

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»

(Наименование учебного структурного подразделения)

18.03.02 Энерго- и ресурсосбережение в химической технологии, нефтехимии и
биотехнологии

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВСКАЯ РАБОТА)

На тему «Использование осадка сточных вод в производстве почвогрунта»

Обучающегося

С.А. Мартынова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Ю.Н. Шевченко

(ученая степень, ученое звание (при наличии) И.О. Фамилия) (подпись)

Тольятти 2024

Аннотация

Выпускную квалификационную работу выполнила: Мартынова С.А.

Тема работы: «Использование осадка сточных вод в производстве почвогрунта».

Научный руководитель: старший преподаватель кафедры «Химическая технология и ресурсосбережение» Шевченко Ю.Н.

Выпускная квалификационная работа содержит 57 с., 13 таблиц, 8 рисунков, 53 литературных источников.

Ключевые слова: сточные воды, методы очистки сточных вод, осадок сточных вод, активный ил, почвогрунт, плодородие.

Объектом исследования являются осадки сточных вод очистных сооружений ООО «Водоканал» г. Петрозаводска.

Выпускная квалификационная работа состоит из трех основных разделов, содержания, введения, заключения и списка используемых источников.

ВКР посвящена исследованию качества избыточного активного ила сточных вод «Водоканала» г. Петрозаводска, и путей его утилизации.

Дана оценка существующей системе предприятия, эффективности работы приемников сточных вод.

В работе решены следующие задачи:

- дан анализ сточных вод предприятия, выявлены недостатки;
- выполнен анализ существующих технологий очистки сточных вод;
- предложены технические решения, направленные на получение качественного почвогрунта при утилизации ОСВ и наполнителей;
- произведены расчеты материального и теплового балансов производства почвогрунта.

Содержание

Перечень обозначений и сокращений.....	4
Введение.....	5
1 Теоретическая часть.....	7
1.1 Образование осадка сточных вод.....	7
1.2 Способы утилизации ОСВ.....	12
1.3 Анализ системы очистки сточных вод на предприятии «ПКС ВОДОКАНАЛ».....	15
1.3.1 Общие сведения о предприятии «ПКС ВОДОКАНАЛ».....	15
1.3.2 Характеристика сточных вод.....	17
1.3.3 Описание действующей технологической схемы очистки сточных вод.....	20
1.3.4 Процесс получения почвогрунта.....	25
2 Экспериментальное исследование «Почвогрунт КОС».....	31
2.1 Анализ влияния температуры на компостирование ОСВ.....	32
2.2 Анализ влияния влажности на компостирование ОСВ.....	34
2.3 Анализ влияния pH среды компостирования ОСВ.....	35
2.4 Анализ влияния аэрации на компостирование ОСВ.....	36
2.5 Анализ влияния электропроводности на компостирование ОСВ...	37
2.6 Воздействие компостирования на окружающую среду.....	38
3 Предлагаемое технологическое решение по переработке осадка.....	39
3.1 Разработка состава почвогрунта.....	39
3.2 Расчетная часть.....	41
3.2.1 Материальный баланс.....	41
3.2.2 Тепловой баланс.....	44
Заключение.....	50
Список используемых источников.....	52

Перечень обозначений и сокращений

БПК – биологическая потребность в кислороде

БПК₅ – биологическое потребление кислорода за 5 суток

ИАИ – избыточный активный ил

ОС – окружающая (природная) среда

ОСВ – осадки сточных вод

СВ – сточные воды

СВО – сухое вещество осадка

Введение

В результате очистки сточных вод образуется большой объем отходов - осадки сточных вод (ОСВ), обращение с которыми является одной из ключевых экологических проблем современных городов и крупных очистных сооружений. В соответствии с ГОСТ Р 59748-20211: «осадки сточных вод: смесь минеральных и органических веществ, выделяемых из сточных вод в процессе их механической, биологической, физико- химической и реагентной очистки, в т. ч. избыточный активный ил, выведенный из технологического процесса биологической очистки»[18].

В Российской Федерации производство осадков сточных вод оценивается около 1 млрд м³ или 2,5 млн. т сухого вещества в год [4]. На специальных иловых картах, занимающих огромные территории, складировается до 90% ОСВ, которые образуются в населённых пунктах. Вопросы обработки и утилизации осадков городских очистных сооружений актуальны для всех крупных водоканалов России и представляют серьезную проблему. Значительная часть их концентрируется на иловых площадках очистных сооружений, не оборудованных гидроизоляцией. Условия размещения ОСВ во многих случаях не соответствуют экологическим требованиям и принятым в мире стандартам.

Актуальная проблема заключается в том, что осадки сточных вод являются загрязнителями окружающей среды, которым необходимо найти вторичное применение.

Существует несколько методов утилизации осадков сточных вод в современных условиях: использование в сельском хозяйстве, захоронение на свалках, компостирование, применение в виде строительного материала и др.

Захоронение и сохранение осадков на иловых картах относятся к основным методам утилизации, однако он является долгосрочным и требует отчуждения больших территорий.

Из-за высокой стоимости капитальных сооружений в РФ термические методы переработки активного ила почти не используются.

В связи с переводом осадка сточных вод как отхода из 5-го в 4-й класс опасности значительно возрастает стоимость его перевозки для захоронения. В связи с этим, актуальным становится вопрос о выборе наиболее экологически безопасной, энергосберегающей и материалосберегающей технологии переработки ОСВ, например, почвогрунта, реализуемого при благоустройстве городских территорий.

Цель настоящей работы-разработка способа переработки илов очистных сооружений для получения почвогрунта на предприятии «ПКС ВОДОКАНАЛ».

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- дать анализ сточных вод предприятия, рассмотреть технологию утилизации активного ила;
- выполнить анализ существующих технологий утилизации ОСВ;
- предложить технические решения, направленные на получение качественного почвогрунта и утилизации ОСВ;
- произвести расчеты материального и теплового балансов производства почвогрунта.

1 Теоретическая часть

1.1 Образование осадка сточных вод

Сточные воды разнообразны по составу и, следовательно, по свойствам. По своей природе загрязнения сточных вод подразделяются [11]:

- органические,
- минеральные,
- биологические.

Классификация СВ, принятая в России, приведена в таблице 1.

Таблица 1- Классификация сточных вод

Виды сточных вод	Происхождение
Хозяйственно-бытовые сточные воды	В результате хозяйственно-бытовой деятельности в жилом секторе, объектах социально-культурной сферы, на всех предприятиях (от санузлов, кухонь, мест приема пищи и т. п.)
Производственные сточные воды	В процессе производства товаров и услуг
Поверхностные сточные воды (дождевые, талые, инфильтрационные, поливочные, дренажные воды, принимаемые в централизованную систему водоотведения)	В результате выпадения дождей, таяния снега, мойки дорожных покрытий, при искусственном водопонижении, а также инфильтрации в коллекторе

На рисунке 1 приведены виды загрязнений СВ.

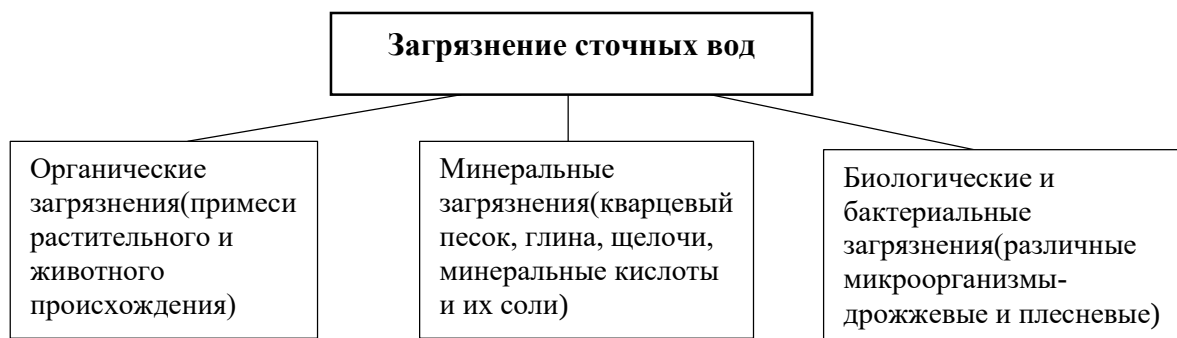


Рисунок 1 – Загрязнения сточных вод

Органические загрязнения-это вещества растительного, животного, биологического происхождения и продукты их распада.

Минеральные загрязнения-это кварцевый песок, глина, щелочи, минеральные кислоты и их соли, минеральные масла и т. д.

Биологические и бактериальные загрязнения-это различные микроорганизмы: дрожжевые и плесневые грибки, мелкие водоросли и бактерии, в том числе болезнетворные-возбудители брюшного тифа, паратифа, дизентерии и др.

Большая часть органических загрязнителей находятся в нерастворимом состоянии, при этом минеральные примеси-в растворимом виде.

Осадки сточных вод (ОСВ) образуются на очистных сооружениях городов и населенных пунктов городского типа при разделении сточных вод на жидкую фракцию и взвешенную субстанцию. Они представляют собой «органические отходы, содержащие полезные соединения и энергию, которые могут быть извлечены с использованием физических, химических и биологических методов и их комбинаций» [24].

В зависимости от условий формирования и особенностей отделения иловые осадки подразделяются на:

- первичные;
- вторичные.

На первом этапе сточные воды попадают в отстойники, где происходит отделение взвешенных веществ от основного потока, а затем переходят в камеры биореакторов. Здесь в условиях, специально созданных для микроорганизмов, протекают биологические процессы. Присутствующие бактерии при определенных условиях разлагают органические загрязнители.

Аэротенк представляет собой резервуар, который выполняет функцию биореактора активного ила. Его содержимое перемешивается с заданной интенсивностью. На дне резервуара размещается система перфорированных труб, по которым проходит воздух, насыщающий кислородом сточными водами. Кислород является основным субстратом биореакций, происходящих в аэробных процессах очистки сточных вод. Внутри реактора находятся сточные воды, очищенные анаэробным способом. После завершения процесса

аэрации сточные воды направляются во вторичный отстойник, где происходит отделение активного ила от жидкости.

Внешний вид активного ила представлен в виде крупнодисперсных частиц хлопьевидной массы-зооглеи. Он имеет цвет от светлого серого до темно-коричневого цвета. Средний размер хлопьев активного ила 1-4 мм, но в зависимости от условий в биоокислителе он может изменяться от долей миллиметра до 30-40 мм.

Хлопья активного ила состоят из слизистой оболочки, в которой густо заселены бактерии (рисунок 2).



Рисунок 2 – Активный ил

Образование микробным сообществом скоплений в виде хлопьев способствует их к агрегации и осаждению.

Очистка стоков при помощи активного ила является побочным продуктом способности микроорганизмов питаться загрязнениями. Так, поглощая загрязняющие вещества, бактерии параллельно с собственным питанием очищают стоки.

Существует два способа очищения сточных вод–аэробные (при участии кислорода) и анаэробные (при дефиците кислорода). Последние менее распространены, поэтому рассмотрим аэробный способ.

Стадии аэробной очистки стоков:

- передача кислорода и загрязняющих веществ на поверхность активного ила;
- сорбция загрязнений;
- ферментативный гидролиз;
- перенос веществ внутрь клетки бактерий;
- биохимическое внутриклеточное окисление загрязнений.

