского пруда для большей наглядности отображена в виде графика (Рис.9).

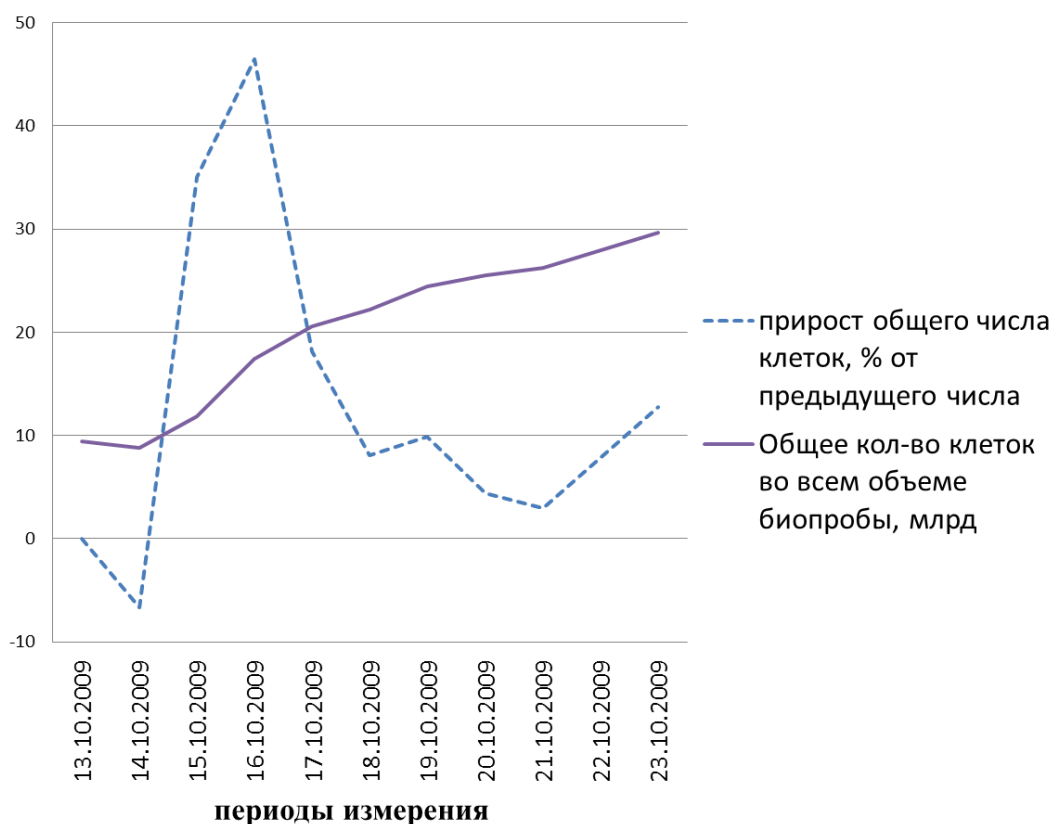


Рис. 9 – динамика популяции хлореллы в биопробе.

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 Нижнетагильского городского пруда .

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 Нижнетагильского городского пруда методом коррекции альгоценоза.

3.4.2. Адаптация штамма к воде Нижнетагильского городского пруда

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 Нижнетагильского городского пруда 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

Нижнетагильского городского пруда 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 9.

Таблица 9 – 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 Нижнетагильского городского пруда штамм микроводоросли *Ch. vulgaris* ИФР № С-111. Адаптированный к воде Нижнетагильского городского пруда 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 Нижнетагильского городского пруда. 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 Нижнетагильскому городскому пруду.

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/м³) 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 Нижнетагильского городского пруда, 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/м³. При этом суточное потребление хлореллы может составить 0,1г/м³, 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°C, он не учитывается. При достаточно высокой температуре и хорошей солнечной инсоляции в период весенне-летних месяцев, в гидрохимических условиях Нижнетагильского городского пруда *Ch. vulgaris* ИФР № С-111 может ежесуточно удваивать свою численность.

Учитывая, что таких комфортных условий обитания до массового развития зоопланктона, у хлореллы 8 – 10 дней, объем альголизанта вносимого на всю акваторию Нижнетагильского городского пруда был определен по формуле 13:

$$M_a = \frac{V_B \times m_{\text{дк}}}{2^n}, \quad (13)$$

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

V_B – объем метрового слоя водохранилища (м³);

$m_{\text{дк}}$ – 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 Нижнетагильского городского пруда

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 Нижнетагильский городской пруд

На основании анализа отчета о проведенных исследованиях акватории Нижнетагильского городского пруда были определены точки вселения хлореллы с позиции равномерного распределения штамма по акватории с

учетом преобладающего течения и расположения застойных и мелководных зон (Рис.3). 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 10.

Таблица 10 – график альголизации Нижнетагильского городского пруда

Год	Дата	Нижнетагильский городской пруд		Леневское водохранилище	
		Вес суспензии,кг	Плотность кл/см ³	Вес суспензии,кг	Плотность кл/см ³
2010	Начало апреля (подледная)	1000	50-60 млн.	-	-
	Май	1000	50-60 млн.	-	-
	Конец июля	1000	50-60 млн.	-	-
2011	Март (подледная)	1000	50-60 млн.	341	10 ⁹
	Май	1000	50-60 млн.	420	10 ⁹
	Конец июля	1000	50-60 млн.	420	10 ⁹
2012	Март (подледная)	64	2,5*10 ⁹	-	-
	Май	64	2,5*10 ⁹	-	-
	Конец июля	64	2,5*10 ⁹	-	-
2013	Март (подледная)	64	2,5*10 ⁹		
	Май	64	2,5*10 ⁹	384	2,5*10 ⁹
	Конец июня	64	2,5*10 ⁹	384	2,5*10 ⁹
	Конец июля	64	2,5*10 ⁹		

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



Рис. 10 – подледная альголизация Нижнетагильского городского пруда.



Рис. 11 – вселение хлореллы в Нижнетагильский городской пруд.



Рис. 12 – альголизация Нижнетагильского городского пруда 24 мая 2013 года.



Рис. 13 – альголизация Леновского водохранилища 24 июня 2013 г.



Рис. 14 – альголизация Нижнетагильского городского пруда 24 июня 2013 года.



Рис. 15 – альголизация Нижнетагильского городского пруда 25 июля 2013 года

Таким образом, общий объем альголизанта, вселенного в Нижнетагильской городской пруд за 2013 год составил 384 кг альголизанта плотностью 2,5 млрд.кл./мл.

3.6. Приживаемость штамма

Отобранные пробы воды Нижнетагильского городского пруда 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 элективной 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 элективной среде составлял 50-

100%, что свидетельствует о хорошей приживаемости.

Таблица 11 – 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 ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

Надо сказать, что проведенные комплексные исследования являются самыми масштабными исследованиями за всю историю Нижнетагильского городского пруда.

ООО НПО «Альгобиотехнология» ежегодно представляло отчет по биологической реабилитации Нижнетагильского городского пруда методом коррекции альгоценоза, и основной упор в них был сделан на анализ изменения химического состава поверхностных вод Нижнетагильского городского пруда в соответствии с целью проводимых работ.

Данные по гидрохимическому составу Леновского водохранилища не были включены в отчет по причине их наличия только за 2011 год.

4.1. Гидрохимическое состояние акватории

Для описания гидрохимического состояния акватории Нижнетагильского городского пруда 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 Нижнетагильского городского пруда методом коррекции альгоценоза представлена в виде графиков в приложении 3.

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

Таблица 12 – снижение значений гидрохимических показателей Нижнетагильского городского пруда в 2013 г по сравнению с 2012 г.

компоненты	Монзино						Старатель						Фотеево						Частота, %
	Май*	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	
Фосфаты		+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	83,3
Железо общее		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+	+		77,8
Марганец		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+	+		+	77,8
Медь		+	+	+	+		+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	83,3
Цинк		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	94,4

Аммоний		+		+		+	+	+		+		+	+	+		+		+	61,1
Нитраты		+	+		+		+	+	+					+	+				44,4
Нитриты		+	+		+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	83,3
ХПК					+		+				+								16,7
Н-ты		+					+	+				+							22,2
БПК ₅		+			+						+						+		22,2
Цветность		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+		+	+	83,3
Взвешенные вещества		+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+			+	77,8

* в мае 2013 года в верховьях пруда пробоотбор не был осуществлен по объективным причинам (наличие ледяного покрова).

По результатам биологической реабилитации пруда в 2013 года нами выделены три группы поллютантов по частоте снижения в пробах (Табл. 12). Наиболее часто наблюдалось снижение показателей таких гидрохимических параметров как цинк, медь, нитриты, полифосфаты и цветность. Следовательно, биологическая реабилитация оказывает на данные показатели наиболее сильное влияние.

Снижение халькофильных тяжелых металлов можно объяснить частичным поглощением клетками хлореллы, а частично химическим осаждением под действием атомарного кислорода. Известно, что кислород, находящийся в атомарном состоянии обладает высокой химической активностью и способен переводить ионы металлов, в том числе тяжелых, в формы с высшей валентностью. В частности, соли одновалентной меди в воде практически нерастворимы и легко окисляются до соединений 2-валентной меди; соли 2-валентной меди, напротив, хорошо растворимы в воде и в разбавленных растворах полностью диссоциированы. Следовательно, в подобном состоянии медь легко усваивается гидробионтами, в том числе хлореллой. Снижение содержания цинка обусловлено выпадением его в осадок в виде нерастворимого оксида.

Снижение концентрации биогенов также обусловлено поглощением миксотрофными видами водорослей, в том числе хлореллой, доля которых в видовом разнообразии и биомассе альгоценоза в 2013 г. увеличена вследствие биологической реабилитации.

Снижение такого органолептического показателя как цветность объясняется по всей вероятности уменьшением биомассы и численности крупноклеточных и нитчатых форм синезеленых водорослей.

В состав второй группы поллютатов внесены компоненты, частота снижения которых находится в интервалах от 80 до 50% (взвешенные вещества, железо общее, марганец и аммонийный азот). Снижение концентрации сидерофильных тяжелых металлов и других компонентов этой группы обусловлено теми же причинами, что и снижение концентрации поллютантов первой группы за исключением взвешенных веществ. Понятие природы этого процесса требует дополнительных исследований.

Наименее подвержены влиянию биологической реабилитации путем коррекции альгоценоза такие поллютаты как нитраты, нефтепродукты, биохимическое и химическое потребление кислорода.

Выделение данных групп поллютантов весьма условное, поскольку их концентрации зависят не только биологических факторов, но и от абиотических (температура, давление, инсоляция, количество осадков и их распределение по сезонам и т.п.).

Для того чтобы показать кратность изменений концентраций поллютантов составлена сравнительная таблица 13.

Таблица 13 – сравнение значений гидрохимических показателей Нижнетагильского городского пруда в 2013 г. и в 2012 г.

компоненты	Монзино						Старатель						Фотеево						Сред.знач.	Кратность
	Май*	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	май	июнь	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
Фосфаты**	0,08	0,08	0,05	0,05	0,69	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,09	4,5
		0,063	0,032	0,028	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	Сл	0,07	0,01	0,02	0,003	0,006	0,02	
рО	0,67	0,67	0,19	0,12	0,1	0,18	0,29	0,29	0,22	0,1	0,26	0,2	0,17	0,17	0,2	0,12	0,19	0,23	0,24	3

		0,043	0,11	0,11	0,022	0,03	0,2	0,05	0,01	0,09	0,03	0,03	0,2	0,18	0,09	0,08	0,04	0,032	0,08	
Марганец**	0,38	0,38	0,15	0,09	0,25	0,06	0,28	0,28	0,18	0,13	0,35	0,1	0,13	0,13	0,42	0,31	0,25	0,16	0,22	1,83
		0,024	0,027	0,013	0,02	0,06	0,1	0,03	0,01	0,03	0,02	0,03	0,3	0,03	0,2	0,18	0,86	0,065	0,12	
Медь**	0,051	0,051	0,015	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,015	0,01	0,11	0,11	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	3
		0,007	0,007	0,007	0,009	0,005	0,01	0,006	0,01	0,006	0,01	0,007	0,01	0,006	0,005	0,009	0,008	0,005	0,01	
Цинк**	0,22	0,22	0,028	0,32	0,19	0,22	0,25	0,25	0,18	0,24	0,13	0,14	0,23	0,23	0,06	0,06	0,07	0,019	0,18	6
		0,011	0,047	0,026	0,051	0,05	0,03	0,017	0,02	0,01	0,06	0,05	0,05	0,01	0,02	0,01	0,03	0,011	0,03	
Аммоний**	0,23	0,23	0,09	0,37	0,05	0,24	0,37	0,37	0,07	0,35	0,05	0,34	0,48	0,48	0,05	0,36	0,09	0,3	0,25	2,08
		0,03	0,11	0,1	0,09	0,24	0,11	0,03	0,12	0,1	0,06	0,06	0,09	0,04	0,22	0,17	0,34	0,07	0,12	
Нитраты*	0,5	0,5	0,94	0,72	1,05	0,75	0,42	0,42	0,79	0,24	0,37	0,52	0,3	0,3	0,41	0,42	0,49	0,87	0,56	0,88
		0,18	0,52	1,28	0,67	1,17	0,3	0,16	0,34	0,67	0,8	1,22	0,37	0,19	0,35	0,76	0,83	1,12	0,64	
Нитриты**	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	2
		0,007	0,025	0,016	0,002	0,002	0,01	0,005	0,02	0,014	0,002	0,01	0,01	0,005	0,02	0,014	0,003	0,002	0,01	
ХПК**	18	18	17,0	13	11,9	11,3	15,8	15,8	18	12,5	16	12	16,4	16,4	21	14	21	12	15,56	0,61
		26,8	28,6	42,7	6,6	24,0	14,9	29,4	34,2	42,7	10,1	18	11,6	26,8	36,0	44,6	21,0	14	25,41	
Н-ты**	0,05	0,05	0,015	0,009	0,015	0,03	0,11	0,11	0,012	0,01	0,07	0,034	0,06	0,06	0,03	0,03	0,03	0,08	0,04	0,67
		0,03	0,08	0,09	0,04	Сл	0,07	0,02	0,12	Сл	0,04	0,02	0,11	0,06	0,11	0,03	0,04	0,02	0,06	
БПК ₅	3,4	3,4	2,8	1,7	1,7	1,6	2,4	2,4	3,2	3,2	2,2	2,4	2,2	2,2	2,8	3	2,6	3	2,57	1,01
		1,82	4,85	2,09	1,45	2,21	2,46	2,69	4,39	1,79	1,03	2,16	2,8	2,81	3,53	1,49	2,36	3,29	2,54	

* в мае 2013 года в верховьях пруда пробоотбор не был осуществлен по объективным причинам (наличие ледяного покрова).

