

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ»**

Экологический факультет

Кафедра экологического мониторинга и прогнозирования

«Допустить к защите»

Заведующая кафедрой экологического  
мониторинга и прогнозирования

М.Д. Харламова

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

**Выпускная квалификационная работа бакалавра**

Направление: 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в  
химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»

Специализация: «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в  
химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»

**«Возможности применения инновационных биопрепаратов для  
интенсификации и повышения эффективности процессов  
очистки хозяйственно-бытовых сточных вод (на примере  
Щелковских очистных сооружений)»**

Выполнил студент Алексеева Анастасия Сергеевна

Группа ОРСбд-01-17

Студ. билет № 1032172870

Руководитель выпускной  
квалификационной работы

Харламова Марианна Дмитриевна

к. х. н., доцент, заведующая кафедрой ЭМиП

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Автор \_\_\_\_\_

(подпись)

г. Москва  
2021 г.

## Содержание

<b>Введение</b> .....	3
<b>Глава 1. Биологическая очистка сточных вод: технологии и процессы</b> .....	5
<b>1.1. Сооружения биологической очистки сточных вод</b> .....	6
1.1.1. Системы естественной биологической очистки .....	7
1.1.2. Системы биологической очистки в искусственно созданных условиях .....	8
<b>1.2. Состав и свойства биоценоза активного ила</b> .....	12
1.2.1. Структура активного ила .....	12
1.2.2. Микрофлора активного ила .....	14
<b>1.3. Основные биохимические процессы, протекающие в биореакторах</b> .....	16
1.3.1. Удаление органических загрязнений .....	16
1.3.2. Удаление соединений азота .....	17
1.3.3. Удаление соединений фосфора .....	19
<b>1.4. Применение биопрепаратов для очистки сточных вод</b> .....	19
<b>Глава 2. Объект и методы исследования</b> .....	24
<b>2.1. Щёлковские межрайонные очистные сооружения</b> .....	24
<b>2.2. Этапы очистки сточных вод на ЩМОС</b> .....	26
<b>2.3. Особенности состава поступающих на ЩМОС сточных вод</b> .....	29
<b>Глава 3. Оценка эффективности функционирования биопрепаратов</b> .....	34
<b>3.1. Получение биопрепаратов</b> .....	34
<b>3.2. Состав экспериментальных биопрепаратов</b> .....	37
<b>3.3. Лабораторные исследования действия биопрепаратов</b> .....	40
<b>3.4. Оценка эффективности применения биопрепаратов</b> .....	46
<b>Выводы</b> .....	51
<b>Список используемых источников</b> .....	55

## Введение

Биологическая очистка традиционно является одним из оптимальных и эффективных методов очистки коммунально-бытовых сточных вод. Данный метод основан на способности биоценоза микроорганизмов использовать загрязняющие органические и неорганические вещества сточных вод в качестве источника питания. Эффективность биологической очистки может достигать 95% [8].

В связи с ростом численности населения и урбанизации, проблема качественной очистки коммунально-бытовых сточных вод на сегодняшний день стоит очень остро. Тема ВКР является достаточно актуальной, так как после многих очистных сооружений сточная вода не является достаточно очищенной, поскольку многие показатели качества воды, такие как азот аммонийных солей, БПК<sub>5</sub>, нитрат-ионы, АПАВ не соответствуют государственным стандартам и нормативам допустимого сброса в водные объекты. Сброс недостаточно очищенных стоков в водоемы приводит к их загрязнению и эвтрофикации.

Одна из возможных причин этой проблемы – недостаточная биологическая очистка, которая связана с тем, что биоценоз микроорганизмов находится в отклоненных от нормы условиях жизнедеятельности. Это может привести к проблемам биологической очистки: пенообразование, гибель активного ила, его всплывание, низкая эффективность очистки воды.

Для совершенствования процесса биологической очистки сточных вод могут использоваться биопрепараты, которые помогут улучшить результат процесса.

В связи с этим была поставлена цель работы – исследовать возможности применения инновационных экспериментальных биопрепаратов для повышения эффективности очистки сточных вод на городских очистных сооружениях и улучшения качества воды, сбрасываемой в водный объект.

Для достижения цели работы были сформулированы следующие задачи:

1. Проанализировать существующую технологическую схему очистки сточных вод на Щелковских межрайонных очистных сооружениях Московской области (ЩМОС);
2. Изучить количественный и качественный состав хозяйственно-бытовых сточных вод, поступающих на очистные сооружения;
3. Оценить эффективность биологической очистки, достигаемую на Щелковских очистных сооружениях, выделить проблемные компоненты, по которым степень очистки недостаточна;
4. Изучить состав экспериментальных биопрепаратов, синтезированных на предприятии ООО «ВОЛНОВОД-17» и предоставленных для исследования;
5. Оценить эффективность применения экспериментальных биопрепаратов на стадии доочистки после вторичных отстойников;
6. Выбрать из двух экспериментальных биопрепаратов наиболее эффективный.

Объектом исследования являются сточные воды, образующиеся после вторичных отстойников на Щёлковских межрайонных очистных сооружениях (филиал МУП «Межрайонного Щёлковского Водоканала).

Предмет исследования – воздействие экспериментальных биопрепаратов на эффективность глубокой биологической очистки (доочистки) сточных вод.

В выпускной квалификационной работе были использованы следующие методы исследования: теоретические (анализ и синтез, классификация, моделирование), практические (эксперимент, сравнение) и другие.

Основой написания выпускной квалификационной работы являются источники учебной, периодической литературы по выбранной теме, а также нормативно-правовые документы, посвященные оценке воздействия объектов на водную среду.

## **Глава 1. Биологическая очистка сточных вод: технологии и процессы**

История применения биологической очистки стоков началась со строительства в XIX веке первых полей фильтрации, на которых сточные воды фильтровались через почву. Со временем на смену полям фильтрации пришли биофильтры – более усовершенствованные сооружения. Первые биофильтры появились в Англии в 1893 году. Позднее, примерно в 1914 году, в мире появился метод очистки сточных вод с помощью аэротенка.

В России биологическая очистка сточных вод в искусственно созданных условиях была открыта в 1922 году после докладов, сделанных на двенадцатом Всероссийском водопроводном и санитарно-техническом съезде.

В 1929 году в Москве начала работу первая станция аэрофильтрации (Кожуховская), на которой была успешно скомбинирована очистка стоков на аэротенках, биофильтрах и биологических прудах [10].

На сегодняшний день в общем комплексе городских очистных сооружений биологическая очистка занимает главенствующую роль среди всех процессов. После механической очистки сточные воды не являются достаточно очищенными для их дальнейшего сброса в поверхностные воды, поскольку в них содержится большое количество растворенных и диспергированных органических загрязнителей. На практике многих городских очистных сооружений после механической стадии обязательно следует биологическая очистка. На основе биологической очистки создано множество сооружений и устройств, в которых данный метод используется как отдельно, так и в совокупности с механическими и физико-химическими способами очистки.

Процесс биологической очистки основан на способности биоценоза микроорганизмов использовать растворенные и взвешенные органические вещества сточных вод в качестве источников питания в процессе их жизнедеятельности. Очистка протекает в две фазы: сорбция поверхностью тел бактерий растворенных органических веществ и коллоидов; окисление и

минерализация растворенных и адсорбированных органических веществ микробами [8].

Особенностью процессов, протекающих в биологических очистных сооружениях, является то, что они идентичны процессам, происходящим в природных средах. Вместе с тем интенсивность первых более высокая, и их можно регулировать.

### **1.1. Сооружения биологической очистки сточных вод**

Назначение сооружений биологической очистки – снизить уровень органических и биогенных загрязнений сточных вод. Каждое сооружение является техногенной экосистемой, которая определяет формирование биоценоза.

В зависимости от протекающих процессов различают сооружения аэробной и анаэробной биологической очистки. Аэробная очистка происходит в присутствии кислорода и основана на применении аэробных микроорганизмов, которые культивируются в активном иле и биопленке. Анаэробная очистка протекает без доступа кислорода и используется, в основном, для обезвреживания осадков в метантенках и септиченках [12].

Существуют два вида сооружений биологической очистки:

- сооружения с очисткой в условиях близких к естественным (поля фильтрации, орошения, биологические пруды);
- сооружения с очисткой в искусственно созданных условиях (аэротенки, биофильтры) [8].

Основное достоинство естественных сооружений биологической очистки выражается в сравнительно невысокой стоимости строительства и эксплуатации, а недостатком является низкая интенсивность очистки. В искусственных очистных сооружениях, наоборот, скорость очистки высокая, что позволяет за более короткое время очищать большие объемы сточных вод [21].

### 1.1.1. Системы естественной биологической очистки

Поля орошения – специально подготовленные и спланированные участки земли, предназначенные для очистки сточных вод и для их одновременного использования в агротехнических целях. Поля фильтрации предназначены только для очистки сточных вод [7].

Принцип процесса очистки на полях состоит в поглощении органических веществ сточных вод пленкой микроорганизмов поверхности почвы. В верхних слоях почвы происходят процессы окисления и нитрификации, а в нижних слоях – денитрификация, поскольку с увеличением глубины содержание кислорода уменьшается.

Сточные воды, направляемые на поля орошения и фильтрации, должны предварительно отстаиваться, что позволяет уменьшить в них содержание патогенных микроорганизмов примерно на 50-60%.

Поля орошения и фильтрации используются во всех климатических районах, за исключением северных. Для их обустройства подходят песчаные и супесчаные грунты, но можно использовать также суглинистые и черноземные почвы. Поля рекомендуется располагать вниз по течению подземных вод на расстоянии не менее 200-500 м от водозаборных сооружений, в зависимости от типа грунта.

Размеры карт полей фильтрации зависят от рельефа местности, общей рабочей площади, способа обработки почвы и количества сточной воды. Сточная вода распределяется по картам оросительной сетью, а очищенная вода, профильтровавшаяся через слой почвы, отводится осушительной сетью.

Биологические пруды – искусственно созданные неглубокие (0,5-1 м) водоемы, функционирующие на основе природных процессов самоочищения [7]. Пруды могут быть использованы в качестве самостоятельной очистки, а также в качестве доочистки сточных вод, уже прошедших биологическую очистку. Биопруды заселены водными организмами, оказывающими благоприятное воздействие на процесс очистки. Данные сооружения являются достаточно эффективными. Качество очистки зависит от времени года (зимой

эффективность резко снижается). Различают пруды с естественной и искусственной аэрацией воздуха. Время пребывания сточных вод в первых прудах достигает 7-60 суток, а в прудах с искусственной аэрацией – 1-3 суток.

#### 1.1.2. Системы биологической очистки в искусственно созданных условиях

К таким сооружениям относят, прежде всего, аэротенки и биофильтры. Очистка в данных системах происходит под действием кислорода. В аэротенках используется активный ил, находящийся в сооружении в свободном взвешенном состоянии, а в биофильтрах – биопленка, прикрепленная к зернам инертной нагрузки. Существенная разница между активным илом и биопленкой состоит в составе фауны. В составе биопленки присутствуют черви, питающиеся избыточной биомассой. Помимо этого, черви двигаются внутри биопленки и тем самым облегчают доступ кислорода в более глубокие слои.

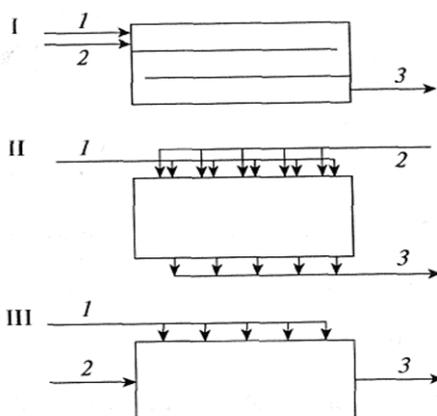
В настоящее время биологическая очистка сточных вод в аэротенках является наиболее универсальной и широко применяемой на практике. Аэротенки – открытые железобетонные резервуары коридорного типа, в которых сточная вода смешивается с активным илом [6]. Данные сооружения имеют прямоугольную форму и глубину  $H$  около 3-6 метров, ширину  $B \leq 2H$ , длину аэротенков рекомендуется принимать не менее 10  $B$ . Смешиваясь с активным илом, загрязнители сточных вод подвергаются биохимическому окислению.

Обязательное условие работы аэротенка – наличие устройств аэрации воздуха, которые перемешивают иловую смесь и насыщают ее кислородом. Различают механические (вовлечении воздуха непосредственно из атмосферы вращающимися частями аэратора), пневматические (подача воздуха под поверхность воды под давлением), комбинированные (сочетает в себе элементы пневматической и механической аэрации) и струйные (принцип

действия основан на эжектирующем действии водной струи в сужении) системы аэрации.

