

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

На правах рукописи
Маг

Могукало Анастасия Вадимовна

**КОМПЛЕКСНАЯ ОБРАБОТКА ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА
ОТ ПАТОГЕННОЙ ОБСЕМЕНЕННОСТИ**

2.1.4 – Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных
ресурсов

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Нездойминов Виктор Иванович

Идентичность всех экземпляров заверяю:

Ученый секретарь

диссертационного совета 02.2.001.01

З.В. Удовиченко



Макеевка 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
Глава 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБРАЗУЮЩИХСЯ ОСАДКОВ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД И МЕТОДЫ ИХ ОБРАБОТКИ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ.....	11
1.1. Места образования осадков сточных вод в технологии очистки.....	11
1.2. Повторное использование избыточного активного ила.....	18
1.2.1 Применение ила в качестве кормовых добавок и биофлокулянта.....	21
1.2.2 Использование ила в качестве биологического рекультиванта или удобрения в сельском хозяйстве.....	22
1.3. Формирование активного ила и его микробное сообщество.....	25
1.3.1 Патогенная обсеменённость активного ила.....	34
1.4. Существующие способы обработки активного ила от патогенной обсеменённости	36
1.4.1 Биологическая обработка избыточного активного ила.....	40
1.5. Выводы по первой главе.....	43
Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ БИОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА ОТ ПАТОГЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ.....	44
2.1 Биологическая и химическая обработка активного ила с целью снижения патогенной обсеменённости	44
2.2 Механизм повышения окислительно-восстановительного потенциала иловой смеси в процессе нитрификации.....	46
2.3 Влияние кислорода и окисленных форм азота на величину ОВП и размеры аэробной зоны флокулы ила.....	49
2.4 Моделирование процессов аэробной стабилизации активного ила	51
2.5. Выводы по второй главе.....	57
Глава 3. МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	59

3.1 Описание лабораторной установки и методика определения показателей иловой смеси	59
3.1.1 Определение физико-химических показателей иловой смеси.....	59
3.2 Определение санитарно-бактериологических показателей.....	62
3.2.1 Методика определения бактериальной группы кишечной палочки.....	62
3.2.2 Определение патогенных энтеробактерий рода <i>Salmonella</i>	63
3.2.3 Гельминтологическое исследование избыточного активного ила.....	64
Глава 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЭРОБНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ АКТИВНОГО ИЛА С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ОБРАБОТКОЙ ЩЕЛОЧНЫМ РЕАГЕНТОМ НА СНИЖЕНИЕ ПАТОГЕННОЙ ОБСЕМЕНЁННОСТИ.....	65
4.1 Изменение физико-химических показателей иловой смеси в процессе аэробной стабилизации.....	65
4.2 Эффективность снижения количества патогенных микроорганизмов активного ила в процессе аэробной стабилизации.....	70
4.3 Определение относительной стабильности осадка.....	80
4.4 Эффективность снижения патогенных микроорганизмов аэробно стабилизированного ила при введении негашёной извести.....	83
4.5 Моделирование кинетических параметров аэробной стабилизации ила в биореакторе периодического действия.....	85
4.6 Выводы по четвертой главе.....	88
Глава 5. ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА С ПОСЛЕДУЮЩИМ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В КАЧЕСТВЕ УДОБРИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА	90
5.1 Технологический регламент на получение удобрительного материала из активного ила.....	90
5.1.1 Расчет аэробного стабилизатора.....	92
5.1.2 Расчет илоуплотнителя.....	93
5.1.3 Обезвоживание иловой воды и обработка осадка негашёной известью...94	

5.2 Технико-экономические показатели технологии получения удобрительного материала из активного ила.....	96
5.3. Выводы по пятой главе.....	98
Заключение	100
Список литературы.....	102
Приложение А.....	118
Приложение Б.....	119
Приложение В.....	120
Приложение Г	121

5
ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Традиционная биологическая очистка не потеряла свою актуальность и остается основным методом обработки городских сточных вод. В результате сложных биохимических процессов в природу возвращается очищенная вода и образуется органический конгломерат живых микроорганизмов – активный ил. На сегодняшний день во всем мире ежегодно образуется порядка $80 \cdot 10^9$ тонн органического осадка. В Российской Федерации ежегодно образуется избыточного активного ила (ИАИ) 3,5 млрд. т.

Твердая фаза ила включает значительное количество органических веществ (более 65%), азот, фосфор, калий и другие биогенные элементы. Все это делает активный ил достаточно ценным вторичным ресурсом, который может использоваться в качестве удобрительного материала для технической и биологической рекультивации почв. Использовать ил в качестве удобрительного материала невозможно без предварительной обработки по двум основным причинам: присутствие ионов тяжелых металлов и патогенных микроорганизмов. Во многих случаях концентрации ионов тяжелых металлов в активном иле соответствуют допустимым нормам за счет исключения сброса производственных сточных вод в городскую канализационную сеть. Нерешенной проблемой является удаление патогенных групп микроорганизмов из активного ила. Повышенная патогенная обсеменённость обусловлена тем, что поступающие сточные воды содержат различные виды патогенных микроорганизмов, выделяемых в процессе жизнедеятельности человека и животных.

Отсутствие технологических решений, направленных на подавление патогенных микроорганизмов активного ила, приводит к складированию его на иловых площадках, расположенных вблизи очистных сооружений. Накопление избыточного активного ила на иловых площадках представляет экологическую опасность из-за выделения дурнопахнущих

веществ и вероятности загрязнения грунтовых и поверхностных вод.

На сегодняшний день отсутствуют технологические решения по обработке ИАИ от патогенной обсемененности. Актуальной задачей является, разработка и внедрение комплексного метода по снижению болезнетворной обсеменённости ИАИ.

Степень разработанности темы. Работа опирается на результаты теоретических и экспериментальных исследований в области обработки органических осадков и сооружений биологической очистки сточных вод ученых: Яковлева С. В., Куликова Н. И., Залетовой Н. А., Кичигина В. И., Нездойминова В. И., Евилевича А. З., Никитиной О. Г., Ксенофонтова Б. С., Дрозда Г. Я., Чернышева В. Н., Кузнецова Е. А., Лысак В. В., Qi Yang, Xiaoli Jing, Xin Fend, Jibao Liu, Ewa Wojciechowska, Nuno Miguel Gabriel Coelho и др.

Связь работы с научными программами, планами, темами.

Диссертационная работа выполнена в рамках:

- хозяйственно-договорной тематики подразделения ТЕРС Донбасской национальной академии строительства и архитектуры 0820-РП «Строительство объектов канализационных систем пгт Карло-Марково» в рамках постановления Правительства ДНР № 26-13 от 5 июня 2020 г. «О реализации мероприятий по повышению эксплуатационных характеристик систем и объектов жилищно-коммунального хозяйства Донецкой Народной Республики в 2020 году»;

- госбюджетной научно-исследовательской темы кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» К-3-01-21 «Разработка комплексных технологических схем очистки городских сточных вод и органических осадков в высокоеффективных биореакторах» (номер государственной регистрации НИР: 0121D000092) 2022 г.

- госбюджетной научно-исследовательской темы ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» FRRW – 2023 – 0008 «Повышение технико-экономической эффективности функционирования

систем водоснабжения и водоотведения населенных пунктов ДНР» (номер государственной регистрации НИР: 1023022400039-0-2.8.2) 2023 г.

Целью диссертационной работы является обоснование и разработка технологии комплексной обработки активного ила для снижения его обсеменённости, включающий процессы аэробной стабилизации и последующее введение щелочного реагента.

Задачи исследования:

- проанализировать современные технологические решения по удалению патогенной обсеменённости активного ила городских сточных вод, изучить основные достоинства и недостатки существующих способов;
- теоретически обосновать влияние окислительно-восстановительного потенциала и щелочной обработки на гибель патогенных микроорганизмов активного ила;
- на основании биохимических зависимостей обосновать модель аэробной стабилизации активного ила, описывающую биологические процессы распада беззольного вещества ила и образования окисленных форм азота, повышающих окислительно-восстановительный потенциал;
- путем экспериментальных исследований определить параметры аэробной стабилизации активного ила и щелочной обработки для подавления патогенных микроорганизмов;
- разработать рекомендации для проектирования технологии комплексной обработки избыточного активного ила с определением экономических показателей.

Объект исследования – сооружения обработки активного ила, образующегося на станциях биологической очистки городских сточных вод.

Предмет исследования – влияние аэробной стабилизации и химической обработки активного ила на процессы подавления патогенной обсеменённости.

Научная новизна полученных результатов:

- выполнено теоретическое и экспериментальное обоснование

снижения патогенной обсеменённости ила в процессе аэробной стабилизации за счет повышения окислительно-восстановительного потенциала и рН среды;

- на основании экспериментальных данных определены стехиометрические коэффициенты биохимической модели ASM 1, описывающие процессы образования окисленных форм азота, влияющих на повышение окислительно-восстановительного потенциала;

- определены дозы щелочного реагента, вводимого после аэробной стабилизации осадка в непроточном режиме, для достижения требований использования ила в качестве удобрительного материала.

Теоретическая значимость результатов исследований:

1. Доказано влияние биологического преобразования форм азота в процессе аэробной стабилизации на окислительно-восстановительный потенциал среды.

2. Доказана применимость подходов с биохимическим моделированием ASM 1 для описания процессов аэробной стабилизации избыточного активного ила.

3. Установлено влияние окислительно-восстановительного потенциала на степень снижения патогенной обсеменённости избыточного активного ила очистных сооружений.

Практическое значение полученных результатов:

1. На основании выполненных экспериментальных исследований предложен комплексный способ обработки активного ила с целью удаления патогенной обсеменённости ила. Комплексный метод включает аэробную стабилизацию активного ила с последующим введение щелочного реагента. Предложенный метод способствует снижению патогенной обсеменённости до требуемых норм при применении ила в качестве удобрительного материала.

2. Результаты диссертационных исследований внедрены в учебный процесс: лекции по курсу «Малоотходные технологии» для студентов направления подготовки 08.04.01 «Строительство» по программе «Современные методы очистки природных и сточных вод».

3. Разработаны «Рекомендации для проектирования комплексной обработки активного ила от патогенной обсеменённости», утвержденные на техническом совете «Компания «Вода Донбасса», 2023 г.

Методология и методы исследования. Основными методами в работе являются экспериментальные и теоретические исследования. Эксперименты осуществлялись на лабораторном оборудовании. Выполнялись измерения физико-химических и санитарно-бактериологических показателей ила в процессе биохимической обработки. Применённые теоретические методы включают: математическое описание процесса нитрификации в программной среде «Cell Designer» на основе моделей ASM 1, DataFit.

Область исследования соответствует паспорту научной специальности 2.1.4 – Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов, а именно, в части: - методы обработки илов, осадков и жидких концентратов сточных и природных вод, обезвреживания парогазовых отходов очистки сточных вод, конструкции используемых сооружений, установок, аппаратов и механизмов».

Степень достоверности и апробация полученных результатов.

Основные результаты работы и главные положения диссертации докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- XI Международная научно-практическая конференция «ТЕХНОВОД-2018» (г. Сочи, Красная Поляна, 11-14 декабря 2018 г.);
- XII Международная научно-практическая конференция «ТЕХНОВОД-2019» (г. Москва, 22-23 октября 2019 г.);
- Международная очно-заочная конференция «БиоТехВод – 2020» (г. Макеевка, 20-21 февраля 2020 г.);
- 72-я Международная научно-практическая конференция «Перспективные технологии в современном АПК России: традиции и инновации» (г. Рязань, 20 апреля 2021 г.);
- VI Международная очно-заочная научно-практическая конференция молодых ученых и студентов «Актуальные проблемы развития

городов» (г. Макеевка, 19 мая 2022 г.);

- XXI Международная конференция «Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий». Секция: Инфраструктура жилищно-коммунального хозяйства (г. Макеевка, 21 апреля 2022 г.);
- XIV Международная научно-практическая конференция «ТЕХНОВОД- 2023» (г. Кисловодск, 18-21 апреля 2023 г.),
- VII Международная очно-заочная научно-практическая конференция молодых ученых и студентов «Актуальные проблемы развития городов» (г. Макеевка, 3 марта 2023 г.).

Основные положения, выносимые на защиту:

- результаты экспериментальных исследований на лабораторной установке, взятые за основу для оценивания эффективности проведения аэробной стабилизации избыточного активного ила с целью снижения патогенной обсеменённости ила;
- результаты лабораторных исследований обработки стабилизированного ила негашёной известью;
- результаты выбора модели, описывающей биологические процессы распада беззольного вещества ила и образование окисленных форм азота в процессе аэробной стабилизации в биореакторе периодического действия;
- рекомендации по комплексной обработке избыточного активного ила с последующим использованием его в качестве удобрительного материала.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения и пяти глав, вывод, списка литературы, включающего 123 источника, в том числе 19 иностранных. Работы изложена на 125 страницах машинописного текста, в том числе 100 страниц основного, 25 таблиц, 31 рисунок.

Публикации. Основные научные результаты диссертационного исследования опубликованы автором в соавторстве в 10 печатных научных работах. 6 публикаций в рецензируемых научных изданиях, 4 – публикации по материалам научных конференций.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБРАЗУЮЩИХСЯ ОСАДКОВ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД И МЕТОДЫ ИХ ОБРАБОТКИ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ

1.1 Места образования осадков сточных вод в технологии очистки

Биологическая очистка сточных вод является важным этапом в работе очистных сооружений. Принцип биологической очистки сточных вод основан на способности микроорганизмов расщеплять органические соединения до простых веществ – воды и углекислого газа [1]. Органические примеси, содержащиеся в сточных водах, являются источником энергии и пищи для разнообразных микроорганизмов, которые в процессе своей жизнедеятельности перерабатывают составные органические соединения до простых аминокислот, белков и т. д. Ключевым компонентом в технологии биологической очистки является активный ил. Составной частью сооружений биологической очистки сточных вод выступают вторичные отстойники, которые в технологических схемах располагаются непосредственно после аэротенков и предназначены для отделения активного ила от очищенной сточной жидкости [2,3].

В связи с неизбежным формированием избыточного активного ила на любой биологической очистной станции возникает проблема обработки осадков, заключающаяся в снижении их влажности, уменьшении объема избыточного активного ила и его обеззараживании. Основная часть складируется на иловых картах, где за счет естественной конвекции и радиационного теплообмена происходит его сушка [1].

По оценке экспертов, на сегодняшний день во всем мире ежегодно образуется порядка $20 \cdot 10^9$ тонн органических осадков сточных вод. Только в России ежегодно образуется около 3,5 млрд. тонн избыточного активного ила. В других странах ежегодное образование осадка [4...7] достигает: Республика

Беларусь – около 200 тыс. т., Швеция – 180 тыс. т.; США – 6 млн. т.; Франция – 1,3 млн. по сухому веществу; Китай – 34 млн. т.; Германия – около 50 млн. т.; Нидерланды – 5,5 млн. т. естественной влажности.

Остро стоит вопрос обработки органического осадка и в Донецком регионе. По данным Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства ДНР в 2020 году эксплуатировалось 40 канализационных очистных сооружений общей производительностью 360 тыс. м³/сут. При этом в ходе очистки ежегодно образуется порядка 36,5 тыс. тонн избыточного активного ила. Под его складирование отведено более 500 га плодородных земель.

Согласно ведомственному паспорту Макеевского ПУВКХ КП «Компания «Вода Донбасса» [8,9] в таблице 1.1 приведены все виды, класс опасности, места размещения и годовое количество образующихся осадков городских сточных вод.

Таблица 1.1 – Характеристика осадков, образующихся в процессе очистки сточных вод г. Макеевки

Вид осадка	Технологический процесс или производство, где образуется осадок	Класс опасности	Количество осадка, т/год	Размещение осадков
Мусор с решеток	Механические решетки	4	436,5	Размещение на полигоне
Песок	Горизонтальная песковая	4	2100,0	Размещение на песковых площадках
Органический осадок сточных вод	Первичные и вторичные отстойники	4	9744,6	Стабилизация и размещение на иловых площадках

Общее количество, образующихся осадков на станциях очистки городских сточных вод, зависит от количества поступающих сточных вод, концентрации в них загрязнений, принятой технологии очистки, а также параметров работы отдельных сооружений [10]. Количество, образующихся осадков, обычно составляет 0,5...2% от суточного притока сточных вод [11].

Условно осадки подразделяются на минеральные и органические, инертные и токсичные, а также стабильные и нестабильные (загнивающие).

Туровский И.С. [12] предложил более конкретизированную классификацию образующихся осадков при биологической очистке сточных вод:

- грубые примеси, задерживаемые решётками;
- тяжёлые примеси, задерживаемые песколовками;
- сырой осадок первичных отстойников;
- избыточный активный ил аэротенков или биологическая плёнка биофильтров.

Грубые механические примеси, задерживаемые решётками, относятся к отбросам и подлежат утилизации различными способами. Их количество незначительно и зависит от типа установленных на очистных сооружениях решёток и ширины прозоров между стержнями и может колебаться в пределах 8-40 л/год на одного человека [11,13].

Тяжелые примеси, задерживаемые в песколовках, содержат в основном минеральные вещества (песок), которые менее подвержены загниванию. Их количество в среднем составляет 0,02 л/сут на 1 человека при влажности 60% и плотности 1,6 т/м³. Образующийся осадок направляется для обезвоживания на песковые площадки, в бункеры или накопители. После подсушивания осадок из песколовок (песок) может использоваться для планировки местности, устройства иловых площадок.

Сырые осадки первичных отстойников представляют собой серую или желтоватую студенистую вязкую массу с кисловатым запахом. Органическая часть сырого осадка составляет 75-80%, что приводит к быстрому загниванию и появлению неприятного запаха, выделяя различные газообразные продукты, в том числе и достаточно токсичные [14]. Необработанные сырые осадки являются опасными в санитарном отношении, так как являются благоприятной средой для сохранения и развития различных видов микроорганизмов, в них долгое время сохраняют свою жизнеспособность яйца

гельминтов, а также другие виды болезнетворных микроорганизмов. Количество сырого осадка зависит от концентрации взвешенных веществ в поступающих сточных водах, а также эффективности работы первичных отстойников. Общее количество взвешенных веществ после подсушивания их при температуре 105°C (по сухому веществу) принимается 65 г на человека в сутки; количество оседающих взвешенных веществ в первичном отстойнике 35-40 г на человека в сутки [12,13].

В ходе аэробной биологической очистки образуется сложный конгломерат живых микроорганизмов в составе активного ила, представляющий собой биоценоз зоогенных скоплений бактерий и простейших организмов. На хлопьях активного ила адсорбированы растворенные вещества, в состоянии адгезии находятся коллоидные и мелкодисперсные частицы. Влажность активного ила, выгружаемого из вторичных отстойников, значительно выше влажности сырого осадка и составляет в среднем 99,2-99,7%, что объясняется его коагуляционной структурой [15]. Причиной образования коагуляционной структуры в составе суспензии активного ила является выделение микроорганизмами в окружающую среду специфических высокомолекулярных веществ – биополимеров, которые выполняют функцию защиты микроорганизмов от неблагоприятных условий среды и одновременно обладают флокулирующими свойствами [16].

Активный ил и сырой осадок, в основном, состоит из органики (зольность составляет в среднем 25-30%), поэтому в анаэробных условиях они быстро загнивают. Органическая часть активного ила в основном представлена веществами белкового происхождения (около 50%) при содержании жиров и углеводов соответственно 30 и 10%. Прирост активного ила, образующегося при биологической очистке, определяется не только концентрацией взвешенных и органических веществ по БПК, но и нагрузкой при которой работают сооружения биологической очистки. Прирост активного ила в г/дм³ вычисляется по формуле (1.1)

$$P_i = 0,8 \cdot C_{cdp} + K_g \cdot L_{en}, \quad (1.1)$$

где C_{cdp} – концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей в аэротенк, г/дм³;

K_g – коэффициент прироста; для городских сточных вод $K_g = 0,3$;

L_{en} – полная биологическая потребность в кислороде, г/дм³.

Прирост ила, подсчитанный по формуле (1.1), как правило, является завышенным, так как не полностью учитываются процессы эндогенного дыхания. В зарубежной практике прирост активного ила, в основном, определяют, исходя из нагрузки по БПК. Влияние нагрузки на прирост можно ориентировочно оценить по графику (Рисунок 1.1).

Характер кривой, приведенной на рисунке 1.1. показывает, что с увеличением нагрузки прирост активного ила увеличивается. Особенно заметно уменьшение этого прироста при нагрузках, соответствующих работе аэротенков городских станций аэрации, т.е. не выше 500-600 мг БПК/(г·сут).

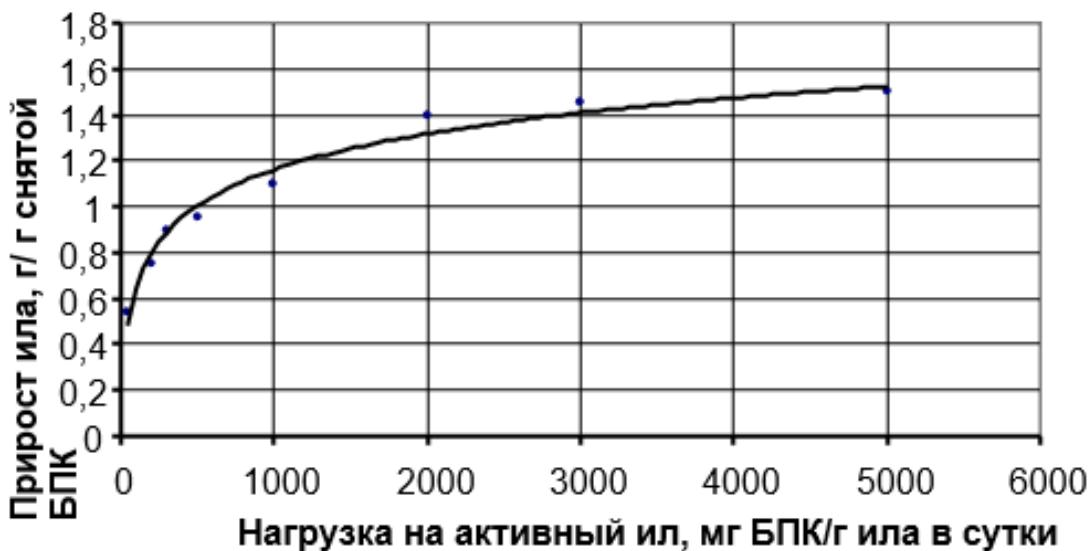


Рисунок 1.1 – Влияние нагрузки на прирост активного ила

После вторичного отстаивания, образованная биомасса отделяется от очищенных сточных вод, после чего иловая суспензия разделяется на два потока: возвратный ил, поступающий вновь в аэрационную систему очистки, и избыточный ил, направляемый на обработку [17].

Что касается избыточной биологической плёнки биофильтров, то ее количество определяется из расчета 8 г/сутки на одного человека для капельных и 28 г/сутки на одного человека для высоко нагружаемых биофильтров. Влажность биопленки, выпадающей во вторичном отстойнике, принимается равной 96% [18].

Для оценки применимости той или иной технологии обработки или утилизации осадков важен детальный состав осадков. Элементарный состав сухого вещества осадков городских сточных вод колеблется в достаточно широких пределах. Сухое вещество сырых осадков содержит, %: 35,4-87,8 углерода, 4,5-8,7 водорода, 0,2-2,7 серы, 1,8-8 азота, 7,6-35,4 кислорода. В составе сухого вещества активного ила содержится, % 44,0-75,8 углерода, 5-8,2 водорода, 0,9-2,7 серы, 3,3-9,8 азота, 12,5-43,2 кислорода. В таблице 1.2 приведено процентное содержание соединений кремния, алюминия, железа, окиси кальция, магния, калия, натрия, цинка, хрома, никеля и др. в осадках сточных вод.

Таблица 1.2 – Химический состав минеральной части осадков

Тип осадка	Содержание, % от массы сухого вещества осадка												
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	ZnO	CuO	NiO	Cr ₂ O ₃	
1	21,4-55,9	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Сырой осадок		0,3-18,9	3,0-13,9	11,8-35,9	2,1-4,3	0,7-3,4	0,8-4,2	1,8-7,5	0,1-0,6	0,1-0,8	0,2-2,9	0,8-3,1	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Активный ил	17,6-33,8	7,3-26	7,2-18,7	8,9-16,7	1,4-11	0,8-3,9	1,9-8,3	1,5-6,8	0,2-0,3	0,1-0,2	0,2-3,4	0-2,4
Сброшенная смесь сырого осадка и активного ила	27,3-35,7	8,7-9,3	11,4-13,6	12,5-15,6	1,5-3,6	1,8-2,8	2,6-4,7	3,0-7,2	0,1-0,3	0,2-0,3	0,2-1,0	1,3-1,9

Как известно, осадки сточных вод содержат ценные удобрительные вещества, в состав которых входят азот, фосфор, калий и некоторые другие элементы и поэтому могут использоваться в качестве удобрений. Следовательно, для подробной характеристики осадков сточных вод особенно важно знать элементарный состав по азоту, фосфору и калию, чтобы оценить их удобрительную ценность. Содержание основных питательных элементов в термически высушенному осадку в зависимости от типа высушиваемого осадка приведено в таблице 1.3 [19].

Таблица 1.3 – Содержание основных питательных макроэлементов в термически высущенных осадках, % в сухом веществе [19]

Питательный элемент	Осадок первичных отстойников	Активный ил	Сброшенная смесь сырого осадка и активного ила	Смесь осадка первичных отстойников и активного ила
азот	1,6 – 4,0	2,4 – 6,5	1,7 – 6,0	2,0 – 5,0
фосфор	0,6 – 5,2	2,3 – 8,0	0,9 – 6,6	1,0 – 6,0
калий	0,2 – 0,6	0,3 – 0,4	0,2 – 0,5	0,2 – 0,5

Данные таблицы 1.3 свидетельствуют, что наиболее ценным органическим удобрением особенно богатым азотом и фосфором, является

активный ил. Данные показывают, что содержание удобрительных веществ в осадках колеблется в достаточно широких пределах, что объясняется различием состава очищаемых городских сточных вод. Следует отметить, эти показатели лучше, чем у навоза от крупного рогатого скота, который характеризуется содержанием азота - 0,8%, фосфора - 0,19-0,28%, калия - 0,5-0,63%. Кроме того, осадки городских сточных вод могут содержать в своём составе и некоторые микроэлементы. Как показали анализы, термически высушенные осадки содержат в мг/кг сухого вещества: бора до 15, кобальта – 2-114, марганца – 60-715, меди – 75-3200, молибдена – 0,5-11, цинка – 40-5000 [12]. Избыточная биомасса по сравнению с сырьим осадком не имеет неприятного запаха, и обладает меньшей токсичностью.

1.2 Повторное использование избыточного активного ила

В последние десятилетия в мировой практике наметилась тенденция к использованию избыточного активного ила в хозяйственном обороте для получения ценной продукции. Повторное использование ила реализуется в нескольких направлениях, основные из которых представлены на рисунке 1.2 [20].

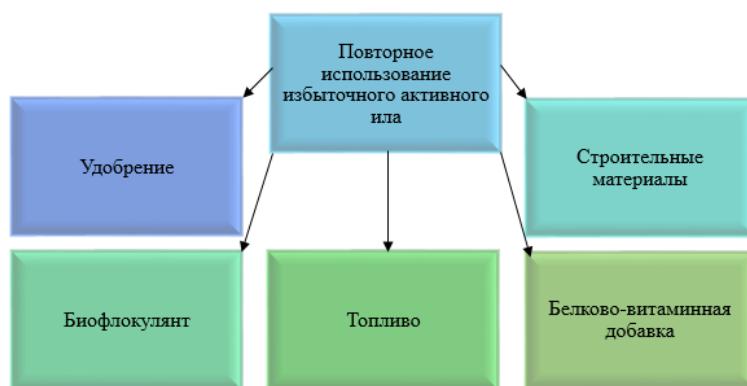


Рисунок 1.2 - Возможные пути повторного использования избыточного активного ила

Особое внимание утилизации илов уделяется в Китае. К концу 2019 г. на муниципальных очистных сооружениях в Китае образовалось 39 млн. тонн

органического осадка 80% -ой влажности. При этом 29% осадков было утилизировано в качестве удобрения, 27% подвергались сжиганию, 20% складировано на специализированных свалках в нестабилизированном виде [48]. Основные методы утилизации илов, применяемые в ряде стран, приведены в таблице 1.4 [21...24]

Таблица 1.4 – Основные методы утилизации илов (%)

Страна	Использование в с/х в качестве орг. удобрения	Размещение на иловых площадках	Сжигание	Сброс в море, океан и др. технологии
Англия	53	16	7	24
Австрия	20	49	31	-
Германия	25	55	15	5
Дания	45	28	18	9
США	25	25	35	15
Италия	20	60	-	20
Швеция	60	30	-	10
Франция	23	46	31	-

В качестве удобрения органический осадок широкое применение получил в следующих странах, %: Кипр – 84, Испания – 83, Ирландия и Англия – 68, Болгария – 56. Компостированию осадок подвергается в следующих странах, %: Эстония – 80, Словакия – 65, Финляндия – 81; сжиганию: Голландия – 100, Швейцария – 90, Словения – 62, Бельгия – 52; складируют: Мальта и Исландия – 100, Греция – 98.