** - в верхней части ячейки указано значение концентрации определенного компонента в 2012 году, а в нижней – 2013 года и зеленым цветом показано меньшее значение, а красным – большее.

Судя по данным таблицы наибольшей кратностью снижения характеризуются концентрации следующих поллютантов: цинк (в 6 раз), фосфаты (в 4,5 раза), медь (в три раза), аммонийный азот и нитриты (в два раза). Следует

отметить, что все остальные химические показатели также демонстрируют понижение концентраций, но кратность их небольшая. При сравнении показателей 2012 и 2013 гг. среднестатистического повышения величин не наблюдалось.

Таблица 14 – сравнение значений гидрохимических показателей Нижнетагильского городского пруда в 2013 г. и в 2010 г.

компоненты	Монзино						Старатель						Фотеево						Сред.знач.	Кратность
	Май*	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	май	июнь	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
Фосфаты**	0,038	0,138	0,097	0,09	0,09	0,11	0,07	0,12	0,02	0,09	0,09	0,1	Сл	0,1	0,04	0,15	0,06	0,06	0,09	4,5
		0,063	0,032	0,028	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	Сл	0,07	0,01	0,02	0,003	0,006	0,02	
Железо общее**	0,06	0,164	0,18	0,13	0,17	0,17	0,1	0,2	0,2	0,2	0,17	0,17	0,7	0,17	0,2	0,13	0,2	0,22	0,2	2,5
		0,043	0,11	0,11	0,022	0,03	0,2	0,05	0,01	0,09	0,03	0,03	0,2	0,18	0,09	0,08	0,04	0,032	0,08	
Марганец**	0,036	0,39	0,03	0,024	0,035	0,04	0,03	0,16	0,05	0,06	0,04	0,03	0,9	0,24	0,05	0,04	0,2	0,25	0,14	1,17
		0,024	0,027	0,013	0,02	0,06	0,1	0,03	0,01	0,03	0,02	0,03	0,3	0,03	0,2	0,18	0,86	0,065	0,12	
Медь**	0,007	0,012	0,012	0,014	0,005	0,007	0,01	0,008	0,01	0,008	0,01	0,006	0,02	0,007	0,007	0,008	0,007	0,009	0,01	1
		0,007	0,007	0,007	0,009	0,005	0,01	0,006	0,01	0,006	0,01	0,007	0,01	0,006	0,005	0,009	0,008	0,005	0,01	
Цинк**	0,2	1,698	1,661	1,896	0,16	0,14	0,22	0,561	0,54	0,61	0,16	0,17	2,4	0,39	0,38	0,49	0,06	0,068	0,66	22
		0,011	0,047	0,026	0,051	0,05	0,03	0,017	0,02	0,01	0,06	0,05	0,05	0,01	0,02	0,01	0,03	0,019	0,03	
Аммоний**	0,03	Сл	0,03	0,03	0,1	0,12	0,29	0,29	0,29	0,34	0,1	0,12	0,08	Сл	0,03	0,03	0,14	0,18	0,14	1,17
		0,03	0,11	0,1	0,09	0,24	0,11	0,03	0,12	0,1	0,06	0,06	0,09	0,04	0,22	0,17	0,34	0,07	0,12	
Нитраты**	3,76	0,86	0,85	0,98	2,04	2,32	7,12	0,93	0,92	1,15	2,04	2,44	6,82	1,06	1,05	1,34	2,43	3,1	2,29	3,58
		0,18	0,52	1,28	0,67	1,17	0,3	0,16	0,34	0,67	0,8	1,22	0,37	0,19	0,35	0,76	0,83	1,12	0,64	
Нитриты**	Сл	Сл	Сл	Сл	0,006	0,007	Сл	0,032	0,04	0,045	0,01	0,01	0,09	0,013	0,01	0,012	0,02	0,02	0,02	2
		0,007	0,025	0,016	0,002	0,002	0,01	0,005	0,02	0,014	0,002	0,01	0,01	0,005	0,02	0,014	0,003	0,002	0,01	
ХПК**	29,42	39,21	19,6	19,22	18,94	19,66	45,9	9,81	29,4	18,1	21,67	20,3	48,64	19,64	39,2	18,41	20,92	19,7	25,43	1
		26,8	28,6	42,7	6,6	24	14,9	29,4	34,2	42,7	10,1	18	11,6	26,8	36	44,6	21	14	25,41	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
т	Сл	Сл	Сл	Сл	Сл	Сл	Сл	Сл	Сл	Сл	Сл	Сл	Сл	Сл	Сл	Сл	Сл	Сл	–	–

		0,03	0,08	0,09	0,04	Сл	0,07	0,02	0,12	Сл	0,04	0,02	0,11	0,06	0,11	0,03	0,04	0,02	0,06	
БПК ₅	2,15	3,01	3,28	1	1,5	1,4	2,54	0,53	0,57	0,9	1,8	1,8	2,6	1,02	1,16	1,9	2,3	1,9	1,74	0,69
		1,82	4,85	2,09	1,45	2,21	2,46	2,69	4,39	1,79	1,03	2,16	2,8	2,81	3,53	1,49	2,36	3,29	2,54	

* в мае 2013 года в верховьях пруда пробоотбор не был осуществлен по объективным причинам (наличие ледяного покрова).

** - в верхней части ячейки указано значение концентрации определенного компонента в 2010 году, а в нижней – 2013 года голубым цветом показано меньшее значение, а красным - большее.

Наибольшей кратностью снижения характеризуются концентрации следующих поллютантов: цинк (в 22 раза), фосфаты (в 4,5 раза), нитраты (в 3,58 раза), железо общее (в 2,5 раза) (Табл. 14). Следует отметить, что остальные химические показатели также демонстрируют понижение концентраций, но кратность их небольшая. Исключением являются нитраты, так как в 2010 году их измерения не проводилось. При сравнении показателей 2010 и 2013 гг. среднестатистического повышения величин не наблюдалось.

Следует отметить, что кратность уменьшения гидрохимических показателей четвертого года (2013 г.) биологической реабилитации путем структурной перестройки фитопланктонного сообщества значительно выше по сравнению с годом начала работ (2010 г.) по сравнению с предыдущим (2012 г.). следовательно можно говорить о наличии тренда на снижение показателей в течение всех четырех лет проведения биореабилитации.

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 затруднительным 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.11 – 16).

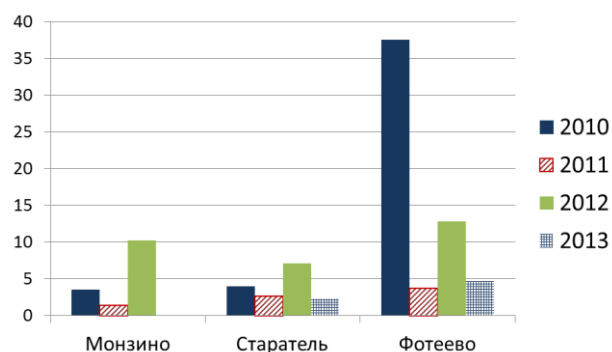


Рис.11 – динамика изменения ИЗВ Нижнетагильского городского пруда в мае 2010-2013 гг.

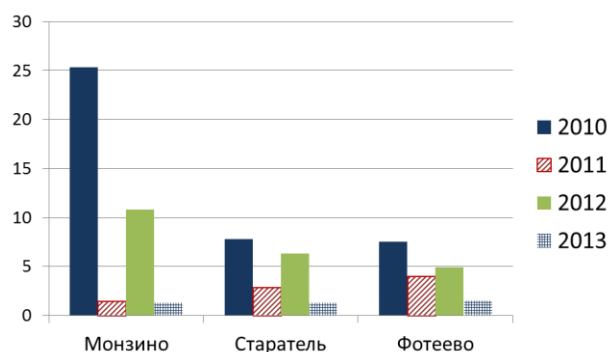


Рис.12 – динамика изменения ИЗВ Нижнетагильского городского пруда в июне 2010-2013 гг.

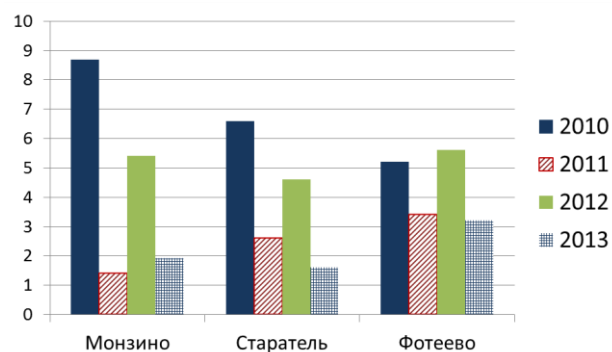


Рис.13 – динамика изменения ИЗВ Нижнетагильского городского пруда в июле 2010-2013 гг.

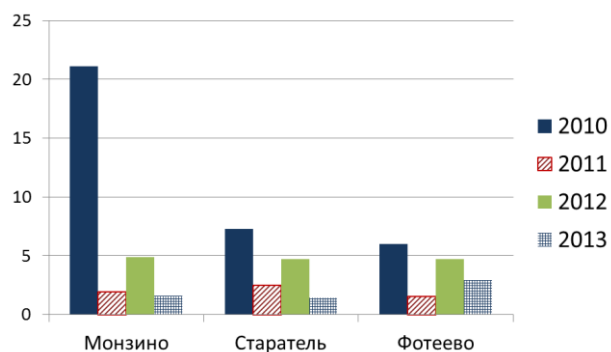


Рис.14 – динамика изменения ИЗВ Нижнетагильского городского пруда в августе 2010-2013 гг.

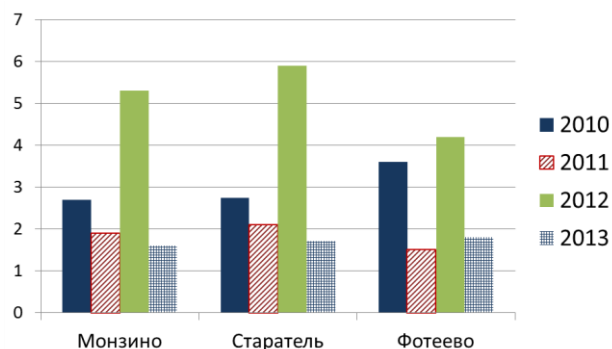


Рис.15 – динамика изменения ИЗВ Нижнетагильского городского пруда в сентябре 2010-2013 гг.

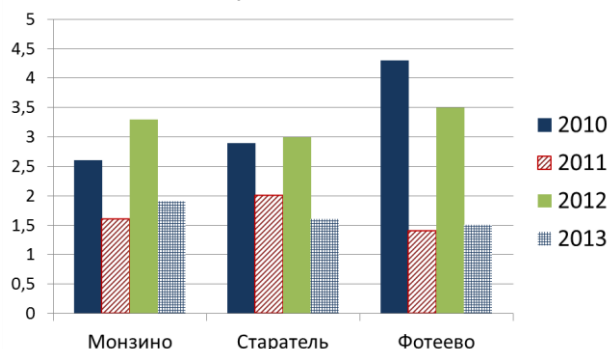


Рис.16 – динамика изменения ИЗВ Нижнетагильского городского пруда в октябре 2010-2013 гг.

Таблица к рисункам 11 – 16.

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.
1	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
2	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

3	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 14 – средние значения ИЗВ Нижнетагильского городского пруда в 2010 – 2013 гг.

