

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и инженерной экологии

(наименование института полностью)

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

(наименование кафедры)

18.04.01 Химическая технология

(код и наименование направления подготовки)

Экобиотехнология

(направленность (профиль))

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: Разработка мероприятий по использованию водоемов  
урбанизированных территории для рекреационных целей на  
примере каскада Васильевских озер

Студент

В.Р. Лозовая

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный  
руководитель

Е.П. Загорская

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель  
программы

к.х.н., д.т.н., доцент, С.В. Афанасьев

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018г.

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой

к.п.н., доцент, М.В. Кравцова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018г.

Тольятти 2018

## Оглавление

Введение.....	4
Глава 1 Экологические проблемы малых водоемов.....	6
на урбанизированных территориях .....	6
1.1 Эвтрофикация .....	6
1.2 Заиление .....	8
1.3 Зарастание .....	9
1.4 Химическое загрязнение .....	10
Глава 2 Общая характеристика каскада Васильевских озер.....	15
2.1 Морфометрическая характеристика Васильевских озер .....	15
2.2 Химические показатели Васильевских озер.....	20
2.3 Динамика состояния фитопланктона оз. Отстойник.....	22
2.4 Флористическое и эколого-географическое исследование фитопланктона оз. Отстойник в 2017 г. ....	30
2.5 Показатели количественного развития фитопланктона оз. Отстойник в 2017 году .....	39
2.6 Исследование воды оз. Отстойник на токсичность по смертности тест-объекта <i>Daphnia magna Straus</i> .....	43
2.7 Исследование химических показателей воды оз. Отстойник в 2018 г. ....	50
2.7.1 Определение кислотности воды .....	51
2.7.2 Определение сульфатов.....	51
2.7.3 Определение хлоридов .....	52
2.7.4 Определение фосфатов .....	53
2.7.5 Определение содержания катионов железа.....	54
2.7.6 Определение содержания катионов свинца .....	55
2.7.7 Определение содержания сухого остатка.....	56
Глава 3 Разработки оптимальных технологических мероприятий по восстановлению оз. Отстойник.....	58
3.1 Анализ методов очистки и восстановления малых водоемов на урбанизированных территориях .....	58

3.1.1 Удаление донных отложений.....	62
3.1.2 Химическая очистка.....	63
3.1.3 Принудительная аэрация.....	64
3.1.4 Методы биоманипуляции.....	65
3.1.5 Борьба с заилением и зарастанием водорослями и отмершими макрофитами.....	67
3.1.6 Применение биопрепаратов.....	69
3.1.7 Соблюдение рекреационной нагрузки.....	70
3.1.8 Альголизация.....	71
3.2 Мероприятия по очистки оз. Отстойник.....	72
3.2.1 Очистка прибрежной зоны от мусора.....	73
3.2.2 Удаление отмерших макрофитов.....	73
3.2.3 Биоремедиация.....	74
Заключение.....	77
Список используемых источников.....	79

## Введение

На протяжении последних десятилетий в связи с глобальным воздействием человека на природу остро встаёт вопрос сохранения природной среды и рационального использования природных ресурсов. Вода является одним из ценнейших ресурсов, который поддерживает устойчивое развитие человеческого общества.

Более широкое и глубокое воздействие человека на географическую среду можно заметить в быстром распространении культурных ландшафтов то есть в комплексах, в которых на всей или на большей их площади коренному изменению под воздействием человека подверглись если не все, то хотя бы один из компонентов ландшафта, в том числе и растительность [31,41]. Часть из них на первый взгляд сложно отличить природных, в качестве примера можно привести:

- озёра, которые располагаются в заброшенных карьерах;
- отвалы, которые заросли естественной растительностью;
- старые лесокультуры и так далее.

Крайний случай антропогенного изменения ландшафта является развитие на нем большого промышленного города [22].

Водотоки и водоёмы культурных ландшафтов подвергаются большим изменениям из-за увеличения населения, изменения гидрографической сети, преобразования площади водосбора, загрязнения коммунальными и промышленными сбросами, стоками с сельскохозяйственных угодий, и так далее. Это говорит о том, что важными задачами гидроэкологии и гидробиологии является прогнозирование возможных изменений и оценка состояния водных экосистем под влиянием антропогенных и внешних факторов, которые определяют оптимальные условия и степень эксплуатации экосистемы [2].

Антропогенное влияние на малые водоемы урбанизированных территорий становится все ощутимее с каждым годом.

Одними из таких водоемов являются Васильевские озера. В настоящее время экосистема Васильевских озёр испытывает нагрузку со стороны Северного промышленного узла городского округа Тольятти, сельского хозяйства со стороны расположенных рядом дачных массивов, транспортной магистрали, и испытывает рекреационную нагрузку, со стороны отдыхающих [11,33,47].

Проблема реабилитации водоемов на данный период времени является важным вопросом, которые требуют тщательного изучения.

В связи с этим поставлена основная **цель** - выявление основных экологических проблем водоема и разработки оптимальных мероприятий по его восстановлению, для дальнейшего его использования в рекреационных целях.

Для достижения данной цели поставлены следующие **задачи**:

- Анализ проблемы загрязнения и реабилитации малых водоемов урбанизированных территорий;
- Проанализировать многолетнюю динамику количественных и качественных показателей фитопланктона оз. Отстойник;
- Разработка оптимальных мероприятий с целью использования оз. Отстойник в рекреационных целях, на основе проведенных химико-токсикологических исследований.

## **Глава 1 Экологические проблемы малых водоемов на урбанизированных территориях**

К антропогенному воздействию прежде всего уязвимы небольшие бессточные озера. Эти озера часто являются приемниками сточных вод, в этих озерах протекают процессы эвтрофикации, заиления и закисления, скапливаются загрязняющие вещества. Рекреационную нагрузку испытывают озера, которые выступают в качестве места отдыха для местного населения. Это приводит к тому, что происходят зачастую необратимые и глубокие изменения в экосистемах этих озер, ухудшает качество воды и нарушаются их функционирование [25].

Влияние антропогенной деятельности приводит к ряду негативных последствий:

- эвтрофикация;
- ацидофикация;
- заиление;
- зарастание водоемов;
- загрязнение воды различными веществами (например, органическими ксенобиотиками и тяжелыми металлами) и т.д.

### **1.1 Эвтрофикация**

Процесс эвтрофикации можно наблюдать при большом содержании биогенных элементов, таких как фосфор и азот, в водоеме. Содержание биогенных элементов в естественных условиях сбалансировано, оно обеспечивает постоянство и равновесие структуры водного ценоза. Не быстрыми темпами происходит поступление с суши наносов, а так же обогащение и восполнение водоема биогенными элементами. Сукцессионные изменения протекают так же упорядоченно и медленно [25,48].

Антропогенное загрязнение нарушает равновесие, которое установилось между потреблением и накоплением органического вещества в сторону накопления, а это приводит к тому, что водоемы начинают цвести.

Экосистемы водоемов очень чувствительны к поступлению большого количества фосфора. Он поступает во время сброса в водоемы городских и промышленных сточных вод, с полей, во время их удобрения фосфоросодержащими удобрениями, а так же со стоками с городских территорий. Резко возрастает приток фосфора в поверхностные воды для экономического развития и «одомашнивания» территорий. Развитие фитопланктона наблюдается во время цветения, когда содержание фосфора увеличивается, а содержание азота наоборот уменьшается. Фитопланктон чаще всего представлен зелеными хлорококковыми водорослями. А так же наблюдается развитие водной растительности. В последнее время начали интенсивно развиваться цианобактерии, которые имеют возможность фиксировать атмосферный азот. Их бесконтрольное развитие опасно для макро- и мезофауны водоема.

Из антропогенных источников при чрезмерном и неконтролируемом высвобождении азота и фосфора, при насыщении водоёмов биогенными элементами во много раз ускоряется развитие биомассы фитопланктона, которая увеличивается с 1 - 100 мг/л до 200-400 мг/л, а в так называемых «пятнах цветения» — в 16-36 г/л, в десятки и сотни раз превышает биомассу зоопланктона. В это время появляется опасность массовой гибели водных животных, а именно, рыбы из-за разложения новых и гибели старых органических остатков, появления сероводорода и уменьшении содержания кислорода в донных слоях. Снижается прозрачность воды, уменьшается видовой состав планктона, уменьшается количество фильтрующих организмов, увеличивается площадь плавающих макрофитов и уменьшается площадь погруженных макрофитов, бентосная растительность замещается фитопланктоном.

Процесс эвтрофикации приводит к ухудшению так называемых органолептических свойств воды. Вода приобретает неприятные вкусовые качества и запахи, в ней могут содержаться токсичные для зоопланктона организмы, выделяющиеся при развитии отдельных сине-зеленых водорослей. Вода цветущего водоема не пригодна для бытового или питьевого использования, так же она становится непригодна для рыбоводства. Это создает условия в которых развиваются паразитарные виды и патогенные микрофлоры, ухудшается санитарно-эпидемической обстановка в общем. В случаях, когда водоем используется для водозабора, возникают трудности с подачей воды на водоочистные сооружения: водоросли быстро засоряют механические сети и фильтры станций водоснабжения, в водопроводной сети оседает гидроксид железа. Разрушаются материалы, используемые в гидростройке, повышается коррозионная активность воды по отношению к бетону, снижается эффективность озонирования и хлорирования воды [24].

Более ста лет ацидофикация признается серьезной проблемой в промышленных и прилегающих к ним районах.

В связи с распространением в атмосфере загрязняющих веществ-диоксида серы и оксида азота как продуктов промышленных комплексов, происходит кислотное осаждение, что приводит к закислению водных объектов. Многие исследователи отмечали, что снижение значения рН приводит к снижению общего таксономического богатства организмов в экосистемах водных объектов, снижению видового разнообразия в таких системах и их экологической устойчивости.

## **1.2 Заиление**

Заиливание - отложение влекомых и взвешенных наносов в водоемах, на процесс которого в первую очередь влияют частицы, вносимые поверхностным стоком, а также разрушение берегов. К таким месторождениям относятся ил, гравий, песок, глина, растительные остатки и



другие. Заиление особенно актуально для водоемов со стоячей или медленно текущей водой.

Причиной заиливания водоема, вместе с образованием большого количества органического вещества в водоеме, может выступать повышенный унос органического и минерального вещества со склоновыми стоками из-за развития процессов дефляции почвы, развития эрозии или разрушения берегов озера и водотоков [31]. Эти процессы особенно интенсивны на свободных от растительности склонах, на берегах водохранилищ во время изменения уровня воды, которые вызваны работой гидротехнических сооружений [24].

### **1.3 Зарастание**

Зарастание водоемов - нормальный процесс развития водоемов, при котором водоем постепенно заполняется отложениями, занесенными извне, и образующимися в нем самом, растениями в прибрежной зоне, а затем они и заполняют все пространство водоема, вследствие чего водный объект мелеет. Однако приток избыточных органических веществ в водоем приводит к резкому ускорению зарастания, прежде всего прибрежных мелководий, и заиливанию водоема. В результате возникает перегрузка водоемов с мертвыми растительными остатками и продуктами разложения, недостаток кислорода, затруднено проникновение света в воду, замедляется фотосинтез, развиваются гниющие процессы, сопровождающиеся образованием  $H_2S$  и  $NH_3$ , восстановленных соединений марганца, железа и иных веществ. Они отрицательно воздействуют на большинство организмов, составляющие зоопланктон и планктон, вызывают гибель моллюсков, рыбы и иных организмов, которые обитают в песчаном или не сильно заиленном дне и нуждаются в кислороде. Заиление дна тормозит развитие или останавливает деятельность этих микроорганизмов. В водохранилищах и озерах, эти процессы особенно заметны. В результате водоем заболочен, зарос макрофитами и как естественная экосистема перестает существовать [25,31].

Заращение водоемов может вызвать и растения, для которых характерно модульное размножение с многократным размножением некоторых его частей. В водной среде, такие растения легко распадаются на фрагменты, которые теряют связь с материнским растением, а потом самостоятельно распространяются. К ним относятся водяной гиацинт, Ряска, Элодея, применяемые при очистке водоемов от загрязнений, так же используется водный папоротник.

#### **1.4 Химическое загрязнение**

Загрязнение экосистем озер химическими токсикантами вызвано поступлением загрязняющих веществ со склоновым стоком, аварийными разливами, точечными источниками, утечками из канализации и сетей водоснабжения, со свалок, подземными водами, атмосферными осадками и иными причинами. Тяжелые металлы, стойкие органические ксенобиотики, радионуклиды перемещаются по трофическим пищевым цепочкам, накапливаются в донных илах и отложениях, откуда могут вновь поступать в пласт, тем самым могут вызвать повторное загрязнение [25].

Если рассматривать с экологической обстановки, с увеличением содержания загрязнений, состояние экосистемы воды в объекте характеризуется как напряженное, относительно удовлетворительное, критическое кризисное (то есть чрезвычайная экологическая ситуация), катастрофическое (то есть экологическая катастрофа). В таблице 1 приведены показатели загрязнения водных объектов с различными экологическими условиями [44]. Используя данную таблицу, мы сможем сделать вывод по нашему объекту исследования и исходя из проведенных экспериментов, сможем судить об экологической обстановке на водоеме.

Таблица 1 - Показатели загрязненности воды и состояния биоты загрязненных водоемов (по В. И. Сметанину, 2003)

Показатель	Экологическая обстановка		
	Относительно удовлетворительная ситуация	Чрезвычайная экологическая ситуация	Экологическое бедствие
1	2	3	4
ПДК химических веществ I и II классов опасности	1	От 5 до 10	Больше 10
ПДК химических веществ III и IV классов опасности	1	От 50 до 100	Больше 100
ПХЗ <sub>0</sub> химических веществ I и II классов опасности	1	От 35 до 80	Больше 80
ПХЗ <sub>0</sub> химических веществ III и IV классов опасности	10	500	Больше 500
Вкусы и запахи, в баллах	2	От 3 до 4	Больше 4
Содержание нефти и нефтепродуктов	Отсутствуют	Яркие полосы или пятна тусклой окраски	Пленка темной окраски, занимающая <sup>2</sup> / <sub>3</sub> обзоримой площади
pH	Больше 7,0	От 5,7 до 6,5	От 5,0 до 5,6
ХПК, измеряется в мг/л	Меньше 10	От 10 до 20	От 20 до 30
Растворенный кислород, измеряется в % насыщения	Больше 80	От 20 до 50	От 10 до 20
Нитриты NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , измеряется в мг/л	Меньше 1	Больше 5	Больше 10
Нитраты NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , измеряется в мг/л	Меньше 1	Больше 10	Больше 20
Соли аммония NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , измеряется в мг/л	Меньше 1	Больше 5	Больше 10
Фосфаты, мг/л	Меньше 0,05	От 0,5 до 0,6	Больше 6
Минерализация, превышение регионального значения, измеряется в количестве раз	Соответствует региональному значению	От 2 до 3	3-5
Коэффициент донной аккумуляции	10	От 10 <sup>3</sup> до 10 <sup>4</sup>	Больше 10*
Коэффициент накопления в гидробионтах	10		Больше 105

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Наличие фитопланктона	Естественное развитие фитопланктона	пряди нитчатых водорослей, пленка цианобактерий, отдельные представители других групп водорослей	Отсутствие единичных экземпляров видов или водорослей
Средняя биомасса фитопланктона, измеряется в мг/л	Меньше 10	От 50 до 100	Больше 100
Зоопланктон	Естественное развитие зоопланктона	Снижение числа и разнообразия, единичные экземпляры низших ракообразных	Единичные экземпляры панцирных коловраток, их зимние яйца
Зообентос	Естественное развитие зообентоса	Сокращение количества и разнообразия животных	Присутствуют лишь некоторые виды червей, которые не требовательны к кислороду
Ихтиофауна	Сохранение естественного состояния ихтиофауны	Снижение доли редких и ценных рыб	Исчезновение редких и ценных рыб
Интегральный показатель качества вод; биотестирование на дафниях, гибель 50% и более рачков в течение 96ч	В неразбавленной воде летальные случаи отсутствуют	Не проявляется при кратности разбавления от 50 до 100 раз	Не проявляется при кратности разбавления в 100 раз и более

\*ПХЗ10 – это показатель суммарного химического загрязнения, рассчитываемый по десяти соединениям, максимально превышающим ПДК

На основании данной таблицы прослеживается экологическая обстановка водного объекта, на основании химического анализа и гидробиологических исследований.

Особо уязвимыми оказываются так называемые «техногенные» водоемы, т.е. водоемы, которые переживают непосредственное техногенное воздействие со стороны промышленных предприятий и пр. Такими водоемами, являются приемники отходов, шламов, стоков и отстойники

[25,27,28]. Поэтому данная группа водоемов особенно нуждается в тщательном мониторинге и контроле со стороны экологов.

Важным этапом формирования малых водоемов служит их связь с атмосферой. Даже находясь в атмосфере, небольшие капли воды во время падения на Землю уносят из воздуха различные вещества. Источником минерального состава атмосферных осадков являются окислы азота, вулканические выбросы, образующиеся при молниеносных разрядах и антропогенное загрязнение воздуха, вызываемое промышленными выбросами и эксплуатацией транспортных средств. В состав осадков входят пестициды и радиоактивные загрязнения.

Атмосферные осадки является «интегральной характеристикой содержания загрязняющих веществ в облачном и подоблачном слое атмосферы. Особое значение также приобретает изучение кислотности осадков. Кислотные дожди оказывают как прямое влияние на биоту, так и косвенное, закисляя водоемы и почвы, меняя их химический состав.»

Большую роль в загрязнении атмосферы играют выбросы автотранспорта. В городах выбросы от автотранспорта составляют более 50% от всех суммарных выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. К главным загрязнителям атмосферного воздуха от автотранспорта и промышленных предприятий можно отнести такие вещества как: оксид углерода, диоксид азота, взвешенные вещества, формальдегид, фенол, диоксид серы и другие.