В России, с численностью населения 146,5 млн. человек, расчетный объем образующихся отходов в виде осадков городских сточных вод оценивается примерно в 3,5 млрд т. Такое количество, образующихся отходов требует значительных финансовых затрат, а также производственных площадей для организации экологически безопасного их хранения [25]. На рисунке 1.3 представлены основные направления утилизации активного ила в Российской Федерации.

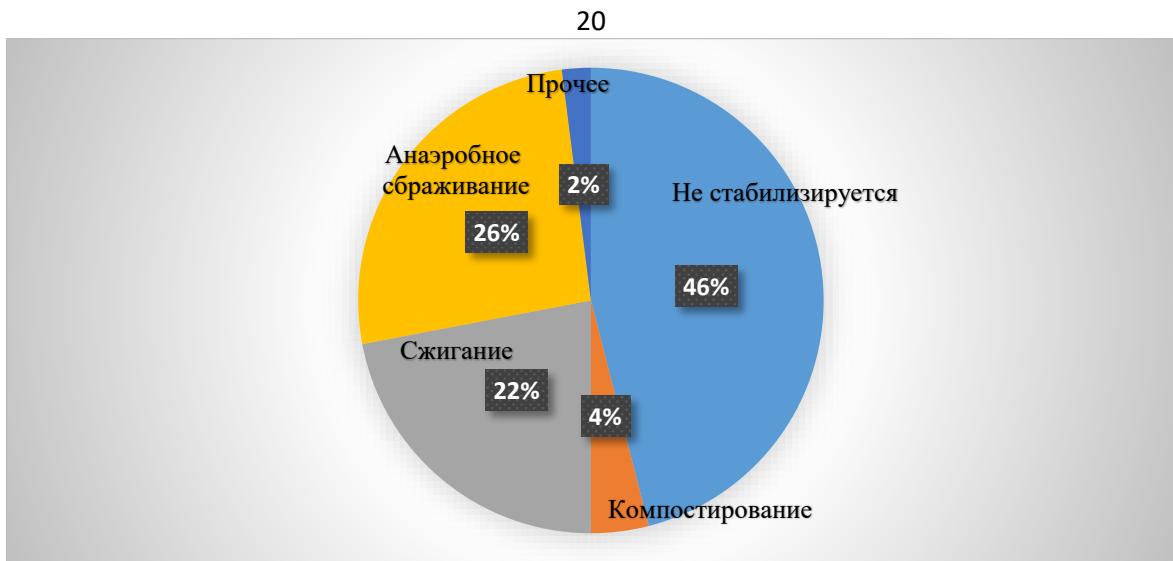


Рисунок 1.3 – Утилизация активного ила в Российской Федерации

Практически половина осадков без всякой дополнительной обработки складируется на иловых площадках, 26% используется для получения биогаза с последующим сбросом в накопители и только 4% в качестве удобрения. Низкий процент использования ила указывает на отсутствие технологических решений обработки ила от болезнетворных микроорганизмов.

В США и Японии с начала 1980-х годов и по настоящее время самым распространённым способом утилизации осадков является сжигание [26]. Сжигание активного ила сопровождается процессом окисления органической части осадка при высоких температурах ($800 - 1000^{\circ}\text{C}$), с получением газообразных продуктов и минерального остатка (золы). Полученную золу осадка можно применять в производстве строительных материалов [27]. Содержание CaO зола осадка значительно превосходит золы тепловых станций, что благоприятно влияет на прочность бетона. Достоинства метода сжигания заключаются в значительном уменьшении осадка, компактности оборудования.

Пиролиз, или сухая перегонка, представляет собой процесс термической переработки осадков путем высокотемпературного нагрева без доступа воздуха. Применение пиролиза осадков сточных вод имеет некоторые преимущества по сравнению с сжиганием. Например, преобразование горючих газов в электроэнергию может быть достигнуто более эффективно.

Кроме того, могут быть получены ценные газы, которые можно использовать в качестве топлива [28,29].

Получаемые продукты после пиролиза можно использовать в некоторых отраслях, например, полученный биоуголь может быть использован, в качестве адсорбента для очистки сточных вод. Проводимые результаты показали, что образованный уголь в процессе пиролиза, обладает большой поверхностью микропор и значительной адсорбционной способностью по сравнению с коммерческим активированным углем [30].

К недостаткам данного метода можно отнести высокую пожароопасность, в связи с этим, его использование требует особого внимания, так как наличие легковоспламеняющихся веществ требует дополнительного контроля при использовании данного метода. Также недостатком пиролиза является потеря органического вещества, а также исключение из сферы биологического круговорота некоторых биофильных макро- и микроэлементов.

1.2.1 Применение ила в качестве кормовых добавок и биофлокулянта

Исследования, проводимые за последние 40 лет в США, Канаде и Чехии, свидетельствуют о высоких кормовых качествах активного ила, что обусловлено высоким содержанием белков, аминокислот, липидов и витаминов [31]. Технология получения кормового белка из ила осуществляется при смешении измельченных отходов целлюлозы и ила с добавлением органических субстратов, а также минеральных веществ. На полученной основе выращивается активная ассоциация микроорганизмов, которые гидролизуют инертную биомассу, усваивают азот и другие биоорганические соединения. Процесс осуществляется в температурном диапазоне 25-45°C [32]. К сложности предлагаемой технологии относится подбор микробной ассоциации, которая бы сочетала в себе устойчивость к

изменению температуры процесса и усвоение гетерогенных органических остатков, содержащих слабо поддающиеся разложению соединения. В связи с этим технология в настоящее время осуществляется лишь на пилотных установках.

Ил характеризуется содержанием почти всех витаминов группы **B**: В настоящее время в Японии имеются разработки производства витамина **B₁₂** на базе активного ила. Важными при этом являются вопросы токсичности биомассы. Опыт использования биомассы отработанного активного ила, как кормовой добавки дает в отдельных случаях положительные результаты. При этом известны условия получения белкового препарата из активного ила. Наиболее целесообразным режимом выделения белка из биомассы активного ила является температура термообработки 130 - 135°C, время термообработки 20 – 30 мин, pH 9,0, при соблюдении которых выход белка составляет около 65%. Такой белковый препарат при определенных условиях может быть рекомендован в качестве кормовой добавки [33].

В научных работах Ксенофонтова Б.С. [34,35] рассматривается возможность использования избыточного активного ила в качестве биофлокулянта. Авторами отмечено, что применение активного ила для флокуляции обеспечивает снижение концентрации взвешенных веществ, содержащихся в сточных водах на 60-70% и биологическое потребление кислорода на 15-25%. Данный метод использования ила позволяет не только его частично утилизировать, но и также сократить расход синтетического флокулянта, который применяется для очистки сточных вод.

1.2.2 Использование ила в качестве биологического рекультиванта или удобрения в сельском хозяйстве

Использование избыточного активного ила в сельском хозяйстве, или применение его для биологической рекультивации земель – наиболее рациональные способы их утилизации. Утилизация избыточных илов при

соответствии их состава техническим требованиям, имеет огромное народно-хозяйственное значение:

- снижает загрязненность окружающей среды;
- помогает решать задачи продовольственного обеспечения;
- сокращает приобретение минеральных удобрений [15,36].

Анализ состава активного ила, свидетельствует о том, что он имеет высокую ценность как органический почвоулучшающий материал. По общему содержанию питательных веществ (азота, фосфора и калия) 1 тонна сухого вещества активного ила эквивалентна 100 кг такого ценного органоминерального удобрения. Осадки, применяемые в качестве органических или комплексных органоминеральных удобрений, должны соответствовать требованиям, приведенным в таблице 1.5 [37].

Таблица 1.5 – Основные технические требования к осадкам сточных вод при использовании их в качестве удобрения, регламентируемые ГОСТ Р 17.4.3.07-2001

Показатель	Значения
Влажность, %, не более	50
Органическое вещество, %, массы не менее	40
Азот (N) общий, % массы сухого вещества, не менее	1,6
Фосфор (P_2O_5), %, массы сухого вещества, не менее	0,6
Калий (K_2O), %, массы сухого вещества, не менее	0,2
Содержание микроэлементов, мг/кг сухого вещества	
Бор	до 15
Показатель	Значения
Кобальт	2-114
Марганец	60-715
Медь	66-3200
Молибден	0,5-11
Цинк	40-5000

Первоначально опыты по изучению использования осадка в качестве удобрения были проведены П.С. Севостьяновым (1931-1937 гг.), который сделал заключение, что данные осадки могут приравниваться к навозу и

минеральным удобрениям. Исследования в области влияния осадка на свойства почвы проводились такими учеными: М.А. Симоном В.И. Дмитриевой, П.А. Гордиенко, Н.П. Решецким, В.А. Касатиковым, Т.С. Кореневой, и другими исследователями. Ими установлено, что под влиянием осадков значительно уменьшается кислотность почв и увеличивается содержание азота, гумуса и фосфора. При этом отмечается, что накопление калия в почве не происходит, так как в иле недостаточно этого элемента. Попадая в почву, осадок окончательно минерализуется при этом азот, фосфор и другие элементы питания переходят в доступные для растения соединения. Например, увеличение собранного урожая зерновых культур, от внесения удобрения на основе избыточного активного ила в дозировке 30 т/га сухого вещества составило 20-25%, при этом сбор сена от внесения удобрения 10 и 30 т/га урожай повысился на 6,6 и 19,7%.

Хорошие результаты получают при возделывании кормовых культур ячменя, кормовой свеклы, кукурузы. При этом количество вносимого избыточного активного ила с влажностью 60% составляет от 7,5 до 22 т/га, а прибавка урожая увеличивается на 70-90 ц/га, что говорит об эффективности минеральных удобрений, но значительно дешевле и решает важную экологическую задачу [38,39].

В каждой стране существует целый ряд документов, регламентирующих условия применения осадка сточных вод в качестве удобрения. В США – «Правила применения твердых веществ биологического происхождения в земледелии»; в странах Евросоюза Директива 86/278/EEC «Задача почвы при использовании осадков сточных вод в сельском хозяйстве вод»; кроме того, в отдельных странах приняты региональные стандарты, регулирующие применение осадков сточных вод в сельском хозяйстве [40]. В европейских малоземельных странах, в условиях недостатка органических удобрений, основные требования, регулирующие применение осадков сточных вод в сельском хозяйстве, предъявляются к содержанию веществ, способных оказать негативное влияние на почву:

- тяжелые металлы;
- стойкие органические загрязнители;
- патогенные микроорганизмы.

Согласно нормативным документам Российской Федерации [37] по степени контаминации (Таблица 1.6), осадки делят на 2 группы. Удобрения I группы используются для выращивания технических, кормовых, зерновых и сидеральных культур. Удобрения II группы используются для посадки лесохозяйственных культур вдоль дорог, в лесных питомниках и декоративных культурах, цветоводстве, для окультуривания истощенных почв, рекультивации нарушенных земель и откосов автомобильных дорог, рекультивации свалок твердых бытовых отходов.

Таблица 1.6 – Санитарно-бактериологические и санитарно-паразитологические показатели осадков [37]

Наименование показателя	Норма для осадков группы	
	I	II
Бактерии группы кишечной палочки, клеток/г осадка фактической влажности	100	1000
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, клеток/г	Отсутствие	Отсутствие
Яйца геогельминтов и цисты кишечных патогенных простейших, экз./кг осадка фактической влажности, не более	Отсутствие	Отсутствие

При повторном использовании активного ила следует обязать ряд мероприятий, направленный на снижение болезнетворных микроорганизмов.

1.3 Формирование активного ила и его микробное сообщество

Активный ил представляет собой специфическое сообщество микроорганизмов, включающее гель-продуцирующие бактерии, и, формирующееся в условиях аэрации сточных вод гетеротрофами, хемотрофами, простейшими и многоклеточными животными, которые с учетом трофических взаимодействий, трансформируют загрязняющие вещества в результате биосорбции, биохимического окисления и потребления

бактериями и простейшими [41,42]. Для работы активного ила наиболее важно присутствие трех основных групп микроорганизмов:

- углеродокисляющих флокулообразующих, участвующих в образовании хлопьев для их быстрого осаждения;
- углеродокисляющих нитчатых, обеспечивающих формирование «скелета», вокруг которого образуются флокулы, нитчатые формы также являются активными окислителями органических веществ;
- нитрифицирующих микроорганизмов, превращающих аммонийный азот в нитриты и нитраты.

Состав активного ила формируется в зависимости от экологических условий, основными из которых являются состав обрабатываемых сточных вод, наличие или отсутствие растворенного кислорода, pH, температура, гидродинамическая структура потоков [43].

Типичными представителями биоценоза активного ила являются автотрофные и гетеротрофные бактерии родов *Pseudomonas*, *Bacterium*, *Micrococcus*, *Sarcina*, *Bacillus*, *Pseudobacterium*, *Azotobacter*, *Zoogloea ramirera* и др. Бактериальный состав активного ила колеблется в широком пределе: *Pseudomonas* — 20–65%, *Bacillus* — 2–30%, *Micrococcus* — до 2% [44...46]. В системах с изменяющейся нагрузкой на активный ил по ходу движения жидкости, изменяется состав микрофлоры. На начальной стадии процесса очистки, когда на единицу биомассы приходится большая часть субстрата, в биоценозе преимущественно развиваются гетеротрофные бактерии и простейшие, питающиеся растворенными компонентами сточной воды. Далее со снижением загрязненности воды уменьшается количество бактерий, появляется больше свободноплавающих простейших, питающихся бактериями. В конце процесса очистки развивается большое количество хищных простейших, появляются низшие беспозвоночные [47].

На завершающей стадии очистки сточных вод протекают процессы нитрификации, осуществляющиеся бактериями родов *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrobacter*, *Nitrospira* и *Nitrococcus*. Так же в активном иле

присутствуют, и денитрифицирующие бактерии, представленные родами: *Bacillus*, *Denitrobacillas*, *Micrococcus*, *Pseudomonas* и др. Субстрат для денитрификации — это органические вещества в самой сточной воде и в активном иле, так называемые внутренние источники [48...50]. Бактериальная обсеменённость активного ила очень велика, например, в 1 см³ ила при влажности 94,3 % содержание бактерий достигает 42 млн. [11].

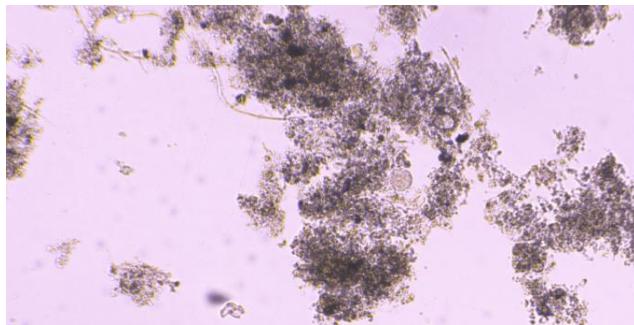


Рисунок 1.4 – Микроскопическая картина активного ила очистных сооружений г. Макеевки, × 40

Внешне активный ил представляет собой серо-коричневые хлопья, размеры которых могут достигать от 10 мкм до 1 мм (Рисунок 1.4). За счет того, что ил имеет развитую поверхность, которая составляет до 100 м²/г сухой массы, он обладает высокой адсорбционной способностью. На поверхности хлопков ила концентрируются клетки микроорганизмов и молекулы растворенных веществ.

По мере созревания активного ила, происходит укрупнение хлопьев, а также перераспределение микроорганизмов внутри хлопка активного ила [41]. В работе [52] автор представляет активный ил как скопление различных групп микроорганизмов, которые окутаны внеклеточными полимерными образованиями. Схематически процесс образования хлопьев активного ила представлен на рисунке 1.5 [53].

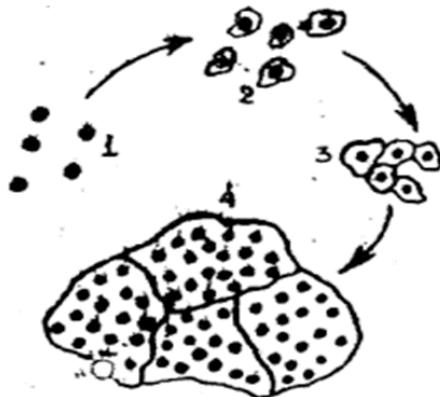


Рисунок 1.5 – Схема образования хлопьев активного ила:

- 1 – дисперсные клетки;
- 2 – дисперсные клетки в зооглейной капсule;
- 3 – микрохлопок, образовавшийся в результате слипания клеток;
- 4 – хлопок активного ила

Немаловажную роль в формировании играют бактерии, которыми населен активный ил. В формировании агрегатов важную роль играют бактерии *Zoogloea ramigera*, синтезирующие слизь полисахаридной природы. Капсулное вещество, которое окружает организмы *Zoogloea*, представлено в виде углеводного полимера, и имеет способность сорбировать хлопьеобразующие бактерии, участвующие в процессе деструкции загрязнений [54]. Таким образом, *Z ramigera* является стержнем, на котором собирается активный ил. В биоценозе активного ила присутствуют несколько видов нитчатых бактерий: *Thiothrix nivea*, *Eikelboom*, *Haliscomenobacter hydrossis*, *Sphaerotilus natans* и *Beggiaatoa alba*, которые являются обычными обитателями аэротенков и присутствуют в незначительных количествах [55]. В основном такого рода бактерии встречаются в активном иле, где на очистку поступают серосодержащие загрязняющие вещества. Основная их задача - окислить соединения серы до элементарной серы. Нитчатые бактерии также участвуют в формировании флокул активного ила, образуя, так называемую, сеть, за которуюдерживаются бактерии.

Механизм флокуляции активного ила еще до конца не выяснен, но известно, что большое значение при этом имеет слипание оболочек

бактериальных клеток за счет внеклеточных полисахаридов. В научной работе [56] флокуляция активного ила происходит за счет синтезирования бактериями в среду внеклеточных биополимеров – полисахаридного геля. Наличие геля обуславливает агрегацию микроорганизмов и образование флокул.

По мере созревания активного ила происходит укрупнение хлопьев, а также перераспределение микроорганизмов внутри хлопка активного ила [52]. В своей работе Никитина О.Г. предлагает свою версию механизма флокуляции: бактерии объединяются за счет ворсинок – выростов бактериальной оболочки, покрытых внеклеточными полимерными веществами (ВПВ) (Рисунок 1.6.).

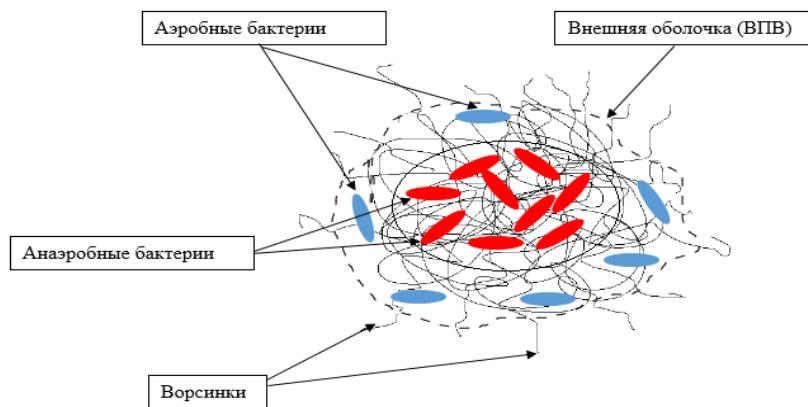


Рисунок 1.6 - Схема строения флокулы активного ила

Ворсинки выходят далеко за пределы бактериальных клеток, ветвятся и, соприкасаясь, срастаются, и образуют общий канал, по которому осуществляется обмен информацией и половыми продуктами. Флокула активного ила состоит из нескольких зон: в наружной оболочке находится аэробная, внутри образуется аноксидная, а непосредственно в центре располагается анаэробная.

Имея хорошую сорбционную способность, активный ил аккумулирует на себя ионы тяжелых металлов, находящихся в поступающей сточной воде. Ряд микроорганизмов активного ила способен осуществлять активный транспорт тяжелых металлов внутрь клеток [57] (Рисунок 1.7.).

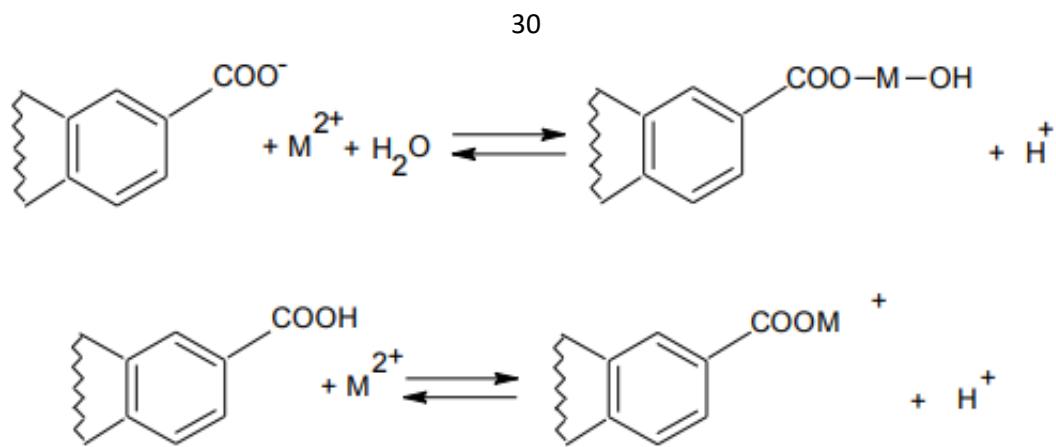


Рисунок 1.7 – Схема транспорта тяжелых металлов внутрь клетки активного ила [57]

При этом токсичное воздействие ионов тяжелых металлов на микроорганизмы активного ила разнообразно. Они могут, как разрушать клеточные оболочки, так и выступать в качестве аналогов жизненно важных биологических элементов, замещая их в биохимических реакциях, нарушая ход жизненных процессов.

Существующие методы удаления ионов тяжелых металлов можно подразделить на химические, физико-химические и реагентно-биологические. Химические методы заключаются в обработке ила реагентами, в технической литературе этот метод называют реагентным выщелачиванием [58]. Реагентное выщелачивание основано на химическом взаимодействии кислот с ионами металлов, с образованием растворимых солей. При этом образующиеся соли в кислой среде (рН 2–3) переходят в иловую воду, и их концентрация в твердой фазе осадка уменьшается. Жидкую фракцию ила, полученную фильтрованием, в дальнейшем подвергают обработке щелочным реагентом с целью выделения тяжелых металлов.

Много внимания извлечению ионов тяжелых металлов из избыточного активного ила посвятили ученые из Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Для извлечения тяжелых металлов из илов авторами Зыковой И.В., Пановым В.П. [59] предложен метод замещения тяжелых металлов на кальций. Для этого предлагается введение

малорастворимых солей кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaCO_3 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и др. Была доказана необходимость наличия поверхности именно малорастворимых кальциевых материалов для протекания процесса извлечения тяжелых металлов. Замещенные кальцием металлы выносятся в жидкую фазу в виде истинно растворимых соединений и в виде коллоидных частиц [60].

Реагентно-биологический метод основан на сочетании биологических процессов и реагентной обработки осадка. Он включает анаэробную стабилизацию осадков в метантенке, последующую промывку сброшенного осадка, аэробную биологическую обработку его ацидофильными микроорганизмами в кислой среде с добавлением железного купороса и серной кислоты. После этого иловая вода, образующаяся при фильтр прессовании, в дальнейшем обрабатывается флокулянтом для извлечения из нее тяжелых металлов. Обезвоженный осадок нейтрализуется карбонатом кальция [61].

В Белорусском государственном технологическом университете была рассмотрена обработка избыточного активного ила с помощью ультразвуковой обработки. Данный метод обработки показал выделение ионов тяжелых металлов из активного ила в жидкую фазу. При этом концентрация свинца и цинка в активном иле снизилась на 42%, никеля и хрома на 25%, самый малый эффект выделения показал кадмий и медь 12-16% [63]. Металлы, перешедшие в жидкую фазу, находятся в составе взвешенных частиц в растворе. Из жидкой фазы иловой суспензии, обработанной ультразвуком, тяжелые металлы могут быть извлечены с помощью сорбционных материалов [62].

Существующие технологии удаления из илов тяжелых металлов связаны со сложностью технологических схем и нуждаются в больших капитальных вложениях при их внедрении. Кроме того, они характеризуются значительными затратами реагентов или высокой энергоемкостью. Причиной тому является взаимодействие ионов тяжелых металлов с органической

частью осадков с образованием довольно разнообразных стойких форм соединений, из которых тяжело изъять ионы металлов.

Одним из перспективных направлений в обработке избыточного активного ила, содержащего ионы тяжелых металлов, является использование новой технологии, основанной на глубокой минерализации их органического вещества, разработанной на кафедре «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» [64...66]. Технология глубокой минерализации дает возможность не менее чем на 95% ликвидировать содержание твердой фазы осадков за счет биологического окисления органической его части. В процессе окисления органических веществ ионы тяжелых металлов с твердой фазы осадка переходят в иловую воду. После обработки осадка по технологии глубокой минерализации в итоге остается только иловая вода с содержанием взвешенных веществ на уровне 200 – 300 мг/дм³. С иловой водой выводятся также и соединения тяжелых металлов, которые в дальнейшем должны удаляться из иловой воды. Важно учитывать непостоянство состава осадков во времени, связанное с совершенствованием технологий очистки сточных вод или по другим причинам.

Тяжелыми металлами загрязнены, в основном, осадки городских сточных вод промышленных регионов. Сброс недостаточно очищенных производственных стоков в городскую канализацию является основной причиной накопления тяжелых металлов в осадках. Так, например, концентрация ионов тяжелых металлов в активном иле Макеевских очистных сооружений за последние семь лет значительно уменьшилась. По отчетным данным [68] концентрация ионов тяжелых металлов в 2011 году превышала допустимые нормы содержания ионов тяжелых металлов в осадке, что затрудняло его использование в качестве удобрения. В 2018 году были проведены собственные исследования [69,70] которые показали значительное снижение концентрации ионов металлов. Концентрация металлов в образцах активного ила за 2011 и 2018 года и допустимые концентрации содержания

ионов тяжёлых металлов в осадке, используемые в сельском хозяйстве в качестве удобрений, приведены в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Содержание ионов тяжёлых металлов в активном иле Макеевских очистных сооружений [69]

Ионы металлов	Концентрация ионов металлов в активном иле, мг/кг		Норма для групп удобрений, мг/кг	
	2011 г.	2018 г.	I*	II**
Медь	17,9	2,54	132	750
Хром	31,6	0,94	90	500
Цинк	406,8	57,74	220	1750
Свинец	47,5	0,18	130	250
Никель	272,4	10,32	80	200
Кадмий	27,8	0,36	2,0	15

I* - Удобрения I группы используются для выращивания технических, кормовых, зерновых и культур; II** - Удобрения II группы используются для посадки лесохозяйственных культур.

Полученные данные свидетельствуют, что в 2011 году содержание ионов цинка, никеля и кадмия превышали допустимые нормы содержания ионов тяжёлых металлов в осадке для повторного использования в качестве удобрительного материала. Показатели ионов тяжелых металлов за 2018 год входят в допустимые нормы [37].

Таким образом, в случае исключения сброса производственных сточных вод в городскую канализационную сеть концентрации ионов тяжелых металлов в активно иле входят в допустимые нормы, при повторном его использовании в качестве удобрительного материала. На сегодняшний день нерешённой проблемой является удаление патогенных групп микроорганизмов из активного ила.

1.3.1 Патогенная обсеменённость активного ила

Важной характеристикой активного ила является его патогенная обсеменённость. Значительное количество патогенных (болезнетворных) микроорганизмов ежедневно поступают в канализационную сеть. Источником патогенных микроорганизмов, поступающих на городские очистные сооружения, являются хозяйственно-фекальные стоки. Жизнеспособность патогенных микроорганизмов может достигать от нескольких месяцев до нескольких лет. Микроорганизмы, присутствующие в городских сточных водах, разделяются на патогенные и условно патогенные [71...73].

Условно-патогенные микроорганизмы, в основном, представлены группой кишечной палочки [76]. В отходах жизнедеятельности человека примерное содержание бактерий кишечной палочки достигает $1 \cdot 10^{12}$ КОЕ в сутки, поэтому бытовые сточные воды загрязнены данными микроорганизмами [74,75].

Патогенные микроорганизмы в осадке сточных вод представлены бактериями родов *Salmonella* sp., *Brucella*, *Esherichia coli*, *Enterobacter* sp., *Staphylococcus* *Sterptococcus faecalis*. Кроме того, в разных странах мира в иле обнаружаются *Fecal coliforms*, *E. Coli*, *Yersinia* spp., *Legionella pneumophila*, *Campylobacter* spp., *Arcobacter butzeri*, *Enterococcus* spp., *Listeria* spp., *Clostridium* spp., а также энтеровирусы, полиомавирусы, реовирусы, аденоовирусы, норовирусы и др. [73,74,75,77]. Санитарно-гельминтологические исследования указывают на значительное количество яиц гельминтов в городских сточных водах, количество которых достигает от единиц до нескольких тысяч [78...80]. В основном, в сточных водах находятся не сами гельминты, сколько их яйца, особенно яйца аскарид.