По гидравлической схеме работы и нагрузке аэротенки делятся на (рис.1.1):

- аэротенки-вытеснители (I), для которых характерен сосредоточенный впуск ила и стоков. Вдоль сооружения нагрузка на активный ил снижается. Недостатком является чувствительность к расходу и составу сточных вод. Данный тип применяется преимущественно для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод. Аэротенки-вытеснители с пневматической аэрацией получили наибольшее распространение в России.
- аэротенки-смесители (II), в которых сточная вода и активный ил равномерно подаются вдоль одной из сторон сооружения. При этом наблюдается одинаковая нагрузка на активный ил. Главное достоинство данного типа – сглаживание залповых нагрузок. Применяются для очистки производственных сточных вод.
- аэротенки с рассредоточенным впуском сточной воды (III) занимают промежуточное положение между предыдущими. По длине сооружения нагрузка на активный ил циклически меняется. Применяют для очистки смесей бытовых и производственных сточных вод [19].

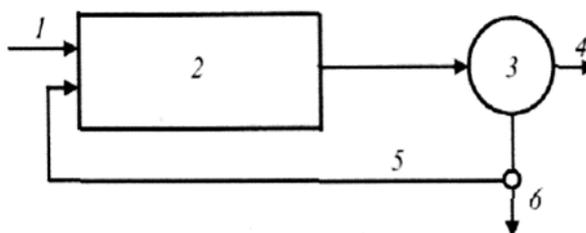


**Рисунок 1.1** Виды аэротенков

1 – сточная вода; 2 – активный ил; 3 – иловая смесь

Существует несколько технологических схем очистки сточных вод в аэротенках:

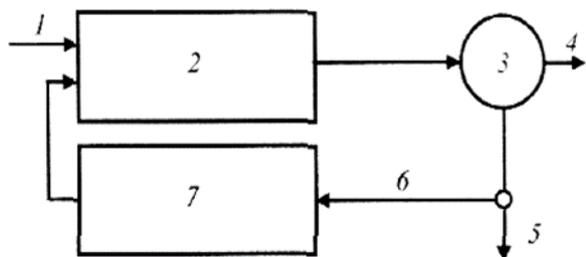
1 – Одноступенчатая схема без регенерации (**рис. 1.2**), являющаяся наиболее простой. Активный ил и сточная вода подаются в аэротенк. В условиях аэрации иловая смесь направляется к выходу из аэротенка и следует во вторичный отстойник, где происходит ее разделение на очищенную воду и активный ил. Ил разделяется на избыточный и циркуляционный. Последний возвращается в аэротенк. По гидравлическому режиму аэротенк является вытеснителем.



**Рисунок 1.2** Одноступенчатая схема очистки в аэротенках

1 – сточная вода; 2 – аэротенк; 3 – вторичный отстойник; 4 – очищенная вода; 5 и 6 – циркуляционный и избыточный активный ил

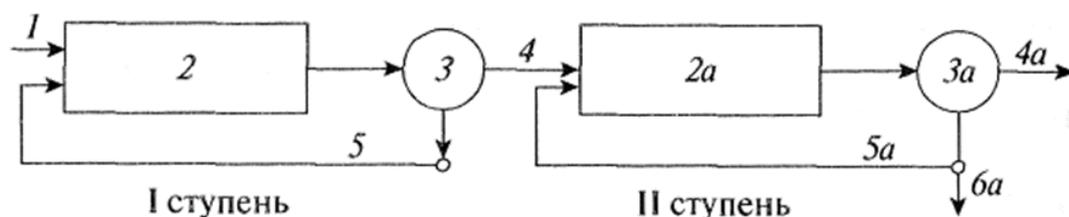
2 – Одноступенчатая схема с регенерацией активного ила (**рис. 1.3**). Регенератор – сооружение, в котором происходит аэрация активного ила без сточной воды. Для данной схемы характерно раздельное протекание этапов биологической очистки. Процесс поглощения активным илом происходит в аэротенке, а процесс окисления – в регенераторе.



**Рисунок 1.3** Одноступенчатая схема очистки в аэротенках с регенерацией

7 – регенератор ила

3 – Двухступенчатая схема аэротенка без регенерации (рис. 1.4). Применяется при больших концентрациях в сточных водах органических веществ и веществ с явно отличающейся скоростью окисления. Слабоконцентрированные по взвешенным веществам сточные воды могут отправляться в аэротенк без предварительного отстаивания.

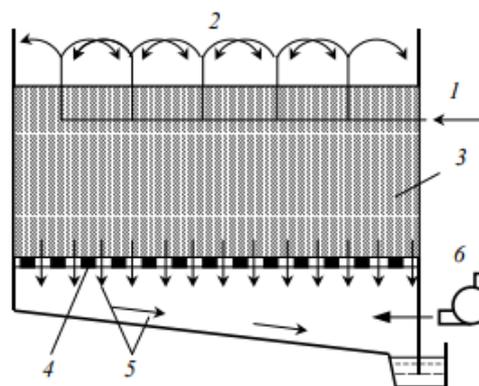


**Рисунок 1.4** Двухступенчатая схема очистки в аэротенках без регенерации

2 и 2а – аэротенки I и II ступени; 3 и 3а – вторичный отстойник I и II ступени; 4 и 4а – очищенная вода после I и II ступени; 5 и 5а – циркуляционный активный ил I и II ступени; 6а – избыточный активный ил II ступени

Эффективность работы аэротенков определяется многими факторами: температура (не ниже 5°C), рН, наличие достаточного количества питательных веществ и кислорода, объем поступающих токсичных веществ и другими. При соблюдении соотношения между концентрацией активного ила, необходимыми условиями эксплуатации и степенью загрязненности сточных вод аэротенк будет работать максимально эффективно.

Биофильтры – сооружения, в которых сточная вода фильтруется через грузочный материал, на поверхности которого развивается биопленка, образованная колониями микроорганизмов [12]. Биофильтр состоит из фильтрующей загрузки, помещенной в тело биофильтра, водораспределительного устройства, дренажного устройства для удаления профильтрованной жидкости, воздухораспределительного устройства для поступления воздуха внутрь биофильтра (рис. 1.5).



**Рисунок 1.5** Биофильтр

1-подача сточной воды; 2-водораспределительное устройство; 3-фильтрующая загрузка; 4-дренажное устройство; 5-очищенная сточная вода; 6-воздухораспределительное устройство

Сточная вода, проходя через загрузку, оставляет в ней взвешенные и органические вещества. При этом масса биопленки постоянно увеличивается, поскольку часть органических веществ идет на прирост биомассы микроорганизмов. Отработанная масса выносятся из тела биофильтра вместе со сточной водой. В отличие от аэротенка, биофильтры могут работать без вторичных отстойников. Большинство биофильтров являются перколяционными, то есть вода поступает на загрузку сверху, а воздух – снизу.

## **1.2. Состав и свойства биоценоза активного ила**

### **1.2.1. Структура активного ила**

Активный ил – это сложный биоценоз организмов, в основном бактерий, в котором клетки находятся в среде растворимых или слаборастворимых внеклеточных полимерных образований – полисахаридов, протеинов, РНК и ДНК и др [11]. С физико-химической точки зрения, активный ил является структурированной коллоидной системой, которая состоит из органических и минеральных веществ и способна к высокой степени сорбции.

Взаимодействие между загрязнениями сточной воды и активным илом происходит в результате двух основных процессов:

1. флокуляция загрязняющих веществ активным илом;
2. длительная ассимиляция загрязняющих веществ в микроорганизмах активного ила и их трансформация.

Продуктами трансформации становятся углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), вода ( $\text{H}_2\text{O}$ ), молекулярный азот ( $\text{N}_2$ ), ортофосфаты ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).

Активный ил обладает свойством образования хорошо оседающих агломератов, благодаря чему иловая смесь может разделяться на очищенную сточную воду и активный ил на стадии отстаивания. Большинство микроорганизмов находятся в активном иле в форме агломератов, и лишь некоторые организмы могут свободно передвигаться в воде.

Структурной единицей активного ила принято считать термин «флокула активного ила» - хлопьевидная частица. Микроорганизмы, способствующие образованию флокул, являются флокулообразующими [11].

Структура и морфология флокул активного ила зависит от многих параметров (состав поступающих стоков, концентрация кислорода, нагрузка и возраст ила и другие). При высокой нагрузке на субстрат и при достаточном количестве кислорода у флокул наблюдается выраженная зональность. При этом выделяют три зоны, характеризующиеся одновременными, различно протекающими в них процессами:

- Зона А. Происходит деградация субстрата в присутствии кислорода. В результате процессов окисления по мере диффузии вещества в нижележащие слои происходит резкое снижение концентрации кислорода.
- Зона В. Осуществляется процесс деградации отмирающих клеток микроорганизмов, окисление продуктов распада и дальнейшее падение концентрации кислорода.
- Зона С. Кислород в данной зоне практически отсутствует. Микроорганизмы в данной зоне не принимают участия в

процессах биодegradации. Происходит образование нового субстрата.

Особой структурированностью флокул обладает гранулированный активный ил, который в последнее время активно набирает обороты в использовании за рубежом. Для гранулированного активного ила характерна четкая зональность. Внешняя зона является аэробной. В ней развиваются микроорганизмы, которые осуществляют окисление органических веществ (гетеротрофы) и аммонийного азота (нитрификаторы). Средняя зона – анаэробная, в которой происходит денитрификация. В самом центре гранул находятся денитрифицирующие фосфат-аккумулирующие микроорганизмы, синтезирующие внутриклеточные полифосфаты.

Кроме того, гранулированный активный ил отличается высокой скоростью осаждения, по сравнению с флокулами обычного активного ила, и большей прочностью.

### 1.2.2. Микрофлора активного ила

Количественные и качественные характеристики микроорганизмов активного ила зависят от условий образования и состава сточных вод. Микрофлора активного ила представлена в основном бактериями, осуществляющими биохимическую переработку органического и неорганического вещества до безвредных (менее вредных) продуктов. Численность бактерий в активном иле достигает  $1-10 \cdot 10^{12}/\text{г}$  сухого беззольного вещества ила. Активный ил аэротенков населяют эубактерии (истинные бактерии), представленные грамположительными и грамотрицательными бактериями, и археи. Грамотрицательные бактерии представлены крупной группой протеобактерий (Proteobacteria). Наиболее распространенные роды протеобактерий – энтеробактерии, *Vibrio* (ферментирующие палочки и вибрионы), *Zoogloea*, *Pseudomonas*, *Acetobacter*

(обладающие аэробным дыханием); *Spirillum* (спириллы); *Polyangium* (миксобактерии); *Desulfovibrio* (восстанавливающие сульфаты и серу); *Nitrosomonas* (нитрификаторы); *Thiobacillus* (окисляющие серу и железо); *Methylomonas* (метилотрофные). Грамположительные представлены двумя группами – Actinobacteria и Firmicutes. Группа Actinobacteria состоит из родов *Geodermatophilus*, *Frankia*, *Streptomyces*, *Arthrobacter*, *Micrococcus*, *Actinomyces*, *Bifidobacterium* и др. Группа Firmicutes состоит из таких родов, как *Clostridium*, *Lactococcus*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Sarcina*, *Bacillus* и др. В составе архей выделяются три группы: Crenarchaeota, Euryarchaeota, Korarchaeota. Функцией бактерий в активном иле является первичное разложение органических веществ [11].

Кроме бактерий в активном иле присутствуют одно- и многоклеточные эукариотические организмы – инфузории, амёбы, жгутиконосцы, колероватки, тихоходки, нематода, малощетинковые черви. Ограниченное участие в очистке сточных вод могут принимать водоросли и грибы (дрожжи, плесневые грибы). Грибы обладают способностью усваивать токсичные соединения, поэтому их роль в процессах очистки существенна.

Поскольку простейшие в трофической цепи биоценоза активного ила занимают более высокое положение, по сравнению с бактериями, они не имеют способности окислять вещества. Их функция – снижение избыточной биомассы бактерий. Простейшие более чувствительны к колебаниям условий среды, следовательно, по их численности можно судить об эффективности работы очистных сооружений. Например, высокая численность и активность колероваток является индикатором хорошей очистки в аэротенке, а их отсутствие – неудовлетворительной очистки.

Для эффективной работы активного ила необходимо поддержание определенных условий для их функционирования. Поэтому обязательным условием эксплуатации сооружений биологической очистки является микробиологический контроль активного ила.

## 1.3. Основные биохимические процессы, протекающие в биореакторах

### 1.3.1. Удаление органических загрязнений

Разложение органических веществ активным илом происходит на основе ферментов, которые вырабатывают микроорганизмы. Ферменты действуют на различные виды органических веществ и выполняют катализирующую функцию. Микроорганизмы способны вырабатывать экзо- и эндоферменты. Экзоферменты относятся к классу гидролаз и выделяются наружу клеток самих микроорганизмов. Они способны разрушать полимерные соединения до их мономеров. Углеводы превращаются в сахара, белки – в аминокислоты, жиры – в жирные кислоты и глицерин. В дальнейшем мономеры проникают внутрь клеток микроорганизмов и подвергаются действию эндоферментов. Эндоферменты относятся к классам оксидоредуктаз, трансфераз, гидролаз, лиаз, изомераз и др [11].