Так же часть загрязняющих веществ поступает в малые водоемы от купающихся и рыболовов. Известно, что за купальный сезон каждый купающийся вносит в водоем в среднем 75 мг общего фосфора, 695 мг общего азота [7]. Кроме биогенных элементов человек в течение 10 мин купания вносит в воду более 3 млрд. сапрофитных бактерий и от 100 тыс. до 20 млн. кишечных палочек. От любительского рыболовства в течение суток от одного человека поступает 25г взвешенных веществ, 3г – аммонийного азота, 4г - хлоридов, 1г – минерального фосфора. Для оценки суммарного

поступления загрязняющих веществ от различных источников требуется проведение мониторинговых исследований [7].

В России огромное количество водоёмов самого разного назначения и пользования. Но многие из этих водоёмов в той или иной мере подвержены антропогенному загрязнению, что в последние десятилетия очень часто приводит к их «цветению» синезелеными водорослями. В результате ухудшается их санитарное состояние, и водоёмы становятся непригодными для питьевого водоснабжения городов и населённых пунктов. Многие водоёмы в летний период стало невозможным использовать для рекреации.

## **Глава 2 Общая характеристика каскада Васильевских озер**

Самарская область в целом богата водными ресурсами, хотя они распределены неравномерно по площади. Через территорию Самарской области проходит одна из главных водных артерий России река Волга. Гидрографическая сеть представлена Куйбышевским (площадь 5900 км, объем 56 км<sup>3</sup>) и Саратовским (площадь 1831,0 км, объем 12,4 км<sup>3</sup>) водохранилищами, малыми и средними реками и водотоками более 200 объектов (среди них наиболее крупные Самара, Сок, Кинель, Большой Иргиз, Кондурча), озерами и болотами (более 1000 объектов) и родниками (около 1550 выявленных объектов) [8]. Преобладающую часть естественных озер области составляют пойменные озера или имеющие пойменное происхождение озера первой и второй надпойменных террас Волги и её притоков.

### **2.1 Морфометрическая характеристика Васильевских озер**

Пригородные Васильевские озера г. Тольятти представляют собой либо русловые озера (оз. Б. Васильевское) бывшей реки Пискалы, либо искусственные и вторичные озера, которые образовались в понижениях ее бывшего русла и карьерах после повышения уровня подземных вод в 50-60-х гг. прошлого века после образования Куйбышевского водохранилища. Нынешнее состояние экосистем городских и пригородных озер и искусственных водоемов сформировалось под влиянием антропогенных процессов, а также промышленной (г. Тольятти) деятельностью на территории этих крупных городов [11,33,47]. В результате образовалась цепочка небольших водоемов возрастом 50-54 года, различающиеся по площади водного зеркала, глубинам и другим характеристикам (рисунок 1, таблица 2).

Оз. Отстойник – искусственный водоем с бетонированным ложем и склонами, оз. Шламонакопительное – разделилось на несколько мелких водоемов глубиной в несколько десятков сантиметров.

Комплексные исследования Васильевских озер в 1991 – 1992 гг. производились ИЭВБ РАН совместно с МГУ. В период с 2013-2015 гг. исследования данной системы водоемов были возобновлены сотрудниками лаборатории Экологии простейших и микроорганизмов ИЭВБ РАН. На них мы и будем опираться в нашей работе.

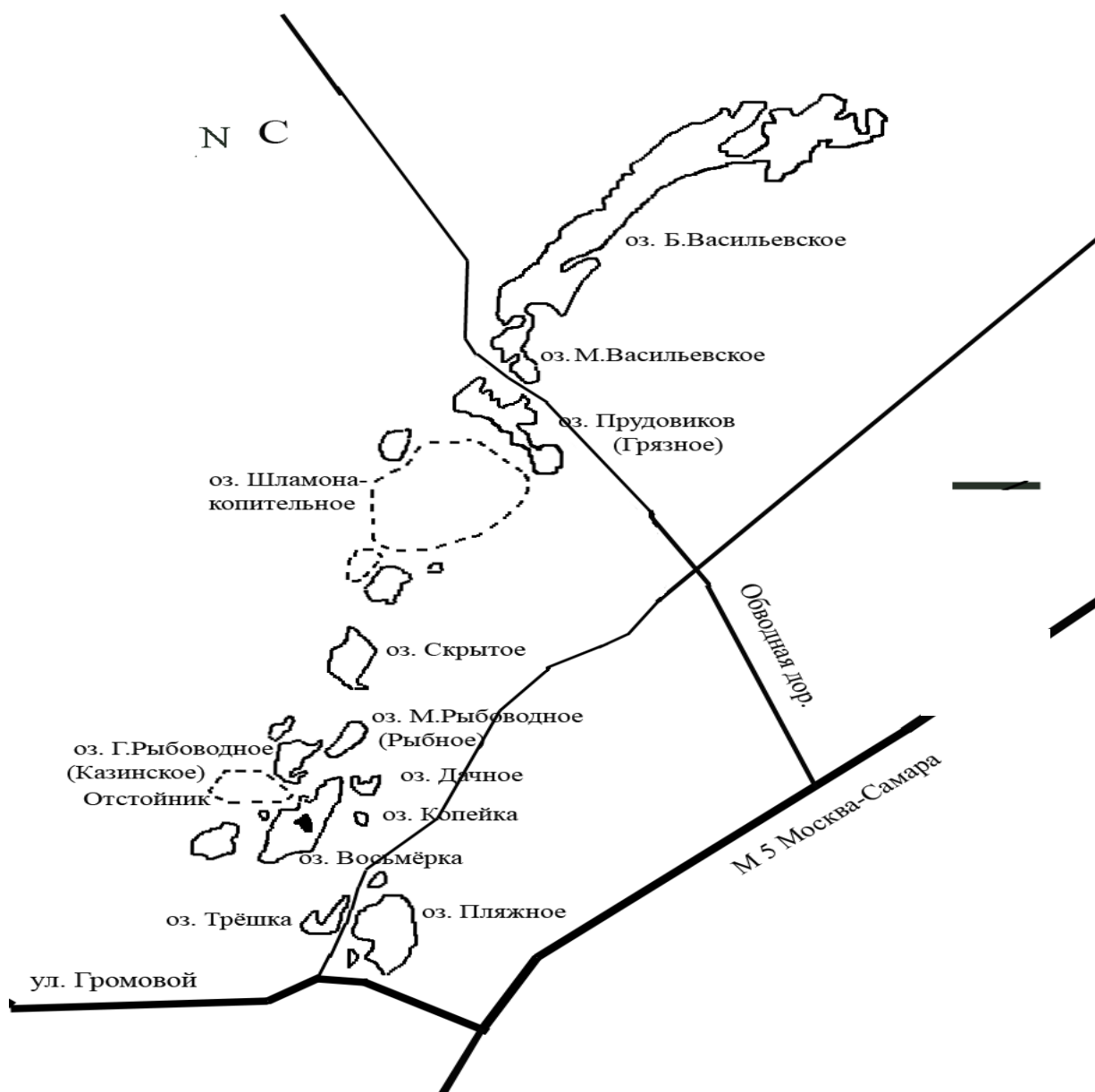


Рисунок 1 -Схема расположения Васильевских озёр в окрестностях

г. Тольятти

(Цит. по: Протисты и бактерии..., 2009)



Таблица 2 - Морфометрическая характеристика Васильевских озер (по Выхристюк, Ромашкова, 2009 с изм.; Номоконова и др., 2001)

Озеро	Длина, м	Площадь, га	Глубина, м		Объем, тыс. м <sup>3</sup>	Прозрачность, м	
			макс.	средняя		29-30. 07. 1991	6-8. 05. 1992
Б.Васильевское	2260	66,5	3,3	1,6	1064	0,6	0,7
М.Васильевское	110	0,6	2,3	1,0	6,0	0,5	0,7
Прудовиков (Грязное)	344	2,24	6,1	1,7	38,7	1,1	1,3
Скрытое	172	1,06	6,5	2,9	34,0	-	-
Гл.Рыбоводное (Казинское)	360	4,62	8,0	3,4	157,1	1,0	1,5
М.Рыбоводное (Рыбное)	255	1,27	6,1	2,7	38,7	1,3	1,7
Восьмерка	700	12,88	8,0	3,1	395,0	1,1	1,3
Чистое	325	4,76	10	4,6	218,0	-	-
Пляжное	620	16,0	7,1	3,2	487,5	1,3	2,2
<b>Отстойник</b>	<b>446</b>	<b>9,66</b>	<b>1,6</b>	<b>1,4</b>	<b>135,2</b>	-	-

Абиотические условия в водоемах складываются под влиянием как внутренних, так и внешних процессов, и поэтому зависят от климатических условий местности, характера водосборного бассейна, и особенностей самого водоема. При этом влияние внешних процессов и условий, в общем, увеличивается с уменьшением размеров водоема. Поэтому малые водоемы имеют ряд специфических черт, связанных с меньшей стабильностью температурного режима, большими колебаниями минерализации и других гидрохимических характеристик. Как правило, малые водоемы более продуктивны, по сравнению с крупными, из-за большего отношения площади водосбора к площади зеркала озера, его объему и длине береговой линии. Все это оказывает значительное, во многом определяющее влияние на развитие биологических процессов в водоеме. В свою очередь,

жизнедеятельность планктонных организмов является главным внутренним фактором, влияющим на абиотические условия, воздействующим на гидрохимический состав и оптические свойства воды и даже на термический режим водоемов.

Почвенный покров на водосборе озер образован дерново-глеевыми почвами. На возвышенностях, в т.ч. по берегам оз. Б. Васильевское, произрастают сосновые боры, вблизи вновь возникших озер – искусственные сосновые насаждения. Развита обильный травянистый покров, однако в нем велика роль сорно-рудеральных и ксерофитных видов. Водная растительность распространена неравномерно. Наибольшее развитие макрофитов характерно для нижних озер каскада – озера Трешка и Пляжное, которые приближаются к макрофитному типу [11,33].

Васильевские озёра находятся в зоне влияния Северного промышленного узла (рисунок 2) городского округа Тольятти. В этой местности расположены предприятия по производству фосфорных и азотных удобрений, синтетического каучука, а так же завод цементного машиностроения. Такие предприятия, как: ООО «Химзавод», ООО «Тольяттикаучук», Волжская ТГК филиал «Тольяттинская ТЭЦ», ОАО «Волгоцеммаш», ОАО «Тольяттинский Трансформатор», ОАО «ТЗТО», АО «Тольятти Хлеб» и другие [33].

Два водоема использовались как отстойники промышленных отходов: оз. Шламонакопительное - золы и шлаков Тольяттинской ТЭЦ, оз. Отстойник – жидких отходов Куйбышевского азотно-тукового завода (сейчас – ПАО КуйбышевАзот). До 1987 года городская свалка находилась на водосборном бассейне озер. Все озера связаны одним подземным водоносным горизонтом. Это стало причиной их загрязнению и как следствие деградации экосистем этих озер[18].



Рисунок 2 - Схема антропогенного источника воздействия на Васильевские озёра – Северного промышленного узла г.о. Тольятти

В 4 км от предприятия на северо-востоке находится с. Васильевка. В 2 км севернее проходит автотранспортная магистраль. Ближайшие жилые кварталы Центрального района г. Тольятти расположены на юго-западе на расстоянии 2 км от предприятия.

Так же, как уже отмечалось ранее, до 1987 года на водосборном бассейне озёра располагалась городская свалка города Тольятти. Примерно 256 га (это около 1%) площади водосборного было занято отходами. Несмотря на то, что на это небольшая цифра стоит обратить внимание на то, что отходы имеют свойство активно распространяться, то есть увеличивают свой ареал.

Сплошной ледовый покров на изучаемых озерах держится, как правило, около 4,5-5 месяцев. Вскрытие озер ото льда происходит в первой половине апреля в условиях теплой и ранней весны, и во второй половине апреля при позднем наступлении тепла. Сплошной ледовый покров

устанавливается на озерах во второй половине ноября – начале декабря, хотя временное образование льда на некоторых озерах возможно и ранее, даже в октябре [33].

В условиях ранней и теплой весны поверхностный слой воды в озерах может прогреваться до 14-17°C уже в апреле, а придонный слой даже в озерах глубиной более 1,5 м прогревается до 8-10°C. При более позднем наступлении тепла температура поверхностного слоя воды в апреле составляет 1-10°C, а придонного – 4,5-8°C в разных озерах. Максимальный прогрев воды в озерах Самарской области наблюдается в июле (1999-2007 гг.). В летние месяцы температура поверхностного слоя воды большинства озер изменяется в пределах 18-27°C. В мелководных озерах (максимальная глубина – менее 2 м) разница температур поверхностного и придонного слоев воды не превышает 0,5-5,5°C. В более глубоких озерах придонный слой воды, как правило, не прогревается выше 12,5°C. Осенняя гомотермия наступает в октябре и продолжается недолго [11,33].

## **2.2 Химические показатели Васильевских озер**

В большей части водоемов из системы Васильевских озер поверхностный слой воды хорошо аэрирован и характеризуется довольно значительным содержанием растворенного кислорода. Величина Eh в поверхностном слое воды исследованных озер изменяется от плюс 130 до плюс 430 мВ. Такие величины Eh характерны для окислительных условий и отражают присутствие значительных количеств кислорода [11,25,33,47].

К основными составляющими минерального состава воды являются ионы щелочноземельных (такие как Mg и Ca) и щелочных (такие как K и Na) металлов, а также анионы гидрокарбоната, хлорида и сульфата. Основу минерализации воды составляют в большинстве озер именно они. Заметный вклад в сульфидных озерах в ионный состав воды большое изменение вносит ион гидросульфида  $HS^-$ , его концентрация во время нейтральной реакции воды равна примерно половины от общей концентрации сульфидов.

Васильевские озера по данным 1987-1989 гг. значительно различались по уровню минерализации воды озер [33,36]. Большая часть естественных озер имеет пресную гипогалинную воду со следующим уровнем минерализации:

- Пляжное – 101 мг/л;
- Б. Васильевское – 209 мг/л;
- Прудовиков – 244 мг/л;
- Главное Рыбоводное – 262 мг/л;
- Восьмерка – 310 мг/л.

Только оз. М. Рыбоводное (минерализация 743 мг/л) – олигогалинное.

Вода техногенных водоемов оз. Отстойник и оз. Шламонакопительное относится к группе солоноватых мезогалинных-2 (6000 и 8000 мг/л, соответственно).

В 10-ых годах XXI века степень минерализации в водоемах изменилась. Уровень минерализации в основном увеличился (Б. Васильевское – 310 мг/л, Прудовиков – 382 мг/л, Восьмерка – 643 мг/л), кроме техногенных водоемов оз. Отстойник (4200 мг/л), оз. Шламонакопительное (6200 мг/л).

По соотношению основных анионов и катионов среди исследованных водоемов обнаружены следующие типы минерализации: кальций-гидрокарбонатный, кальций-сульфатный, натрий – гидрокарбонатный и натрий-сульфатный. В ряде водоемов (оз. Б. Васильевское, оз. Прудовиков) произошло изменение кальций-гидрокарбонатного класса на натрий-гидрокарбонатный, в оз. Восьмерка – с кальций-гидрокарбонатного класса на натрий-сульфатный, в оз. Отстойник – с кальций сульфатного на натрий сульфатный, в оз. Шламонакопильное – изменений не произошло (кальций сульфатный класс) (таблица 3) [25,33].

Таблица 3 - Биогенные элементы в Васильевских озерах г. Тольятти (1991-1992 гг., по Номоконова и др., 2001 с изм.)

		$\text{NH}_4^+$ , в мгN/л	$\text{NO}_3^-$ , в мгN/л	$\text{NO}_2^-$ , в мгN/л	$\text{N}_{\text{общ}}$ , в мгN/л	$\text{P}_{\text{мин}}$ , в мг/л	$\text{P}_{\text{общ}}$ , в мг/л	$\text{Fe}_{\text{общ}}$ , в мг/л	$\text{Si}_{\text{раст}}$ , в мг/л
Б. Васильевское	0 м	0,49	0,89	0,00	2,84	0,00	0,60	0,19	1,25
	дно	0,47	0,64	0,00	2,62	0,25	0,63	0,33	0,84
М. Васильевское	0 м	0,45	0,60	0,00	2,63	0,19	0,45	0,13	1,56
	дно	0,50	0,57	0,00	2,24	0,11	0,45	0,55	1,78
Прудовиков	0 м	0,41	0,78	0,00	1,32	0,02	0,11	0,05	0,59
	дно	0,56	0,89	0,01	1,93	0,13	0,22	0,11	0,53
М. Рыбоводное	0 м	0,15	0,74	0,00	1,20	0,02	0,36	0,22	1,10
М. Рыбоводное	дно	0,28	1,08	0,00	1,60	0,15	0,50	0,07	2,32
Гл. Рыбоводное	0 м	0,11	0,69	0,01	1,28	0,03	0,11	0,10	0,50
	дно	0,16	0,70	0,00	1,32	0,12	0,33	0,19	1,52
Дачное	0 м	0,11	0,54	0,02	1,00	0,09	0,17	0,12	3,20
	дно	0,40	0,59	0,00	1,37	0,10	0,17	0,26	3,55
Восьмерка	0 м	0,57	1,00	0,00	2,13	0,06	0,16	0,05	0,56
	дно	0,61	0,67	0,00	1,58	0,17	0,28	0,05	0,98
Трешка	0 м	0,11	0,52	0,00	0,86	0,01	0,05	0,04	1,80
	дно	0,16	0,60	0,00	1,25	0,03	0,11	0,32	1,89
Пляжное	0 м	0,25	0,53	0,00	1,15	0,01	0,07	0,06	1,36
	дно	0,28	0,68	0,00	1,21	0,01	0,08	0,25	1,51
Шламонакопительное	0 м	0,51	2,86	0,12	3,49	н/д	н/д	0,22	3,04
<b>Отстойник</b>	<b>0 м</b>	<b>3,52</b>	<b>4,13</b>	<b>0,36</b>	<b>8,50</b>	<b>0,01</b>	<b>0,03</b>	<b>0,20</b>	<b>1,55</b>

### 2.3 Динамика состояния фитопланктона оз. Отстойник

Оз. Отстойник (рисунок 3) имеет искусственное происхождение и представляет собой водоем с бетонированным ложем и склонами. Общая площадь 96600 м<sup>2</sup>. Длина озера составляет 446 м. Объем воды в данном озере 135,2 тыс. м<sup>3</sup>. Глубина озера Отстойник достигает от 1,4 м до 1,6 м. По морфометрическим параметрам относятся к категории очень малых и малых водоемов [33].