Вирусы являются одними из разнообразных патогенов человека передающихся через воду. Вирусы представлены родами *Hepatitis virus*, *Corsicule virus* и другими. Количество вирусов в неочищенных сточных водах может достигать $10^3 - 10^7$ БОЕ/дм³. Количество вирусов в стоках зависит от

таких факторов как, время года, расположение географического района. Обычно в сточных водах содержится гораздо больше фекальных бактерий, чем вирусов [78,73,81,82]. Кроме того, в осадках могут содержаться также различные патогенные грибы, такие как *Bipolaris sorokiniana*, *Botrytis cinerea*, которые являются возбудителями болезней как у людей, животных, так и у растений. Все патогенные микроорганизмы, присутствующие в стоках могут вызывать такие болезни, как кишечные инфекции, сальмонеллез, гельминтоз, гепатит А и другие.

Процесс биологической очистки городских сточных вод является наиболее эффективным методом удаления из сточных вод одиночных клеток патогенных бактерий и вирусов, не прикрепленных к частицам активного ила. В таблице 1.8 представлено изменение болезнетворных микроорганизмов в сточных водах до и после биологической очистки.

Таблица 1.8 – Болезнетворные микроорганизмы в сточных водах [83]

Болезнетворные микроорганизмы	Концентрация в 100 мл сточных вод	
	Исходная	После биологической очистки
<i>E.coli</i>	10^7	10^4
<i>C. perfringens</i>	10^4	10^2
<i>Salmonella</i>	200	1
<i>Campylobacter</i>	$5 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^2$
Колифаги	10^5	10^3
Энторовирусы	5000	500
Ротовирусы	50	5

Снижение количества патогенов происходит за счет их соосаждения с активным илом. Находящиеся в сточной воде отдельные клетки болезнетворных бактерий, вирусы и гельминты могут быть свободноплавающими или закрепленными на поверхности взвешенных веществ [84]. Микроорганизмы, связанные с более плотными частицами, быстро оседают, в то время как микроорганизмы, связанные с более легкими частицами, обычно остаются во взвешенном состоянии в жидкости. Осаждение патогенов при отстаивании происходит по-разному [85]. Так,

например, скорость осаждения яиц гельминтов происходит более эффективно ($87\text{-}158 \text{ мкм с}^{-1}$ для *Ascaris suum*, *Trichuris suis* и *Oesophagostomum spp.*), простейших ($0,27\text{-}1,4 \text{ мкм с}^{-1}$ для *Giardia* и *Cryptosporidium*), бактерий ($0,14\text{-}0,5 \text{ мкм с}^{-1}$ *E. Coli*, энтерококки и *C. Perfringens*) [13].

На рисунке 1.8 представлена динамика изменения колиформных бактерий по стадиям очистки городских сточных вод на Макеевских очистных сооружениях.



Рисунок 1.8 – Изменение колиформных бактерий по стадиям очистки городских сточных вод

Так, после первичного и вторичного отстаивания, в сточных водах содержание колиформных бактерий снижается на 70...90%. Преобладающая часть болезнетворных микроорганизмов относится к анаэробам в том числе и факультативным, к которым относятся: *Citrobacter*; *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, *E. Coli*, *Salmonella* [77,86]. Учитывая то, что большинство болезнетворных микроорганизмов анаэробы, можно предположить, что их размещение происходит в аноксидных и анаэробных зонах флокулы ила.

1.4 Существующие способы обработки активного ила от патогенной обсеменённости

Известны несколько способов обработки активного ила от болезнетворных микроорганизмов, которые представлены на рисунке 1.9 [19,87,88].

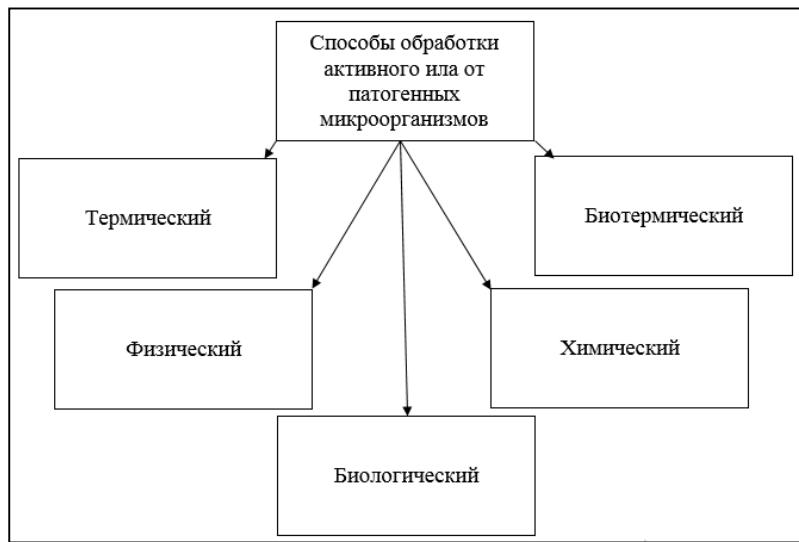


Рисунок 1.9 – Основные способы обработки активного ила от болезнетворных микроорганизмов

Достаточно глубоко проработана технология химического и термического обеззараживания осадков. Получает распространение обработка ила ультразвуком, током высокой частоты, а также ультрафиолетовое облучение [89].

Химическое обеззараживание осадков осуществляется с добавлением различных реагентов, таких как негашёная известь, аммиак, тиазон, формальдегид и мочевина. Остаточное содержание этих веществ в активном иле приводит к предотвращению реактивации патогенных микроорганизмов и поддержанию стабильности осадка [90].

В настоящее время самым распространяемым реагентом при обеззараживании является негашеная известь. Данный вид обработки широко используется за рубежом, а также в Российской Федерации. Бактерицидное действие негашёной извести происходит за счет повышения температуры при ее гашении. По данным исследований [91] температура осадка при добавлении извести при гашении достигает температуры более 50°C. Процесс гашения происходит по реакции (1.2):



Однако, стоит отметить, что процесс гашения, а, следовательно, и повышение температуры происходит при достаточном количестве влаги в

осадке. Введение извести в ил сопровождается повышением щелочности осадка. Рекомендуется выдерживать осадок после обработки известью в течение двух суток при pH 12 [54]. Однако, проведённые исследования [92] показали, что полная гибель микроорганизмов (БГКП, *Enterococcus*, *S.typhimurium*) и вирусного показателя (*Bacteriophageum*) наблюдалась при времени экспозиции не более трех часов.

По данным института медицинской паразитологии и тропической медицины имени Е.И. Марциновского было установлено полное обеззараживание обезвоженных осадков сточных вод при смешивании их с аммиачной водой в количестве 5% (по аммиаку) по массе осадка. При этом, время выдержки составило не менее 10 суток, температура поддерживалась в районе 20°C. Также, учеными из института медицинской паразитологии и тропической медицины имени Е.И. Марциновского, было предложено применение тиазона. Проведенные опыты на Курьяновской станции аэрации с использованием тиазона подтвердили его высокую эффективность обеззараживания ила от патогенности при дозе 0,2-2% от общей массы осадка [93,94].

Основной недостаток химического обеззараживания связан с тем, что применяемые вещества токсичны и взрывоопасны и требуют осторожного обращения при обработке осадков. Кроме того, для осуществления процесса обеззараживания требуется дорогостоящие реагенты и оборудование. Это основные факторы, сдерживающие широкомасштабное применение этого метода на практике.

Одним из распространенных методов является обеззараживание ила при высокой температуре. Термический метод обработки ила заключается в его пастеризации при высоких температурах. На станциях биологической очистки избыточный активный ил нагревается в специальных резервуарах до температуры 55 – 100°C. Обеззараживание жидких осадков нагреванием до температуры 100°C при экспозиции в несколько минут обеспечивает гибель яиц гельминтов и отмирание патогенных микроорганизмов. При температурах

50-55°C на протяжении 5 минут гибнут патогенные микроорганизмы, а при температуре 60-75°C и продолжительности экспозиции 30 минут отмирают вирусы [95].

Одним из методов обеззараживания с использованием солнечной энергии является сушка активного ила в специальных теплицах, которые с 1994 г. применяются в Германии. Предварительно обезвоженный осадок равномерно распределяется по поверхности теплицы (ширина 8-10 м) и перемещается вдоль нее с помощью автоматического агрегата непрерывного ворошения и продольного перемещения осадка по фронту, равному рабочей ширине теплицы. Конечная влажность материала близка к 10%. По испаряемой влаге удельная производительность составляет 700-800 кг/м² теплицы при расходе электроэнергии 20 кВт·ч/т и себестоимости 100-180 евро за 1 т [96].

Наряду с термическим обеззараживанием на иловых площадках за рубежом используют ионизирующее излучение (компания «Сандия Иrrадпатор фор Драйд Сэвэдж», США, 1979 г.). Осадки обеззараживаются в подземном помещении в 15-ти контейнерах из нержавеющей стали. В результате погибают все патогенные микроорганизмы, при этом питательные вещества осадков сохраняются. Термический метод обладает высокой обеззараживающей способностью, однако экологически небезопасен и требует строгого соблюдения технологических параметров обработки.

Биотермическая обработка активного ила заключается в его компостировании. Эффективность компостирования ила зависит от физико-химического состава ила, условий жизнедеятельности микроорганизмов, тепломассобмена. В процессе биотермического разложения органических соединений ила под воздействием микроорганизмов наблюдается переход от мезофильного к термофильному режиму. При этом возрастают скорости биотермических реакций. Продолжительность процесса компостирования в штабелях составляет 3 – 4 месяца. Механизировав данный процесс, можно достичь сокращения времени от 2 до 12 суток. Компост получает вид сыпучего

материала. Он содержит необходимые элементы для роста и развития растений [98,99].

Физическое обеззараживание илов заключается в радиационном методе. Обработка осуществляется электронами и гамма-лучами в 1 Мрад и выше, при этом полностью уничтожаются патогенные кишечные бактерии и яйца гельминтов. При облучении необходимо создавать равномерный слой осадка толщиной, не превышающей проникающей способности электронов [100].

В работе [101] рассмотрен физический метод обеззараживания осадка с помощью кавитации. Характер воздействия кавитации приводит к разрушению микробной клетки и изменению функционального состояния микроорганизмов. В течении двух часов обработки осадка общее количество бактерий уменьшилось в 1,8 раз, а количество БГКП снизилось в 5,3 раза.

Сдерживающими факторами осуществления эксплуатации, приведённых методов снижения патогенной обсеменённости избыточного активного ила, является дорогостоящие реагенты и оборудования. Также, стоит отметить, что при химической обработке применяемые вещества токсичны и взрывоопасны, что требует осторожного обращения при обработке избыточного активного ила.

1.4.1 Биологическая обработка избыточного активного ила

На ряду с химическими методами обеззараживания используется биологический метод, основанный на способности специфического биоценоза аэробной стабилизации снижать, патогенность осадка.

Влияние аэробной стабилизации на обеззараживание илов недостаточно освещено в литературе. Известно, что в стабилизированном осадке содержание патогенных микроорганизмов и вирусов снижается на 70...90%, при этом яйца гельминтов не погибают [15].

Аэробная стабилизация является неотъемлемой частью технологии обработки осадка перед его утилизацией и нашла достаточно широкое

применение. Основная цель стабилизации – затормозить гнилостные процессы и предотвратить выделение вредных газообразных продуктов.

В результате жизнедеятельности специфического биоценоза часть органического вещества окисляется, при этом осадок приобретает стабильные свойства [102,103].

В процессе аэробной стабилизации микроорганизмы первоначально окисляют доступные растворенные в воде органические загрязнения, а затем происходит самоокисление бактериальных клеток ила. Вследствие этого, из бактериальных клеток выделяются органические компоненты распада, которые впоследствии являются доступным экзогенным субстратом для других бактерий [104,105].

Процесс аэробной стабилизации осуществляется гетеротрофными и автотрофными микроорганизмами. Основу биологических процессов при стабилизации составляет аммонификация, в результате которой происходит биологическое окисление органических веществ, в том числе азотосодержащих, при этом выделяется аммонийный азот [106,107].

Экспериментально установлено [108], что процесс аэробной стабилизации обычно происходит при температуре от 10 до 42°C и затухает при температуре менее 8°C. Степень распада органических веществ изменяется в среднем от 10 до 50 %, при этом жиры распадаются на 65-75%, белки 20-30%, а углеводы практически не распадаются. Расход воздуха на стабилизацию необходимо принимать 1-2 м³/ч на 1 м³ вместимости стабилизатора. При этом интенсивность аэрации должна составлять не менее 6 м³/ (м²·ч).

Для стабилизации могут использоваться разные емкостные сооружения, например, переоборудованные отстойники, уплотнители, аэротенки и т.п. Как правило, аэробная стабилизация осадков осуществляется в открытых сооружениях типа аэротенков с предпочтительной глубиной 3 – 5 метров.

Процесс аэробной стабилизации может осуществляться по нескольким схемам [15], представленным на рисунке 1.10.

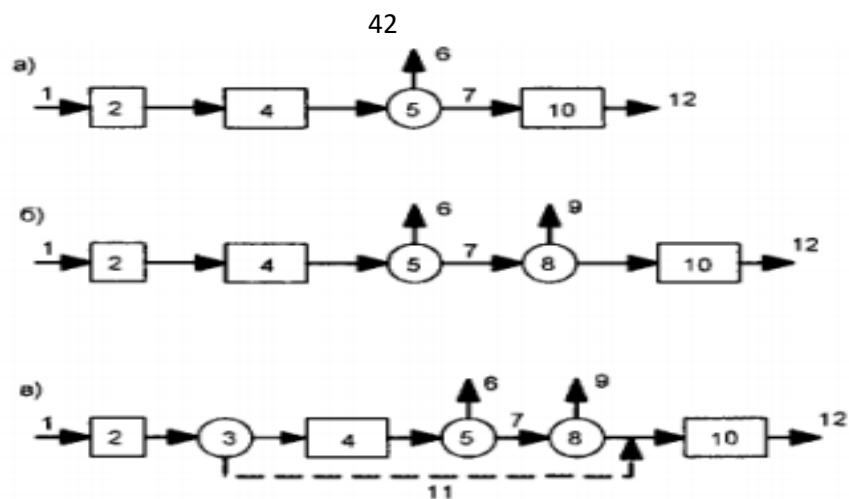


Рисунок 1.10 – схемы аэробной стабилизации:

- 1 – подача сточных вод; 2 – решетки и песколовки;
- 3 – первичные отстойники; 4 – аэротенки;
- 5 – вторичные отстойники;
- 6 – очищенные сточные воды;
- 7 – избыточный активный ил;
- 8 – илоуплотнители;
- 9 – иловая вода;
- 10 – стабилизатор;
- 11 – осадок из первичного отстойника;
- 12 – стабилизированный осадок

Простейшая является схема, применяемая на очистных сооружениях без первичного отстаивания, при этом избыточный активный ил поступает в стабилизатор непосредственно из вторичных отстойников или после илоуплотнителей (Рисунок 1.2 схемы, а; б). Возможна совместная стабилизация осадка из первичных отстойников с уплотненным активным илом (Рисунок 1.2 схема в).

Контроль за процессом аэробной стабилизации проводится по скорости потребления кислорода, а также ферментативной активности ила, которые снижаются до определённой величины, после чего изменяются незначительно.

Аэробная стабилизация обеспечивает получение биологически стабильных продуктов, низкие показатели влагоотдачи осадка и простоту в эксплуатации. К недостатку данного метода можно отнести: высокие затраты электроэнергии на аэрацию.

Аэробная стабилизация обеспечивает:

- стабильность активного ила при длительном его хранения;
- не обладает токсичностью;

- не превышает допустимых значений рН (6...8);
- обеспечивает экологическую безопасность.

1.5. Выводы по первой главе

1. Очистка городских сточных вод сопровождается образованием значительного количества органических осадков (сырой осадок и избыточный активный ил), которые повторно не используются из-за наличия токсичных веществ и высокой патогенной обсеменённости.

2. Активный ил обладает высокими удобрительными свойствами за счет наличия органических веществ, азота, фосфора, калия и других биогенных микроэлементов, а также не имеет неприятного запаха. Проанализировав существующие способы использования активного ила установлено, что наиболее рациональным направлением является применение его в качестве удобрительного материала или рекультиванта неплодородных почв.

3. Основными сдерживающими факторами применения ила в качестве удобрительного материала, являются патогенная обсеменённость, выделение газообразных продуктов и гнилостные процессы.

4. Существующие методы снижения патогенной обсеменённости основываются на реагентной и тепловой обработке. Однако данные методы не нашли широкого применения при эксплуатации на станциях биологической очистки из-за сложности оборудования и высоких энергетических затрат.

5. Аэробная стабилизация активного ила является универсальным методом, обеспечивающим стабильные свойства ила и гибель патогенных микроорганизмов.

ГЛАВА 2

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ БИОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА ОТ ПАТОГЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ

Литературный обзор показал, что с экономической точки зрения наиболее оправданными являются биологические и химические методы обработки ила от патогенной обсеменённости для его повторного использования в качестве удобрительного материала. В основу гипотезы биологического метода положен механизм проникновения во флокулу активного ила кислорода и окисленных форм азота, повышающие окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) среды, что оказывает губительное действие на анаэробные патогенные микроорганизмы, заселяющие активный ил.

2.1 Биологическая и химическая обработка активного ила с целью снижения патогенной обсеменённости

Известно, что патогенные микроорганизмы в большинстве являются анаэробами, поэтому, при создании аэробных условий, они погибают. Аэробные условия характеризуются положительным значением ОВП. В свою очередь, ОВП зависит от присутствия в водной среде окислителей и восстановителей. К окислителям можно отнести растворенный кислород и окисленные формы азота, которые образуются в процессе нитрификации.

Известно, что, если ОПВ более +650 мВ, бактерии *E. coli* погибают в течение нескольких секунд. Для уничтожения более стойких микроорганизмов - *Listerella*, *Salmonella*, дрожжи и грибки ОВП должно быть +750 мВ и выше. Хотя в некоторых источниках приведены данные показывающие, что единичные клетки болезнетворных бактерий, такие как *E. coli*, *Salmonella*, *Listeria*, в окислительной среде с ОВП более +665 мВ, имеют

время выживания менее 30 секунд, а при ОВП менее +485 мВ время жизнедеятельности составляет более 300 секунд. Высокие значения ОВП оказывают губительное воздействие на группу гнилостных бактерий, которые участвуют в глубоком распаде белков активного ила с образованием неприятного запаха.

В биологических системах для характеристики окислительно-восстановительных условий используется параметр rH_2 . Этот параметр представляет собой отрицательный логарифм давления молекулярного водорода в среде. Его величина изменяется в пределах 0 – 41 и может характеризовать присутствие в осадках, как анаэробных, так и аэробных условий. Нижний предел для аэробов rH_2 – 15, облигатные анаэробы живут в диапазоне rH_2 не выше 12...14. Величина rH_2 зависит от Eh и pH в соответствии с уравнением (2.1):

$$rH_2 = \frac{Eh}{0,029} + 2pH. \quad (2.1)$$

Значения ОВП служат одним из базисных параметров для оценки эффективности обеззараживания осадка от патогенной обсемененности. В биологических системах с активным илом значение rH_2 в значительной мере зависит от окислительно-восстановительного потенциала, который в аэротенках варьируется в пределах +100 ...+350 мВ. Кроме того, rH_2 характеризует суммарное окислительно-восстановительное состояние среды, обусловленное не только концентрацией (парциальным давлением) кислорода и водорода, но и всеми присутствующими окислителями и восстановителями.

Химическая обработка осадка происходит под действием активных форм кислорода (АФК), к которым относятся пероксид водорода (H_2O_2), гидроксильный радикал (OH^-), молекулярный кислород, озон и т.д. Влияние АФК оказывает прямое деструктивное действие на клеточные структуры болезнестворных микроорганизмов. Наиболее активными дезинфицирующими свойствами по отношению к патогенам выступает гидроксильный радикал.

Большинство патогенных микроорганизмов культивируются в нейтральной или слабощелочной среде при pH 7,2...8,0. Значение pH 9 и более

является губительным для патогенных микроорганизмов. Изменение рН в щелочную сторону влияет на знак заряда поверхности клетки, что приводит к изменению проницаемости клеточной мембраны по отношению к питательному субстрату и нарушению нормального процесса обмена веществ. Щелочная среда ингибирует активность эндо и экзо ферментов, интенсивность и направление биохимических реакций, что приводит, в конечном счете, к гибели патогенных микроорганизмов. Одним из щелочных реагентов при обработке избыточного активного ила является негашёная известь.

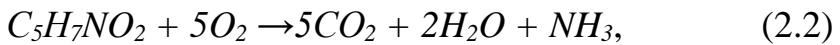
Добавление негашёной извести сопровождается образованием гидроксида кальция, повышением температуры и щелочности ила. Гидроксиды обладают высокой реакционной способностью и приводят к разрушению практически всех клеточных веществ патогенных микроорганизмов.

Таким образом, снижения количества болезнетворных микроорганизмов активного ила можно достичь за счет повышения ОВП или обработкой щелочным реагентом.

2.2 Механизм повышения окислительно-восстановительного потенциала иловой смеси в процессе нитрификации

Неорганическими окислителями при биологической очистке сточных вод являются свободный кислород, нитрат, нитрит и др. Таким образом, повышения ОВП иловой воды можно достичь насыщением кислорода в процессе аэробной стабилизации осадка с протеканием многостадийной биологической нитрификации.

Основой биологических процессов при аэробной стабилизации является аммонификация, в результате которой происходит биологическое окисление органической части активного ила, с выделением связанного азота:

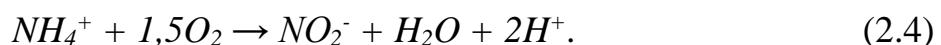


где $C_5H_7NO_2$ – гипотетическая формула активного ила.

Наличие в аэрируемой среде растворенного кислорода и связанного азота создает условия для протекания процессов нитрификации, конечным итогом которой является образование нитритов и нитратов. Процесс можно представить в виде следующего уравнения:



Нитрификация проходит в две фазы. Первая фаза осуществляется представителями *Nitrosomonas*. Вначале происходит окисление аммония до нитритов:



Вторая фаза окисления нитритов в нитраты осуществляется бактериями из родов *Nitrobacter*:



С помощью фермента монооксигеназы в процессе нитрификации образуется промежуточное соединение гидроксиламин (NH_2OH) (Рисунок 2.1) [55].

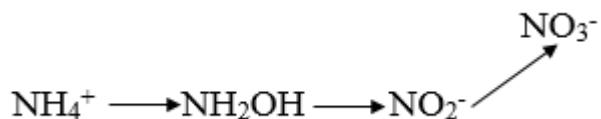
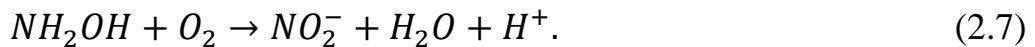


Рисунок 2.1 – Схема образования азота при биологических процессах нитрификации

Окислительно-восстановительный потенциал пары азота NH_4^+/ NH_2OH составляет +890 мВ, что значительно больше, чем ОВП молекулярного кислорода ($O_2 = +682$ мВ). Гидроксиламин – реакционное соединение, обладающее бактерицидными свойствами, которое получить химическим путем затруднительно. Реакция возможна биологическим путем – переносом электронов по дыхательной цепи против термодинамического потенциала с затратой энергии с участием фермента монооксигеназы. При этом ферментативно аммиак окисляется до гидроксиламина:



Гидроксиламин является реакционноспособным веществом и при нейтральном pH 7 – 8 обладает сильными окислительными свойствами. Далее гидроксиламин с помощью фермента гидроксиламинооксидоредуктазы окисляется до нитрита:



В качестве промежуточного продукта предполагается образование нитроксила:



Пары соединений азота в нейтральной среде имеют следующие ОВП: NH₄⁺/NH₂OH = + 0,89 В; NH₄⁺/NO₂⁻ = +0, 87 В; HNO₂/NO₃⁻ = + 0,84 В; NO₂⁻/NO₃⁻ = + 0,42 В.

Поскольку потенциалы форм азота очень близки, то это дает предпосылки для их взаимного перехода из одного соединения в другое. Реакции окисления всех форм азота в соединениях, содержащих кислород, идут с выделением ионов водорода [H⁺], то есть, с повышением кислотности раствора. В свою очередь, повышение кислотности раствора и увеличение концентрации окисленных форм азота (NO₂⁻, NH₂OH, N₂O, NO и т.д.) приводит к повышению окислительно-восстановительного потенциала. Повышение ОВП в системе с активным илом, можно рассчитать ссылаясь, на формулу Нернста (2.9). При температуре +25°C и атмосферного давления это уравнение выглядит следующим образом:

$$E = E^0 + \frac{0.059}{n} \ln \frac{[OX] \cdot [H^+]}{[Red]} \quad (2.9)$$

где E⁰ – стандартный потенциал;

n – число электронов, участвующих в процессе;

[OX] – активность вещества в окисленной форме;

[Red] – активность вещества в восстановленной форме.

При расчете окислительно-восстановительного потенциала его значение больше, чем стандартного потенциала, что свидетельствует о повышении ОВП в иловой воде.

Таким образом, при аэробной стабилизации активного ила при наличии в аэрируемой среде растворенного кислорода и аммонийного азота создаются условия для протекания процессов нитрификации, конечным итогом которой является образование окисленных форм азота NO_2^- и NO_3^- , а также промежуточного реакционноспособного соединения гидроксиламина, повышающих ОВП среды.

2.3 Влияние кислорода и окисленных форм азота на величину ОВП и размеры аэробной зоны флокулы ила

Многочисленные экспериментальные данные показывают определенную взаимосвязь между значениями ОВП и гибелью неприкрепленных к флокуле ила патогенных микроорганизмов. На распределение и гибель патогенов в активном иле накладываются дополнительные диффузационные ограничения, связанные с проникновением активных форм кислорода внутрь флокулы.

По мере созревания активного ила происходит укрупнение хлопьев, а также перераспределение различных групп гетеротрофных и автотрофных микроорганизмов, включая патогенные. Флокула активного ила состоит из нескольких зон: в наружной оболочке находится аэробная, внутри образуется аноксидная, а непосредственно в центре, располагается анаэробная. На размеры зон оказывают влияние процессы диффузии субстрата, кислорода, нитратов, а также интенсивность перемешивания активного ила при аэрации воздухом. Высокая турбулентность потока приводит к временному дроблению флокул ила на отдельные клоны и, следовательно, к уменьшению их размеров и увеличению объема аэробных зон. Снижение интенсивности аэрации способствует агрегации флокул и увеличению объема анаэробных зон.

В аэробных зонах флокулы ила увеличивается ОВП, способствующий снижению патогенной обсемененности. Также уменьшение размеров флокул ила возможно при механическом воздействии и добавлении сильных

окислителей, действующих на разрушение внеклеточных полимерных веществ, обволакивающих флокулу ила.

Рассчитать соотношения размеров аэробных и анаэробных зон можно, зная степень проникновения кислорода и окисленных форм азота во флокулу. Транспорт органического вещества, кислорода и нитратов во флокулу активного ила происходит под действием диффузии. Степень их проникновения можно рассчитать по уравнению (2.10):

$$\beta = \sqrt{\frac{2DS}{k_0 L^2}} , \quad (2.10)$$

где D - коэффициент диффузии;

S - концентрация вещества;

k_0 - константа скорости удаления продукта,

L – толщина флокулы.

Из уравнения (2.10) можно определить на какую глубину проникает тот или иной субстрат:

$$\beta L = \sqrt{\frac{2DS}{k_0}} . \quad (2.11)$$

По зависимости (2.11) можно определить проникновение кислорода и нитратов, зная коэффициенты диффузии. Исходя из этого, можно ориентировочно определить размеры аэробных и анаэробных зон.

В зависимости от концентрации кислорода в объеме жидкости изменяются размеры аэробной зоны флокулы, так, чем выше концентрация кислорода, тем больше аэробная зона и выше значения ОВП [117]. Окислительный потенциал в объеме аэрируемой жидкости всегда выше, чем в аэробной зоне флокулы ила. В своей работе Нездойминов В.И. привел расчет, который показал, что кислород полностью проникает во флокулу на толщину 100...125 мкм, а нитраты и нитриты до 200 мкм. Несложные вычисления показывают, что при условном диаметре флокулы активного ила 200 мкм, аэробная зона составляет не более 80%. В данной зоне, в основном, преобладают аэробные гетеротрофные и автотрофные нитрифицирующие микроорганизмы. В анаэробных зонах, где окислительно-восстановительный

потенциал поддерживается $-200\dots+50$ мВ, размещаются денитрифицирующие и патогенные микроорганизмы. Полученные микропрофили при микроэлектродных измерениях, подтверждают неоднородность окислительных процессов внутри флокулы активного ила. В связи со сложностью измерения ОВП внутри флокулы ила, то величину аэробной зоны косвенно можно определять по концентрации растворенного кислорода и нитратов в объеме жидкости, где культивируется активный ил. На рисунке 2.2 схематично представлены значения ОВП в различных зонах флокулы ила.