Точка	2010	2011	2012	2013
Монзино	1,77 (3)	1,14 (3)	2,66 (4)	1,41 (3)
Старатель	1,83 (3)	2 (3)	4,74 (5)	1,41 (3)
Фотеево	1,99 (3)	1,41 (3)	4,27 (5)	1,26 (3)

В скобках указан класс качества воды в зависимости от значения ИЗВ.

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 точке «Монзино» воды относились к четвертому классу, и оценивались как «Загрязненные» воды. А на точках «Старатель» и «Фотеево» - 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» (табл. 3).

Экологическая ситуация по гидрохимическим показателям стабильно держится, за исключением данных 2012 года, предоставленных ФГУП РосНИИВХ (г. Екатеринбург), на уровне третьего класса качества вод. Тогда как, техногенное загрязнение имеет перманентный характер. Следовательно, научно-обоснованная, длительная (четыре года) биологическая реабилитация Нижнетагильского городского пруда методом коррекции альгоценоза сдерживает уровень загрязнения. В связи с тем, что интенсивность работы промпредприятий города не снижается, то для поддержания стабильной относительно благоприятной экологической ситуации требуется продолжение проведения работ по альголизации городского пруда.

4.2. Фитопланктон, его разнообразие, динамика.

В составе фитопланктона Нижнетагильского городского пруда по результатам исследований 2010-2013 гг. зарегистрировано 456 таксонов рангом ниже рода (видов, подвидов, вариаций и форм), относящихся к девяти отделам (Прил.4, Табл.4.5), из которых Cyanoprokariota являются прокариотами, а остальные восемь – отделами эукариотического царства растений.

Роль отделов в формировании видового состава альгоценоза Нижнетагильского водохранилища неравноценна. В целом преобладающими группами являются диатомовые и зеленые водоросли (Рис., 17 А), что типично для водоемов умеренной зоны. Ощутимый вклад (более 10%) в видовое разнообразие вносят эвгленовые водоросли.

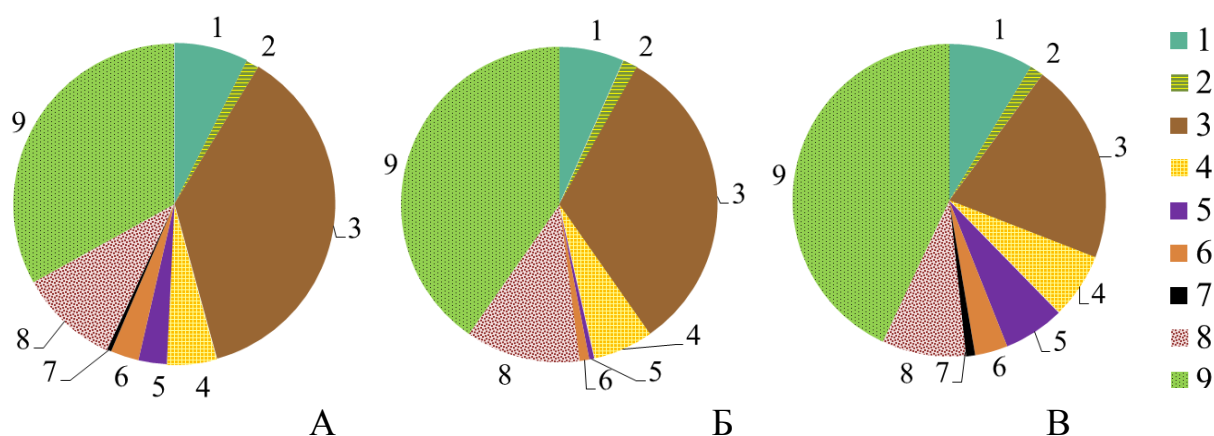


Рис.17 – соотношение отделов фитопланктона Нижнетагильского водохранилища по числу видов

Таблица значений и условных обозначений к рисунку 17

№ на рис.	Отдел	Видовое разнообразие за период					
		А		Б		В	
		2010-2013		2012		2013	
		Число видов	Доля, %	Число видов	Доля, %	Число видов	Доля, %
1	Cyanoprokariota	34	7,46	13	6,63	18	8,70
2	Xanthophyta	6	1,32	3	1,53	3	1,45
3	Bacillariophyta	169	37,06	63	32,15	43	20,77
4	Chrysophyta	22	4,82	12	6,12	14	6,76
5	Cryptophyta	13	2,85	1	0,51	13	6,28
6	Dinophyta	13	2,85	2	1,02	7	3,38
7	Raphidophyta	2	0,44	0	0,00	2	0,96
8	Euglenophyta (Euglenozoa)	46	10,09	23	11,73	18	8,70
9	Chlorophyta	151	33,11	79	40,31	89	43,00
Всего за период		456	100,00	196	100,00	207	100,00

В спектр семи рангов ведущих родов альгофлоры Нижнетагильского водохранилища по видовому разнообразию вошли представители четырех отделов: Chlorophyta, Bacillariophyta, Euglenophyta и Cryptophyta (Табл. 15).

Таблица 15 – спектр ведущих родов

Ранг	Название рода	Число видов	Доля во флоре, %
1.	<i>Scenedesmus</i>	27	5,92
2.	<i>Nitzschia</i>	20	4,39
3.	<i>Navicula</i>	19	4,17
4.	<i>Trachelomonas</i>	15	3,29
5.	<i>Euglena</i>	12	2,63
6.	<i>Synedra</i>	10	2,19
7.	<i>Aulacoseira</i> , <i>Cryptomonas</i> , <i>Phacus</i>	По 9	По 1,97

Среди зеленых водорослей наиболее богатым в видовом отношении является род *Scenedesmus* (= *Desmodesmus*) (Табл. 15), среди диатомовых наибольшим числом видов представлены роды *Navicula* и *Nitzschia*, среди эвгленовых – роды *Trachelomonas* и *Euglena*. Ранговое положение родов практически соответствует вкладу отделов, к которым они относятся, в суммарное видовое разнообразие альгофлоры. Ведущее положение зеленых водорослей как на уровне отделов, так и в родовом спектре свидетельствует о невысокой степени эвтрофикации. Это подчеркивает срединное положение в спектре таких родов эвгленовых как *Trachelomonas* и *Euglena*, ранговое положение которых прямо пропорционально отражает степень органического загрязнения.

Поскольку, сравнительный анализ годовых изменений 2010 и 2012 гг. был дан в предыдущих отчетах, в данной работе большее внимание уделено особенностям альгоценозов, как и комплексам зоопланктона, 2012 и 2013 гг.

В видовом разнообразии двух последних лет наибольшую роль играют зеленые водоросли (Рис.17, Б, В), причем их доля больше показателей по итогам четырехлетних исследований (Рис., 17 А), а доля 2013 года больше, чем

доля 2012 г. Это вероятно является результатом стимулирующего действия микроводоросли хлореллы, эффект которого усиливается при многократном и длительном вселении её в водохранилище. В 2012 и 2013 гг. появляются ряд новых за период исследований видов, среди которых наиболее часто встречаемыми являются в большинстве своем β -мезотрофные индифферентные к солености и pH виды *Didymocystis planctonica* Korsch., *Monoraphydium irregulare* (G. M. Sm.) Kom.-Legn., *Oocystis borgii* Snow, *O. lacustris* Chod., *Pandorina morum* (Müll.) Bory, *Scenedesmus bicaudatus* Deduss., *Schroederia setigera* (Schrod.) Lemm. Среди часто встречаемых в данные два года только один вид является α -мезосапробным – *Oocystis tenuis* Ag. (Прил. 4, Табл.4.6).

Относительные показатели синезеленых водорослей по количеству видов в 2013 году незначительно увеличиваются по сравнению со среднегодовыми показателями за четыре года и данными 2012 года. Особенностью структуры данного года является наибольшие показатели относительного разнообразия отделов Cryptophyta и Dinophyta, тогда как в 2012 году доли были наименьшими за все четыре года исследования. Кроме того, только в 2013 году были зарегистрированы виды отдела Raphidophyta. Только в составе альгофлоры 2012 года зафиксировано 117 видов и форм водорослей. Впервые в 2013 году зарегистрировано 132 вида и формы. Высокие показатели долей новых видов мы связываем с тем, что, во-первых, фитопланктонные водоросли являются в большинстве мелкоклеточными организмами с r-стратегией выживания, а соответственно, для них характерны явления резких «вспышек» и «спадов» плотности популяции. Чувствительность ежемесячных сборов для таких организмов относительно мала. Во-вторых, определение таксономического состава проводилось разными специалистами, сотрудниками разных организаций.

Доля диатомовых водорослей в последние два года исследований уменьшается по сравнению со среднегодовыми показателями. Исчезает ряд видов, среди которых более многочисленными *Aulacoseira muzzanensis* (Meist.) Krammer, алкалобионтный *Cyclostephanos dubius* (Fricke) Round, эвтрофный вид *Fragilaria brevistriata* Grun. var. *brevistriata*, β -мезотрофные *Navicula hungarica*

Grun., *Aulacoseira granulata* var. *muzzanensis* (Meist.), *A. italica* var. *tenuissima* (Grun.) Sim., алкалофильный олиго-β-мезосапробионт *Stephanodiscus rotula* (Kütz.) Hendeby.

Золотистые и желто-зеленые водоросли в структуре флоры 2013 и 2012 гг. занимают практически одинаковые доли, причем близкие к средним по итогам четырех лет исследований. Тем не менее, качественный состав их меняется, а именно, многочисленные в 2012 году виды *Pseudokephyrion schilleri* Conr., *Dinobryon elegans*, *D. sociale* Her., *Chrysococcus biporus* Skuja., *Stenokalyx inconstans* уступают свое место в 2013 году таким видам как *Dinobryon sertularia* Ehr., *Kephyrion rubri-claustrii* Conrad.

Судя по линии тренда (Рис. 18), общее видовое разнообразие водорослей, регистрируемых одновременно, возрастает.

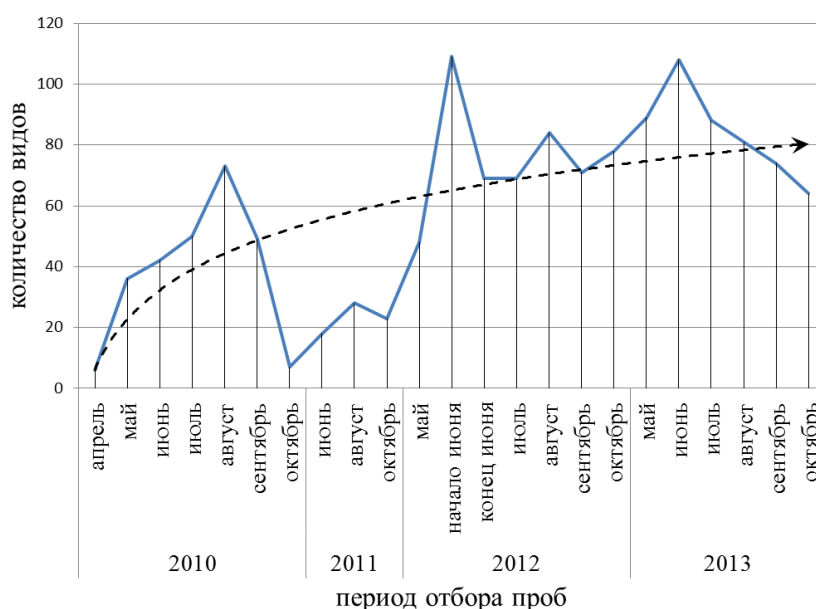


Рис.18 – динамика суммарного видового разнообразия фитопланктона Нижнетагильского городского пруда

Таблица значений и условных обозначений

Год	2010						2011			2012						2013							
месяц	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	июнь	август	октябрь	май	начало июня	конец июня	июль	август	сентябрь	октябрь	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
число видов, форм и подвидов	6	36	42	50	73	49	7	18	28	23	48	109	69	69	84	71	78	89	108	88	81	74	64

—> линия тренда динамики количества видов

Наибольшее число видов обнаруживается либо в конце лета (2010-2011 гг.), либо в начале лета (2012-2013 гг.). 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.). Таким образом, вселение хлореллы в течение четырех лет не повлекло за собой уменьшение суммарного видового разнообразия аборигенных видов водорослей. Более того, альголизация этим видом стимулирует развитие иных видов зеленых водорослей.