Активный ил-это сложная экосистема, на которую влияют внешние факторы и изменения в ее составе. Являясь живой суспензией, в процессе своей жизнедеятельности активный ил способен использовать в качестве источника энергии и питательных веществ некоторые загрязняющие вещества из сточных вод, тем самым приводя к их очистке.

В составе активного ила преобладают гетеротрофные бактерии и простейшие. Помимо них, в нем могут жить коловратки, нематоды, водоросли, грибы и личинки насекомых. Они накапливаются на поверхности органических остатков, которые встречаются в сточных водах. Эти организмы очень быстро размножаются-органические загрязнения сточных вод являются источником пищи для них, поэтому они уменьшают их содержание в воде, минерализуя сточные воды в аэробных условиях.

Бактерии активного ила способны не только на биохимические превращения органических, некоторых неорганических и минеральных веществ, очищая сточные воды, но и обладают ярко выраженными седиментационными свойствами, ускоряя процесс очистки. Если по каким-либо причинам активный ил становится менее агрегированным, то возникает проблема полноты его осаждения, выноса с очищенной водой, ухудшение качества воды.

Химический состав ОСВ сильно варьируется и зависит от вида сточных вод (промышленные или бытовые сточные воды), способа их обработки, сезона накопления и др.

Общий химический состав осадков приведен в таблице 2 [48].

Таблица 2 - Общий химический состав осадков, % к абсолютно сухому веществу[48].

Химический состав, %	Типы осадков	
	Первичные сырые осадки	Активный ил из вторичных отстойников после аэротенков
Зола	15-35	25-30
Белки, гуматы	15-21	30-35
Жиры	18-26	7,11-14
Азот	3,2-3,8	7,3-6,8
Фосфор	1,4-2,5	5,4
Гемицеллюлоза	5-7	2,2-2,6
Альфацеллюлоза	5-5,5	0,8-2,0

Основная часть сухого вещества осадка из первичных отстойников (в среднем 60-75%) и активного ила (в среднем 70-75%) составляют органические вещества. Органическая часть активного ила в основном состоит из веществ белкового происхождения при содержании жиров и углеводов, соответственно, 30% и 10%. Содержание органического углерода – более 60%.

Элементный состав сухого осадка, %:

- углерод – 35,4-87,8;
- кислород – 7,6-31,4;
- водород – 4,5-8,7;
- азот- 1,8-8;
- сера- 0,2-0,7.

Сухой осадок содержит микроэлементы: кальций, магний, натрий, кремний, фосфор, калий, железо, цинк и др.

Состав очищаемых сточных вод непостоянен по времени, и состав активного ила соответственно тоже, что создает сложность обращения с ними.

«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. Однако использовать ил в качестве удобрительного материала невозможно без предварительной обработки из-за присутствия ионов тяжелых металлов и патогенных микроорганизмов» [35], [33,15,20].

«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, в глубинных слоях возможен разогрева ОСВ с выделением дыма и запаха»[36].

1.2 Способы утилизации активного ила

В настоящее время исследования по утилизации ОСВ направлены на интенсификацию процесса разложения ОСВ, повышение его безопасности для окружающей среды, а также на получение удобрений [15,16,20]. Выбор способа утилизации ОСВ зависит от экологических и социальных факторов. «С увеличением объемов ОСВ требуется все больше площадей для их размещения, что приводит к неуклонному росту средств на эксплуатацию и обслуживание мест складирования» [20].

Технологии переработки избыточного активного включают в себя следующие обязательные процессы: механическая очистка; биологическая очистка; обеззараживание очищенной воды; обезвоживание осадка и др. (рисунок 3) [15,32].



Рисунок 3 - Способы обращения с осадком сточных вод [32]

Активный ил, задерживаемый во вторичных отстойниках после биологической очистки, подразделяется на циркулирующий, участвующий в биологической очистке, и избыточный, удаляемый из системы.

В мировом сообществе существуют различные методы утилизации осадков СВ. «В странах Европы обращение с ОСВ, приспособлено к местным социально-экономическим условиям и имеет разнородный характер. Это разнообразие объясняется наличием или отсутствием сельскохозяйственных земель, потребностями в определенных ресурсах (спросом), доступными технологиями, их эффективностью и стоимостью, а также другими факторами» [46].

По данным отчета Европейской комиссии средний процент осадков, используемых в сельском хозяйстве в странах ЕС, составляет около 40%.

«Преимущественно в сельском хозяйстве ОСВ используют следующие страны ЕС: Кипр – 84%, Испания – 83%, Ирландия и Англия – 68%, Болгария – 56%; компостируют: Эстония – 80%, Словакия – 65%, Финляндия – 81%; сжигают: Голландия – 100%, Швейцария – 90%, Словения – 62%, Бельгия – 52%; складывают: Мальта и Исландия – 100%, Греция – 98%» [37].

«В сельском хозяйстве Российской Федерации использование осадков ОСВ составляет 7%» [3,20].

«Анаэробное сбраживание с получением биогаза посредством анаэробного сбраживания ОСВ, во многих странах Европы предоставляют налоговые льготы. Так, в Дании на этих условиях действует 18 биогазовых заводов» [9].

В странах Азии также прослеживается популярность различных способов утилизации в зависимости от региона. Так, «в Японии чаще всего ОСВ используют для получения биогаза, в стране более 15 % станций канализационной очистки снабжены резервуарами для сбраживания осадков» [33].

Сжигание ОСВ имеет высокую популярность, так как позволяет избежать отчуждения большого количества площадей для их размещения, а также экологических проблем на близлежащих территориях. Однако метод также имеет не лучшие экологические показатели, так как при сжигании происходит выделение в атмосферу продуктов горения, эмиссия загрязняющих веществ из ОСВ в отходящие газы, а такие химические элементы, как ртуть, мышьяк и селен, могут проходить через систему очистки продуктов сгорания без задержки в достаточно большом количестве, что предполагает дополнительные затраты на доочистку продуктов горения.

«Образовавшиеся зольные остатки имеют более высокие концентрации некоторых веществ, определяемых в составе ОСВ, например тяжелых металлов» [12], что необходимо учитывать при их дальнейшем размещении или использовании. Помимо этого, «требуется предварительная подготовка осадков перед процессом подачи на сжигание, которая определяется типом печи и применяемой технологией сжигания» [32].

«Сжигание обеспечивает практически полное уничтожение органического вещества осадка, что имеет положительное экологическое значение при невозможности почвенной утилизации осадка. Количество

сухого вещества сокращается в 2-3 раза, объем (относительно обезвоженного осадка) – приблизительно – до 15 раз» [10].

«Полученные при сжигании ОСВ вторичные отходы в виде твердых остатков подвергаются дальнейшей утилизации для получения, например, бетонов, асфальтобетонов, керамзитового гравия, твердые остатки в виде пиролизных продуктов - для получения углеродистых материалов (угля, полукокса и пр.)» [17,47].

1.3 Анализ системы очистки сточных вод на предприятии «ПКС ВОДОКАНАЛ»

1.3.1 Анализ существующего предприятия «ПКС ВОДОКАНАЛ»

Город Петрозаводск расположен на берегу Петрозаводской губы Онежского озера и вытянут вдоль губы с севера на юг. Промышленные предприятия города, которые могут оказать негативное воздействие на окружающую среду расположены в южной и северной промышленных зонах. Южная промышленная зона находится южнее водозабора на расстоянии более 5 км и не оказывает влияние на водозабор.

Канализационные очистные сооружения г. Петрозаводска расположены в 25 километрах от центра города вблизи берега Онежского озера с соблюдением санитарно-защитной зоны.

«Очистные сооружения «ПКС Водоканал» г. Петрозаводска предназначены для очистки хозяйственных сточных вод, а также производственных стоков промышленных и коммунальных предприятий города. Промышленные стоки в общем количестве сточных вод составляют 10-20%, стоки коммунально-бытовых предприятий – 15%, стоки от населения – 65%. Выпуск очищенных стоков осуществляется в Петрозаводскую губу Онежского озера в объеме в среднем 130000 м³/сут. Ориентировочно объем образования обезвоженного осадка составляет 13000—16000 т/год» [44].

«Очистные сооружения «ПКС Водоканал» г. Петрозаводска предназначены для очистки хозяйственных сточных вод, а также производственных стоков промышленных и коммунальных предприятий города. Промышленные стоки в общем количестве сточных вод составляют 10-20%, стоки коммунально-бытовых предприятий – 15%, стоки от населения – 65%. Выпуск очищенных стоков осуществляется в Петрозаводскую губу Онежского озера в объёме в среднем 130000 м³/сут. Ориентировочно объём образования обезвоженного осадка составляет 13000—16000 т/год» [45].

Очистные сооружения работают 365 дней в году без перерывов.

Основным объектом, работающим на нужды водоснабжения Петрозаводска, являются городские головные сооружения водопровода, где осуществляется забор воды, ее очистка и подача в водопроводную сеть.

«В состав предприятия входят производства по распределению воды для питьевых и промышленных нужд; сбор, очистка и сброс сточных вод; изготовление почвогрунта из илового осадка; забор и исследование проб воды» [47].

«Структурные подразделения, входящие в состав очистных сооружений предприятия:

- главная насосная станция;
- песколовки с круговым движением воды;
- первичные радиальные отстойники;
- аэротенки с рассредоточенной подачей осветлённых сточных вод;
- вторичные радиальные отстойники;
- хлораторная;
- контактные резервуары;
- аэробный стабилизатор;
- цех механического обезвоживания осадка;
- иловые площадки;
- лаборатория» [44].

В настоящее время «на биологических канализационных очистных сооружениях обработка осадков сточных вод (ОСВ) включает в себя следующие стадии:

- уплотнение избыточного ила;
- аэробная стабилизация смеси осадка первичных отстойников и уплотненного избыточного ила;
- обезвоживание смеси осадков с предварительной обработкой флокулянтами;
- обезвреживание и стабилизация на иловых картах» [44].

Климатические характеристики объектов очистных сооружений в Петрозаводске: температура воздуха наиболее холодной пятидневки, минус 31°C; температура воздуха наиболее холодных суток, минус 35°C; средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца, +21°C.

1.3.2 Характеристика сточных вод

На очистные сооружения «ПКС Водоканал» г. Петрозаводска поступают сточные воды, характеристика которых приведена в таблице 3.

Таблица 3 - Расходы сточных вод и качество сточных вод, поступающих на канализационные очистные сооружения (КОС) [44]

Параметр	Ед. изм.	Проектные значения
Население	человек	267 000
Проектный объем стоков, $Q_{\text{проект}}$	м ³ /сут	85 000
Проектный объем стоков, $Q_{\text{проект}}$	м ³ /ч	3 860
Пиковый объем стоков, $Q_{\text{пик}}$	м ³ /ч	7 900
Биологическая очистка максимального объема стоков, $Q_{\text{максбио}}$	м ³ /ч	7 730
ХПК	кг/сут мг/л	34 980 412
БПК ₅	кг/сут мг/л	12 020 141

Продолжение таблицы 3

Параметр	Ед. изм.	Проектные значения
B3B	кг/сут мг/л	20 560 242
N _{общ}	кг/сут мг/л	3 340 39
NH ₄ - N	кг/сут мг/л	2 400 28
P _{общ}	кг/сут мг/л	370 4,4
PO ₄ -P	кг/сут мг/л	240 2,8

Согласно данным по биологической характеристике загрязнений сточных вод (таблица 3), для достижения требований по качеству очищенных сточных вод на сбросе в Петрозаводскую губу Онежского озера, необходима глубокая биологическая очистка, а также удаление остаточного фосфора.