Сам механизм удаления органических веществ из сточных вод может быть разделен на три этапа:

1. Внеклеточный гидролиз и передача веществ к поверхности клетки микроорганизма;
2. Диффузия веществ через мембрану клетки;
3. Метаболизм диффундировавших в клетку органических соединений с выделением энергии и синтезом нового клеточного вещества [11].

Бактериальные клетки расходуют питательные вещества в двух направлениях: на прирост клеточной биомассы и на получение энергии, необходимой для поддержания жизнедеятельности. Генерирование энергии для поддержания жизнедеятельности бактерий обеспечивается внеклеточным и внутриклеточным окислением органических соединений. Последний процесс принято называть эндогенным дыханием, играющим важную роль при голодании.

Таким образом, в аэробных условиях загрязняющие органические вещества частично окисляются до конечных продуктов таких, как диоксид

углерода, вода, сульфаты, нитраты, и частично превращаются в новые микробиальные клетки. Если окисление происходит в условиях недостатка кислорода, то к конечным продуктам могут добавиться промежуточные соединения (метан, аммиак, сероводород и др.)

### 1.3.2. Удаление соединений азота

В сточную воду, поступающую на городские очистные сооружения, азотсодержащие соединения попадают в виде органических соединений белковой природы и неорганических соединений, представленных в форме ионов аммония и аммиака. Аммонийный азот преимущественно образуется в результате гидролиза мочевины – основного продукта жизнедеятельности человека. Помимо этого, соединения аммония образуются в процессе аммонификации соединений белка.

Самый оптимальный путь удаления азота из сточных вод – перевод азотсодержащих соединений в форму молекулярного азота. Решение данной задачи может быть достигнуто путем использования биологической нитриденитрификации.

Процесс окисления аммиака до азотистой кислоты, а затем до азотной кислоты принято называть нитрификацией. Она происходит в две фазы под действием различных нитрифицирующих микроорганизмов. Первая фаза: соли ионов аммония окисляются до нитрит-ионов. В фазе участвуют представители родов *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosolobus*, *Nitrospira*, *Nitrosovibrio*. Вторая фаза: окисление нитрит-ионов в нитрат-ионы при участии бактерий из родов *Nitrobacter*, *Nitrospira*, *Nitrococcus* [11].

По количеству нитратов в воде судят об успешности и полноте протекания процесса биохимического окисления. Нитрификация происходит с выделением большого количества тепла, поэтому она играет важную роль при эксплуатации очистных сооружений биологической очистки в зимнее время.

Далее протекает процесс денитрификации, при котором происходит восстановление нитратов или нитритов до какой-либо из газообразных форм азота. Самая распространенная форма денитрификации – восстановление нитратов или нитритов до молекулярного азота. Процесс происходит в отсутствие свободного кислорода или в его ограниченном количестве, в присутствии денитрифицирующих бактерий из родов *Bacillus*, *Pseudomonas*.

На практике очистки сточных вод в последнее десятилетие используется новый альтернативный путь биологического удаления азота – аноксидное окисление аммония (ANAMMOX), которое происходит при отсутствии кислорода, но при наличии окислителя (нитрита). Данная технология применяется для очистки сточных вод с высокой концентрацией аммония и низким содержанием доступного органического вещества [2].

При данном способе очистки происходит превращение ионов аммония и нитритов в молекулярный азот. Данная технология очистки сточных вод состоит из двух последовательных стадий:

1. Частичная нитрификация, или нитритирование, при которой около половины ионов аммония окисляются до нитрита;
2. Аноксидное окисление аммония нитритом, которое осуществляется автотрофными бактериями, получающими энергию за счет окисления аммония нитритом и фиксирующими углекислоту для синтеза биомассы [20].

Впервые технология ANAMMOX была внедрена в эксплуатацию на промышленных очистных сооружениях в Голландии в начале 21 века. Сегодня в мире функционирует около 100 установок на основе данной технологии. Прогнозируется, что процесс аноксидного окисления аммония в ближайшее время получит широкое распространение в мире для очистки сточных вод разных типов.

### 1.3.3. Удаление соединений фосфора

Источниками поступления соединений фосфора в сточные воды являются различные моющие средства, изготовленные на фосфорной основе, а также отходы жизнедеятельности людей. В городских сточных водах фосфор находится в форме ортофосфатов, полифосфатов и органофосфатов в растворенном и нерастворенном виде.

В основе биологического удаления фосфора лежит способность микроорганизмов аккумулировать при определенных условиях фосфаты внутри клеток в виде полифосфатов, а в условиях отсутствия кислорода – их расщеплять и выделять во внешнюю среду. Основная роль в процессе биологического удаления фосфора принадлежит бактериям *Accumulibacter* [11].

Накопление полифосфатов создает внутриклеточный запас биологически доступной энергии. Аккумуляция полифосфатов происходит при наличии во внешней среде акцепторов электронов (кислород) и фосфат-ионов, во внутренней среде – легкоокисляемых запасных веществ (полигидроксибутирата). В анаэробных условиях происходит гидролиз полифосфатов и получение необходимой энергии в форме АТФ.

Доказано, что удаление фосфора из сточных вод возможно в аноксидных условиях. При этом в качестве конечного акцептора электронов используется не кислород, а нитраты. Таким образом, аккумуляция полифосфатов может быть сопряжено с процессом денитрификации.

### 1.4. Применение биопрепаратов для очистки сточных вод

Биопрепарат – многокомпонентный продукт, основу которого составляет консорциум аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (бактерий) и вспомогательные вещества (ферменты, питательные вещества, отдушки, ПАВ и др.). В одном биопрепарате содержится от 4 до 24 различных штаммов бактерий. Подбор определенных

видов бактерий в состав биопрепарата зависит от выполняемых функций микроорганизмов и состава сточных вод. По спектру разлагаемых веществ биопрепараты уступают активному илу, однако они содержат быстро растущие штаммы, которые инициируют процессы разложения определенных загрязнений.

Интерес к использованию биопрепаратов для очистки сточных вод постоянно растет, поскольку с помощью их использования можно интенсифицировать процесс очистки. Сегодня биопрепараты применяют для очистки сточных вод на локальных очистных сооружениях дачных поселков, сел, поселков городского типа, мини-заводов.

В настоящее время на рынке реализуют множество биопрепаратов, используемых для очистки сточных вод, некоторые из которых представлены в табл. 1.1.

**Таблица 1.1**

Наиболее распространенные в использовании российские биопрепараты

Название биопрепарата	Производитель	Характеристика
1	2	3
Русский богатырь № 6	ООО «ВодаСтокСервис»	Применяется для очистки хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод. Удаляет запах, органические загрязнения в очистных сооружениях, септиках, канализации, а также расщепляет жиры и масла. Позволяет снизить показатели ХПК, БПК, взвешенных веществ. Наращивание активного ила. Содержит около 2,1 млрд бактерий на грамм. В составе аэробные и анаэробные бактерии. Экологически безопасен [5].

1	2	3
Multibac Active	Терра Экология Инжиниринг	Высококонцентрированная жидкая смесь штаммов аэробных и анаэробных, фотосинтетических и хемосинтетических микроорганизмов, которые способны разложить широкий спектр органических соединений. Применяется во всех типах систем биологической очистки сточных вод с отсутствием или наличием света, с использованием систем аэрации или без них. Использование биопрепарата повышает стабильность системы, снижает количество сбоев и уменьшает объем потерянной биомассы при залповых сбросах загрязняющих веществ. Безвреден для окружающей среды [4].
BIOZIM B500 (биозим)	Компания «ВАТЕРХИМ»	Содержит штаммы аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов для использования в биологической очистке хозяйственно-бытовых сточных вод. Снижает показатели ХПК, БПК, взвешенные веществ. Уменьшает жировые отложения [1].
Живая Экология № 50 (BCP50)	«Живая Экология» ИП Каширская Т.А.	Улучшает очистку коммунально-бытовых сточных вод. Действует в аэробных, и в анаэробных условиях. Повышает биологическое разложение белков, жиров, некоторых углеводов и т.п [9].
Биолокс	«Гидромат»	Используется для очистки коммунально-бытовых сточных вод домов, коттеджных поселений, пансионатов, гостиниц, санаториев, городских жилых зданий, школ, содержащих ПАВ. Ускоряет процесс нитрификации, снижает ХПК, БПК. Разлагает ПАВ, жиры, масла, трудно разлагаемые органические вещества. Локализует неприятные запахи [3].

В итоге, можно сделать выводы о том, что процесс биологической очистки основан на способности биоценоза микроорганизмов использовать

растворенные и взвешенные органические вещества сточных вод в качестве источников питания в процессе их жизнедеятельности.

В зависимости от протекающих процессов различают очистные сооружения аэробной и анаэробной биологической очистки. Помимо этого, сооружения биологической очистки классифицируются на сооружения с очисткой в условиях близких к естественным (поля фильтрации, орошения, биологические пруды) и на сооружения с очисткой в искусственно созданных условиях (аэротенки, биофильтры).

Активный ил, используемый в аэротенках, является сложным биоценозом микроорганизмов, находящихся в среде внеклеточных полимерных образований. Взаимодействие между загрязнениями сточной воды и активным илом происходит в результате процессов флокуляции, ассимиляции загрязняющих веществ в микроорганизмах и их трансформации.

Структурной единицей активного ила принято считать термин «флокула активного ила». Структура и морфология флокул активного ила зависит от таких параметров, как состав поступающих стоков, концентрация кислорода, нагрузка и возраст ила и другие. В составе биоценоза микроорганизмов преобладают бактерии (эубактерии, представленные грамположительными и грамотрицательными бактериями, и археи). Грамотрицательные бактерии представлены крупной группой *Proteobacteria*. Грамположительные представлены двумя группами – *Actinobacteria* и *Firmicutes*. Кроме бактерий, в биоценозе присутствуют одно- и многоклеточные эукариотические организмы, водоросли и грибы, простейшие.

Основные биохимические процессы, протекающие в биореакторах – удаление органических загрязнений, соединений азота и фосфора. Данные процессы происходят при участии микроорганизмов.

Разложение органических веществ активным илом происходит на основе ферментов (экзо-, эндоферменты), которые вырабатывают микроорганизмы. Бактерии расходуют питательные вещества на прирост клеточной биомассы и на получение энергии для жизнедеятельности.

Удаление соединений азота происходит в результате процессов нитриденитрификации. В первой фазе нитрификации (соли ионов аммония окисляются до нитрит-ионов) участвуют представители родов *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosolobus*, *Nitrospira*, *Nitrosovibrio*. Вторая фаза окисления нитрит-ионов в нитрат-ионы происходит при участии бактерий родов *Nitrobacter*, *Nitrospira*, *Nitrosococcus*. Процесс денитрификации (восстановление нитратов или нитритов до молекулярного азота) происходит в отсутствие свободного кислорода или в его ограниченном количестве, в присутствии денитрифицирующих бактерий из родов *Bacillus*, *Pseudomonas*. На практике очистки сточных вод в последнее десятилетие используется новый альтернативный путь биологического удаления азота – аноксидное окисление аммония (ANAMMOX).

В основе биологического удаления фосфора лежит способность микроорганизмов аккумулировать при определенных условиях фосфаты внутри клеток в виде полифосфатов, а в условиях отсутствия кислорода – их расщеплять и выделять во внешнюю среду. Основная роль в процессе биологического удаления фосфора принадлежит бактериям *Accumulibacter*.

Основой качества очистки стоков от органических и минеральных загрязнителей является эффективная биологическая очистка. Поэтому необходимо обеспечивать все возможные условия для полноценного функционирования технологий биологической очистки. В настоящее время существует множество биопрепаратов, используемых для очистки сточных вод, которые интенсифицируют данный процесс. По спектру разлагаемых веществ биопрепараты уступают активному илу, однако, они содержат быстро растущие штаммы, которые инициируют процессы разложения органических загрязнений.

## Глава 2. Объект и методы исследования

### 2.1. Щёлковские межрайонные очистные сооружения

Объектом исследования выпускной квалификационной работы является филиал МУП "Межрайонный Щёлковский Водоканал" - "Щёлковские межрайонные очистные сооружения (ЩМОС)", который осуществляет приём, очистку и сброс хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод. Объект находится в Московской области (МО), г. Щелково, ул. Заречная, д.137 и является крупнейшим объектом коммунального хозяйства МО (рис. 2.1) [17].