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

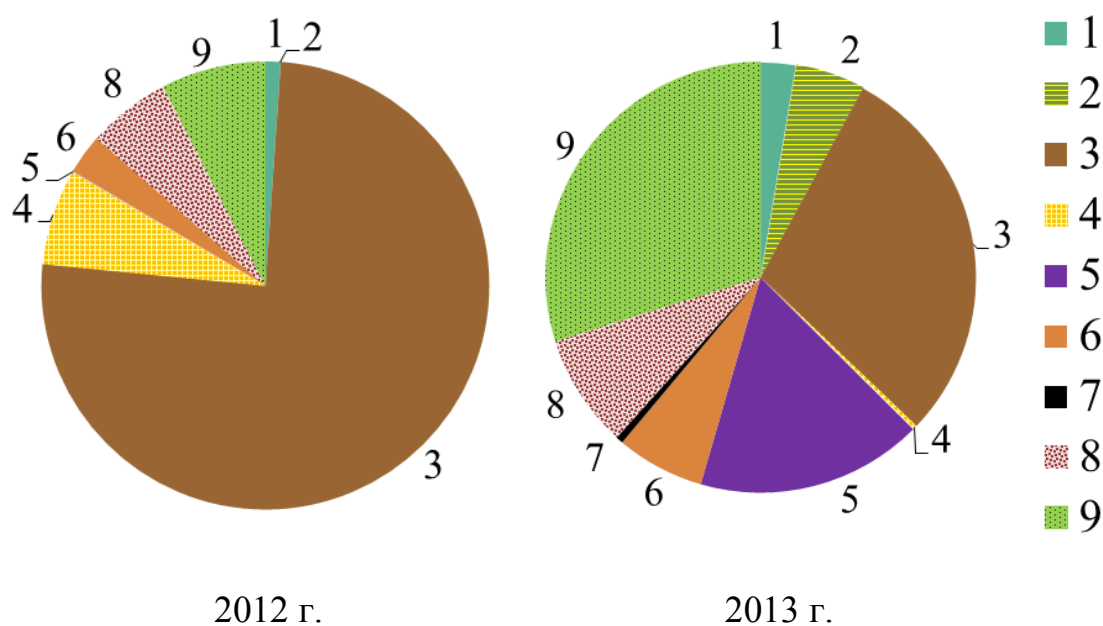


Рис. 19 – соотношение отделов фитопланктона по биомассе.

Таблица значений и условных обозначений

№ на рис.	Отдел	Средняя арифметическая биомасса			
		2012		2013	
		Абсолютные показатели, г/м ³	Доля, %	Абсолютные показатели, г/м ³	Доля, %
1	Cyanoprokariota	0,143464	1,095	0,05113	2,62
2	Xanthophyta	0,000354	0,003	0,10283	5,27
3	Bacillariophyta	9,886786	75,459	0,571666	29,28
4	Chrysophyta	0,909643	6,943	0,005927	0,30

5	Cryptophyta	0,004408	0,034	0,33231	17,02
6	Dinophyta	0,377821	2,884	0,12934	6,62
7	Raphidophyta	0	0	0,01076	0,55
8	Euglenophyta (Euglenozoa)	0,790357	6,032	0,16613	8,50
9	Chlorophyta	0,989286	7,550	0,58264	29,84
Всего за период		13,10223	100,000	1,95271	100,00

Структуры отделов альгофлоры по биомассе двух последних годов исследования значительно отличаются. Если в 2012 году более $\frac{3}{4}$ биомассы занимали представители одного отдела – диатомовых, то в 2013 году эти же $\frac{3}{4}$ приходится уже на три отдела, из которых наибольшие показатели зафиксированы для зеленых и диатомовых. В тройку ведущих отделов последнего года исследований входит отдел криптофитовых, весьма малозначительный в структуре флоры 2012 года.

Высокие показатели биомассы диатомовых в 2012 году обусловлены в основном высокой численностью небольшого количества видов: алкалофильного α -мезосапробного *Stephanodiscus hantzschii* Grun. In Cl. Et Grun., индифферентного β -мезосапробного *Aulacoseira granulata* Sim. f. *granulata* и индифферентного олиго- β -мезосапробного *Fragilaria crotonensis* Kitt., массовое размножение которых наблюдалось в верховьях водохранилища (точка отбора №4) в течение нескольких месяцев. В отдельные периоды в создании основы биомассы диатомовых значительную роль играли виды, предпочитающие щелочную реакцию и умеренное загрязнение (β -мезосапробные водоемы) *Melosira varians* Ag. (май), *Synedra ulna* (Nitzsch.) Her. var. *ulna*, *S. acus* Kütz. и *Nitzschia fruticosa* Hust. (= *S. actinastroides* Lemm.) (июнь) (Прил. 4, табл. 4.2.). Следует отметить, что биомасса диатомовых 2012 года в низовьях изучаемого водоема по абсолютным показателям аналогична средней биомассе отдела в 2013 году.

Среди зеленых водорослей наибольший вклад в суммарную биомассу отдела в 2012 году вносит ацидофильный олиго- β -мезосапротрофный вид как *Staurastrum gracile* Ralfs, многочисленный с июля по сентябрь в основном в низовьях водохранилища (точка отбора №1) (Прил. 4, табл. 4.2.).

Показатели биомассы ведущих отделов альгофлоры 2013 г. формируются за счет большого числа малочисленных видов, среди которых наибольшие показатели биомассы зарегистрированы для таких видов *Staurastrum chaetoceros* (Schrod.) G.M. Smith, *Chlamydomonas monadina* Stein, *C. globosa* Snow, *C. incerta* Pasch., *Chlorella vulgaris* Beij., *Gloeomonas mucosa* (Korsch.) Ettl, *Oocystis borgii* Snow, *Scenedesmus falcatus* Chod., *Closterium acutum* (Lyngb.) Bréb. var. *linea* (Perty) W. et G. West. (Chlorophyta), *Trachelomonas hispida* (Perty) emend. Defl., *T. intermedia* Dang., *T. oblonga* Lemm., *T. volvocina* Ehr. (Euglenophyta), *Actinocyclus variabilis* (Makar.) Makar., *Asterionella formosa* Hassall, *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim., *Stephanodiscus hantzschii* Ehr., *S. acus* var. *radians* (Kütz.) Hust. (Bacillariophyta).

Суммарные показатели биомассы (Рис. 20) испытывают значительные колебания.

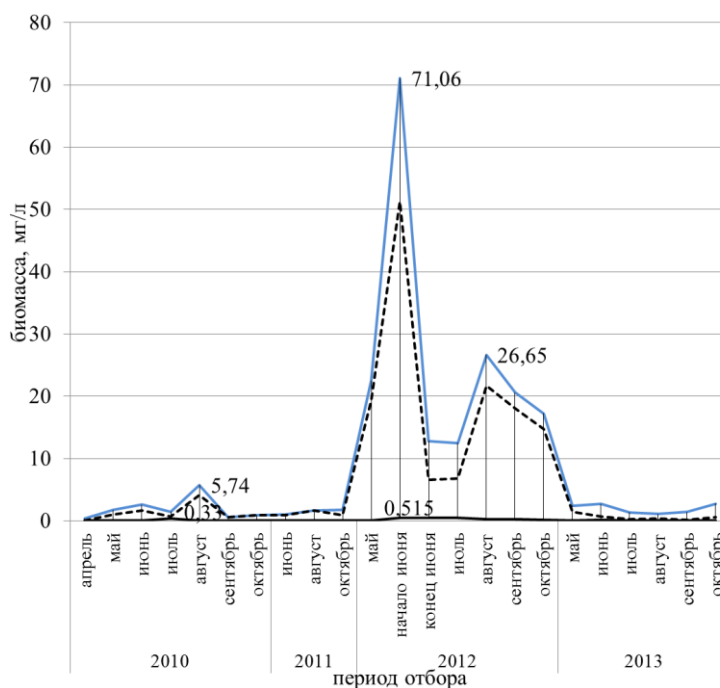


Рис.20 – динамика биомассы фитопланктона Нижнетагильского водохранилища

Таблица значений и условных обозначений

Биомасса	2010						2011			2012						2013						
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	июнь	август	октябрь	май	начало июня	конец июня	июль	август	сентябрь	октябрь	май	июнь	июль	август	сентябрь

 Cyanoprokariota	0	0,0084	0,3546
Bacillariophyta	0,0051	1,0263	1,7223
	0,0008	1,6069	2,6141
	0,3276	0,7045	1,4505
	0,0257	4,1672	5,7391
	0,0009	0,5354	0,6266
	0	0,8908	0,8908
	0	0,8722	0,9596
	0	1,6892	1,689
	0	0,9347	1,7179
	0,0085	19,2850	22,54425
	0,515	51,2900	71,05615
	0,45	6,5850	12,84306
	0,42	6,8200	12,515
	0,205	21,6750	26,64805
	0,26	18	20,6187
	0,15	14,7600	17,20446
	3	1,41002	2,402944
	6	0,72519	2,685886
	6	0,28143	1,374623
	8	0,33414	1,089742
	8	0,11694	1,40889
	7	0,56228	2,754199
Суммарная			

В частности показатели биомассы водорослей 2012 года на порядок превышают подобные показатели остальных годов периода исследований. Причем в 2012 году наблюдалось два периода массового размножения водорослей: в начале лета и в конце лета – осенью. Значительная доля (от 2-85%, в среднем 59,08%) от суммарной биомассы приходится на диатомовые водоросли (Рис.20). На синезеленые водоросли приходится весьма незначительная доля биомассы (от 0 до 6,9%, в среднем 2,28% от суммарной биомассы) (Рис.20), что обусловлено, скорее всего, несмотря на устойчивое снижение концентраций к концу четырехлетней биологической реабилитации, превышением ПДК по тяжелым металлам. Так как среди диатомовых токсичных видов не обнаружено, а биомасса цианобактерий незначительная, то загрязнение опасными метаболитами водорослей Нижнетагильского водохранилища за период исследования невысокое.

Среди водорослей к концу четырехлетней биологической реабилитации водохранилища возрастает число видов, чувствительных к мутности воды. Например, появляются такие виды как *Anabaena affinis* Lemm., *A. flos-aquae* Bréb., *A. planctonica* Brunnth. (*A. scheremetievi* Elenk.), *A. sigmoidea* Nyg., *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz., *M. pulvereae* (Wood) Forti emend. Elenk., *M. wesenbergii* Kom., что возможно, объясняется снижением показателей по параметрам взвешенные частицы и цветность (Табл. 12.). Гидрохимические данные по данным показателям подтверждает увеличение доли бентосных и планктонно-бентосных видов фитопланктона, начиная уже с 2011 года.

4.3. Зоопланктон, его разнообразие, динамика

За период с 2010 по 2013 гг. в составе зоопланктона Нижнетагильского водохранилища зарегистрировано 145 видов, относящихся к шести крупным группам: подцарству Простейшие (Protozoa), типу Коловратки (Rotifera), классу Насекомые (Insecta, Arthropoda), классу паукообразные (Arachnida, Arthropoda) и двум группам класса Ракообразные (Crustacea, Arthropoda): подотряду Ветвистоусые (Cladocera) и отряду Веслоногие (Copepoda) (Прил.5, табл.5.6.). Роль в видовом разнообразии данных групп неравноценна (Рис., 21 А).

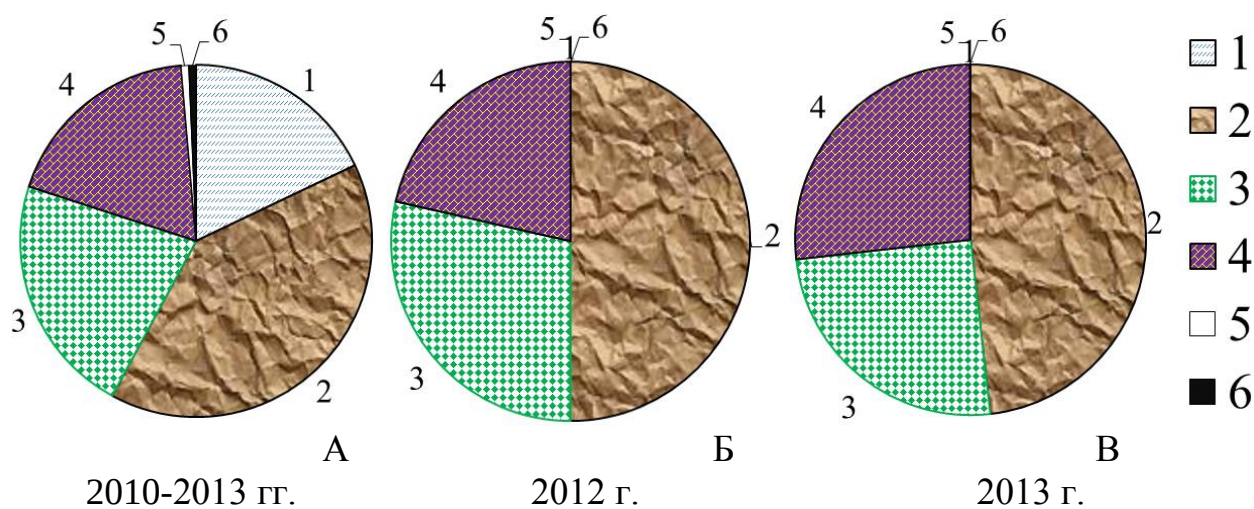


Рис.21 – соотношение основных таксонов зоопланктона Нижнетагильского водохранилища по видовому разнообразию

Таблица значений и условных обозначений

№. Название таксона	2010-2013		2012		2013	
	Кол-во видов	Доля, %	Кол-во видов	Доля, %	Кол-во видов	Доля, %
1. Простейшие (Protozoa)	26	17,9	0	0	0	0
2. Коловратки (Rotifera)	58	40	35	50	27	48,2
3. Ветвистоусые раки (Cladocera)	32	22,1	20	28,6	14	25
4. Веслоногие раки (Copepoda)	27	18,6	15	21,4	15	26,8
5. Насекомые (Insecta)	1	0,69	0	0	0	0
6. Паукообразные (Arachnida)	1	0,69	0	0	0	0
Сумма	145	100	70	100	56	100

Ведущее место в видовом разнообразии как в фауне планктона 2012 г., так и 2013 г. занимают коловратки (Рис.21 Б,В), причем их доля за эти года выше среднего за период исследований (Рис.21 А).