В таблице 4 приведены рассматриваемые варианты утилизации ОСВ очистных сооружений «ПКС Водоканал».

Таблица 4 – Технологии производства компостирования осадка для производства топливной щепы [40]

Метод утилизации осадка	Краткое описание	Существующие проблемы
Компостирование осадка на открытой площадке с последующей реализацией или захоронением	Готовый компост не имеет запаха, имеет землистую структуру и готов для использования в качестве удобрения или почвогрунта. Компост как отход имеет стабильный 5 класс опасности. Реализация компоста возможна для дорожного строительства, благоустройства населенных пунктов, реализации населению и с/х предприятиям.	Для производства компоста необходимо добавление опилок или щепы объемом до 40 тыс. куб. м в год. За счет снижения влажности осадка при компостировании общий объем образования компоста составит до 30 тыс. куб. м/год. Необходимо выделение земельного участка для складирования компоста. Необходим поиск ресурсов опилок или щепы. Необходимо оборудования ворошитель, грохот) Ориентировочная стоимость 17,5 млн. (без НДС).
Компостирование осадка, использование его для производства топливной щепы	Готовый компост вывозится на поля выращивания энергетической вербы. Раз в два года верба	Необходим поиск земель сельскохозяйственного назначения площадью от 50 Га. Все остальные параметры как для компостирования. Необходимо приобретение

Продолжение таблицы 4

Метод утилизации осадка	Краткое описание	Существующие проблемы
	перерабатывается в топливную щепу, которая используется для производства компоста, излишки которой реализуются в качестве топлива. Решается вопрос использования компоста.	оборудования компостирования. Дополнительное навесное оборудование трактора, для посадки саженцев вербы производства щепы. Необходимо согласование с Минсельхозом.
Смешение осадка сточных вод с известью	При смешивании осадка с известью происходит гибель патогенных микроорганизмов, исчезает неприятный запах. Возможно, использовать в качестве раскислителя для почв.	При смешивании с известью возрастает pH осадка, получается 4 класс опасности отхода. Реализация полного объема «раскислителя» затруднительна. Необходимо приобретение смесителя для осадка с известью.
Сушка осадка сточных вод	При сушке осадка погибают патогенные микроорганизмы. Уменьшается объем осадка.	Высокая стоимость оборудования и эксплуатационные затраты. Не решен вопрос дальнейшего использования высушенного осадка. Стоимость оборудования составляет 5 млн. € [42]. При реализации проекта за счет средств АО «ПКС– Водоканал» увеличение тарифа на водоотведение составит 16 %, что выше предельного размера роста тарифов [42].

1.3.3 Описание действующей технологической схемы очистки сточных вод

Технологическая схема очистных сооружений г. Петрозаводска включает в себя следующие сооружения очистки: [44,13]

- «решётки для процеживания входящих сточных вод;
- главная насосная станция для подачи сточных вод в приёмную камеру песколовок;
- аэрируемые песколовки для отделения минеральных быстрооседающих примесей;
- первичные отстойники для очистки от взвешенных и всплывающих веществ;
- аэротенки, в которых реализована Кейптаунская схема очистки сточных вод от органических и биогенных загрязнений;
- вторичные отстойники для разделения иловой смеси с индивидуальными насосными станциями активного ила;

- контактные резервуары и здание хлорирования для обеззараживания сточных вод;

- установка химического осаждения для дозирования реагента;
- здание воздуходувок и насосов избыточного ила;
- насосные станции первичного (сырого) осадка;
- аэробный стабилизатор;
- цех механического обезвоживания ила на фильтр-прессе;
- площадки для просушивания ила» [44].

«Сточные воды города по самотечному коллектору через приемную камеру, далее по железобетонному непроходному каналу диаметром 2000 мм поступают в приёмное отделение главной насосной станции. Перед приёмным отделением установлены решётки для отделения от сточных вод механических загрязнений» [44]. «Забор сточных вод из приёмного отделения осуществляется главными насосами Amarex KRTK 500-630/1308UNG-D, $Q=3000$ м³/ч, $H=11,5$ м. В дренажном приемке машинного отделения установлен дренажный насос Amarex KRTF 80-250/44UKG-K IE3, $Q=57,47$ м³/ч, $H=8,72$ м, для откачки скапливающейся жидкости» [44].

Сырой осадок из первичных отстойников подаётся при помощи шнекового насоса на аэробную стабилизацию (рисунок 4).

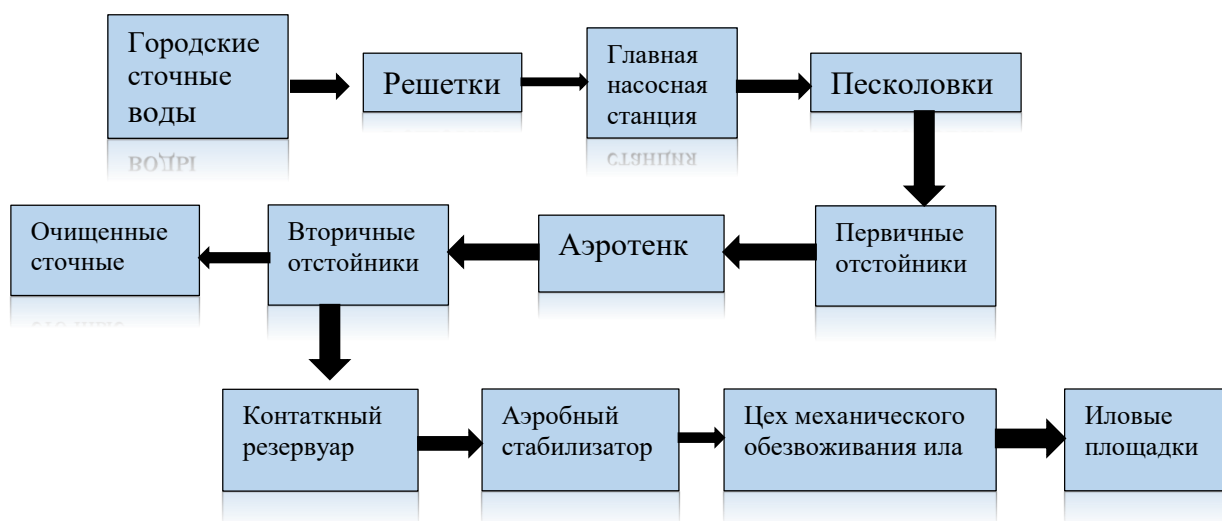


Рисунок 4 – Принципиальная схема очистных сооружений СВ

«Суточная подача сырого осадка на стабилизацию составляет 300—400 м³/сут. Расчётное содержание сухого вещества 5 %. Сырой осадок в объёме около 1000 м³/сут. возвращается в смесительную камеру перед первичными отстойниками, чтобы повысить содержание летучих жирных кислот, необходимых для процесса удаления биогенных элементов. Дополнительно в смесительную камеру перед первичными отстойниками подаётся около 20 % избыточного ила с участка биологической очистки» [44].

«Избыточный ил в объёме порядка 1000 м³/сут. откачивается из главного трубопровода возвратного ила. Около 20 % этого объёма перекачивается к первичным отстойникам, а остальное — на аэробную стабилизацию» [19]. «Глубокая биологическая очистка в аэротенках с удалением азота осуществляется в сооружениях, куда поступает сточная вода и возвратный активный ил, отделяемый в сооружениях илоотделения» [44].

Биологическая очистка является сочетанием трех микробиологических процессов: аэробное окисление органических загрязнений растворенным кислородом; аэробное окисление аммонийного азота до нитратов (нитрификация); аноксидное окисление органических загрязнений кислородом нитратов, с восстановлением нитратного азота до молекулярного (денитрификация) (рисунок 5).



Рисунок 5 – Схема биологической очистки СВ

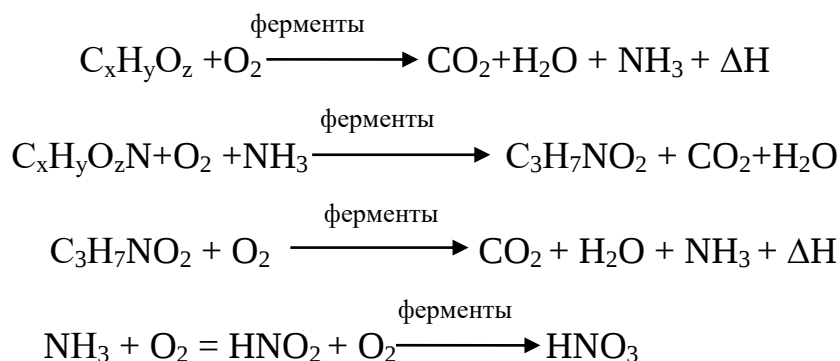
Процесс окисления органической части сточных вод и её потребление микроорганизмами делится на три этапа [3,5]:

– на первом этапе происходит перенос загрязняющих веществ из сточных вод к поверхности клеток. Этот процесс зависит от гидродинамических условий в аэротенке, которые напрямую влияют на скорость его протекания. Также важным фактором является режим перемешивания, который должен быть интенсивным и непрерывным. Процессы на этом этапе характеризуются высокой скоростью, чем на последующих;

– второй этап «включает диффузию органических веществ через полупроницаемые мембраны клеток. Большая часть веществ проникает внутрь клетки с помощью специфического белка-переносчика, который образует комплекс, способный диффундировать через мембрану. После разрушения комплекса белок возвращается к мембране для начала нового цикла переноса» [5];

– «на последнем этапе происходит разрушение органических веществ, сопровождающееся синтезом новых клеток и выделением энергии. Окисление органических веществ осуществляется с участием определённых ферментов» [39]. В результате этого процесса образуются конечные продукты, такие как углекислый газ и вода, а также могут формироваться сульфаты и нитраты.

Протекающие в процессе биологической очистки реакции [8]:



Условием проведения денитрификации является отсутствие в иловой смеси растворенного кислорода, либо очень малая его концентрация (до 0,5

мг/л). Для проведения двух групп процессов, характеризующихся разными потребностями в растворенном кислороде, используют следующие основные приемы - физическое разделение процессов путем выделения специальных зон нитрификации и денитрификации.

В результате технологического процесса происходит сорбция на иле и окисление (полное, либо частичное) органических загрязнений, как растворенных, так и взвешенных. Окисляемые органические соединения трансформируются в углекислоту и воды. В результате питания и деления микроорганизмов активного ила, а также сорбции ими загрязняющих веществ, происходит прирост активного ила. Одновременно с окислением органических загрязнений (на заключительных стадиях этого процесса) происходит биологическое окисление аммонийного азота – нитрификация.

«Свойства активного ила, формирующиеся в аэротенке, в значительной степени влияют на работу вторичных отстойников. И наоборот, свойства возвратного ила влияют на работу аэротенков.

Вторичные отстойники представляют собой емкостные сооружения для илоразделения в гравитационном поле. Имеют следующие основные системы:

- распределения иловой смеси,
- сбора очищенной воды,
- сбора осевшего ила с днища и его вывода из отстойника» [44].

«Аэробная стабилизация проходит в двух параллельных бетонных резервуарах при помощи диффузоров. В один из резервуаров поступает сырой осадок и избыточный ил в соотношении 1:2, а во второй - только избыточный ил. Время выдержки осадка в резервуарах составляет около трёх дней» [44].

