

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт Геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова
Кафедра Химической и биохимической инженерии

Игнатенко Никита Михайлович

«Использование микроорганизмов для очистки промышленных сточных вод»

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 6В07110-Химическая и биохимическая инженерия

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт Геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова
Кафедра Химической и биохимической инженерии

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой
«Химическая и
биохимическая инженерия»
Доктор PhD
А. А. Алитова

«___» _____ 2024 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Использование микроорганизмов для очистки промышленных
сточных вод»

6B05101 – Химическая и биохимическая инженерия

Выполнил

Игнатенко Н.М.



Атанова О. В.

«___» _____ 2024 г.

Научный руководитель

Канд. тех. наук, assoc. профессор

Турыбекова Г. С.

«___» _____ 2024 г.

Алматы 2024

ГРАФИК

Подготовка дипломного проекта

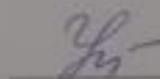
Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научного руководителя	Примечание
Литературный обзор	04.03.2024	Выполнено
Методология процесса	28.03.2024	Выполнено
Исследование изменений состава сточных вод в ходе очистки	15.05.2024	Выполнено
Анализ факторов, влияющих на процесс	20.05.2024	Выполнено

Подписи

Консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы.

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. Степень, звание)	Подпись	Дата подписания
Теоретическая часть	Бектас Е.К. Канд. техн. наук		13.06.24
Исследовательская часть	Бектас Е.К. Канд. техн. наук		13.06.24
Аналитическая часть	Бектас Е.К. Канд. техн. наук		13.06.24

Научный руководитель

 Турысбекова Г.С.

Задание принял к исполнению обучающийся

 Игнатенко Н.М.

Дата

«13» 06 2024 г.

Аннотация

Работа исследует эффективность биологических методов водоочистки для снижения уровня загрязнения воды. Для этого собираются и анализируются данные о концентрации загрязнений в воде до и после применения биологических методов очистки. Методы включают в себя использование микроорганизмов и биологических процессов для удаления тяжелых металлов, химических соединений и других загрязнителей из воды. Полученные результаты сравниваются с традиционными методами, такими как коагуляция и фильтрация. Анализ данных позволяет сделать выводы о эффективности и перспективности использования биологических методов очистки воды для улучшения качества водных ресурсов и снижения воздействия на окружающую среду. В данной работе для биологической очистки воды использовались основные микроорганизмы *Zoogloea adapt*. The work explores the effectiveness of biological water treatment methods to reduce water pollution. To do this, data on the concentration of pollutants in water before and after the application of biological purification methods are collected and analyzed. Methods include the use of microorganisms and biological processes to remove heavy metals, chemical compounds and other pollutants from water. The results obtained are compared with traditional methods such as coagulation and filtration. Data analysis allows us to draw conclusions about the effectiveness and prospects of using biological methods of water purification to improve the quality of water resources and reduce environmental impact. In this work, the main *Zoogloea adapt* microorganisms were used for biological water purification.

Жұмыс судың ластану деңгейін төмендету үшін Биологиялық су тазарту әдістерінің тиімділігін зерттейді. Ол үшін биологиялық тазарту әдістерін қолданар алдында және одан кейін судағы ластаушы заттардың концентрациясы туралы мәліметтер жиналады және талданады. Әдістерге Судан ауыр металдарды, химиялық қосылыстарды және басқа ластаушы заттарды кетіру үшін микроорганизмдер мен биологиялық процестерді қолдану кіреді. Нәтижелер коагуляция және сүзу сияқты дәстүрлі әдістермен салыстырылады. Деректерді талдау су ресурстарының сапасын жақсарту және қоршаған ортаға әсерді азайту үшін суды тазартудың биологиялық әдістерін қолданудың тиімділігі мен болашағы туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді. "Бұл жұмыста суды биологиялық тазарту үшін *Zoogloea adapt* негізгі микроорганизмдері пайдаланылды. Мыстан суды тазарту тиімділігі 69% құрады, ал басқа ластаушы заттарды кетіру тиімділігі кем дегенде 40% жетті. РН-ны 7.8-ден 6.2-ге дейін төмендету арқылы тазарту процесін оңтайландыруға қол жеткізілді, бұл микроорганизмдердің тиімділігін арттыруға ықпал етті. Нәтижелер мыс мөлшері жоғары суды биологиялық тазарту үшін *Zoogloea adapt* қолдану мүмкіндігін көрсетеді. Нәтижелер болашақта суды тазартудың тиімдірек және экологиялық тұрақты әдістерін әзірлеу үшін пайдалы болуы мүмкін

Введение

1.1 Актуальные проблемы

1.2 Обоснование использования микроорганизмов

1.3 Цель и задачи исследования

2. Обзор литературы

2.1 Понятие сточных вод и их загрязнители

2.2 Технологии очистки сточных вод: существующие методы и их преимущества и недостатки

2.3 Роль микроорганизмов в биологической очистке сточных вод

2.4 Примеры успешного использования микроорганизмов в промышленной очистке сточных вод

2.5 Литература, использованная в работе

3 Методология исследования

3.1 Микроорганизмы, используемые в работе

3.2 Среды, состав и особенности.

3.3 Методы анализа и обработки данных

4 Экспериментальная часть

4.1 Подготовка образцов сточных вод для исследования

4.2 Выбор и оптимизация условий для роста микроорганизмов

4.3 Оценка эффективности биологической очистки сточных вод

4.4 Анализ результатов экспериментов

5 Результаты и обсуждение

5.1 Сравнение эффективности биологической очистки с использованием микроорганизмов и других методов

5.2 Обсуждение факторов, влияющих на эффективность процесса

5.3 Выводы по результатам исследования

Заключение

6.1 Оценка достижения целей и задач

6.2 Рекомендации для дальнейших исследований и практического применения

7 Список использованных источников

Введение

1.1 Актуальные проблемы

Промышленные операции играют ключевую роль в современной экономике, обеспечивая производство широкого спектра товаров и услуг. Вместе с тем, увеличение объема производства приводит к увеличению объема отходов, включая сточные воды, содержащие разнообразные загрязнители, представляющие угрозу для окружающей среды и человеческого здоровья. Эффективная очистка промышленных сточных вод является необходимым шагом для минимизации негативного воздействия на окружающую среду. В последние десятилетия наблюдается увеличенный интерес к разработке и внедрению инновационных технологий очистки сточных вод с привлечением микроорганизмов. Микроорганизмы, включая бактерии, грибы и водоросли, обладают уникальными биохимическими свойствами, которые можно эффективно использовать для разложения органических и неорганических загрязнителей в сточных водах. В данной работе рассмотрим только роль микроорганизмов в процессах очистки промышленных сточных вод, а также их биологическую активность, механизмы взаимодействия с загрязнителями. Так же обсуждение затронет современные методы и технологии, использующие микроорганизмы для обработки сточных вод. Проведение подробного анализа использования микроорганизмов в этой области поможет понять преимущества и ограничения такого подхода, а также определить возможности его оптимизации и расширения для решения проблемы загрязнения водных ресурсов промышленными выбросами.

1.2 Обоснование использования микроорганизмов

Обосновать использование микроорганизмов для очистки сточных вод можно тем, что промышленная деятельность продолжает расширяться во всем мире, проблема загрязнения промышленными сточными водами остается актуальной и требует немедленного внимания. Подвергая водные ресурсы различным загрязнителям, таким как тяжелые металлы, органические соединения и химические вещества, промышленные предприятия оказывают серьезное негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. Экологические катастрофы, вызванные выбросами загрязненных сточных вод, могут иметь серьезные последствия для экосистем, общественного здоровья и экономики. Вследствие чего необходимо стремиться к поиску эффективных и устойчивых методов очистки промышленных сточных вод. Применение микроорганизмов в процессах очистки представляет собой перспективное решение, основанное на биологических механизмах, которые могут эффективно разлагать загрязнители, что способствует уменьшению воздействия на окружающую среду. Стоит отметить, что применение микроорганизмов в большинстве своем является более дешевым вариантом. Большой спектр микроорганизмов позволяет подбирать конкретные варианты для производств, без необходимости использовать дорогостоящие фильтры и химические катализаторы.

1.3 Цель и задачи исследования

Цель которую ставит данное исследование является изучение возможностей и перспектив использования микроорганизмов в процессах очистки промышленных сточных вод с целью минимизации загрязнения окружающей среды, уменьшение капитальных вложений, увеличение доступности технологии очистки и обеспечения устойчивого развития промышленности.

Задачи:

- 1) Провести обзор существующих методов очистки промышленных сточных вод и выявить их основные преимущества и недостатки.
- 2) Изучить биологические механизмы действия микроорганизмов и их способность к разложению различных загрязнителей в сточных водах.
- 3) Оценить эффективность применения микроорганизмов в процессах очистки сточных вод на промышленных предприятиях на основе анализа существующих исследований и практических примеров.
- 4) Выявить факторы, ограничивающие эффективность использования микроорганизмов в процессах очистки сточных вод, и предложить пути их решения.
- 5) Рассмотреть и проанализировать рекомендации по оптимизации процессов очистки промышленных сточных вод с использованием микроорганизмов с учетом специфики различных отраслей промышленности.

2. Обзор литературы

2.1 Понятие сточных вод и их загрязнители

Сточные воды представляют собой воду, которая использовалась в различных процессах или бытовых нуждах и теперь не пригодна для дальнейшего использования. Они могут происходить из различных источников, включая:

Промышленные предприятия: Производственные процессы могут использовать воду для охлаждения, смыва, промывки и других целей, что приводит к образованию сточных вод с высоким содержанием загрязнителей.

Бытовые и коммерческие объекты: Домашние хозяйства, офисы, рестораны, медицинские учреждения и другие объекты также генерируют сточные воды, содержащие различные загрязнители, такие как остатки мыла, жиров, органических веществ и прочего.

Аграрные объекты: Сельское хозяйство и животноводство также могут быть источником сточных вод, содержащих удобрения, пестициды, антибиотики и другие вещества.

Загрязнители воды представляют собой различные вещества, которые попадают в сточные воды и могут изменять их химический состав, физические свойства и биологическое содержание. Они могут быть классифицированы по происхождению, характеристикам и потенциальному воздействию на окружающую среду и человеческое здоровье. Примеры загрязнителей включают:

Органические загрязнители: Это вещества, состоящие из углерода, которые могут быть естественными или синтетическими. Они включают в себя углеводы, жиры, белки, нефтепродукты, пестициды, фармацевтические препараты и т. д.

Неорганические загрязнители: Это вещества, которые не содержат углерода в их молекулярной структуре. Они могут включать в себя тяжелые металлы, минеральные соли, кислоты, основания и т. д.

Биологические загрязнители: Это микроорганизмы, бактерии, вирусы, грибы и другие патогены, которые могут быть присутствовать в сточных водах и представлять угрозу для здоровья человека и окружающей среды.

Использованная информация взята из «Environmental Chemistry of Water» раздела «Качество воды и их загрязнители».

2.2 Технологии очистки сточных вод: существующие методы и их преимущества и недостатки

Вопрос обеспечения безопасности водных ресурсов и минимизации негативного воздействия промышленных и бытовых выбросов на окружающую среду становится все более актуальным в современном мире. Одним из ключевых аспектов решения этой проблемы является эффективная очистка сточных вод. Существует множество технологий и методов очистки, разработанных для устранения загрязнений и поддержания качества водных ресурсов на приемлемом уровне. В данной работе мы рассмотрим разнообразные существующие методы и технологии очистки сточных вод, оценим их преимущества и недостатки. Понимание этих аспектов позволит нам выявить наиболее эффективные и устойчивые подходы к очистке сточных вод и разработать рекомендации для их применения в различных сферах промышленности и коммунального хозяйства.

2.2.1 Механическая очистка

Механический метод очистки является первым в процессе очистки сточных вод. Позволяет извлекать нерастворимые фракции различного происхождения. Для данного метода применяются сооружения различных видов – механизированные решетки, отстойники, жиромаслоотделители, нефтеловушки, песколовки, центрифуги. Далее будет рассмотрено использование отдельных механизмов и сооружение выполняющих механическую очистку.

2.2.1.1) Механизированные решетки: этот вид сооружений предназначен для удаления крупных загрязнителей из производственных и бытовых сточных вод, поступающих на очистные сооружения, с последующей выгрузкой их в мусоросборник. Основные виды решеток, используемых для удаления крупного мусора.