Группы ракообразных включают приблизительно сходное количество видов. Если в целом по итогам 2010-2013 гг небольшое преимущество по

видовому разнообразию принадлежит ветвистоусым, то отдельные годы, например, в 2013 году соотношение меняется, то есть веслоногие несколько преобладают на ветвистоусыми.

Только в составе фауны зоопланктона 2012 встречаются 35 видов, среди которых наиболее многочисленным является олигосапробный *Asplanchna herricki* Guernt. Остальные виды, выявленные в этом году впервые, являются малочисленными, а по предпочитаемости трофности водоема – олиго-, β -, β - α -мезосапробными.

Количество впервые обнаруживаемых видов в 2013 году снижается, что является закономерным для длительных исследований, и равно 29. Из них весьма значительный вклад в обилие вносит вид *Metacyclops gracilis* (Lill.). Остальные виды являются очень малочисленными.

Простейшие фиксировались в пробах только в первые два года исследований. Их исчезновение объясняется, по-видимому, двумя причинами: либо отсутствием нужной квалификации (протозоолог) специалистов команды РосНИИВХ, либо результатом разрушения простейших в результате фиксации и транспортировки на значительно большее расстояние в 2013 г, чем в предыдущий год.

Видовое разнообразие зоопланктона в течение вегетационных сезонов 2010-2013 гг. имеет характерные для континентальных водоемов два максимума, при этом первый, весенний максимум в видовом разнообразии значительно уступает летнему, который неуклонно возрастает с июня по сентябрь и характеризуются значительно более высокими показателями (Рис. 22).

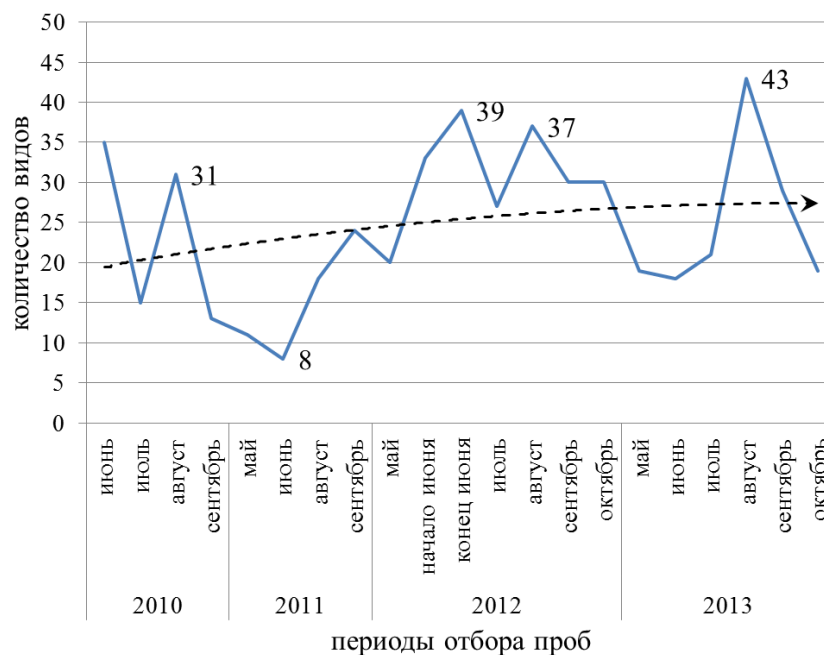


Рис.22 – динамика видового разнообразия зоопланктона Нижнетагильского водохранилища

Таблица значений и условных обозначений

2010				2011				2012						2013						
июнь	июль	август	сентябрь	май	июнь	август	сентябрь	май	начало июня	конец июня	июль	август	сентябрь	октябрь	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
35	15	31	13	11	8	18	24	20	33	39	27	37	30	30	19	18	21	43	29	19

Сохранение высокого разнообразия в сентябре, по-видимому, связано с аномально высокими летними температурами в последние два года. Фактически, в конце сентября в водохранилище еще сохраняется летняя фауна.

Судя по линии тренда (Рис. 22), суммарное число видов зоопланктона, обнаруживаемых за один период, увеличивается. Наименьшее разнообразие характерно для фауны зоопланктеров 2011 года, что может быть следствием воздействия аномально высоких температур предыдущего года, из-за которых на следующий год развилась фауна наиболее выносливых к перегреву и недостатку кислорода видов.

Соотношение биомассы зоопланктона двух последних лет исследований отличается долями коловраток и ветвистоусых (Рис.23).

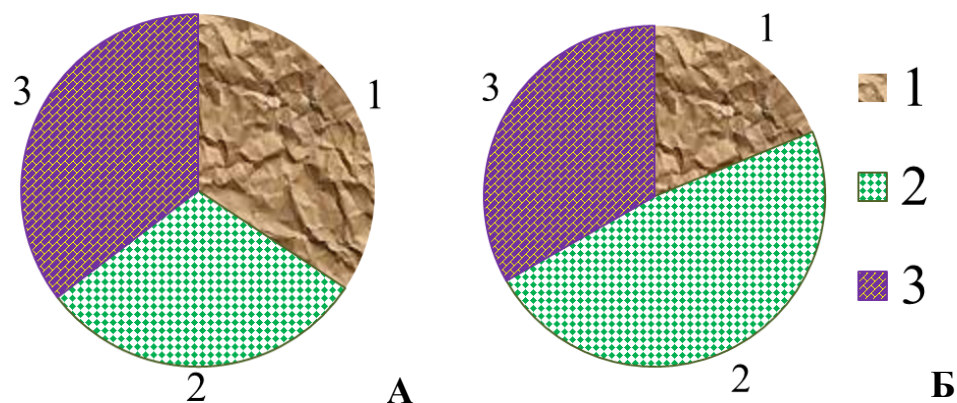


Рис. 23— соотношение основных таксонов зоопланктона Нижнетагильского водохранилища по средней арифметической биомассе.

Таблица значений и условных обозначений

№ на рисунке	Название отдела	А, 2012 г.		Б, 2013 г.	
		Абс. значения биомассы, мг/м ³	Доля, %	Абс. значения биомассы, мг/м ³	Доля, %
1	Rotifera	336,3418	34,34	141,5357	18,82
2	Cladocera	296,8533	30,31	360,4654	47,94
3	Copepoda	346,1835	35,35	249,9351	33,24
Итого		979,3786	100,00	751,9361	100,00

Для фауны 2012 года (Рис.23 А) характерно преобладание по биомассе веслоногих и коловраток, обладающих практически равными вкладами в суммарную биомассу. Основу биомассы 2013 года создают ветвистоусые (Рис.,23 Б), которые в предыдущем году занимали наименьшую долю (Рис.,23 А).

Состав видов, обладающих наибольшей биомассой по итогам вегетационных сезонов 2012 и 2013 гг., также различен. В состав наиболее массовых видов только в 2012 года входят *Thermocyclops crassus* и, тогда как в 2013 году наибольшей суммарной биомассой характеризовались такие виды как *Bosmina coregoni* Baird, *Daphnia cucullata* Sars, *D. galeata* Sars, *Eudiaptomus gracilis* (Sars), *E. graciloides* (Lilljeborg). Сходство основ биомассы создают личиночные стадии весноногих рачков и коловратка *Asplanchna priodonta* Gosse, 1850.

В течение вегетационных сезонов 2012 – 2013 гг наблюдается смена основных таксонов в образовании биомассы зоопланктона (Рис.24)

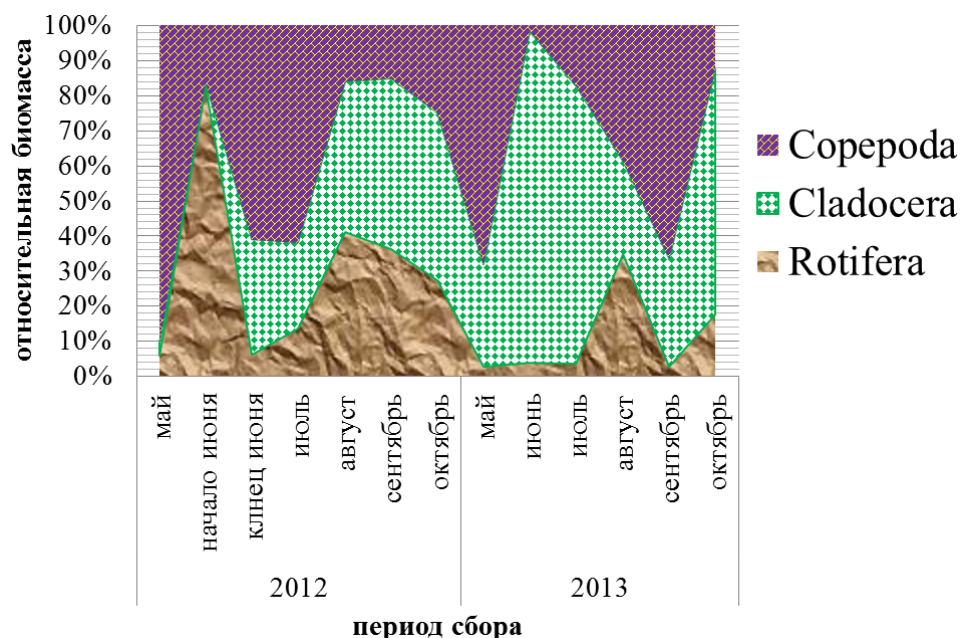


Рис.24 – динамика относительной биомассы основных таксонов зоопланктеров

Таблица значений и условных обозначений к рисунку.

Название таксона	2012							2013					
	май	начало июня	Конец июня	июль	август	сентябрь	октябрь	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
Rotifera	5,86	82,7	6,05	13,4	40,9	36,2	27,1	2,58	3,82	3,4	34,63	2,84	17,37
Cladocera	3,62	0,9	32,85	24,6	43,15	48,5	48	29,26	94,47	79,4	26,69	30,75	70,09
Copepoda	90,52	16,4	61,1	62	15,95	15,3	24,9	68,16	1,71	17,2	38,68	66,41	12,54
Итого, %	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

В весенний и осенние периоды основу биомассы составляют веслоногие рачки. Летняя биомасса образуется в основном за счет ветвистоусых и, особенно во второй половине лета, коловраток. Особенностью соотношений биомассы основных таксонов 2012 года является преобладание коловраток не только во второй половине лета, но и в начале июня.

Для наглядности отображения изменения суммарной биомассы зоопланктона средние арифметические величины обследованных точек сбора по данному показателю представлены на рисунке (Рис.25.).

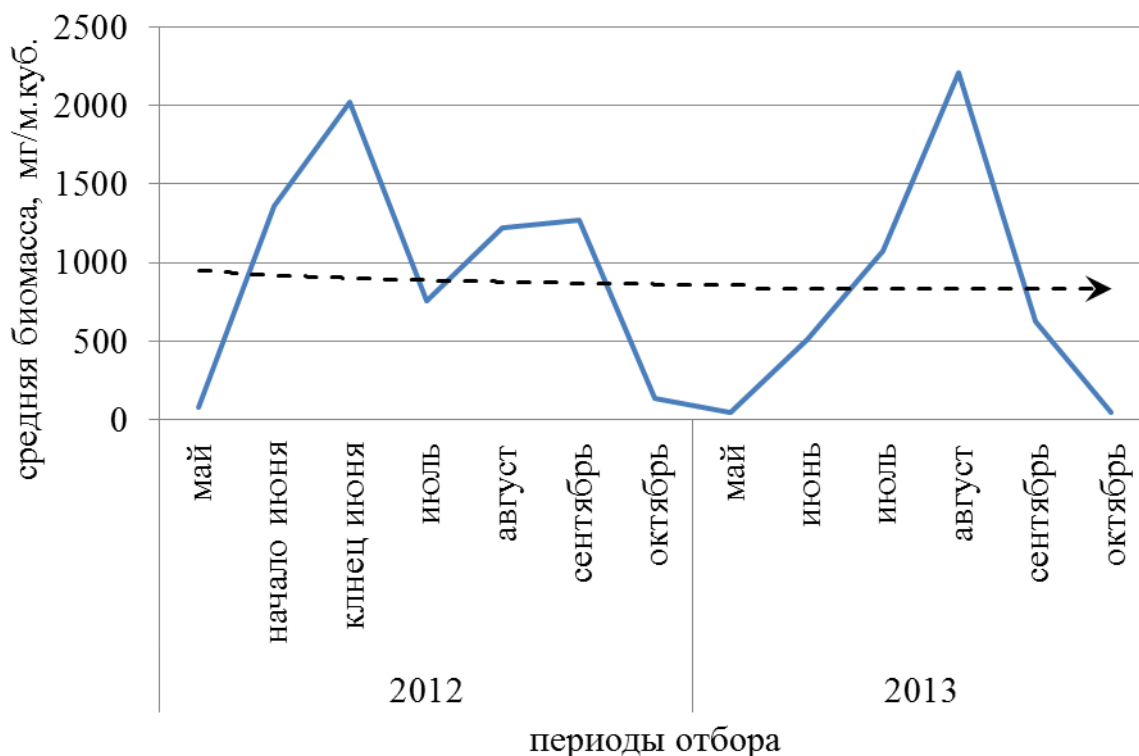


Рис.25 – динамика суммарной биомассы (мг/м^3) зоопланктона
Нижнетагильского городского пруда

Достаточно высокими показатели суммарной биомассы обладает зоопланктон в летний период. Закономерное снижение наблюдается лишь в октябре, когда наблюдаются первые заморозки. Если характер динамики биомассы в 2012 году имеет характер двухвершинной кривой с пиками в начале и конце лета, то в 2013 году единственный пик приходится на конец лета. Спад биомассы в конце июля, возможно, связан с тем, что всю третью декаду наблюдалось понижение температур ниже нормы. Кроме того, именно в данный период было зафиксировано одно из наибольших превышений ПДК по цинку (Прил. 3).