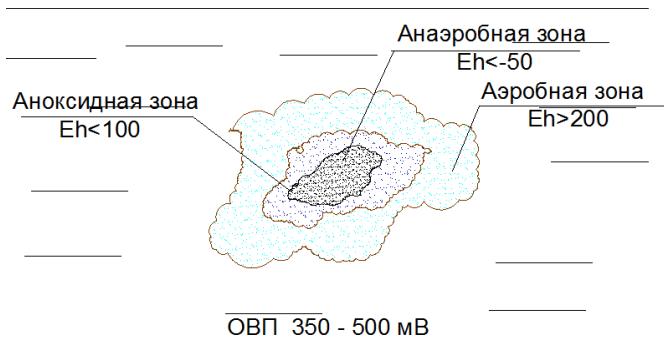


Рисунок 2.2 – Значения ОВП по зонам флокулы активного ила и в иловой воде

Так как патогены относятся к анаэробам, то они, в основном, размещены во внутренних слоях флокулы, куда не проникают кислород и окисленные формы азота. За счет этого создается восстановленная среда благоприятная для развития патогенных микроорганизмов. В соответствии с приведенным обоснованием, и учитывая экономические затраты на переработку активного ила, полного удаления патогенной обсемененности можно достичь, включая вначале биологическую, а затем дополнительную химическую обработку.

2.4 Моделирование процессов аэробной стабилизации активного ила

Кинетическое моделирование позволяет спрогнозировать скорости распада беззольной части активного ила и образование окисленных форм азота, которые способствуют повышению ОВП при аэробной стабилизации. На сегодняшний день не существует модели описывающей процессы аэробной

стабилизации. Для описания биохимических процессов аэробной стабилизации предлагается использовать «Модель Активного Ила №1». Рассматриваемая модель адекватна при описании гидролиза (распада) органического вещества и процессов нитрификации. Преобразование компонентов представлены в виде восьми процессов [69]: процесс роста гетеротрофов в аэробных и аноксидных условиях; аэробный рост автотрофов; распад гетеротрофной биомассы, включая патогенные микроорганизмы; распад автотрофной биомассы; образование аммония из растворенного органического азота; гидролиз медленно разлагаемой органики, сорбированной в активном иле; гидролиз органического азота.

Аэробный рост гетеротрофной биомассы (X_{BH}). Прирост гетеротрофных микроорганизмов формируется от трех разных процессов: аэробного и аноксидного роста, а также распада. Прирост аэробной гетеротрофной биомассы может лимитироваться легкоокисляемым субстратом (S_S) либо количеством кислорода (S_O). Вклад в общую массу гетеротрофов вносят и денитрифицирующие микроорганизмы, прирост которых зависит от концентрации нитритов и нитратов (S_{NO}) и константы полунасыщения (K_{NO}) денитрифицирующих гетеротрофов. Стоит отметить, что их прирост меньший, чем у аэробных гетеротрофов, что учитывается понижающим коэффициентом коррекции η_g . Данный коэффициент учитывает фракцию гетеротрофных бактерий, способных проводить денитрификацию [104]. Распад биомассы сопровождается увеличением медленно разлагаемого вещества, которое затем гидролизуется для построения нового клеточного материала с потреблением кислорода или нитратов. Дифференциальное уравнение аэробного роста гетеротрофов имеет вид:

$$\frac{dX_{BH}}{dt} = \mu_H \cdot \frac{S_S}{K_S + S_S} \cdot \frac{S_O}{K_{OH} + S_O} \cdot X_{BH} + \eta_g \mu_H \cdot \frac{S_S}{K_S + S_S} \cdot \frac{K_{OH}}{K_{OH} + S_O} \cdot \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \cdot X_{BH} - b_H \cdot X_{BH} \quad (2.12)$$

где S_S – концентрация растворенного биоразлагаемого субстрата, $\text{г}/\text{м}^3$;

μ_H – максимальная удельная скорость роста гетеротрофной биомассы, сут^{-1} ;

K_s – коэффициент полунасыщения по субстрату (органика), концентрация субстрата при половине максимальной удельной скорости поглощения, мг/л;

S_o – концентрация растворенного кислорода, г/м³;

K_{on} – коэффициент полунасыщения по кислороду, г/м³;

S_{NO} – концентрация азота нитратов, г/м³;

K_{NO} – коэффициент полунасыщения по субстрату (азот нитратов и нитритов), концентрация субстрата при половине максимальной удельной скорости поглощения, г/м³;

b_h – коэффициент разложения, сут⁻¹.

Аэробный рост автотрофной биомассы X_{BA} (нитрификация). Процесс, в котором аммонийный азот окисляется до нитратов, в результате чего, образуется автотрофная биомасса. При этом происходит потребление щелочности и растворенного кислорода. Распад автотрофной биомассы также, как и гетеротрофной сопровождается увеличением медленно разлагаемого вещества. Дифференциальное уравнение роста автотрофов имеет вид:

$$\frac{dX_{BA}}{dt} = \mu_{BA} \cdot \frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \cdot \frac{S_o}{K_{OA} + S_o} \cdot X_{BA} - b_A \cdot X_{BA}, \quad (2.13)$$

где μ_{BA} – максимальная удельная скорость роста нитрифицирующих бактерий, сут⁻¹;

K_{NH} – коэффициент полунасыщения по субстрату (аммонийный азот), концентрация субстрата при половине максимальной удельной скорости поглощения, г/м³;

S_o – концентрация растворенного кислорода, г/м³;

K_{OA} – коэффициент полунасыщения по кислороду, г/м³;

b_A – коэффициент разложения для нитрифицирующих организмов, сут⁻¹.

Образование аммония из растворенного органического азота, при котором растворимый органический азот преобразуется в азот аммонийный с участием гетеротрофных микроорганизмов. Кинетика аммонификации:

$$k_a \cdot S_{ND} \cdot X_{BH}, \quad (2.14)$$

где k_a – скорость аммонификации, г NH_4^+ / (г N сут⁻¹)

S_{ND} – концентрация растворимого органического азота.

В процессе гидролиза медленно разлагаемой органики субстрат (X_s), находящийся в массе ила, разлагается, образуя биоразлагаемый субстрат (S_s). Скорость гидролиза снижается в бескислородных условиях по сравнению с аэробными условиями при корректирующем факторе скорости роста гетеротрофов в аноксидных условиях ($\eta_g < 1$). Кинетика гидролиза органики описывается следующим соотношением:

$$k_h \cdot \frac{\frac{X_s}{X_{BH}}}{\frac{K_X + X_s}{X_{BH}}} \frac{S_O}{K_{OH} + S_O} + \eta_h \cdot \frac{K_{OH}}{K_{OH} + S_O} \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \cdot X_{BH}, \quad (2.15)$$

где k_h – максимальная удельная скорость гидролиза, сут⁻¹;

η_h - поправочный коэффициент для гидролиза в бескислородных условиях.

Скорость реакции гидролиза сорбированного азота сопровождается разложением органического азота до растворимого, которая определяется аналогично реакции гидролиза сорбированной органики, описанной выше.

Компоненты, участвующие в протекании биохимических процессов модели ASM 1, представлены в матричной форме (Таблица 2.1) [109]:

Таблица 2.1 – Компоненты участвующие в протекании биохимических процессов модели ASM 1

Влияние температуры и рН среды учитываются соответствующими параметрами, характеризующими скорости роста автотрофной и гетеротрофной биомассы, в состав которой входят болезнетворные микроорганизмы. В таблице 2.2 приведены кинетические и стехиометрические коэффициенты модели [109].

Таблица 2.2 – Кинетические и стехиометрические индексы модели ASM 1

Параметры	Индексы	Единицы измерения	Значения
Максимальный коэффициент прироста биомассы для нитрифицирующих бактерий	Y_a	г ХПК/г N	0,24
Максимальный коэффициент прироста биомассы для гетеротрофных бактерий	Y_h	г ХПК/г N	0,67
Максимальный прирост гетеротрофов	μ_h	сут ⁻¹	6
Коэффициент распада гетеротрофов	b_h	сут ⁻¹	0,62
Коэффициент полунасыщения гетеротрофов	K_s	г ХПК/м ³	20
Коэффициент полунасыщения гетеротрофов кислородом	K_{O_2}	г О ₂ /м ³	0,20
Коэффициент полунасыщения по нитрату при денитрификации	K_{NO}	г NO ₃ ⁻ /м ³	0,50
Максимальный коэффициент автотрофов	μ_A	сут ⁻¹	0,80
Константа распада нитрифицирующих бактерий	b_A	сут ⁻¹	0,20
Константа насыщения по кислороду для автотрофов	K_{OA}	г О ₂ /м ³	0,4
Константа насыщения по аммонию при нитрификации	K_{NH}	г NH ₄ ⁺ /м ³	1
Корректирующий коэффициент скорости роста гетеротрофов в аноксидных условиях	η_g	безразмерная величина	0,8

При расчете сделаны некоторые допущения, а именно, кинетические и стехиометрические коэффициенты в процессах биологической аэробной обработки остаются неизменными.

Однако, допускается проведение корректировки параметров, ввиду большого количества параметров в моделях ASM. Такая необходимость

требуется из-за несоответствия расчетного прироста и возраста ила, расчетных концентраций форм азота.

Расчет скоростей реакций, в специализированных программах на основе моделей с активным илом, участвующих в процессе аэробной стабилизации, позволит спрогнозировать разрушение беззольной части ила и образование нитритов и нитратов. Наличие окисленных форм азота в иловой воде приводит к повышению окислительно-восстановительного потенциала среды.

2.5 Выводы по второй главе

1. С экономической точки зрения наиболее оправданными являются биологические и химические методы обработки ила от патогенной обсеменённости. В основу гипотезы биологического метода положен механизм проникновения во флокулу активного ила кислорода и окисленных форм азота, повышающие ОВП среды, что оказывает губительное действие на анаэробные патогенные микроорганизмы, заселяющие активный ил.

2. При аэробной стабилизации происходят процессы аммонификации беззольной части активного ила с выделением связанного азота, что создает условия для протекания процессов нитрификации, конечным итогом которой, является образование нитритов и нитратов с промежуточным реакционноспособным соединением гидроксиламином, способствующее повышению ОВП. Пары соединений азота в нейтральной среде имеют следующие ОВП: $\text{NH}_4^+/\text{NH}_2\text{OH} = +0,89 \text{ B}$; $\text{NH}_4^+/\text{NO}_2^- = +0,87 \text{ B}$; $\text{HNO}_2/\text{NO}_3^- = +0,84 \text{ B}$; $\text{NO}_2^-/\text{NO}_3^- = +0,42 \text{ B}$.

3. Диффузионные ограничения проникновения кислорода и нитратов способствуют образованию анаэробных зон внутри флокулы ила. За счет этого создается восстановленная среда благоприятная для развития патогенных микроорганизмов. В соответствии с приведенным обоснованием, и учитывая экономические затраты на переработку активного ила, полного удаления патогенной обсемененности можно достичь, включая вначале биологическую, а затем дополнительную химическую обработку.

4. Расчет скоростей реакций, протекающих в процессе аэробной стабилизации, в специализированных программах на основе моделей с активным илом, участвующих в процессе аэробной стабилизации, позволит спрогнозировать разрушение беззольной части ила, и образование нитритов и нитратов, что позволит судить о повышении ОВП.

ГЛАВА 3

МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Описание лабораторной установки и методика определения показателей иловой смеси

Лабораторные эксперименты проводились с активным илом, отобранным из производственного аэротенка на канализационных очистных сооружениях г. Макеевки, Донецкой Народной Республики. Комплекс исследований по изучению процессов аэробной стабилизации проводился на экспериментальной установке, представляющей собой емкость объемом 10 дм³. Внесение кислорода воздуха осуществлялось с помощью компрессора Hiblow HP-40 через тканевый аэратор. Установка работала в непроточном режиме. Температурный интервал иловой смеси в установке поддерживался 18...20°C. Для равномерного перемешивания активного ила и поддержания его во взвешенном слое регулировалась интенсивность аэрации, которая составляла 6 м³/м²·ч. Концентрация растворенного кислорода поддерживалась в пределе 4 мг/дм³.

В процессе проведения экспериментальных исследований контролировались физико-химические показатели (концентрация взвешенных веществ сухого вещества ила, концентрации азота аммонийного, нитритов и нитратов, щелочность, зольность, pH и ОВП) и санитарно-бактериологические показатели (БГКП, сальмонеллы и гельминты) [110].

3.1.1 Определение физико-химических показателей иловой смеси

Определение окислительно-восстановительного потенциала и водородного показателя проводилось потенциометрическим методом. Для исследований использовался универсальный иономер ЭВ-74, а в качестве основного электрода использовался электрод платиновый

высокотемпературный ЭПВ-1. Универсальный иономер ЭВ-74 предназначен для измерения концентрации ионов водорода (рН) и в водных растворах с соответствующими ионоселективными электродами. Определение рН проводилось согласно ГОСТ Р 70152 «Качество воды. Методы внутреннего лабораторного контроля качества проведения микробиологических и паразитологических исследований».

Система электродов состоит из измерительного и вспомогательного электродов. Крепится в штативе, который устроен из основания и вертикального стержня. На стержне крепится два кронштейна — один для держателя электродов и термокомпенсатора, второй — подвижной со столиком для емкости с измеряемым раствором (Рисунок 3.1).

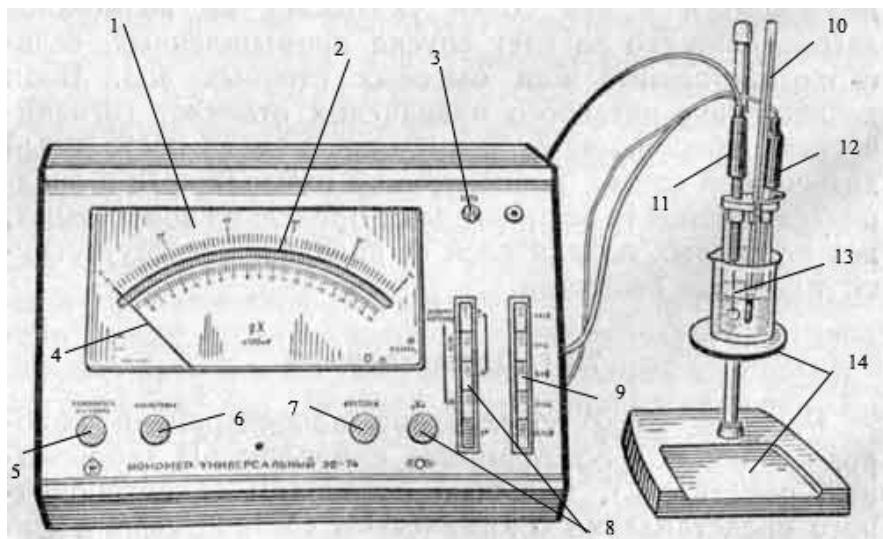


Рисунок – 3.1. Универсальный иономер ЭВ-74:

- 1 - показывающий прибор; 2 - шкала; 3 - тумблер «Сеть»;
- 4 - указательная стрелка; 5 - регулятор «Температура раствора»; 6 - регулятор «Калибровка»; 7 - регулятор «Крутизна» 8 - кнопки выбора режима работы;
- 9 - кнопки выбора диапазона измерения; 10 - термокомпенсатор;
- 11 - измерительный электрод; 12 - вспомогательный электрод; 13 - стакан;
- 14 - штатив с подвижным столиком для емкости с измеряемым раствором.

Для измерения концентрации кислорода использовался кислородомер (оксиметр) «АЖА-101М» (Рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Кислородомер АЖА-101М

Физико-химические показатели иловой смеси определялись в аккредитованной лаборатории ФГБОУ ВО «ДОННАСА» «Центр испытаний строительных изделий и конструкций», по стандартным методикам, приведенным в таблице 3.1

Таблица 3.1. Анализируемые показатели и методики их определения

№п/п	Наименование показателя	Название методики	Нормативная документация
1	2	3	4
1	Взвешенные вещества	Методика гравиметрического определения взвешенных веществ в природных и сточных водах	РД 52.24.468 - 2019
2	Остаток после прокаливания	Унифицированные методы исследования качества вод	
3	Аммоний-ионы	Методика фотометрического определения аммоний-ионов с реагентом Несслера в сточных водах	ГОСТ 33045
4	Нитрит-ионы	Методика фотометрического определения нитрит-ионов с реагентом Гриса в поверхностных и очищенных сточных водах	ГОСТ 33045

1	2	3	4
5	Нитрат-ионы	Методика фотометрического определения нитрат-ионов с салициловой кислотой в поверхностных и биологически очищенных сточных водах	ГОСТ 33045
6	Гидрокарбонаты	Методика определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов	ГОСТ 31957—2012

3.2 Определение санитарно-бактериологических показателей

Определение санитарно-бактериологических показателей патогенной обсеменённости активного ила проводилось по стандартным методикам на проверенных и аттестованных приборах в Центральной контрольно-исследовательской и проектно-изыскательской водной лаборатории «Компания «Вода Донбасса» г. Донецка.

3.2.1 Методика определения бактериальной группы кишечной палочки

В связи с тем, что активный ил имеет большую патогенную обсеменённость, для определения БГКП использовался метод прямого посева. Прямой поверхностный посев суспензии активного ила проводился в количестве $0,2 \text{ см}^3$ на поверхность среды Эндо и равномерно распределялся по поверхности стерильным шпателем. Среда Эндо заранее разливалась в чашки Петри и подсушивалась в сушильном шкафу при температуре $50 - 60^\circ\text{C}$ до образования, так называемой, "муаровой" пленки. При работе с активным илом использовались разведения до 1:1000000. Посевы выращивались в термостате при 37°C в течение 24 часов.

Наличие БГКП характеризовалось проявлением на среде Эндо (Рисунок 3.3) малиновых с металлическим блеском колоний, после чего проводилась микроскопия.



Рисунок 3.3 – Колонии БГКП на среде Эндо

Результаты анализа выражались в коли индексе. Для получения более полных результатов производился пересчет количества обнаруженных микроорганизмов на 1 г абсолютно сухого вещества согласно выражению (3.1):

$$N = \frac{N_c * 100\%}{100\% - C\%} N_c = na; \quad (3.1)$$

где N – количество клеток бактерий в 1 г абсолютно сухом активном иле;

N_c – количество клеток бактерий в 1 г влажного активного ила;

a – степень десятикратного разведения;

n – число колоний, выросших на чашке;

C – влажность исследуемого активного ила (%).

Результат выражают числом колониеобразующих единиц (КОЕ).

3.2.2 Определение патогенных энтеробактерий рода *Salmonella*

Определение количества *Salmonella* аналогично определению БГКП. Посевы инкубировались при температуре ($37 +/- 1^{\circ}\text{C}$) в течение 18 - 24 часов, затем из каждого флакона делались высевы бактериологической петлей на чашки с плотными селективными средами. С каждой чашки снимались

подозрительные на сальмонеллы колонии в пробирки с дифференциально-диагностическими средами.

3.2.3 Гельминтологическое исследование избыточного активного ила

Еще одним из важных показателей активного ила является наличие в нем яиц гельминтов. Ход анализа проводился по следующей методике. 5 г измельченного активного ила примешивался при помощи стеклянных бус в течение часа с добавлением 20 мл 5% раствора едкого натра. После чего, полученная смесь центрифугировалась в течение двух минут, а избыток щелочи сливался. Затем активный ил смешивался с раствором нитрата натрия и центрифугировался 5 раз по 2 минуты. При этом, после каждого центрифугирования образовавшаяся пленка снималась проволочной петлей и переносилась в емкость с небольшим количеством воды. Содержимое емкости с собранной пленкой подвергалось фильтрации через мембранный фильтр.

После окончания фильтрации фильтр при помощи пинцета переносился на предметное стекло и рассматривался под микроскопом МБС. Для более детального морфологического изучения яиц гельминтов производился соскоб с фильтра при помощи покровного стекла на свободный участок предметного стекла в каплю 50-ти %-ного раствора глицерина. Затем полученный препарат рассматривался под большим увеличением.

ГЛАВА 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЭРОБНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ АКТИВНОГО ИЛА С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ОБРАБОТКОЙ ЩЕЛОЧНЫМ РЕАГЕНТОМ НА СНИЖЕНИЕ ПАТОГЕННОЙ ОБСЕМЕННЕННОСТИ

Экспериментальные исследования были направлены на изучение закономерностей снижения патогенной обсемененности активного ила в процессе аэробной стабилизации в биореакторе периодического действия с последующей химической обработкой полученного осадка щелочным реагентом по двум санитарно-бактериологическим показателям БГКП и *Salmonella*. Данные показатели являются индикатором наличия патогенных микроорганизмов в активном иле при его использовании в качестве удобрительного материала в соответствии с ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 «Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений». Серия экспериментов по снижению патогенности проводилась с активным илом городских сточных вод очистных сооружений города Макеевки в течение 2021 – 2023 годов.

4.1 Изменение физико-химических показателей иловой смеси в процессе аэробной стабилизации

Процесс аэробной стабилизации активного ила продолжался непрерывно в течение четырех суток. Ежедневно с установки отбирались пробы иловой смеси для определения следующих показателей: концентрация ила по сухому и беззольному веществу, зольность, pH среды, щелочность, концентрация азота аммонийного, нитритного и нитратного ($N-NH_4^+$, $N-NO_2^-$, $N-NO_3^-$) и ОВП. Определение физико-химических показателей иловой воды проводились по методике, приведенной в главе 3. Для получения достоверных результатов снижения патогенной обсеменённости ила были проведены три серии экспериментов с различными исходными концентрациями активного

ила по сухому веществу, г/дм³ – 3,10; 4,80; 6,50. Полученные данные представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Изменение физико-химических показателей иловой смеси в процессе аэробной стабилизации в течение четырех суток

Продолжительность аэробной стабилизации, сутки	Показатели									
	Концентрация активного ила по сухому веществу, г/дм ³	Концентрация активного ила по беззольному веществу г/дм ³	Азот аммонийный N-NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	Азот нитритов N-NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	Азот нитратов N-NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	Сумма N-NH ₄ ⁺ , N-NO ₂ ⁻ , N-NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	ОВП, мВ	pH	Щёлочность. НCO ₃ ⁻ , мг·экв/дм ³	Зольность, %
1 серия экспериментов										
0	3,10	2,38	0,31	0,35	4,10	4,76	+90	7,90	5,5	23,2
1	3,00	2,30	0,21	0,26	23,10	23,57	+350	7,20	3,8	23,7
2	2,92	2,20	0,13	0,15	33,50	33,78	+490	6,85	2,4	24,6
3	2,87	2,15	0,09	0,01	40,40	40,50	+480	6,55	1,2	24,9
4	2,83	2,11	0,02	н/о	45,70	45,72	+490	6,45	0,9	25,2
2 серия экспериментов										
0	4,80	3,45	2,20	1,50	5,50	9,20	+180	7,80	6,0	28,0
1	4,69	3,35	1,40	0,90	25,60	27,90	+380	7,10	3,9	28,4
2	4,55	3,23	0,55	0,76	37,51	38,82	+490	6,80	3,0	28,9
3	4,46	3,15	0,51	0,46	48,60	49,57	+500	6,50	2,4	29,2
4	4,38	3,09	0,45	н/о	58,00	58,45	+500	6,30	1,8	29,4
3 серия экспериментов										
0	6,50	4,87	1,60	0,27	7,8	9,67	+150	7,80	4,8	25,0
1	6,35	4,73	1,20	0,07	30,5	31,77	+420	7,05	3,4	25,5
2	6,19	4,55	0,37	0,01	48,4	48,78	+500	6,70	2,6	26,4
3	6,01	4,39	0,23	н/о	62,8	63,03	+510	6,40	1,8	26,9
4	5,95	4,33	0,15	н/о	70,9	71,05	+510	6,25	1,1	27,1

В первой серии экспериментов контроль зольности активного ила показал ее изменение в течение четырех суток стабилизации с 23,2 до 25,2%, потеря сухого вещества составила 8,0%. Распад беззольной части ила составил 10,6%. Во второй серии экспериментов, при исходной концентрации беззольного вещества ила 3,45 г/дм³, зольность увеличилась с 28,0 до 29,4%, что соответствовало потере по сухому веществу 9%, и распаду по беззольному веществу 10,4 %. В третьей серии экспериментов, при исходной концентрации

взвешенных веществ $6,50 \text{ г/дм}^3$ по сухому веществу активного ила, зольность увеличилась с 25,0 до 27,1%, потери сухого вещества составили 8,5%, а распад беззольной части произошел на 11,0%.

В период аэробной стабилизации ила щелочность во всех сериях экспериментов уменьшалась, при этом значение рН снижалось не менее шести. Снижение щелочности в биореакторе происходило за счет потребления щелочности нитрифицирующими микроорганизмами, что приводило к повышению концентрации нитратов. Рост нитратов и отсутствие нитритов свидетельствует об устойчивом протекании биологической нитрификации при аэробной стабилизации ила.

Наибольшая удельная скорость образования нитратов наблюдалась в первые двое суток стабилизации, и составила для первой серии экспериментов ($\text{мг N}/(\text{гбезз}\cdot\text{ч})$) – 0,26; для второй – 0,19; для третьей – 0,17. С увеличением времени обработки удельная скорость образования нитратов снижалась. При этом стоит отметить, что с увеличением концентрации ила в аэробном стабилизаторе удельная скорость образования нитратов снижалась. Получено, что для окисления 1 мг азота аммонийного требуется $0,08 \text{ мг}\cdot\text{экв HCO}_3^-$.

Расчетным путем по данным таблицы 4.1 определена удельная скорость распада беззольной части активного ила для трех серий экспериментов в зависимости от времени обработки, которая представлена на графике (Рисунок 4.1)

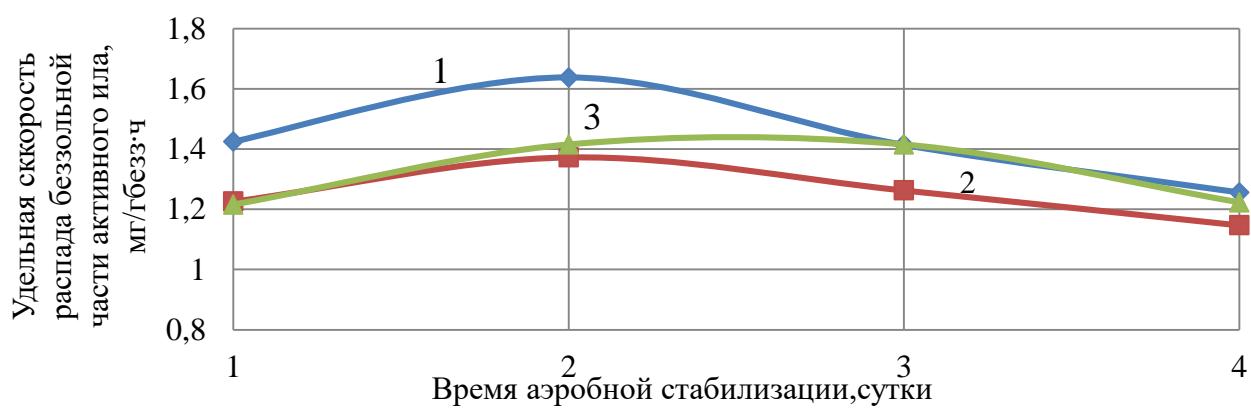


Рисунок 4.1 – Изменение удельной скорости распада беззольной части ила в зависимости от времени аэробной стабилизации при различных исходных концентрациях: 1 – $2,38 \text{ г/дм}^3$; 2 – $3,45 \text{ г/дм}^3$; 3 – $4,87 \text{ г/дм}^3$

Полученные данные свидетельствуют, о том что при различных концентрациях беззольной части активного ила наибольшая скорость распада происходит на вторые сутки и составляет порядка 1,40...1,60 мг/Г_{безз}·ч, а на четвертые данная величина снижается до 1,2 мг/Г_{безз}·ч. Процессы распада органической части ила (R_{VSS}) сопровождаются выделением в иловую жидкость соединений восстановленного азота. Полученная величина распада беззольной части ила сопоставлялась с количеством выделившегося в жидкую фазу минерального азота ($N-NH_4^+$; $N-NO_2^-$ и $N-NO_3^-$) согласно выражению 4.1.

$$R_{VSS} = \frac{C_N^{in} - C_N^{ef}}{124 \cdot a_i (1 - \frac{S_{in}}{100})} \cdot 100 \%, \quad (4.1)$$

где C_N^{in} – сумма азота до начала эксперимента, мг/дм³;

C_N^{ef} - сумма азота после окончания эксперимента, мг/дм³;

a_i – концентрация ила по сухому веществу, г/дм³;

S_{in} - зольность ила, %;

124 - содержание азота в активном иле по формуле $C_5H_7O_2N$, мг N/г беззольного вещества.

Полученные результаты распада беззольной части активного ила экспериментально и по количеству выделившегося азота в зависимости от времени аэробной стабилизации представлены на графике (Рисунок 4.2).