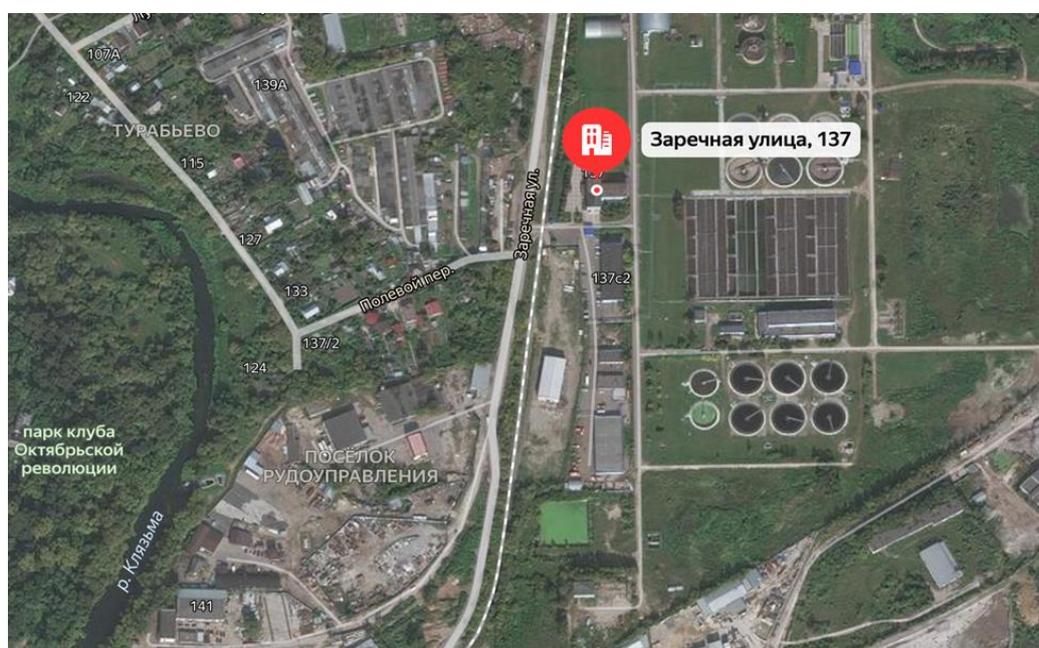


Рисунок 2.1 Расположение ЩМОС на карте

ЩМОС осуществляет прием сточных вод от абонентов г.о. Щелково, а также других муниципальных образований Московской области – г.о. Лосино-Петровский, Пушкинского г.о., г.о. Королёв, г.о. Ивантеевка, г.о. Фрязино, г.о. Звездный городок, с общей численностью населения более 700 тысяч человек. Площадь предприятия составляет около 60 гектар [16].

ЩМОС состоит из двух производственных комплексов очистки общей проектной мощностью 320 тыс. м<sup>3</sup> (фактическая мощность 229 тыс. м<sup>3</sup>/сутки), в том числе:

- 1 комплекс очистки проектной мощностью 200 тыс. м<sup>3</sup>/сутки, введенный в эксплуатацию в 1968 г.;
- 2 комплекс очистки проектной мощностью - 120 тыс. м<sup>3</sup>/сутки введенный в эксплуатацию в 1982 г [16].

В состав второго комплекса входит цех механического обезвоживания осадка проектной мощностью 400 м<sup>3</sup>/сутки. Фактически вырабатывается 100 м<sup>3</sup>/сутки.

В состав ЩМОС входят 25 производственных зданий, около 130 бытовых построек. Выпуск очищенных сточных вод производится в р.Клязьма.

Последовательность и механизм очистки стоков в двух производственных комплексах одинаковы, за исключением стадии обеззараживания. На первом комплексе вода очищается ультрафиолетом, а на втором – хлором.

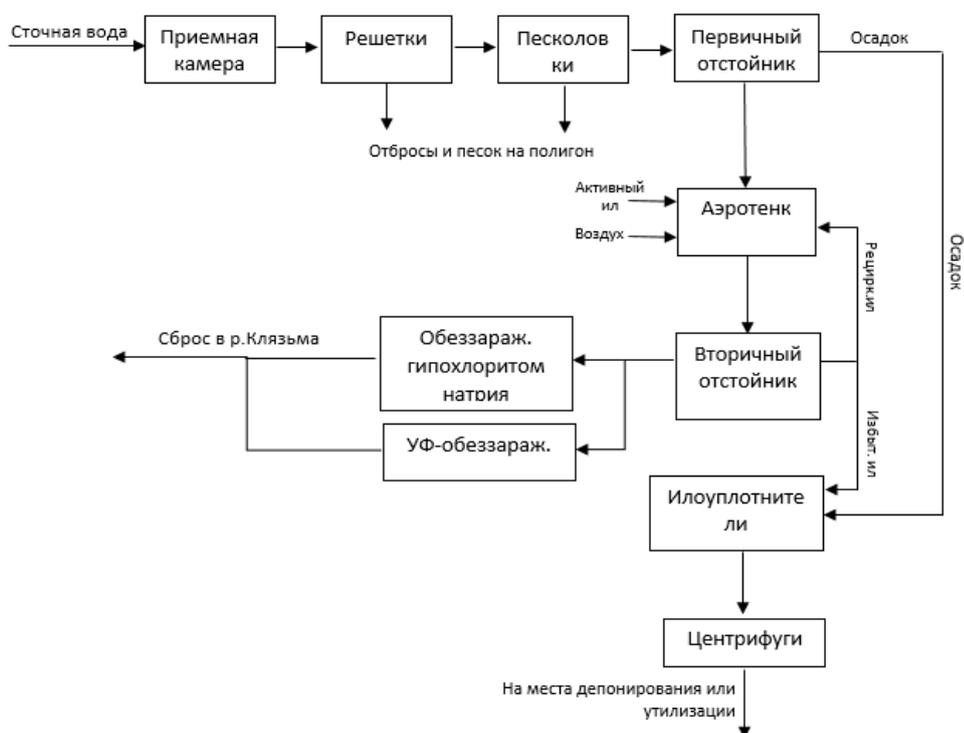
Для проведения исследования были использованы теоретические и эмпирические методы исследования. В качестве теоретических методов были применены анализ и синтез, классификация, моделирование, а в качестве практических – эксперимент в лабораторных условиях и сравнение. Для проведения лабораторного эксперимента были использованы следующие методические указания:

1. ПНД Ф 12.15.1-08 «Методические указания по отбору проб для анализа сточных вод».
2. ПНД Ф 14.1:2:3.1-95 «Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации ионов аммония в природных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Несслера».
3. НДП 10.1:2:3.91-06 «Методика измерений массовой концентрации нитрит-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Грисса».

4. ПНД Ф 14.1:2:4.4-95 «Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации нитрат-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с салициловой кислотой».
5. ПНД Ф 14.1:2.112-97 «Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации фосфат-ионов в пробах природных и очищенных сточных вод фотометрическим методом с восстановлением аскорбиновой кислотой».
6. ГОСТ 31859-2012 «Вода. Метод определения химического потребления кислорода».

## 2.2. Этапы очистки сточных вод на ЩМОС

Процесс очистки сточных вод состоит из нескольких этапов. Блок-схема процесса очистки сточных вод на ЩМОС представлена на **рис. 2.2**.



**Рисунок 2.2** Блок-схема очистки сточных вод на Щелковских межрайонных очистных сооружениях

Изначально поступающая на очистные сооружения сточная вода через приемную камеру попадает в блок механической очистки. В блоке происходят процеживание воды на решетках тонкой очистки, улавливание минеральных примесей в песколовках, а также отстаивание воды в первичных отстойниках.

Решетки служат для удаления различного мусора в сточной воде. Задержанный мусор собирается с помощью граблей и попадает на шнековый конвейер. С помощью пресс-транспортера мусор отжимается и движется в специальный контейнер закрытого типа. Далее мусор вывозится на полигон.

После решеток сточная вода попадает в аэрируемые горизонтальные песколовки, которые используются для предварительного выделения минеральных и органических загрязнений размером 0,2-0,25 мм из сточных вод. Горизонтальные песколовки – резервуары с треугольным или трапецеидальным поперечным сечением, имеющие глубину 0,25-1 м. Скорость движения воды в них не превышает 0,3 м/с. Осевшие на дне частицы специальными лопастями сметаются в бункер. Осевший в песколовках песок песковыми насосами удаляется в классификатор, где происходит дополнительная промывка от органических веществ. Из классификатора промытый песок шнековым транспортером подается в песковой бункер. Вывоз песка производится 2 раза в сутки на песковые площадки. На песковых площадках происходит дальнейшее подсушивание песка, и далее вывоз на специальный полигон.

Очищенные от крупной фракции сточные воды проходят через лоток Паршалла (специальное гидротехническое сооружение, с помощью которого определяют расход воды) и попадают в первичные отстойники. Отстойники предназначены для осаждения нерастворимых взвешенных примесей методом отстаивания под действием силы тяжести. Их диаметр составляет 28 и 30 м. Всего на территории ЩОС находится 14 первичных отстойников (8 на первом комплексе, 6 – на втором). Оседающая фракция в отстойниках удаляется с помощью скребка.

Второй этап – биологическая очистка воды в аэротенках и вторичных отстойниках. Аэротенки – открытые железобетонные резервуары 4-х коридорного типа, имеющие прямоугольную форму. На ЩОС аэротенки имеют зону нитрификации и денитрификации. Глубина аэротенков составляет 5 м. Очистка в этих резервуарах осуществляется с помощью активного ила при постоянном насыщении воды воздухом, подаваемым снизу установки.

Из аэротенков иловая смесь поступает во вторичные отстойники лучевого типа диаметром 30 и 33 м, где происходит разделение ила от очищенной воды. На территории ЩОС функционирует 14 вторичных отстойников. Осевший на дно отстойников активный ил поступает в приемную камеру циркуляционной насосной станции активного ила. Из приемной камеры активный ил подается в верхнюю камеру распределения активного ила и далее - в аэротенки. Избыточный ил забирается из приемной камеры насосами и подается в цех механического обезвоживания осадка.

Последняя стадия очистки сточных вод на ЩОС – обеззараживание. Поскольку на выходе со вторичных отстойников вода загрязнена патогенными микроорганизмами (бактериями, вирусами, гельминтами и тому подобными), необходимо произвести её обеззараживание. На первом комплексе обеззараживание выпускаемой воды проводится путем смешивания сточных вод с гипохлоритом натрия. Контакт сточных вод с реагентом должен происходить не менее 30 минут [16].

На втором комплексе очистных сооружений обеззараживание происходит с помощью ультрафиолета. УФ-излучение приводит к необратимым повреждениям ДНК и РНК микроорганизмов, находящихся в воде, в результате чего они инактивируются. Помимо этого, УФ-лучи не изменяют химический состав воды. УФ-обеззараживание происходит в специальных камерах, в которых имеются бактерицидные лампы в кварцевых чехлах.

Таким образом, этап обеззараживания позволяет достичь нормативы по микробиологическим показателям очищенной сточной воды.

После прохождения всех этапов очистки сточная вода по трубам сбрасывается в реку Клязьма.

Щелковские очистные сооружения уделяют особое внимание устранению неприятных запахов, которые сопровождают весь процесс очистки сточных вод. Например, в здании решеток введены в эксплуатацию установки по очистке воздуха «КОРОНА», благодаря которым улучшилось состояние воздуха санитарно-защитной зоны предприятия и рабочей зоны в цехе [17].

Образующийся на очистных сооружениях избыточный ил биологических очистных сооружений в смеси с осадком механической очистки смешанных сточных вод относится к IV классу опасности (Код ФККО – 7 22 201 11 39 4) [18]. На ЩОС осадок с первичных и вторичных отстойников подается в илоуплотнители. Поступающий в уплотнитель сырой осадок и избыточный ил перемешиваются с помощью постоянно вращающихся илоскребов и уплотняются. Затем осадок поступает в цех механического обезвоживания на декантерные центрифуги. Выгрузка обезвоженного осадка производится системой конвейеров шнековым и наклонно-горизонтальным скребковым в бункер обезвоженного осадка. Далее вывозится автотранспортом в места депонирования или утилизации. На территории очистных сооружений иловый осадок не складировается [16].

### **2.3. Особенности состава поступающих на ЩМОС сточных вод**

Щелковские очистные сооружения принимают на очистку смешанные сточные воды: хозяйственно-бытовые и производственные. Данные типы сточных вод значительно отличаются друг от друга по составу и происхождению. Поступающие на Щелковские межрайонные очистные сооружения сточные воды не имеют постоянного состава.

Коммунально-бытовые сточные воды – пресные воды, изменившие свои свойства после использования в бытовой деятельности человека и требующие отведения. Данный вид сточных вод образуется в жилых, административных, коммунальных зданиях. Главной особенностью коммунально-бытовых сточных вод является постоянство их состава, наличие большого количества органических веществ и ПАВ [19].