«Далее осуществляется перекачка осадка с аэробной стабилизации на ленточные уплотнители, где обезвоживаемый осадок уплотняется. Уплотнённый осадок под действием собственного веса выгружается из уплотнителя на расположенный под ним ленточный фильтр-прессе. Для улучшения водоотдачи перед обезвоживанием в осадок добавляется раствор катионного полимера марки Grinlaif» [44].

В очищенную воду дозируется раствор хлора в воде, приготавливаемый в хлораторе, после чего вода в течение не менее 0,5 часа должна находиться в контактном резервуаре при концентрации растворенного хлора не менее 2 мг/л [49].

1.3.4 Процесс получения почвогрунта

«Для получения безопасного в санитарно-эпидемиологическом отношении продукта, в состав которого входят осадки городских сточных вод используется технология аэробной ферментации органического вещества обезвоженных осадков, которая входит в перечень наилучших доступных технологий» [23].

Показатели ОСВ соответствуют нормам (таблица 5) и могут использоваться как органические или комплексные органические удобрения.

Таблица 5 - Требования к осадкам сточных вод

Наименование показателя	Норма	Метод определения
Массовая доля органических веществ, % на сухое вещество	не менее 20	ГОСТ 26213-91
рН среды	5,5-8,5	ГОСТ 26483-85
Массовая доля общего азота (N), % на сухое вещество	не менее 0,6	ГОСТ 26715-85
Массовая доля общего фосфора (PO), % на сухое вещество	не менее 1,5	ГОСТ 26717-85

Осадки, подсушенные на иловых площадках, механически обезвоженные, а также после дополнительной выдержки смешивают с неплодородным грунтом, песком, торфом, различными добавками.

Полученную смесь пропускают через виброгрохот или другие устройства для сепарации и отделения крупных включений.

Согласно исследованиям [20-22] и нормативным документам, «для эффективного протекания процесса образования почвогрунта необходимо соблюдение следующих условий» [15]:

- «оптимальная влажность исходного материала должна составлять 60 %, однако процесс может протекать и в диапазоне 40-70 %; при содержании

влаги выше 70 % снижается скорость органического разложения, формируются анаэробные условия, и появляется гнилостный запах»[2];

- соотношение C/N компостируемого материала должно составлять от 25 : 1 до 35 : 1 (для твердых ТКО)» [38];

- оптимальный уровень pH компостируемого материала составляет 7-8, однако, процесс может протекать и при более широком диапазоне pH (6,5-9).

В таблице 6 приведены положительные и отрицательные эффекты, наблюдаемые при внесении в почву удобрений на основе ОСВ.

Таблица 6 – «Сравнительная характеристика использования удобрения на основе ОСВ» [13,42]

Положительный эффект	Отрицательный эффект
1. «Повышение продуктивности сельскохозяйственных культур при внесении осадков в почву»[42]	1. «Удобрения содержат общетоксические, токсикогенетические, эмбриотоксические соединения, токсические вещества, пестициды, полихлорированные бифенилы, алифатические соединения, нитраты»[42]
2. «Положительное влияние на биопродуктивность и биологическую активность почвы»[42]	2. «Наличие тяжелых металлов: хром, кадмий, ртуть, медь, свинец, кобальт, цинк, молибден»[13]
3. «Увеличение плодородия почв, создание агрономически ценной структуры почвы»[42]	3. «Наличие биологических объектов – бактерий, простейших, гельминтов, вирусов»[13]

Можно отметить, что при органическом разложении происходит саморазогрев компостируемого материала (свыше 60 °С), что приводит к гибели большинства патогенных для человека и растений микроорганизмов, Интенсивность процесса напрямую зависят от соотношения углерода и азота в исходном сырье.

Механизм обезвоживания ОСВ на иловых площадках сводится к следующим процессам:

– расслоение ОСВ после его выпуска на иловые карты, образование на поверхности иловой воды и осадка на дне уплотняющегося по времени;

- фильтрация жидкой фазы (иловой воды) через слой осадка, удаление ее при помощи дренажа или фильтрация в грунт;
- испарение жидкости со свободной поверхности;
- декантация (слив иловой воды).

Процесс получения «Почвогрунта КОС» показано на рисунке 6.

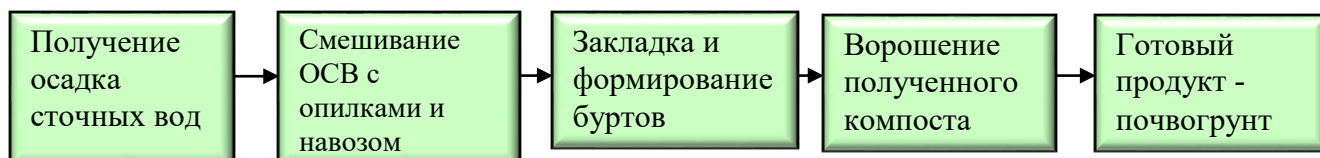


Рисунок 6 – Процесс получения «Почвогрунта КОС»

На очистных сооружениях г. Петрозаводска в сутки на иловые карты от цеха механического обезвоживания отгружается около 70 м³ осадка при его влажности приблизительно 65 %. Затем в иловую карту поступает наполнитель и происходит замешивание осадка и наполнителя в соотношении 1:2. Смесь находится не менее суток для выравнивания влажности между осадком и наполнителем .

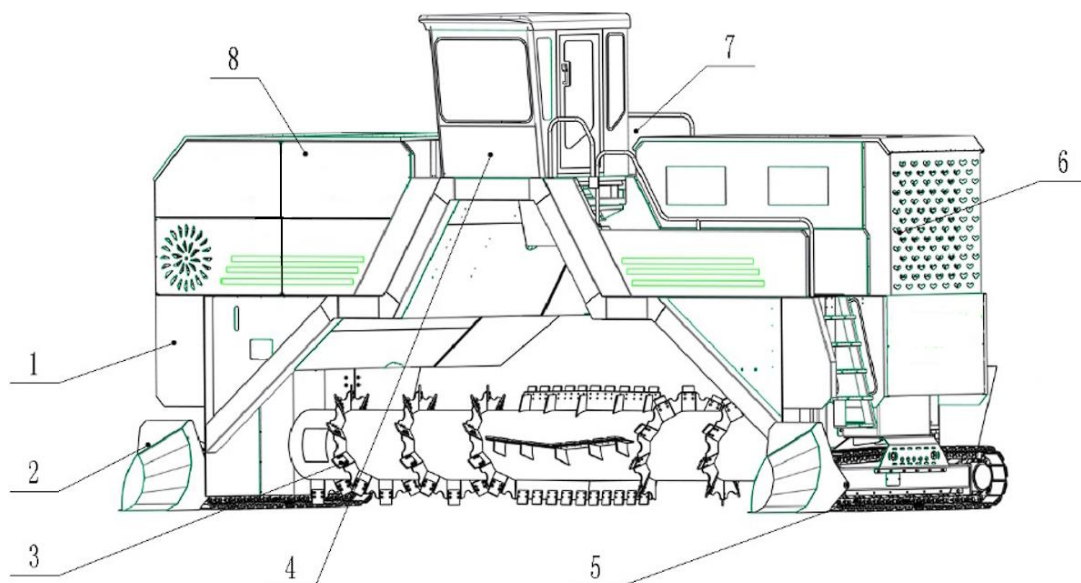
«Затем смесь перевозится на свободные площадки или иловые карты для буртования. Бурты формируют шириной до 3,6 м и высотой до 1,8 м. Длина бурта произвольная. Основание под буртами бетонное с уклоном в сторону дренажной системы» [42].

Бурты насыпаются трапециевидной формы с использованием средств механизации. В основание бурта укладывают перфорированные трубы, подающие воздух и пар. Воздух подается воздуходувной установкой или отсасывается вентилятором. Вдоль площадки проложена дренажная система для слива избыточного количества стока.

«Перед формированием буртов на просечно-сжатые листы насыпают слой древесной щепы толщиной 200 – 300 мм. Сверху бурты покрываются слоем готового просеянного компоста толщиной также 200 – 300 мм. Это

делается для предотвращения потерь тепла, устранения неприятного запаха и распространения мух. Для обслуживания буртов между ними производится засыпка щебнем фракцией 20 – 40 мм толщиной слоя 300 мм» [14].

При ворошении буртов происходит незначительное выделение углекислого газа, воды, двуокиси азота и других газообразных веществ, что связано с минерализацией компоста. (рисунок 7).



1 – рама, 2 – отвал, 3 – барабан, 4 – кабина оператора, 5 – гусеница, 6 – отсек двигателя, 7 – топливный бак, 8 – распределительный шкаф

Рисунок 7 – Схема ворошителя

После укладки бурта ворошение компоста происходит периодически не реже одного раза на третьи сутки. Процесс ворошения обеспечивает отдув углекислого газа, насыщение кислородом и гомогенизацию компостной смеси.

«В естественных условиях процесс биodeградации протекает медленно, на поверхности почвы, при температуре окружающей среды и, преимущественно, в анаэробных условиях.

Контролируемое компостирование проводят с обеспечением подачи кислорода, то есть в аэробных условиях. В отличие от анаэробного, аэробное

компостирование протекает быстрее, при более высоких температурах и минимизирует неприятные запахи. Добавление микробных биопрепаратов на основе термотолерантных бактерий позволяет интенсифицировать процесс и провести его в более сжатые сроки» [22].

Процесс дозревания компоста длится до 4-х месяцев в летний период и 6-и месяцев в зимний период. Через каждые 3 - 4 месяца компостные штабеля перемешивают для доступа воздуха и интенсификации процесса окисления смеси.

«После окончания активной фазы и стабилизации температуры получают готовый продукт – почвогрунт, который находит применение в благоустройстве и озеленении города» [13,42].

«Почвогрунт КОС» выпускается одной марки и по агрохимическим и санитарно – микробиологическим показателям» [42].

Содержание токсичных элементов, пестицидов, радионуклидов не должно превышать норм, установленных ГОСТ Р 54651-2011 и указанных в таблице 7.

Таблица 7 – Нормативы токсичных элементов для «Почвогрунта КОС» [41]

Наименование показателя	Норма для	
Массовая доля примесей токсичных элементов (валовое содержание). в том числе отдельных элементов, мг/кг сухого вещества. не более:	групп удобрений I*	групп удобрений II**
свинец	130.0	250.0
кадмий	2.0	15.0
цинк	220.0	1750.0
медь	132.0	750.0
никель	80.0	200.0
хром	90.0	500.0
ртуть	2.1	7.5
мышьяк	2.0	10.0
Массовая доля влаги. %. не более	70	
Массовая доля органического вещества на сухой продукт. %. не менее	30	
Показатель активности водородных ионов солевой суспензии, ед рН	6.0—8.0	
Массовая доля питательных элементов (в пересчете на сухое вещество), %. не менее.		
- азот общий	0.6	
- фосфор общий, в пересчете на Р*Оа	0.7	
- калий общий, в пересчете на К ₂ О	0.1	
* Удобрения группы I: удобрения на основе осадков сточных вод, используемые для выращивания технических. кормовых, зерновых и сидеральных культур, в личном подсобном хозяйстве при выращивании рассады овощных и цветочных культур. ** Удобрения группы II: удобрения на основе осадков сточных вод, используемые под посадки лесохозяйственных культур вдоль дорог. в питомниках лесных и декоративных культур, цветоводстве, для окультуривания истощенных почв, рекультивации нарушенных земель и откосов автомобильных дорог, рекультивации свалок твердых бытовых отходов.		