Судя по линии тренда (Рис.25) в целом за период с 2012 по 2013 гг. наблюдается тенденция к небольшому снижению биомассы зоопланктона.

4.4. Анализ экологического состояния акватории по комплексным гидрохимическим и биологическим показателям

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 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 2013 г. В результате ранжирования видов по относительному обилию выделены все шесть групп: спорадичные или редкие, малочисленные, среднечисленные, субдоминанты, доминанты и супердоминанты (Рис. 26).

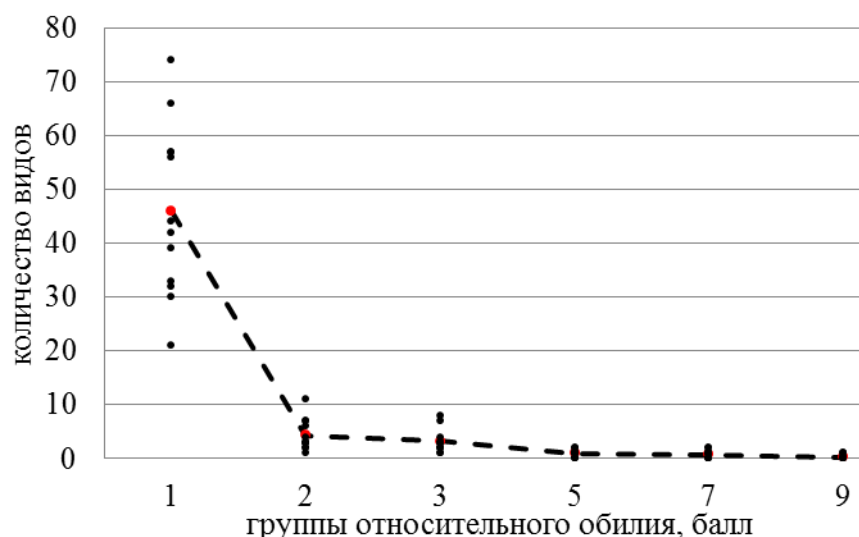


Рис.26 – распределение видового разнообразия групп видов фитопланктона Нижнетагильского водохранилища по относительному обилию за 2013 г.

Таблица значений условных обозначений к рисунку.

Дата	Место отбора	баллы					
		1	2	3	5	7	9
• • • май	Монзино	57	4	4	1	1	0
	Фотеево	56	3	3	1	0	1
• • • июнь	Монзино	57	2	2	2	1	0
	Фотеево	74	2	3	0	2	0
• • • июль	Монзино	21	3	3	0	0	1
	Фотеево	66	7	1	1	1	0
• • • август	Монзино	30	3	3	1	2	0
	Фотеево	42	7	1	2	1	0

· · · сентябрь	Монзино	44	3	8	1	0	0
	Фотеево	33	11	7	1	0	0
· · · октябрь	Монзино	32	1	2	0	0	1
	Фотеево	39	6	2	1	1	0
— Среднее арифметическое		46	4,3	3,3	0,9	0,8	0,3

Во флоре всех проб наибольшее число видов обладает спорадическим обилием, поэтому они были отнесены в группу с балльной характеристикой 1. Виды доминантных групп (с баллами 5, 7 и 9) обладают наиболее бедным видовым составом.

Для того чтобы выяснить степень устойчивости структуры альгоценоза, было проведено сравнение соотношения групп видов по относительному обилию с соотношением кривой Раункиера (Рис. 27).

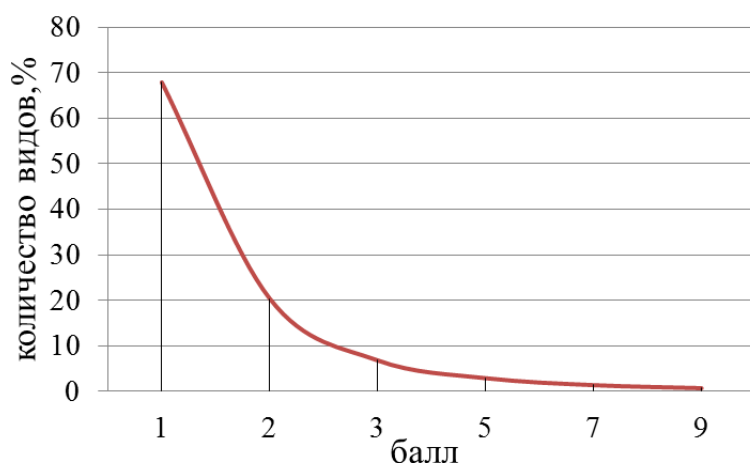


Рис. 27 – кривая Раункиера.

Показателем устойчивости сообщества видов является близость к соотношению кривой Раункиера (Рис.27) – логарифмической кривой, образующейся при наличии в сообществе обратной пропорциональной зависимости между баллом группы относительного доминирования видов и количеством входящих в неё видов.

При усреднении данных (штрихпунктирная линия рисунка 26) видового разнообразия групп водорослей за 2013 г. образуется кривая, которая весьма близка к кривой идеального сообщества. Основное отклонение – заниженные показатели малочисленных видов (с балльной характеристикой 2). Следовательно, структура альгоценоза Нижнетагильского городского пруда свидетельствует об достаточно высокой степени устойчивости за счет

выравнивания и уменьшения долей видов суб-, и супердоминантов, увеличенных долей очень редких, или спорадичных, видов. Следует отметить, что биологическая реабилитация путем коррекции альгоценоза нисколько не нарушает баланс между видами аборигенной флоры, а, стимулируя развитие других зеленых водорослей, только способствует успешному развитию редких и малочисленных видов.

Анализ процессов эвтрофикации водоема, в т.ч. на основе оценки эколого-биологического качества вод, дает основание делать определенные выводы и рассматривать их как природно-антропогенные экосистемы. Сбалансированность процессов самоочищения вод, которая обеспечивается не только различными биохимическими процессами, но также гидробионтами. Сообщества низших водорослей являются непосредственными участниками процесса саморегуляции водной экосистемы. Они выступают как биологические индикаторы, позволяющие проводить эколого-биологическую оценку состояния водохранилища.

Согласно сложившимся представлениям, процесс эвтрофикации вод приводит к увеличению сапробности. Сапробность показывает экологическое состояние водоема в зависимости от количества и степени активности процессов разложения органического вещества автохтонного и аллохтонного происхождения. Она оценивается по способности организмов развиваться в воде с различными величинами содержания органических загрязнений.

За четыре года исследования зарегистрировано 164 вида и формы водорослей-индикаторов сапробности и 46 видов зоопланктона, для которых известны индивидуальные индексы сапробности.

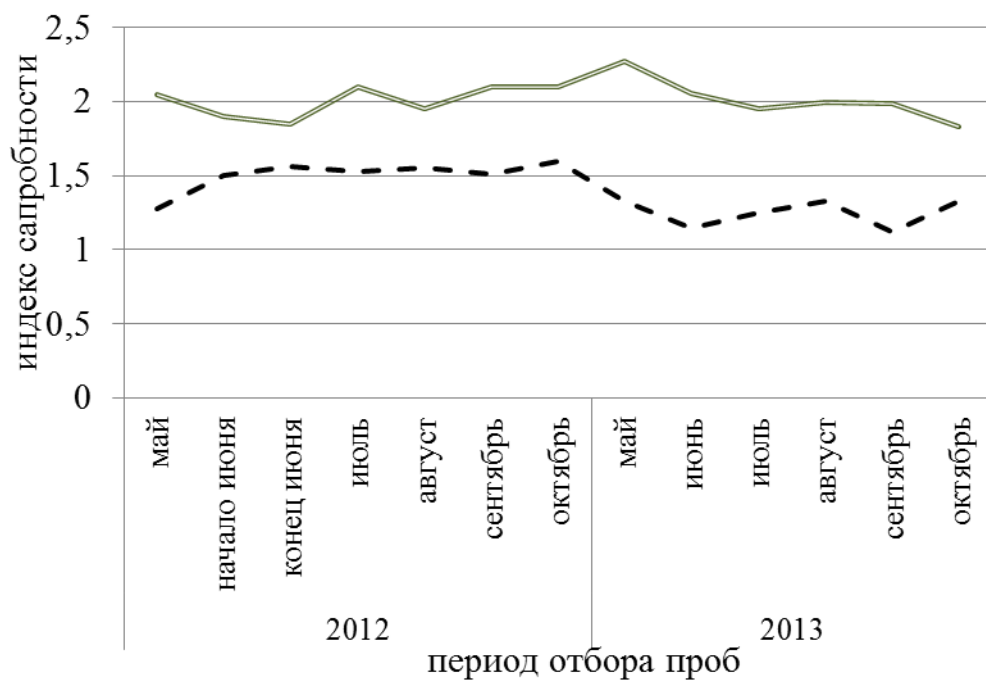


Рис.28 – динамика индекса сапробности Пантле-Букка

Таблица значений и условных обозначений к рисунку.

Группа организмов	2012							2013					
	май	начало июня	конец июня	июль	август	сентябрь	октябрь	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
--- зоопланктон	1,28	1,5	1,56	1,53	1,55	1,51	1,6	1,327	1,151	1,254	1,331	1,123	1,331
— фитопланктон	2,05	1,9	1,85	2,1	1,95	2,1	2,1	2,275	2,057	1,948	1,998	1,990	1,8325

Так как среди одновременно встречаемых видов зоопланктона было выявлено недостаточное количество видов индикаторов, то есть менее 12, индексы этой группы за 2012 и 2013 гг. следует считать ориентировочными. Поэтому основной упор при создании выводов о классе чистоты вод Нижнетагильского городского пруда делали на показатели сапробности фитопланктона.

Индекс сапробности Пантле-Букка, вычисленный для фитопланктона, в течение 2012-2013 гг. испытывал незначительные флуктуации в пределах от 1,83 до 2,275. Среднее арифметическое данного показателя равно 2,01, что соответствует III классу вод – вод с умеренным загрязнением или зоне с α-мезосапробным состоянием. Кроме того, все преобладающие виды зоопланктона и фитопланктона, для которых известна приуроченность к

определенной зоне сапробности, за период исследования, за исключением 2012 года, предпочитают олиготрофные, олиго-β-мезотрофные или α-мезо-олиготрофные водоёмы.

Для вычисления коэффициента, выражающего видовое разнообразие двух родов коловраток: *Brachionus* и *Trichocerca* на основе данных видового состава (Прил.5) составлена таблица 16.

Таблица 16 – соотношение видового разнообразия некоторых родов-индикаторов коловраток

Род \ Год	2010	2011	2012	2013	Сред. арифм., $\bar{x}$
<i>Brachionus</i>	1	2	3	5	2,75
<i>Trichocerca</i>	1	1	2	3	1,75
$Q_{B/T}$	1	2	1,5	1,67	1,54

Так как индекс $Q_{B/T}$ Нижнетагильского городского пруда варьирует в промежутке от 1,0 до 2,0, поэтому был отнесен нами к мезотрофному типу водоемов, что подтверждает ранее полученные выводы иными способами как гидрохимическими, так и биологическими.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании положительного заключения, сделанного на основе биологической пробы воды Нижнетагильского городского пруда в течение 2010-2013 гг. осуществлена биологическая реабилитация путем альголизации штаммом *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111. Общий бъем альголизанта, вселенного в Леновское водохранилище и Нижнетагильских городской пруд составил 8397 л плотностью от 50 млн. до $2,5 \cdot 10^9$ кл/см³.

ГИДРОХИМИЯ

По результатам биологической реабилитации пруда в 2013 года нами выделены три группы поллютантов по частоте снижения в пробах. Наиболее часто наблюдалось снижение показателей таких гидрохимических параметров как цинк, медь, нитриты, полифосфаты и цветность. Следовательно, биологическая реабилитация оказывает на данные показатели наиболее сильное влияние.