В составе бытовых сточных вод выделяют органические, минеральные и биологические загрязнения. Органические загрязнения – это примеси растительного (бумага, растительные остатки и жиры) и животного происхождения (продукты жизнедеятельности человека). Из общего объема загрязнений на долю органических примесей приходится около 45-58%. Их основная часть состоит из белков, жиров, углеводов и продуктов их гидролиза. К минеральным загрязнениям относят песок, глинистые частицы, соли, кислоты и щелочи. Биологические загрязнения – различные микроорганизмы (грибки, водоросли и бактерии, в том числе и болезнетворные), вирусы, яйца гельминтов.

Производственные сточные воды представляют собой воды, которые были использованы в каком-либо технологическом процессе производства целевого продукта. Состав производственных сточных вод, безусловно, отличается от состава хозяйственно-бытовых сточных вод. В составе могут присутствовать такие вещества как тяжелые металлы, большие концентрации загрязняющих (органических и неорганических) веществ, нефтепродукты, пестициды, ксенобиотики и многое другое, что зависит от типа промышленности. Производственные стоки наиболее опасны для окружающей среды, они труднее поддаются очистке. Поэтому существует ряд ограничений по приему производственных сточных вод в городскую систему канализации [14].

Количественный состав показателей поступающих и очищенных сточных вод после биологического этапа на Щелковских межрайонных очистных сооружениях представлены в **табл. 2.1**.

Таблица 2.1

Данные количественного состава поступающих и очищенных сточных вод на  
ЩМОС

№	Показатели	Поступающая сточная вода	Сточная вода после биологической очистки	Допустимая концентрация ЗВ на выпуске в пределах НДС	ПДК рыбхоз
	Ед. изм				
1	АПАВ	3,21	0,197	0,2	0,1
2	Аммоний ион	40,0	0,34	0,5	0,5
3	Нитрит ион	0,29	0,41	0,08	0,08
4	Нитрат ион	0,9	46,5	40,0	40,0
5	Фосфат ион	4,24	0,08	0,2	0,2
6	Взвешенные вещества	260	8,0	10,75	Фон+0,25
7	ХПК	532	41,0	-	30

Исходя из результатов, можно видеть, что на Щелковских очистных сооружениях после этапа биологической очистки наблюдается недостаточная очистка сточных вод по таким показателям, как нитрат-ион, нитрит-ион, что связано с недостаточно эффективной биологической очисткой соединений азота (нитрификация, денитрификация). Показатель нитрит-ион превышает норматив допустимого сброса в 5 раз, нитрат-ион – в 1,1 раз. Остальные показатели в пределах нормы.

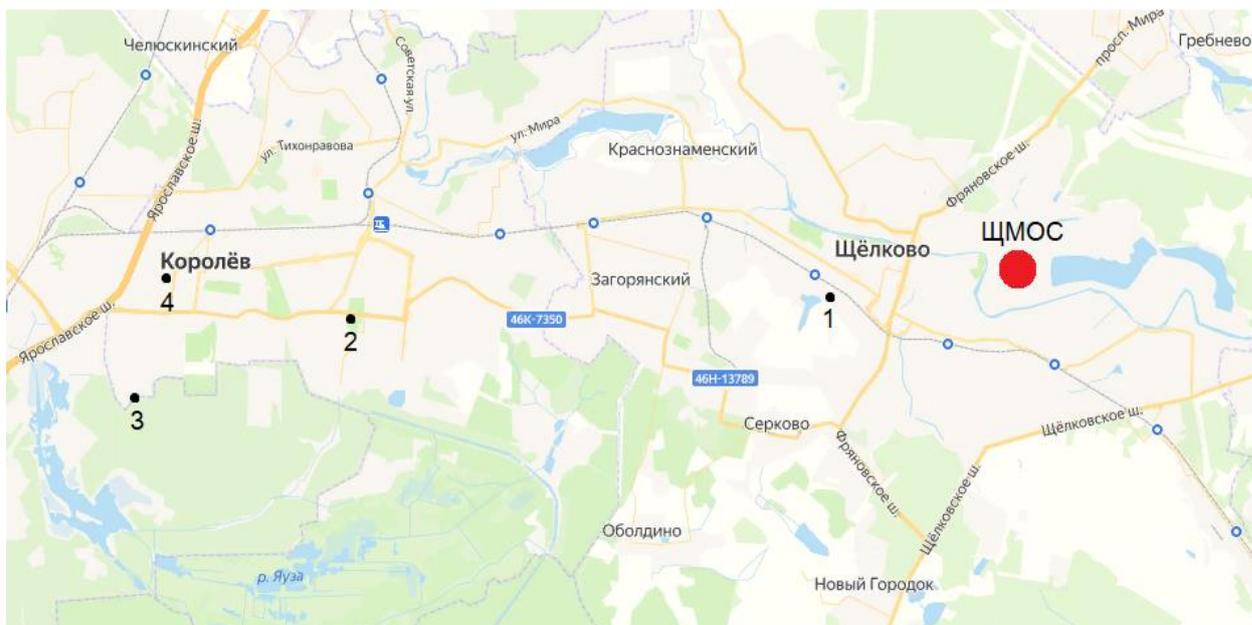
Одной из острых проблем функционирования ЩМОС является бесконтрольный, превышающий требования залповый сброс загрязняющих веществ в канализационную систему водоотведения, производимый промышленными объектами. Из-за данной проблемы очистка сточных вод на ЩМОС происходит малоэффективно, поскольку активный ил аэротенков при высоких концентрациях опасных веществ погибает, и, следовательно, этап биологической очистки, как один из основных, не выполняет своих функций.

Перечень промышленных объектов, которые сбрасывают сточные воды производства в канализационную систему Щелковских межрайонных очистных сооружений, представлен в **табл. 2.2** [16]. Точки расположения промышленных объектов на карте указаны на **рис. 2.3**.

**Таблица 2.2**

Промышленные объекты, сбрасывающие промышленные стоки в систему канализации ЩМОС

<b>Предприятие, адрес</b>	<b>Производство</b>	<b>Приоритетные загрязнители промышленных стоков</b>
ООО «КлассиК» (г.Щёлково, ул. Первомайская, 7)	Производство одежды, школьной формы	Красители, ПАВ, тяжелые металлы, вредные органические соединения, волокна
ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение» (г. Королёв ул. Ильича, 7)	Производство авиационного высокоточного оружия систем морского вооружения, ракетно-космической техники и радиоэлектронного оборудования	Токсичные органические соединения, тяжелые металлы
ОАО «Композит» (г. Королёв, ул. Пионерская, 4)	Создание и комплексное исследование свойств материалов	
ОАО «РКК Энергия» (г. Королёв ул. Ленина, 4а)	Создание автоматических космических и ракетных систем (средств выведения и межорбитальной транспортировки), высокотехнологичных систем различного назначения для использования в некосмических сферах	



**Рисунок 2.3** Карта-схема расположения промышленных объектов  
1 - ООО «КлассиК»; 2 - ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное  
вооружение»; 3 - ОАО «Композит»; 4 - ОАО «РКК Энергия».

В том случае, если сточные воды после биологической очистки содержат значительное количество загрязнений, одним из возможных вариантов решения проблемы низкой эффективности очистки сточных вод является биологическая доочистка с помощью биопрепаратов.

## Глава 3. Оценка эффективности функционирования биопрепаратов

### 3.1. Получение биопрепаратов

Процесс получения биопрепарата основывается на культивировании. Культивирование представляет собой процесс выращивания микроорганизмов в лабораторных условиях. Микроорганизмы выращиваются в специальном оборудовании – ферментере, представляющем собой закрытый резервуар, в котором механически перемешиваются среда и микроорганизмы. Главная цель культивирования – накопление биомассы. Для выращивания микроорганизмов необходимо создать определенные условия среды, которые будут индивидуальны для каждого отдельного вида микроорганизмов [13].

Синтез биопрепарата происходил на предприятии «Общество с ограниченной ответственностью «ВОЛНОВОД-17», в ферментере марки «Сметар» объемом 180 л (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 Ферментер, эксплуатируемый на НПП «Биосинтез»

В лабораторных условиях культивирование микроорганизмов происходит на питательной среде, которая должна содержать все необходимые полезные вещества, приводящие к росту биомассы.

Самой первой стадией получения биопрепарата является подготовка питательной среды. Состав питательной среды для получения биомассы препарата представлен в **табл. 3.1**.

**Таблица 3.1**

Состав питательной смеси для ферментера объемом 180 л.

<b>Компонент</b>	<b>Количество, г</b>
$K_2HPO_4$	1080
$KH_2PO_4$	540
NaCl	900
$(NH)_2SO_4$	540
$MgSO_4$	90
Меласса	9000
Кукурузный экстракт	2000

Питательная среда должна быть сбалансирована по pH примерно на уровне 8,6-8,8 до стерилизации (после процесса стерилизации происходит сдвиг pH). Для достижения необходимого уровня pH питательной среды в неё добавляли щелочь (KOH). Также в питательную среду был добавлен пеногаситель марки «Волтес ФМТ» для подавления пенообразования в ферментере.

После того, как все необходимые компоненты были добавлены в питательную среду, предстояла следующая стадия – стерилизация питательной среды. Стерилизация происходила острым (перегретым) паром при температуре 120°C в течение 40 минут. Конечной целью стерилизации питательной среды является уничтожение всех посторонних микроорганизмов.

Далее происходит охлаждение питательной среды и заселение микроорганизмов в ферментер. Стоит отметить, что культивирование происходило методом глубинной периодической аэробной ферментации. Для

жизнедеятельности микроорганизмов существенное значение имеют не только состав питательной среды, но и такие факторы, как аэрация, температура, кислотность среды, влажность, свет.

Большое влияние на развитие микроорганизмов оказывает аэрация среды. Для аэрации в ферментер подавался стерильный воздух. Для равномерного роста микроорганизмов по всему объему аппарата принудительную аэрацию смешивали с механическим перемешиванием.

Помимо этого, происходил постоянный контроль кислотности среды. Показатель рН должен быть близок к 7. Температура культивирования также значительно влияет на интенсивность роста бактерий, так как она воздействует на скорость всех клеточных реакций. В ферментере температура поддерживалась на уровне 20-25°C.

Таким образом, в определенных условиях в течение 1,5 суток в ферментере происходило культивирование микроорганизмов биопрепарата.

Следующий этап – сепарирование. Иными словами, это процесс разделения клеточной биомассы и культуральной жидкости. В промышленности используются различные методы сепарации, например, флотация, фильтрация, центрифугирование [13].

Для отделения биомассы экспериментальных биопрепаратов от культуральной жидкости использовался метод центробежной силы. Для этого использовалась центрифуга-сепаратор, принцип которой основан на оседания отделяемой биомассы на стенках вращающегося цилиндра или в специальных тарельчатых вставках (рис. 3.2, 3.3).



**Рисунок 3.2** Процесс сепарирования



**Рисунок 3.3** Полученная чистая биомасса

После сепарации чистую биомассу поместили в специальный раствор, который помогает предотвратить попадание посторонней микрофлоры в биомассу, и отправили в холодильник на хранение. Последней стадией биотехнологического цикла является получение товарных форм продукта.

### **3.2. Состав экспериментальных биопрепаратов**

В составе экспериментальных биопрепаратов содержатся бактерии рода *Bacillus*, которые вызывают огромный интерес в микробиологии по причине повсеместного распространения представителей этого рода, цикла развития,

необычной устойчивости их спор к химическим и физическим факторам и патогенности. Бактерии данного рода являются аэробами или факультативными анаэробами. Некоторые виды бактерий рода *Bacillus* способны к нитратредукции.

Видовой состав микроорганизмов биопрепарата R1:

- *Bacillus pumilus*;
- *Bacillus subtilis*;
- *Bacillus amyloliquefaciens*.

Видовой состав микроорганизмов биопрепарата R2:

- *Bacillus pumilus*;
- *Bacillus subtilis*;
- *Bacillus amyloliquefaciens*;
- *Bacillus mojavensis*;
- *Bacillus brevis*;
- *Bacillus cereus*.

Краткая характеристика бактерий рода *Bacillus* представлена в табл. 3.2.

**Таблица 3.2**

Характеристика видов бактерий рода *Bacillus*

№	Название вида бактерий	Характеристика
1	2	3
1	<i>Bacillus subtilis</i>	Отличаются высокой конкурентной способностью роста и размножения, особенно на субстратах, содержащих навоз и фекалии. Штаммы обладают полиферментативными свойствами, активно синтезируют ферменты, участвующие в деградации белковых веществ, разлагающие жиры и способствующие утилизации продуктов гнилостного распада тканей. <i>Bacillus subtilis</i> хорошо работают в паре, дополняют друг друга на разных глубинах субстрата.