«Анализ на наличие тяжёлых металлов и радиоактивных элементов подтвердил отсутствие превышений. По физико – механическим, ветеринарно-санитарным, гигиеническим показателям почвогрунт должен соответствовать нормам» [42], указанным в таблице 7.

Таблица 8 – Нормативы по физико – механическим, ветеринарно-санитарным, гигиеническим показателям «Почвогрунта КОС» [42].

Наименование показателя	Норма
Размер частиц удобрения, мм, не более	50
Содержание балластных, инородных механических включений, % массы удобрения нормативной влажности, не более: - с высокой удельной массой (камни, щебень, металл и т.д.), размером до 10 мм - с низкой удельной массой (шпагат, веревка, щепа, палки и т.д.), размером до 150 мм	1,5 1,5
Массовая концентрация бенз(а)пирена, мг/кг сухого вещества не более	0,02
Удельная эффективная активность природных радионуклидов, Бк/кг сухого вещества, не более	300
Удельная эффективная активность техногенных радионуклидов (ACs/45+ASr/30), не более	1 относит.ед.
Массовая концентрация остаточных количеств пестицидов в сухом веществе, мг/кг сухого вещества В том числе, хлорорганические пестициды, не более: - ГХГЦ (сумма изомеров) - ДТТ и его метаболиты (суммарные количества)	Не более или на уровне установленных норм 0,1 0,1
Индекс санитарно-показательных микроорганизмов, в кл/г: - колиформы - энтеробактерии	1-9 1-9
Наличие патогенных и болезнетворных микроорганизмов, в том числе энтеробактерий (патогенных серовариантов, кишечной палочки, сальмонелл, протеев), энтерококков (стафилококков, клостридий, бацилл), энтеровирусов, кл/г	Не допускается
Наличие жизнеспособных яиц и личинок гельминтов, в том числе нематод (аскаридат, трихоцефалов, стронгилят, строингилоидов), трематод, цестод	Не допускается
Цисты кишечных патогенных простейших	Не допускается
Наличие личинок и куколок синантропных мух	Не допускается

«Почвогрунт КОС» соответствует ТУ08.91.19-001-24807078-2018. Массовая доля влаги почвогрунта составляет не более 85%» [42]. Питательный продукт почвогрунт является взрыво- и пожароопасным, нетоксичен. (таблица 8).

В данном разделе была рассмотрена теоретическая часть образования осадка сточных вод, способы утилизации осадка СВ. Проведен анализ системы очистки сточных вод на предприятии «ПКС ВОДОКАНАЛ». Изучены общие сведения о предприятии «ПКС ВОДОКАНАЛ», характеристика сточных вод, а так же проведено описание действующей технологической схемы очистки сточных вод и процесс получения почвогрунта.

Таким образом, можно сделать вывод, что почвогрунт является актуальной альтернативой в переработке активного ила и получении удобрения.

2 Экспериментальное исследование «Почвогрунт КОС»

Лабораторный контроль за работой очистных сооружений, а также за качеством «Почвогрунт КОС» осуществляет испытательная лаборатория контроля качества воды АО «ПКС – Водоканал».

Лаборатория аттестована в системе аккредитации аналитических лабораторий (центров) на техническую компетентность. Аттестат аккредитации лаборатории зарегистрирован в реестре №RA.RU.21BO02, выдан 16.09.2015 (бессрочно) [42,44].

Технологическое управление процессом компостирования осуществляется посредством анализа основных факторов, влияющих на процесс и качество почвогрунта: температуры, влажности, уровня pH, аэрация, электропроводности.

Технологическое управление процессом компостирования осуществляется посредством регулирования этих факторов.

2.1 Анализ влияния температуры на компостирование ОСВ

«На температурный профиль процесса компостирования оказывают влияние состав исходного сырья, аэрация смеси, влажность компоста, а также добавление различных добавок или наполнителей. Эти факторы определяют продолжительность процесса, качество и зрелость компоста, а также его эффективность в обеззараживании. Температура служит индикатором микробной активности. Регулярный мониторинг температуры позволяет выявить нормальные закономерности ее изменения» [25].

«Повышение температуры в ходе компостирования обусловлено деятельностью микроорганизмов, разлагающих органическое вещество. При оптимальном балансе указанных факторов скорость разложения органики увеличивается, и микроорганизмы вырабатывают достаточное количество

тепла для уничтожения семян сорняков, патогенных микроорганизмов, яиц и личинок гельминтов и насекомых» [13,22].

«Если в течение первых нескольких дней температура не растёт, необходимо внести изменения в состав компостной смеси. Отсутствие повышения температуры указывает на то, что аэробное разложение не происходит, что может быть вызвано различными факторами, такими как недостаточная аэрация, недостаток углерода или азота, низкая влажность или низкий уровень pH, из-за воздействия холодной погоды, или не содержит большой популяции микробов. В качестве источника активных микроорганизмов могут использоваться специализированные биопрепараты. Применение внешнего тепла необходимо обычно в случаях, когда температура окружающей среды значительно ниже нуля или масса смеси слишком мала для поддержания тепла» [26].

«Высокие температуры свидетельствуют о высокой микробной активности. Однако, если температура смеси превышает 75 °C, это скорее указывает на то, что температурный режим вышел из-под контроля, чем на активное разложение. Перегрев происходит, когда смесь удерживает слишком много выделяемого тепла, что обычно связано с её чрезмерным объемом или недостаточной влажностью для эффективного охлаждения через испарение. Чтобы обеспечить надлежащий отвод тепла в атмосферу, необходимо увеличить открытую поверхность смеси и поддерживать оптимальный уровень влажности» [21].

«Компостная куча, как правило, нагревается неравномерно, и наблюдается температурный градиент от горячей центральной части к более холодной поверхности. Для точного определения температуры рекомендуется измерять её в самой горячей зоне компостной кучи. В начале процесса максимальная температура обычно достигается на глубине 30–38 см внутри смеси, а со временем температура проникает глубже. Если на этой глубине компост не нагревается, это может указывать на то, что весь объем компоста не достигает необходимого уровня температуры» [27].

«Высокие температуры свидетельствуют о высокой микробной активности. Однако, если температура смеси превышает 75 °С, это скорее указывает на то, что температурный режим вышел из-под контроля, чем на активное разложение. Перегрев происходит, когда смесь удерживает слишком много выделяемого тепла» [29], что обычно связано с её чрезмерным объемом или недостаточной влажностью для эффективного охлаждения через испарение. Чтобы обеспечить надлежащий отвод тепла в атмосферу, необходимо увеличить открытую поверхность смеси и поддерживать оптимальный уровень влажности.

2.2 Анализ влияния влажности на компостирование ОСВ

«Вода является ключевым элементом для выживания микроорганизмов в компосте. Микроорганизмы нуждаются в водной среде для перемещения и транспортировки питательных веществ, а также для проведения биохимических реакций. Однако, если компостная куча слишком влажная, кислород не может проникать в смесь в достаточном объеме для поддержания аэробного дыхания. Поэтому оптимальное содержание влаги при компостировании должно обеспечивать баланс между необходимой влажностью для работы микроорганизмов и достаточным поступлением кислорода для поддержания аэробных условий. При ферментации выделяется вода, при этом фильтрат уходит с площадки, компостной смеси не требуется дополнительное увлажнение, т.к в климатических условия Республики Карелия нет жарких дней (температура в летний период, в среднем, достигает 20°C). Компост с содержанием влаги более 90% перемешивается с наполнителями. Содержание влаги обычно составляет от 40 до 65 %, а идеальный уровень — около 60 % после смешивания ингредиентов» [22].

Так же, в летний период на территории Республики Карелия влажный, дождливый климат, в связи с чем, дополнительное увлажнение смесь не требует. В зимний период, так же наблюдает повышенная влажность в регионе, в связи

с чем, добавление воды в компосную смесь может быть чревато заледенением. «Смесь органических отходов с влажностью от 50 до 70 % ощущается влажной, но не сырой, подобно отжатой губке» [13]. При влажности ниже 15 % микробная активность полностью прекращается.

«Содержание влаги в компостной куче меняется в процессе компостирования, так как вода теряется из-за испарения и добавляется благодаря осадкам. Уровень влаги контролируют на протяжении всего процесса, чтобы поддерживать необходимую влажность и пористость. Обычно содержание влаги снижается в течение компостирования, и в зависимости от климатических условий может потребоваться дополнительная влага. Тип используемых наполнителей также влияет на уровень влаги» [28].

«Кроме того, влага выполняет функцию механизма охлаждения. Тепло, выделяемое в процессе компостирования, поднимает температуру воздуха и материала в куче, а также приводит к испарению воды. Основная часть тепла уходит на скрытую теплоту испарения, что позволяет немного охладить кучу. Если компост становится слишком сухим во время термофильной стадии, это может привести к перегреву из-за недостатка испарительного охлаждения» [22].

2.3 Анализ влияния кислотно-щелочных условий на компостирование ОСВ

«Уровни pH исходных материалов компостной смеси не оказывают значительного влияния на процесс компостирования, так как разные микроорганизмы оптимально развиваются при различных значениях pH. Наиболее активный диапазон для микробов составляет от 6,5 до 8,0. Процесс компостирования продолжается даже при крайних значениях pH, таких как 4,0 и 9,0, хотя в этих условиях он замедляется. В конце процесса компостирования pH обычно стабилизируется в пределах от 7,5 до 8,5, независимо от начального уровня pH» [22].

«Уровни pH изменяются в зависимости от ОСВ и наполнителей в компостной смеси, а также от образования различных продуктов в ходе компостирования. В первые дни активного компостирования наблюдается снижение pH до уровней между 4,0 и 5,0, что может быть связано с образованием органических кислот в анаэробных условиях или накоплением промежуточных продуктов из-за избытка углерода. Кислотная среда обычно неблагоприятна для аэробных микроорганизмов, особенно для бактерий, и замедляет процесс компостирования. Тем не менее, процесс не останавливается, так как со временем формируется популяция организмов, в основном грибов, которые могут использовать кислые соединения в качестве источника питания» [22]. По мере потребления этих соединений уровень pH снова начинает расти [13].

«В большинстве случаев регулировать pH не требуется. Когда компостная смесь достигает стабильности, формируется естественная буферная способность. Проблемы с pH возникают преимущественно при компостировании материалов с высоким содержанием азота. Щелочные условия ($\text{pH} > 8,5$) способствуют превращению азотистых соединений в аммиак, что увеличивает щелочность и замедляет процесс компостирования, а также приводит к потере азота из-за испарения аммиака. В таких случаях может потребоваться снижение pH ниже 8,0. Повышение уровня pH применяется только в тех ситуациях, когда образование кислой среды на начальных этапах компостирования вызывает длительные задержки. В качестве добавки обычно используется известь ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Однако недостатком этого подхода является то, что увеличение pH может привести к повышенным потерям азота и неприятным запахам из-за испарения аммиака» [22].

2.4 Анализ влияния аэрации на компостирование ОСВ

Кислород играет ключевую роль в жизни аэробных микроорганизмов. Недостаток кислорода приводит к преобладанию анаэробных процессов в

компостной куче, что замедляет компостирование и вызывает неприятные запахи. Обеспечение достаточного уровня кислорода способствует эффективному развитию биологических процессов. «Аэрация влияет на такие параметры, как температура, влажность, содержание углекислого газа и кислорода в воздухе, насыщенном компостом, а также на скорость удаления потенциально токсичных газов. Минимальная концентрация кислорода для поддержания аэробных условий составляет 5% по объему» [22].