2.2.1.2) Отстаивание: Процесс отстаивания подразумевает разделение дисперсной среды на определенные слои: верхний слой, представленный плавающими пленками; средний слой, состоящий из водной среды; и нижний слой, содержащий тяжелые частицы, которые оседают. Существуют вертикальные и горизонтальные отстойники, используемые для выделения основной массы взвешенных и коллоидных элементов. Отстаивание применяется для извлечения нерастворенных взвешенных частиц из сточных вод путем осаждения осадка под воздействием гравитации. Этот процесс позволяет предотвратить гидролитическое разложение, гниение и дополнительное загрязнение растворенными и коллоидными веществами на последующих этапах очистки. Часто отстойные резервуары улучшаются

путем установки в них тонкослойных модулей, которые перемещают образующиеся хлопья осадка к коническому днищу в межплоскостном пространстве под действием гравитации. Полученный шлам затем откачивается с помощью насосного оборудования для последующей механической обезвоживания.

2.2.1.3) Использование гидроциклона: принцип работы основан на возникновении центробежной силы при поступлении воды по касательной, что приводит к созданию вращательного движения и отделению тяжелых примесей. Легкая фаза движется внутри спирального потока, направленного вверх, и выбрасывается из гидроциклона через сливное отверстие. Этот процесс основан на принципе отделения частиц от жидкой фазы под воздействием центробежных сил, образующихся при вращательном движении потока в аппарате.

2.2.1.4) Песколовки используются для извлечения минеральных частиц из воды. Например, тангенциальные песколовки широко используют касательное направление подачи воды, что вызывает вращательное движение (вода движется вниз по периферии и вверх в центре). Скорость этого движения невелика, поэтому песок оседает в конусе и периодически удаляется на песковую площадку или в песковый бункер для последующей утилизации. Очищенная вода направляется на следующий этап процесса.

2.2.1.5) Центрифугирование представляет собой процесс разделения взвешенных частиц в жидкости под воздействием центробежных сил, возникающих при вращении центрифуги и жидкости в ней. Существуют два основных вида центрифугирования: центробежное осаждение и фильтрация. При осаждении твердые частицы перемещаются под воздействием центробежной силы, что приводит к образованию осадка на фильтровальной перегородке, а также сопровождается одновременным протеканием обоих процессов в ее зонах.

2.2.1.6) Фильтрация технология фильтрации основана на использовании перегородок для разделения дисперсных систем, позволяющих пропускать дисперсную среду и задерживать твердую фазу. В качестве материалов для фильтрации применяются как природные (например, кварцевый песок, дробленый гравий, керамзит, бурый уголь), так и синтетические (такие как пенополиуретан, полистирол, полипропилен и другие). Существуют различные типы фильтров, включая фильтры с восходящим и нисходящим потоком. В фильтрах с нисходящим потоком дренажная система защищена от возможного загрязнения, что обеспечивает более надежную работу. Однако в фильтрах с восходящим потоком может возникнуть заиливание

дренажа, что может вызвать серьезные проблемы в работе.

Микрофльтрация часть фильтрации, отличающийся меньшим размером мембран, основанный на просеивании, который позволяет разделять частицы размером от 0,1 до 1 микрона и очищать сточные воды от опасных биогенных элементов. Мембраны изготавливаются из различных материалов, включая органические и неорганические, такие как полимеры, керамика, стекло, металл и другие.

2.2.1.7) Недостатки механических методов очистки - это узкий спектр извлекаемых веществ. Данными методами возможно убирать лишь нерастворимые механические примеси.

2.2.2 Химический метод

2.2.2.1) Окисление и восстановление - это два процесса, используемых для обработки воды. Окисление применяется для нейтрализации токсичных примесей, таких как цианиды, комплексы меди и цинка, сульфиды и сероводород. Для этого могут использоваться различные окислители, такие как озон, хлор, фтор, пероксид водорода, перманганат калия и другие. Среди них наиболее эффективен озон, который способен разрушать органические и неорганические вещества, устранять запахи и привкусы, а также уничтожать бактерии. Однако его недостатком является высокая стоимость и необходимость больших складских помещений для хранения химических реагентов. Восстановление применяется тогда, когда в воде присутствуют легко восстанавливаемые вещества, такие как соединения ртути, хрома, мышьяка. Например, соединения ртути могут быть восстановлены до металлической формы, которая затем удаляется путем отстаивания или фильтрования. Для восстановления могут использоваться различные восстановители, такие как сульфит железа, гидросульфит натрия, сероводород, активный уголь, диоксид серы и другие.

2.2.2.2) Нейтрализация – это метод, применяемый для удаления кислот и щелочей из сточных вод. Самым распространенным способом является смешивание кислых и щелочных сточных вод. Также применяется фильтрование кислых вод с использованием нейтрализующих реагентов. Для проведения нейтрализации могут использоваться различные реагенты, такие как гидроксид кальция (известковое молоко), сода, доломит и различные щелочные соединения.

2.2.2.3) Недостатки химических методов включают в себя значительный расход реагентов, что может привести к дополнительному загрязнению

сточных вод остатками химических веществ. Это, в свою очередь, может потребовать дополнительной стадии очистки для удаления этих остатков. Кроме того, важно отметить, что изменение состава сточных вод может потребовать изменения концентрации используемых химических реагентов, чтобы обеспечить эффективность процесса очистки.

2.2.3 Физический метод

2.2.3.1) Магнитная обработка ускоряет процесс кристаллизации накипеобразующих солей, снижает концентрацию ионов кальция и магния, что способствует более быстрой коагуляции и выпадению мелкодисперсного осадка. Это препятствует образованию накипи в трубопроводах и оборудовании, улучшая их производительность, а также значительно снижает отложения органических веществ, таких как парафин. Применение магнитной обработки промышленных сточных вод позволяет достигать быстрого и эффективного осаждения мелкодисперсных загрязнений. Электромагнитная обработка воды, хотя и работает по тому же принципу, предоставляет дополнительные преимущества. Она позволяет избежать эффекта релаксации, когда вода "привыкает" к магнитному воздействию, и сохранять кальций и магний, что важно при очистке питьевой воды.

2.2.3.2) Ультразвуковая и ультрафиолетовая обработка используются для уничтожения бактерий и микроорганизмов в воде. Основной принцип заключается в эффекте кавитации. Ультразвук создает множество мелких пузырьков, наполненных газом под высоким давлением и температурой, которые лопаются, вызывая большой перепад давления и разрушая клеточную оболочку микроорганизмов. Ультрафиолетовое излучение также способно уничтожать бактерии и вредоносные микроорганизмы за счет светового спектра. Фотохимические реакции, происходящие в структуре ДНК при облучении, разрушают их и препятствуют дальнейшему размножению бактерий. В настоящее время эти два метода часто комбинируются для повышения эффективности очистки воды.

2.2.3.3) Ионизирующее облучение применяется для обезвреживания ядов, токсинов, а также для уничтожения бактерий и микроорганизмов. Энергия излучения находится ниже порога ядерных реакций, поэтому очищенная вода не обладает радиоактивностью и может быть безопасно сброшена в водоем или использована в цикле повторного использования. Часто этот метод комбинируют с флотацией или адсорбционной очисткой, что позволяет достичь степени очистки до 99%.

2.2.3.4) Недостатки физических методов очистки включают в себя высокую стоимость необходимого оборудования и его регулярное обслуживание. Эти методы также требуют контроля из-за их ограниченной эффективности, что может привести к превышению предельно допустимых концентраций загрязнителей в очищаемой воде. В результате возможны перерасход ресурсов и увеличение операционных расходов.

2.2.4 Физико-химическая очистка сточных вод

2.2.4.1) Обработка реагентами (коагуляция и флокуляция) является важным этапом в процессе очистки воды. Введение коагулянтов в систему способствует сборке мелких частиц, которые затем адсорбируются на формирующихся нерастворимых хлопках гидроксида и быстро оседают на дно очистных сооружений. Коагуляция представляет собой физико-химический процесс увеличения размеров мельчайших коллоидных и дисперсных частиц за счет сил молекулярного притяжения. Этот процесс устраняет мутность воды. Коагуляция осуществляется путем смешивания воды с коагулянтами, такими как хлорид железа, сульфат железа и другие, в специальных камерах, откуда вода направляется в отстойники.

Для уменьшения расхода дорогостоящих препаратов часто используется добавление флокулянта, что позволяет сократить время коагуляции. Флокуляция способствует быстрому образованию и осаждению хлопьев, на которых адсорбируются загрязняющие вещества. Этот процесс ускоряет осаждение частиц во время коагуляции и в некоторых случаях может даже осуществить осаждение частиц без использования коагулянтов. Большинство загрязнителей в промышленных стоках имеют устойчивую молекулярно-гидратную оболочку и прочно связаны с водой. Для разрушения связей требуется изменение заряда частиц. Соединения, содержащие алюминий и железо, обладают положительным зарядом, в то время как коллоиды обладают отрицательным зарядом, что приводит к их нейтрализации и взаимодействию. С помощью данных препаратов мутность и цветность воды устраняются. Этот процесс особенно важен для стоков текстильных и целлюлозно-бумажных предприятий, содержащих красители и другие трудноокисляемые вещества. Эффект обесцвечивания может достигать до 95%.

2.2.4.2) Флотация и электрофлотация используются для удаления из сточных вод тонкоэмульгированных нефтепродуктов, жировых эмульсий, анионно-пассивных поверхностно-активных веществ (АПАВ) и части растворенных

органических соединений. Эти процессы основаны на прилипанию взвешенных частиц к пузырькам воздуха и их концентрации на поверхности раздела фаз. Степень очистки может достигать 85-95%. В качестве реагентов для флотации часто используются коагулянт «Аква-Аурат 18» и флокулянт «ВПК-402», обеспечивающие эффективность удаления органических загрязнений до 40-50% по показателю биохимического потребления кислорода (БПК) и химического потребления кислорода (ХПК), а также до 80-85% по содержанию жиров. Метод электрофлотации основан на электролизе воды. В процессе загрязняющие вещества перемещаются к поверхности с помощью микропузырьков электролитических газов.

2.2.4.3) Сорбционная очистка включает в себя процесс поглощения загрязнений твердыми материалами, известными как сорбенты. Этот метод позволяет эффективно удалить из воды органические примеси, в том числе те, которые нельзя удалить другими способами. Он необходим для полного удаления из воды нефтепродуктов, находящихся в тонкоэмульгированной или растворенной форме, а также для устойчивых органических соединений, которые характеризуются высоким показателем химического потребления кислорода (ХПК), а также катионов металлов. На сегодняшний день широко используются различные материалы для сорбции, такие как уголь, керамзит и цеолиты. Сорбирующий материал загружается в специальные блоки, обычно в один или несколько слоев. Например, для последующей очистки сточных вод нефтеперерабатывающих заводов часто используется гранулированный активированный уголь.

2.2.4.4) Процесс экстракции включает в себя извлечение растворенных загрязнений из сточных вод путем перемещения их в другую жидкость, которая не смешивается с водой, называемую экстрагентом. В результате этого процесса образуется экстракт - раствор извлеченных веществ в экстрагенте, а также рафинат - остаточный водный раствор, из которого удалены загрязняющие компоненты. В качестве экстрагентов наиболее часто используют органические растворители, такие как бензол, бутилацетат и четыреххлористый углерод.

2.2.4.5) Особенности физико-химических методов очистки являются значительное потребление реагентов и громоздкость используемого оборудования. Особенно высокие расходы возникают при применении сорбентов и ионообменных смол, что приводит к увеличению операционных затрат и стоимости обслуживания.

2.2.5 Биологический и биохимический метод

Метод позволяет очистить воду от примесей железа, сероводорода, аммония, марганца, уменьшить жесткость воды, удалить привкусы и цвет, а также обеззаразить от бактерий. Он заключается в обработке загрязнений микроорганизмами активного ила и последующем разделении реагирующей смеси.