1	2	3
2	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Активно размножаются с использованием органических компонентов, содержащихся в навозе и фекалиях. Участвуют в разложении гнилостных остатков, продуцируют ферменты, способствующие гидролизу крахмала и хитина, а также превращению нитратов субстрата в нитриты, а затем в аммиак и аммоний. Участвует также в разложении ПАВ. Эти микроорганизмы в процессе жизнедеятельности не образуют индола, что, несомненно, является позитивным качеством и позволяет использовать их в композициях для утилизации навоза и канализационных стоков.
3	<i>Bacillus mojavensis</i>	Активно использует в процессе роста аммонийные и нитритные соли, образует ферменты для гидролиза крахмала и олигосахаридов. Микроорганизмы способны расти и размножаться при различных рН субстрата (от 3 до 8.5), что позволяет использовать их для утилизации субстратов с различными значениями рН.
4	<i>Bacillus brevis</i> ( <i>Brevibacillus</i> )	Грамположительный вид. Аэробный, подвижный, спорообразующий. В основном обитает в почве. Производит фермент, который катализирует превращение, разложение и циклизацию крахмала в $\beta$ - циклодекстрин. Оптимальный рост происходит при температуре от 35°C до 55°C.
5	<i>Bacillus pumilus</i>	Характеризуются устойчивостью к УФ-облучению и высоким концентрациям солей в окружающей их среде. Блокируют источники энергии, которые используют цианобактерии и водоросли. Способствуют снижению концентрации в воде сероводорода и аммиака, повышению концентрации растворенного кислорода, стабилизации рН.
6	<i>Bacillus cereus</i>	Грамположительный вид. Споробразующий. В основном обитают в почве. Клетки крупные, подвижные. Патогенный для человека: вызывает пищевые токсикоинфекции. Вид способен к деградации фенола, обладает большой ферментативной активностью.

Использование бактерий *B. subtilis* и *B. cereus* широко распространено в биологической очистке сточных вод. Они обладают большой ферментативной

активностью, благодаря чему они не только быстро разлагают органические вещества, но и связывают радионуклиды и тяжелые металлы, а также химические яды. *B. subtilis* и *B. cereus* выдерживают неблагоприятные климатические условия и действие многих антибиотиков. Они обладают антагонистической активностью к большому количеству патогенных организмов. Еще одним преимуществом является простота их производства и длительный срок хранения.

Бактерии вида *Bacillus amyloliquefaciens* отлично справляется с разложением ПАВ. Они способны разлагать до 98,8% всех ПАВ в сточных водах, при концентрации до 10 мг/дм<sup>3</sup>, что является отличным результатом эффективности.

### 3.3. Лабораторные исследования действия биопрепаратов

Полученные биопрепараты планируется вводить в технологический процесс на стадии биологической доочистки, после вторичных отстойников.

На базе лаборатории контроля качества воды ЦМОС был проведен лабораторный эксперимент. Для эксперимента была отобрана проба воды после вторичных отстойников. На момент доставки пробы в лабораторию контроля качества воды ЦМОС сотрудниками был исследован количественный состав анализируемых в дальнейшем компонентов пробы сточной воды. Результаты представлены в табл. 3.3.

**Таблица 3.3**

Результаты измерений концентрации некоторых показателей пробы воды после вторичных отстойников ЦОС

Компонент, мг/дм <sup>3</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /P (Фосфат ион/По фосфору)	ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>
Контроль	6,17	8,63	46,0	0,08/0,03	28,0

Далее данная проба была разлита в три одинаковые емкости, объемом 5 литров каждая. Емкости были закрыты пластиковыми крышками. Первую емкость оставили без изменений, в качестве контрольного образца, во вторую емкость добавили 100 мл биопрепарата R1, в третью емкость – 100 мл биопрепарата R2. Эксперимент проводился в течение трех дней.

Каждый день работниками лаборатории контроля качества воды ЦОС проводились замеры концентраций показателей сточной воды из каждой емкости. Результаты исследований спустя 24, 48, 72 часов приведены в табл. 3.4 – 3.6.

**Таблица 3.4**

Результаты первых измерений (24 ч.)

Компонент, мг/дм <sup>3</sup>	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}/\text{P}$ (Фосфат ион/По фосфору)	ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>
Контроль	5,52	9,73	44,9	0,05/0,02	28,7
Препарат R1	23,02	10,35	40,6	2,17/0,71	287
Препарат R2	28,78	20,50	20,3	0,53/0,17	420

**Таблица 3.5**

Результаты вторых измерений (48 ч.)

Компонент, мг/дм <sup>3</sup>	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}/\text{P}$ (Фосфат ион/По фосфору)	ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>
Контроль	5,85	10,26	42,7	0,23/0,07	19,7
Препарат R1	20,6	0,5	3,3	17,09/5,57	340
Препарат R2	25,14	0,32	1,2	46,2/15,06	414

Таблица 3.6

Результаты третьих измерений (72 ч.)

Компонент, мг/дм <sup>3</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /P (Фосфат ион/По фосфору)	ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>
Контроль	5,25	9,19	52,0	0,21/0,07	22,1
Препарат R1	7,16	0,22	1,0	35,71/11,64	309
Препарат R2	12,97	0,07	0,9	48,65/15,86	442

Для наглядного представления изменений концентраций компонентов сточной воды в контрольной пробе, в резервуаре с препаратом R1 и в резервуаре с препаратом R2 ниже представлены графики (рис. 3.4 – 3.9).

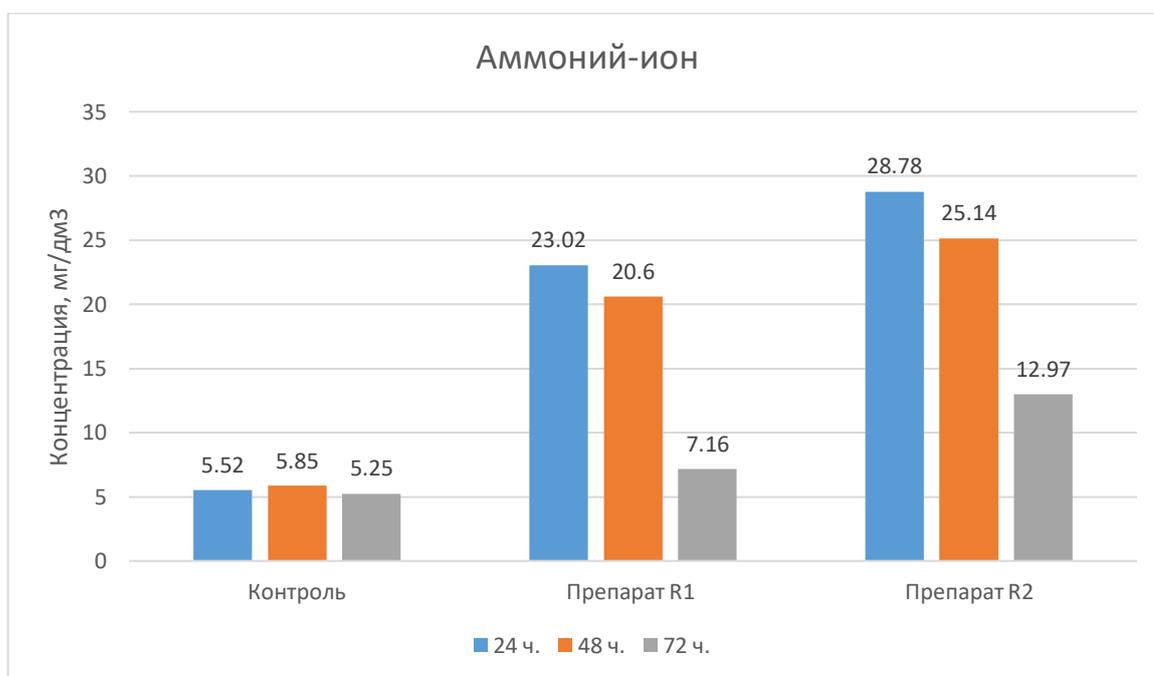
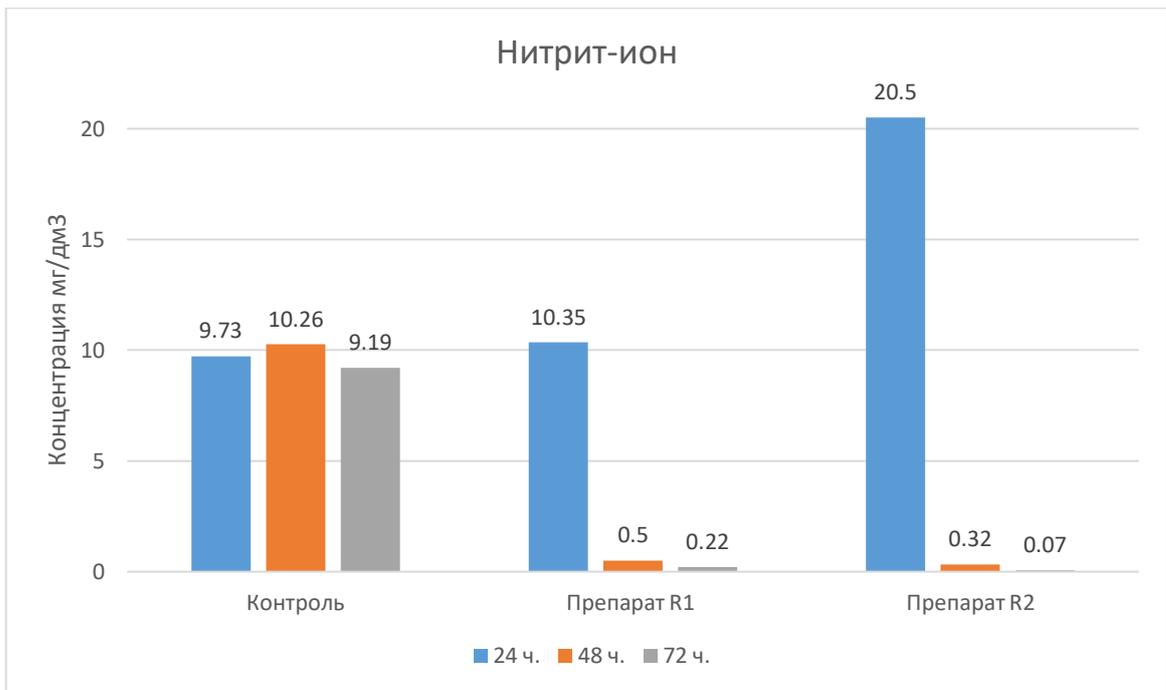
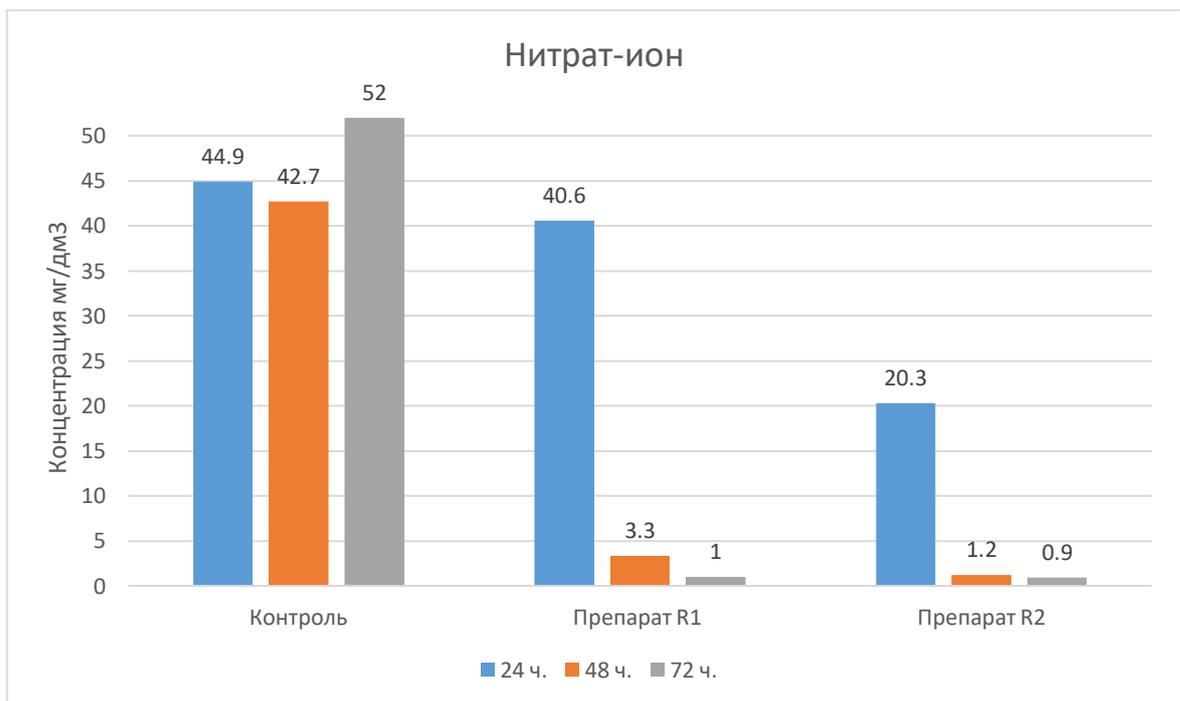