«Кислород может поступать в кучу компоста через принудительную или пассивную аэрацию. Пассивная аэрация, достигаемая установкой горизонтальных труб в соответствии с направлением ветра и использованием перфорированных труб в компостных кучах для обеспечения естественной подачи воздуха. При принудительной аэрации скорость подачи воздуха от 0,20 до 1,33 л/мин на килограмм сухого вещества для ОСВ» [22].

Принудительная аэрация обладает преимуществами, такими как увеличение скорости компостирования и возможность частичного контроля температуры процесса.

2.5 Анализ влияния электропроводности на компостирование ОСВ

Электропроводность почвы является хорошим индикатором производительности почвы, так как коррелируется с основными показателями ее продуктивности.. Это показатели структуры почвы, уровня органических веществ, осолоненности, дренажной системы, емкости катионного обмена и др. «Электропроводность отражает солёность компоста» [8,22]. «В процессе компостирования концентрация солей неизбежно возрастает вследствие разложения сложного органического вещества» [3]. Также электропроводность может увеличиваться за счёт образования минеральных солей, таких как ионы аммония и фосфаты, путём трансформации органического вещества. «Испарение аммиака и осаждение минеральных солей могут привести к уменьшению электропроводности» [4]. Для

поддержания роста растений значение электропроводности зрелого компоста должно быть очень низко. С этой целью различные авторы приняли разные ограничения для электропроводности.

«В качестве предельного значения электропроводности для компоста, применяемого к почве, приняты 4 мСм/см.» [16]. «Некоторые авторы указывают диапазон $< 3,5$ мСм/м в качестве предельного значения для безопасного применения компоста в сельском хозяйстве» [17]. Также в качестве «критерия, который должен быть соблюден до использования компоста для внесения поправок в органическую почву, указан максимальный уровень электропроводности в 3 мСм/см» [6]. «Компост с высоким значением электропроводности вызовет отрицательный эффект для роста растения» [1]. Однако для использования компоста с высоким значением электропроводности в растениеводстве его необходимо хорошо перемешать с почвой или другими материалами с низкой электропроводностью, прежде чем его можно будет применять. «Это связано с тем, что солёность может оказывать негативное влияние на прорастание семян или рост растений, особенно на стадии рассады» [11].

2.6 Воздействие компостирования на окружающую среду

«Выбросы газов в атмосферу во время компостирования представляют собой основной фактор воздействия процесса на окружающую среду.

Биогенные выбросы углекислого газа (CO_2) возникают в результате аэробного разложения органических материалов и окисления метана (CH_4) аэробными метанотрофными бактериями. Углекислый газ (CO_2) является наиболее распространённым газом, выделяющимся при компостировании» [22].

«Выбросы закиси азота (N_2O) могут происходить на протяжении всего процесса из-за денитрификации. Кроме того, выделение аммиака (NH_3) также возможно в процессе компостирования, особенно в первые две недели. Эти

выбросы уменьшаются по мере истощения легкоразлагаемого органического вещества и замедления скорости разложения» [22].

«Выбросы CO_2 и NH_3 , как правило, происходят в термофильной стадии разложения органических веществ и зависят от соотношения углерода и азота (C:N) в компостируемом материале, а также от активности аэробного окисления. Наличие анаэробных зон в этот период является основной причиной значительных выбросов N_2O и CH_4 »[22].

В данном разделе были рассмотрены лабораторные анализы «Почвогрунт КОС», которые исследует лаборатория при предприятии. Так же был провен анализ влияния температуры на компостирование ОСВ, анализ влияния влажности на компостирование ОСВ, анализ влияния кислотно-щелочных условий на компостирование ОСВ, анализ влияния аэрации на компостирование ОСВ, анализ влияния электропроводности на компостирование ОСВ и воздействие компостирования на окружающую среду.

3 Разработка технологии производство почвогрунта

3.1 Разработка состава почвогрунта

Положительное влияние почвогрунта доказано многочисленными исследованиями [48,19,20 и др.], в том числе по сопоставлению с действием навоза на плодородие почвы [45,33].

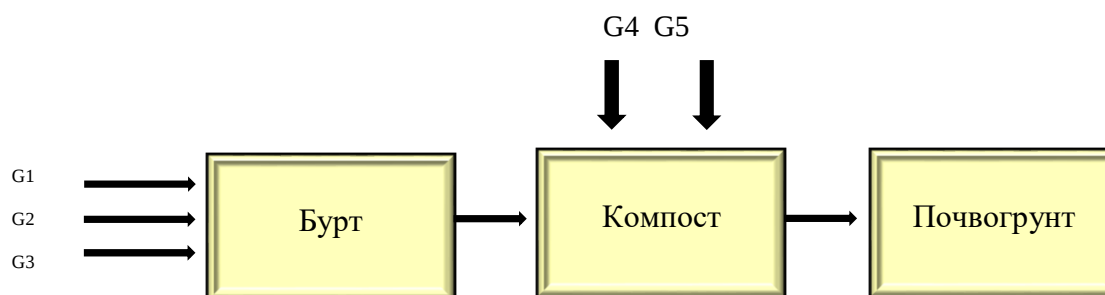
Как отмечалось ранее, к положительным аспектам воздействия ОСВ на характеристики почвы относятся: обогащение органическими веществами, питательными элементами для растений и микроэлементами, улучшение водно-физических свойств, увеличение ферментативной активности, а также рост численности и активности полезных микроорганизмов.

«Для производства компоста на основе ОСВ канализационных вод г. Петрозаводска необходим поиск дополнительных ресурсов наполнителей» [43]. Для разработки удобрительного материала на основе ОСВ выбрана рецептура «удобрения на примере почвогрунта «Ульянинский», в многокомпонентный состав которого входят ОСВ, песок, навоз крупного рогатого скота, торф. Массовая доля органического вещества в пересчете на сухой продукт составляет 10-35%, массовая доля влаги – 40-60%» [16,19].

В Петрозаводске находятся несколько крупных животноводческих ферм, поэтому есть возможность включения в состав компоста навоза крупного рогатого скота (КРС). В коровнике навоз убирается вместе с подстилкой в виде опилок хвойных деревьев. В расчетах принимаем $m_{\text{навоза}}$ как суммарное содержание навоза и опилок.

В качестве минеральной добавки для получения почвогрунта предлагаем использовать песок, отделенный из поступающих сточных вод, предварительно промытый и обезвоженный. В соответствии со стандартом песок отмывается от органических включений до максимального содержания 3- 5%. В качестве второй добавки для получения почвогрунта используем неплодородный грунт.

На рисунке 8 приведена схема получения почвогрунта.



G1 - отработанный активный ил, G2 - измельченная древесная щепа, G3 навоз КРС, G4 - песок, G5 – грунт

Рисунок 8 - Схема получения почвогрунта

Измельченные до размеров 20-50мм древесные отходы (щепа) и навоз КРС в соотношении подаются на смешение, где к ним добавляются обезвоженные ОСВ. Смешанную компостную массу укладывают в бурты.

Оптимальное перемешивание компонентов компоста достигается путём перемешивания буртов с помощью специальных машин.

В РФ наиболее часто используются ворошители марок PEZZOLATO и BASKHUS A30.

С помощью ворошителей валок насыщается кислородом и освобождается от накопившегося CO_2 , твердые частицы измельчаются до оптимального размера.

Почвогрунт можно перевозить любым видом грузового транспорта. Как насыпью, так и затаренными в полиэтиленовые или полипропиленовые мешки разной емкостью.

Проведенные исследования [16,26,34,47] показали, что почвогрунт изменяет зольность грунта, повышает содержание питательных веществ почвы и положительно влияет на содержание фосфора и калия. Почвогрунт используют для внесения на лугах по многолетним травам, пастбищах, пашнях. Внесение органического удобрения на поля осуществляется поверхностно под запашку. Он также используется для рекультивации городских земель для садово-паркового хозяйства [3,19,33,41].

3.2 Расчетная часть

3.2.1 Материальный баланс

Почвогрунт приготавливается по мере созревания компоста (падение и стабилизация температур, за которыми следит лаборатория ООО «ПКС-Водоканал» г. Петрозаводск). В соответствии со схемой получения компоста составим материальный баланс получения компоста и почвогрунта. (таблицы 9 и 10).

Таблица 9 - Материальный баланс компоста, %

Наименование компонентов смеси	Содержание, %
Отработанный активный ил (влажность 80%)	50
Навоз КРС	15
Измельченная древесная щепа	35
Итого:	100

Таблица 10 - Материальный баланс почвогрунта, %

Наименование компонентов смеси	Содержание, %
Компост	50
Песок с очистных сооружений	20
Грунт	30
Итого:	100

На канализационных сооружениях АО «ПКС-Водоканал» механизированному обезвоживанию и с применением флокулянтов подвергаются до 50% активного ила, подаваемого на иловые карты.

Наиболее активная микробиологическая деятельность наблюдается при влажности смеси равной 60-65% влажности. Для достижения такой влажности требуется добавка влагопоглощающих компонентов. В нашем случае в качестве разрыхляющих и влагопоглощающих компонентов используются щепа дробленая и навоз КРС.

Для приготовления компоста принимаем соотношение ила и наполнителя 1:1 [42]. Принимаем производительность установки сточных вод

по активному илу 16000 т в год или 1827 кг/ч. Для получения компоста используется до 50% от количества избыточного активного ила или 914 кг/ч. Условно принимаем, что в производстве компоста используется 1000 т/ч активного ила.

Выполним расчет количества навоза КРС и измельченной щепы по формуле:

$$m_{\text{навоза } 1} = \frac{m_{\text{к1}} \cdot m_{\text{навоза2}}}{m_{\text{к2}}} \quad (1)$$

где $m_{\text{к1}}$ – количество активного ила, кг

$m_{\text{к2}}$ - количество активного ила, %

$m_{\text{навоза2}}$ – количество навоза КРС, %

$$m_{\text{навоза } 1} = \frac{1000 \cdot 15}{50} = 300 \text{ кг}$$

$$m_{\text{щепа1}} = \frac{1000 \cdot 35}{50} = 700 \text{ кг}$$

Масса компоста равна:

$$m_{\text{компост}} = m_{\text{к1}} + m_{\text{навоза } 1} + m_{\text{щепа1}} \quad (2)$$

$$m_{\text{компост}} = 1000 + 300 + 700 = 2000 \text{ кг}$$

Процесс ферментации компоста состоит из двух фаз. Первая протекает в течение 1-3 недель и сопровождается повышением температуры до 50°-80°С. Вторая – фаза созревания компоста более длительного срока до 3-6 месяцев и наблюдается снижение температуры до 40°С и ниже. Аэробное сбраживание компоста сопровождается выделением углекислого газа, аммиака, выделением и испарением воды. Количество органических веществ в компосте сокращается до 40%.