Рисунок 3 - озеро Отстойник

Как уже отмечалось выше, оз. Отстойник создавалось изначально как бетонированный приемник отходов азотно-тукового производства завода КуйбышевАзот. В середине 90-ых годов XX века сброс отходов в этот водоем прекращается в связи с упадком производства, с одной стороны, и внедрением технологий нового поколения, с другой [25,33]. В настоящее время экосистема водоема испытывает нагрузку со стороны Северного промышленного узла, со стороны расположенных рядом дачных массивов и рекреационное воздействие, со стороны отдыхающих.

Исследование современного состояния экосистемы водоема проводилось в 2014-2015 гг. сотрудниками лаборатории Экологии простейших и микроорганизмов, которые выявили существенные изменения в экосистеме водоема по сравнению с 90-ми годами XX века [25].

В начале 2000-х годов для нескольких озёр (Пляжное, Главное рыбноводное, Малое рыбноводное, Восьмерка и Прудовиков) были оформлены экологические паспорта, сопровождаясь при этом проведёнными исследованиями института экологии Волжского бассейна.

Согласно опубликованным материалам, в общей сложности, в альгофлоре оз. Отстойник было найдено 147 таксонов водорослей рангом

ниже рода из 8 отделов, 17 порядков, 12 классов, 38 семейств (таблица4). Наибольший вклад в формирование видового богатства вносили зеленые водоросли (41%). Также значительный вклад вносили синезеленые (25%) и диатомовые (14%) водорослей. Доля других отделов была менее 10%.

Таблица 4 - Таксономический состав альгофлоры планктона оз. Отстойник (Цит. по: Кривина и др., 2016)

Отдел	Число				Число таксонов		
	классов	порядков	семейств	родов	видовых	внутри-видовых	Всего
Cyanophyta	2	3	8	22	37	0	37
Bacillariophyta	2	4	9	11	19	2	21
Cryptophyta	1	1	1	2	6	0	6
Dinophyta	1	2	3	5	10	0	10
Raphidophyta	1	1	1	1	1	0	1
Euglenophyta	1	1	1	2	4	0	4
Chlorophyta	3	4	13	29	61	0	61
Streptophyta	1	1	2	2	7	0	7
Итого	12	17	38	74	145	2	147

Водоросли — преимущественно обитатели водоемов, хотя многие представители приспособились к жизни в наземных биотопах и почве. Эти одноклеточные или колониальные организмы характеризуются способностью к кислородному фотосинтезу (фотоавтотрофному способу питания), хотя среди них немало бесцветных форм, беспластидных или питающихся гетеротрофно (сапротрофы, паразиты и даже виды с голозойным способом питания – т.е. потребление пищи происходит только через рот). Их генетические связи с окрашенными фотоавтотрофными формами в большинстве случаев у специалистов не вызывают сомнений. Поэтому они рассматриваются как вторично гетеротрофные организмы, т.е. утратившие способность к фотоавтотрофному способу питания в результате приспособления к особым условиям существования в богатых органикой биотопах [19].



Как видно из таблицы 5 с течением времени таксономический состав альгофлоры планктона водоема существенно изменился. Можно сказать, что с уменьшением техногенной нагрузки на водоем произошло увеличение видового богатства водорослей. Так, если в 90-х годах XX в. в водоеме было зарегистрировано всего 49 видовых и внутривидовых таксонов, относящихся к 4 отделам, то к 2014 году видовое богатство выросло в 2,6 раза. В этот период альгофлора планктона была представлена уже 128 таксонами рангом ниже рода из 8 отделов [25].

Таблица 5 - Изменение таксономического состава альгофлоры планктона оз. Отстойник в период с 1991 по 2014 гг. (Цит. по: Кривина и др., 2016)

Отдел \ Год	1991-92	2001	2014
Суанophyta	16	18	33
Bacillariophyta	6	14	19
Cryptophyta	0	3	6
Dinophyta	0	7	10
Raphidophyta	0	1	1
Euglenophyta	0	1	4
Chlorophyta	25	27	49
Streptophyta	2	2	6
<b>Всего</b>	<b>49</b>	<b>73</b>	<b>128</b>

С 90-х годов XX в. к 2014 г. отмечалось уменьшение роли синезеленых и зеленых водорослей в формировании общего видового богатства альгофлоры соответственно с 33 до 26% и с 51 до 38%. Также в водоеме появились криптофитовые, динофитовые и эвгленовые водоросли, способные к миксотрофному питанию. Это позволило исследователям предположить, что с прекращением жесткого техногенного воздействия на водоем в нем начинает появляться органическое вещество, доступное для питания миксотрофных организмов [25].

В оз. Отстойник не были зарегистрированы представители золотистых водорослей. Было сделано предположение, что это связано с температурными предпочтениями представителей этого отдела. Водоросли данной группы предпочитают низкие температуры воды 12-17°C, а оз. Отстойник прогрев воды происходит очень быстро в связи с его

мелководностью и бетонированным ложем. Это создает неблагоприятные условия для развития водорослей этого отдела [10,33].

Криптофитовые водоросли представлены в водоеме 6 видами. Представители этого отдела встречаются в небольших пресных водоемах – прудах, болотах, лужах, канавах. Большинство из них населяют поверхностные, хорошо прогреваемые слои воды, преимущественно в прибрежной зоне т.е. в Отстойнике создаются условия, благоприятные для их развития [25].

Динофитовые водоросли традиционно считаются обитателя чистых вод и их развитие в массовом количестве может служить надежным показателем чистоты воды. Кроме того, некоторые виды принимают активное участие в процессах самоочищения вод, загрязненных промышленными и бытовыми стоками (представители родов *Ceratium*, *Peridiniopsis*, *Peridinium*). Обладая способностью к гетеротрофному росту, они способны развиваться в массе в условиях высокого содержания органического вещества [25]. Вероятно, именно этим объясняется их появление и развитие в водоеме после прекращения жесткого техногенного воздействия на него.

Эвгленовые водоросли были представлены 4 видами, причем 3 из них были отмечены только в 2014 г. Эвглениды, как известно, предпочитают мелководные, хорошо прогреваемые участки водоемов с высоким содержанием органического вещества [4]. В оз. Отстойник до 2014 г. они практически не встречались. Возможно, это связано с высокой остаточной концентрацией в воде капролактама, который в начале XX века активно сбрасывался в Отстойник и высокое содержание которого в воде препятствует жизнедеятельности эвгленовых водорослей [33].

Среди рафидофитовых водорослей в составе альгофлоры оз. Отстойник был зафиксирован всего один вид – *Vacuolariavirescens*Cink. Рафидофитовые водоросли довольно широко распространены преимущественно в небольших стоячих водоемах. Однако встречаются обычно в незначительных

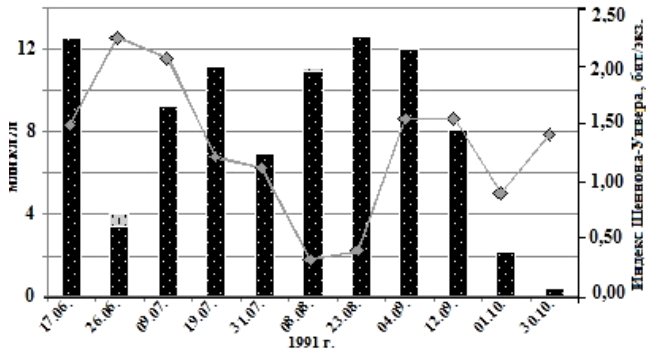
количествах, а чаще единичными экземплярами. Гораздо более характерны для водоемов с чистой водой, в загрязненных водах встречаются реже [10].

Альгофлоры планктона водоема на начальном и конечном этапах исследования отличались друг от друга высокой видовой специфичностью: степень сходства (коэффициент Серенсона) составила всего 33 %. Характер изменения степени общего видового сходства и сходства внутри основных ведущих отделов свидетельствует о значительных структурных преобразованиях в альгофлоре водоема после изменения уровня техногенной нагрузки [25].

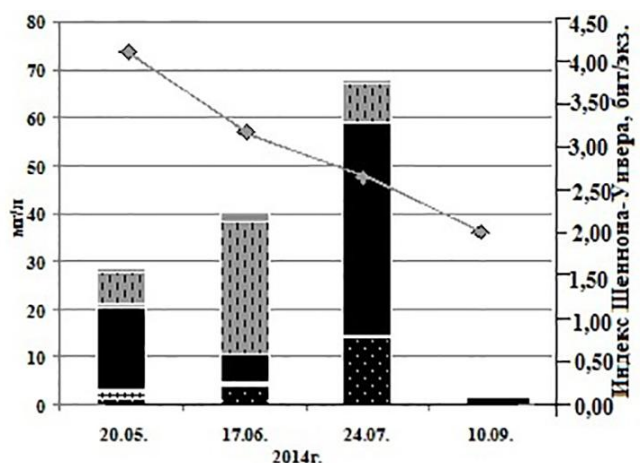
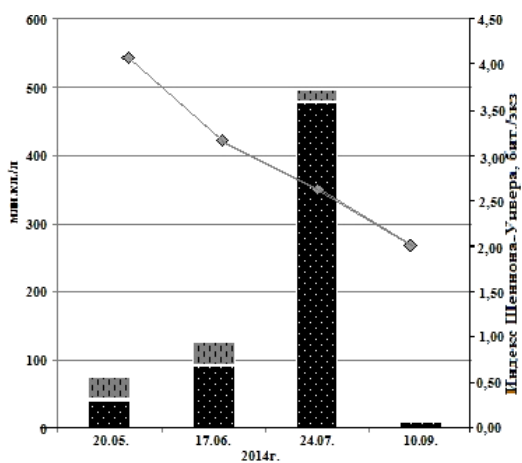
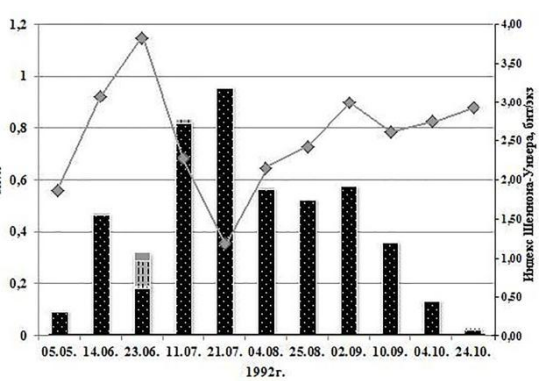
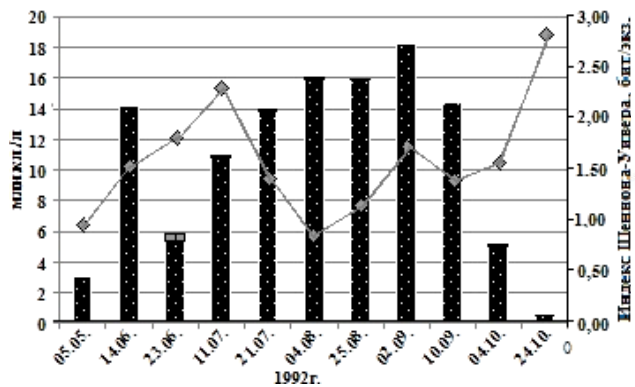
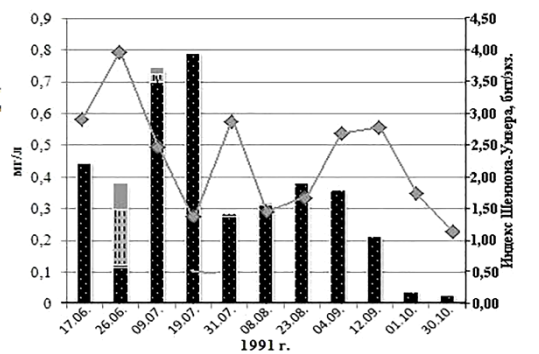
Показатели количественного развития водоема в каждый период исследования имели свои особенности. Основной вклад в формирование численности на протяжении всего исследования стабильно вносили сине-зеленые водоросли (цианопрокариоты), чему во многом способствовало отсутствие течения и небольшая глубина водоема. Доля данной группы водорослей от общей численности в 1991-92 гг. составляла более 95 %, в 2014 г. несколько меньше – 87% за счет более активного развития зеленых водорослей (рисунок 4А). В это период отмечалось значительное увеличение средневегетационной и максимальной численности водорослей: в 1991-92 гг. – 9,49 млн. кл./л при максимальной 16,04 млн. кл./л; 2014 г. – 154,19 млн. кл./л при максимальной 497,15 млн. кл./л.

В сезонной динамике численности 1991-92 гг. отмечалось несколько подъемов (в середине июня, второй декаде июля (1991г.), в конце августа-начале сентября). В 2014 г. кривая численности фитопланктона носила одновершинный характер. Пик развития приходился на середину июля.

A)



Б)



■ Cyanophyta # Bacillariophyta ■ Cryptophyta ■ Dinophyta // Raphidophyta ■ Euglenophyta  
 ■ Chlorophyta ■ Streptophyta  
 — Индекс Шеннона-Уивера, бит/экз.

Рисунок 4 – Сезонная динамика численности (А) и биомассы (Б) оз.

Отстойник (1991-2014 гг.) (Цит. по: Кривина и др., 2017 г.)

Комплекс доминирующих видов в 1991-92 гг. состоял полностью из представителей отдела Cyanophyta. В первую очередь, это были нитчатые формы водорослей: *Pseudoanabaena limnetica* (Lemm.) Kom.,

*Limnotrixplanctonica* (Wolosz.) Meff., *Planktolyngbyalimnetica*(Lemm.) Kom.-Legn.et Gronb., провоцирующие во многих водоемах развитие «осцилляториевой болезни». По сравнению с ними гораздо меньшее значение имели виды *Microcystisaeruginosa*(Kütz.) Kütz. и *Aphanozomenonflos-aquae* (L.) Ralfs., которые способны вызывать поверхностное «цветение» воды. Доминирующий комплекс состоял из 2-3 видов, уровень доминирования жесткий [25].

В 2014 г. список доминирующих форм пополняется новыми нитчатыми безгетероцистными формами синезеленых водорослей – *Jaaginemagracile*(Boch.) Anag. et Kom., *Geitlerinema amphibium* (Ag. ex Gom.) Anag., *Leptolyngbya foveolarum* (Rab. ex Gom.) Anag. etKom. Средний размер доминирующего комплекса составлял порядка 3 видов, уровень доминирования жесткий.

В процессе исследования отмечалось увеличение биомассы фитопланктона водоема и увеличение трофности (рисунок4Б). Так если в 1991-92 гг. средневегетационная биомасса составляла лишь 0,41 мг/л при максимальной 0,83 мг/л, то в 2014 г. – 34,19 мг/л и 67,79 мг/л. Уровень трофности же последовательно перешел с олиготрофного в 1991-92г. к высокоэвтрофному в 2014 г. При этом в данном водоеме отмечалась смена доминирующих форм [25].

На начальном этапе это были те же цианопрокариоты, которые определяли значения численности фитопланктона: *Pseudoanabaenalinnetica*, *Limnotrixplanctonica*, *Planktolyngbyalimnetica*, а также *Microcystisaeruginosa* и *Aphanozomenonflos-aquae*. Вместе эти виды давали в среднем около 93% от общего значения биомассы и являлись абсолютными доминантами. В 2014 г. основной вклад в формирование численности вносят по-прежнему динофитовые и зеленые водоросли. Из отдела Chlorophyta в ранг доминат все также входит *Tetraedrontriangulare*, преимущественно в раннелетний период. Видовой состав доминирующих динофитовых водорослей меняется: наибольшее влияние на формирование биомассы на протяжении всего

вегетационного сезона оказывают *Peridiniumaciculiferum*, *P. umbonatum*Stein, *Peridiniopsiselpatiewsky*, *P. quadridens*, *Gymnodiniummitratum*Schiller. Доля цианопрокариот в формирование биомассы все еще заметна и составляет в среднем около 14%, но в ранг доминат в открытой пелагической и литоральной зоне они не входили.

Индексы видового разнообразия Шеннона-Уивера, рассчитанные применительно к численности ( $H_N$ ) и биомассе ( $H_B$ ) фитопланктона в оз. Отстойник, неуклонно возрастали (рисунок4). В 1991-92 видовое разнообразие оценивалось как невысокое. В 2014 г. видовое разнообразие оценивалось уже как умеренное [25].

Таким образом, уменьшение техногенной нагрузки на водоем привело к значительному увеличению видового богатства водорослей планктона оз. Отстойник и способствовало формированию более таксономически разнообразной альгофлоры. Однако, высокие показатели количественного развития фитопланктона и уровень трофности в 2014 г. свидетельствует о том, что аграрная и культурная нагрузка провоцируют развитие эвтрофирования водоема.

#### **2.4 Флористическое и эколого-географическое исследование фитопланктона оз. Отстойник в 2017 г.**

В оценке качества водного объекта большую роль играет видовое разнообразие фитопланктона. В июне 2017г. из озера Отстойник были взяты несколько проб воды с прибрежной зоны (литораль) и самой глубоководной точки (в центре) водоема для проведения лабораторных исследований. Выбор пунктов наблюдений за состоянием растительного планктона проводится в аналогии с принципами размещения пунктов контроля и наблюдений в системе. Местоположение пунктов отбора проб на водном объекте зависит прежде всего от расположения источников загрязнения.