2.2.5.1) Биологические пруды представляют собой искусственно созданные водоемы небольшой глубины, предназначенные для очистки и доочистки сточных вод. Они используются для биологической очистки первой категории. Биопруды содержат большое количество водорослей, которые синтезируют кислород, необходимый для жизни микроорганизмов. Они также используют углекислый газ и аммонийный азот, выделяющиеся в результате разложения органических веществ. Важно соблюдать оптимальные условия температуры и pH-среды. Биопруды используются для очистки стоков, впадающих в водохранилище рек и промышленных стоков. Однако они имеют ряд недостатков - относительно низкая производительность, требуется большая площадь земли, проявляют наилучшие результаты летом из-за сезонности. Существуют различные типы прудов, включая контактные, проточные, анаэробные и проточные, каждый из которых имеет свои особенности и применение. Пруды организуют таким образом, чтобы обеспечить несколько ступеней очистки со средней продолжительностью пребывания стоков несколько дней.

2.2.5.2) Анаэробная очистка сточных вод осуществляется с помощью бактерий, которым не требуется кислород для своего обмена веществ. Этот процесс часто называют брожением. Анаэробные процессы необходимы для превращения сложных органических соединений в простые вещества, которые затем могут быть легко усвоены в следующей, аэробной зоне. Часть органических веществ разлагается, а другая часть используется для роста биомассы. Чаще всего аппараты для анаэробной очистки проектируются с двумя ступенями. На первой ступени в цилиндрической емкости организуется рециркуляция иловой смеси для увеличения концентрации бактерий. Для обеспечения перемешивания используются мешалки или насосное оборудование. На второй ступени используется коническое днище, где происходит осаждение осадка и его уплотнение. Здесь также происходит окисление остаточных органических веществ. Очистку ведут в метантенках, которые являются закрытыми резервуарами с трубой для отвода биогаза, образующегося в результате брожения. Степень очистки в таких системах достигает 85%.

2.2.5.3) Аэробная очистка сточных вод осуществляется за счет деятельности микроорганизмов активного ила в присутствии кислорода. В отличие от анаэробной очистки, где происходит сорбция загрязнений активным илом и их внутриклеточное окисление микроорганизмами, в ходе аэробной очистки растворенные органические соединения и нерастворимые твердые вещества превращаются в биомассу активного ила. В подобных системах обычно применяется специальная загрузка, на которой постоянно развиваются аэробные и факультативно аэробные микроорганизмы, способствующие разложению органических загрязнений. Для эффективной работы биоокислительных процессов и перемешивания сточных вод с активным илом в зонах аэрации блоков биоочистки постоянно подается сжатый воздух. Аэробная очистка обычно осуществляется в аэротенках и биофильтрах, и обеспечивает высокую степень очистки, достигающую 99%.

2.2.5.4) Особенности биологического метода очистки включают необходимость предварительной обработки сточных вод для удаления ядохимикатов и кислот, которые могут негативно влиять на жизнедеятельность микроорганизмов в процессе биологической очистки. Кроме того, следует отметить, что этот метод неэффективен для удаления неорганических загрязнителей, таких как тяжелые металлы и минеральные соли, и может потребовать дополнительных процессов очистки для полного удаления таких веществ из сточных вод.

2.3 Роль микроорганизмов в биологической очистке сточных вод
Микроорганизмы играют центральную роль в процессе биологической очистки сточных вод, который базируется на их способности разлагать загрязнения. Этот процесс основан на биологическом разложении органических веществ, таких как жиры, белки и углеводы, содержащихся в сточных водах, которые служат пищей для разнообразных микроорганизмов, включая бактерии, грибы и простейшие водные организмы. Под воздействием этих микроорганизмов органические вещества разлагаются на более простые компоненты, такие как вода, углекислый газ и минеральные соединения, что приводит к уменьшению уровня загрязнения в сточной воде и делает её более безопасной для окружающей среды. Различные методы биологической очистки, такие как активные и пассивные иловые процессы, аэробные и анаэробные методы, используются для этой цели, при этом микроорганизмы играют определенную роль в каждом из этих процессов.

2.3.1 Биологическая очистка сточных вод в аэротенках.

Биологическая очистка сточных вод в аэротенках представляет собой процесс, в котором сточная вода с органическими загрязнениями и активным илом проходит через открытые железобетонные сооружения. В

аэротенке суспензия ила в сточной воде подвергается аэрации воздухом. Сточная вода непрерывно подается в аэротенк и затем удаляется из него. Время пребывания сточной воды в аэротенке варьируется от 2 до нескольких десятков часов. В процессе биологической очистки в аэротенках с использованием активного ила происходит интенсивное биохимическое окисление органических загрязнений. Аэротенки классифицируются по способу подачи сточных вод и гидродинамическому режиму, что делит их на три основных типа: вытеснители, смесители и аэротенки промежуточного типа. Они также могут быть классифицированы по нагрузкам на активный ил (концентрации загрязнений) на высоконагружаемые, обычные и низконагружаемые, а также по количеству ступеней очистки на одно-, двух- и многоступенчатые.

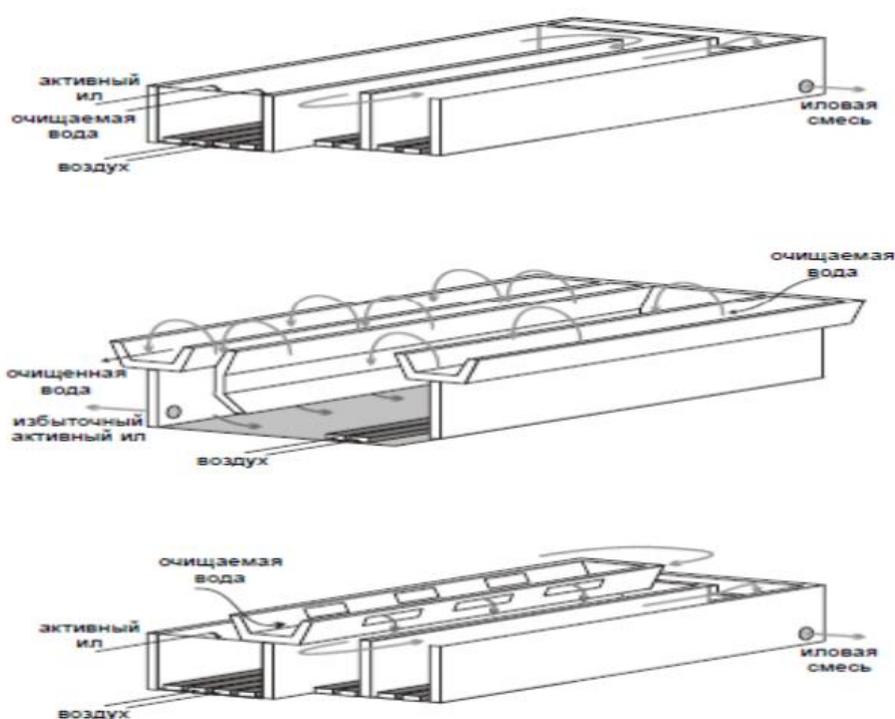


Рисунок 1. Схемы аэротенков.

https://studbooks.net/2511003/tovarovedenie/sooruzheniya_biologicheskoy_ocnistki_stochnyh

После прохождения через аэротенк, очищенная сточная вода с активным илом направляется во вторичные отстойники, где происходит осаждение активного ила. Часть этого ила возвращается обратно в аэротенк для поддержания процесса (циркуляционный активный ил), в то время как избыточный активный ил подвергается переработке для уменьшения его объема.

Далее очищенная сточная вода проходит обеззараживание в контактном резервуаре и после этого сбрасывается в водоем.

Избыточный активный ил сжимается в илоуплотнителе и подвергается утилизации. Один из способов обработки осадка из первичных отстойников и ила - сбраживание их в метантенке для производства биогаза. После сбраживания осадок обезвоживается на вакуум-фильтре и направляется на утилизацию, а жидкость возвращается для очистки в аэротенк.

2.3.2 Очистка сточных вод в биофильтрах

Биофильтры представляют собой конструкции, используемые для биологической очистки сточных вод, где сточные воды проходят через материал, покрытый активной биологической пленкой. Строение биофильтра может быть прямоугольным или цилиндрическим, содержащим фильтрующий материал, такой как щебень, керамзит, керамика, или гравий. Сток подается на биофильтр через специальные водораспределительные системы, обеспечивающие равномерное распределение по всей поверхности материала. Технологическая схема биофильтрации включает первичный отстойник для удаления взвешенных частиц, биофильтр и вторичный отстойник. При необходимости очистки сильно загрязненной воды она может рециркулироваться. Во время фильтрации через материал загрузки микроорганизмы биопленки адсорбируют и окисляют присутствующие в воде загрязнения, используя их в качестве источника питательных веществ и энергии. В процессе эксплуатации биофильтра биопленка постепенно нарастает. Часть её отмирает и удаляется из устройства, а отслоившиеся участки затем осаждаются во вторичном отстойнике.

Биофильтры классифицируются по степени очистки (полная и неполная), технологической схеме (одно- и многоступенчатые), режиму аэрации сточных вод (с принудительной или естественной аэрацией), пропускной способности (малая или большая), типу загрузки (объемная или плоскостная) и типу погружения в воду (погружные, орошаемые, вращающиеся).

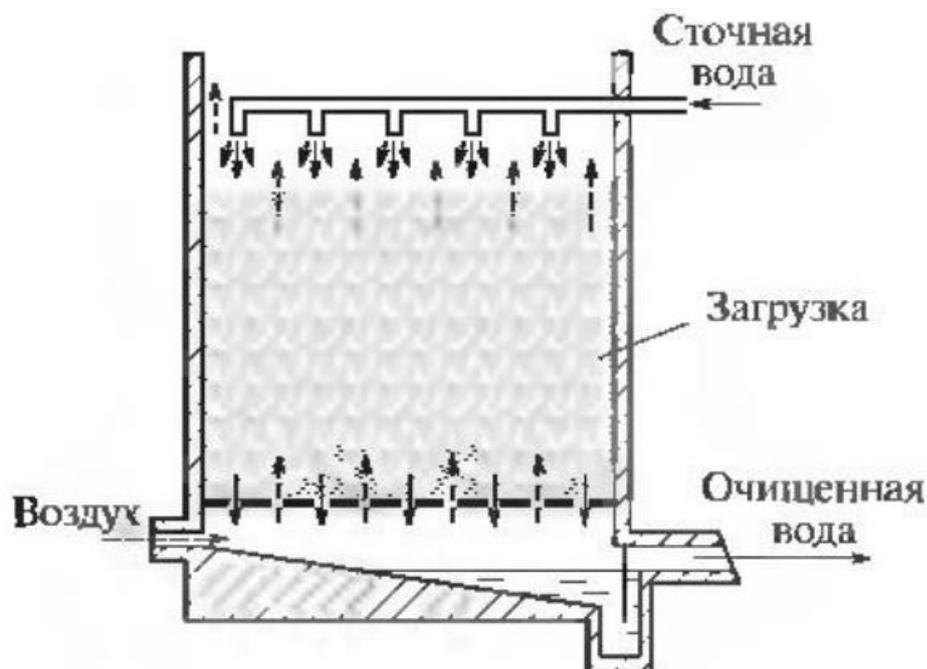


Рисунок 2. Схема перколяционного биофильтра с принудительной аэрацией
<http://www.myshared.ru/slide/1414763>

Вода подается сверху на фильтрующий материал, а воздух поступает снизу. Очищенная вода собирается в нижней части. Умершая и израсходованная биопленка удаляется протекающей водой и выносится из биофильтра. Биофильтры с объемной загрузкой подразделяются в зависимости от размеров фракций загрузочного материала на следующие виды:

Капельные - с фракциями размером 20–30 мм и высотой слоя загрузки 1–2 м (при расходе сточных вод до 1000 м³/сут). При высокой нагрузке органическими загрязнениями они могут переполниться (происходит разрастание биопленки).

Высоконагружаемые - с фракциями размером 40–60 мм и высотой слоя загрузки 2–4 м (при расходе сточных вод до 50000 м³/сут). Вода движется с высокой скоростью, они не переполняются, однако мутная вода на выходе требует отстаивания.

Башенные - с фракциями размером 60–80 мм и высотой слоя загрузки 8–16 м (редко используются).