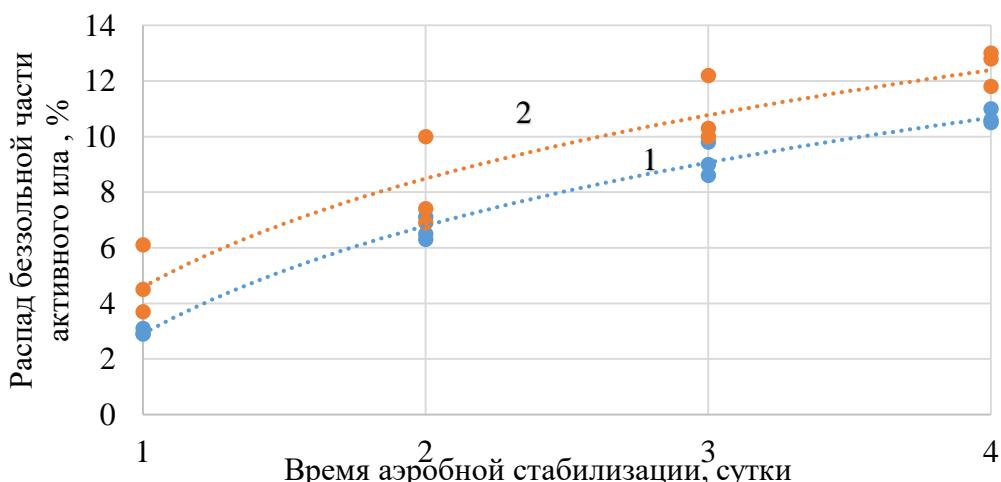


Рисунок 4.2 – Распад беззольной части активного ила:

1 –экспериментальные данные; 2 – расчетные данные по формуле 4.1

Расчетные данные по распаду беззольной части активного ила превышают экспериментальные на 2...4%. Незначительное превышение расчетных значений над экспериментальными связано с протеканием параллельных процессов денитрификации в лабораторной установке, при которых нитраты восстанавливаются до газообразного азота и отдуваются (N_2) и отдувается.

Параллельно фиксировалась динамика изменения ОВП иловой смеси от времени аэробной стабилизации. Полученные данные представлены на графике (Рисунок 4.3).

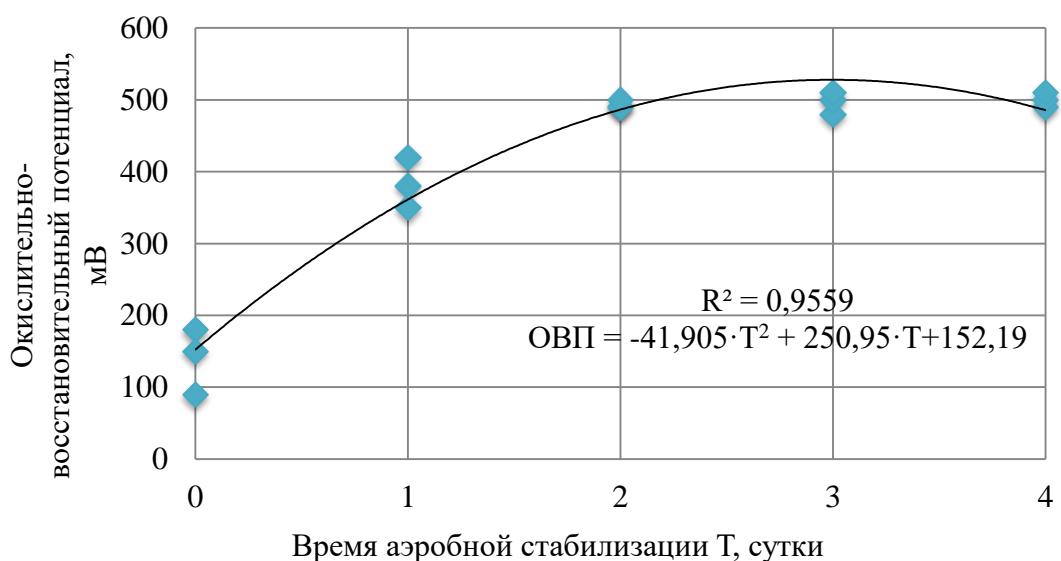


Рисунок 4.3 – Динамика изменения окислительно-восстановительного потенциала иловой смеси от времени аэробной стабилизации

Анализ полученных результатов показал, что максимальное увеличение ОВП достигало значения +500 мВ на вторые сутки стабилизации, после чего особых изменений не наблюдалось.

Параллельно контролировалась динамика изменения ОВП в зависимости от концентрации азота нитратного в иловой смеси. На основании полученных данных построен график (Рисунок 4.4), отображающий изменение ОВП в зависимости от концентрации азота нитратного.

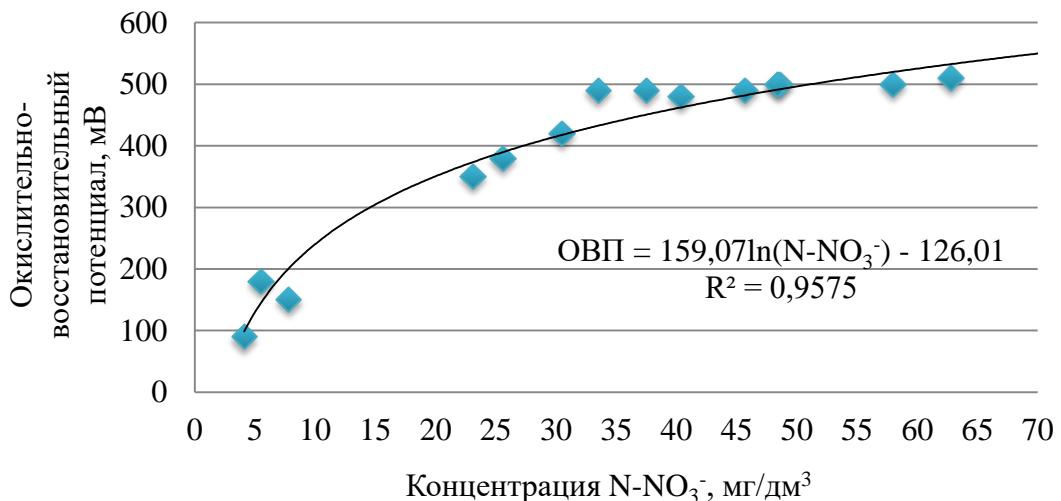


Рисунок 4.4 – Изменение ОВП в зависимости от концентрации азота нитратного в иловой воде

При концентрации нитратов $N\text{-NO}_3^-$ на уровне 35 мг/дм³ значение ОВП в иловой смеси достигало максимального значения +500 мВ. Дальнейший рост концентрации нитратов до 70 мг/дм³ не приводило к увеличению ОВП.

Экспериментальные исследования показали, что распад беззольной части ила в непроточных условиях сопровождается увеличением концентрации азота нитратного. Максимальная удельная скорость распада беззольной части ила происходит на вторые сутки обработки. Накопление нитратов в иловой смеси более 35 мг/дм³ повышало ОВП до +500 мВ.

4.2 Эффективность снижения количества патогенных микроорганизмов активного ила в процессе аэробной стабилизации

Параллельно в лабораторной установке определяли количество патогенных микроорганизмов ила в зависимости от времени аэробной стабилизации. До начала эксперимента активный ил характеризовался повышенной патогенной обсеменённостью по таким показателям: БГКП ($10^5\ldots10^6$ КОЕ/г сухого вещества ила) и *Salmonella* ($10^3\ldots10^4$ КОЕ/г сухого вещества ила). При этом яйца гельминтов в активном иле не обнаружены.

Эффективность снижения патогенной обсеменённости при аэробной стабилизации определялась согласно формуле (4.2):

$$\mathcal{E} = \left(1 - \frac{P_t}{P_o}\right) \cdot 100 \%, \quad (4.2)$$

где P_o , P_t – показатели содержания патогенных микроорганизмов до и после аэробной стабилизации, соответственно.

Для достоверности полученных результатов каждая серия экспериментов повторялась трижды для одного и того же ила. Осредненные показатели эффективности снижения патогенной обсеменённости активного ила в процессе аэробной стабилизации в течение четырёх суток представлены в таблице 4.2

Таблица 4.2 – Эффективность снижения патогенной обсеменённости активного ила по БГКП и *Salmonella* в активном иле в зависимости от времени аэробной стабилизации

Время аэробной стабилизации, сутки	БГКП КОЕ/г сухого вещества ила	Эффективность снижения БГКП \mathcal{E} , %	<i>Salmonella</i> КОЕ/г сухого вещества ила	Эффективность снижения <i>Salmonella</i> \mathcal{E} , %
1 серия экспериментов				
Исходная	$1,7 \cdot 10^5$	-	$3,5 \cdot 10^4$	-
1	$1,2 \cdot 10^5$	29,4	$2,3 \cdot 10^4$	34,0
2	$4,6 \cdot 10^4$	72,9	$10 \cdot 10^3$	70,2
3	$4,4 \cdot 10^4$	74,1	$0,9 \cdot 10^4$	73,5
4	$4,4 \cdot 10^4$	74,1	$0,9 \cdot 10^4$	73,8
2 серия экспериментов				
Исходная	$5,0 \cdot 10^5$	-	$5,0 \cdot 10^3$	-
1	$3,0 \cdot 10^5$	40,0	$3,5 \cdot 10^3$	30,6
2	$7,5 \cdot 10^4$	85,0	$1,5 \cdot 10^3$	70,0
3	$7,3 \cdot 10^4$	85,4	$1,4 \cdot 10^3$	72,0
4	$7,3 \cdot 10^4$	85,4	$1,2 \cdot 10^3$	76,0
3 серия экспериментов				
Исходная	$2,4 \cdot 10^6$	-	$6,3 \cdot 10^4$	-
1	$1,8 \cdot 10^6$	25,0	$4,4 \cdot 10^4$	30,0
2	$6,5 \cdot 10^5$	73,0	$1,5 \cdot 10^4$	75,5
3	$6,5 \cdot 10^5$	73,0	$1,5 \cdot 10^4$	76,0
4	$6,4 \cdot 10^5$	73,3	$1,4 \cdot 10^4$	76,2

Для визуализации на графике (Рисунок 4.5) представлены осредненные

по трем сериям экспериментов изменения количества БГКП, *Salmonella* в зависимости от времени стабилизации в биореакторе периодического действия.

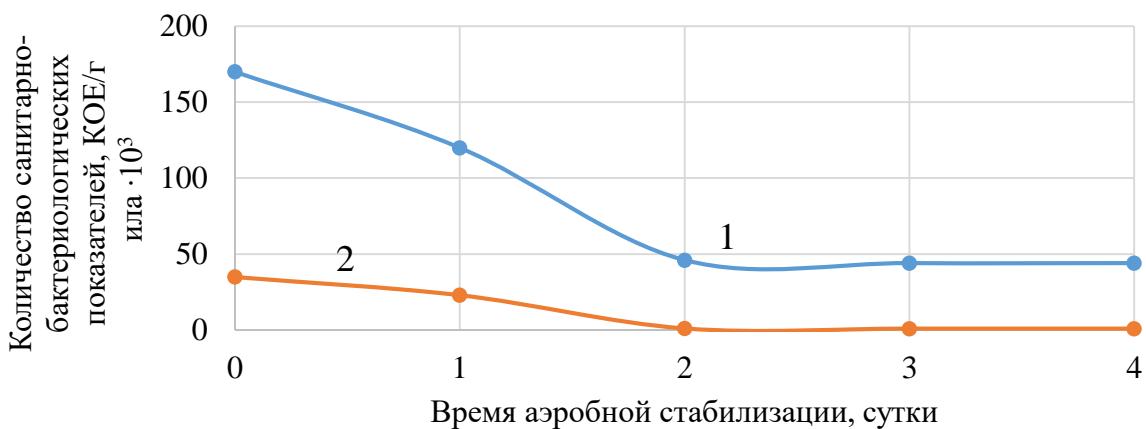


Рисунок 4.5 – Изменение патогенных микроорганизмов активного ила от времени аэробной стабилизации: 1 – БГКП; 2 – *Salmonella*.

Максимальное снижение БГКП и *Salmonella* в процессе аэробной стабилизации достигнуто на вторые сутки, после чего процесс стабилизировался и дальнейшего снижения обсеменённости патогенами не происходило. Такая тенденция снижения патогенности ила напрямую коррелируется с ростом ОВП среды. При этом эффективность снижения патогенности ила в среднем составила для БГКП – 76,0%, *Salmonella* – 71,6%. Таким образом, полной гибели болезнетворных микроорганизмов при аэробной стабилизации достичь сложно из-за ограничения роста ОВП и диффузационных ограничений проникновения растворенного кислорода воздуха и окисленных форм азота во внутрь флокулы ила.

С целью изучения влияния времени аэробной стабилизации на эффективность Э (%) снижения патогенной обсеменённости по показателю БГКП активного ила при различных концентрациях ила по сухому веществу использовался метод статистического планирования [111...113].

Эффективность аэробной стабилизации зависит от двух факторов: продолжительность стабилизации и концентрации ила по сухому веществу. Для реализации всех возможных комбинаций уровней независимых факторов

осуществлено $n = 2^2 = 4$ опытов, каждый из которых повторялся 3 раза. При обработке результатов экспериментов и построении математической модели использовалась известная методика по математическому планированию экспериментов.

Уровни факторов определения моделей эффективности снижения патогенной обсеменённости активного ила в процессе аэробной стабилизации приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Интервал варьирования

Уровни фактора	Обозначения	X_1 (Т- время аэробной стабилизации, сутки)	X_2 (Свзв- концентрация взвешенных веществ , г/дм ³)
Интервал	ΔX	1	1,7
Верхний	+1	3	6,5
Основной	0	2	4,8
Нижний	-1	1	3,1

В таблице 4.4 приведены матрица планирования и результаты экспериментальных исследований.

Таблица 4.4 – Матрица факторного эксперимента 2^2 и результаты экспериментов по изучению эффективности снижения патогенности ила

Номер опыта	X_1	X_2	Результаты опытов			\bar{y}_i^*	S_i^2	\check{y}_i^{**}	$(\check{y}_i - \bar{y}_i)^2$
			Y_1	Y_2	Y_3				
1	+	+	73,0	73,6	78,0	73,66	9,63	73,58	0,0064
2	-	+	25,0	25,0	30,0	25,00	12,5	25,08	0,0064
3	+	-	74,0	76,3	80,0	76,33	9,37	77,25	0,84
4	-	-	29,0	28,0	25,0	28,00	5	27,91	0,0081

*среднее значение результатов экспериментальных исследований;

** среднее значение результатов расчета

Дисперсия опытов определялась по формуле (результаты расчета приведены в таблице 4.4)

$$S_i^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(\bar{y}_i - y_i)^2}{m-1}, \quad (4.3)$$

где m – количество повторений в опыте.

Для определения равноточности и однородности проведения опытов используется критерий Кохрена G_{max}

$$G_{max} = \frac{S_{i\ max}^2}{\sum S_i^2}, \quad (4.4)$$

где: $S_{i\ max}^2$ – максимальная дисперсия из n опытов;

$\sum S_i^2$ – суммарная дисперсия n опытов.

$$G_{max} = \frac{12,5}{36,5} = 0,342. \quad (4.5)$$

Полученное значение критерия Кохрена G_{max} сравнивались с табличным значением $G_{табл}$ при степенях свободы $v=m-1=3-1=2$ и $n=4$ и заданном уровне значимости $\alpha=0,05$.

$$G_{(0,05;2;4)} = 0,5907 > G_{max} = 0,342.$$

Так как полученное значение критерия Кохрена меньше, чем табличное, то дисперсии однородны и опыты проведены с одинаковой точностью, т.е. равноточны.

Далее вычисляем дисперсию воспроизводимости:

$$S_y^2 = \frac{\sum S_i^2}{n} = \frac{36,4}{4} = 9,12. \quad (4.6)$$

Определяем среднее квадратическое отклонение коэффициентов:

$$S_y = \sqrt{\frac{S_y^2}{n \cdot m}} = \sqrt{\frac{9,12}{4 \cdot 3}} = 0,76. \quad (4.7)$$

Далее вычисляются статистики Стьюдента для коэффициентов модели:

$$t_i = \frac{|k|}{S_y}, \quad (4.8)$$

где k – коэффициенты регрессии (уравнения отклика)

$$t_a = \frac{6,25}{0,76} = 8,22; t_b = 31,90; t_c = -1,05.$$

Табличное значение критерия Стьюдента (t -критерия) для принятого уровня значимости $\alpha=0,05$ и числа степеней свободы $f=n(m-1)=4(3-1)=8$ равно $t_{(0,05;8)} = 2,30$ [185]. Значимы только те коэффициенты модели, для которых $t_i > t_{(0,05;8)}$. Так как $t_c = -1,05 < t_{(0,05;8)} = 2,30$, коэффициент t_c незначимо отличается от нуля.

Доверительный интервал расчетной модели определения эффективности снижения патогенной обсеменённости ила в процессе аэробной стабилизации определялся отдельно для каждого из значений концентрации ила в соответствии с рекомендованной методикой.

Определены средние значения эффективности снижения патогенности по каждому показателю из трех опытов:

$$\Delta\vartheta_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta\vartheta_i), \quad (4.9)$$

где n – количество опытов;

i – номер опыта.

Вычислены значения дисперсии:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta\vartheta_i - \Delta\vartheta_{cp})^2. \quad (4.10)$$

Получена величина среднего квадратичного отклонения:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} (\Delta\vartheta_i - \Delta\vartheta_{cp})^2}. \quad (4.11)$$

Определены верхняя и нижня доверительные границы:

$$[\Delta\vartheta]_{\text{верх.}} = \Delta\vartheta_{cp} + \frac{t \cdot \sigma}{\sqrt{n}}; \quad (4.12)$$

$$[\Delta\vartheta]_{\text{нижн.}} = \Delta\vartheta_{cp} - \frac{t \cdot \sigma}{\sqrt{n}}, \quad (4.13)$$

где t – коэффициент распределения Стьюдента для доверительной вероятности $\alpha = 0,95$, при количестве измерений $n=3$.

Расчет границ доверительных интервалов эффективности снижения патогенной обсеменённости активного ила при различных концентрациях по сухому веществу приведен в таблицах 4.5 – 4.7.

Таблица 4.5 – Статистическая обработка экспериментальных данных при концентрации сухого вещества активного ила $C_{BVB} = 3,1 \text{ г/дм}^3$

Величины и их характеристики	Время аэробной стабилизации, сутки			
	1	2	3	4
1	2	3	4	5
$\Delta\vartheta_1, \%$	33,5	71,5	73,8	73,9

Продолжение таблицы 4.5

1	2	3	4	5
$\Delta\vartheta_2$, %	30,5	72,8	75,0	75,5
$\Delta\vartheta_3$, %	28,6	69,4	71,3	72,0
$\Delta\vartheta_{cp}$, %	30,8	71,2	73,3	73,8
$(\Delta\vartheta_1 - \Delta\vartheta_{cp})^2$, %	7,29	0,09	0,25	0,01
$(\Delta\vartheta_2 - \Delta\vartheta_{cp})^2$, %	0,09	2,56	2,89	2,89
$(\Delta\vartheta_3 - \Delta\vartheta_{cp})^2$, %	4,84	3,24	4,0	3,24
$\sum (\Delta\vartheta_i - \Delta\vartheta_{cp})$, %	12,22	5,89	7,14	6,14
σ^2	6,11	4,71	3,57	3,07
σ	2,47	2,17	1,88	1,75
$t_{0,95}$	2,30	2,30	2,30	2,30
$t \cdot \sigma / \sqrt{n}$	3,28	2,88	2,49	2,32
[$\Delta\vartheta$]верх.	34,08	74,08	75,76	76,12
[$\Delta\vartheta$]нижн.	27,52	68,32	70,84	71,48

Таблица 4.6 – Статистическая обработка экспериментальных данных при концентрации сухого вещества активного ила $C_{BVB} = 4,8 \text{ г/дм}^3$

Величины и их характеристики	Время аэробной стабилизации, сутки			
	1	2	3	4
$\Delta\vartheta_1$, %	35,0	77,5	78,8	78,5
$\Delta\vartheta_2$, %	40,0	85,0	86,0	86,2
$\Delta\vartheta_3$, %	31,0	70,6	72,5	73,0
$\Delta\vartheta_{cp}$, %	35,3	77,7	79,1	79,2
$(\Delta\vartheta_1 - \Delta\vartheta_{cp})^2$, %	0,09	0,04	0,09	0,49
$(\Delta\vartheta_2 - \Delta\vartheta_{cp})^2$, %	22,09	53,29	47,61	49,0
$(\Delta\vartheta_3 - \Delta\vartheta_{cp})^2$, %	18,49	50,41	43,56	38,44
$\sum (\Delta\vartheta_i - \Delta\vartheta_{cp})$, %	40,64	103,74	91,26	87,93
σ^2	20,32	51,87	45,63	43,96
σ	4,50	7,20	6,75	6,63
$t_{0,95}$	2,30	2,30	2,30	2,30
$t \cdot \sigma / \sqrt{n}$	5,98	9,57	8,97	8,81
[$\Delta\vartheta$]верх.	41,28	87,27	88,07	88,01
[$\Delta\vartheta$]нижн.	29,32	68,13	70,13	70,39

Таблица 4.7 – Статистическая обработка экспериментальных данных при концентрации сухого вещества активного ила $C_{\text{ВЗВ}} = 6,5 \text{ г/дм}^3$

Величины и их характеристики	Время аэробной стабилизации, сутки			
	1	2	3	4
$\Delta\mathcal{E}_1, \%$	27,5	74,2	74,5	74,75
$\Delta\mathcal{E}_2, \%$	20,5	65,5	68,0	68,5
$\Delta\mathcal{E}_3, \%$	30,5	70,0	72,0	72,8
$\Delta\mathcal{E}_{\text{ср}}, \%$	26,2	69,9	71,5	72,0
$(\Delta\mathcal{E}_1 - \Delta\mathcal{E}_{\text{ср}})^2, \%$	1,69	18,49	9,0	7,56
$(\Delta\mathcal{E}_2 - \Delta\mathcal{E}_{\text{ср}})^2, \%$	32,49	19,36	12,25	12,25
$(\Delta\mathcal{E}_3 - \Delta\mathcal{E}_{\text{ср}})^2, \%$	18,49	0,01	0,25	0,64
$\sum (\Delta\mathcal{E}_i - \Delta\mathcal{E}_{\text{ср}}), \%$	52,67	37,89	21,5	20,45
σ^2	26,33	18,93	10,75	10,22
σ	5,13	4,35	3,27	3,19
$t_{0,95}$	2,30	2,30	2,30	2,30
$t \cdot \sigma / \sqrt{n}$	6,82	5,78	4,34	4,24
[$\Delta\mathcal{E}$]верх.	33,02	75,68	75,88	76,24
[$\Delta\mathcal{E}$]нижн.	19,38	64,12	67,16	67,76

По расчетным данным таблиц 4.5 – 4.7 построены графики (Рисунках 4.6 – 4.8) доверительных интервалов эффективности снижения патогенной обсеменённости активного ила в процессе аэробной стабилизации.

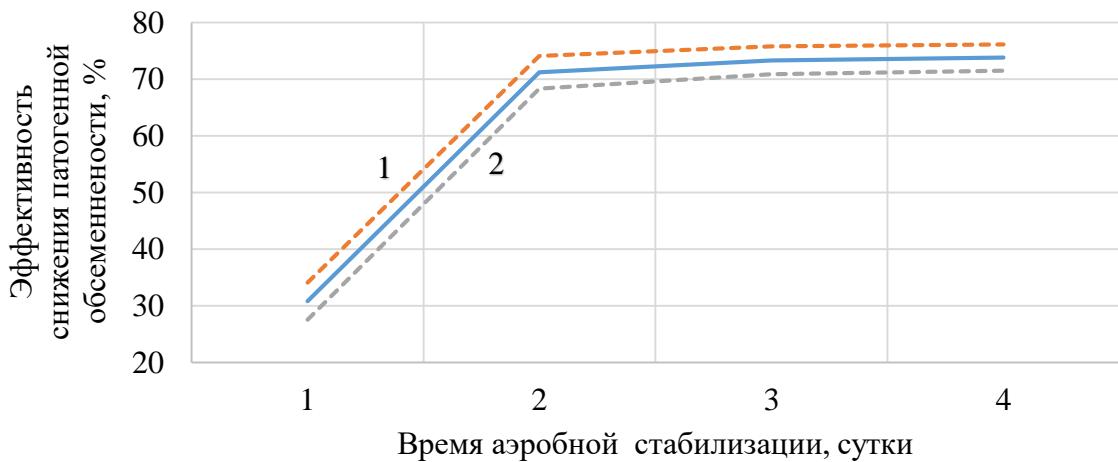


Рисунок 4.6 – Определение доверительного интервала эффективности снижения патогенной обсеменённости активного ила в процессе аэробной стабилизации при концентрации взвешенных веществ $C_{\text{ВЗВ}} = 3,1 \text{ г/дм}^3$:

1 – верхний доверительный интервал, 2 – нижний доверительный интервал

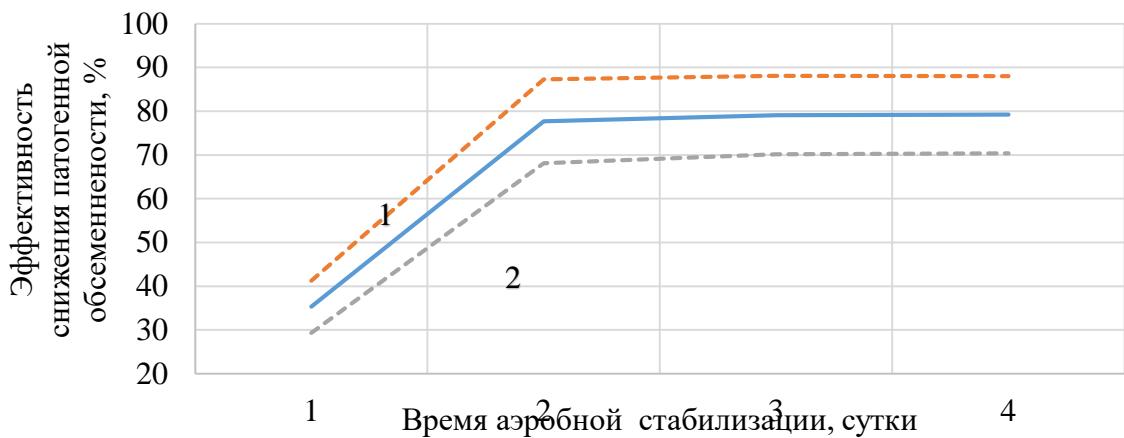


Рисунок 4.7 – Определение доверительного интервала эффективности снижения патогенной обсеменённости активного ила в процессе аэробной стабилизации при концентрации взвешенных веществ $C_{\text{взв}} = 4,8 \text{ г/дм}^3$:

1 – верхний доверительный интервал, 2 – нижний доверительный интервал

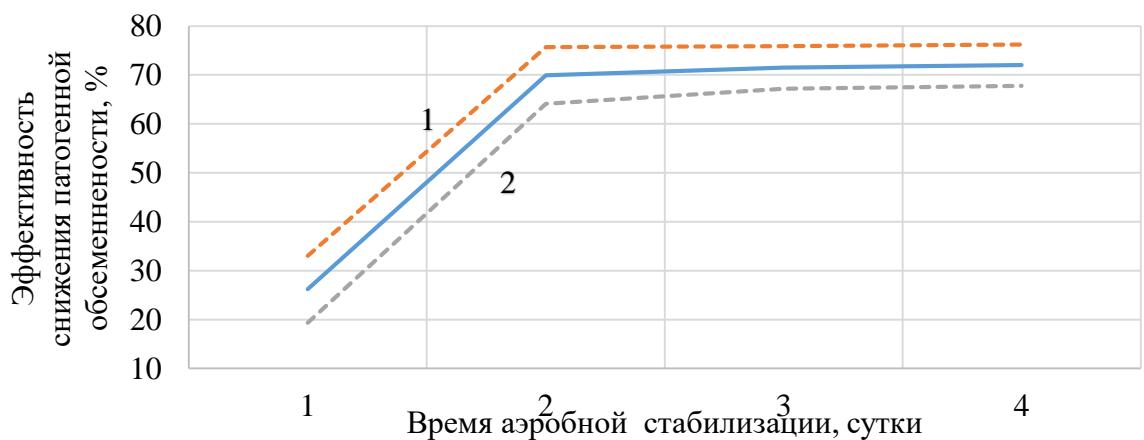


Рисунок 4.8 – Определение доверительного интервала эффективности снижения патогенной обсеменённости активного ила в процессе аэробной стабилизации при концентрации взвешенных веществ $C_{\text{взв}} = 6,5 \text{ г/дм}^3$:

1 – верхний доверительный интервал, 2 – нижний доверительный интервал

Обработка результатов экспериментов по средней эффективности снижения патогенной обсеменённости, приведенных в таблицах 4.5 – 4.7 с помощью статистического пакета DataFit позволяет получить аналитический вид регрессионной зависимости:

$$Y = a + \frac{b}{x_1} + c \cdot x_2 + \left(\frac{d}{x_1} \right)^2 + e \cdot x_2^2 + f \cdot \frac{x_2}{x_1}, \quad (4.14)$$

где: где Y – эффективность снижения патогенной обсеменённости в процессе аэробной стабилизации, % (\mathcal{E});

T – время аэробной стабилизации, сутки;

$C_{\text{взв}}$ – концентрация сухого вещества ила, г/дм³;

a, b, k, e, f – коэффициенты.