Изучение фитопланктона оз. Отстойник проводилось по стандартным гидробиологическим методикам [33]:

– Была взята чистая пластиковая бутылка, объемом 0,5 л, споласкивалась водой из водоема, после чего отбиралась проба.

– Каждая проба снабжалась этикеткой, на которой указывалось название водного объекта, глубина, номер станции, дата и время отбора. Так же на этикетке может быть проставлен номер, соответствующий номеру в полевом дневнике или в журнале. В дневник записываются дополнительные сведения о погоде, глубине станции, цветности, температуре, прозрачности воды, а так же визуальные наблюдения о качестве воды.

– Фиксировали материал 4% раствором формалина (ориентировочно объемом 5 мл). Концентрировали методом фильтрации с вакуумом, используя насос Комовского (рисунок 5) [33]. Для последующего анализа использовали объем воды 0,5 л, который фильтровали через мембранный фильтр с диаметром пор 1 мкм. Объем концентрата пробы составлял 10 мл.



Рисунок 5 - Насос Комовского

– Для подсчета водорослей применялась камера Учинской, которая имеет объем 0,01 мл. Для достоверности клетки считались по 10 полос в двух повторностях. Под микроскопом «Биолар» (производство Польша) вели подсчет при увеличении в 600 раз (рисунок 6). Численность фитопланктона пересчитывали на 1 л воды.



Рисунок 6 –Микроскоп «Биолар»

Метод микроскопирования является очень трудоемким, но пока единственным методом, позволяющим точно определить виды, подсчитать их численность. Для видовой идентификации следует пользоваться определителями. Список определителей, необходимых для работы, приведен в списке литературы. Определение основной массы организмов фитопланктона следует производить до вида. Это необходимо для выявления организмов-индикаторов, развитие которых, прежде всего, позволяет судить о качестве исследуемых вод. При этом всегда необходимо указывать источник, по которому проведено определение вида. Все определенные виды заносятся в карточку первичной обработки фитопланктона, в которой в дальнейшем производится статистическая обработка материала.

При обработке материала учитывали водоросли, которые встречались в толще воды, независимо от их типичных мест обитания, указывая при эколого-географическом анализе их принадлежность к естественным группировкам (планктон, бентос, литораль, эпифит и т.д.). По отношению к солености воды водоросли распределяли по группам (галлофобы, олигогалофы, индифференты, мезогалофы, галофилы) согласно классификации R. Kolbe (1927), в изложении А.И. Прошкиной-Лавренко (1953). Отношение водорослей к рН среды определяли по шкале Hustedt F. (1939г.), в упрощенном варианте Давыдовой (1985 г.). Коэффициенты



сапробности видов приведены по "Унифицированным методам..." (1977), а индексы сапробности по Сладечку (Sládeček, 1973, 1986) в модификации С.С. Бариновой и Л.А. Медведевой (1996).

Таксономический состав фитопланктона характеризует экологическое состояние водной среды. Низшие водоросли чутко реагируют на состояние гидрохимических и гидрофизических показателей, что и положено в основу метода биоиндикации при оценке степени антропогенного загрязнения водоемов.

В альгофлоре планктона оз. Отстойник было обнаружено 113 таксонов водорослей рангом ниже рода из 7 отделов, 11 классов, 16 порядков, 37 семейств (таблица 6). Наибольший вклад в формирование видового богатства вносили зеленые водоросли, которые давали около 40% от общего видового богатства. Также заметное участие в формировании видового богатства альгофлоры планктона принимали синезеленые (22%) и диатомовые (17%) водоросли. Доля представителей других отделов была менее 10%.

Таблица 6 - Таксономический состав альгофлоры планктона оз. Отстойник в 2017 г.

Отдел	Число				Число таксонов		
	классов	порядков	семейств	родов	видовых	внутри-видовых	Всего
Cyanophyta	2	3	8	17	25	0	25
Bacillariophyta	2	4	9	11	17	2	19
Cryptophyta	1	1	1	2	6	0	6
Dinophyta	1	2	3	5	10	0	10
Euglenophyta	1	1	1	2	5	0	5
Chlorophyta	3	4	13	26	45	0	45
Streptophyta	1	1	2	2	3	0	3
Итого	11	16	37	65	111	2	<b>113</b>

В малом техногенном водоеме оз. Отстойник ввиду относительно невысокого общего видового богатства спектр «ведущих» по видовому богатству (таблица 7) порядков был представлен всего 2 таксонами –

Chlorococcales (36 таксонов рангом ниже рода) и Oscillatoriales (12). Они давали в сумме 43% от общего видового богатства альгофлоры планктона водоема. Доля других порядков была существенно ниже и их вклад был примерно одинаков. Традиционно в в нижневолжских водохранилищах 2 и 3 позиции ранжированном ряду «ведущих» порядков обычно занимают порядки Raphales (диатомовые водоросли) и Euglenales (эвгленовые водоросли) [18]. В нашем случае отличие в составе спектра связаны с техногенной эксплуатацией водоема.

Таблица 7- Спектр "ведущих" порядков альгофлоры планктона оз. Отстойник

Порядки	Число видов	Процент
Chlorococcales	36	32
Oscillatoriales	12	11
Raphales	9	8
Chroococcales	7	6
Peridinales	7	6
Nostocales	6	5
Cryptomonadales	6	5
Chlamydomonadales	6	5
Thalassiosirales	4	4

Согласно работе Б. А. Юрцева (1982) 10 семейств в составе флоры высших сосудистых растений всегда представляют половину и более от общего таксономического списка. Для альгофлоры планктона, как правило, традиционно приводят список таксономических групп, дающих 50 и более % от общего видового богатства, которые показывают, какие таксоны нашли оптимальные условия для своей жизнедеятельности [18]. В изучаемом водоеме таких семейств было 11 (таблица 8): Scenedesmaceae, Pseudanabaenaceae, Chlorellaceae, Anabaenaceae, Cryptomonadaceae, Peridiniaceae, Fragilariaceae, Nitzschiaceae, Euglenaceae, Oocystaceae, Chlamydomonadaceae и они содержат 63 % таксонов водорослей, рангом ниже рода.

Таблица 8 - Спектр "ведущих" семейств альгофлоры планктона оз.

Отстойник

Семейства	Число видов	Процент
Scenedesmaceae	15	13
Pseudanabaenaceae	9	8
Chlorellaceae	8	7
Anabaenaceae	6	5
Cryptomonadaceae	6	5
Peridiniaceae	6	5
Fragilariaceae	4	4
Nitzschiaceae	4	4
Euglenaceae	5	4
Oocystaceae	4	4
Chlamydomonadaceae	5	4

Значительная часть родового спектра была представлена моно- и дитипическими родами (72%), что говорит о неблагоприятных условиях существования в экосистеме водоема [25,34]. Спектр «ведущих» по видовому богатству родов водорослей представлен в таблице 9. Согласно литературным данным высокие значения родов *Scenedesmus* и *Nitzschia*, указывают на высокое содержание в водоеме биогенных элементов и органического вещества [25].

Таблица 9 - Спектр "ведущих" родов альгофлоры планктона оз. Отстойник

Роды	Число видов	Процент
<i>Scenedesmus</i>	11	10
<i>Nitzschia</i>	4	4
<i>Cryptomonas</i>	5	4
<i>Peridiniopsis</i>	4	4
<i>Monoraphidium</i>	4	4
<i>Microcystis</i>	3	3
<i>Anabaena</i>	3	3
<i>Synedra</i>	3	3
<i>Trachelomonas</i>	3	3

Эколого-географический анализ озера показал, что зарегистрированные в нем водоросли по отношению к среде обитания в представлены в большей степени планктонными организмами. Они составили 70% от всего объема. Заметна доля литоральных и бентосных форм (составили 8% от общего числа видов водорослей), для которых известны их традиционные местообитания (таблица 10).

Подавляющее большинство видов имело широкое географическое распространение (на долю видов-космополитов приходилось 99% от числа видовых и внутривидовых таксонов водорослей, для которых известно географическое распространение).

Таблица 10 - Эколого-географические характеристики альгофлоры планктона оз. Отстойник в 2017 г.

Группа	Число таксонов	Группа	Число таксонов
<b>по местообитаниям</b>		<b>по распространению</b>	
Планктонный	78	Космополит	94
Бентосный	9	Субтропический	1
Литоральный	9	<b>Всего</b>	<b>95</b>
Обрастатель	1		
Эпифит	1	<b>по отношению к солености воды</b>	
Бентосно-планктонный	12	Галофоб	1
Литорально-планктонный	1	Олигогалоф	9
<b>Всего</b>	<b>111</b>	Галофил	12
<b>по отношению к рН</b>		Индиферент	68
Алкалифил+алкалибионт	15	Мезогалоф	1
Индиферент	17	<b>Всего</b>	<b>91</b>
Ацидофил+ацидобионт	2		
<b>Всего</b>	<b>34</b>		

Основная масса встреченных видов водорослей была индифферентна к солености воды (75% от видов, разновидностей и форм водорослей, для которых известно их отношение к солености воды). Доля истинно пресноводных организмов (галофобов и олигогалофов) составляла 11 %. На долю водорослей, предпочитающих соленые воды (галлофилов), приходилось 13 %.

По отношению к кислотности среды (рН) преобладали водоросли – индифференты, которые равны 50% от общего числа видов. Велика так же была доля обитателей щелочных вод – алкалифилов и алкалибионтов (44%). Доля ацидофильных форм была достаточно низкой и составляла 6%. Отличительной особенностью серных озер является достаточно высокая доля видов водорослей, предпочитающих щелочные воды.

Водоросли-индикаторы степени органического загрязнения. Из 113 зарегистрированных нами видов, разновидностей и форм водорослей 78% являются видами-индикаторами различной степени органического загрязнения водоемов (таблица 11). Большая часть – это показатель породы низкой степени органического загрязнения ( $\chi$ -о, о- $\alpha$ - мезосапробной зоны) 42% водорослей сапробионтов и умеренного органического загрязнения ( $\beta$ - мезосапробы), что составило 42% от общего числа видов-индикаторов органического загрязнения. Доля типов показателей высокой степени органического загрязнения органического вещества (от  $\beta$ - $\alpha$  до  $\rho$ -сапробной зон) была существенно ниже и составляла всего 16% от общего числа видов водорослей-индикаторов сапробности.

Таблица 11 - Количество водорослей-сапробионтов в оз. Отстойник в 2017 г

Виды-сапробионты	Количество таксонов
1	2
олиго-β-мезосапробы	12
олигосапробы	4
β-олиго-мезосапробы	12
β-мезосапробы	37
олиго-α-мезосапробы	9
β-α-мезосапробы	6
α-β-мезосапробы	2
α	4
β-полисапробы	2
<b>Всего</b>	<b>88</b>

Таким образом, в 2017 г. в оз. Отстойник было выявлено 113 видов таксонов водорослей рангом ниже рода из 7 отделов, 11 классов, 16 порядков, 37 семейств. Основную роль в формировании видового богатства альгофлоры планктона играли зеленые, синезеленые и диатомовые водоросли. Результаты флористического анализа показали, что экосистема водоема находится в неблагоприятных условиях и позволили предположить высокий уровень содержания биогенов и органических веществ. По результатам эколого-географического анализа альгофлоры планктона изучаемых водоемов показал, что зарегистрированные в них водоросли по отношению к местообитанию в основном представлены планктонными организмами, несколько ниже доля обитателей литорали и бентали (таблица10).

Планктонные формы составляют до 71%, литоральные и бентосные - 8% от общего количества водорослей.

Подавляющее большинство видов имеет широкое географическое распространение (на долю видов-космополитов приходится 99% от числа видовых и внутривидовых таксонов водорослей, для которых известно географическое распространение).

## **2.5 Показатели количественного развития фитопланктона оз. Отстойник в 2017 году**

Для оценки экологического состояния водоема мы решили использовать количественные показатели развития фитопланктона. Показателями количественного развития водоема являются численность и биомасса фитопланктона. Эти показатели зависят от множества факторов окружающей среды. В частности к ним относятся – проточность воды и водообмен, прогрев толщи воды, мелководья, депонирование биогенных веществ и органических соединений при техногенном их поступлении. В последнее время данные факторы обуславливают обильное развитие фитопланктона в целом, и в частности, отдельных представителей синезеленых водорослей, вызывающих «цветение» воды. Возбудителями «цветения» являются представители из различных систематических групп водорослей, но самые благоприятные условия создаются для чрезвычайно активной вегетации синезеленых водорослей из родов *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Oscillatoria* и *Microcystis*.

Сезонная динамика фитопланктона – это последовательная, закономерная смена одних сообществ или группировок планктонных водорослей другими, обусловленная сменой абиотических условий в годовом цикле [9].

В оз. Отстойник исследования динамики фитопланктона проводились с июня по сентябрь 2017 г. (рисунок 7).

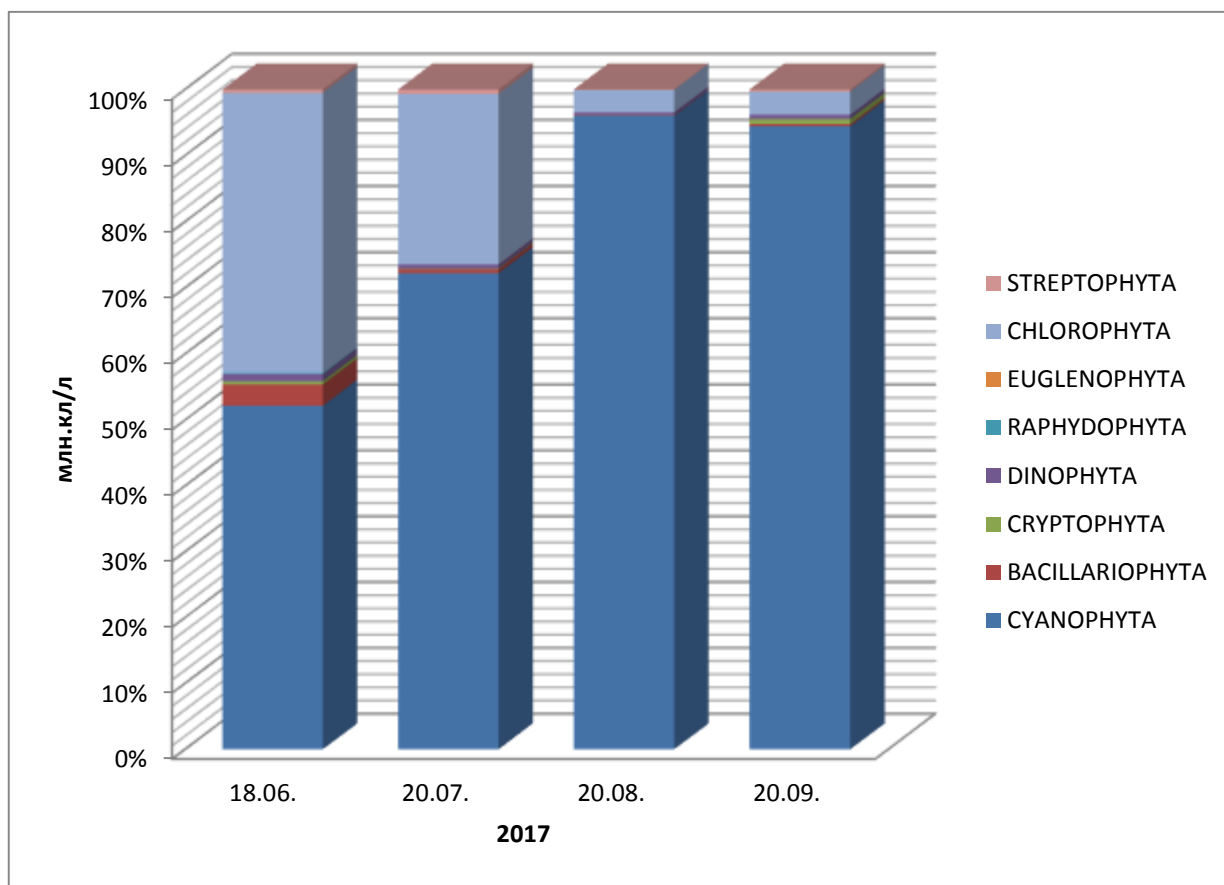


Рисунок 7 - Сезонная динамика численности фитопланктона оз.

#### Отстойник в 2017 г.

Средневегетационная численность фитопланктона была достаточно высока и составляла 114, 8 млн кл./л, кривая сезонной динамики численности фитопланктона носила одновершинный характер, пик развития приходился на конец лета и составлял 310,17 млн кл./л.

Большой вклад в формирование количества фитопланктона во время исследования вносили сине-зеленые водоросли (то есть цианопрокариоты), чему во многом способствовало отсутствие течения, небольшая глубина водоема и хорошая прогреваемость воды. Доля данной группы водорослей от общей численности составила 79%.

В первой половине лета значимый вклад в формирование численности фитопланктона вносили зеленые водоросли (26-42%).