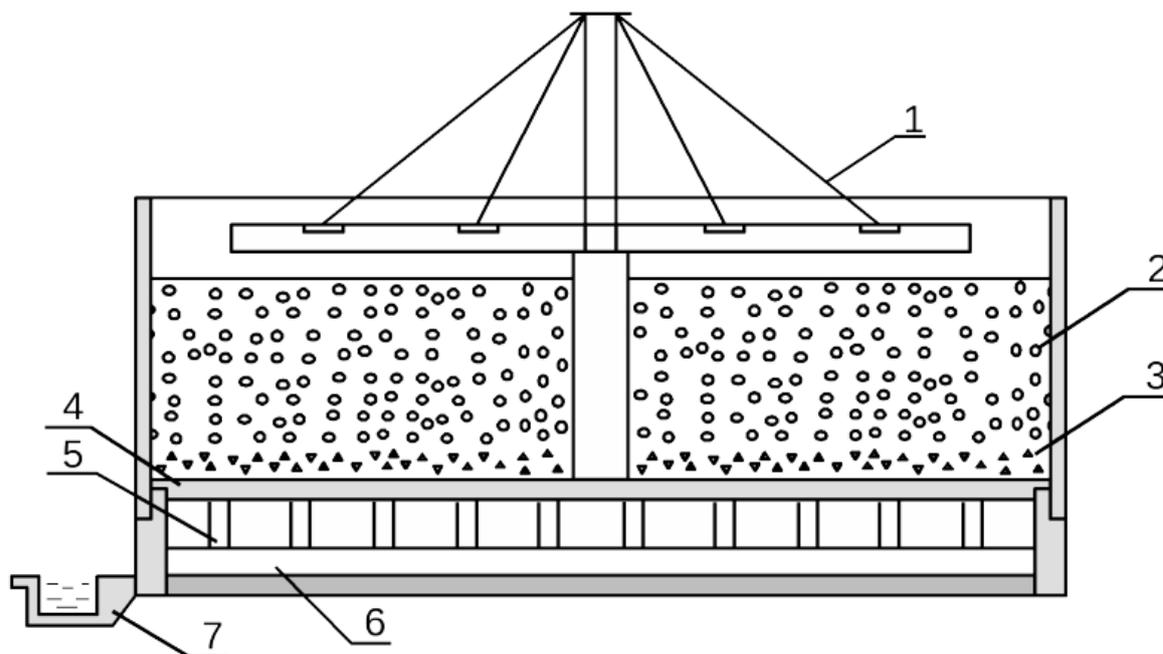


Рисунок 3. Схема высоконагружаемого биофильтра: 1 – реактивный ороситель; 2 – основная загрузка (керамика, галька); 3 – поддерживающая загрузка (щебень, галька); 4 – решетка; 5 – воздуходувные окна; 6 – двойное дно; 7 –отводящий канал

<http://www.studfiles.ru/preview/2652238>

2.3.2.1 Основные параметры биофильтров

Основные параметры, которые определяют эффективность работы биофильтров, включают:

Гидравлическая нагрузка: объём сточных вод, которые проходят через биофильтр за определенный период времени. Оптимальный уровень гидравлической нагрузки обеспечивает равномерное распределение воды по всей поверхности фильтрующего материала.

Нагрузка по органическим загрязнениям: Для капельных биофильтров рекомендуется поддерживать уровень органических загрязнений в пределах 200-300 мг БПК/л, в то время как для башенных биофильтров оптимальны значения составляют 300-500 мг БПК/л. Превышение этих значений может привести к интенсивному росту микроорганизмов в верхней части фильтра, что может затруднить процесс очистки, а также привести к заиливанию фильтра.

Окислительная мощность: возможность биофильтра к окислению органических загрязнений за счет деятельности микроорганизмов, обитающих в его структуре. Оптимальная окислительная мощность важна для эффективного разложения загрязнений и обеспечения высокой степени очистки сточных вод.

Коэффициент рециркуляции: параметр указывает на объем воды, который возвращается обратно в биофильтр после прохождения через него. Эффективное использование рециркуляции помогает повысить степень очистки за счет повторного прохождения сточной воды через фильтр и увеличения контакта с биологической пленкой.

2.3.2.2 Преимущества биофильтров.

Долговечность и надежность: Биофильтры обладают простой конструкцией и могут использоваться в течение длительного времени, в среднем от 30 до 50 лет.

Высокая степень очистки: Биофильтры способны эффективно удалять практически все примеси из сточных вод, что обеспечивает высокое качество очистки.

Минимальное образование излишков биомассы: В процессе очистки биофильтры формируют лишь небольшое количество излишков биомассы, что уменьшает необходимость их удаления и облегчает процесс эксплуатации.

Меньшая чувствительность к дефициту азота и фосфора: По сравнению с аэротенками, биофильтры менее зависимы от наличия азота и фосфора в сточных водах, что делает их более устойчивыми к колебаниям в составе воды.

Стимулирование процессов нитрификации и денитрификации: Биофильтры способствуют эффективному удалению избыточного азота из системы, поощряя процессы нитрификации и денитрификации.

Устойчивость к пониженным температурам и залповым сбросам: В отличие от аэротенков, биофильтры проявляют более высокую устойчивость к экстремальным условиям, таким как пониженные температуры и внезапные сбросы загрязнений в систему.

2.3.2.3 Недостатки биофильтров

Регулирование содержания кислорода на различных уровнях представляет определенные трудности.

Необходимо обеспечивать равномерное орошение сточными водами с постоянной интенсивностью. Перерывы в подаче могут нарушить работу биопленки, время формирования которой составляет от 30 до 50 дней.

Излишнее распространение биопленки может вызвать заиливание и заполнение промежутков между частицами.

По сравнению с аэротенками, биофильтры требуют меньше энергии, но они также менее производительны и требуют больших площадей. Они наиболее эффективны при очистке небольших объемов сточных вод.

2.3.3 Характеристика активного ила

Активный ил - это хлопья коричнево-бурого цвета, состоящие в основном из бактериальных клеток, на поверхности которых и между ними находятся разнообразные простейшие организмы. Источником питания и энергии для жизнедеятельности организмов активного ила служат органические загрязняющие вещества, поступающие со сточной водой. Вещество активного ила на 70–90% состоит из органических компонентов и на 10–30% – из минеральных. Благодаря аэрации хлопья активного ила поддерживаются во взвешенном состоянии.

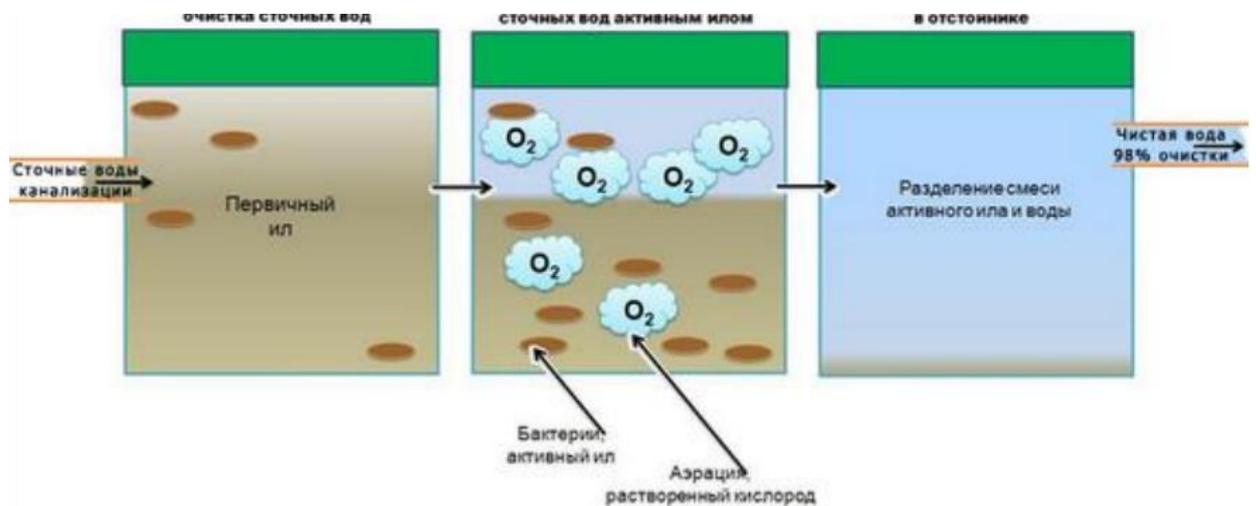


Рисунок 4. Очистка сточных вод активным илом.

<http://tehros.ru/informaciya/princip-raboty-avtonomnoj-kanalizac/prostymi-slovami/>

Микроорганизмы активного ила получают питание и энергию от органических загрязнений, которые поступают вместе со сточной водой. С помощью выделяемых ферментов эти микроорганизмы окисляют и разлагают загрязнения в присутствии кислорода, превращая их в простые неорганические соединения, такие как вода и углекислый газ. Часть органических веществ используется для построения новых клеток микроорганизмов, а другая часть участвует в жизнедеятельности этих организмов.

Стадии биodeградация загрязнений в аэробных условиях:

Сорбция загрязняющих веществ на поверхности хлопьев активного ила. Через несколько минут контакта сточной воды с иловой смесью концентрация загрязнений в воде значительно снижается. Начинается процесс окисления легкоразлагающихся органических веществ.

Поступление веществ внутрь клеток (диффузия, активный транспорт, фагоцитоз). Макромолекулы расщепляются экзоферментами, секретлируемыми клетками. Твердые частицы загрязнений (органические вещества) расщепляются экзоферментами либо потребляются простейшими.

Окисление загрязняющих веществ, распавшиеся на более короткие молекулы, эндоферментами внутри клетки. Превращение азота аммонийного в нитриты и нитраты.

Биоценоз активного ила аэротенков.

Все организмы, обитающие в аэротенке, попадают в него из внешних источников: вместе со сточной водой, из почвы и воздуха, заносятся насекомыми. В условиях аэротенка происходит селекция микроорганизмов, т. е. преимущественное развитие одних видов, которые находят для себя благоприятные условия, и подавление других.

Факторами, определяющими направление селекции, являются аэрация, состав загрязнений, температура, скорость роста, и др.

2.3.4 Флокулообразующие бактерии

Флокулообразующие бактерии, окисляющие органические соединения, относятся к родам: *Actinomyces*, *Aeromonas*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Brevibacterium*, *Cellulomonas*, *Corynebacterium*, *Desulfotomaculum*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas*, *Sarcina* и др. Основная роль в формировании способности активного ила к образованию хлопьев принадлежит бактерии *Zoogloea ramigera*, близкой к псевдомонадам. Они способны разлагать обширный спектр загрязнений в сточной воде. Образуют мощную полисахаридную капсулу. В сточной воде *Z. ramigera* образует аморфные массы полисахарида, в которой находятся колонии этой бактерии в виде ветвей деревца.

Капсульный материал играет важную роль в процессе очистки, поскольку способен адсорбировать:

- 1) Различные органические вещества.
- 2) Неорганические ионы.
- 3) Бактерии, которые не образуют хлопьев, но участвуют в разложении загрязнений.

Представители зооглей способны формировать гранулы полифосфатов внутри своих клеток, что делает их перспективными для удаления фосфорсодержащих веществ из воды.

В активном иле многочисленны бактерии рода *Pseudomonas* (до 80% от численности бактерий активного ила). Имеют способность окислять различные спирты, жирные кислоты, парафины, ароматические углеводороды, углеводы и др.

Бактерии из рода *Bacillus* необходимы для окисления алифатических углеводородов

Бактерии рода *Brevibacterium* окисляют различные компоненты нефти, парафины, нафтены, фенолы, альдегиды, жирные кислоты.

Целлюлозоразрушающие бактерии родов *Cellulomonas* и *Cellulovibrio*.

При нитрификации микроорганизмы – нитрификаторы окисляют аммиак до нитритов и нитратов:

1) Нитрификаторы (*Nitrosomonas*, *Nitrospira*, *Nitrosococcus*, *Nitrosolobus*) окисляют аммиак до нитритов;

2) Затем другая группа нитрификаторов (*Nitrobacter*, *Nitrospina*, *Nitrococcus*) окисляет нитриты до нитратов.