С учетом последнего сделаем перерасчет массы получаемого компоста:

$$m_{\text{компост}} = 2000 \cdot 0,6 = 1200 \text{ кг}$$

Рассчитаем массу песка и грунта в почвогрунте. Соотношение компоста и наполнителей 1:1.

$$m_{\text{песок}} = \frac{1200 \cdot 20}{50} = 480 \text{ кг}$$

$$m_{\text{грунт}} = \frac{1200 \cdot 30}{50} = 720 \text{ кг}$$

Рассчитаем массу почвогрунта:

$$m_{\text{почвогрунт}} = m_{\text{компост}} + m_{\text{песок}} + m_{\text{грунт}} \quad (3)$$

$$m_{\text{почвогрунт}} = 1200 + 480 + 720 = 2400 \text{ кг}$$

Рассчитаем процентное содержание каждого компонента в почвогрунта по формуле:

$$\%_k = \frac{m_k \cdot 100}{m_{\text{почвогрунт}}} \quad (4)$$

где $\%_k$ - процент компонента;

m_k - масса компонента.

$$\%_{\text{ил}} = \frac{600 \cdot 100}{2400} = 25,0$$

$$\%_{\text{навоз}} = \frac{180 \cdot 100}{2400} = 7,5$$

$$\%_{\text{щепа}} = \frac{420 \cdot 100}{2400} = 17,5$$

$$\%_{\text{песок}} = \frac{480 \cdot 100}{2400} = 20,0$$

$$\%_{\text{грунт}} = \frac{720 \cdot 100}{2400} = 30,0$$

Составим материальный баланс процесса получения почвогрунта (таблица 11).

Таблица 11 – Материальный баланс получения почвогрунта

Приход			Расход		
Наименование компонента	Содержание		Наименование продукта	Содержание	
	кг	%		кг	%
Компост,включая	1200	50,0	Почвогрунт	2400	100,0
активный ил	600	25,0			
навоз КРС	180	7,5			
измельченная щепа	420	17,5			
Песок	480	20			
Грунт	720	30			
Итого	2400	100,0		2400	100,0

3.2.2 Тепловой баланс

В процессе компостирования происходит биотермические процессы с выделением тепловой энергии.

Процесс биологического разложения органических веществ осадков СВ включает три стадии:

- нарастание температуры;
- фаза высоких температур;
- падение температуры.

Теловой баланс компостного бурта складывается в основном из следующих составляющих [31]:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 \quad (5)$$

где «вносимое тепло: Q_1 - с компостируемой массой; Q_2 - с воздухом аэрации; Q_3 - выделяющееся в процессе компостирования (микробиологическое тепло).

Расходуемое тепло: Q_4 - уносимое с не переработанной щепой; Q_5 - уносимое с не переработанным навозом КРС; Q_6 - затрачиваемое на испарение влаги; Q_7 – готового компоста; Q_8 – расходуемое лучеиспусканием от более нагретого тела (компостный ряд) к менее нагретому (окружающая среда)» [30].

Вносимое тепло – тепло, вносимое с компостируемой массой, складывается из тепла, вносимого каждым компонентом:

$$Q_1 = Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{щепа}} + Q_{\text{навоз}} \quad (6)$$

где $Q_{\text{ОСВ}}$ - тепло от осадков сточных вод;

$Q_{\text{щепа}}$ - тепло от измельченной древесной щепы;

$Q_{\text{навоз}}$ - тепло от навоза КРС.

Расчет тепла по каждому компоненту вели по формуле:

$$Q = c \cdot m \cdot t \quad (7)$$

где c – теплоемкость, Дж/кг·град

m - масса компонента, кг

t - температура, °С (летний период температура 21°С, в зимний – минус 15°С).

Данные по теплоемкости компонентов взяты из источника [30].

В летний период времени:

$$Q_{\text{ОСВ}} = 2930 \cdot 1000 \cdot 21 = 61530000 \text{ Дж} = 61,53 \text{ МДж}$$

$$Q_{\text{навоз}} = 2610 \cdot 300 \cdot 21 = 16443000 \text{ Дж} = 16,44 \text{ МДж}$$

$$Q_{\text{щепа}} = 2720 \cdot 700 \cdot 21 = 39984000 \text{ Дж} = 39,98 \text{ МДж}$$

Суммарное тепло, вносимое с компостом равно:

$$Q_1 = 61,53 + 16,44 + 39,98 = 117,95 \text{ МДж}$$

В зимний период года:

$$Q_{\text{осв}} = 2930 \cdot 1000 \cdot (-15) = -43950000 \text{ Дж} = -43,95 \text{ МДж}$$

$$Q_{\text{навоз}} = 2610 \cdot 300 \cdot (-15) = -11745000 \text{ Дж} = -11,75 \text{ МДж}$$

$$Q_{\text{щепа}} = 2720 \cdot 700 \cdot (-15) = -27405000 \text{ Дж} = -27,41 \text{ МДж}$$

Суммарное тепло равно:

$$Q_1 = (-43,95) + (-11,75) + (-27,41) = -83,11 \text{ МДж}$$

«Тепло, вносимое с воздухом, подаваемого на аэрацию компоста в первом приближении можно пренебречь, т.к. в зависимости от погодных условий оно может быть, как положительным, так и отрицательным» [30].

«Тепло, выделяемое в процессе компостирования 1 кг смеси (органики) равно 21 МДж» [30], соответственно для массы 2000 кг равно:

$$Q_3 = 21 \cdot 2000 = 42000 \text{ МДж}$$

Расходуемое тепло, уносимое с не переработанными навозом и щепой, в нашем случае не учитывается.

«Количество тепла, переходящего от более нагретого тела к менее нагретому посредством лучеиспускания, определяем по уравнению:

$$Q = C \cdot \varphi \cdot F \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (8)$$

где C - коэффициент излучения, Вт/(м² · К⁴);

F – площадь поверхности излучения, м²;

φ - угловой коэффициент, безразмерный ($\varphi=1$);

T_1 - температура поверхности более нагретого тела, К

T_2 - температура поверхности менее нагретого тела, К

C_k – коэффициент лучеиспускания, Вт/(м² · К⁴);

$$C_k = \varepsilon \cdot C_q \quad (9)$$

где C_q – коэффициент излучения абсолютно черного тела $C_q = 5,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$;

ε - степень черноты тела ($\varepsilon = 0,92$)»[30]:

$$C = 0,92 \cdot 5,7 = 5,244 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$$

«Площадь поверхности излучения определяем по формуле:

$$F = a \cdot l \cdot n \quad (10)$$

где a – ширина бурта, м;

l – длина бурта, м;

n – количество буртов, м.

Определяем число буртов по формуле:

$$n = \frac{m}{p \cdot V} \quad (11)$$

где m - масса компостируемой смеси, кг;

p – плотность смеси ($p = 250 \text{ кг/м}^3$);

V - объем бурта, м^3 .

Бурт представляет собой равнобедренную трапецию с углом естественного откоса 55° .

$$V = \frac{a + b}{2} h \cdot l \quad (12)$$

где a – верхнее основание бурта ($a = 0,38 \text{ м}$);

b - нижнее основание бурта ($b = 2 \text{ м}$);

h - высота бурта ($h = 1 \text{ м}$);

l – длина бурта ($l = 5 \text{ м}$)» [30].

$$V = \frac{2 + 0,38}{2} \cdot 1 \cdot 5 = 5,95$$

$$n = \frac{1666,6}{250 \cdot 5,95} = 1,12$$

Принимаем $n = 1$.

$$F = 0,38 \cdot 6 \cdot 1 = 2,28$$

«В летний период года температура процесса меняется от 18°C до 63°C, то для достоверности данных определим тепло для нескольких температур поверхности» [30]: 21°C, 40°C и 60°C.

$$Q = 5,244 \cdot 1 \cdot 2,28 \left[\left(\frac{21}{100} \right)^4 - \left(\frac{18}{100} \right)^4 \right] = 0,0107 \text{ МДж}$$

$$Q = 5,244 \cdot 1 \cdot 2,28 \left[\left(\frac{40}{100} \right)^4 - \left(\frac{21}{100} \right)^4 \right] = 0,284 \text{ МДж}$$

$$Q = 5,244 \cdot 1 \cdot 2,28 \left[\left(\frac{60}{100} \right)^4 - \left(\frac{21}{100} \right)^4 \right] = 1,525 \text{ МДж}$$

$$Q_{cp} = \frac{0,0107 + 0,284 + 1,525}{3} = 0,061 \text{ МДж}$$

В зимний период времени:

$$Q_3 = 5,244 \cdot 1 \cdot 2,28 \left[\left(\frac{7}{100} \right)^4 - \left(\frac{-15}{100} \right)^4 \right] = -0,006 \text{ МДж}$$

В нашем случае количество испаряемой воды незначительное, поэтому оно не учитывается.

«Тепло готового компоста (с учетом 40 % убыли компостируемой массы) определяем по формуле» [30]:

$$Q_{\text{комп}} = Q_{\text{км}} \cdot 0,4 \quad (13)$$

В летний период:

$$Q_{\text{комп}} = 117,95 \cdot 0,4 = 47,18 \text{ МДж}$$

В зимний период:

$$Q_{\text{комп}} = -83,11 \cdot 0,4 = -33,244 \text{ МДж}$$

Результаты расчетов по периодам года сведем в таблицы 12 и 13.

Таблица 12- Тепловой баланс (летний период)

Начало процесса	Теплота, МДж	Конец процесса	Теплота, МДж
Компостируемая масса	117,95	Компост	47,18
Процесс компостирования	42000,0	Остывание массы (излучением)	0,061
Итого:	42117,95	Итого:	47,241

Таблица 13- Тепловой баланс (зимний период)

Начало процесса	Теплота, МДж	Конец процесса	Теплота, МДж
Компостируемая масса	-83,1	Компост	-33,244
Процесс компостирования	42000,0	Остывание массы (излучением)	-0,006
Итого:	41916,9	Итого:	-33,250

Из приведенных данных теплового баланса видно (таблица 12), что наибольшее количество теплоты уходит с готовым компостом (47,18 МДж). Тепло, образующееся во время процесса, будет компенсировать потери тепла, а также потери, связанные с остыванием массы, соответственно дополнительно подводить тепло в процесс не нужно.

В зимний период наибольшее количество теплоты уходит при остывании компостирующей массы (таблица 13). Тепло, образующееся во время процесса компостирования, не сможет компенсировать потери тепла, поэтому для поддержания положительной температуры массы продукта необходимо предусмотреть при аэрации использование теплого воздуха, а также в сильные морозы укрытие буртов из тепло- и гидроизоляционных материалов, таких как тарпаулин, пластиковое покрытие.

Заключение

Целесообразность рационального использования ОСВ в качестве удобрения подтверждается документом «Международный кодекс поведения в области устойчивого использования удобрений и управления ими» [4]. В нем указано, «что к потенциальным источникам питательных веществ из повторно используемых и вторично переработанных материалов относятся сточные воды, осадок сточных вод и другие неорганические и органические побочные продукты, которые можно применять для целей растениеводства»[34].

Таким образом, утилизация ОСВ и обращение с ними имеют высокую актуальность у нас в стране и за рубежом.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были выполнены следующие задачи:

- рассмотрена технология очистки сточных вод на предприятии «ПКС ВОДОКАНАЛ» г. Петрозаводска, которая входит в перечень наилучших доступных технологий; а также технологию утилизации активного ила;
- выполнен анализ и систематизация имеющихся сведений по современным способам переработки осадков городских сточных вод;
- на предприятии был проведен анализ основных факторов, влияющих на процесс и качество почвогрунта: температуры, влажности, уровня pH, аэрация, электропроводности;
- предложено в качестве дополнительного влагопоглощающего материала компоста использовать навоз КРС в количестве 20% масс., и в качестве наполнителя почвогрунта - песок, отделенный из поступающих сточных вод, предварительно промытый и обезвоженный.

Полученный состав почвогрунта с нейтральными компонентами относительно содержания токсичных металлов (навозом, древесной корой), обладает более высокими экологическими характеристиками.