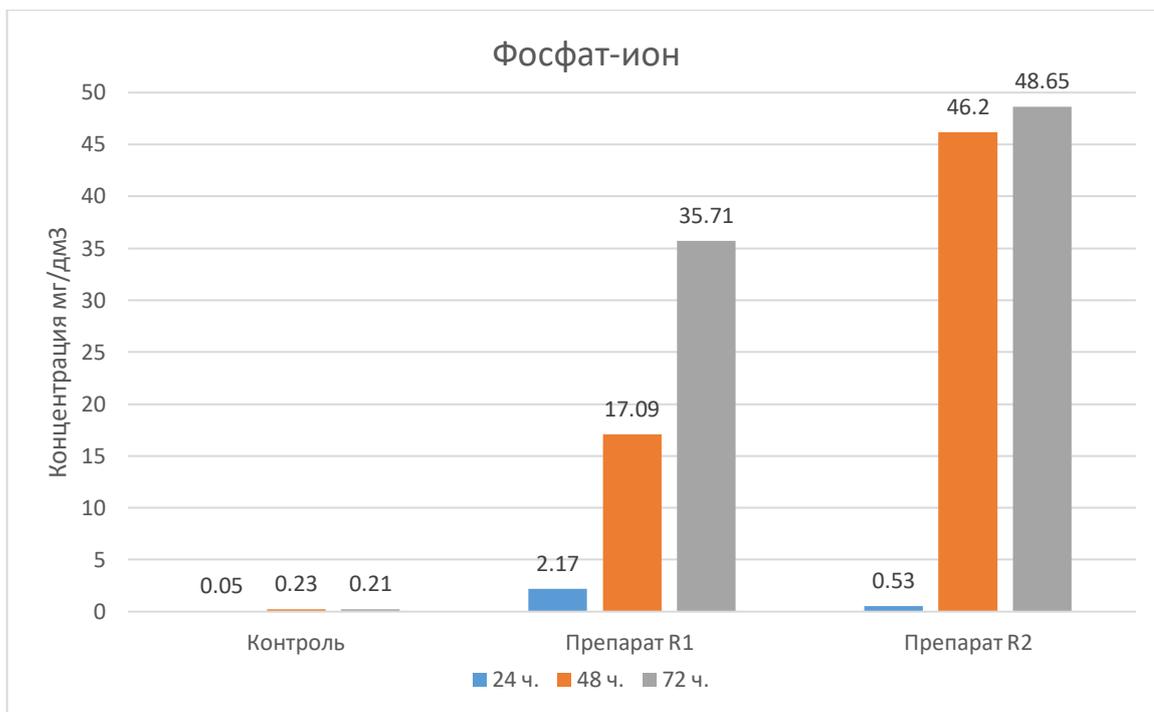
Рисунок 3.4 График изменения концентрации аммоний-иона



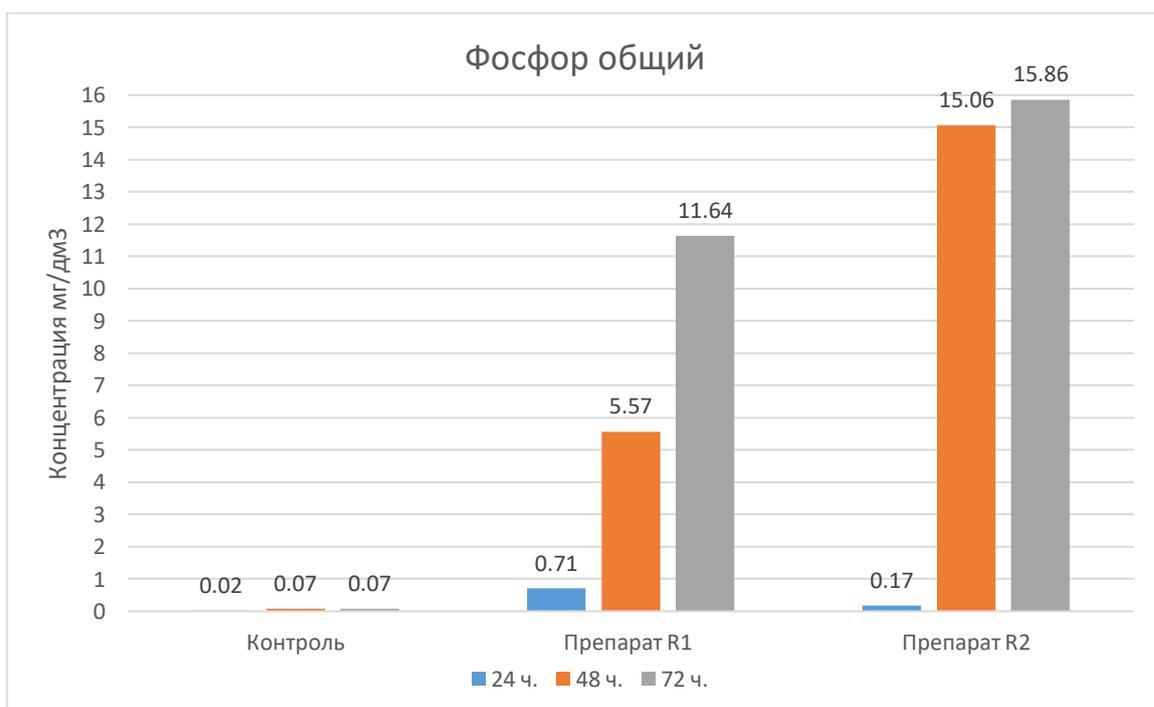
**Рисунок 3.5** График изменения концентрации нитрит-иона



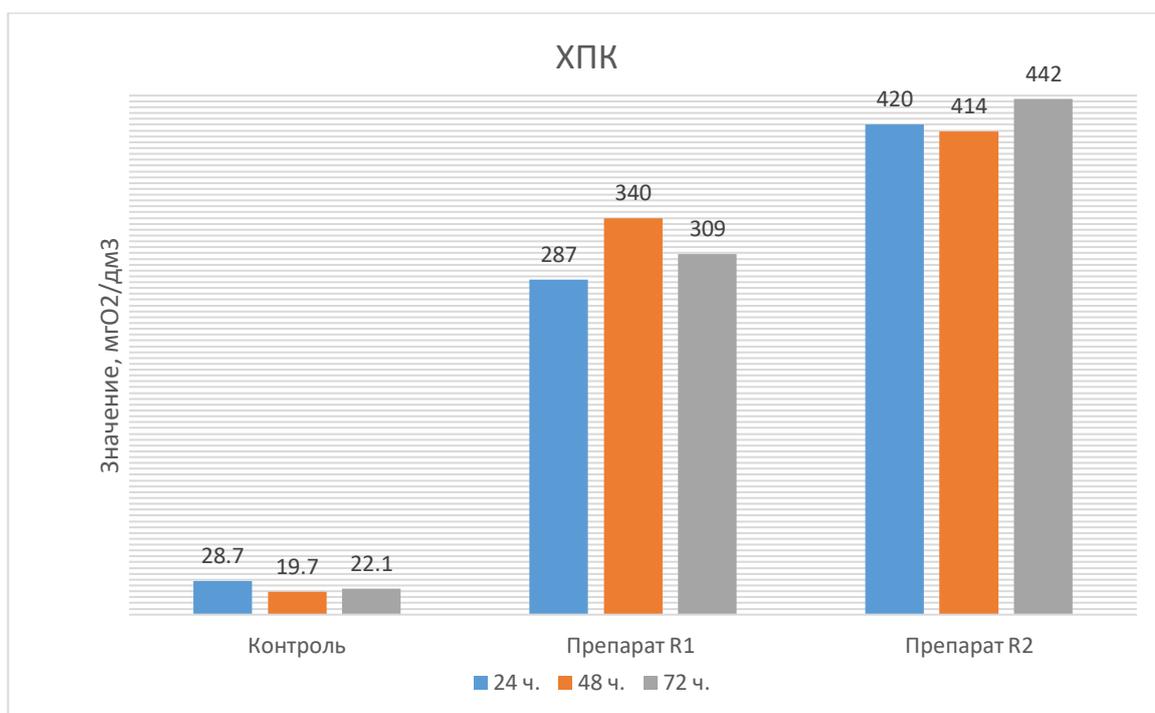
**Рисунок 3.6** График изменения концентрации нитрат-иона



**Рисунок 3.7** График изменения концентрации фосфат-иона



**Рисунок 3.8** График изменения концентрации показателя фосфор общий



**Рисунок 3.9** График изменения значений показателя ХПК

Исходя из результатов, можно сделать вывод, что после добавления биопрепаратов в резервуары через 24 часа наблюдается скачок концентрации показателя аммоний-ион. Но спустя 2-ое суток можно видеть, как концентрация показателя в резервуарах с биопрепаратами снижается, однако она остается выше, чем в контрольном резервуаре.

Относительно показателей нитрит-ион и нитрат-ион можно сделать вывод, что спустя 72 часа их концентрация в резервуарах с биопрепаратами значительно снизилась и оказалась меньше, чем в контрольном резервуаре.

Концентрация фосфат-ионов и общего фосфора после добавления биопрепаратов в резервуары в течение проведения эксперимента сильно увеличивалась. Согласно литературным данным, увеличение концентрации фосфора связано с процессом дефосфотирования, который протекает даже на стадии доочистки из-за некачественной промывки фильтров от активного ила. Таким образом, искусственное добавление бактерий биопрепаратов также приводит к дефосфотированию.

Показатель ХПК характеризует суммарное количество примесей, которые могут быть окислены кислородом в ходе проведения химических

реакций с сильными окислителями. Резкий скачок значения данного показателя может быть связан с тем, что после добавления биопрепаратов концентрация органических веществ в резервуарах увеличилась в результате добавления вещества самих биопрепаратов. Следовательно, необходимо увеличить кратность разбавления биопрепаратов при их применении.

Таким образом, оптимальным временем работы биопрепаратов является 72 часа, так как именно спустя данное время по таким показателям, как аммоний-ион, нитрит-ион, нитрат-ион, наблюдается максимальное снижение концентрации за всё время проведения исследования.

### **3.4. Оценка эффективности применения биопрепаратов**

Для того, чтобы определить, какой из двух биопрепаратов наиболее предпочтителен в использовании, необходимо рассчитать их эффективность. Так как использование полученных препаратов дает наилучшие результаты спустя 3 суток, то при сравнении эффективности были взяты значения показателей через 72 часа.

Под эффективностью работы какого-либо этапа функционирования очистных сооружений понимают снижение показателя после определенного очистного сооружения или этапа очистки, выраженное в процентах. Для оценки эффективности необходимо располагать данными анализа количественного состава сточных вод, поступающих на очистные сооружения и очищенных после какого-либо этапа. Значения показателей поступающих сточных вод, сточных вод после биологической очистки и после добавления биопрепаратов представлены в **табл. 3.7**.

Таблица 3.7

Результаты эксперимента после этапа биологической очистки и после применения биопрепаратов (спустя 72 часа)

№	Показатели Ед. изм	Поступающая сточная вода	После биологической очистки	После введения биопрепаратов (через 72 часа)	
				R1	R2
мг/дм <sup>3</sup>					
1	Аммоний-ион	40,0	0,34	7,16	12,97
2	Нитрит-ион	0,29	0,41	0,22	0,07
3	Нитрат-ион	0,9	46,5	1,0	0,9
4	Фосфат-ион	4,24	0,08	35,71	48,65
5	Фосфор общий	-	0,03	11,64	15,86
6	ХПК	532	41,0	309	442

Эффективность рассчитывают по формуле [15]:

$$\varepsilon = \frac{C1 - C2}{C1} \times 100\%$$

где C1 - концентрация загрязнений бытовых сточных вод, поступающих на очистку, мг/дм<sup>3</sup>; C2 - концентрация загрязнений в очищенной (выходящей) сточной воде, мг/дм<sup>3</sup>.

Расчет эффективности биологической очистки.

Аммоний-ион

$$\varepsilon = \frac{40,0 - 0,34}{40,0} \times 100\% = 99,1\%$$

Нитрит-ион

$$\varepsilon = \frac{0,29 - 0,41}{0,29} \times 100\% = -41,4\%$$

Нитрат-ион

$$\mathcal{E} = \frac{0,9 - 46,5}{0,9} \times 100\% = -5066,7\%$$

Фосфат-ион

$$\mathcal{E} = \frac{4,24 - 0,08}{4,24} \times 100\% = 98,1\%$$

ХПК

$$\mathcal{E} = \frac{532 - 41}{532} \times 100\% = 92,3\%$$

Поскольку данные по общему фосфору в поступающих на очистные сооружения сточных водах отсутствует, это ограничивает возможность подсчета эффективности очистки по данному показателю.