Общую скорость реакции стадия окисления аммиака

$$2\text{NH}_4^+ + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^+$$

$$2\text{NO}_2^- + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_3^-$$

Большинство нитрифицирующих бактерий являются автотрофами и подавляют свой рост в присутствии органических веществ. Гетеротрофные бактерии, нитрифицирующие медленно развиваются и не могут эффективно конкурировать с другими гетеротрофами за доступные субстраты и кислород. Пока сточная вода содержит органические вещества, аммиак используется гетеротрофами. Когда органические вещества минерализуются, начинают развиваться нитрифицирующие бактерии. Их присутствие в очищаемой воде указывает на процесс минерализации основной части органических веществ, что позволяет использовать их в качестве индикаторов очистки. В активном иле обычно присутствуют актиномицеты, такие как *Gordonia* и *Rhodococcus*, что придает ему землистый запах. Состав активного ила содержит множество бактерий, которые не могут быть выращены в лабораторных условиях. Только около 5% микроорганизмов активного ила в настоящее время известны и выращены в чистой культуре. Молекулярно-биологические методы выявили представителей *Paracoccus*, *Nyphomicrobium*, *Aeromonas*, *Cytophaga* и других. Среди нитчатых бактерий в составе активного ила выделяются *Sphaerotilus*, *Beggiatoa* и *Thiotrix*. Нитчатые бактерии более устойчивы к токсикантам и недостатку кислорода, и могут развиваться в воде

с высоким содержанием органических веществ, что приводит к массовому размножению в случае нарушения процесса очистки. Развитие нитчатых форм бактерий может привести к плохой осаждаемости и образованию стабильной пены. Наиболее распространенными в активном иле являются нитчатые хламидобактерии рода *Sphaerotilus*, которые характеризуются тонкими нитями, покрытыми слизистой оболочкой и имеют ложное ветвление. Бесцветные серные бактерии (родов *Beggiatoa*, *Thiothrix*, *Leucothrix* и др.) также обладают способностью формировать длинные нити. Массовое размножение серобактерий происходит в активном иле аэротенков, которые работают при высоких уровнях загрязнения, при недостатке кислорода в смеси ила, а также в случае наличия токсичных веществ в сточных водах, таких как медь, цинк и другие металлы. Это также наблюдается при обработке сточных вод, содержащих восстановленные соединения серы. В активном иле обнаруживаются фототрофные цианобактерии, которые переходят к гетеротрофному питанию. Это приводит к потере пигментации, делая клетки цианобактерий бесцветными. Во вторичных отстойниках они могут приобретать зеленый оттенок, а под сильным освещением - характерный сине-зеленый цвет. Среди наиболее распространенных родов цианобактерий в активном иле встречаются *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Nostoc* и *Oscillatoria*. Цианобактерии обладают высокой устойчивостью к неблагоприятным условиям окружающей среды и токсическим веществам, что может привести к их значительному увеличению в активном иле аэротенков, вызывая его вспучивание. Они также могут вызывать "цветение" водоемов. В составе активного ила могут присутствовать грибы, такие как *Trichosporon*, *Rhodotorula*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* и другие, которые способствуют кислой реакции среды. Однако их численность обычно невелика. Источником их появления считается почва, воздух и сточные воды.

3) Методология исследования

3.1 Микроорганизмы, используемые в работе

Микроорганизмом используемым в данной работе является - *Zoogloea adapt*. Клетки палочковидные, прямые, 0,5 1,0 x 1,0 - 3,0 мкм, подвижные, в средах с повышенным содержанием солей тяжелых металлов клетки округлые, более мелкие. Цист и спор не образуют. Могут агрегировать в микроскопические хлопья, которые свободно плавают. Образуют экзополисахариды. Количество полимера и степень флокуляции зависит от возраста культуры и состава среды. Окраска по Граму грамотрицательны. Для культивирования *Zoogloea adapt* С-92 применяют среду М9. *Zoogloea adapt* был выбран из за своей особенности к генерированию зооглея, который в свою очередь является эффективным абсорбентом.

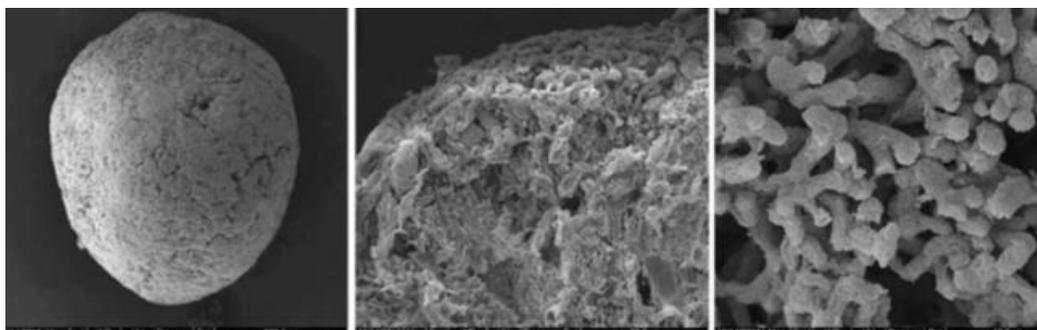


Рисунок 5. СЭМ-изображения внешней поверхности и внутренней части AGS типа zoogloea.

<https://www.mdpi.com/2073-4441/13/19/2726>

Зооглея, который образуется в результате адсорбции микробных клеток ЭПС, может агрегировать, окислять и разлагать макромолекулярные органические соединения в воде, а затем он может обеспечивать питательные вещества и среду обитания для роста бактерий, простейших и других микроорганизмов, образуя таким образом микробный симбиот высокой плотности система. В этом процессе коагуляция микробов в симбиотической системе регулируется содержанием EPS. Ванг и др. обнаружили, что существует прямо пропорциональная зависимость между самоагрегацией бактериального штамма (*Enterobacter* sp. штамм FL), выделенный из активного ила, и его секретлируемого содержания EPS. Между тем, Liu et al. обнаружили, что при принятии некоторых мер, таких как изменение гидравлических условий и добавление полиалюминийхлорида (РАС), микробные клетки можно стимулировать к выделению большего количества EPS, тем самым усиливая коагуляцию микроорганизмов и ускоряя образование AGS.

3.2 Среды, состав и особенности.

3.2.1 Микробиологические характеристики среды для прямой очистки сточных вод

3.2.1.1. Доминирующая бактериальная группа

Хотя в процессе гранулирования хлопьевидного активного ила селективная обработка может привести к значительному снижению микробной биомассы при гранулировании ила, что приводит к уменьшению микробного разнообразия и насыщенности AGS некоторые микроорганизмы, которые полезны для структурной стабильности и удаления загрязняющих веществ из AGS, вместо этого сохраняются и обогащаются. Таким образом, зрелый AGS не только обладает значительной биологической активностью и показателями обеззараживания, сравнимыми с инокулированным илом, но и сохраняет стабильность своей собственной структуры. Исследования подтвердили, что ниша AGS в значительной степени зависит от состава субстрата, что приводит к образованию бактериальных сообществ с большими индивидуальными различиями, что дополнительно приводит к отчетливой структурной морфологии AGS. Можно с уверенностью заключить, что AGS, культивируемые с глюкозой в качестве источника углерода, в большей степени способствуют обогащению организмов, накапливающих гликоген (GAO); напротив, выживание организмов, накапливающих фосфор (PAO), может быть затруднено, что снижает способность AGS к удалению фосфора. Он и др. обнаружили, что PAOs может стать доминирующим штаммом AGS, когда сукцинат натрия и ацетат натрия используются в качестве смешанных источников углерода, что эффективно ингибирует обогащение GAOs, а затем улучшает структурную стабильность и эффективность обеззараживания AGS. Микробная популяция AGS разного типа обладает определенной специфичностью; однако AGS, образующиеся в различных средах выращивания, все еще могут иметь сходную доминирующую бактериальную группу и играть решающую роль в грануляции осадка и эффективности его удаления загрязняющих веществ. Доминирующие типы AGS включают типы Proteobacteria, Actinobacteria, Firmicutes, Bacteroidetes, Acidobacteria, Verrucomivrobia, Chloroflexi и Saccharibacteria и др. обнаружили, что Proteobacteria и Bacteroidetes были доминирующими типами AGS, образующихся в реакторе непрерывного действия путем добавления обезвоженного осадка; среди них сообщалось, что тип Proteobacteria обладает высокой адгезионной силой, выделяя большое количество EPS, и играет преобладающую роль в процессе удаления загрязняющих веществ, в то время как тип Actinobacteria был наиболее эффективным. связано с набуханием нитевидного осадка, также обнаружили, что доминирующими типами AGS, культивируемых в экспериментальном реакторе SBR, были типы Bacteroidetes и Proteobacteria, и обилие протеобактерий было самым высоким. В то время как на уровне класса

обилие β -протеобактерий с функциями удаления азота и фосфора составляло самый высокий процент, что позволило AGS продемонстрировать хорошие показатели по удалению азота и фосфора. В целом, можно обнаружить, что сходные доминирующие группы бактерий в различных типах AGS контролируются составом субстрата, где протеобактерии являются преобладающим типом в AGS, за которыми следуют бактериоидеты в AGS типа zoogloea, актинобактерии в AGS нитевидного типа и бактериоидеты и актинобактерии в AGS интегрированного типа. Между тем, эти доминирующие группы бактерий играют решающую роль в гранулярной структуре и эффективности удаления загрязняющих веществ.

3.2.1.2. Характеристики пространственного распределения микрофлоры

Зрелый и стабильный AGS имеет четкие границы расслаивания в пространстве и заметную стратификацию микрофлоры. В частности, палочковидные бактерии в AGS интегрированного типа плотно упакованы на поверхности частиц, в то время как нитевидные бактерии играют роль каркаса по всей частице. Однако существует доля случаев (таких как добавление специальных субстратов, изменение условий гидравлического сдвига и т.д.), в которых нитевидные бактерии также будут запутываться на поверхности частиц, а бактериальные клетки, зооглея и органическое вещество будут соединяться и агрегироваться посредством адсорбционных мостиков. Массоперенос и диффузия растворенного кислорода (DO) и субстрата в AGS будут ограничены с увеличением размера частиц и блокированием матрицы внутри частицы, и, таким образом, аэробная зона, бескислородная зона и анаэробная зона будут образовываться пространственно в частицах снаружи внутрь. Параллельно, структура перегородки кислородной среды, сформированная в AGS, заставляет ее избирательно обогащать микрофлору, способствующую структурной стабильности частиц и удалению загрязняющих веществ, тем самым улучшая эффективность удаления загрязняющих веществ AGS. Однако в реакционной системе с чередующимися концентрациями DO PAO и GAOs одновременно обогащаются зрелыми AGS, что делает их доминирующей флорой и составляет 74% от общей популяции бактерий. В анаэробных условиях удаление экзогенной ХПК с помощью PAOs и GAOs может эффективно предотвращать чрезмерное размножение нитевидных бактерий и поддерживать стабильность гранулированной структуры.

3.2.2 Среда для выращивания *Zoogloea adapt*

Штамм нетребователен к факторам роста, хорошо растет на обычных питательных средах (СПА, МПА, МПБ). На агаризованных средах образует мелкие, круглые, непигментированные колонии, блестящие, с ровным краем. Оптимальная температура роста 25-28С, рН 7,0-7,2. Культуру поддерживают пересевом на плотных питательных средах, хранят в растворе глицерина при 70С или в лиофильно-высушенном состоянии. Среда М9 следующего состава: Na_2HPO_4 6 г/л ; KH_2PO_4 3 г/л ; NaCl 0,5 г/л ; NH_4Cl 1 г/л ; вода дистиллированная с добавлением 1,5% глюкозы. Культивирование проводят на термостатированных качалках или в ферментерах при 28С и интенсивной аэрации 18-24 ч. Выход биомассы 10^9 кое/мл. Бактерии засевают в среду М9 с добавлением меди в форме CuSO_4 в количестве 120 мг/л, инкубируют при 28С с аэрацией 15 сут, затем пересевают в свежую среду с более высокой концентрацией меди. Ряд пересевов бактерий позволяет отобрать микроорганизмы устойчивые к 290 мг/л меди. Они обладают повышенной устойчивостью к ионам цинка, железа, свинца и кобальта. Полученные бактерии эффективно сорбируют ионы тяжелых металлов. После инкубирования в средах без меди бактерии сохраняют свои свойства.

3.3 Методы анализа и обработки данных

3.3.1 Методы анализа

В работе используются методы статистического, дискретивного, сравнительного и контент анализа с использованием информационных данных публикуемых в открытом доступе. Задачи выполненные статистическим методом относятся к изучению полученных практических данных, создание систем с значениями экспериментов. Целью сравнительного анализа является сопоставление данных полученных в ходе эксперимента с примерами подобных работ находящихся в открытом доступе.