Расчет теплового баланса процесса компостирования показал, что в летнее время основное количество теплоты уходит с готовым компостом.

Тепло, образующееся во время процесса, будет компенсировать потери тепла, а также потери, связанные с остыванием массы, соответственно дополнительно подводить тепло в процесс не нужно.

В зимний период тепло, образующееся во время процесса, не компенсирует потери тепла, поэтому для поддержания положительной температуры массы компоста необходимо при аэрации использовать теплый воздух.

Список используемых источников

1. Баженов В.И. Проектирование современных комплексов биологической очистки сточных вод / В.И. Баженов, А.А. Денисов // Экология и промышленность России. – 2019. – № 2. – С.26-31. Бешенцев В.А. Обоснование захоронения промышленных и сточных вод в недра: учебное пособие / В. А. Бешенцев, Т. В. Семенова. Тюмень : ТюмГНГУ, 2018. - 95 с.
2. Биотехнология и микробиология анаэробной переработки органических коммунальных отходов: коллектив. моногр. / общ. ред. и сост. А. Н. Ножевниковой, А. Ю. Каллистова, Ю. В. Литти, М. В. Кевбрина. М.: Унив. кн., 2016. 320 с.
3. Брындина Л.С., Бакланова О.В. Влияние биологически очищенного осадка сточных вод на рост и развитие декоративных растений // Лесотехнический журнал. Т. 9, № 1 (33). 2019. С. 23-30. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37424053> (дата обращения 12.09.2024).
4. Валиев В. С., Иванов Д. В., Шагидуллин Р. Р. Способы утилизации осадков городских сточных вод (обзор) // Российский журнал прикладной экологии. 2020. № 4(24). С. 52–63. DOI: 10.24411/2411-7374-2020-10034.
5. Варваров В.В., Брындина Л.В., Ильина Н.М. Биологическая очистка сточных вод // Экология и безопасность жизнедеятельности. 1996, №1. С. 46-48.
6. Водоснабжение [Электронный ресурс]: – Режим доступа: www.vodocanal.org <https://www.vodocanal.org/tehnologii/vodosnabzhenie/> (дата обращения 07.10.2024).
7. Водоснабжение в Петрозаводске [Электронный ресурс] : dc-region.ru : [сайт].—URL: <https://dc-region.ru/vodosnabzheniye-v-petrozavodske> (дата обращения 07.10.2024).

8. Воронов Ю.В. Биологические окислители / Ю.В. Воронов, Н.А. Залетова, Г.Ш. Чембулатова // Вода и экология: проблемы и решения. – 2018. – № 4 (68). – С.44-47.

9. ВСТ №5 1988г. Установка для компостирования осадка сточных вод в г. Петрозаводске.

10. ГОСТ Р 59748-2021. Технические принципы обработки осадков сточных вод. Общие требования. Введ. 2021-11-01. М.: Рос. ин-т стандартизации, 2021. 26 с.

11. ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрения.

12. ГОСТ Р 54651-2011 Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия.

13. Графова Е. О., Паршин Н. В. Исследование методов обработки осадков сточных вод петрозаводских очистных сооружений //Resources and Technology 16 (4): 2019. С. 94-118. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://rt.petsu.ru> (дата обращения 07.10.2024).

14. Губанова Д.Д., Желтова Д.И. Разработка способа реагентной обработки иловой смеси // Водоочистка. 2018. № 1–2. С. 59–63.

15. Данилович Д.А. Современные методы обеззараживания осадков сточных вод//НДТ, №6, 2018.- С.50-60.

16. Данилович Д.А. Обработка осадков сточных вод: ожидаются серьезные изменения в регулировании.//НДТ, №1, 2018. - С.32-42.

17. Гильманова М.В., Грехова И.В. Анализ технических решений извлечения тяжелых металлов из гетерогенных отходов систем водоотведения// Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2018. Вып. 2. С.28-40.

18. Заболотских В.В., Гомоницкая А.О., Кутмина С.В. Технологические приёмы улучшения качества компоста, получаемого из органических отходов // Известия Самарского научного центра РАН. 2016. № 5-3. [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskie-priyomy->

uluchsheniya-kachestva-komposta-poluchaemogo-iz-organicheskikh-othodov (дата обращения: 10.09.2024).

19. Зайчиков М.А. Опыт утилизации осадков сточных вод при производстве органических удобрений «Почвогрунт Ульяновский». НДТ, №2, 2017. - С.10 -17.

20. Ельшаева И.В., Воропаева Е.В., Пинаева А.С. Использование грунта, обогащенного осадком сточных вод, при выращивании декоративных растений // Известия Санкт- Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 1 (70). – С.59–68.

21. Есякова О.А. Обращение с отходами : учебное пособие / О. А. Есякова, В. А. Иванов. - Красноярск : СибГУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2018. - 90 с.

22. Ивасенко Д. А. Микробные консорциумы для трансформации органических отходов животноводства и пищевых производств./ Дисс. ... канд. биол. наук:1.5.15. Томск, 2024. – 203с.

23. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям, «очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов» [Электронный ресурс]: ИТС 10-2019. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564068889> (дата обращения 07.10.2024).

24. Исследование влияния продукта (органо-минерального комплекса «Амида») переработки илового осадка сточных вод на почву // [Электронный ресурс]. URL: <https://web.archive.org/web/20150402125117/http://pererabotkaosv.ru/issledovanie/> (дата обращения 20.09.2024).

25. Кадысева А.А., Безухова С.В., Гильмутдинов Р.М. Биохимическое окисление органических веществ в анаэробных условиях [Электронный ресурс] // Вестник ОмГАУ. 2015. №1 (13). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biohimicheskoe-okislenie-organicheskikh-veschestv-v-anaerobnyh-usloviyah> (дата обращения: 04.10.2024).

26. Калимуллина Д.Д., Багаугдинов И.З.. Утилизации осадков городских сточных вод // Инновационная наука. 2016. № 5. С.115-116. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения 01.10.2024).

27. Кислицына С.Н., Шитова И.Ю. Способы переработки отходов деревообрабатывающей промышленности: учеб. пособие. Пенза: ПГУАС, 2016. 140 с.

28. Компостирование органических отходов сельскохозяйственных животных : монография / А. Г. Шестаков, Д. А. Васильев, А. С. Терешкин [и др.]. — Ульяновск: УлГАУ имени П. А. Столыпина, 2018. — 112 с.

29. Крупнова Т. Г., Кострюкова А. М., Машкова И. В. Обзор современных технологий обработки осадков городских сточных вод // Сельское, лесное и водное хозяйство [Электронный ресурс]. 2014. № 7. URL: <https://agro.snauka.ru/2014/07/1549> (дата обращения: 25.09.2024).

30. Луканин А.В., Васильева Т. Комплексное компостирование бытовых отходов городского хозяйства // Журнал естественнонаучных исследований. Т.3. – 2018. –С.1-8. г. [Электронный ресурс] URL: <https://repository.rudn.ru/records/article/record/51880/> (дата обращения 01.10.2024).

31. Лукаш А.А. Энергетическое использование древесной биомассы : учебное пособие / А. А. Лукаш. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 124.

32. Манжина С. А. Российские и зарубежные практики обращения с осадком сточных вод // Экология и водное хозяйство. 2023. Т. 5, № 1. С. 15–31. // [Электронный ресурс] <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2023-5-1-15-31>. (дата обращения 01.10.2024).

33. Маненко А.К., Ткаченко Г.М., Касиян О.П., Юрченко С.Т. Гигиеническое обоснование возможности использования ила из сооружений по очистке сточных вод в качестве органического удобрения. Гигиена и санитария. 2020; 99 (3): 259-264. DOI: <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-3-259-264> (дата обращения 07.10.2024).

34. Международный кодекс поведения в области устойчивого использования удобрений и управления ими. Рим, 23–29 июня 2019.-56с.

[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://static.agriecomission.com/docs/fccf79963e3a6d810de8e13c081b718e.pdf> (дата обращения 07.10.2024).

35. Могукало А.В. Комплексная обработка избыточного активного ила от патогенной обсеменённости./ Дисс. ... канд. техн. наук:2.1.4. Макеевка, 2023. – 125с.

36. Молев, М.Д. Переработка и возможность использования осадка сточных вод / М.Д. Молев, С.И. Паскарелов // Перспективы технологии в строительстве и техносферной безопасности: сборник научных трудов. – Шахты: ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты, 2021. – С.49–54.

37. Новикова О. К. Обработка осадков сточных вод: учеб.-метод. пособие / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. Гомель: БелГУТ, 2015. 96 с.

38. Ножевникова А. Н. Состав микробного сообщества на разных стадиях компостирования, перспектива получения компоста из муниципальных органических отходов (обзор) / А. Н. Ножевникова, В. В. Миронов, Е. А. Бочкова, Ю. В. Литти, Ю. И. Русскова // Прикладная биохимия и микробиология. – 2019. –Т. 55, № 3. – С. 211–221.

39. Осадок сточных вод - отход или нет? «Справочник эколога» № 3, 2020. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.profiz.ru/eco/3_2020/osadok_othod_produkt/ (дата обращения 01.10.2024).

40. Официальный сайт Комитета Совета Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию / Совещание «О практических аспектах утилизации прошедших обработку осадков сточных вод» // [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: http://agrarian.council.gov.ru/activity/activities/other_activities/79450/ (дата обращения 01.10.2024).

41. Пинаева А. С., Ельшаева И. В. Влияние осадка сточных вод на накопление Pb, Cd в системе почва-растение // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. –№ 4(69). – С. 113–121.

42. Производства питательного грунта «Почвогрунт КОС». Технологический регламент. АО «ПКС-Водоканал», Петрозаводск. 2022.-12с.
43. Радченко Е.П., Вдовина А.Н. Утилизация остатков сточных вод в качестве удобрений как одно из направлений в решении экологических проблем // Аграрное и земельное право. 2022. № 8(212). С. 95-98. http://doi.org/10.47643/1815-1329_2022_8_95 (дата обращения 07.10.2024).
44. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию реконструированных объектов КОС г. Петрозаводска. Санкт-Петербург. 2017. -297с.
45. Тихонова И. О. Утилизация иловых осадков в экономике замкнутого цикла: опыт Германии // Экология производства. 2020. - № 6. - С. 74–77.
46. Чулкова И.Л., Смирнова О.Е., Красова А.В. Применение осадков сточных вод в производстве бетона // Вестник СибАДИ. 2021. Т.18, № 5(81). С. 566-575. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-5-566-575>(дата обращения 07.10.2024).
47. Шкаредо В.А., Эпштейн А.Д., Самбурский Г.А. Вовлечение продуктов, получаемых с использованием ССВ в хозяйственный оборот: что для этого нужно.//НДТ. 2023. - №4. – С.4-6.
48. Юдина Н.В., Гирман Е.Н. Разработка инженерно-экологической системы утилизации иловых осадков на очистных сооружениях//Электронный журнал. Инженерный вестник Дона, №1 (2018) ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4794. (дата обращения 07.10.2024).
49. Lee S.-Jae. Draft Genome Sequence of the Thermophilic Bacterium *Anoxybacillus kamchatkensis* G10 / S.-Jae Lee, Y.-J. Lee, N. Ryu, S. Park, H. Jeong, S. Jun Lee, B.-C. Kim, D.-W. Lee, H.-S. Lee // Journal of Bacteriology. – 2012. – Vol. 194, № 23. – P. 6684–6685.