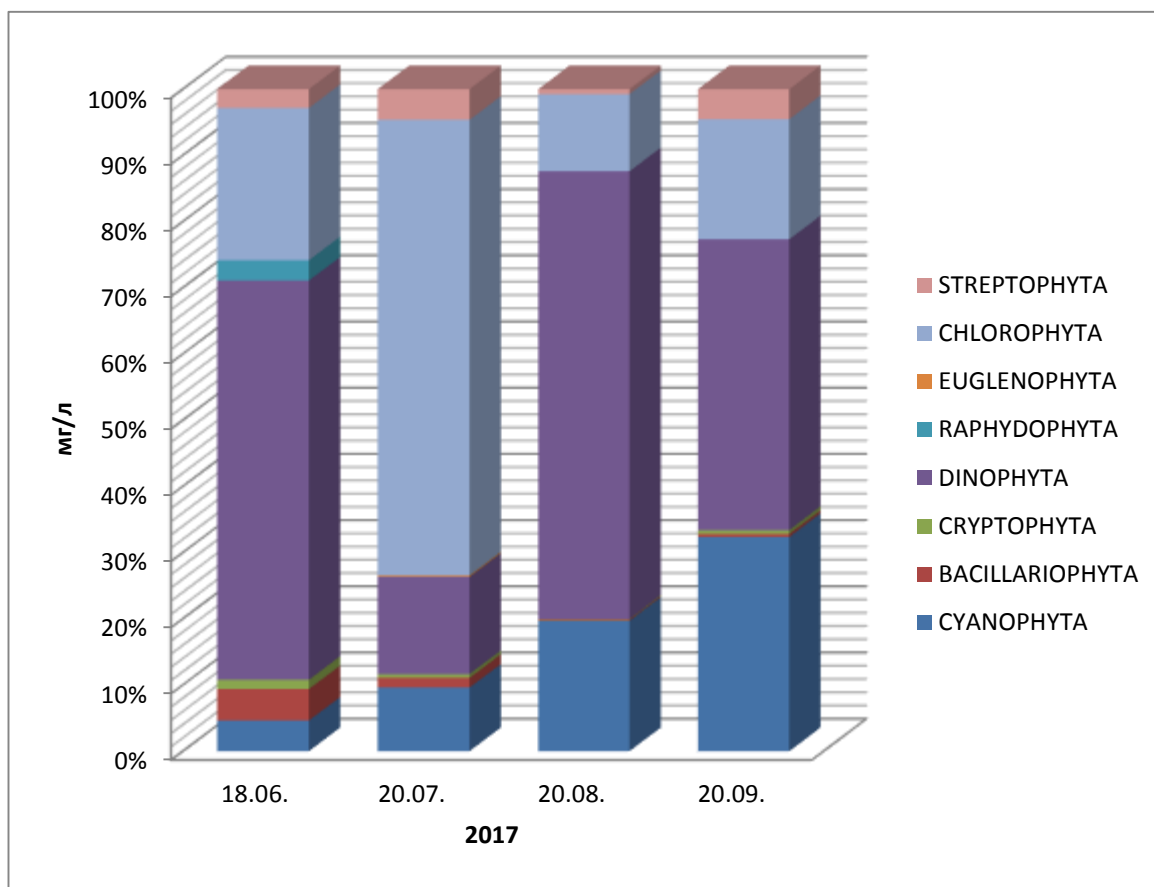


Рисунок 8 - Сезонная динамика биомассы фитопланктона оз. Отстойник 2017 г.

Средневегетационная биомасса фитопланктона была высокой и составляла 23 мг/л., пик развития приходился на конец лета и составлял 31,82 мг/л. В соответствии с классификацией Трифоновой, уровень трофности воды оценивался как гиперэвтрофный [25].

Основной вклад в формирование биомассы вносят по-прежнему динофитовые, зеленые и сине-зеленые водоросли. Вместе эти виды давали в среднем около 94% от общего значения биомассы и являлись абсолютными доминантами.

Состав комплексов доминирующих видов водорослей по численности и биомассе фитопланктона в 2017 представлен в таблице 12.

Таблица 12 - Показатели изменения численности (млн кл/л) и биомассы (мг/л) видов и состав доминирующего комплекса водорослей в оз. Отстойник в 2017 г.

Дата	Численность	Доминирующий комплекс видов по численности	Биомасса	Доминирующий комплекс видов по биомассе
18.06. 2017	48,74	<i>Merismopediatenuissima</i> , <i>Jaaginema gracile</i> , <i>Planktolyngbyalimnetica</i> , <i>Pseudoanabaen alimnetica</i> , <i>Dictyosphaerium subsolitarium</i>	18,54	<i>Peridinium maciculiferum</i> , <i>P. umbonatum</i>
20.07. 2017	81,92	<i>Planktolyngbyalimnetica</i> , <i>Aphanozomenon flos-aquae</i>	26	<i>Tetraedron triangulare</i>
20.08. 2017	323,15	<i>Merismopediatenuissima</i> , <i>Limnotrix planctonica</i> , <i>Pseudoanabaen alimnetica</i>	47,1	<i>Peridiniopsis elpatiewsky</i> , <i>Peridinium maciculiferum</i>
20.09. 2017	3,28	<i>Merismopediatenuissima</i> , <i>Aphanozomenon flos-aquae</i>	0,48	<i>Aphanozomenon flos-aquae</i> , <i>Tetraedron triangulare</i>

Комплекс доминирующих видов по численности в 2017 г. в основном состоял из представителей отдела Cyanophyta и Chlorophyta. Среди синезеленых водорослей были нитчатые безгетероцистные формы. В первую очередь, это были: *Limnotrix planctonica*, *Planktolyngbyalimnetica*. Меньшее значение имели *Jaaginema gracile*., *Pseudoanabaen alimnetica*, как уже говорилось ранее, данные формы относятся S1 типу и способны вызывать в водоеме так называемую «осцилляториевой болезнь».

Комплекс доминирующих видов по биомассе в 2017 г. в основном состоял из представителей отдела Dinophyta, Chlorophyta и Cyanophyta.

Из отдела Chlorophyta в ранг доминат все также входит *Tetraedron triangulare*, преимущественно в летний период. Видовой состав доминирующих динофитовых водорослей меняется: наибольшее влияние на формирование биомассы на протяжении всего вегетационного сезона

оказывают *Peridiniopsiselpatiewsky*, *Peridiniumaciculiferum*, *P. umbonatum*Stein. Цианопрокариоты (сине-зеленые водоросли) были представлены *Aphanozomenonflos-aquae*. Доля цианопрокариот в формировании биомассы все еще заметна и составляет в среднем около 17%.

Таким образом, уровень показателей фитопланктона в оз. Отстойник в 2017 году был достаточно высок, уровень трофности воды оценивался как гипертрофный, в водоеме активно развивались нитчатые безгетероцистные формы сине-зеленых водорослей, что указывает на развитие в данном водоеме «осцилляториевой болезни», вызванной антропогенной нагрузкой.

Данным исследованием подтверждается, что уменьшение техногенной нагрузки на водоем привело к значительному увеличению видового богатства водорослей планктона оз. Отстойник и способствовало формированию более таксономически разнообразной альгофлоры.

## **2.6 Исследование воды оз. Отстойник на токсичность по смертности тест-объекта *Daphnia magna* Straus**

Токсикологические исследования лучше всего проводить в летнее время года, когда флора и фауна водоемов наиболее полно развиты, а жизненные процессы организмов протекают более интенсивно. В связи с этим пробу воды мы отбирали в конце мая.

В это исследование входит проведение общего визуального обзора водоема, который является объектом исследования, или его части, исследование непосредственно на водоеме, а так же отбор проб для последующего проведения анализа в специализированной лаборатории.

Во время визуального осмотра необходимо обращали внимание на прозрачность и цвет воды, присутствие в ней водорослей и его интенсивность, прибрежные скопления разлагающихся водорослей, состав и распределение зарослей водных растений, обрастания прибрежных скал, причалов, плавучих объектов и водной растительности.

Биотестирование воды оз. Отстойник проводилось в лабораторных условиях, в помещении не присутствовали токсичных газов и паров. Температура окружающей среды в лаборатории поддерживалась от 17 до 27 °С, атмосферное давление от 84 до 106 кПа.

Освещение помещения может быть искусственным или естественным и не ограничено особыми требованиями.

Во время токсикологических испытаний используют дафний, начиная с третьего поколения, полученного в лаборатории. Перед проведением эксперимента оценивают устойчивость рачков к бихромату калия, и по величинам ЛК50 за 24 ч определяют соответствие культуры стандарту. Эта концентрация для дафний в возрасте  $18 \pm 6$  ч должна находиться в пределах 0,9 — 2,0 мг/л. Оценка острой токсичности Основная цель острых экспериментов на дафниях — установить токсичность исследуемых проб воды, водных вытяжек из почв и т.д. по выживаемости тест-организмов. Продолжительность опыта — 48 ч. В экспериментальные стеклянные стаканы заливают исследуемые растворы в количестве по 100 мл и помещают по 10 односуточных дафний. Рачков за 2 часа до опыта кормят. Опыт идет без кормления. Повторность опытов в предварительном варианте составляет 2-3, а в окончательном — не менее трех. Основной показатель, исследуемый в остром опыте — выживаемость рачков. В качестве дополнительных показателей в остром опыте можно учитывать поведенческие реакции у дафний. Наступление гибели рачков отмечают либо по наступлению клинической смерти, либо по состоянию иммобилизации (неподвижности), так как эта стадия не обратима. При необходимости дополнительных исследований проводят оценку хронической токсичности, где экспозиция определяется временем появления четырех пометов у контрольных дафний, что составляет обычно около 20 суток. Общее количество народившейся жизнеспособной молоди от одной самки отражает величину реальной (фактической) плодовитости дафний.

Рачки вида *Daphnia magna Straus* (рисунок 9) обитают в стоячих и слабопроточных водоемах, особенно часто — во временных лужах, и распространены повсеместно на территории России. Рост Дафний на протяжении всей жизни разный, с увеличением возраста замедляется; первые три-ювенильные-следуют по 20, 24, 36 ч, четвертые-созревание яиц в яичнике — и пятые — кладка яиц в выводковую камеру. Начиная с шестого, каждая линька сопровождается яйцекладкой. Размер молодой Дафнии после каждой линьки удваивается, при условии что она питается хорошо. После полового созревания, рост замедляется. Вымел из молодых имеет от 0,7 до 0,9 миллиметр в длину, к моменту полового созревания самки достигают от 2,2 до 2,4 миллиметра, а самцы от 2,0 до 2,1 миллиметра в длину. Максимальная длина тела самок может достигать 6.0 мм с сырым весом 7-10 мг.



Рисунок 9 – *Daphnia magna Straus*

По результатам острых опытов определена концентрация вещества, вызывающего гибель 50% экспериментальных животных за 48 часов воздействия (ЛК50). Самым простым и наиболее часто используемым методом определения LC50 является графический метод. В системе координат на оси ординат величина выживаемости Дафний откладывается в

процентах на заданный период экспериментов, а на оси абсцисс-логарифм концентрации. Точка пересечения горизонтальной линии, соответствующей 50% выживаемости раков с экспериментальной линией, определит требуемую концентрацию LC50. Более точное определение ЛК50 можно унести используя анализ пробит. Результаты экспериментов позволяют также оценить наличие острой токсичности по концентрациям (то есть образец разведения), вызывая значительное снижение выживаемости онкологических заболеваний по сравнению с контролем и определить максимальную концентрацию, при которой острая токсичность не проявляется. Достоверность результатов, полученных в остром опыте, можно считать достоверной, если выполнены следующие условия:

- гибель контрольных дафний не превышает 10%;

На основании результатов биотестирования по выживаемости рачков делают вывод об уровне острой токсичности исследуемых проб. Определение концентраций (разведений), не обладающих хроническим токсическим действием, базируется на оценке двух показателей: выживаемости и плодовитости дафний. [30,47].

Для приготовления разбавлений исследуемой воды из оз. Отстойник использовалась культивационная вода. Анализируемую воду предварительно разделили в 2 сосуда: один для разбавления, а другой для хранения раствора, если биотестирование необходимо будет повторить. Все растворы и их разбавления готовились при комнатной температуре. Культивационная и исследуемая воды также имели комнатную температуру. Отобранная проба воды анализировалась в 100, 33, 11, 3,7 и 1,2%-ной концентрациях (ряд разбавлений, кратных трем). Во время приготовления разведений пробы тщательно перемешивались. Вода, подготовленная для биотестирования в объеме 300 см<sup>3</sup>, была переведена в стеклянную чашку емкостью 500 см<sup>3</sup>. Для получения серии разбавления анализируемой пробы к 160 см<sup>3</sup> дистиллированной воды добавляли кратные трем, четырем стаканам по 200 см<sup>3</sup>. После этого в первый из них вводят 80 см<sup>3</sup> испытуемой воды, во второй,

третий и четвертый соответственно переносят 80 см<sup>3</sup> из первого, второго и третьего стаканов. Наряду с разбавленной тестовой водой в отдельные стаканы добавляли 160 см<sup>3</sup> исходной воды для тестирования и 160 см<sup>3</sup> контрольной воды. Можно предположить следующие 6 вариантов испытуемого образца воды объемом 160 см<sup>3</sup> каждый, включая контрольный образец, который используется в качестве дистиллированной воды:

1. Исходная (то есть не разбавленная) проба воды - 100%;
2. Проба, которая разбавлена в 3 раза – 33,00%;
3. Проба, которая разбавлена в 9 раз – 11,00%;
4. Проба, которая разбавлена в 27 раз - 3,70%;
5. Проба, которая разбавлена в 81 раз - 1,20%;
6. Контрольная проба, 0%.

Биотестирование было проведено при соблюдении требований к продолжительности фотопериода, температуре, а так же качеству культивационной воды. Оно проводилось в специальных стеклянных емкостях («пробирках») объемом 100 см<sup>3</sup>, входящих в комплект устройства УЭР-03, которые заполняются 50 см<sup>3</sup> исследуемой воды (рисунок 10).



Рисунок 10 - Специальные стеклянные емкости для проведения биотестирования

В пробирки поместили по десять дафний в возрасте от 6 до 24 ч. Чувствительность к токсикантам иных возрастов будет существенно отличаться. Отлов дафний происходил из емкостей. В специальный химический стакан сначала отсаживали всех одновозрастных рачков, а затем с помощью стеклянной трубки с оплавленными краями и внутренним диаметром 5-6 мм переносили в пустые «пробирки» по 10 особей с минимальным объемом культивационной воды (рисунок 11).

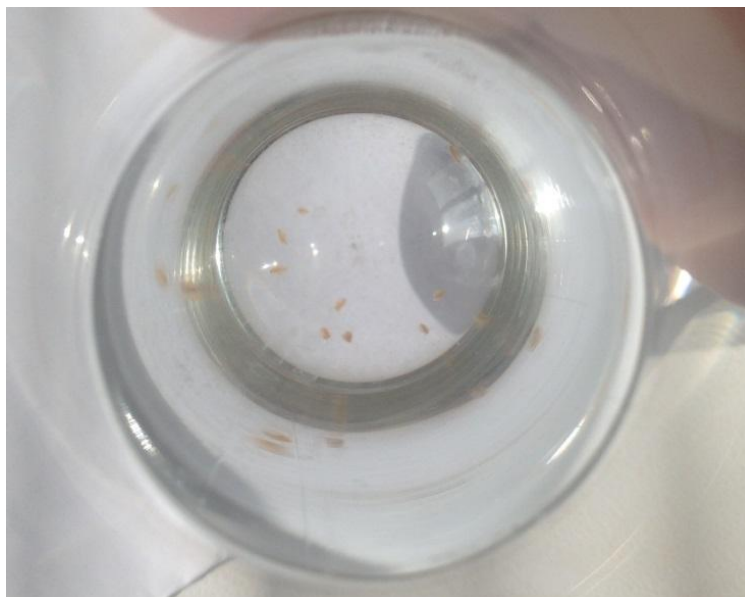


Рисунок 11 - Одновозрастные рачки

После этого из «пробирок» удаляли культивационную воду и сразу добавляли контрольный или опытный раствор в объеме 50 см<sup>3</sup>. с контрольной серии начинали посадку рачков. Дафний в растворы помещали, начиная с самых больших. Для всех серии воды применялись 3 «пробирки».

«Пробирки» с пробами воды и тест-организмами помещаются во вращающуюся кассету устройства для экспонирования рачков У ЭР-03(рисунок 12).





Рисунок 12 - Устройства для экспонирования рачков У ЭР-03

Благодаря вращению кассеты происходит непрерывная и идентичная аэрация всех испытуемых образцов. При этом выбранная скорость вращения (от 6 до 8 оборотов в минуту) не создает стрессовой ситуации для самих ракообразных. Учет смертности Дафний проводят через каждые 24 часа. Эксперимент прекращается, если в течение 24 часов во всех вариантах (разведение исследуемой воды) происходит гибель более 50% ракообразных. Особи, которые не двигаются в течение 15 секунд после встряхивания, считаются погибшими. В экспериментах по определению острой токсичности растворы остаются не изменными. Результаты наблюдений приведены в таблице (таблица 13).

Таблица 13– Результаты наблюдений на тест – объектах *Daphnia magna* Straus

Дата и время отбора проб	27.05.2018, 18:00
Наименование объекта	Васильевские озёра
Место отбора пробы	оз. Отстойник
Вид отобранной пробы	объединенная
Срок хранения пробы до начала биотестирования	17 ч

Продолжение таблицы 13

Используемые тест-организмы, возраст	<i>Daphnia magna</i> , возраст 6-24 ч.
Оборудование и условия биотестирования	Культиватор.
Режим кормления	10 см <sup>3</sup> суспензии водорослей хлореллана 200 см <sup>3</sup> синхронной культуры за 12 часов до проведения биотестирования
Повторности для каждого разбавления воды	Три
Исследуемые концентрации сточных вод	1,2; 3,7; 11; 33; 100%
Соответствующая степень разбавления сточных вод	Разбавления в 1 (без разбавления) 3, 9,27, 81 раз
tC°, рН исследуемой воды	21С°, 7,74

По истечению 48 часов, все тест - организмы были живы, но была потеряна подвижность, что указывает на незначительное воздействие поллютантов на биологические объекты.

## 2.7 Исследование химических показателей воды оз. Отстойник в 2018 г.

Для характеристики состояния озерных экосистем и происходящих в них биологических процессов проводят химический анализ воды. Нами определялись лишь некоторые химические показатели качества воды, именно: активная реакция воды (рН), содержание сульфатов, хлоридов, фосфатов, а так же содержание катионов железа и свинца.