3.3.1.1 Анализ состава сточных вод

Создание графика с целью проведения сравнения составов сточных вод до микробиологической очистки и после нее. Данный анализ позволит получить данные о эффективности выбранного метода и качестве очистки.

3.3.1.2 Анализ активности микроорганизмов

Наблюдение в ходе процесса очистки за состоянием микроорганизмов. Количество выработанного зоогеля и уровень жизнеспособности микроорганизмов в ходе воздействия на них сточных вод. Для анализа жизнеспособности микроорганизмов использовался объемный метод в котором производится посев биоагента в жидкую питательную среду и через 24 часа проводится подсчет полученного объема зоогеля. При разнообразном наборе биоагентов в активном иле производится отдельный подсчет колоний микроорганизмов методом Коха.

3.3.1.3 Анализ эффективности процесса очистки

Составление сравнительного анализа очистки с использованием микроорганизмов, химическим методом и контрольной группой с целью выявления изменений в составе жидкости. Последующее сравнение позволит определить насколько эффективен выбранный метод и с какими особенностями возможно столкнуться при его осуществлении.

3.3.2 Методы обработки данных

Обработка данных включает в себя преобразование необработанных данных в ценную информацию для бизнеса. Как правило, специалисты по обработке данных обрабатывают данные, включая сбор, организацию, очистку, проверку, анализ и преобразование их в читаемые форматы, такие как графики или документы.

3.3.2.1 Статистический анализ данных – использование статистических методов для интерпретации и анализа результатов, сопоставление полученной статистики с ожидаемыми значениями и допустимыми значениями по ГОСТ-у

3.3.2.2 Визуализация данных – создание графиков и таблиц с полученными значениями для более эффективного и упрощенного понимания полученных данных. Данный метод обработки позволит лучше понять полученные результаты и создать необходимый фон результата.

3.3.2.3 Экологическое соответствие – сопоставление результатов с экологическими требованиями и подведение итогов по допустимости использования данных методов.

4 Экспериментальная часть

4.1 Подготовка образцов сточных вод для исследования

4.1.1 Сбор образцов.

Сбор образцов происходит по ГОСТу «ГОСТ 17.1.5.01-84 "Природные воды. Сбор проб"» с использованием оборудования из стойкому к ожидаемому химическому составу сточных вод и не влияющих на состав жидкости. Сбор происходит в четырех позициях. Две пробы с системы трубопровода сточных вод, третья проба после стандартной механической очистки и последняя после проведения всех процедур по очистке. Забор происходит из поверхностного слоя жидкости (0.5м) без использования герметичной посуды.



Рисунок 6. Пробоотборник ПЭ-1110 для отбора проб воды

<https://reactivsnab.all.biz/probootbornik-pe-1110-dlya-otbora-prob-vody-11-g375661>

4.1.2 Подготовка проб к анализу.

В период перед проведением биологической очистки проводится необходимая подготовка. «Необходимой» стоит считать подготовку, при которой минимальные требования для использования АГС. Особое внимание обращено к избавлению от токсичных соединений неорганических кислот и патогенным микроорганизмам что могут повлиять на АГС.

4.1.2 Состав сточных вод медноперерабатывающего производства.

mg/dm ³	При переработке медной руды								
	pH	Ca	Mg	Cu	Fe	CT	SO ₄	HCO ₃	Суточный остаток
Отвальные хвосты	7.8	831.0	145.0	12.9	25.0	650.0	2800.0	235.0	6300.0
Слив хвостохранилища	6.2	542.0	76.0	3.0	15.0	490.0	1300.0	171.0	5500.0

4.1.3 Содержание загрязнителей в жидкой фазе

	Выход %	Содержание загрязняющих веществ, мг/дм ³			Распределение %	
		сумма цианидов и роданидов	Ионы цветных металлов		сумма цианидов и роданидов	Ионы цветных металлов
			Медь	Цинк		
Слив сгустителей медного концентрата	3	725	370	33	50.4	42.0
Слив сгустителей свинцового концентрата	2	121	31	7.5	12.0	13.5
Слив сгустителей цинкового концентрата	10	2	0.3	2.75	0.8	17.5
Жидкая фаза хвостов флотации	85	12.5	5.1	5.0	36.8	270
Итого	100.0	25-30	0-15	8-10		

4.2 Выбор и оптимизация условий для роста микроорганизмов

Производство активного ила является важной задачей при очистке сточных вод. Благодаря своему составу и назначению активный ил получить можно без особых затрат. В активном иле необходимо подтвердить нужные виды микроорганизмов и предоставить им условия для роста. Для разведения активного ила в аэротенках непрерывного действия обычно используются несколько методов. Один из них включает использование уже существующего ила из действующих очистных сооружений или заранее обезвоженного ила, либо частиц биопленки. Для стимуляции процесса также могут использоваться очищенные от минеральных примесей иловые массы из естественных водоемов. Процесс начинается с подачи затравочной иловой массы в аэротенк, который наполнен частично водой и оборудован системой аэрации. Затем медленно вводят небольшие порции сточных вод без активации проточной системы, при этом следя за ростом активного ила и его биологическим составом. Когда концентрация активного ила достигает нужного уровня (обычно 2-3 г/л), аэротенк переводится в режим обработки сточных вод с нагрузкой, начиная с 15-20% от расчетной. Затем нагрузка постепенно увеличивается до максимального значения, учитывая скорость роста и качество биомассы. Если предпочтительнее использовать естественный процесс образования биомассы активного ила, то аэротенки наполняются сточной водой и подвергаются аэрации в течение нескольких суток. После формирования хлопьев сточная вода постепенно вводится в систему, при этом обеспечивается возврат иловой массы. Объем проточной сточной воды определяется в зависимости от достигнутой концентрации активного ила. Оптимальными условиями для роста микроорганизмов в условиях аэротенка является:

Температура 25 – 30 С

рН 5.8 – 7.2

Постоянная аэрация

Периодический контроль за составом активного ила

При соблюдении вышеизложенных данных рост активного ила с 20% от посеяного до 95% готового займет от 24 до 72 часов.

4.3 Оценка эффективности биологической очистки сточных вод с использованием микроорганизмов

Исходя из полученных данных можно выделить что использование гранулированного активного ила может сыграть важную роль в очистки промышленных сточных вод. Наличие тяжелых металлов в стоках делает химическую и физическую очистку менее эффективной отчего повышается цена эксплуатации.

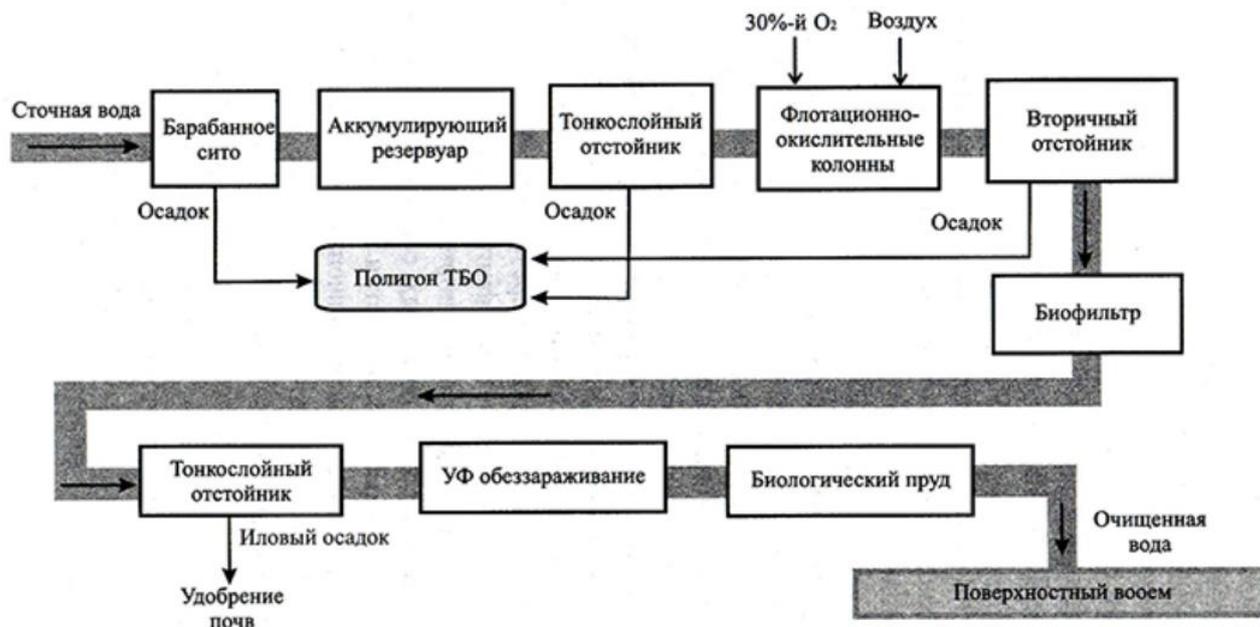


Рисунок 7 Схема сооружений для очистки сточных вод

<https://alternativa-sar.ru/tehnologu/organizatsiya-i-tehnologii-pishchevykh-proizvodstv/zueva-zartsyna-ekozashchitnye-tehnologii/2652-glava-4-ekozashchitnye-tehnologii-ochistki-stochnykh-vod-pishchevykh-predpriyatij-4-1-predpriyatiya-myasnoj-promyshlennosti>

Для получения дополнительных данных очистки была смоделирована ситуация при которой в сточной воде содержится 200 г/л взвешанных частиц. Полученные результаты внесены в рис.8 который показывает уменьшение взвешанных частиц на 95% от изначальной концентрации. В расчет брались данные полученные после прохождения воды через три отстойника и барабанное сито.

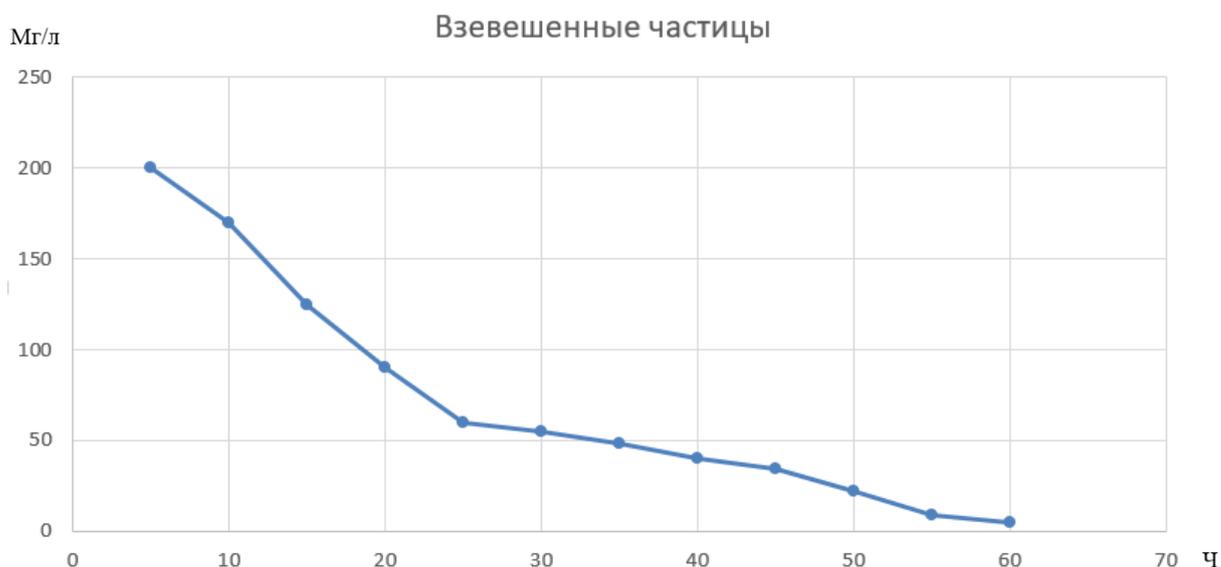


Рисунок 8 Концентрация взвешенных частиц

Полученные сточные воды не содержат критических значений вредоносных загрязнителей. Позволяет начать биологическую очистку без необходимости проводить дополнительную работу по уменьшению концентрации токсичных веществ. Руководствуясь полученными данными создана диаграмма рис.9 в которой указан результат воздействия микроорганизмов на концентрацию тяжелых металлов в очищенной воде вместе с разницей воды полученной с производства.