При подстановке вычисленных коэффициентов в программу DataFit 9.1, уравнение имеет вид:

$$\mathcal{E} = 15 + \frac{73}{T} + 22 \cdot C_{\text{взв}} + \left(\frac{101}{T} \right)^2 + 2 \cdot C_{\text{взв}}^2 + 1,17 \cdot \frac{C_{\text{взв}}}{T}.$$

Коэффициент множественной детерминации составил $R^2 = 0,99$, что указывает на высокую сходимость формулы (4.14) с результатами исследований, произведенных на лабораторной установке. На рисунке 4.9 представлена поверхность по зависимости 4.14 в пределах исследуемых аргументов. На графике отображены координаты соответствующих экспериментальных данных эффективности снижения патогенной обсеменённости по показателю БГКП относительно времени аэробной стабилизации и концентрации ила по сухому веществу.

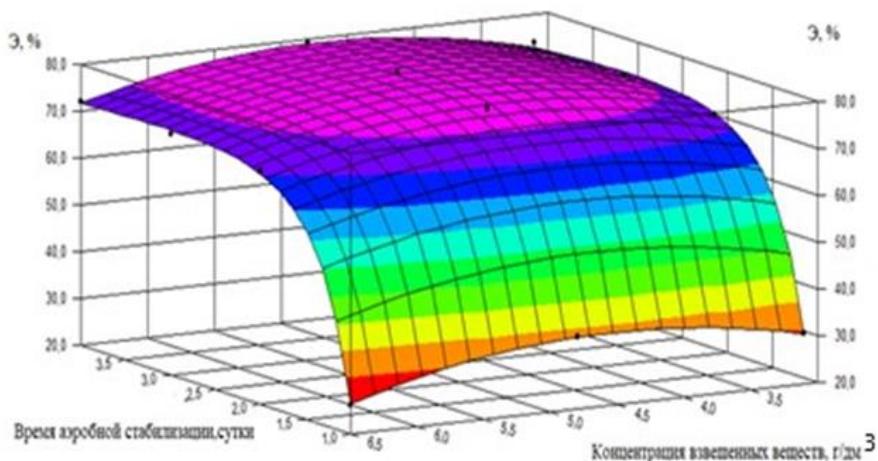


Рисунок 4.9 – Эффективности снижения патогенности ила от времени аэробной стабилизации и концентрации сухого вещества ила

По полученному уравнению подсчитаны значения \check{y}_l для условий каждого опыта в матрице и остаточные квадраты разности $(\check{y}_i - \bar{y}_l)^2$ данные занесены в таблицу 4.4

Дисперсия адекватности находится по формуле:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{m}{n-d} \sum_{i=1}^n (\check{y}_i - \bar{y}_l)^2 = \frac{3 \cdot 0,86}{2} = 1,29, \quad (4.15)$$

где d – количество значимых коэффициентов.

Величина критерия Фишера равна:

$$F = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_y^2} = \frac{1,29}{9,12} = 0,14. \quad (4.16)$$

Табличное значение критерия Фишера исходя из таблицы критических точек [122] при уравнении значимости $\alpha = 0,05$ по соответствующим степеням свободы $f_1=n-d=4-2=2$, $f_2=n(m-1)=4(3-1)=8$ равняется 4,46.

$$F = 0,14 < F_{\text{табл}} = 4,46.$$

Так как полученная величина критерия Фишера меньше табличной, то можно считать, что уравнение регрессии (4.14) адекватно описывает результаты опытов.

4.3 Определение относительной стабильности осадка

Не менее важным показателем аэробно стабилизированного осадка является его загниваемость или относительная стабильность. Эта величина определяет промежуток времени, когда в осадке превалируют окислительные процессы над восстановительными. По данному показателю можно косвенно оценивать время подавления активного роста анаэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов в стабилизированном осадке, включая патогенные бактерии.

Предложенная методика базируется на изменении суммарного показателя rH_2 стабилизированного осадка без внесения кислорода в культуральную среду, в течение некоторого времени. Относительная

стабильность осадка рассчитывалась согласно выражению (4.17) по аналогии определения стабильности сточных вод.

$$S = (1 - 0,794^\tau) \cdot 100 \%, \quad (4.17)$$

где: S – относительная стабильность, %;

τ – время снижения rH_2 до «критического» значения, сутки.

В качестве «критического» значения rH_2 принимается величина, равная 16, снижение этого показателя свидетельствует о преобладании восстановительных процессов над окислительными.

Стабильность осадка определяли после суточной и двухсуточной аэробной стабилизации осадка. Экспериментальные исследования проводились следующим образом: конические колбы объемом 300 см³ заполнялись стабилизированным осадком объемом 250 см³, после чего герметично закрывались. Пробы с осадком устанавливались на магнитную мешалку, которая была подключена к таймеру автоматического включения и выключения для периодического перемешивания ферритовым якорем.

Ежесуточно в пробах фиксировалась динамика изменения ОВП и pH для вычисления аэробности среды (rH_2). Полученные данные представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Изменение ОВП, pH и rH_2 осадка в зависимости от продолжительности эксперимента

Время эксперимента, сутки	ОВП, мВ	pH	rH_2
1	2	3	4
Осадок после суточной стабилизации			
1	+ 380	7,10	27,3
2	+ 100	7,10	17,6
3	+ 20	7,15	15,0
4	-10	7,20	14,1
Осадок после двухсуточной стабилизации			
1	+ 490	6,80	30,4
2	+ 380	6,85	27,0
3	+ 290	6,90	24,2
4	+ 175	7,10	20,3

Продолжение таблицы 4.8

1	2	3	4
5	+ 130	7,10	18,7
6	+ 70	7,20	16,6
7	+ 40	7,20	15,7

Данные таблицы 4.8 свидетельствуют, что в эксперименте осадок после суточной стабилизации достиг критического значения rH_2 равное 15 на третий сутки, когда ОВП снизилось до +20 мВ, а pH среды достигло значения 7,15. Осадок после двух суток стабилизации достиг критического значения $rH_2 = 15,7$ на седьмые сутки с ОВП +40 мВ. Изменение показателя rH_2 жидкой фазы осадка без внесения кислорода представлено на графике (Рисунок 4.10)

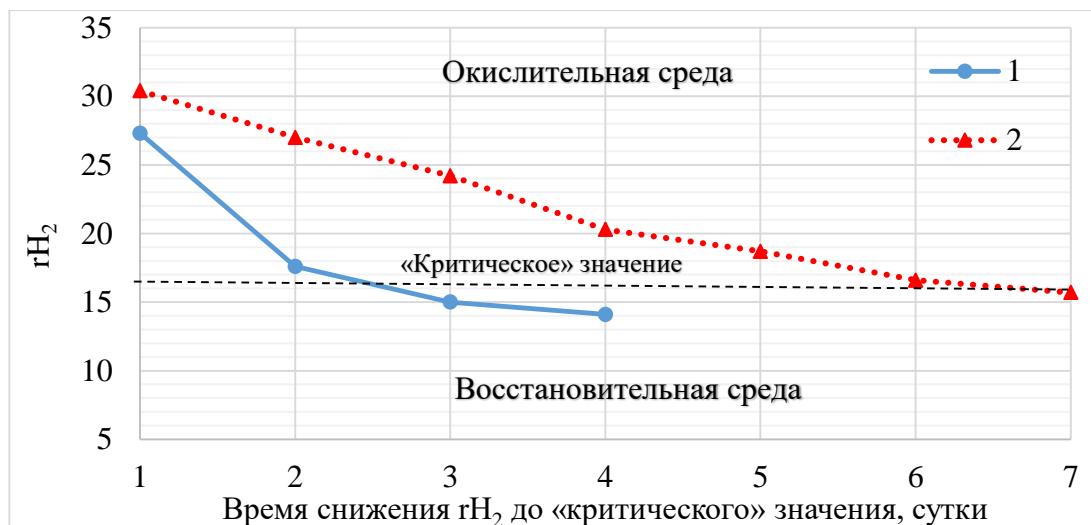


Рисунок 4.10 – Динамика изменения rH_2 жидкой фазы осадка без внесения кислорода:

1 – после суточной стабилизации; 2 – после двухсуточной стабилизации

Согласно выражению (4.17) рассчитана относительная стабильность осадка после суточной аэробной обработки, которая равна 50%, после двух суток – увеличилась до 81%. Относительная стабильность осадка 50% означает, что в течение трех суток в осадке поддерживаются окислительные процессы и сдерживается развитие анаэробных микроорганизмов включая

патогенных. Стабильность осадка 81% соответствует семи суткам преобладания окислительных процессов в осадке.

Относительная стабильность осадка возрастает с увеличением времени аэробной стабилизации. Аэробная стабилизация не обеспечивает полного подавления роста патогенных микроорганизмов, что требует дополнительной химической обработки.

4.4 Эффективность снижения патогенных микроорганизмов аэробно стабилизированного ила при введении негашёной извести

Для повышения относительной стабильности осадка и снижения в нем патогенных микроорганизмов проводились исследования по дополнительной обработке осадка негашёной известью. Введение негашёной извести приводит к образованию гидроксильных групп (OH^-) и повышению pH осадка. В процессе экспериментальных исследований, перед ведением негашёной извести, осадок подвергался обезвоживанию на лабораторной установке вакуум-фильтрации. На рисунке 4.11 представлен общий вид лабораторной установки вакуум-фильтрации.

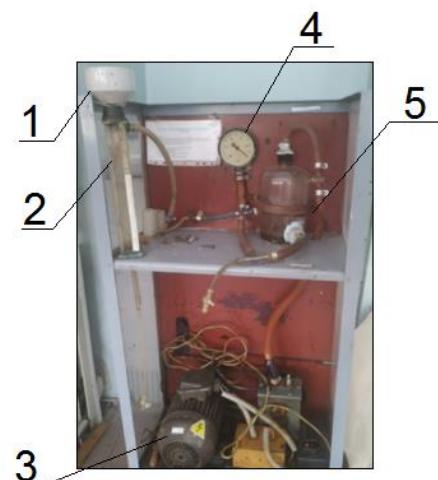


Рисунок 4.11 – Лабораторная установка вакуум-фильтрации:
 1 - воронка Бюхнера; 2 – мерный цилиндр; 3 – вакуум-насос;
 4 – вакуумметр; 5 – ресивер

Ход выполнения обезвоживания приводился по следующей методике: на дно воронки Бюхнера помещался бумажный фильтр «Синяя лента», после чего с помощью вакуум-насоса в ресивере создавалась вакуумметрическое давление равное 0,6 атм. Затем подготовленные пробы иловой смеси объемом 200 см³, заливались в воронку Бюхнера, после чего открывался кран соединяющий ресивер и мерный цилиндр. При этом возникало снижение вакуумметрического давления и происходила фильтрация жидкости. На рисунке 4.12 представлен внешний вид обезвоженного осадка влажностью 85%, а также осадка после обработки негашёной известью влажностью 80%



Рисунок 4.12 – внешний вид обезвоженного осадка:

а) влажностью 85%; б) после обработки негашёной известью
влажностью 80%

Для определения минимальной дозы негашёной извести в пробы обезвоженного осадка влажностью 85% вносились разные концентрации извести, которые составляли (5, 10 и 15%) от массы сухого вещества ила. После введения извести производилось перемешивание осадка в течение 10 минут, после чего в них определялся санитарно-бактериологический показатель (БГКП). Для достоверности полученных результатов, исследования проводились троекратно, осреднённые результаты представлены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Снижение БГКП стабилизированного осадка в течение двух суток при введении извести

Доза CaO, % от массы сухого вещества осадка	Кол-во БГКП КОЕ/г сухого вещества	pH
Стабилизированный осадок Макеевских очистных сооружений		
0	45000	7,8
5	150	8,5
10	н/о	9,0
15	н/о	11,0

Исходная величина pH осадка, стабилизированного в течение двух суток, составляла 7,1. Так, при концентрации извести 5 % pH увеличилось до 8,5, при концентрации 10% увеличение pH произошло до 9,0, при концентрации 15% pH увеличилось до 11,0.

Установлено, что для полной гибели БГКП в осадке Макеевских очистных сооружений минимальная доза введения негашеной извести должна составляет 10% от массы сухого вещества ила. Относительная стабильность осадка после обработки негашёной известью достигла 99 %.

4.5 Моделирование кинетических параметров аэробной стабилизации ила в биореакторе периодического действия

Для описания микробиологических процессов аэробной стабилизации активного ила в биореакторе периодического действия, была применена модель «Модель Активного Ила №1» (ASM 1). Данная модель описывает процессы очистки сточных вод с активным илом. В модели корректировались следующие стехиометрические коэффициенты: максимальный коэффициент прироста биомассы гетеротрофных бактерий (Y_H), максимальный коэффициент прироста биомассы автотрофных бактерий (Y_A), удельная скорость роста гетеротрофов (μ_H), удельная скорость роста автотрофов (μ_A).

Международной ассоциаций исследования в области загрязнений воды приняты стандартные коэффициенты в модели ASM 1: $Y_H = 0,67 \text{ г ХПК/г N}$; $Y_A = 0,24 \text{ г ХПК/г N}$; $\mu_H = 6 \text{ сут}^{-1}$, $\mu_A = 0,8 \text{ сут}^{-1}$.

Адекватность стандартных коэффициентов модели ASM 1 проверялась применительно к процессу аэробной стабилизации активного ила в биореакторе периодического действия. При расчете модели использовались физико-химические показатели иловой смеси представлены в таблице 4.1 (серия экспериментов № 2).

Сходимость результатов расчета по модели с экспериментальными показателями, судилась по образованию окисленных форм азота ($N-NO_2^- + N-NO_3^-$). Полученные результаты представлены на рисунке 4.13.

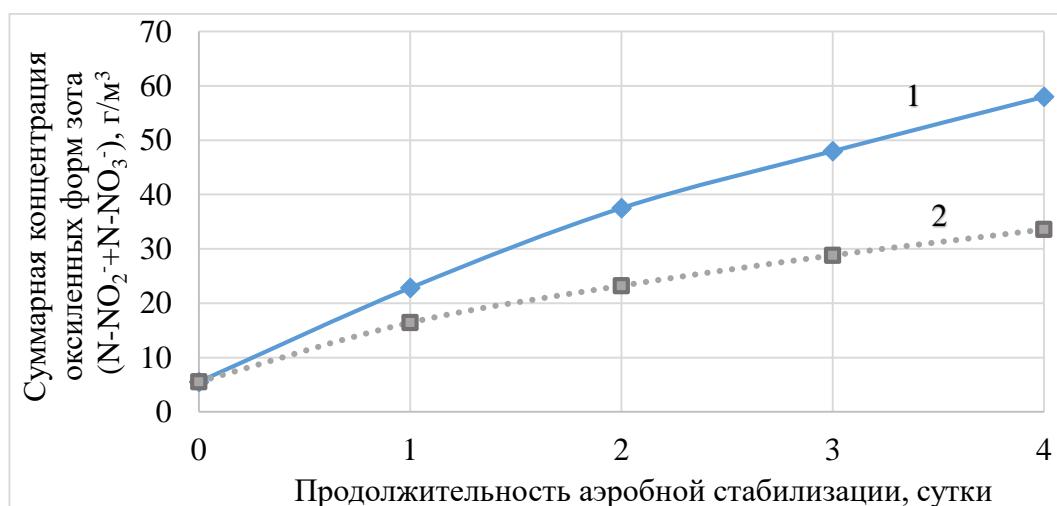


Рисунок 4.13 – Изменения концентраций окисленных форм азота ($N-NO_2^- + N-NO_3^-$) в зависимости от времени аэробной стабилизации:
1 – экспериментальные данные; 2 – расчетные данные
по модели ASM 1

Данные рисунка 4.13 свидетельствуют, что полученные экспериментальные значения окисленных форм азота превышают расчетные значения по модели ASM 1. Несовпадение полученных значений указывает на необходимость корректировки стехиометрических коэффициентов удельной скорости роста гетеротрофных микроорганизмов, обеспечивающих распад беззольной части ила и высвобождение восстановленных форм азота с последующим их окислением.

На основании экспериментальных значений окисленных форм азота были определены стехиометрические коэффициенты для расчета роста автотрофных и гетеротрофных микроорганизмов в процессе аэробной стабилизации. Откорректированные коэффициенты модели для аэробной стабилизации представлены в таблице 4.10

Таблица 4.10 – Кинетические и стехиометрические коэффициенты модели ASM 1 для очистки сточных вод с активным илом и для аэробной стабилизации

Параметры	Индексы	Единицы измерения	Значения для очистки сточных вод с активным илом	Значения для аэробной стабилизации
Максимальный коэффициент прироста биомассы для нитрифицирующих бактерий	Y_a	г ХПК/г N	0,24	0,1
Максимальный коэффициент прироста биомассы для гетеротрофных бактерий	Y_h	г ХПК/г N	0,67	0,5
Максимальный прирост гетеротрофов	μ_h	сут ⁻¹	6,0	0,6
Максимальный коэффициент автотрофов	μ_a	сут ⁻¹	0,8	0,8

Следует отметить, что основная корректировка заключалась в изменении коэффициента удельного роста гетеротрофов с 6 до 0,6 сут⁻¹, а удельная скорость автотрофов осталась неизменной.

В таблице 4.11 представлено сравнение полученных результатов изменения значений восстановленных и окисленных форм азота, а также снижение концентрации гидрокарбонатов в биореакторе периодического действия в процессе экспериментальных исследований и при расчете по модели ASM 1 с откорректированными коэффициентами.

Таблица 4.11 – Изменение восстановленных и окисленных форм азота, снижение гидрокарбонатов в процессе экспериментальных исследований и при расчете роста автотрофных и гетеротрофных микроорганизмов по модели ASM 1

Продолжительность аэробной стабилизации, сутки	Показатели		
	Концентрация гидрокорбанатов, моль/м ³	Концентрация азота нитратов и нитритов по N, г/м ³	Концентрация азота аммонийного по N, г/м ³
Расчет в модели ASM 1 с корректировкой новых коэффициентов $Y_H = 0,5 \text{ г ХПК/г N}$; $Y_A = 0,1 \text{ г ХПК/г N}$; $\mu_H = 0,6 \text{ сут}^{-1}$, $\mu_A = 0,8 \text{ сут}^{-1}$.			
0	6,0	7,0	2,2
1	4,1	28,4	0,1
2	3,2	41,8	0,08
3	2,6	50,5	0,06
4	2,1	56,2	0,05
Лабораторные показатели			
0	6,0	7,0	2,2
1	3,9	25,6	1,4
2	3,0	37,51	0,55
3	2,4	48,6	0,51
4	1,8	58,0	0,45

Исходя из полученных результатов, стоит отметить, что после корректировки кинетических и стехиометрических коэффициентов в модели ASM 1 результаты теоретического расчета совпадают с экспериментальными.

4.5. Выводы по четвертой главе

1. Процесс аэробной стабилизации осадка в биореакторе периодического действия сопровождается распадом беззольной части ила с выделением восстановленных форм азота. Установлено, что максимальная удельная скорость распада беззольной части ила происходит на вторые сутки обработки. Процесс жизнедеятельность автотрофных бактерий приводит к окислению восстановленных форм азота до нитратов. Накопление нитратов в иловой смеси более 35 мг/дм³ повышало ОВП до +500 мВ.

2. Экспериментально установлено, что с целью снижения патогенной обсеменённости ила по показателям БГКП и *Salmonella* требуется не менее двух суток аэробной стабилизации в непроточных условиях. При этом эффективность снижения патогенности ила в среднем составила для БГКП – 76%, *Salmonella* – 71,6%. Такая тенденция снижения патогенности ила напрямую коррелируется с ростом ОВП среды. Увеличение времени стабилизации осадка до четырех суток не приводит к снижению его патогенности до нормативных санитарно-бактериологических показателей при использования его в качестве удобрительного материала.

3. В процессе экспериментальных исследований была определена относительная стабильность осадка после двух суток аэробной стабилизации которая составила 81%. Полученные данные свидетельствуют о том, что стабилизованный осадок в течение двух суток не будет подвержен загниванию в течение семи суток за счет поддержания протекания окислительных процессов.

4. Определена минимальная доза негашёной извести для полного удаления патогенных микроорганизмов в осадке, которая составляет 10% от массы сухого вещества осадка. Относительная стабильность осадка после обработки негашёной известью достигла 99%.

5. Впервые адаптирована модель ASM 1 с откорректированными стехиометрическими коэффициентами для расчета роста и отмирания гетеротрофных и автотрофных микроорганизмов в процессе аэробной стабилизации в биореакторе периодического действия, которые составили: ($Y_H = 0,5 \text{ г ХПК/г N}$; $Y_A = 0,1 \text{ г ХПК/г N}$; $\mu_H = 0,6 \text{ сут}^{-1}$, $\mu_A = 0,8 \text{ сут}^{-1}$).

ГЛАВА 5

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА С ПОСЛЕДУЮЩИМ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В КАЧЕСТВЕ УДОБРИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

Предложена новая технология получения удобрительного материала из активного ила городских сточных вод, включающая аэробную стабилизацию и обработку щелочным реагентом. Полученный удобрительный материал по количеству патогенных микроорганизмов соответствуют нормативным показателям, представленным в ГОСТ Р 17.4.3.07-2001. Разработанная технология направлена на уменьшение антропогенного загрязнения окружающей среды, сокращение объем осадков, располагающихся на иловых площадках, а, следовательно, уменьшение площади земли, занимаемой под складирование осадков. Технико-экономические показатели подтверждают высокую привлекательность разработанной технологии.

5.1 Технологический регламент на получение удобрительного материала из активного ила

На рисунке 5.1 представлена принципиальная технологическая схема обработки избыточного активного ила по получению удобрительного материала.

Принципиальная технологическая схема включает следующие этапы обработки: аэробная стабилизация, илоуплотнение, обезвоживание, обработка негашёной известью. Избыточный активный ил из вторичного отстойника направляется в аэробный стабилизатор, где он подвергается аэробной стабилизации не менее двух суток. Стабилизированный осадок поддается на илоуплотнитель для уменьшения влажности с 99,7 до 98,5%. Далее уплотненный осадок подается на мешковой обезвоживатель ОНИКС.

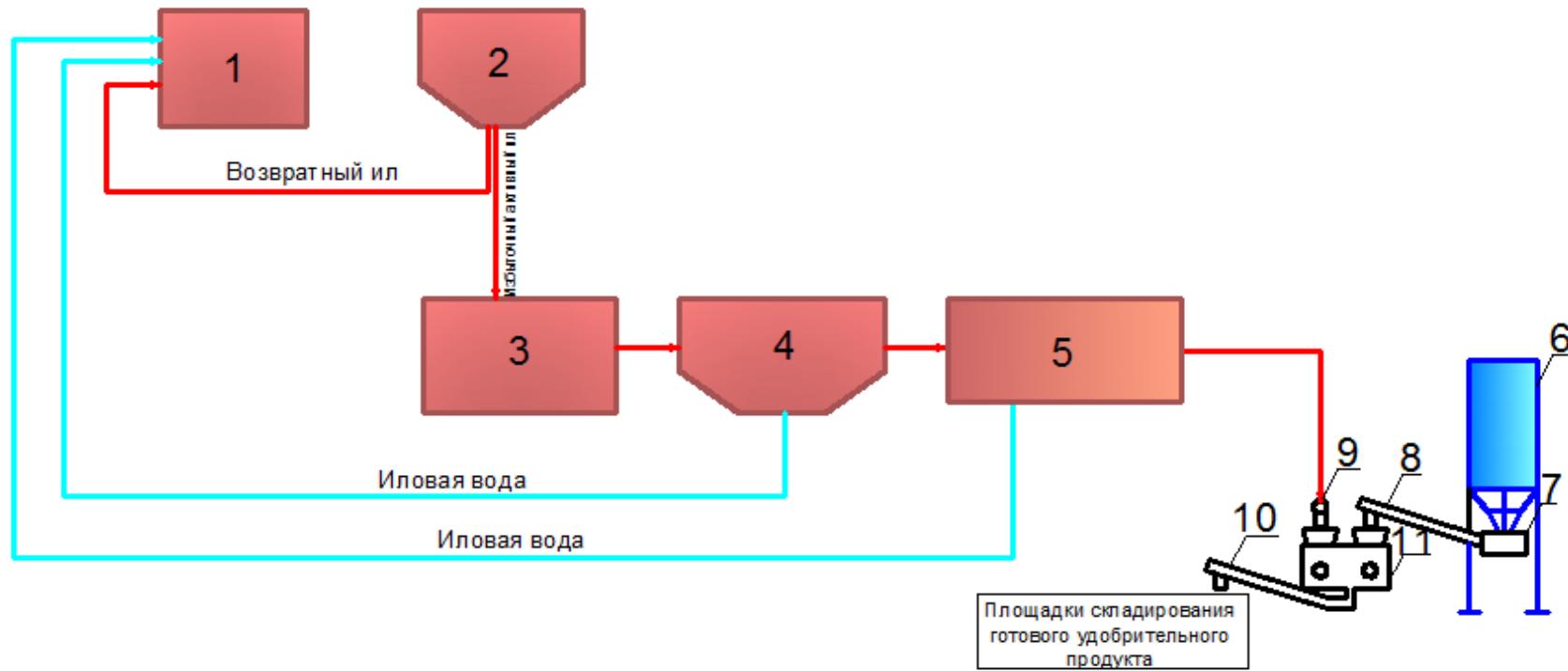


Рисунок 5.1 – Принципиальная технологическая схема обработки избыточного активного ила по получению удобрительного материала:

1 – аэротенк; 2 – вторичный отстойник; 3 – аэробный стабилизатор периодического действия; 4 – илоуплотнитель; 5 – установка по обезвоживанию; 6 – бункер извести; 7 – дозатор извести; 8 – шнековый конвейер подачи извести в смеситель; 9 – шнековый конвейер подачи обезвоженного осадка в смеситель; 10 – шнековый конвейер смеси осадка с негашёной известью; 11 – смеситель осадка с негашеной известью.

После обезвоживания осадок направляется на химическую обработку негашёной известью. Используется кальциевая известь, в состав которой входит 85 – 90% CaO и менее 5% оксида магния. Хранение реагента следует производить в сухом и закрытом месте. Дозировка извести производится в автоматическом режиме при помощи дозатора. В качестве смесителя извести и осадка используется шнековый смеситель, который оборудован двумя параллельными горизонтальными валами, оснащёнными плоскими лопастями. Готовый продукт подается в накопительный бункер для временного хранения. Обеззараженный жидкий удобрительный продукт специальным автотранспортом вывозится для рекультивации земельных участков.

Технико-экономическое сравнение разработанной технологии с традиционной технологией при складировании осадка на иловых площадках, выполнено для канализационных очистных сооружений производительностью 1000 м³/сут, находящихся в пгт. Карло-Марксово, ДНР.

5.1.1 Расчет аэробного стабилизатора

Прирост активного ила в аэротенках составил:

$$P_i = 0,8 \cdot C_{cdp} + K_g + L_{en}, \quad (5.1)$$

где C_{cdp} - концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей в аэротенк, г/м³;

K_g - коэффициент прироста; для городских сточных вод $K_g = 0,3$;

L_{en} - БПК_{полн} поступающей в аэротенк сточной воды (с учетом снижения БПК при первичном отстаивании), г/м³.

$$P_i = 0,8 \cdot 120 + 0,3 + 150 = 246,3 \text{ г/м}^3.$$

При этом количество избыточного активного ила на суточную производительность при расчетном приросте и на производительность сточных вод 1000 м³/сут составит:

$$Q_{изб} = \frac{P_i \cdot Q_{сут}}{a_r \cdot 1000} = \frac{246,3 \cdot 1000}{3 \cdot 1000} = 82,1 \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (5.2)$$

где a_r - концентрация взвешенных веществ активного ила, 3 кг/м³;

P_i – прирост активного ила, г/м³;

$Q_{\text{сут}}$ – суточная производительность КОС, м³/сут.

Количество сухого вещества избыточного ила, поступающего на стабилизацию:

$$G_{\text{изб}} = \frac{a_r \cdot Q_{\text{изб}}}{1000} \text{ т/сут}, \quad (5.3)$$

где a_r - концентрация избыточного ила, 3 кг/м³

$$G_{\text{изб}} = \frac{3 \cdot 82,1}{1000} = 0,246 \text{ (т/сут).}$$

Требуемый объем одной секции аэробного стабилизатора определяется согласно выражению:

$$W_{\text{stab}} = Q_{\text{изб}} \cdot t_{\text{stab}} \cdot K\tau, \quad (5.4)$$

где t_{stab} – продолжительность стабилизации активного ила принимается согласно полученным экспериментальным исследованиям (2 суток);

$K\tau$ – температурный коэффициент – 1.

$$W_{\text{stab}} = 82,1 \cdot 2 \cdot 1 = 164,2 \text{ (м}^3\text{).}$$

Выбран аэробный стабилизатор периодического действия общим объемом 330 м³.

Для подачи воздуха подобрана одна рабочая одна резервная вихревые воздуховоды VARP Alpha 265x220 с расходом воздуха 265 м³/ч.