### 2.7.1 Определение кислотности воды

Величина рН воды является одним из важнейших показателей качества вод. Она имеет большое значение для химических и биологических процессов, происходящих в водоемах. От нее зависит развитие и жизнедеятельность гидробионтов, микроорганизмов; устойчивость различных форм миграции элементов, агрессивное действие воды на металлы и бетон.

В ходе лабораторной работы была определена кислотность воды при помощи рН-метра и составила 9,64(рисунок 13).

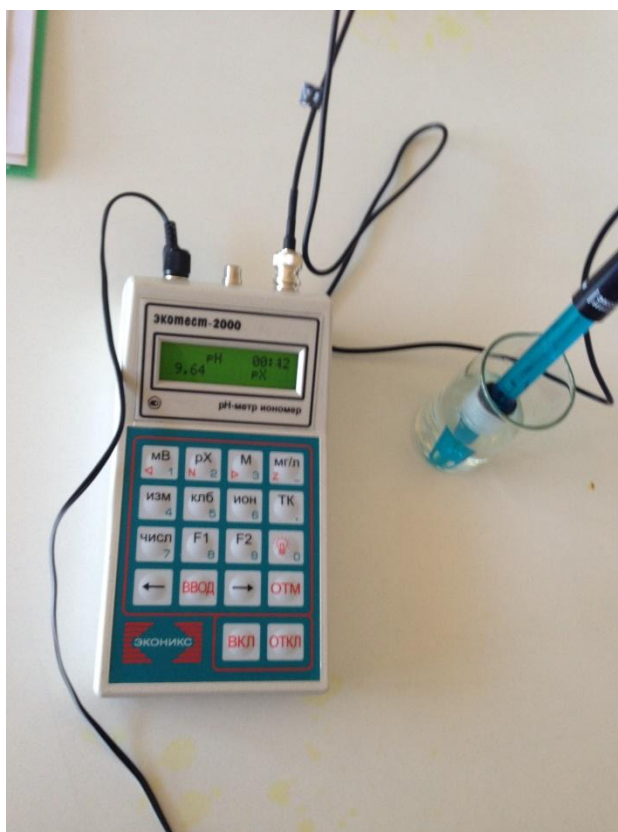


Рисунок 13 - рН-метр

### 2.7.2 Определение сульфатов

В пробирку наливали 10 мл исследуемой воды, добавляли 0,5 мл соляной кислоты (1:5) и 2 мл 5%-ного раствора хлорида бария. Пробирку осторожно встряхивали и наблюдали появление мути, которая указывала на содержание в воде сульфат. Для того, чтобы убедиться, что осадок образован именно сульфатами, а не карбонатами или фосфатами, часть раствора

перелили в другую пробирку и к нему добавляли несколько капель соляной кислоты. Осадок в соляной кислоте не растворился, что указывает на наличие в воде сульфат-иона.

Для полуколичественного определения сульфат-ионов сравнивали исследуемый раствор со стандартной шкалой (рисунок 14).



Рисунок 14 – Стандартная шкала для определения сульфатов в воде  
Количество сульфатов в исследуемой пробе воды составило 20 мг/л.

### 2.7.3 Определение хлоридов

В пробирку наливали 5 мл воды и добавляли 3-4 капли 10%-ного раствора нитрата серебра. Появление осадка или мути указывает на присутствие в воде хлоридов. Для того чтобы убедиться, что осадок образовался за счет хлорид-ионов, в пробирку добавляли несколько капель азотной кислоты. Не растворившийся осадок свидетельствовал о содержании в воде именно хлоридов (рисунок 15).



Рисунок 15 – Определение хлоридов

Для определения содержания хлоридов (мг/л) использовали характеристику мути, в пробе воды была заметна сильная муть, что показывает содержание хлоридов в диапазоне 10-50 мг/л.

#### 2.7.4 Определение фосфатов

В химический стакан объемом 100 мл наливали 50 мл пробы воды, добавляли 1 мл соляной кислоты (1:5), 1 мл раствора молибдата аммония и по каплям вводили раствор хлорида олова (3 капли) (рисунок 16).



Рисунок 16 – Определение фосфатов

По интенсивности окраски полученного раствора судили о количестве фосфат ионов. Раствор имел голубую окраску, что указывает на содержание фосфатов в исследуемой воде в количестве 10-45 мг/л.

#### 2.7.5 Определение содержания катионов железа

Для определения содержания в воде солей железа наливали 10 мл исследуемой пробы в мерную колбу, добавляли 1 мл серной кислоты (для создания кислой среды). Далее прибавляли 5 мл 10 %-ного раствора сульфосалициловой кислоты. Раствор доливали до метки дистиллированной водой и перемешивали. Для сравнения с растворами стандартной шкалы приготовленный раствор налили в пробирку до уровня, одинакового со стандартными растворами (рисунок 17). Рассматривая растворы сверху, сравнивали окраску.



Рисунок 17 – Определение в воде содержания катионов железа

В присутствии ионов железа раствор окрашивается в розовый цвет.

В нашем случае раствор не окрасился в розовый цвет, что позволяет на основании стандартной шкалы для определения железа в воде, сделать вывод, что в исследуемой пробе железа содержится 0,05 мг/л.

### 2.7.6 Определение содержания катионов свинца

В пробирку поместили 5 мл пробы, прибавили 0,5 мл 0,5М раствора хромата калия (рисунок 18).

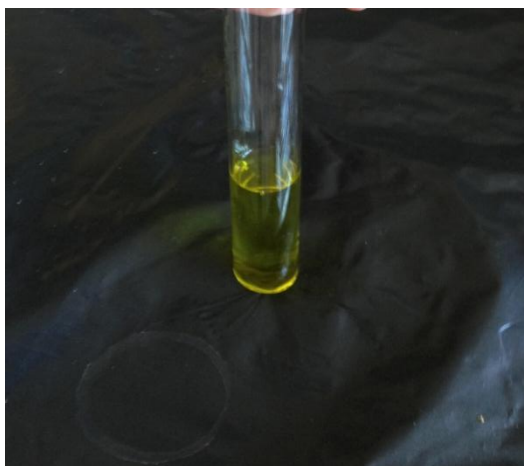


Рисунок 18 - Определение катионов свинца

Окраску полученного раствора сравнивали со стандартной шкалой (рисунок 19), содержание свинца в исследуемой пробе 0,05 мг/л.

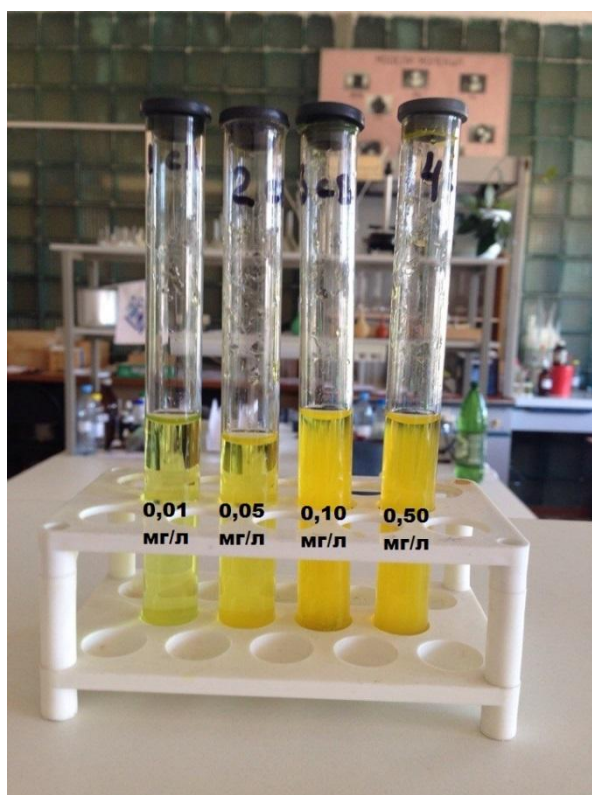


Рисунок 19 – Стандартная шкала для определения содержания катионов свинца в воде

### 2.7.7 Определение содержания сухого остатка

100 мл воды выпаривали в предварительно высушенной до постоянной массы фарфоровой чашке. Выпаривание вели на электрической плитке. Затем чашку с сухим остатком помещали в термостат при 110 С° и сушили до постоянной массы.

Сухой остаток (X), мг/дм<sup>3</sup>, вычисляли по формуле (1).

$$X = \frac{(m - m_1) \cdot 1000}{V}, \quad (1)$$

где m – масса чашки с сухим остатком, мг,

m<sub>1</sub> – масса пустой чашки, мг,

V – объем воды взятый для определения, мл.

$$X = \frac{(51295,6 - 51236,5) \cdot 1000}{100} = 591 \text{ мг/дм}^3$$

Сухой остаток составил 591 мг/дм<sup>3</sup>.

Исследование качества воды заключается в сопоставлении результатов анализа воды по определенным параметрам с установленными стандартами, поэтому в таблице приведены значения ПДК некоторых загрязнителей для разных типов водопользования (таблицей 14). Для сравнения проба воды отбиралась с приплатинного плеса Куйбышевского водохранилища.

Таблица 14 - Сравнительный анализ водоемов по химическим показателям

Показатели	оз. Отстойник, 1991-92 гг	оз. Отстойник, 2018 г.	Куйбышевское водохранилище	ПДК, мг/л*
Сульфаты	-	20 мг/л	50 мг/л	100 мг/л
Хлориды	-	10-50 мг/л	1-10 мг/л	300 мг/л
Фосфаты	0,03 мг/л	<b>10-45 мг/л</b>	<b>10-45 мг/л</b>	<b>0,2 мг/л</b>
Железо	<b>0,2 мг/л</b>	0,05 мг/л	0,05 мг/л	0,1 мг/л
Свинец	-	<b>0,05 мг/л</b>	<b>0,05 мг/л</b>	<b>0,006 мг/л</b>

\*СанПиН 2.1.5.980-00. 2.1.5. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод.



Таким образом, исследования показали, что для озера Отстойник и Куйбышевского водохранилища в настоящее время характерно повышенное содержание фосфатов. Его средние концентрации в озере и водохранилище превышают верхнюю границу диапазона для эвтрофных водоемов. По показателям загрязненности воды и состояния биоты загрязненных водоемов экосистема оз. Отстойник характеризуется как катастрофическая (по В. И. Сметанину, 2003) [44].

Так же превышение идет еще по одному из показателей, которые нам удалось определить – свинец. Поступая в организм в малых порциях, свинец задерживается в нем и, постепенно замещая кальций, входящий в состав костей, вызывает хроническое отравление.

В связи с чем можно сделать вывод, что оз. Отстойник, которое является главным объектом исследования не пригодно для рекреационного водопользования. Так как существуют «Общие требования к составу и свойствам воды водных объектов в контрольных створах и местах питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования» в которых сказано, что химические вещества в воде водных объектов не должны содержаться в концентрациях, превышающих ПДК.

### **Глава 3 Разработки оптимальных технологических мероприятий по восстановлению оз. Отстойник**

Антропогенное влияние на малые водоемы урбанизированных территорий становится все ощутимее с каждым годом.

Поскольку невозможно представить, что в будущем созидательная человеческая активность резко сократится или прекратится вовсе, возникает необходимость поиска способов оптимальной эксплуатации водных экосистем, которые обеспечивали бы их неистощительное развитие.

Проблема реабилитации водоемов на данный период времени один из важнейших вопросов, требующих изучения и дальнейшей реализации. Существует целый спектр загрязнения озер, поэтому необходим качественный мониторинг и выявление экологических проблем в каждого конкретном случае. Это необходимо для реализации их восстановления. Есть несколько методов реабилитации водоемов, но при этом не многие технологии применяются на практике.

От антропогенного воздействия и характера экологического нарушения в одних случаях озерные экосистемы восстанавливаются до состояния, предшествующего нарушению, в других - осуществляется лишь часть их восстановления (в озерах-охладителях и озерных водоемах). В последнем случае меры по обеспечению чистоты воды в озере при сохранении функций водопотребления и водопользования: для отдыха, выработки электроэнергии, орошения, охлаждения нагретой воды и другие.

#### **3.1 Анализ методов очистки и восстановления малых водоемов на урбанизированных территориях**

Восстановление экосистемы озера осуществляется поэтапно, но редко полностью достигается, так как требует дорогостоящих мероприятий,

стоимость и продолжительность которых увеличиваются с увеличением требований к воде в восстановленном озере.

Мероприятия делятся на внешние, то есть осуществляемые в водосборном бассейне (к ним относятся профилактические мероприятия), и внутренние (восстановительные и нормативные) - в озере (Таблица 15). Внешние меры используются для уменьшения потока продуктов дефляции и эрозии, питательных и загрязняющих веществ в озеро из дренажного бассейна. Внутренние мероприятия проводятся одновременно или после с внешними, если внутренняя нагрузка на озеро снижается и это не дало ожидаемого результата.

Большая часть мероприятий, которые направлены на сохранение экосистем в озерах, связана с увеличением инженерно-экологических задач, к которым можно отнести: строительство очистных сооружений, аэрация, водоотведение, дноуглубительные работы, повышение уровня воды и другие. Гораздо сложнее контролировать выброс загрязнений и состояние водосборного бассейна в местах их образования.

Таблица 15 - Мероприятия по восстановлению (оздоровлению) нарушенных озерных экосистем (по Прытковой М. Я., 2002 с изменениями)

Внешние меры	Внутренние меры
1	2
1 Антропогенная эвтрофикация	
Контролирование источников биогенных элементов на водосборе. Экологическое обустройство водосборов притоков. Регулирование эрозии почв и стока на водосборе методами гидротехники и агро-луго-лесомелиорации. Контролирование поступления биогенных элементов в озеро.	Удаление отложений на дне водоема. Разбавление воды в озерах. Изменение скорости обмена воды. Осаждение фосфора из озерной воды. Контролирование поступлений фосфора из донных отложений. Биоманипуляция. Контролирование способности озера удерживать фосфор. Обработка химикатами. Контролирование площади зарастания макрофитами и процесса «цветения» воды. Дестратификация, аэрация и оксигенация. Отвод воды из гипolimнионе. Применение биопрепаратов.

Продолжение таблицы 15

2 Заиление и зарастание озер	
Контролирование береговых и русловых процессов на притоках и самих реках. Контролирование дефляции и эрозии на водосборе методами гидротехники и агро-луго-лесомелиорации.	Удаление торфяников, донных отложений и сплавин. Биоманипуляция. Контролирование наносодерживающей способности озер. Контролирование зарастания озера макрофитами. Использование биопрепаратов. Вселение моллюсков-фильтраторов.
3 Загрязнение органическими ксенобиотиками, нефтепродуктами и нефтью	
Улучшение очистки сточных вод Уменьшение сброса сточных вод.	Вселение макрофитов и последующее удалением их в конце вегетационного периода. Оксигенация и аэраци. Применение сорбентов, коагулянтов и флокулянтов. Применение нефтесборной и водоочистной техники. Использование биопрепаратов.
4 Загрязнение тяжелыми металлами	
Совершенствование очистки сточных вод запрет или уменьшение количества сброса сточных вод в озеро.	Удаление рыбы, макрофитов и отложений, которые скапливаются на дне. Увеличение рН вод. Применение биосорбентов и сорбентов.
5 Закисление	
Снижение выбросов серы в атмосферу Известкование лесов, гидрографической сети на водосборе озера. Снижение сброса сточных вод, в которых содержится органические вещества и аммония	Известкование водной массы и на дне озера. Увеличение проточности озера (то есть водообмена)
6 Тепловое загрязнение	
Подача холодной воды в сбросный канал Пруды-отстойники на водосборе.	Увеличение водообмена. Регулирование площади макрофитов. Дестратификация и аэрация

Продолжение таблицы 15

1	2
7 Регулирование уровня воды озер	
<p>Сохранение внутригодового режима уровня воды.</p> <p>Контролирование эрозии почв и стока на водосборе методами агро-луго-лесомелиорации.</p> <p>Ограничение площади осушаемых земель.</p> <p>Пруды-отстойники на водосборе.</p> <p>Увеличение водообмена озера.</p> <p>Восстановление бобровых поселений на водосборе.</p> <p>Укрепление берегов</p>	<p>Обвалование низких берегов, дноуглубление, удаление макрофитов.</p> <p>Регулирование наносодерживающей способности</p>
8. Восстановление ранее спущенных озер	
<p>Подготовка ложа и прилегающей территории к затоплению</p>	<p>Увеличение уровня воды. Удаление лишней растительности.</p> <p>Удаление сплавин и всплывших торфяников</p>
9. Рекреационное использование озер	
<p>Благоустройство береговой зоны и пляжей</p>	<p>Соблюдение рекреационных нагрузок</p> <p>Устройство причалов.</p>

Рассмотрим эти меры более подробно. Для уменьшения притока питательных веществ к водоемам и потерь удобрений используется агро- и гидромелиоративные мероприятия, вспашка поперек склона, малогабаритное оборудование, строительство буферных емкостей, биопрудов или их каскадов в каналах водотоков, гидро-ботанических площадок, искусственных водно-болотных угодий, введение высшей водной растительности в устьях небольших рек и прибрежной зоне, в мелководных водоемах, в лагунах или обвалка полей орошения, водоемов. В некоторых случаях, озера защищена от склонового потока рвом.

Облесение склонов, водоразделов, создание водоохраных полос вдоль берегов озера и гидрографической сети, высаживание растительного покрова, мульчирование, поддержание содержания гумуса в почве-все эти мерв

способствует поглощению фосфора и азота из почвы и предотвращает вымывание и эрозию их в водоемы.

Потребление питательных веществ в водоемы уменьшается во время применения использования инкапсулированных или гранулированных форм минеральных удобрений, их замене органическими (биогумус и компост) удобрениями, бактериальными удобрениями на основе азотных фиксаторов или бактериями.