В ходе анализа изменения содержания цинка за четырехлетний период проведения биологической реабилитации Нижнетагильского городского пруда была выявлена интересная закономерность. В 2010 году концентрация цинка (точка «Монзино») составляла 54 ПДК – влияние Левихи. В 2011 году, когда проводилась трехкратная альголизация Леновского водохранилища, концентрация цинка была на уровне ПДК. В 2012 году, когда альголизация Леновского водохранилища не проводилась концентрация цинка составляла 17,6 ПДК, а в 2013 – когда проводилась двухкратная альголизация Леновского водохранилища – концентрация цинка составляла 2 ПДК.

В этой связи, ООО НПО «Альгобиотехнология» рекомендует в 2014 и последующих годах проводить комплексную шестикратную альголизацию Леновского водохранилища и Нижнетагильского городского пруда.

Снижение халькофильных тяжелых металлов можно объяснить частичным поглощением клетками хлореллы, а частично химическим осаждением под действием атомарного кислорода.

Снижение концентрации биогенов также обусловлено поглощением

миксотрофными видами водорослей, в том числе хлореллой, доля которых в видовом разнообразии и биомассе альгоценоза в 2013 г. увеличена вследствие биологической реабилитации.

Снижение такого органолептического показателя как цветность объясняется по всей вероятности уменьшением биомассы и численности крупноклеточных и нитчатых форм синезеленых водорослей.

Снижение концентрации сидерофильных тяжелых металлов и других компонентов этой группы обусловлено теми же причинами, что и снижение концентрации поллютантов первой группы за исключением взвешенных веществ. Понятие природы этого процесса требует дополнительных исследований.

Наименее подвержены влиянию биологической реабилитации путем коррекции альгоценоза такие поллютаты как нитраты, нефтепродукты, биохимическое и химическое потребление кислорода.

Выделение данных групп поллютантов весьма условное, поскольку их концентрации зависят не только биологических факторов, но и от абиотических (температура, давление, инсоляция, количество осадков и их распределение по сезонам и т.п.).

Кроме того была посчитана кратность снижения концентрации ведущих поллютантов в 2013/2012 гг.: цинк (в 6 раз), фосфаты (в 4,5 раза), медь (в три раза), аммонийный азот и нитриты (в два раза). Следует отметить, что все остальные химические показатели также демонстрируют понижение концентраций, но кратность их небольшая. При сравнении показателей 2012 и 2013 гг. среднестатистического повышения величин не наблюдалось.

Кратность снижения концентрации ведущих поллютантов в четвертый год проведения биологической реабилитации методом коррекции альгоценоза (2013 год) по сравнению с данными года начала работ (2010) по ряду компонентов обладает наибольшей выраженностью: цинк (в 22 раза), фосфаты (в 4,5 раза), нитраты (в 3,58 раза), железо общее (в 2,5 раза).

На основании приведенных данных можно говорить о наличии тренда на

снижение показателей в течение всех четырех лет проведения биореабилитации.

Для полноты отражения изменения качества воды Нижнетагильского городского пруда приведем анализ ранжирования качества воды на основе ИЗВ.

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 точке «Монзино» воды относились к четвертому классу, и оценивались как «Загрязненные» воды. А на точках «Старатель» и «Фотеево» - 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»

Экологическая ситуация по гидрохимическим показателям стабильно держится, за исключением данных 2012 года, предоставленных ФГУП РосНИИВХ (г. Екатеринбург), на уровне третьего класса качества вод. Тогда как, техногенное загрязнение имеет перманентный характер. Следовательно, научно-обоснованная, длительная (четыре года) биологическая реабилитация Нижнетагильского городского пруда методом коррекции альгоценоза сдерживает уровень загрязнения. В связи с тем, что интенсивность работы промпредприятий города не снижается, то для поддержания стабильной относительно благоприятной экологической ситуации требуется продолжение проведения и увеличение объема работ (шесть раз в год) по альголизации Нижнетагильского городского пруда и Леновского водохранилища.

ФИТОПЛАНКТОН

В составе фитопланктона Нижнетагильского городского пруда по результатам исследований 2010-2013 гг. зарегистрировано 456 таксонов рангом ниже рода (видов, подвидов, вариаций и форм), относящихся к девяти отделам. В целом преобладающими группами по числу видов являются диатомовые (37,06% от суммарного количества видов) и зеленые водоросли (33,11%), что

типично для водоемов умеренной зоны. Ощутимый вклад в видовое разнообразие вносят эвгленовые водоросли (10,09%) и цианобактерии (7,46%).

Ведущее положение зеленых водорослей как на уровне отделов, так и в родовом спектре свидетельствует о невысокой степени эвтрофикации. Это подчеркивает срединное положение в спектре таких родов эвгленовых как *Trachelomonas* и *Euglena*, ранговое положение которых прямо пропорционально отражает степень агрязнения биогенными элементами.

В видовом разнообразии двух последних лет наибольшую роль играют также зеленые водоросли, причем их доля больше показателей по итогам четырехлетних исследований. Это, вероятно, является результатом стимулирующего действия микроводоросли хлореллы, эффект которого усиливается при многократном и длительном вселении её в водоем. В 2012 и 2013 гг. появляются ряд новых за период исследований видов, среди которых наиболее часто встречаемыми являются в большинстве своем β -мезотрофные индифферентные к солености и pH виды.

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

Структуры отделов альгофлоры по биомассе двух последних годов исследования значительно отличаются. Если в 2012 году более $\frac{3}{4}$ биомассы занимали представители одного отдела – диатомовых, то в 2013 году эти же $\frac{3}{4}$ приходятся уже на три отдела: зеленые, диатомовые и криптофитовые. Высокие показатели биомассы водорослей в 2012 году обусловлены в основном высокой численностью небольшого количества видов, индифферентных или предпочитающих щелочную реакцию, а также умеренное загрязнение. Показатели биомассы ведущих отделов альгофлоры 2013 г. формируются за счет большого числа малочисленных видов.

Суммарные показатели биомассы в течение вегетационных сезонов 2010-2013 гг. испытывают значительные колебания в промежутке значений от 0,355 до 71,056 мг/л. Наибольшие показатели биомассы, наблюдавшиеся в 2012 году,

на порядок превышают подобные показатели других годов. Так как цветения водорослей в данный год не наблюдалось ни местными жителями, ни сотрудниками предприятия-заказчика, ни сотрудниками ООО НПО «Альгобиотехнология», увеличение значений биомассы, возможно, определялось особенностями пробоотбора и определения показателей сотрудниками РосНИИВХ.

Значительная доля (в среднем 59,08% от суммарной биомассы) от суммарной биомассы приходится на диатомовые водоросли. Синезеленые водоросли играют незначительную роль (в среднем 2,28%), что обусловлено, с одной стороны угнетением видами ведущих отделов альгоценоза, а с другой стороны, превышением ПДК по тяжелым металлам, к которым цианобактерии весьма чувствительны.

Среди водорослей к концу четырехлетней биологической реабилитации водохранилища возрастает число видов, чувствительных к мутности воды, а также увеличиваются доли бентосных и планктонно-бентосных видов фитопланктона. Все это обусловлено снижением показателей по параметрам взвешенные частицы и цветность.

ЗООПЛАНКТОН

За период с 2010 по 2013 гг. в составе зоопланктона Нижнетагильского водохранилища зарегистрировано 145 видов, относящихся к шести крупным группам: подцарству Простейшие (Protozoa), типу Коловратки (Rotifera), классу Насекомые (Insecta, Arthropoda), классу паукообразные (Arachnida, Arthropoda) и двум группам класса Ракообразные (Crustacea, Arthropoda): подотряду Ветвистоусые (Cladocera) и отряду Веслоногие (Copepoda). Ведущее место в видовом разнообразии как в фауне планктона 2012 г., так и 2013 г. занимают коловратки, причем их доля за эти года выше среднего за период исследований.

Простейшие фиксировались в пробах только в первые два года исследований. Их исчезновение объясняется, по-видимому, двумя причинами: либо отсутствием нужной квалификации (протозоолог) специалистов команды РосНИИВХ, либо результатом разрушения простейших в результате фиксации

и транспортировки на значительно большее расстояние в 2013 г, чем в предыдущий год.

В динамике видового разнообразия зоопланктона, регистрируемого за один период, прослеживается тенденция к увеличению. Наименьшее разнообразие характерно для фауны зоопланктеров 2011 года, что может быть следствием воздействия аномально высоких температур предыдущего года, из-за которых на следующий год развилась фауна небольшого числа наиболее выносливых к перегреву и недостатку кислорода видов.

Для фауны 2012 года (Рис.23 А) характерно преобладание веслоногих и коловраток, занимающих практически равные доли от суммарной биомассы года (35,35% и 34,34 % соответственно). Основу биомассы 2013 года (47,94%) создают ветвистоусые, которые в предыдущем году занимали наименьшую долю. Общими для видового состава преобладающих видов по биомассе 2012 и 213 гг. являются личиночные стадии весноногих рачков и коловратка *Asplanchna priodonta* Gosse, 1850.

За период с 2012 по 2013 гг. наблюдается тенденция к небольшому снижению биомассы зоопланктона.

Поскольку альголизация водоема является одним из видов вмешательства в водную экосистему, необходимым пунктом исследований является анализ изменения степени устойчивости альгоценоза планктона. При усреднении данных видового разнообразия групп водорослей, выделенных по относительному обилию, за 2013 г. образуется кривая, которая весьма близка к кривой Раункиера (кривой идеального сообщества). Основное отклонение – заниженные показатели малочисленных видов (с балльной характеристикой 2). Следовательно, структура альгоценоза Нижнетагильского городского пруда свидетельствует об достаточно высокой степени устойчивости за счет выравнивания и уменьшения долей видов суб-, и супердоминантов, увеличенных долей очень редких, или спорадических, видов. Следует отметить, что биологическая реабилитация путем коррекции альгоценоза несколько не нарушает баланс между видами аборигенной флоры, а, стимулируя развитие

других зеленых водорослей, только способствует успешному развитию редких и малочисленных видов.

В видовом составе флоры и фауны планктона Нижнетагильского городского пруда зарегистрировано 164 вида и формы водорослей-индикаторов сапробности и 46 видов зоопланктона, для которых известны индивидуальные индексы сапробности. Индексы сапробности Пантле-Букка, вычисленные по зоопланктону за период с 2012 и 2013 гг. следует считать ориентировочными. Нижнетагильский городской пруд по ряду биологических показателей был отнесен к III классу вод (воды с умеренным загрязнением) или к зоне с α -мезосапробным состоянием, так как:

- 1) индекс сапробности Пантле-Букка, вычисленный для фитопланктона, в течение 2012-2013 гг. испытывал незначительные флюктуации в пределах от 1,83 до 2,275, а среднее арифметическое данного показателя равно 2,01,
- 2) все преобладающие виды зоопланктона и фитопланктона, для которых известна приуроченность к определенной зоне сапробности, за период исследования, за исключением 2012 года, предпочитают олиготрофные, олиго- β -мезотрофные или α -мезо-олиготрофные водоёмы.
- 3) индекс $Q_{B/T}$ варьирует в промежутке от 1,0 до 2,0, а среднее его значение составляет 1,54.

Список литературных и веб-источников:

1. Brundin L. Chironomiden und andere Bodentiere der sudschwedischen Urgebirgs-seen. – Rep. Inst. Freshwat. Res. Drottningholm, 1949, 30. – 914 pp.
2. Ettl H. Chlorophyta. Phytomonadina // Susswasserflora von Mitteleuropa. – Jena, 1983. Bd 9. – 807 p.
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 - 2nd Edition, Vienna, 1995-2002.
7. Fauna Europaea [Электронный ресурс] – Режим 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, Morphologie und Systematik der Brackwasser Diatomeen. Pflanzenforschung. H.1. 1927.
11. Komarek J., Anagnostidis 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, 1991a. – 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. Pantle R., Buck H. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. – GWF 96/18/ - 1955. – 604 s.
18. Part. 3. Adult males // Ent. Scand. Suppl. №34. – Lund, Sweden, 1989. – 532 pp.
19. Popovsky J., Pfister L. Dinophyceae (Dinoflagellata) // Susswasserflora von Mitteleuropa. Jena, 1990. – 272 p.
20. Sládeček V. Diatoms as indicators of organic pollution // Acta Hydrochim. Hydrobiol. 1986. V. 14, No. 5. – P. 555-566.
21. Sládeček V. Rotifers as indicators of water quality. Путь доступа: www.abctaxa.be/.../Sladecek_1983.pdf/download
22. Sládeček V. System of water quality from biological point of view // Ergebnisse der Limnologie. Heft. 7, 1973. – P. 218.
23. Starmach K. Chrysophyceae und Haptophyceae // Susswasserflora von Mitteleuropa, Jena; Stuttgart, 1985. Bd 1. – 515p.
24. Wegl R. Index für die Limnosaprobität // Wasser und Abwasser. 1983. Bd 26. – 175 s.
25. Wiederholm T. (Ed.) Chironomidae of the Holarctic region. Keys & diagnoses. Part. 1. Larvae // Ent. Scand. Suppl. №19. – Lund, Sweden, 1983. – 457 pp.
26. Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. – СПб., 2001. – 147 с.
27. Асаул З.І. Визначник евгленових водоростей Української РСР. – Київ, 1975. – 406 с.
28. 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>

- 29.Балушкина Е. В., Винберг Г. Г. Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных // Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер. – Л.: Наука, 1979. – С. 58–79.
- 30.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.
- 31.Барина С.С. Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив, 2006. 498 с.
- 32.Барина С.С., Медведева Л.А. Атлас водорослей-индикаторов сапробности. – Владивосток: Дальнаука, 1996. – 364 с.
- 33.Белякова Р.Н. и др. Водоросли, вызывающие "цветение" водоемов северо-запада России / Р.Н. Белякова, Л.Н. Волошко, О.В. Гаврилова, Р.М. Гогорев, И.В. Макарова, Ю.Б. Окологков, Л.А. Руднина. – М.: Товар-во науч. изд-ний КМК, 2006. – 367с.
- 34.Богданов Н.И. Биологическая реабилитация водоемов. – Пенза, 2008. – 137 с.
- 35.Богданов Н.И., Асанов А.Ю. Прудовое рыбоводство. – 3 изд., доп. – Пенза, 2011. – 89 с.
- 36.Власова Е. Я. Регулирование качества окружающей среды в крупнейших городах: Организационно-экономический аспект: диссертация ... кандидата экономических наук : 08.00.05. - Екатеринбург, 2002. - 256 с.
- 37.Водные ресурсы Свердловской области / Под науч. ред. Н. Б. Прохоровой; ФГУП РосНИИВХ. – Екатеринбург, 2004 – С. 128-130.
- 38.Водоросли. Справочник / Вассер С.П., Кондратьева Р.В., Масюк Н.П. и др. – Киев: Наук.думка, 1989. – 608с.
- 39.Водохранилища Урала. Справочник. ЦБНТИ Минводхоза СССР, Москва, 1988. – 195 с.
- 40.Генкал С.И. Атлас диатомовых водорослей планктона реки Волги. С-Пб., 1992. 128 с.

41. Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып.2. Синезеленые водоросли. – М.: Сов. Наука, 1953. – 652 с.
42. Гольд З.Г., Гольд В.М. Общая гидробиология: Учебно-метод. пособ.– 2-е изд., перераб. – Красноярск: Сиб. федерал.ун-т, 2013. – с.
43. ГОСТ 17.1.3.07-82 Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. 20 с.
44. ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков.
45. ГОСТ Р 51592-2000. «Вода. Общие требования к отбору проб»;
46. 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
47. Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л., 1985. – 244 с.
48. Дедусенко-Щеголева Н.Т., Голлербах М.М. Определитель пресноводных водорослей СССР; вып.5. Желто-зеленые водоросли – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1962. – 272 с.
49. Дедусенко-Щеголева Н.Т., Матвиенко А.М., Шкорбатов Л.А. Зеленые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 8. Класс Вольвоксовые. (Chlorophyta: Volvocineae). – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1959. – 230 с.
50. Дзюбан И. А., Кузнецова С. П. О гидробиологическом контроле качества вод по зоопланктону // Научные основы контроля качества вод по гидробиологическим показателям / Тр. Всесоюзной конференции, Москва, 13 ноября 1978 г. – Л., 1978. – С. 160-166.
51. Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные. – Л., 1974. – Т. I. – 403 с.
52. Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные. – Л., 1988. – Т. II. – Вып. 1. – 116 с.

- 53.Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные. – СПб., 1992. – Т. II. – Вып. 2. – 125 с.
- 54.Диатомовый анализ. – Л., 1949-1950. – Кн.1-3.
- 55.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.
- 56.Жадин В.И. Методы гидробиологического исследования. – М., 1960. – 189 с.
- 57.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.
- 58.Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып.4. Диатомовые водоросли – М.: Сов. Наука, 1951. –620 с.
- 59.Зимбалева Л.Н., Сухойван П.Г., Черногоренко М.И. Беспозвоночные и рыбы Днепра и его водохранилищ. – Киев, 1989. — 245 с.
- 60.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.
- 61.ИСО 5667/1. Качество воды. Отбор проб. Часть 1. Руководство по составлению программы отбора проб.
- 62.ИСО 5667/2. Качество воды. Отбор проб. Часть 2. Руководство по методам отбора проб.
- 63.ИСО 5667/3. Качество воды. Отбор проб. Часть 3. Руководство по хранению и обработке проб.
- 64.Капустин В.Г., Корнев И.Н. География Свердловской области. Учеб. пособ. – Екатеринбург: Изд-во Дом учителя, 2000. – 300 с.
- 65.Киевское водохранилище. Гидрохимия, биология, продуктивность. – Киев: Наук, думка, 1972. — 450 с.
- 66.Киселев И.А. Пирофитовые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 6. – М.: Сов.наука, 1954. – 212с.

67. Количественные методы экологии и гидробиологии: сб. науч. тр. / Под. ред. Г.С. Розенберга. – Тольятти: СамНЦ РАН, 2005. – 404 с.
68. Кондратьева Н. В. Морфология и систематика гормоногиевых водорослей, вызывающих «цветение» воды в Днепре и днепровских водохранилищах. – Киев, 1972. – 149 с.
69. Кондратьева Н.В. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. I. Синьо-зелені водорості – Cyanophyta. Ч. 2. Клас Гормогонієві – Hormogoniophyceae. – Київ, 1968. – 523 с.
70. Кондратьева Н.В., Коваленко О.В. Краткий определитель видов токсических синезеленых водорослей. – Киев, 1975.
71. Коршиков О.А. Определитель пресноводных водорослей Украинской ССР. – Киев: Изд-во АН УССР, 1953. – 439 с.
72. Косинская Е.К. Конъюгаты или Сцеплянки. Десмидиевые водоросли. Выпуск 1. // Флора споровых растений СССР. Т. 5. – Л.: Изд-во АН СССР, 1960. – 706 с.
73. Красноярское водохранилище: мониторинг, биота, качество вод / под ред. А.Ф. Алимова, М.Б. Ивановой; отв. за вып. З.Г. Гольд. – Красноярск: СФУ, 2008
74. Кузьмин Г.В. Таблицы для вычисления биомассы водорослей. – Магадан. 1984. – 48 с.
75. Кутикова Л. А. Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Подкласс Eurotatoria (отряды Plomida, Monimotrochida, Paedotrochida) // В серии: Определители по фауне СССР. Л, 1970. – 744 с
76. Макрушин А.В. Библиографический указатель по теме "Биологический анализ качества вод" с приложением списка организмов-индикаторов загрязнения. – Л., 1974. – 52 с.
77. Макрушин А.В. Биологический анализ качества вод. – Л., 1974. – 60 с.
78. Матвієнко О.М. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. Золотисті водорості – Chryzophyta. Т. 3, ч. 1. – Київ, 1965. – 365 с.
79. Матвієнко О.М., Литвиненко Р.М. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. Пірофітові водорості – Rynophyta. Т. 3, ч. 2. – Київ: «Наукова думка», 1977. – 386 с.

80. Матвиенко А.М. Золотистые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 3. – М.: Сов.наука, 1954. – 188с.
81. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Отв. ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовской. – М.: Наука, 1975. – 239с.
82. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресных водоемах. Зоопланктон и его продукция. – Л.: 1982. – С 1 – 15.
83. Монаков А. В. Питание пресноводных беспозвоночных – М., 1998. – 320 с.
84. Мошкова Н.А., Голлербах М.М. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып 10 (1). Зеленые водоросли. Класс Улотриксые. Chlorophyta: Ulotrichophyceae. Ulotrichales. – Л.: Наука, 1986. – 360с.
85. Нахшина Е.П. Микроэлементы в водохранилищах Днепра. – Киев: Наук, думка, 1993. – 160 с.
86. Национальный атлас России. Том 2. Природа. Экология. М.: Роскартография, 2007. – 495 с.
87. 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.
88. 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.
89. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Том 2. Ракообразные: Листоногие, Ветвистоусые, Веслоногие, Остракоды, Кумовые, Мизиды, Изоподы, Декаподы, Амфиподы. – СПб., 1995. – 628 с.
90. Определитель пресноводных водорослей СССР. Синезеленые водоросли. – М., 1953. – Вып. 1-12.

91. Паламарь-Мордвинцева Г.М. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 11(2). Зеленые водоросли. Класс Конъюгаты. Порядок Десмидиевые. Chloropyta. Conjugatophyceae. Desmidiales (2). – Л., 1982. – 624 с.
92. Патова Е.Н. Цианопрокариотическое «цветение» водоемов восточноевропейских тундр (флористические и функциональные аспекты) // Теоретические проблемы экологии. №3, 2007.
93. Попов А.Н. Особенности восстановления маловодных объектов после маловодных периодов / А. В. Попов // Водное хозяйство России. 2011. – №6. – С. 18-23.
94. Попова Т.Г. Эвгленовые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 7. – М.: Сов.наука, 1955. – 282с.
95. 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>
96. Прошкина-Лавренко А.И. Диатомовые водоросли – показатели солености воды // Диатомовый сборник. – Л., 1953. Вып. I. – С. 187-205.
97. РД 118-0290. Методическое руководство по биотестированию воды. - М., 1991.
98. Розенберг Г.С. Волжский бассейн: на пути к устойчивому развитию. – Тольятти: ИЭВБ РАН, Кассандра, 2009. – 477 с.
99. Романенко В.Д. Основы гидроэкологии. – Киев: Генеза, 2004. – 664 с.
100. 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.
101. Россолимо Л.Л. Изменение лимнических экосистем под воздействием антропогенного фактора – М., 1977. – 144 с.
102. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Под ред. В.А. Абакумова. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 240с.
103. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / отв. ред. В.А. Абакумов и др. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 318 с.

104. СанПиН 2.1.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод»
105. Садчиков А.П. Методы изучения пресноводного фитопланктона. – М.: Университет и школа. 2003. – 157 с.
106. 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.
107. Сиренко Л.А. Физиолого-биохимические особенности синезеленых водорослей и задачи их изучения // “Цветение” воды. – Киев, 1969. – Вып. 2. – С. 7-64.
108. Скальская И.А. Зооперифитон водоемов бассейна Верхней Волги. – Рыбинск, 2002. – 256 с.
109. Сладечек В., Розмайлова В. Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. III. Индикаторы [обности. – М. Изд. отд. Упр. дел секр-та СЭВ. 1977. – 92 с.
110. Сливяк В. В. От Хиросимы до Фукусимы / Владимир Сливяк. - Москва : Эксмо, 2012. - 252 с.
111. Теоретические вопросы классификации озер / Отв. ред. Н.П. Смирнова. – СПб., 1993. – 360 с.
112. Трифонова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. – Л.: Наука, 1990. – 184 с.
113. Унифицированные методы исследования качества вод. Атлас сапробных организмов. – М., 1977. – 277 с.
114. Унифицированные методы исследования качества вод. Методы биологического анализа вод. Индикаторы сапробности. – М., изд-во СЭВ, 1975. – С. 21-31.
115. Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. 3, прил. 1. – М., 1977. – 91 с.

116. Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. 3, прил. 2. – М., 1977. – 228 с.
117. Формирование и регулирование качества воды рек Урала. / Под ред. Шахова И. С., Черняева А. М., Попова А. Н. – Красноярск, 1976. – 168 с.
118. Хендерсон-Селлерс Б.И., Маркленд Х.Р. Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования. 1990.
119. Царенко П.М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. – Киев: Наук. думка, 1990. – 208 с.
120. Царенко П.М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. – Киев: Наук.думка, 1990. – 206с.
121. Черная Л. В. Сравнительная эколого-физиологическая характеристика представителей гирудофауны Среднего Урала: дисс. ... кандидата биологических наук : 03.00.16. - Екатеринбург, 2003. - 194 с.
122. Черняев А. М. Зональность химического состава природных вод Урала // Природно-мелиоративное районирование Урала. – Красноярск, 1981. С. 72 – 86.
123. Чтения им. В.И. Вернадского, 2002. /Инф. ресурс <http://2002.vernadsky.info>.
124. 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.
125. 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/, свободный.

126. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. – М.: Наука, 2005. Т. 1. – 281 с.
127. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. – М.: Наука, 2005. Т. 2. – 337 с.
128. Экологический мониторинг. Методы биомониторинга. – Н. Новгород, 1995. – Часть 1. – 190 с.
129. Яковлев В.А. Оценка качества поверхностных вод Кольского Севера по гидробиологическим показателям и данным биотестирования (практические рекомендации) . – Апатиты, 1988. – 25 с.
130. Ярушина М. И., Танаева Г.В., Еремкина Т. В. Флора водорослей водоемов Челябинской области. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – 308 с.
131. Ярушина М.И., Еремкина Т.В. Диатомовые водоросли водоемов Челябинской области // Биология внутренних вод. Приложение к № 2, 2008. – С. 54-59.
132. Ярушина М.И., Еремкина Т.В. Фитопланктон эвтрофного озера Силач // Биоразнообразие и биоресурсы Урала и сопредельных территорий: Материалы Междунар. конф., Оренбург, 30-31 января 2001г. – Оренбург: Газпромпечатъ, 2001. – С. 50-52.