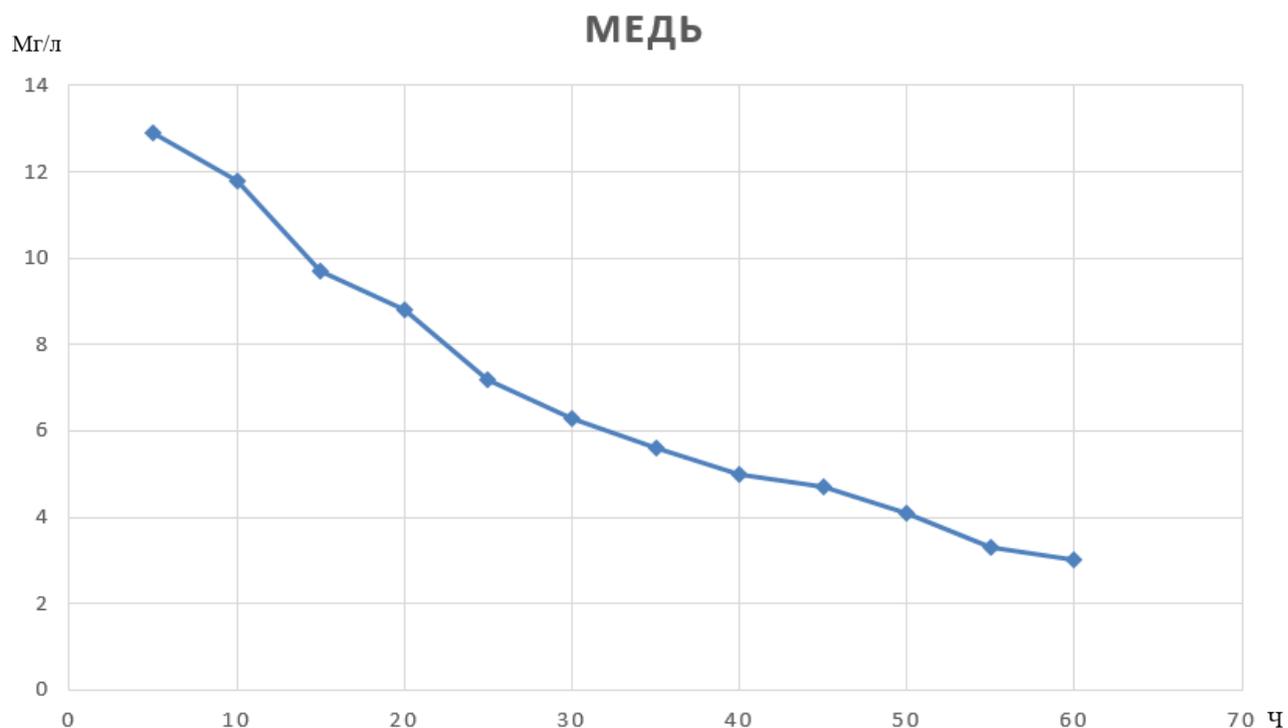


Рисунок 9 График изменения концентрации меди

Следуя полученным данным содержание меди уменьшилось до 5 мг/л³. Полученная концентрация является доступной как для промышленных сточных вод. Использование данной воды не допускается в виде бытовой, но проходит по экологическим стандартам. Далее хотелось бы отметить содержание других металлов полученные в ходе добычи руды рис.10 и очищенные в ходе биологической очистки. Очистка изначально нацеливалась на избавление от повышенной концентрации меди тогда как другие металлы притерпели меньший объем очистки.

4.4 Анализ результатов экспериментов

В следствии проведения эксперимента и подсчетов полученных данных можно сделать следующие вывод. Использование микроорганизмов для очищения сточных вод с повышенным содержанием тяжелых металлов является целесообразным. При использовании комплекса очистки удалось уменьшить концентрацию меди в пять раз по сравнению с изначальными значениями, так же стоит заметить что биологическая очистка позволила уменьшить концентрацию железа на 30%; концентрация магния на 47.6% ; понижено значения рН до 6.2 , что является доступным значением для большинства организмов и в большей степени безопасна для окружающей среды и ее флоры. Использованная в работе система очистки не является финальной отчего может быть дополнена дополнительным биофильтром либо прудом что изменить полученный результат при очистке если это будет необходимо для водоема с отличным составом воды. Делая вывод по данному эксперименту можно высказать что использование микроорганизмов значительно удешевило очистку включая и ее строительство с обслуживанием. Микроорганизмы выполняющие ключевую работу показали свою эффективность в очистке и имеют большую возможность для дальнейшего развития и масштабирования.

5 Результаты и обсуждение

5.1 Сравнение эффективности биологической очистки с использованием микроорганизмов и других методов

Использование микроорганизмов для очистки сточных вод имеет свои особенности, которые отличают ее от других методов очистки. Главное, о чем можно сказать в данном методе, это его новизна: использование микроорганизмов в промышленном варианте. Ранее микроорганизмы использовались для очистки, но не имели систематики. Современное положение дел требует проводить очистку воды с высокими процентами очистки.

5.1.1 Сравнение эффективности биологической очистки с использованием микроорганизмов и химического метода

Химический метод позволяет уменьшать концентрацию меди путем осаждения меди как осадка с эффективностью 57.3%. Химический метод требует для себя точный состав сточных вод, большое использование реагентов, а также необходима доочистка сточных вод от реагентов и катализаторов. Проводя линию между данными методами, химический метод может являться не менее точным, чем биологический, но требует дополнительную очистку и использование дорогих реагентов, что повышает затраты для очистки каждого литра жидкости; биологический метод же требует меньше затрат и выдает высокий уровень очистки, однако необходимо осуществлять очистку от ядовитых примесей, если в смеси их концентрация выше, чем та, что выдерживают микроорганизмы, работающие в системе. Экономические данные свидетельствуют что для очистки воды состава используемого в работе химическим методом на 1 литр жидкости требуется 0.89 долларов, тогда как биологический метод на литр жидкости требует 0.55 долларов. Отдельно стоит отметить, что использование химических методов не может уменьшить концентрацию тяжелых металлов до значений ПДК, в отличии от биологического что позволяет уменьшить значения до ПДК технической воды.

5.1.2 Сравнение эффективности биологической очистки с использованием микроорганизмов и физического метода

Физический метод крайне эффективен для очистки взвешенных веществ, в зависимости от состава сточных вод им возможно убрать 94% загрязняющих элементов, большая часть из которых являются габаритным мусором который возможно очистить фильтрацией. Отдельно стоит отметить что

использование физических методов не может сама по себе позволить дойти до ПДК большинства веществ. Физический метод требует дополнительных методов очистки до необходимых значений. Физическая очистка уберет большую концентрацию мусора, но не доведет очистку до необходимых значений; тогда как использование биологического метода требует первичную очистку и не может работать самостоятельно, однако их использование позволяет уменьшить концентрацию загрязнителей до ПДК. Использование физического метода является крайне дешевым и требует около 0.11 долларов на литр тогда как биологический требует 0.55 долларов. Делая общий вывод можно сказать что использование физических методов является неотъемлемой частью любой очистки сточных вод и ее установка необходима на любом предприятии данного назначения.

5.2 Обсуждение факторов, влияющих на эффективность процесса

Микроорганизмы используемые в очистке промышленных сточных вод являются живыми созданиями в отличии от химических реагентов, отчего данный метод имеет ряд факторов которые могут влиять на его эффективность. Данные факторы можно разделить на следующие группы: физические, химические, биологические - каждый из факторов имеет свою степень влияния на процесс.

Физические факторы – к физическим факторам можно выделить взвешенные частицы, их наличие влияет на коагуляцию тяжелых металлов и может замедлить ее, при отсутствии первичного отстойника эффективность отстойника содержащего активный ил уменьшается на 77.8% отчего следует необходимость их очистки. Физическим фактором так же являются температура окружающей среды. Оптимальными условиями для работы микроорганизмов являются 20-55 С в которых они могут выживать и выполнять свою работу, оптимальными значениями являются 25-35 С.

Химические факторы – химический состав воды направляемой на очистку влияет на микроорганизмы, наличие таких элементов как мышьяк или сера при большой концентрации губительны для микроорганизмов. Так же стоит отметить возможность наличие веществ ингибиторов что замедлят жизнедеятельность микроорганизмов. Основным химическим фактором что влияет на данный процесс можно назвать рН раствора ведь его уровень должен соответствовать диапазону не менее 5 и не более 8 ; при приближении к данным значениям рН развитие микроорганизмов будет замедляться и в случае выхода за заданные рамки ожидается гибель микроорганизмов.

Биологические факторы – в категории биологических факторов влияющих на эффективность биологической очистки ключевую роль играет состав микроорганизмов. Для отдельных предприятий состав микроорганизмов в активном или биологическом пруде может варьироваться и использование малостойких микроорганизмов для очистки агрессивной жидкости приведет к ненадлежащей очистки. Однако помимо состава микроорганизмов стоит выделить наличие аборигенных микроорганизмов которые попадают в сточных воды вместе с другими загрязнителями, их очистка в основном происходит в заключительных этапах используя ультрафиолет, однако их состав может повлиять на используемые для очистки микроорганизмы начав с ними борьбу за развитие в данной системе. Следствием данного фактора является необходимость проверки состава сточных вод и корректировки используемых микроорганизмов под его изменения.

5.3 Выводы по результатам исследования

Основываясь на данных полученных в ходе подсчета загрязнителей на ключевых этапах очистки можно сделать следующие выводы:

- 1) Эффективность работы комплексов микроорганизмов для очистки воды от загрязнения тяжелыми металлами и особенно *Zoogloea adapt*, что позволило снизить концентрацию меди в на 69%
- 2) Понижение рН с 8 до 6 что позволяет не проводить дополнительные работы по нормализации кислотности жидкости и после финального этапа очистки отправлять жидкость в водохранилища или другие места сброса
- 3) Полученные результаты указывают на перспективность использования микроорганизмов для очистки сточных вод у горнодобывающих предприятий
- 4) Масштабируемость – возможность доступного масштабирования модулями очистки если необходима более тщательная очистка.

Делая конечный вывод можно сказать что использование микроорганизмов и растений для очистки сточных вод является не только экологически выгодным, но и экономически не требует чрезвычайных затрат на свою работу. Эффективность очистки позволяет уменьшить необходимость физической и механической очистки и при относительно безопасном составе сточных вод полностью отказаться от химического метода.

Заключение

6.1 Оценка достижения целей и задач

В результате разбора целей и задач данной работы удалось получить результаты что позволяют ответить на них.

6.1.1 Проведен обзор существующих методов очистки промышленных сточных вод и выявлены их основные преимущества и недостатки.

Первой задачей было провести обзор методов очистки сточных вод, были разобраны их виды и особенности вместе с недостатками; полученная информация позволила дальше рассматривать в какой степени возможно применять биологические методы очистки и какой ожидаемый результат может быть у данной работы. Механический метод очистки позволяет удалять большие загрязнители и взвешенные частицы, но не достаточен для очистки до ПДК. Химический метод очистки эффективен в удалении множества загрязнителей за счет своего разнообразия, но имеет высокие затраты на покупку реагентов и высокий вред окружающей среде, из за которого очищенную воду таким образом необходимо дополнительно очищать. Физико-химический метод эффективен в очистки неорганических загрязнителей и позволяет привести концентрацию загрязнителей до ПДК, однако в то же время он является чрезвычайно дорогостоящим и больше подходит для использования в лабораторных условиях будучи крайне убыточным в масштабе горнодобывающего предприятия.