Внутренние мероприятия по поддержанию и восстановлению трофического статуса водных объектов включают в себя воздействие на экологическую обстановку в водоеме. Они вступают в силу только после осуществления внешних мероприятий и могут включать дноуглубительные работы с загрязненными отложениями, макрофитами, осаждение фосфора из озерной воды и добавление химических реагентов, аэрацию, промывку озера и методы биоманипуляции.

### 3.1.1 Удаление донных отложений

Удаление отложений, обогащенных биогенными элементами, осуществляется гидромеханизированным способом с использованием дноуглубительных снарядов или грейфера с использованием экскаваторов. Это эффективный способ. Однако это может привести к перемешиванию донных отложений и переносу загрязнения из донных слоев в толщу воды. Если объем изъятых отложений не менее 10-20%, то в результате бурления увеличиваются процессы эвтрофикации, а не улучшения состояния водоема. Удаление большей части объема шлама является технически сложным и дорогостоящим. Трудности могут возникнуть с размещением изъятых ила. Хранение ила на берегу может привести к повторному попаданию загрязнений в водоем в результате поверхностного стока, ветровой эрозии или повышения уровня воды в водоеме.

Этот метод был применен к озеру Неро, которое расположено в Ярославской области со временем это озеро стал мелководным, если

изначально глубина озера составляла 40 метров, то к 2016 году составляла 1-5 метров. Все остальное донные отложения-сапропели. Удаление донных отложений осуществлялось с помощью дноуглубительных работ (землесосных снарядов), эти машины откачивались из данного озера донные отложения и по трубам передавались на берег. Далее происходило утилизация этих отложений в специально вырытых ямах. Всего для очистки этого озера были задействованы 7 земснарядов. Территория озера. Неро составляет почти 60 км<sup>2</sup>. На восстановление озера потребуется почти миллиард рублей.

### 3.1.2 Химическая очистка

Для осаждения фосфора из воды используются разные химические вещества, которые вводятся в озера с помощью опрыскивания, опыления водной поверхности или в гранулированном или растворенном виде в донные отложения или толщу воды. Один из вариантов обработки заключается в введение алюминиево-калиевых осадков или сульфата алюминия, другой, в случае небольшого содержания в донных отложениях железа – поэтапную обработку донных отложений сначала раствором  $\text{FeCl}_3$ , затем  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . Введение  $\text{FeCl}_3$  нитратов в нижние слои (в форме кальция нитрат) повышает редокс-потенциал, тормозит сульфатредукцию и переводит двухвалентное железо, связанное в сульфид ( $\text{FeS}$ ), в окисленную трехвалентную формы железа ( $\text{FeOOH}$ ) с образованием молекулярной серы в качестве продукта реакции.  $\text{FeOOH}$  связывает фосфат-ионы, фиксируя их в осадок, и предотвращает поступление фосфора в толще воды [28].

Химическая очистка производилась в озере Littoinen Финляндии с помощью хлорида полиалюминия. Этот метод желательно применять только в ситуациях, когда другие методы не работают. Радикальное решение проблемы имеет обратную сторону медали: химикат может уничтожить рыбу, живущую в озере вместе с водорослями.

Увеличение проточности воды в водохранилище или промывка озера снижают концентрацию питательных веществ и загрязняющих веществ и увеличивают скорость удаления из озер планктонных водорослей. Вода должна подаваться из другого, поверхностного или подземного источника с низким содержанием питательных веществ. Эвтрофикация водоемов происходит при более высоких значениях водообмена, примерно от 15 до 20 раз в год или более. Если водоем проточный, то положительный эффект может быть достигнут за счет удаления воды со дна сифонной зоны (гиполимниона) в вытекающий из озера водоток.

### 3.1.3 Принудительная аэрация

Принудительная аэрация является одним из эффективных и часто используемых способов борьбы с эвтрофикацией водных объектов. Аэрируют водяной столб или только гиполимнион. Аэрация осуществляется путем перемешивания гидравлическими аэраторами или пневматическими со сжатым воздухом. При аэрации без сбоя стратификации вода берется из гиполимниона, поднимается на поверхность для насыщения воды кислородом в специальной камере и возвращается в гиполимнион. Вместо камеры можно использовать распыление воды гиполимнионом на берегу. Этот метод приводит к ликвидации бескислородной донной области, обогащенной продуктами биогенными веществами и анаэробного разложения, к окислению сероводорода и иных восстановленных веществ, осаждают фосфаты и превращают в нерастворимые формы, тем самым снижается их поступление из отложений [44].

Нарушение стратификации происходит, когда кислород или воздух нагнетается или когда воды в гиполимнионе подается в эпилимнион. Когда холодная вода откачивается с гиполимниона на поверхность и смешивается с теплой водой эпилимниона, вода из эпилимниона опускается на дно, что способствует повышению температуры воды на дне. В результате в зоне гиполимниона ускоряется разложение мертвого органического вещества и



развитие бентосных организмов, водоросли из области солнечного света перемещаются в глубину, что замедляет их рост и снижает продуктивность водоема.

Принудительная аэрация сейчас проводится в Казани, в озере Урицкого парка. Четыре установки работают круглый год, насыщая воду кислородом. Установленная система аэрации предназначена для обогащения воды кислородом и работает круглый год. Две установки находятся в канале, еще две - в озере [28,44].

#### 3.1.4 Методы биоманипуляции

Методы биоманипуляции являются одними из самых эффективных. Они включают в себя интродукцию и увеличение площади погруженных макрофитов до 25% от площади дна, введение фильтрующих моллюсков, регулирование видового состава и управление рыбным запасом. Необходимым условием манипуляции является снижение содержания общего фосфора в воде озера не более 0,08-0,15 мг/л.

Фитопланктон и макрофиты конкурируют между собой за биогенные элементы. Помимо этого, макрофиты во время фотосинтеза затеняют нижележащие слои и насыщают воду кислородом, тем самым они создают неблагоприятные условия для жизни фитопланктона. При введении макрофитов предусмотрены меры по защите растений на ранней стадии их развития от разрушения водоплавающими птицами. Обычно для этого растения огорожены сеткой.

К высшим водным растениям относятся рогоз, тростник, выюнок и иные растения. Это в основном растительность, укорененная на дне. Некоторые растения (к примеру, ряска, водяной гиацинт) свободно плавают на поверхности водоема. Они широко распространены в реках, озерах и водохранилищах [44].

Макрофиты осуществляют кислородный фотосинтез, обогащая воду кислородом, участвуют в удалении из воды отложений, патогенов,

биогенных и органических веществ. Большинство растений укореняются на дне имеют воздухоносные ткани, которые обеспечивают хороший запас кислорода из атмосферы, даже подземных органов, уходящих на глубину 1-2м [26].

Прозрачность воды, проходящей через заросли высших водных растений, примерно в 2-3 раза выше, чем на открытых участках. В густых зарослях, отложение органических и минеральных веществ происходит в 2-2.5 раза быстрее, чем в разреженных зарослях. Толщина ила в камышах и рогозных зарослях в конце вегетационного периода иногда достигает 0,5-0,8м, а на открытой местности за тот же период времени – лишь 0,1-0,2 м.

Очистку загрязненных водных сред может проводиться с использованием не только растений - макрофитов, но у высших наземных растений, выращиваемых в гидропонной культуре и поглощающих, концентрирующих, осаждающих или разлагающих примесей из сточных вод корнями взрослых растений и ризосферной микрофлорой, а также с помощью рассады растений – часто проще и более экономичный метод по сравнению с использованием взрослых растений.

Из моллюсков эффективными в самоочищении водоемов, в том числе в удалении биогенных элементов, являются двустворчатые моллюски: мидия, мия, устрица [45]. Мидии являются наиболее доступными для использования в биоремедиации поверхностных водоемов. Мидии в больших количествах потребляют фитопланктон и другие органические частицы, взвешенные в воде. В течение дня один взрослый моллюск фильтрует от 50 до 120 литров воды, а колонии мидий-десятки тонн воды на м<sup>2</sup> их естественных поселений. В течение года поселения моллюсков способны фильтровать и очищать несколько объемов воды в водоеме [45]. Мидии устойчивы к различным загрязнениям. Пропуская через себя огромную массу воды, они извлекают из нее вместе пищевыми продуктами и взвешенными частицами и переносят загрязнения в малотоксичные связанные формы, накапливая их в своих тканях и выделениях. Мидии предотвращают распространение загрязнений и

эвтрофикацию водных объектов, контролируют количество воды фитопланктона. Мидии выращиваются в пруду в специальных мидийных сотах с развитой поверхностью, на которой закреплены и живут мидии. Подобные ячейки устанавливаются в местах стока воды или равномерно распределяются по водоему [45].

В отдельных случаях в борьбе с развитием растительности на берегу и фитопланктона в водоеме появляются травоядные рыбы. В других наоборот производится изъятие рыб. Общая биомасса рыб, которые питаются растениями в конце лета должна быть равна до 50 кг/га, а щуки – примерно 25 кг/га. Для того, чтобы популяция щуки развивалась, ключевую роль в структурировании пищевой цепи отводится площади погруженных макрофитов. Она должна быть равна больше 25% площади дна. Эффект снижения трофического статуса озера можно получить если предотвратить сокращение запаса рыбы в озере, если вывести из озера до 80% рыбного запаса не более чем на 1-2 года.

### 3.1.5 Борьба с заилением и зарастанием водорослями и отмершими макрофитами

Заиление ускоряет эвтрофикацию, меняет гидрологический режим, приводит к зарастанию и обмелению озера, что приводит к потере как водного объекта.

Продукты эрозии являются основными источниками заиления озер. Эти продукты поступают из водосборного бассейна. Меры, которые направлены на уменьшение скорости заиления очищенного от осадков озера, должны быть реализованы и в водосборном бассейне, и в самом озере.

Внешние меры по предотвращению заиления включают использование противозерозионной сельскохозяйственной технологии при возделывании полей, контроль дефляции и эрозии в водосборе с помощью агро-и гидромелиорации.

Противоэрозионные методы обработки почвы на склонах направлены на повышение поглощающей способности почвы и уменьшение поверхностного стока. Они обеспечивают боковые и контурные культивация, глубокая отвальная вспашка, разноглубинной обработки.

Применение органических торфа, удобрений, компоста в пахотном горизонте дерново-подзолистых почв способствует более прочной рассыпчатой структуре почвы, уменьшает вынос химических элементов, замедляет эрозию. При применении развитых и дренированных торфяных почв для этих же целей вводят рыхлые или связанные супеси.

Посев травянистых растений для закрепления склона суши, посадка деревьев и кустарников, сохранение болот, лесных полос, создание вокруг озера водоохранных зон способствуют удержанию подвесного склона стока. Для этого можно построить противооползневые и гидротехнические сооружения, провести работы по укреплению банков.

Внутренние меры, направленные на восстановление заиленных озер во многом схожи с мерами по мелководным антропогенным озерам. Задача восстановления заиленных озер-в первую очередь восстановить их как водоемы. После того, как пройдет восстановление озера в его водосборном бассейне необходимо выполнить комплекс водоохранных и почвосберегающих мероприятий.

Заиленные озера обычно зарастают макрофитами. Не маленькая площадь зарастания озер приводит к их наносодерживающей способности, ускоряет процесс эвтрофикации. Поэтому во время восстановления таких озер кроме удаления, скопившихся на дне отложений, необходимо отчистить озеро от водной растительности. Площадь роста макрофитов не должна превышать 25% площади озера.

В периоды гибели большой массы макро и микро- растительности происходит резкое ухудшение качества воды: в воде появляются неприятные запахи и уменьшается содержание растворенного кислорода. Это явление получило название вторичного загрязнения.

Для уменьшения площади, занимаемой макрофитами, происходит механическая резка макрофитов, разрушения корневой системы и удаления растений при грейферном способе удаления донных отложений, манипулирования уровнем воды. Скашивание макрофитов, удаление водорослей и плавучих растений снижает нанокOLONиальную емкость водоема, удаление фосфора и азота, которые связаны с биомассой, дает возможность в два раза уменьшить общую питательную нагрузку на озеро. Во время сбора удаляются три части макрофитов, одна остается, доводя площадь зарастания до 20-25%. Макрофитов не убрана полностью, поскольку это может привести к нарушению нормального функционирования экосистемы у озера. Воздушно-водная растительность должна быть скошена на 5-8 см выше уровня воды. В прибрежной зоне растения косят на 20–30 см ниже уровня воды. Вдоль берега необходимо оставить полосу 50-60 м для удержания загрязнения поверхностного стока.

### 3.1.6 Применение биопрепаратов

Сейчас для борьбы с водорослями и цветущими водоемами разработаны биопрепараты в основе которых лежат бактериальные культуры. В качестве примера можно привести биологический продукт под названием МИКРОЗИМ™ «ПОНД ТРИТ», который применяется во время борьбы с зарастанием ряски, сине-зеленых водорослей, нитчатых зеленых водорослей. Этот препарат ускоряет процессы микробиологической самоочистки и устраняет благоприятные условия для размножения в водоеме. В этом препарате содержится 6 - 12 видов факультативных и мезофильных гетеротрофных аэробных микроорганизмов, которые выделены из естественной среды обитания.

Биопрепарат выпускается в виде сухого микробиологического концентрата. Его вводят в водоем в общей дозе 4 - 5 г/м<sup>2</sup> водной поверхности в теплое время года постепенно уменьшаются порции с двухнедельными интервалами. Эффект очистки достигается за одно лето. Цианобактерии и

водоросли погибают естественным путем в течение 3-8 недель. Мертвая биомасса опускается на дно и разлагается при участии бактерий биологического продукта. Биопрепарат ТРИТ является экологически безопасным и чистым для человека, полностью биоразлагаемым, не оказывает негативного влияния на питание и воспроизводство зоопланктона, рыбы и водоплавающих птиц. Его использование не нарушает существующего экологического баланса водоема.

### 3.1.7 Соблюдение рекреационной нагрузки

Озера, которые используются для отдыха, должны быть глубокими, относительно чистые, в них должна быть вода хорошего качества, они должны иметь небольшую площадь, которая заросла макрофитами. Накопление туристов приводит к уплотнению почвенного покрова в прибрежной зоне, образованию дорожек, увеличению уклона стока, эрозионным процессам, удалению биогенных, взвешенных и загрязняющих веществ, а так же мусора. Озера из-за этого теряют свои рекреационные качества восстановление.

При рекреации в за частую процесс загрязнения озер часто неуправляемый из-за загрязнения в озере.

Для упорядочения рекреационного использования озер необходимо соблюдать допустимую рекреационную нагрузку, в которой экосистема озера не теряет способности к восстановлению. Нагрузка измеряется количеством людей на единицу площади (территории или акватории). Рекреационная нагрузка определяются специально для каждого водного объекта, его участков и зависят от расположения водного объекта на определенной природной территории, степени и характера хозяйственного освоения прилегающей территории.

### 3.1.8 Альголизация

Водоросли, как и высшие водные растения, представляют в водных экосистемах группу организмов-продуцентов. Им принадлежит ведущая роль в синтезе органического вещества, а также в формировании качества природной воды, что обусловило их широкое применение для оценки токсичности веществ различных классов (тяжелых металлов, хлора, фосфора и хлороорганических соединений, поверхностно-активных веществ и др.).

*Chlorella vulgaris*. Хлорелла относится к одноклеточным водорослям. Клетки шаровидные с тонкой оболочкой, без слизи. Хроматофор чашевидный, с пиреноидом. Размножение автоспорами, образующимися по 4-8, реже по 16 внутри материнской клетки и освобождающимся через разрыв ее оболочки. Широко распространенный в планктоне пресных водоемов вид [6].

Развитие хлореллы в загрязненных водоемах приводит к улучшению их санитарного состояния. Хлорелла подавляет рост болезнетворных бактерий, что даёт возможность использовать эти водоёмы для целей рекреации [6].

Использование суспензии хлореллы для предотвращения «цветения» воды синезелеными водорослями показало, что впервые за 25-летний период существования Пензенского водохранилища в течение семи последних лет (2001-2007 гг.) водоём не «цвел». Хотя в эти годы, как и в прошлые, климатические условия и химический состав воды были благоприятными для развития синезеленых водорослей. Последние постоянно присутствовали в планктоне, однако их массового развития не наблюдалось.

За эти годы в водоёме произошла структурная перестройка фитопланктонного сообщества. Доминирующее положение в планктоне заняли зеленые водоросли. Преобладающее развитие последних сдерживает массовый рост синезеленых, тем самым, предохраняя водоём от «цветения».

Однако, 22-26 сентября 2014 года состоялся XI Съезд Гидробиологического общества при РАН в Красноярске на базе Сибирского федерального университета и Красноярского отделения ГБО при РАН.

Важным итогом работы Съезда явилось решение считать так называемый метод "альголизации" водоемов ложным и наносящим значительный ущерб Российской гидробиологии. Подчеркнута необходимость развития современных высоко-технологичных научных методов борьбы с эвтрофированием водоемов [6].

Данный метод использовался для очистки Б. Васильевского озера. Исходным материалом для проведения альголизации водоёма являлась суспензия хлореллы штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111. Доставка суспензии хлореллы плотностью  $2,5 \times 10^9$  клеток в мл к местам вселения осуществлялась специализированным транспортом НПО ООО «Альгобиотехнология» в пластиковых ёмкостях. Сроки доставки от места производства до места назначения составляли не более суток, что обеспечивает сохранность функциональных качеств суспензии. Объем ежемесячного вселения составлял 320 литров. В результате данного мероприятия, альголизация не дала какие-то очевидные результаты. Трофическое состояние озера Б.Васильевское не улучшилось по сравнению с предыдущими годами.