На основании собственных исследований распад беззольной части ила в течение двух суток принят 6%. Исходя из этого, суточная масса ила после стабилизации составит – 0,231 т.

5.1.2 Расчет илоуплотнителя

В качестве илоуплотнителя принимается отстойник вертикального типа. Объем уплотнителя составит:

$$W_{\text{упл}} = \frac{Q_{\text{изб}} \cdot t_{\text{упл}}}{24} \text{ м}^3, \quad (5.5)$$

где $t_{\text{упл}}$ – продолжительность уплотнения принята 5 часов.

$$W_{упл} = \frac{82,1 \cdot 5}{24} = 17 \text{ (м}^3\text{)}$$

Количество уплотненного осадка рассчитывается согласно выражению:

$$Q_{уп} = Q_{изб} \cdot (100 - P_{стаб}) / 100 - P_{упл} \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (5.6)$$

где $P_{стаб}$ – влажность стабилизированного ила, 99,7 %;

$P_{упл}$ - влажность уплотненного ила – 98,5 %.

$$Q_{уп} = 82,1 \cdot (100 - 99,7) / 100 - 98,5 = 16,42 \text{ (м}^3\text{/сут)}$$

Расчет иловой воды, сбрасываемой в аэротенк после илоуплотнителя рассчитывается согласно выражению:

$$Q_{ил.в} = Q_{изб} - Q_{уп}, \quad (\text{м}^3/\text{сут}); \quad (5.7)$$

$$Q_{ил.в} = 82,1 - 16,42 = 65,68 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

5.1.3 Обезвоживание иловой воды и обработка осадка негашёной известью

Вторым этапом удаления влаги из избыточного активного ила является его обезвоживание на специальных установках. Обезвоживание уплотненного ила осуществляется на фильтрующих мешках из нетканого полотна (Рисунок 5.2). При этом влажность обезвоженного осадка составляет 80%.



Рисунок 5.2 - Мешковой обезвоживатель ила ОНИКС [110]

Для обезвоживания осадка подобраны две установки ОНИКС 6 производительностью 9 м³/сут каждая.

Количество обезвоженного осадка рассчитывается по следующей формуле:

$$Q_{об} = Q_{упл} \cdot (100 - P_{упл}) / 100 - P_{об} \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (5.8)$$

где $P_{упл}$ - влажность уплотненного ила принимается – 98,5%;

$P_{об}$ – влажность обезвоженного осадка – 80%.

$$Q_{упл} = 16,2 \cdot (100-98,5) / 100-80 = 1,2 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

После обезвоживания осадок направляется на специальный бункер временного хранения, а иловая вода сбрасывается в аэротенк.

Количество иловой воды рассчитывается по формуле:

$$Q_{ил.в} = Q_{упл} - Q_{об}, (\text{м}^3/\text{сут}); \quad (5.9)$$

$$Q_{ил.в} = 16,2 - 1,2 = 15 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Ежесуточная масса осадка после обезвоживания составляет 0,230 тонн с учетом выноса взвешенных веществ после илоуплотнителя и обезвоживания. Экспериментальными исследованиями установлена вносимая доза реагента, которая составляет 10% от массы сухого вещества ила. При этом ежесуточный расход извести составит – 0,023 т CaO/сут.

Масса ила с добавлением извести:

$$G_i = 0,231 + 0,023 = 0,254 \text{ (т/сут)}.$$

Влажность осадка после обработки известью, составляет 78...75%. Готовый удобрительный продукт подается в бункер временного хранения. На рисунке 5.3 представлена балансовая схема расчета основных сооружений по обработке избыточного активного ила.

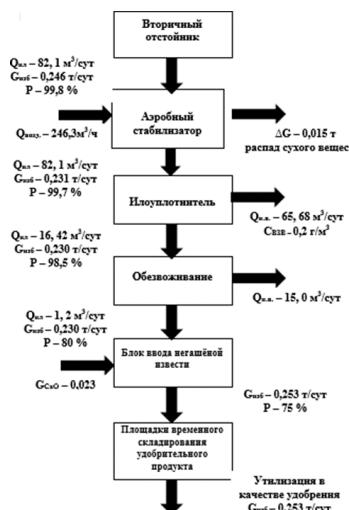


Рисунок 5.3 - Балансовая схема обработки избыточного активного ила для получения удобрительного материала

Полученный удобрительный материал может использоваться под рекультивацию земли для посадки декоративных деревьев и кустарников.

5.2 Технико-экономические показатели технологии получения удобрительного материала из активного ила

Рассмотрим два варианта обработки избыточного активного ила:

- традиционная технология обработки и накопления осадка на иловых площадках;
- предлагаемая технология обработки осадка с получением удобрительного материала.

Традиционная обработка осадка включает аэробную стабилизацию осадка в течение пяти суток с последующим обезвоживанием и размещением на иловых площадках. Затраты на обработку и утилизацию активного ила включают в себя капитальные и эксплуатационные затраты. В таблице 5.1 приведены капитальные затраты по двум технологиям: вариант 1 (предлагаемая технология получения удобрительного материала на основе активного ила); вариант 2 (традиционная технология обработки осадка).

Таблица 5.1 – Капитальные затраты на обработку избыточного активного ила

Наименование затрат	Показатель		Стоимость тыс. руб. (согласно НЦС 81-02-19-2017) [114]	
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 1	Вариант 2
1	2	3	4	5
Аэробный стабилизатор	Объем 330 м ³	Объем 821 м ³	918,40	1936,4
Илоуплотнитель	Объем 17 м ³	Объем 17 м ³	224,00	224,00
Стоимость воздуходувки VARP Alpha	2 шт Q _B – 265 м ³ /час	2 шт Q _B – 700 м ³ /час	107,55	227,55
Стоимость установки мешкового обезвоживателя осадка ОНИКС 6	2 шт	2 шт	690,00	690,00

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4	5
Силос панельный для хранения негашеной извести	1 шт	-	113,19	-
Шнековый транспортёр	3 шт	1 шт	300,00	100,00
Смеситель	1 шт	-	108,00	-
Емкость для хранения готового удобрительного продукта для трехсуточного накопления объемом 5 м ³	1 шт	-	44,50	-
Иловые площадки	-	273,75 м ²		2562,3
		Всего	2505,64	5740,25

В таблице 5.2 приведены эксплуатационные затраты на обработку избыточного активного ила по двум вариантам.

Таблица 5.2 – Эксплуатационные затраты на обработку избыточного активного ила

Наименование	Значение		Ед. измерения	Показатель тыс. руб /год	Примечание
	Вариант 1	Вариант 2			
Стоимость электроэнергии на воздуходувки	9639 кВт	35040 кВт	кВт/год	25,35	92,155 Тариф – 2,63 руб. за 1 кВт/ч
Стоимость электроэнергии на шнековые конвейеры	16790 кВт	5596,66 кВт	кВт/год	44,15	14,71 Тариф – 2,63 руб. за 1 кВт/ч
Стоимость негашёной извести (CaO)	8,39 т	-	тыс. руб./год	125,92	Стоимость 1 кг CaO – 15 руб.
Амортизационные отчисления	5 % от общей стоимости		тыс. руб./год	125,28	282,01
Численность персонала	3 человека		тыс. руб./год	1080,00	1080,00 30000 руб·чел /месяц
Затраты на транспортировку удобрительного продукта			тыс. руб./год	144,00	- Стоимость топлива за 1 л – 60 руб.
Всего расходов		-	тыс. руб./год	1544,7	1468,87

Приведенные затраты на получение удобрительного материала из осадка определяется согласно выражению:

$$Z = C + 0,12 \cdot K, \text{тыс. руб/год}; \quad (5.10)$$

$$Z = 1544,7 + 0,12 \cdot 2505,64 = 1845,37 \text{ тыс.руб/год},$$

где: С – эксплуатационные расходы, тыс. руб/год;

К – капитальные вложения, тыс. руб / год.

Приведенные затраты на реализацию технологии обработки осадка с последующим складированием его на иловых площадках:

$$Z = 1468,87 + 0,12 \cdot 5740,25 = 2157,7 \text{ тыс. руб/год}.$$

По приведенным затратам первый вариант экономически выгоднее. При суточном количестве образованного готового удобрительного продукта 0,253, годовое количество удобрения составляет

$$G_y = 0,253 \cdot 365 = 92,3 \text{ т.} \quad (5.11)$$

Стоимость 1 тонны удобрительного материала на потребительском рынке в среднем составляет 30000 руб/т. Чистая годовая прибыль при продаже готового удобрительного материала на основе избыточного активного ила составила 2 млн. 760 тыс. рублей в год.

5.3. Выводы по пятой главе

1. Разработанная технологическая схема переработки избыточного активного ила в удобрительный материал, включающая в себя аэробной стабилизацию с последующей обработкой негашёной известью, позволяет получить готовый обработанный от патогенных микроорганизмов продукт влажностью 80%. При этом уменьшается антропогенное загрязнение окружающей среды, сокращается объем осадков, располагающихся на иловых площадках.

2. Технико-экономический расчёт показал преимущество предложенной технологической схемы обработки избыточного активного ила в

удобрительный материал по сравнению с традиционных технологий при складировании осадка на иловых площадках. Чистая годовая прибыль при продаже готового удобрительного материала на основе избыточного активного ила составила 2 млн. 760 тыс. рублей в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполнен анализ основных направлений использования активного ила, установлено, что наиболее рациональным направлением является применение его в качестве удобрительного материала или рекультиванта неплодородных почв. Одним, из основных сдерживающих факторов выступает наличие патогенных микроорганизмов. Существующие методы снижения патогенной обсеменённости основываются на реагентной и тепловой обработке. Однако данные методы не нашли широкого применения при эксплуатации на станциях биологической очистки из-за сложности применяемого оборудования и высоких энергетических затрат.

2. Теоретически обоснованы аспекты повышения окислительно-восстановительного потенциала в процессе аэробной стабилизации. В процессе аммонификации беззольной части активного ила происходит выделение азота аммонийного, что создает условия для протекания процессов нитрификации, конечным итогом которых является образование нитритов и нитратов, способствующих повышению ОВП. Повышение ОВП среды оказывает губительное действие на анаэробные патогенные микроорганизмы, заселяющие активный ил.

3. На основании экспериментальных исследований установлено, что максимальное увеличение ОВП достигало значения +500 мВ на вторые сутки аэробной стабилизации, после чего особых изменений не наблюдалось. При концентрации нитратов $N\text{-NO}_3^-$ более 35 мг/дм³, повышение ОВП достигало максимального значения +500 мВ.

4. Экспериментально установлено, что с целью снижения патогенной обсеменённости ила по показателям БГКП и *Salmonella* требуется не менее двух суток аэробной стабилизации в непроточных условиях. При этом эффективность снижения патогенности ила в среднем составила для БГКП – 76%, *Salmonella* – 71,6%. Такая тенденция снижения патогенности ила напрямую коррелируется с ростом ОВП среды.

5. В процессе экспериментальных исследований была определена относительная стабильность осадка после двух суток аэробной стабилизации, которая составила 81%. Полученные данные свидетельствуют о том, что стабилизованный осадок в течение двух суток не будет подвержен загниванию в течение последующих семи суток, за счет протекания окислительных процессов.

6. Впервые адаптирована модель ASM 1 с откорректированными стехиометрическими коэффициентами для расчета роста и отмирания гетеротрофных и автотрофных микроорганизмов в процессе аэробной стабилизации в биореакторе периодического действия, которые составили: $Y_N = 0,5 \text{ г ХПК/г N}$; $Y_A = 0,1 \text{ г ХПК/г N}$; $\mu_N = 0,6 \text{ сут}^{-1}$, $\mu_A = 0,8 \text{ сут}^{-1}$.

7. Определена минимально необходимая доза негашёной извести, (10% от массы сухого вещества осадка) после стабилизации в биореакторе периодического действия, обеспечивающая гибель патогенных микроорганизмов. Относительная стабильность осадка после обработки негашёной известью достигает 99%.

8. Разработаны рекомендации для проектирования комплексной обработки избыточного активного ила, основанные на аэробной стабилизации с последующей обработкой щелочным реагентом. Полученный удобрительный материал может использоваться под рекультивацию неплодородных почв. Чистая годовая прибыль при реализации удобрительного материала для станций очистки сточных вод производительностью 1000 м³/сут составила 2 млн. 760 тыс. рублей в год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаева, Л. А. Биологическая очистка сточных вод предприятий нефтехимического комплекса и энергетики [Текст] / Л. А. Николаева, Р.Я. Исхакова // учебное пособие. – Казань: КГЭУ, 2021 – 90 с.
2. Новикова, О.К. Обработка осадков сточных вод [Текст]/ О.К. Новикова // учеб.-метод. пособие; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2015. – 96 с.
3. Кузнецов, А. Е. Высокоэффективные экологически чистые совмещенные системы микробиологического синтеза и очистки сточных вод с оксидативным стрессовым воздействием: специальность 03.01.06 «Биотехнология»: Диссертация на соискание доктора технических наук / Кузнецов, А. Е.; Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева. — Москва, 2020. — 708 с.
4. Янин, Е.П. Осадки сточных вод городов России как источник эмиссии ртути в окружающую среду [Текст] / Янин Е.П. // Экологические системы и приборы, 2009. – Вып. 7. – С. 14-15.
5. Guofeng, Zhang Environmental and Social-economic Impacts of Sewage Sludge Treatment [Текст] / Guofeng Zhang // Milieu and RPA . — 2016. — № 24. — С.10-15.
6. Музыченко, В. Е. Использование осадков сточных вод [Текст] / Музыченко В. Е., Павлинова Н. И., Королева Е. А. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2000. – № 6. – С. 17-19.
7. Дрозд, Г. Л. Осадки сточных вод как удобрение для сельского хозяйства [Текст] / Дрозд Г. Л., Зотов Н. И., Маслак В. Н. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2001. – № 12. – С. 33-35.
8. Технологический регламент городских канализационных очистных сооружений Макеевского ПУВКХ КП «Компания «Вода Донбасса» / Макеевское ПУВКХ КП «Компания «Вода Донбасса». – Макеевка, 2016. – 20 с.

9. Паспорт места удаления отходов Макеевского ПУВКХ КП «Компания «Вода Донбасса»: Отчет годовой / Макеевское ПУВКХ КП «Компания «Вода Донбасса». – Макеевка, 2013. – 20 с.

10. Mohamed,S. Biological and Chemical Wastewater Treatment Processes [Электронный ресурс] / Mohamed, S. // Wastewater Treatment Engineering.2015.Режим доступа <https://www.intechopen.com/books/wastewater-treatment-engineering/biological- and-chemical-wastewater-treatment-processes>

11. Туровский, И. С. Обработка осадков сточных вод. [Текст] / И. С. Туровский — 3 - е изд. — Москва: М.: Стройиздат, 1988 — 256 с.

12. Туровский, И. С. Осадки сточных вод. Обезвоживание и обеззараживание [Текст] / И. С. Туровский. — Москва: М.: Дели принт, 2008 — 375 с.

13. Яковлев, С. В. Водоотведение и очистка сточных вод [Текст] / С. В. Яковлев, Ю. В. Воронов. — Москва: М.: АСВ, 2002 — 704 с.

14. Евилевич, А.З Утилизация осадков сточных вод [Текст] / Евилевич А.З., Евилевич М.А. // Львов: Высшая школа, 1988 — 148 с.

15. Обработка и утилизация осадков городских сточных вод [Электронный ресурс]: учебник / Э. П. Доскина, А. В. Москвичева, Е. В. Москвичева, А. А. Геращенко. – Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. – 220 с. – ISBN 978-5- 9729-0324-5. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/86610.html>.

16. Wilén, B. The mechanisms of granulation of activated sludge in wastewater treatment, its optimization, and impact on effluent quality [Text] / Liébana R., Persson F., Modin O., Hermansson M. // Applied Microbiology and Biotechnology. – 2018. – № 102(3). – С. 5005–5020.

17. Солодкова, А.Б. Обезвреживание отработанного активного ила с получением материалов для решения экологических проблем химических и нефтехимических предприятий: специальность 03.02.08 «Экология»: Диссертация на соискание кандидата технических наук / Солодкова, А.Б. ;

Казанский национальный исследовательский технологический университет.
— Саратов, 2014. — 158 с.

18. СНиП 2.04.03.-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. — М.: Государственный комитет СССР по делам строительства. 1986. — 73 с.

19. Кичигин, В. И. Обработка и утилизация осадков природных и сточных вод [Электронный ресурс]: учебное пособие / Кичигин В. И. - Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС ACB, 2008.-204с.-ISBN978-5-9585-0270-7.URL:

<http://www.iprbookshop.ru/20489.html>

20. Валиев, В.С. Способы утилизации осадков городских сточных вод [Текст] / В.С. Валиев, Д.В. Иванов, Р.Р. Шагидуллин / Российский журнал прикладной экологии // 2020. — № 4. — С. 52 – 63.

21. Sigua, G.C., Cumulative and residual effects of repeated sewage sludge applications: forage productivity and soil quality implications in South Florida, USA [Text]/ Sigua G.C., Adjei M.B., Rechcigl J.E. // Environmental science and pollution research. – 2005. – V.12. – P. 80 – 88. Doi: 10.1065/2004.10.220.

22. Global atlas of excreta, wastewater sludge and biosolids management: moving forward the sustainable and welcome uses of a global resource [Text]/ Ed. by R.J. Le Blanc, P. Matthews, R.P. Richard. – United Nations Humans Settlements Programme (UN- HABITAT), 2008. – 612 p.

23. Брязгина Е.Ю. Способ обезвреживания и утилизации отработанного активного ила / Е.Ю. Брязгина, Р.Р. Насыров, З.А. Латыпова, Л.Р. Хазимова [Текст] // Электронный научный журнал нефтегазовое дело. — Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2014. — С. 124-13. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21820967>

24. Лотош В.Е. Утилизация канализационных стоков и осадков / Лотош В.Е. [Электронный ресурс] // STUDY LIB: [сайт]. — URL: <https://studylib.ru/doc/2098497/utilizaciya-kanalizacionnyh-stokov-i-osadkov> (дата обращения: 25.08.2023).

25. Шарафиеv, Р. Г. Совершенствование способов для обеззараживания канализационных фекальных отходов и устройств утилизации илового осадка очистных сооружений [Текст] / Р. Г. Шарафиеv, Г.М. Ахмадиев // Бюллентень науки и практики. – 2018. – Т.4.№5. – С.197-210. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/sharafiev> .
26. Янин, Е. П. Сжигание осадков городских сточных вод (проблемы и способы) [Текст] / Е. П. Янин // Ресурсосберегающие технологии. — 2006. — № 24. — С. 3-29.
27. Lu, Y. Effects of free nitrous acid and nitrite on two-phase anaerobic digestion of waste activated sludge: a preliminary study [Text]/ Lu Y., Xu Y., Dong B., Dai X. // Science of total environment. – 2019. – V.654. – P.1064-1071.
28. Авторское свидетельство SU 1504234 A1, 30.08.1989. Заявка № 4068863 Мартенсен В.Н., Стрелков А.К., Быкова П.Г., Горбунов Ю.Ф., Кичигин В.И. от 20.05.1986.
29. Menendez, J.A. Microwave-induced pyrolysis of sewage sludge [Text] / J. A. Menendez, J. Minguanzo, J.J. Pis // – DOI 10.1016/S0043-1354(02)00017-9. – Direct text // Water research. – 2002. – № 36. – P. 3261–3264.
30. Гунина, Е.А, Агроэкологическая оценка осадков сточных вод очистных сооружений Южное Бутово г. Москвы для применения в агрикультуре: специальность 06.01.04 «Агрохимия»: Диссертация на соискание кандидата биологических наук / Гунина, Е.А.; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. — Москва, 2017. — 142 с.
31. Зайнуллин, Р. Р. Производство кормовых продуктов из активного ила городских сточных вод [Текст] / Р. Р. Зайнуллин, А. А. Галяутдинов // Инновационная наука. – 2016. – № 6. – С. 79-80.
32. Li, C. A process combining hydrothermal pretreatment, anaerobic digestion and pyrolysis for sewage sludge dewatering and co-production of biogas and biochar [Text] / Li C. Wang X., Zhang G., Li J., Yu G. Wang Y. // Bio-resources technologe. – 2018. – V.254. – P. 187 – 193.

33. Благоразумова, А. М. Обработка и обезвоживание осадков городских сточных вод [Текст] / А. М. Благоразумова // Новокузнецк : Сиб-ГИУ, 2010 — 139 с.

34. Ксенофонтов, Б.С. Интенсификация очистки сточных вод химических производств с использованием биофлокулянтов [Текст]/ Б.С. Ксенофотнов // Безопасность жизнедеятельности. – 2009. – № 10. – С.24 – 29.

35. Ксенофонтов, Б.С. Использование активного ила как биофлокулянт для биохимической очистки вода [Текст] / Б.С. Ксенофонтов, Е.Е. Гончаренко, Ю.А. Борисов // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). 2019. –№10. – С. 23 -27.

36. Пахненко, Е.П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения. учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности 013000 (020701) и направлению 510700 (020700) "Почвоведение" [Текст] / Е. П. Пахненко. - Москва : БИНОМ. Лаб. знаний, 2007. - 311 с. ISBN 978-5-94774-597-9

37. ГОСТ Р 17.4.3.072001. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. Nature protection. Soils. Requirements for sewage sludge use for fertilization: государственный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 23 января 2001 г. № 30ст : введен впервые 20011001 / разработан ОАО «Научно-исследовательский институт коммунального водоснабжения и очистки воды». – Москва: Стандарт информ. – 2001. – 5 с.

38. Ковалев, Н.Г. Влияние органических удобрений на содержание и состав гумуса дерново-подзолистой почвы, урожайность возделываемых культур и качество продукции [Текст] / Н.Г. Ковалев, И.Н. Барановский // Агрохимия. - 2000. - № 2.- С. 31-35.

39. Касатиков, В.А. Агрогеохимические свойства осадков городских сточных вод и торфоиловых компостов [Текст] / В.А. Касатиков // Агрохимия. -1996.- № 8-9.- С. 87-96.

40. Anju, Pant. Monitoring of Pathogenicity of Effluents from the UASB Based Sewage Treatment Plant [Text] / Anju Pant, Atul K. Mittal // Environmental Monitoring and Assessment volume. – 2007. – № 133. – С.43 – 51.
41. Жмур, Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками [Текст]/ Н. С. Жмур // – Москва: АКВАРОС, 2003 (ФГУ ИПП Кострома). – 507 с.
42. Гудков, А. Г. Биологическая очистка городских сточных вод [Текст] / А. Г. Гудков —. Вологда: ВоГТУ, 2002 — 127 с.
43. Жмур, Н. С. Биоценотические изменения активного ила, функционирующего в условиях экстремального антропогенного воздействия: специальность 11.00.11 «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов»: Диссертация на соискание кандидата биологических наук / Жмур, Н. С. ; Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды. — Москва , 2000. — 150 с.
44. Сопрунова, О.Б. Циано-бактериальные консорциумы в очистке сточных вод [Текст] / О.Б. Сопрунова // Электронный журнал «Исследовано в России» - 2010. - №11. – С.113-120.
45. Конончук, Р.М. Исследование биохимической очистки сточных вод на базе флокуляционной модели: специальность 11.00.11 «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов» : Диссертация на соискание кандидата технических наук / Конончук, Р.М. ; Казанский государственный технологический университет. — Казань, 2000. — 118 с.
46. Журминская, О. Оценка состояния биоценоза активного ила и создание базы данных экспертной системы: дисс. ... док-ра биол. наук – Кишинев, 2012. – 181 с.
47. Николаенко, Е.В. Проектирование очистных сооружений [Текст]/ Е.В. Николаенко, В.В. Авдин, В.С. Сперанский // Учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 41 с.

48. Наумов, А.В. Основы биологической очистки промстоков ЦБП [Текст] Учебное пособие/ А.В. Наумов, А.Н. Николаев // – Л.: ЛТА, 1984. – 79 с.
49. Могилевская, И.В. Углеводородокисляющие микроорганизмы для биологической очистки сточных вод и загрязненных почв [Текст]/ И.В. Могилевская, И.В. Владимцева // Современные наукоемкие технологии. – 2005. – № 9. – С.67-68.
50. Коровушкин, А.А., Индикаторные микроорганизмы активного ила на сооружениях биологической очистки [Текст] / А.А. Коровушкин, Ю.А. Помичук. / Вестник РГАТУ. – 2010. – №4 – С.37-38.
51. Щербаков, В.И. Исследования применения осадков сточных для внесения в почву [Текст] / В.И. Щербаков, В.В. Помогаева // VI международная научно-практическая конференция "экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы". – Том Часть 2. – 2019. – С. 266-270.
52. Никитина, О. Г. БИОЭСТИМАЦИЯ: контроль и регулирование процессов биологической очистки и самоочищения воды: специальность 03.02.08; 03.02.10 «Экология; Гидробиология»: Автореферат на соискание доктора биологических наук / Никитина, О. Г.; Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. — Москва, 2012. — 47 с.
53. Мешки для системы обезвоживания осадка из нетканого полотна /[Электронный ресурс] // ОНИКС : [сайт]. — URL: <https://ecostoc.ru/products/meshkovoy-obezvojivately-osadka-oniks/meshki-dlya-sistemi-obezvojivaniya-osadka-iz-netkanogo-polotna/> (дата обращения: 01.09.2023).
54. Пахненко, Е.П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения [Текст] / Е.П. Пахненко. // учебное пособие – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 311 с.
55. Лурье, Ю. Ю. налитическая химия промышленных сточных вод [Текст] / Ю. Ю. Лурье // — Москва: М: Химия, 1984 — 448 с.

56. Кобелева, Й. В. Биологическая очистка коммунально-бытовых сточных вод с применением реагентных препаратов: специальность 03.01.06 «Биотехнология»: Диссертация на соискание кандидата технических наук / Кобелева, Й. В.; Казан. нац. исслед. технол. ун-т. — Казань, 2017. — 146 с.
57. Дрегуло, А. М. Проблемы эколого-химической детоксикации активного ила и его использование в биологической очистке сточных вод: специальность 03.02.08 «Экология»: Диссертация на соискание кандидата технических наук / Дрегуло, А. М.; ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна». — Петрозаводск, 2014. — 144 с.
58. Котюк, Ф. А. Разработка методов удаления тяжёлых металлов из осадков городских сточных вод [Текст] / Ф. А. Котюк, Ю. И. Штонда // Научно-технический сборник. Коммунальное хозяйство. — 2004. — № 72. — С. 165–169.
59. Зыкова, И. В. Обезвреживание избыточных активных илов и осадков сточных вод от тяжелых металлов: специальность 03.00.16 «Экология » : Автореферат на соискание доктора химических наук / Зыкова, И. В. ; ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна». — Санкт-петербург , 2008. — 32 с.
60. Чернышев, В. Н. К вопросу удаления металлов из осадков городских сточных вод [Текст] / В. Н. Чернышев, А. В. Пономаренко, В. Ф. Кижаев // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, 2008. — 2008. № 2(70) Инженерные системы и техногенная безопасность. — С. 60–64.
61. Пат. 2057088, Россия МПК C02F 11/00. Способ обработки осадков сточных вод с удалением тяжёлых металлов [Текст] / Д. А. Данилович, В. Е. Аджиенко; патентообладатель Данилович Дмитрий Александрович, Аджиенко Владислав Евгеньевич. — № 2003112774/15; заявл. 25.04.1994; опубл. 27.03.1996. — 7 с.

62. Clark, P.B. Ultrasonic sludge pretreatment for enhanced sludge digestion [Text]/ Clark, P.B. // -Water and Environ. Manag. – 2000. – № 1. – Р. 66-71.
63. Головнев, И. Э. Использование избыточного активного ила для интенсификации механической очистки городских сточных вод [Текст] / И. Э. Головнев, В. Н. Марцуль // Организационно-техническое управление в межотраслевых комплексах: материалы II международной научно-технической конференции, Минск, 20-21 ноября 2007 г. - С. 459-463.
64. Чернышев, В.Н. К вопросу удаления металлов из осадков городских сточных вод [Текст] / В.Н. Чернышев, А.В. Пономаренко, В.Ф. Кижаев // Вестник ДонНАСА. – № 2(70). – 2008. С. 60–64.
65. Чернышев, В.Н. Биотехнология глубокой минерализации осадков городских сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов [Текст]/ В.Н. Чернышев В.Н., В.Ф. // Материалы межд. научн.-практ. конф. «Вода, экология, общество». Харьков: ХНАГХ 2010.
66. Чернышев, В.Н. Глубокая минерализация в технологии обработки осадков городских сточных вод содержащих ионы тяжелых металлов [Текст]/ В.Н. Чернышев, В.И. Нездойминов, В.Ф. Кижаев // Водоснабжение и водоотведение, 2011. № 5. С. 15–22.
67. Чефранова, Ю.А. Опыт применения аммиака с целью снижения яиц аскарид в осадке сточных вод с иловых площадок [Текст] / Чефранова Ю.А., А.И. Бухтояров, Е.Е. Ястребов // Гигиена и санитария. № 4 1978. С. 100 -120.
68. Чернышев, В. Н. Глубокая минерализация в технологии обработки осадков городских сточных вод содержащих ионы тяжелых металлов [Текст] / В. Н. Чернышев, В. И. Нездойминов, В. Ф. Кижаев // Водоснабжение и водоотведение. — 2011. — № 5. — С. 15-22.
69. Нездойминов, В.И. Возможность использования избыточного активного ила в качестве органоминерального удобрения [Текст]/ В.И. Нездойминов, А.В. Могукало // Вестник ДонНАСА. – № 3(149). 2021. – С. 56-61.