6.1.2 Изучены биологические механизмы действия микроорганизмов и их способность к разложению различных загрязнителей в сточных водах. Проведя исследования возможных методов очистки был выбран биологический метод как основной что должен оказать основное влияние на концентрацию загрязняющих веществ. В ходе исследования было выявлено несколько методов использования биологических механизмов. Использование активного ила – в работе рассмотрена его гранулированная версия что позволяет увеличить его эффективность по сравнению с не гранулированной версией на 24.7%; жизнедеятельность микроорганизмов в активно иле позволяет удалять большую часть органических загрязнителей и коагулировать соединения тяжелых металлов в последующем очищая их посредством осаждения. Биологические пруды что являются второй степенью биологической очистки позволило закончить очистку от тяжелых металлов благодаря их поглощению микроорганизмами и флорой, живущей в биопруде. Стоит отметить что использование микроорганизмов позволило повысить экологичность комплекса очистки, однако появляется

необходимость дополнительной очистки от микроорганизмов дабы не оказать негативное влияние на водоем, в который будет сброшена очищенная вода. Для удаления микроорганизмов что могут остаться в жидкости на завершающем этапе используется блок с ультрафиолетом.

6.1.3 Оценена эффективность применения микроорганизмов в процессах очистки сточных вод на промышленных предприятиях на основе анализа существующих исследований и практических примеров.

В ходе работы произведенные замеры позволили составить графики (рис.10; рис.11; рис.12) в котором отражены данные что позволяют сделать вывод о эффективности микробиологической очистки. Результаты имеют разную степень очистки, но показывают общую тенденцию, по которой можно судить о высокой эффективности метода.

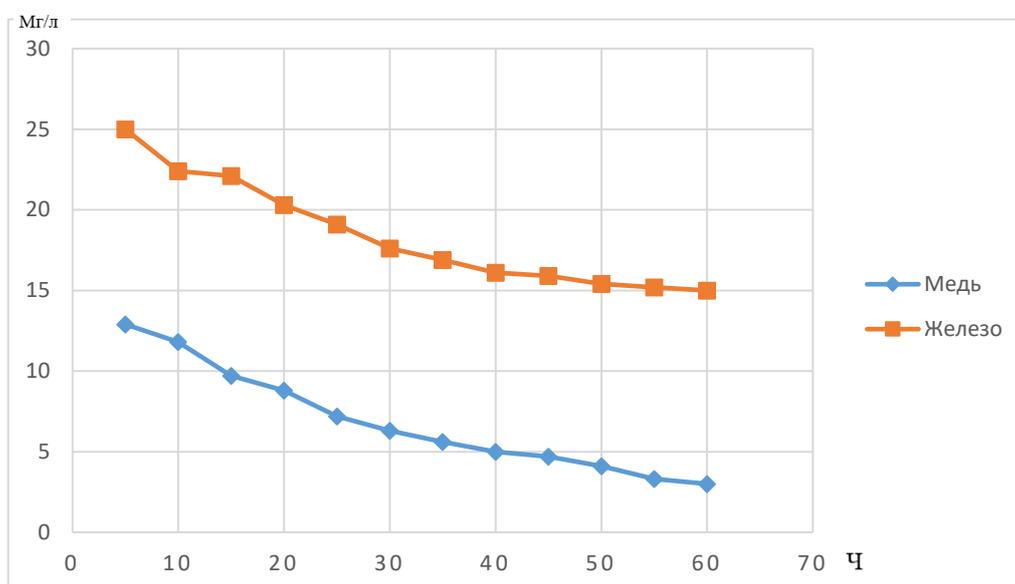
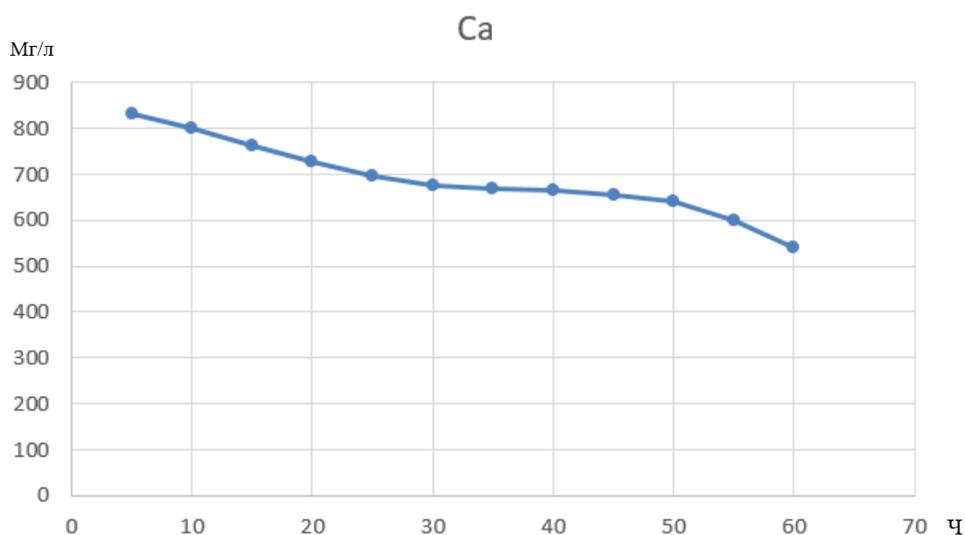


Рисунок 10 Изменения в концентрации меди и железа



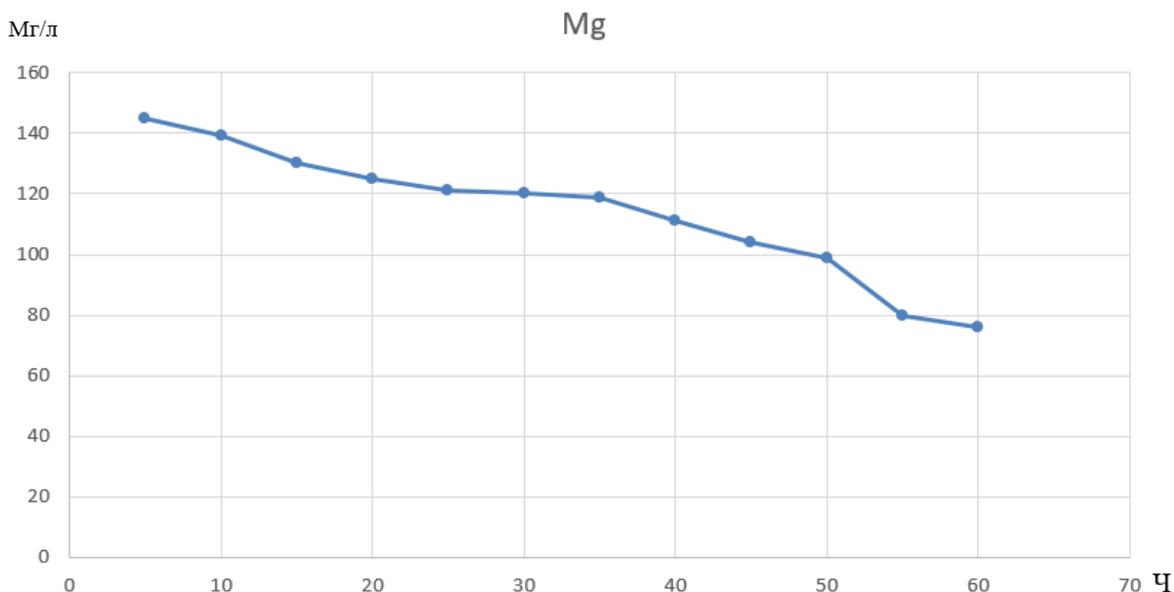


Рисунок 12 Изменения в концентрации Mg

6.1.4 Выявлены факторы, ограничивающие эффективность использования микроорганизмов в процессах очистки сточных вод, и предложены пути их решения.

В ходе исследования работы микроорганизмов по очистке и исследовании существующих предприятий занимающихся данным методом очистки удалось выявить ряд факторов влияющих на качество и скорость очистки, что могут осуществить микроорганизмы. Основным фактором который может повлиять на микроорганизмы является состав сточных вод. В сточных водах полученных при переработке медных руд могут содержаться токсичные вещества и ингибиторы отчего необходим контроль их содержания и при необходимости удаление перед использованием микроорганизмов что может привести к необходимости установки химической очистки. Чрезмерная концентрация металлов так же может оказаться губительным для микроорганизмов, хоть они и имеют высокую сопротивляемость их повышенному числу; используемый в работе штамм *Zoogloea adapt* может выдержать концентрацию меди до 50 мг, однако до 89 мг микроорганизмы могут выживать, но с меньшей эффективностью работы. Отдельно стоит отметить что в работе используется специально подобранный состав активного ила предназначенный для очистки определенного состава сточных вод и при его изменении появляется необходимость корректировать видовое разнообразие микроорганизмов активного ила.

6.1.5 Рассмотрены и проанализированы рекомендации по оптимизации процессов очистки промышленных сточных вод с использованием микроорганизмов с учетом специфики различных отраслей промышленности.

Использование микроорганизмов для очистки промышленных сточных вод имеет ряд недостатков которые по разному могут показывать себя в ходе эксплуатации. Использование микроорганизмов для очистки воды от пищевых предприятий является доступным из за отсутствия большого объема ядовитых веществ и множества органических загрязнителей разных категорий с которыми микроорганизмы справляются крайне эффективно. Внедрение данной методики в предприятия не связанные либо косвенно связанные с пищевым промыслом может повлечь за собой ряд издержек таких как ранний этап очистки от ядовитых веществ, использование специфического набора микроорганизмов. Для оптимизации биологического метода очистки необходима дополнительная установка обеззараживателей и нейтрализаторов, а так-же достаточных объем пространства и времени ведь данные процессы являются достаточно затратны по данным аспектам. Оптимальным решением помимо дополнительного финансирования предприятий использующих данные метода является выведение новых штаммов, что смогут выживать в агрессивных средах без потери своей эффективности как очистители загрязнителей.

6.2 Рекомендации для дальнейших исследований и практического применения

Во время проведения исследования было подтверждено и изучено множество факторов и особенностей микроорганизмов как очистителей. Микроорганизмы имеют высокий потенциал в данном направлении и являются экологичным решением вместо химического метода. В следствии дальнейших исследования основную задачу можно определить как «поиск новых штаммов и их выведение» ведь данная тема является крайне важной из-за специфики процесса. Увеличение количества предприятий использующих подобные методы так же являются важной частью поддержания экологии местности. Однако на равне с этим необходимо рассмотреть последствия долгосрочного влияния данного метода на окружающую среду; так же существует необходимость обучения персонала по работе и контролю качества при использовании биологических методов особенно если данный метод внедряется впервые в данное предприятие.

Литература

[<https://promanalyt.kz/stati/zagryaznyayushchie-veshchestva-v-stochnyh-vodah>]

[https://kazatu.edu.kz/assets/i/science/sf13_ekolog_103.pdf]

[<https://pm-aks.kz>]

[https://emcooperation.ru/ochistka_stochnyh_vod]

[Environmental Chemistry of Water]

[<https://patents.google.com/patent/RU2103356C1/ru>]

[<https://patents.google.com/patent/RU2097424C1/ru>]

[<https://m.antpedia.com/standard/sp/ru/403435.html>]

[<https://biomolecula.ru/articles/chistaia-voda-kak-mikroorganizmy-pomogaiut-nam-borotsia-s-zagriazneniiami>]

[https://yandex.ru/patents/doc/RU2097424C1_19971127/]

[https://yandex.ru/patents/doc/RU2228797C2_20040520/]

[<https://doi.org/10.18799/24131830/2019/9/2273> ИЗУЧЕНИЕ ВИДОВОГО СОСТАВА МИКРООРГАНИЗМОВ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ ОЧИСТКУ СТОЧНЫХ ВОД]

[Статья «Оценка эффективности очистки сточных вод методом анаэробного сбраживания»]

[Статья «Оценка эффективности биологической очистки сточных вод оптико-механического производства с использованием различных схем смешения потоков»]

[Статья «Микробиологические методы очистки сточных вод от соединений азота»]

[<http://www.studfiles.ru/preview/2652238/>]

[https://studbooks.net/2511003/tovarovedenie/sooruzheniya_biologicheskoy_ochistki_stochnyh]

[<https://www.mdpi.com/2073-4441/13/19/2726>]

[<https://reactivsnab.all.biz/probootbornik-pe-1110-dlya-otbora-prob-vody-11-g375661>]

[<https://alternativa-sar.ru/tehnologu/organizatsiya-i-tehnologii-pishchevykh-proizvodstv/zueva-zartsyna-eko-zashchitnye-tehnologii/2652-glava-4-eko-zashchitnye-tehnologii-ochistki-stochnykh-vod-pishchevykh-predpriyatij-4-1-predpriyatiya-myasnoj-promyshlennosti>]