### **3.2 Мероприятия по очистке оз. Отстойник**

На основании проведенного анализа состояния оз. Отстойник и изучения существующих методов очистки водных объектов урбанизированных территорий, нами был составлен комплекс мероприятий для восстановления оз. Отстойник:

- очистка прибрежной зоны от мусора;
- удаление отмерших макрофитов
- поддержания качества воды — биоремедиация (заселение озера гидробионтами, а именно, эйхорнией);
- укрепления сухих откосов и береговой зоны



Предложенный комплекс мероприятий позволит полностью восстановить самоочищающую способность водоемов, их рекреационную функцию и эстетическую ценность.

### 3.2.1 Очистка прибрежной зоны от мусора

Загрязнение мусором водоемов и прибрежных зон – настоящая современная экологическая катастрофа. Промышленные и бытовые отходы, ухудшают качество вод, отрицательно влияют на условия обитания рыб, состояние экосистемы водоема.

В связи с тем, что наш объект исследования подвержен рекреационной нагрузке, возникает необходимость осуществлять очистку водоема от мусора. Если на подобное бедствие закрыть глаза, то скоро на загрязненном мусором водоеме интенсифицируются процессы заиления. Нарушаются процессы самоочищения и самовосстановления водоема. Со временем, исчезнет рыба, как наиболее чувствительные к составу воды, после этого омертвеет подводная растительность и мелкие водоросли. Вода в таком водоеме будет отравлять всю окружающую территорию, создавая вокруг отнюдь не приятный пейзаж из мертвой растительности. Очистку прибрежной территории озера можно производить вручную [33].

### 3.2.2 Удаление отмерших макрофитов

На территории, исследуемого нами озера Отстойник, находится большое количество отмерших макрофитов. В периоды отмирания большой массы микро- или макрорастительности происходит еще более резкое ухудшение качества воды: снижается содержание растворенного кислорода, появляются неприятные запахи. Это явление получило название вторичного загрязнения.

Удаление отмерших макрофитов может производиться вручную, либо механическим способом. Растения можно удалять граблями, совковой лопатой или вручную. Этим способом можно достаточно эффективно

удалять водоросли около береговой линии и на мелководье. Также - это хороший способ поддержания баланса растений. Мы можем выборочно удалять отдельные растения, чтобы они не наводняли озеро.

### 3.2.3 Биоремедиация

Биоремедиация - комплекс методов очистки вод, грунтов и атмосферы с использованием метаболического потенциала биологических объектов - растений, грибов, насекомых, червей и других организмов.

Для очистки озера Отстойник нами было выбрано растение эйхорния (*Eichhornia crassipes*), корни которого перерабатывают разные органические соединения. Растение не характеризуется деструкцией с образованием гнилостных соединений. С помощью своих корней растение способно энергично извлекать из сред многие примеси и дезодорировать окружающую воздушную среду.



Рисунок 20 – Эйхорния *Eichhornia crassipe*

Эйхорния, как и все высшие водные растения, способна накапливать большинство биогенных элементов, таких, как азот, фосфор, калий, кальций, магний. Так же в значительных количествах накапливать тяжелые металлы (свинец, медь, ртуть, кадмий, марганец, никель, кобальт, олово, цинк, железо и хром) и радионуклиды (стронция, цезия, церия и кобальта). Наиболее

эффективно эйхорния очищает воду от фосфатов, их содержание уменьшается в 5 раз. [5].

Водный гиацинт в состоянии успешно бороться с множеством соединений, а самое главное, с загрязнителями нашего озера. На основании проведенного нами химического анализа, по нескольким показателям, были выявлены превышения ПДК, а именно, по фосфатам и свинцу. На основании литературных данных площадь занятая макрофитами должна составлять около 30 % от площади озера.

Площадь оз. Отстойник составляет 9,66 га, следовательно, площадь занятая макрофитами на нашем озере должна составлять 2,9 га:

$$S = \frac{9.66}{100} \times 30 = 2.9 \text{ га} \quad (2)$$

Высаживание водных гиацинтов осуществляют в конце мая или в начале июня, когда вода уже достаточно прогреется и вероятность ночных заморозков будет сведена к нулю. Растение размножается вегетативным способом, однако, может и размножаться семенами, но при этом температура воды должна составлять 35°C. При вегетативном размножении необходимо отделить молодую поросль от материнских растений.

Преимуществом биоремедиации является ее низкая стоимость по сравнению с традиционными методами. Метод не требует специального оборудования. Так как эйхорния имеет свойство в благоприятной для нее среде быстро распространяться, для нашего озера мы возьмём небольшое количество единиц данного растения и будем наблюдать за его распространением. На основании этого нами был произведен ориентировочный расчёт стоимости (таблица 16).

Таблица 16 – Расчет затрат на организацию биоремедиации

Стать расхода	Количество	Стоимость за ед, руб	Сумма, руб
Эйхорния	10	200	2000

Как показала многолетняя практика, внедрение этой технологии выгодно, так как выросшая зелёная масса после сбора может быть использована на корм животным и птицам, в связи с тем, что в данное растение богато протеином, каротином и витаминами А, В, С, D. Так же используется для изготовления бумаги и биоудобрений, переработки на биогаз и жидкое топливо.

Биологическая реабилитация водоёмов включает в себя действия, направленные на минимизацию содержания загрязняющих веществ, улучшение санитарного состояния водоёмов, предотвращение «цветения» синезеленых водорослей, использование свойств биологической мелиорации высшей водной растительности.

Так же, из выше сказанного, можно сделать вывод, что с применением биотехнологии затраты гораздо ниже тех, которые требуются для достижения того же уровня очистки объёмов вод при механических методах.

Контролем осуществления восстановительных мероприятий на водосборном бассейне является снижение поступлений биогенных и загрязняющих веществ до допустимых значений, увеличение прозрачности воды до значений в ненарушенных водоемах, изменение соотношений между биомассами отдельных групп гидробионтов, продукционных и деструкционных процессов в сторону значений, характерных для неэвтрофицированных водоемов.

## Заключение

В данной работе проведен анализ экологических проблем малых водоемов на урбанизированных территориях.

Проанализирована многолетняя динамика количественных и качественных показателей фитопланктона озера Отстойник.

В период с 90-х годов XX в. до 2017 г. отмечалось уменьшение роли синезеленых с 33% до 22% и зеленых водорослей с 51% до 40% в формировании общего видового богатства альгофлоры. В водоеме появились криптофитовые, динофитовые и эвгленовые водоросли.

Показателями количественного развития водоема являются численность и биомасса фитопланктона.

Основной вклад в формирование численности на протяжении всего исследования стабильно вносили сине-зеленые водоросли (цианопрокариоты), чему во многом способствовало увеличение биогенных элементов, отсутствие течения и небольшая глубина водоема. Доля данной группы водорослей от общей численности в 1991-1992 гг. составляла более 95%, в 2014 г. несколько меньше – 87% , в 2017 г- 79%, за счет более активного развития зеленых водорослей.

В процессе исследования отмечалось увеличение биомассы фитопланктона водоема и увеличение трофности. Так если в 1991-1992 гг. средневегетационная биомасса составляла лишь 0,41 мг/л при максимальной 0,83 мг/л, в 2014 г. – 34,19 мг/л и 67,79 мг/л, в 2017 - 23 мг/л. Пик развития приходился на конец лета и составлял 31,82 мг/л. В соответствии с классификацией Трифоновой, уровень трофности воды оценивается как гипертрофный.

Для того чтобы решить вопрос использования этих озер в рекреационных целях, мы провели токсикологические исследования. Данные исследования проводились по смертности тест-объекта *Daphnia magna* Straus.

По истечению 48 часов, все тест - организмы были живы, но была потеряна подвижность, что указывает на незначительное воздействие поллютантов на биологические объекты.

Химический анализ воды показал, что в исследуемом водоеме идет превышение по двум показателям - фосфатам и железу.

На данный период времени, исследуемое нами озеро Отстойник нельзя использовать в рекреационных целях.

Таким образом, на основании проведенного нами анализа состояния оз. Отстойник по химическим и гидробиологическим показателям и изучению существующих методов очистки водных объектов урбанизированных территорий, нами был составлен комплекс мероприятий для восстановления оз. Отстойник:

- очистка прибрежной зоны от мусора;
- удаление отмерших макрофитов
- поддержание качества воды методами биоремедиации (заселение озера гидробионтами, а именно, эйхорнией);

Предложенный комплекс мероприятий позволит восстановить самоочищающую способность водоемов, их рекреационную функцию и эстетическую ценность.

## Список используемых источников

1. Алекин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А. Руководство по химическому анализу вод суши. Л., 1973.
2. Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб.: Наука, 2000.
3. Балашова Н. Б. Водоросли / Н. Б. Балашова, В. Н. Никитина. – Л.: Лениздат, 1989. – 92 с.
4. Белякова Р.Н., Волошко Л.Н, Гаврилова О.В. Водоросли, вызывающие «цветение» водоемов северо-запада России, Москва, 2006. 367 с.
5. Битюцкий Н. П. Микроэлементы высших растений / Н. П. Битюцкий. – СПб. : С.-Петерб. ун-та, 2011. – 232 с.
6. Богданов Н. И. Биологическая реабилитация водоемов / Н. И. Богданов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Пенза. : РИО ПГСХА, 2008. – 126 с.
7. Васильева-Кралина И.И., Трофимова Т.П., Иванова А.П., Пшенникова Е.В. Влияние антропогенных факторов на альгофлору городских и пригородных озёр долины Туймаада (г. Якутск) // VIII съезд Гидробиологического общества РАН: Тез. докл. Калининград, 2001. Т. 2. С. 112-113.
8. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. Минск, 1960.
9. Виноградова Е.Н. Видовой состав эвгленовых водорослей водоёмов г. Москвы // Биология внутренних вод: проблемы экологии и биоразнообразия: Тез. докл. XII Междун. конф. молодых учёных, приуроченной к 50-летию назначения контр-адмирала, дважды героя Советского Союза И. Д. Папанина директором Института биологии внутренних вод. Борок, 2002. С. 30.
10. Водоросли. Справочник / С. П. Вассер [и др]. – Киев. : Наук. думка, 1989. – 608 с.

11. Выхристюк Л.А. Качество воды Васильевских озер. Деп. в ВИНТИ. №1051- В96. 1996.
12. Голлербах М.М., Косинская, Е.К., Полянский, В.И. Определитель пресноводных водорослей СССР Вып. 2. Синезеленые водоросли, Москва, 1953. 654 с.
13. ГОСТ 17.1.5.04-81 Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб природных вод. Общие технические условия.
14. ГОСТ 31861-2012 Вода. Общие требования к отбору проб
15. ГОСТ 31862-2012 Вода питьевая. Отбор проб
16. Давыгдова Н.Н., Трифонова И.С. Диатомеи планктона и донных отложений и содержание хлорофилла в осадках двух разнотипных озер Карельского перешейка как показатели процесса эвтрофирования // Бот. журн. 1979. Т.64. № 8.
17. Драбкова В. Г., Скворцов В. В., Афанасьева А. А., Беляков В. П., Иванова М. Б. К вопросу об определении состояния озёрных экосистем при антропогенном воздействии // Журн. биол. внутр. вод. 1997. № 1. С. 5-12.
18. Жариков В.В. Протисты и бактерии озер Самарской области / под редакцией д.б.н. В.В. Жарикова. Тольятти: Кассандра, 2009. 240 с.
19. Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. Диатомовые водоросли, Москва, 1951. С 620.
20. Иватин А.В. Бактериопланктон и бактериобентос Васильевских озер. Деп. в ВИНТИ, №1050-В93, 1993.
21. Кармазинов Ф.В. Опыт Водоканала Санкт-Петербурга по обработке и утилизации осадков Текст. / Ф.В. Кармазинов, М.Д. Пробирский, Б.В. Васильев // Водоснабжение и санитарная техника. 2002. - №12 (часть1). - С. 13-15



22. Коплан-Дикс И.С., Румянцева Э.А. Количественные оценки в альтернативном прогнозировании // Антропогенное воздействие на малые озера. Л., 1980.

23. Корнев А. П. Атомно-абсорбционное определение металлов в природных водах (с атомизацией образца в пламени): Текст. / А. П. Корнев дис. канд. хим. наук — Ростов н/Д, 1986. 138 с.

24. Кравчук Е.С. Сравнительный экспериментальный анализ влияния общего химического состава вод и донных отложений "цветущего" и "нецветущего" водоёмов на цианопрокариот // Биология внутренних вод: проблемы экологии и биоразнообразия: Тез. докл. XII Междун. конф. молодых учёных, приуроченной к 50-летию назначения контр-адмирала, дважды героя Советского Союза И. Д. Папанина директором Института биологии внутренних вод. Борок, 2002. С. 178.

25. Кривина Е.С. Таксономическая структура фитопланктона техногенного водоема (на примере оз. отстойник, г. Тольятти, Самарская область) // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии, 2016, Т. 25 - Выпуск 2, С.161-171.

26. Кузнецов А.Е. [и др.] Прикладная экобиотехнология : учебное пособие : в 2 т. Т. 2 /. — 2-е изд. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012.

27. Кузьмин Г.В. Фитопланктон. Видовой состав и обилие // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. Изд. М: Наука, 1975. С. 73-87

28. Кульнев В.В., Лухтанов В.Т. Биологическая реабилитация водоемов путем структурной перестройки фитопланктонного сообщества // Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы: Материалы третьей научно-практической конференции. г. Воронеж. 20-22 ноября 2013 г. Воронеж: «Цифровая полиграфия», 2013. С. 303-306.

29. Мартынова О.И. К вопросу о механизме влияния магнитного поля на водные растворы солей Текст. / О.И. Мартынова, Б.Т. Гусев, Е.А. Леонтьев // Успехи физических наук. 1969. Т. 98. вып. 1. - С. 195 — 199.

30. Методика измерений количества *daphnia magna straus* для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления методом прямого счета, 2014
31. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов, изд. М, 1975. 240с
32. Мильков Ф.Н. Учение об антропогенных ландшафтах: история вопроса, современное состояние и перспективы развития // Антропогенные ландшафты и вопросы охраны природы. Межвуз. сб. Уфа: Изд. Башкирского ун-та, 1984. С. 3-9.
33. Номоконова В.И., Выхристюк Л.А., Тарасова Н.Г. Трофический статус Васильевских озёр в окрестностях г. Тольятти // Изв. Самарского науч. центра РАН. 2001. Т. 3. № 2. С. 274-283.
34. Павлова О.А. Видовой состав фитопланктона и оценка сапробности трех озер урбанизированного ландшафта // V Всероссийская конференция по водным растениям "Гидрботаника - 2000": Тез. докл. Борок, 2000. С. 65-66.
35. Панов В.П. Изучение полноты осаждения тяжелых металлов в виде гидроксидов из многокомпонентных модельных систем. Текст. / В.П. Панов, А.Р. Дадаева, И.В. Зыкова Сборник научных трудов СПбГУТД. 2004. - №6. - С. 144 - 147.
36. Паутова В.Н., Номоконова В.И. Продуктивность фитопланктона Куйбышевского водохранилища. Тольятти, 1994.
37. ПНД Ф 12.15.1-08 Методические указания по отбору проб для анализа сточных вод
38. Попченко В.И. Современное экологическое состояние озер Васильевского каскада и пути их рекреационного использования при реализации градостроительных программ //Актуальные вопросы изучения современной истории города. Тольятти, 1994.

39. Предельно-допустимые концентрации вредных веществ в воздухе и в воде. Справочное пособие для выбора и гигиенической оценки методов обезвреживания промышленных отходов. М. "Химия", 1975,-74с.
40. Р 52.24.353-2012 Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод
41. Розенберг Г.С., Гелашвили Д. Б., Зинченко Т.Д., Перешивайлов Л.А. Об экологической паспортизации городских водоёмов // Изв. Самарского науч. центра РАН. 2001. Т. 3. № 2. С. 254-273.
42. Россолимо Л.Л. Изменение лимнических экосистем под воздействием антропогенного фактора // М., 1977. – 144 с.
43. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения.
44. Сметанин В. И. Восстановление и очистка водных объектов / В. И. Сметанин. – М. : Колос, 2003. – 157 с.
45. Старобогатов Я. И. Раки, моллюски / Я. И. Старобогатов. – Л. :Лениздат, 1988. – 147 с.
46. Терехова В.А., Воронина Л.П., Гершкович Д.В., Ипатова В.И., Исакова Е.Ф., Котелевцев С.В., Попутникова Т.О., Рахлеева А.А., Самойлова, Т.А., Филенко О.Ф. Биотест-системы для задач экологического контроля: Методические рекомендации по практическому использованию стандартизованных тест-культур — М.: Доброе слово, 2014 г. 48 с.
47. Терехова В.А., Семенова Т.А., Швед Л.Г. Микробиота Васильевских озер. Деп. в ВИНТИ. №1384-В93. 1993.
48. Томас Ю.А. Фосфор и эвтрофикация // Фосфор в окружающей среде. М., 1977.
49. Тройская Т.П. Запредельные данные. Экологическое состояние внутренних водоемов Санкт-Петербург Текст. / Т.П. Тройская., И.И. Силина., И.Н. Варфоломеева // Жизнь и безопасность. 1997. - №2-3-С. 307-314.
50. Экологический атлас г. Тольятти. СПб, 1996.

51. Экология фитопланктона в Куйбышевском водохранилище. Л.: Наука, 1989.
52. Эколого-геохимическая оценка ландшафтов Среднего Поволжья. Т.2. М., 1987.
53. Czczuga B. Quantitative changes in sedimentary chlorophyll in the bed sediment of the Mikolajki lake during the Post-Glacial period // Schweiz. Ztschr. 1965.
54. Determination of photosynthetic pigments in Seawater // Paris: UNESCO, 1966.
55. Lund J.W. Eutrophication. London, 1972. Vol.180.
56. Taylor W.D., Lambou V.W., Williams L.R., Hern S. C. Trophic state of lakes and reservoirs // Environmental and Water Quality operational studies. 1980. N 3.
57. Vallenweider R.A. Input - output models wish special referens to the phosphorus loading concept in Limnology // Schweiz. Z. Hydrol. 1975. Bd.37. H.1.