70. Нездойминов, В. И. К вопросу использования осадков сточных вод в качестве органоминерального удобрения / В. И. Нездойминов, В. Н. Чернышев, Л. Г. Зайченко, А. В. Могукало [Текст] // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2019»: материалы XII Межд. науч.-практ. конф. . — Сочи:, 2019. — С. 232-237.
71. Gerardi, Michael H. Wastewater bacteria [Text]/ Michael H. Gerardi. // Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey Published simultaneously in Canada. – 2006. – 267 p.
72. Скиба, Е. А. Основы промышленной микробиологии : учебное пособие / Е. А. Скиба, Н. А. Шавыркина, М. Э. Ламберова ; Алтайский государственный технический университет, БТИ. – Бийск : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2013. – 110 с. – URL : <http://irbis.bti.secna.ru> (дата обращения: 02.03.2022).
73. Heitkamp, M.A. Fate in sewage of a recombinant Escherichia coli K-12 strain used in the commercial production of bivine somatotropin [Text]/ Heitkamp M.A., Kane J.F., Morris P.J.L. [et al.] //J. of Industrial Microbiology. – 1993. – V. 11. – P. 243-252.
74. Микробиология загрязненных вод [Текст] / [Р. Митчелл, В. Штамм, Э. Штамм-Золлингер и др.]; Под ред. Р. Митчелла; Сокр. пер. с англ. Г. Г. Калина. - Москва : Медицина, 1976. - 320 с
75. Кутлиев, Д. Бактериальные показатели загрязнения воды реки Карадарья [Текст]/ Д. Кутлиев // 5 Съезд Всес. гидробиол. о-ва, Тольятти, 15-19 сентября, 1986. Тез. докл. Ч. 1. – Куйбышев, 1986. – С. 196-197.
76. Условно-патогенные грамотрицательные и грам положительные бактерии: учебное пособие [Текст] / З. Г. Габидуллин, Т. А. Савченко, Ю. З Габидуллин [и др.]. // – Уфа: Издательство ГБОУ ВПО БГМУ Минздрава России, 2014. – 82 с.
77. Янин, Е.П. Осадки городских сточных вод как источник биологического загрязнения окружающей среды [Текст]/ Е.П. Янин// Экологическая экспертиза. – 2009. - №2. – С. 48-77.

78. Использование сточных вод для орошения земель : [Сб. ст.] / ВАСХНИЛ, Отд-ние гидротехники и мелиорации, Всесоюз. науч.-произв. об-ние по с.-х. использ. сточ. вод "Прогресс"; Под ред. В. М. Новикова. - Москва : Колос, 1983. - 175 с.

79. Котельников, Г.А. Гельминтологические исследования окружающей среды [Текст]/ Г. А. Котельников // - Москва: Росагропромиздат, 1991. - 143

80. Зарубин, Г.П. Санитарный контроль за эффективностью работы очистных сооружений бытовых сточных вод [Текст] / Зарубин, Г.П. — Москва: М: Медицина, 1977 — 183 с.

81. Blanch, A.R. Emergeng pathogens in wastewaters [Text]/ Blanch A.R., Jofre J. // The Handbook of Environmental Chemistry/ - Vol. 5, Part I. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. – 2004. – p. 141-163.

82. Pant, A., Mittal A.K. Monitoring of pathogenicity of effluents from the UASB based sewage treatment plant [Text]/ Pant A., Mittal A.K. // Environ Monit Assess. – 2007 Oct. 133(1-3). – P. 43-51. DOI: 10.1007/s10661-006-9558-1.

83. Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен, И., Арван Э. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы: - М.: Мир, 2006, - 480 с. (перевод с англ.).

84. Афанасьев, Р.А. Подготовка и использование осадков сточных вод в качестве удобрения [Текст] / Р.А. Афанасьев, Г.Е. Мерзлая // Водоснабжение и санитарная техника. – 2003. – №1. – С. 25 – 29.

85. Pathogen and Particle Associations in Wastewater: Significance and Implications for Treatment and Disinfection Processes [Text] / C. Chahal, B. Van Den Akker, F. Young [et. al.] // Advances in applied microbiology. – 2016. – № 97. – P.63–85.

86. Shcherbakov, V. Biomass Resource of Domestic Sewage Sludge [Электронный ресурс] / Shcherbakov V., Pomogaeva V., Chizhik K., Koroleva E. // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2019. – №983. – P.361-372. http://www.springer.com/series/11156_978-303019867-1. DOI: 10.1007/978-3-030-19868-8-37

87. Чернышев, В. Н. Основы проектирования городских очистных сооружений водоотведения: учебное пособие / В. Н. Чернышев, О. В. Майстренко. — Макеевка: Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ЭБС АСВ, 2019. — 255 с. — ISBN 2227-8397. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/92343.html>.

88. Yin, Z. Sludge disinfection using electrical thermal treatment: the role of ohmic heating [Text] / Yin Z., Hoffmann M., Jiang S. // Science of total environment. – 2018. – V. 615. – P. 262 – 271.

89. Physical and chemical properties of waste-activated sludge after microwave treatment [Text] / Qiang Yu, HengYi Lei, Zhong Li [et al.]. – Direct text // Water research. – 2010. – № 44. – P. 2841–2849.

90. Насыров, И.А. Проблемы утилизации иловых осадков очистных сооружений [Текст] / И.А. Насыров, Г.В. Маврин, И.Г. Шайхиев // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18 № 19 – С. 257-258.

91. Фомина, И. Г. Методология исследования качества осадков сточных вод для возможности использования их в качестве удобрений [Текст] / И. Г. Фомина // Сб. II межотрасл. науч.-практ. конф. молодых учёных и специалистов. – 2013. – С.62-64.

92. Журавлев, П. В. Определение дезинфицирующего действия негашёной извести на микрофлору иловых осадков сточных вод очистных сооружений канализации и животноводческих комплексов [Текст] / П. В. Журавлев, В. В. Алешня, Б. И. Марченко // Hygiene & Sanitation (Russian Journal). – 2019. – № 98(5). – С. 483-488.

93. Амбросова, Г. Т. Очистные сооружения канализации. Обработка, обезвоживание и обеззараживание осадка городских сточных вод: учебное пособие / Г. Т. Амбросова, А. А. Функ, Н. В. Синеева. — Новосибирск: Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), ЭБС АСВ, 2016. — 109 с. — ISBN 978-5-7795-0794-3. — Тет :

электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/68813.html>.

94. Чефранова, Ю.А. Опыт применения аммиака с целью снижения яиц аскарид в осадке сточных вод с иловых площадок [Текст]/ Чефранова Ю.А., А.И. Бухтояров, Е.Е. Ястребов // Гигиена и санитария. – № 4. – 1978. – С. 100 -120.

95. Оценка токсичности осадков городских сточных вод после обработки аминокислотными композициями: монография [Электронный ресурс]/ Л. Н. Губанов, Д. В. Бояркин, С. М. Севостьянов, И. В. Катраева. — Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2012. — 226 с. — ISBN 978-5-87941-831-6. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/16036.html>.

96. Мирный, А. Н. Критерии выбора технологии обезвреживания и переработки твердых бытовых отходов [Текст] / А. Н. Мирный // Чистый город. 1998. – № 1. – С. 8.

97. Henze M. Activated Sludge Model № 1 [Text] / Henze M., Grady C. P. L. Jr, G ujer W., et al. Scientific and Technical Report. 1987. № 1.

98. Гунина, Е. А. Агроэкологическая оценка осадка сточных вод очистных сооружений Южное Бутово г. Москвы для применения в агрикультуре: специальность 06.01.06 «Агрохимия»: Диссертация на соискание кандидата биологических наук / Гунина, Е. А.; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. — Москва, 2017. — 142 с.

99. Очистка муниципальных сточных вод с повторным использованием воды и обработанных осадков: теория и практика [Электронный ресурс] / Н. И. Куликов, А. Н. Ножевникова, Г. М. Зубов [и др.]; под редакцией Н. И. Куликов, А. Н. Ножевникова. —: Логос, 2014. — 400 с. — ISBN 978-5-98704-802-3. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/70739.html>.

100. Чугрова, Е.Н. Методы обеззараживания осадков городских сточных вод [Электронный ресурс]/Е.Н. Чугрова, М.О. Жакевич // Материалы IX Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» URL: <https://scienceforum.ru/2017/article/20170362>

101. Фомина, И.Г. Исследование влияния процесса кавитации на физико-химические и санитарно-микробиологические показатели осадка сточных вод [Текст] / И.Г. Фомина // Водное хозяйство. – № 4(122). – 2014. – С. 154-156.

102. Липатов, С. В. Закономерности обезвоживания осадков биологических очистных сооружений с использованием полиэлектролитов и их смесей с изменяемой гидрофильтностью: специальность 02.00.06; 03.00.16 «Высокомолекулярные соединения; Экология»: Диссертация на соискание кандидата технических наук / Липатов, С. В.; Волгоградский государственный технический университет и в ЗАО «Региональная энергетическая служба». — Волгоград , 2007. — 125 с.

103. Шевцов, В. С. Комбинированные сооружения для биологической очистки сточных вод, включающие в себя биореактор с псевдоожиженным слоем носителя активной биомассы и осветлитель. [Текст]/ В. С. Шевцов, В. П. Колпакова // Сборник «Инновации. Коммерческая информация ЦНИИ «Румб». – Ленинград. – №1. – 1990. – 2 с.

104. Яковлев, С. В. Биохимические процессы в очистке сточных вод. [Текст] / С. В. Яковлев, Т. А. Карюхина – М.: Стройиздат, 1980. – 200 с.

105. Wang, L. Micro-analysis of nitrogen transport and conversion inside activated sludge flocs using microelectrodes [Text] / Wang L., Lv Y., Wang X., Yang Y., Bai X. // Frontiers of Environmental Science & Engineering in China. – 2011. – V 5. – P.633–638.

106. Сироткин, А.С. Процессы биотрансформации азота в технологиях очистки сточных вод [Текст]/ А.С. Сироткин, Е.Н. Семенова // Вестник казанского технологического университета, 2008. – №1. – С. 42 – 52.

107. Аджиенко В.Е. Исследования процесса аэробной стабилизации избыточного активного ила [Текст] / В.Е. Аджиенко, Д.А. Данилович, Ф.А. Дайнеко, Б.А. Ершов, Л.С. Савельева, Н.А. Белов // Вода и Экология. – 2000. – № 3. С.59 – 70.

108. Чернышева А.Н., Чернышев В.Н. Аэробная стабилизация активного ила в биореакторах с ершовой насадкой. /Технология обработки осадков природных и сточных вод, материалы семинара, общество “Знание”, Московский дом научно-технической пропаганды,1990 г.

109. Activated Sludge Model № 1. Scientific and Technical Report № 1 / M. Henze, C. P. L. (Jr.) Grady, W. Gujer et al. London: IAWPRC, 1987.

110. Методические указания по санитарно-микробиологическому исследованию почвы (с изм., внесенными Методическими указаниями, утв. Минздравом СССР 19.02.1981 N 2293-81, МУ 2.1.7.730-99, утв. Минздравом РФ 07.02.1999).

111. Налимов, В. В. Планирование эксперимента [Текст] / В. В. Налимов. – М.: Наука, 1971. – 208 с.

112. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука. – 1971. – 278 с.

113. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика [Текст]/ А. И. Кобзарь. – М.: ФИЗМАТЛИТ. – 2006. – 816 с.

114. Министерство строительства и ЖКХ РФ. Нормативы цены строительства. НЦС 81-02-19-2017. СБОРНИК № 19. Здания и сооружения городской инфраструктуры. Москва: б.н., с 2017. – 160 с.

115. Нездойминов, В. И. Одноиловая нитрификация денитрификация в биологических реакторах с затопленной эрлифтной системой аэрации: специальность 05.23.04 «Водоснабжение, канализация»: Автореферат на соискание доктора технических наук / Нездойминов, В. И.; Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. — Макеевка, 2012. — 280 с.

116. Харькина, О. В. Эффективная эксплуатация и расчет сооружений биологической очистки сточных вод [Текст]/ О. В. Харькина // Волгоград: М: Панорама, 2015. — 433.
117. Nicolella,C. Wastewater treatment with particulate biofilm reactors [Text]/ C. Nicolella, M.C.M. van Loosdrecht, J.J. Heijnen //J. Bacteriol. — 2000. — V. 80. — P. 1—33.
118. Henze, M. Wastewater treatment: Biological and Chemical Processes [Text]/ M. Henze, P. Harremoes, J. la. Cour Jansen, E. Arvin. Berlin: Springer-Verlag // - 2002. 422p.
119. Сироткин, А.С. Агрегация микроорганизмов: флокулы, биопленки, микробные гранулы [Текст]/ А.С. Сироткин, Г.И. Шагинурова, К.Г. Ипполитов // – Казань: М: Фэн. – 2006. – 176 с.
120. Кичигин В.И. Обработка осадков сточных вод на городских очистных канализационных сооружениях с целью их последующей утилизации [Текст] / В.И. Кичигин, Ю.А. Егорова, О.И. Нестеренко, А.А. Юдин // Водоснабжение и санитарная техника. – 2021. № 9. С. 46-51.
121. Пожилова Е.В. Активные формы кислорода в физиологии и патологии клетки [Текст] / Е.В. Пожилова, В.Е. Новиков, О.С. Левченкова // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2015. Т.14 №2. С. 13 – 22.
122. Щетинин, А.И. Моделирование биохимических процессов очистки сточных вод как основа ретехнологизации сооружений [Текст]/ А. И. Щетинин, М. А. Есин, А. А. Реготун, Б. Ю. Малбиев // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. – № 11. – С. 60-69.
123. Баженов, В. И. Влияние скорости дыхания и условий адаптаций ила на коэффициент полунасыщения по кислороду [Текст]/ В. И. Баженов, М. А. Канунникова// Веткорм. – 2012. – №4. – С. 46 – 47.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

**Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации**

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры»
(ФГБОУ ВО «ДОННАСА»)**

286123, Российской Федерации, ДНР, г.о. Макеевский,

г. Макеевка, ул. Державина, д.2

Тел. +7 (856) 343-7033,

e-mail: mailbox@donnasa.ru, http://donna.sru

ОКПО 76406710 ОГРН 1229300156535

ИНН/КПП 9311020905/931101001

от 22.09.23 № 11-08/14-IV

на № _____ от _____

Диссертационный совет 02.2.001.01 при
ФГБОУ ВО «Донбасская национальная
академия строительства и архитектуры»

СПРАВКА

о внедрении результатов исследований диссертационной работы
Могукало А.В. на тему «Комплексная обработка избыточного активного ила от
патогенной обсеменённости», представленную на
соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.1.4 – «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны
водных ресурсов» в научно-исследовательскую работу ФГБОУ ВО «Донбасская
национальная академия строительства и архитектуры»

При разработке научно-исследовательской темы «Разработка комплексных
технологических схем очистки городских сточных вод и органических осадков в
высокоэффективных биореакторах» (номер государственной регистрации НИР:
0121D000092), были использованы следующие положения диссертационной работы:

1. Влияние факторов (окислительно-восстановительного потенциала, pH) на
эффективность снижения патогенной обсеменённости активного ила при его комплексной
обработке.
2. Определены дозы щелочного реагента, вводимого после аэробной стабилизации
осадка, для достижения требований использования ила в качестве удобрительного
материала.
3. Разработаны рекомендации для проектирования технологии комплексной
обработки избыточного активного ила с определением экономических показателей.

Начальник научно-исследовательской части
к.т.н., доцент

Научный руководитель,
д.т.н., профессор



Мартынова В.Б.

Нездойминов В.И.

**Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации**
**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования**
**«Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры»**
(ФГБОУ ВО «ДОННАСА»)

286123, Российская Федерация, ДНР, г.о. Макеевский,
 г. Макеевка, ул. Державина, д.2
 Тел. +7 (856) 343-7033,
 e-mail: mailbox@donnasa.ru, http://donna.ru
 ОКПО 76406710 ОГРН 1229300156535
 ИНН/КПП 9311020905/931101001

14.09.23 № 13-04/1-24

на № _____ от _____

Диссертационный совет 02.2.001.01 при
 ФГБОУ ВО «Донбасская национальная
 академия строительства и архитектуры»

СПРАВКА

о внедрении результатов исследований диссертационной работы
 Могукало А.В. на тему «Комплексная обработка избыточного активного ила от патогенной
 обсеменённости», представленную на
 соискание ученой степени кандидата технических наук по
 специальности 2.1.4 – «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных
 ресурсов» в учебный процесс ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства
 и архитектуры»

Результаты диссертационных исследований Могукало Анастасии Вадимовны, а именно: анализ факторов, оказывающих влияние на эффективность технологического процесса обработки избыточного активного ила, рациональная технологическая схема, основанная на применении комплексного метода обработки избыточного активного ила, позволяющая снизить патогенную обсеменённость ила для возможности его утилизации с территорий очистных сооружений и применения в качестве удобрительного материала, реализованы в учебном процессе ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» и включены в содержание учебной дисциплины: «Малоотходные технологии систем водоснабжения и водоотведения», которая изучается студентами по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство» программа подготовки «Современные методы очистки природных и сточных вод».

Эффект от внедрения в учебный процесс указанных результатов исследования состоит в повышении качества подготовки студентов образовательного уровня «магистр».

Ректор
д.т.н., профессор

Начальник учебного отдела,
к.э.н., доцент

Декан факультета ИЭСС
д.т.н., профессор



Н.М. Зайченко

А.А. Сухина

Лукьянин А.В.

ПРИЛОЖЕНИЕ В



**ФИЛИАЛ «ЦЕНТРАЛЬНАЯ КОНТРОЛЬНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ И
ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКАЯ ВОДНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ»
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИТАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ «ВОДА ДОНБАССА»**

(Филиал «ЦКИПИВЛ» ГУП ДНР «ВОДА ДОНБАССА»)

286133, Донецкая Народная Республика, Г.О. МАКЕЕВСКИЙ, Г.МАКЕЕВКА, УЛ. ТРУБИЦЫНА, Д. 2

Почтовый адрес: пр. Титова, 8, г. Донецк, 283048, тел. (062) 303-96-46, факс (062) 304-92-69

ОГРН 1229300171715, ИНН 9303031163, КПП 931143002, ОКПО 57074780

E-mail: tskipivl@vodadonbassa.ru Веб-сайт: www.vodadonbassa.ru

Диссертационный совет 02.2.001.01 при
ФГБОУ ВО «Донбасская национальная
академия строительства и архитектуры»

СПРАВКА

о внедрении результатов исследований диссертационной работы
Могукало А.В. на тему «Комплексная обработка избыточного активного ила от патогенной
обсеменённости», представленную на
соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности
2.1.4 – «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных
ресурсов»

На техническом совете предприятия КП «Компания «Вода Донбасса» был рассмотрен вопрос использования результатов диссертационной работы Могукало А.В. на тему «Комплексная обработка избыточного активного ила от патогенной обсеменённости» представленных в виде «Рекомендаций по комплексной обработке избыточного активного ила с последующим использованием его в качестве удобрительного материала» (В.И. Нездойминов, А.В. Могукало, Макеевка – 2022) и установила:

рассмотренные «Рекомендации...» описывают комплексную технологическую схему обработки избыточного активного ила включающую аэробную стабилизацию, с последующей обработкой ила негашёной известью, для получения товарного удобрительного материала на основе избыточного активного ила;

предлагаемая технологическая схема комплексной обработки активного ила представляет практический интерес. Внедрение такого метода позволяет решить одну из актуальных задач сегодняшнего дня – предотвращение накопления иловых осадков на территориях очистных сооружений;

предложенные решения могут быть использованы при строительстве, реконструкции и модернизации очистных канализационных сооружений.

Директор филиала
ЦКИПИВЛ «Компания «Вода Донбасса» **Половнева М.А.**



ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Рекомендации по комплексной обработке избыточного активного ила с последующим использованием его в качестве удобрительного материала

На сегодняшний день основной проблемой при эксплуатации канализационных очистных сооружений (КОС) является обработка и размещение органических осадков в виде избыточного активного ила. Основное количество илов накапливается в необработанном виде на иловых площадках, в отвалах, оврагах, балках, что оказывает самое негативное влияние на экологическую обстановку, не говоря о занятых под хранения этих отходов земельных площадей. Объясняется это тем, что на многих очистных станциях отсутствуют стадии обработки органического осадка с завершающим этапом – утилизацией.

Твердая фаза ила включает значительное количество органических веществ (более 50%), азот, фосфор, калий и другие биогенные элементы. Все это делает активный ил достаточно ценным вторичным ресурсом, который может повторно использоваться в качестве удобрительного материала. Основным сдерживающим фактором повторного использования активного ила является наличие разнообразных патогенных бактерий и вирусов, которые представляют потенциальный риск для человека и животных.

Таким образом, разработка и внедрение метода по снижению болезнетворной обсеменённости избыточного ила является актуальной задачей сегодняшнего дня.

Представителями кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» совместно с

сотрудниками Центральной контрольно-исследовательской и проектно-изыскательской водной лаборатории «Компания «Вода Донбасса», разработан комплексный метод обработки избыточного активного ила. Комплексный метод, включающий аэробную стабилизацию ила с последующей обработкой его негашёной известью, успешно прошел апробацию на иле КОС г. Макеевки ДНР. Контроль санитарно-бактериологических показателей патогенной обсеменённости активного ила проводился по стандартным методикам на проверенных и аттестованных приборах в ЦКИПИВЛ «Компания «Вода Донбасса».

Для реализации способа обработки избыточного активного ила разработана технологическая схема, включающая в себя комбинированную обработку, основанная на аэробной стабилизации с последующей обработкой ила негашёной известью. Вариант технологической схемы представлен на рисунке 1.

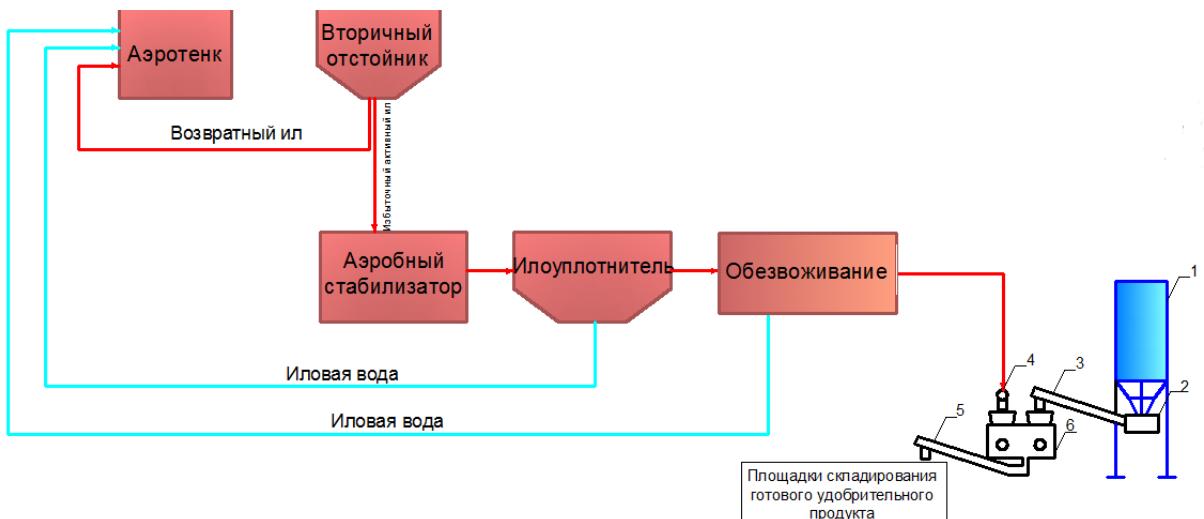


Рисунок 1 – Технологическая схема обработки избыточного активного ила

1 – бункер извести, 2 – дозатор извести, 3 – шнековый конвейер извести, 4 – шнековый конвейер обезвоженного активного ила, 5 – шнековый конвейер смеси ила с негашёной известью, 6 – смеситель ила с известью

Предлагаемая комбинированная схема обработки ила по снижению его патогенной обсемененности, включающая аэробную стабилизацию и химическую обработку известью, позволяет получить товарный удобрительный материал. Технологическая схема включает следующие этапы обработки: аэробная стабилизация, илоуплотнение, обезвоживание, обработка негашёной известью.

В качестве примера приведена технология получения удобрительного материала из активного ила на КОС производительностью 1000 м³/сут.

Количество избыточного активного ила на данную производительность – 82,1 м³/сут, при этом масса ила в пересчете на сухое вещество составляет 0,246 т/сут. Объем аэробного стабилизатора определяется с учетом суточного прироста избыточного активного ила и времени аэробной стабилизации. Продолжительность стабилизации активного ила принимается двое суток, при этом объем стабилизатора составит 330 м³. Требуемый расход воздуха для обеспечения насыщения иловой смеси кислородом воздуха и создания оптимальных условий массообменных процессов и предотвращения осаждения ила в стабилизаторе должен составлять не менее 265 м³/ч.

После аэробной стабилизации ил подается на илоуплотнитель. В качестве илоуплотнителей используются отстойники вертикального типа. Продолжительность уплотнения принимается 5 часов, объем уплотнителя $W_{УПЛ} = 17 \text{ м}^3$.

Вторым этапом удаления влаги из стабилизированного ила является его обезвоживание на специальных установках. Для биологических станций малой производительностью рекомендуется использовать фильтрующие мешки. При этом степень обезвоживания достигается 85%.

Следующий этап обработки активного ила заключается в добавлении негашёной извести. Рекомендуемая доза извести составляет 10% от массы сухого вещества ила, время контакта не менее трех часов, pH не превышает 9,5. При этом происходит снижение патогенной обсеменённости ила до

требуемых норм представленных в ГОСТ Р 54651- 2011 «Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия».

На основе расчета основных сооружений и количества обработанного осадка и иловой воды, приведена балансовая схема на рисунке 2.

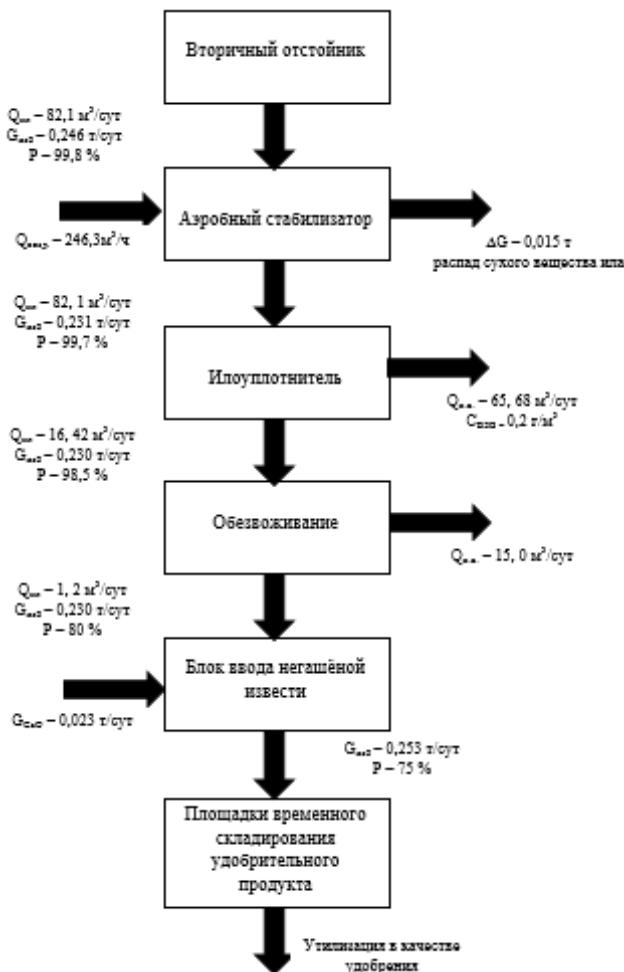


Рисунок 2 - Балансовая схема обработки избыточного активного ила для последующей его утилизации в качестве удобрения

Предлагаемая технологическая схема обработки избыточного активного ила позволяет получить готовый товарный продукт для утилизации в качестве удобрительного материала. Снижение влажности ила происходит с 99,8 до 80%, что позволяет транспортировать осадок.

Приведенные затраты на реализацию технологии обработки осадка с последующим складированием его на иловых площадках:

$$3 = 1468,87 + 0,12 \cdot 5740,25 = 2157,7 \text{ тыс. руб/год.}$$

При суточном количестве образованного готового удобрительного

продукта 0,253, годовое количество удобрения составляет

$$G_y = 0,253 \cdot 365 = 92,3 \text{ т.} \quad (1)$$

Стоимость 1 тонны удобрительного материала на потребительском рынке в среднем составляет 30000 руб/т. Чистая годовая прибыль при продаже готового удобрительного материала на основе избыточного активного ила составила 2 млн. 760 тыс. рублей в год.