Расчет эффективности очистки после введения биопрепарата R1.

Аммоний-ион

$$\mathcal{E} = \frac{40,0 - 7,16}{40,0} \times 100\% = 82,1\%$$

Нитрит-ион

$$\mathcal{E} = \frac{0,29 - 0,22}{0,29} \times 100\% = 24,1\%$$

Нитрат-ион

$$\mathcal{E} = \frac{0,9 - 1}{0,9} \times 100\% = -11,1\%$$

Фосфат-ион

$$\mathcal{E} = \frac{4,24 - 35,71}{4,24} \times 100\% = -742,2\%$$

ХПК

$$\mathcal{E} = \frac{532 - 309}{532} \times 100\% = 41,9\%$$

Расчет эффективности очистки после введения биопрепарата R2.

Аммоний-ион

$$\mathcal{E} = \frac{40,0 - 12,97}{40,0} \times 100\% = 67,6\%$$

Нитрит-ион

$$\Delta = \frac{0,29 - 0,07}{0,29} \times 100\% = 75,9\%$$

Нитрат-ион

$$\Delta = \frac{0,9 - 0,9}{0,9} \times 100\% = 0\%$$

Фосфат-ион

$$\Delta = \frac{4,24 - 48,65}{4,24} \times 100\% = -1047,4\%$$

ХПК

$$\Delta = \frac{532 - 442}{532} \times 100\% = 16,9\%$$

Итоговые результаты оценки эффективности очистки сточных вод после биологической очистки, после введения биопрепарата R1 и R2 представлены в табл. 3.8.

**Таблица 3.8**

Эффективность очистки сточных вод после добавления биопрепаратов

№	Показатель	После биологической очистки	После введения биопрепарата R1	После введения биопрепарата R2
1	Аммоний-ион	99,1%	82,1%	67,6%
2	Нитрит-ион	-41,4%	24,1%	75,9%
3	Нитрат-ион	-5066,7%	-11,1%	0%
4	Фосфат-ион	98,1%	-742,2%	-1047,4%
5	ХПК	92,3%	41,9%	16,9%

До введения биопрепаратов эффективность биологической очистки составляла -41,4% по нитрит-иону и -5066,7% по нитрат-иону. Эффективность очистки сточной воды после введения биопрепарата R1 по нитрит-иону составила 24,1%, по нитрат-иону – -11,1%. Эффективность очистки сточной воды после введения биопрепарата R2 по нитрит-иону составила 75,9%, по

нитрат-иону – 0%. Эффективность действия после добавления биопрепаратов по остальным показателям снизилась.

Таким образом, использование биопрепаратов после вторичных отстойников может увеличить эффективность очистки сточных вод по таким показателям, как нитрит-ион и нитрат-ион.

По данным таблицы можно сделать вывод, что из двух используемых в эксперименте биопрепаратов большей эффективностью обладает препарат R2, поскольку эффективность очистки сточных вод по показателям нитрит-ион и нитрат-ион у второго препарата выше, чем у первого.

## Выводы

1. Биологическая очистка основана на способности биоценоза микроорганизмов использовать загрязняющие органические и неорганические вещества сточных вод в качестве источника питания. Взаимодействие между загрязнениями сточной воды и микроорганизмами происходит в результате процессов флокуляции, ассимиляции загрязняющих веществ и их трансформации.
2. В составе биоценоза микроорганизмов преобладают бактерии (эубактерии, представленные грамположительными и грамотрицательными бактериями, и археи). Грамотрицательные бактерии представлены крупной группой *Proteobacteria*. Грамположительные представлены двумя группами – *Actinobacteria* и *Firmicutes*. Кроме бактерий, в биоценозе присутствуют одно- и многоклеточные эукариотические организмы, водоросли и грибы, простейшие.
3. Состав и структура биоценоза сооружений биологической очистки зависят от таких параметров, как состав поступающих стоков, концентрация кислорода, нагрузка и длительность нахождения микроорганизмов в сооружениях и других.
4. В зависимости от протекающих процессов различают очистные сооружения аэробной и анаэробной биологической очистки. Помимо этого, сооружения биологической очистки классифицируются на сооружения с очисткой в условиях близких к естественным (поля фильтрации, орошения, биологические пруды) и на сооружения с очисткой в искусственно созданных условиях (аэротенки, биофильтры).
5. Удаление органических загрязнений сточных вод происходит под действием ферментов, вырабатываемых микроорганизмами (экзоферменты, эндоферменты). Удаление соединений азота

происходит в результате процессов нитри-денитрификации. В первой фазе нитрификации (соли ионов аммония окисляются до нитрит-ионов) участвуют представители родов *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosolobus*, *Nitrospira*, *Nitrosovibrio*. Вторая фаза окисления нитрит-ионов в нитрат-ионы происходит при участии бактерий родов *Nitrobacter*, *Nitrospira*, *Nitrococcus*. Процесс денитрификации (восстановление нитратов или нитритов до молекулярного азота) происходит в отсутствие свободного кислорода или в его ограниченном количестве, в присутствии денитрифицирующих бактерий из родов *Bacillus*, *Pseudomonas*. В основе биологического удаления фосфора лежит способность микроорганизмов аккумулировать при определенных условиях фосфаты внутри клеток в виде полифосфатов, а в условиях отсутствия кислорода – их расщеплять и выделять во внешнюю среду. Основная роль в процессе биологического удаления фосфора принадлежит бактериям *Accumulibacter*.

6. На Щелковских межрайонных очистных сооружениях сточная вода проходит этапы механической, биологической очистки и обеззараживания, после чего сбрасывается в р. Клязьма. Образующийся осадок механически обезвоживается и вывозится на места депонирования. Данные количественного состава сточных вод, поступающих и очищенных после вторичных отстойников, показали, что сброс нитрит-ионов ( $\text{NO}_2^-$ ) в 5 раз превышает установленные нормативы допустимого сброса в реку, сброс нитрат-ионов ( $\text{NO}_3^-$ ) – в 1,2 раза. Остальные показатели в пределах нормы.
7. Синтез биопрепаратов основан на культивировании специально подобранных микроорганизмов. Выращивание культур происходит в ферментере при определенных условиях, к которым относят питательную среду, аэрацию, постоянное перемешивание,

определенная температура, рН, свет, влажность и др. Далее следует сепарирование, при котором происходит отделение культуральной жидкости, и получение чистых культур.

8. Состав биопрепаратов подбирался в зависимости от свойств и функций микроорганизмов. Используемые бактерии позволяют снижать концентрацию в воде сероводорода и аммиака, способствуют утилизации продуктов гнилостного распада тканей, синтезируют ферменты, участвующие в деградации белков и жиров и катализирующие превращение, разложение и циклизацию крахмала в  $\beta$ - циклодекстрин, а также способствуют последовательному восстановлению нитратов и нитритов в аммиачную форму.
9. Использование экспериментального биопрепарата R2 позволяет значительно снизить концентрации нитрит и нитрат-ионов после вторичных отстойников - в 130 раз и в 5,8 раз соответственно.
10. Добавление обоих биопрепаратов приводит к снижению концентраций аммоний-ионов, но больше, чем в контрольной пробе в 2,5 раза (по биопрепарату R2).
11. Концентрации фосфат-ионов и общего фосфора и показатели ХПК значительно возрастают после добавления биопрепаратов.
12. До введения биопрепаратов эффективность биологической очистки составляла -41,4% по нитрит-иону и -5066,7% по нитрат-иону. Эффективность очистки сточной воды после введения биопрепарата R1 по нитрит-иону составила 24,1%, по нитрат-иону – -11,1%. Эффективность очистки сточной воды после введения биопрепарата R2 по нитрит-иону составила 75,9%, по нитрат-иону – 0%.
13. Использование биопрепаратов после вторичных отстойников может увеличить эффективность биологической очистки сточных вод по показателям нитрит-ион и нитрат-ион.

14. Из двух используемых в эксперименте биопрепаратов большей эффективностью обладает препарат R2, поскольку эффективность очистки сточных вод по показателям нитрит-ион и нитрат-ион у второго биопрепарата выше, чем у первого.

### Список используемых источников

1. Биозим В500. — Текст: электронный // Waterhim : [сайт]. — URL: <https://waterhim.ru/biopreparaty-biozim/biozim-b500> (дата обращения: 23.04.2021).
2. Анаммокс – перспективная технология удаления азота из сточных вод / М. В. Кевбрина. — Текст: электронный // Мосводоканал : [сайт]. — URL: <https://www.mosvodokanal.ru/forexperts/articles/9614> (дата обращения: 20.04.2021).
3. Биолокс. — Текст: электронный // Gidromat Производство Водоотводных Систем : [сайт]. — URL: <https://gidromat.ru/kategorii/bio-water/97-bioloks.html> (дата обращения: 23.04.2021).
4. Биопрепарат Multibac Active. — Текст: электронный // Терра Экология Инжиниринг : [сайт]. — URL: <https://terra-ecology.ru/product/biopreparat-dlya-ochistki-stochnyx-vod-multibac-active/> (дата обращения: 23.04.2021).
5. Биопрепарат Русский Богатырь № 6. — Текст: электронный // Русский Богатырь : [сайт]. — URL: <http://wodaservice.ru/wodas/russkijbogatir-6.html> (дата обращения: 23.04.2021).
6. Будыкина Т.А., Емельянов С.Г. Процессы и аппараты защиты гидросферы: учеб. пособие для студ. высш. проф. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 288 с.
7. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод: учеб. для вузов (направление «Строительство»). 4-е изд., доп. и перераб. М.: АСВ: Изд-во МГСУ, 2006. – 704 с.
8. Гудков А.Г. Биологическая очистка городских сточных вод: Учебное пособие / А. Г. Гудков. – Вологда: ВоГТУ, 2002 – 127 с.
9. Живая Экология № 50 (BCP50). — Текст: электронный // Живая Экология : [сайт]. — URL: <http://www.live-ecology.ru/17.16.bcp50.htm> (дата обращения: 23.04.2021).

10. История канализации. — Текст: электронный // Мосводоканал : [сайт]. — URL: <http://www.mosvodokanal.ru/about/history/sewerage.php> (дата обращения: 08.12.2020).
11. Козлов М. Н. Микробиологический контроль активного ила биореакторов очистки сточных вод от биогенных элементов / М. Н. Козлов, А. Г. Дорофеев, В. Г. Асеева. — Москва : Наука, 2012. — 79 с.
12. Кузнецов А. Е., Градова Н. Б. Научные основы экобиотехнологии / Учебное пособие для студентов. — М.: Мир, 2006. — 504 с.
13. Микробная ферментация. — Текст: электронный // Пропионикс : [сайт]. — URL: <http://propionix.ru/mikrobnaya-fermentatsiya> (дата обращения: 20.04.2021).
14. Очистка сточных вод промышленных предприятий: учеб.-метод. Пособие [Электронный ресурс] / сост. Т.И. Халтурина. — Электрон. дан. — Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. — 164 с.
15. Семенов, И. П. Сооружения по очистке хозяйственно-бытовых сточных вод и оценка эффективности их работы : метод. рекомендации / И. П. Семенов, И. В. Скоробогатая. — Минск : БГМУ, 2017 — 28 с.
16. Схема водоснабжения и водоотведения городского округа Щёлково Московской области на период с 2019 до 2029 года. <http://shhyolkovo.ru/upload/files/127-04.pdf>
17. Филиал МУП "Межрайонный Щёлковский Водоканал" - "Щёлковские межрайонные очистные сооружения". — Текст: электронный // МУП "Межрайонный Щёлковский Водоканал": [сайт]. — URL: <http://mr-vk.ru/podrazdeleniya/pp-osk/> (дата обращения: 20.04.2021).
18. Федеральный классификационный каталог отходов. — Текст : электронный // Росприроднадзор : [сайт]. — URL: <https://rpn.gov.ru/fkko/> (дата обращения: 07.05.2021).
19. Хенце М. Очистка сточных вод: Пер. с англ./ Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э.- М.: Мир, 2006. — 480 с.

20. Lackner S., Gilbert E. M., Vlaeminck S. E., Joss A., Horn H., van Loosdrecht M. C. M. Full-scale partial nitrification/anammox experiences – an application survey // Water Research. 2014. №55. – 292-303.
21. Treatment of Water and Wastewater for Reuse and Energy Generation- Emerging Technologies / К. Т. Emmanuel. — Текст: электронный // IntechOpen : [сайт]. — URL: <https://www.intechopen.com/books/water-and-wastewater-treatment/treatment-of-water-and-wastewater-for-reuse-and-energy-generation-emerging-technologies> (дата обращения: 20.04.2021).