

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

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Управление промышленной и экологической безопасностью»
(наименование кафедры)

20.04.01 Техносферная безопасность

(код и наименование направления подготовки)

Экологический инжиниринг и аудит

(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему Применение активного ила в качестве исходного технологического сырья для производства органического удобрения (на примере ПАО «КуйбышевАзот» г. Тольятти)

Студент

А.О. Рудакова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

Н.Г. Шерышева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Консультант

В.В. Петрова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель программы

д.п.н., профессор Л.Н.Горина

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

(личная подпись)

«___» _____ 2019г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой

д.п.н., профессор Л.Н.Горина

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

(личная подпись)

«___» _____ 2019г.

Тольятти 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	16
1 Обзор методов утилизации и переработки активного ила в отечественной и мировой практиках.....	18
1.1 Способы использования активного ила за рубежом.....	18
1.2 Методы применения активного ила в Российской Федерации.....	22
1.2.1 Активный ил как органическое удобрение.....	23
1.2.1.1 Применение на отвалах каменного угля.....	24
1.2.1.2 Опыты на иловатой среднесуглинистой почве с кукурузой.....	25
1.2.1.3 Применение в условиях радиоактивного загрязнения.....	26
1.2.2 Использование активного ила в производстве и строительстве.....	27
1.2.2.1 Производство пластмассовых изделий.....	27
1.2.2.2 Производство строительных материалов.....	29
1.2.3 Использование активного ила в качестве биофлокулянта.....	30
1.2.4 Активный ил – альтернативное топливо.....	31
1.3 Описание уровня техники, известных аналогов и прототипа.....	33
2 Анализ проблемы применения активного ила в виде сырья для производства удобрений на ПАО «КуйбышевАзот».....	41
2.1 Описание технологического процесса и технологической схемы цеха №39 «Переработка органических и неорганических соединений».....	42
2.2 Анализ существующей системы накопления и захоронения стабилизированного ила сточных вод ПАО «КуйбышевАзот».....	57
2.3 Анализ требований для использования ила в качестве удобрения.....	59
2.3.1 Основные нормативные документы, регулирующие требования к составу осадков.....	59
2.3.2 Требования к составу и свойствам осадков.....	61
2.3.3 Соответствие состава активного ила предприятия требованиям и нормам.....	63

3 Организация использования активного ила предприятия	
ПАО «КуйбышевАзот» в качестве удобрения почв.....	66
3.1 Компостирование иловых осадков как путь рекультивации	
нарушенных почв.....	66
3.2 Основы организации компостирования иловых осадков.....	69
3.3 Организация компостирования активного ила цеха №39	
ПАО «КуйбышевАзот».....	71
3.3.1 Рекомендации по работе аэротенка предприятия.....	71
3.3.2 Рекомендации по работе иловых площадок.....	77
3.4 Рекомендуемая система применения активного ила цеха №39	
как сырья для удобрений.....	79
3.5 Экономические обоснования предлагаемой системы.....	81
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	89
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	92
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	99

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования обусловлена рядом факторов. К числу основных можно отнести проблему возврата в окружающую среду продуктов, образующихся в процессе переработки отходов промышленной деятельности человека. К таким продуктам относятся осадки сточных вод, образующиеся в больших объёмах на очистных сооружениях. При этом проектные площади не справляются с образующимися объемами активного ила. Необходимость применения отработанного активного ила в процессе очистки сточных вод обусловлена проблемой охраны окружающей среды и экономическим аспектом. Кроме того, компоненты такого сорбционного материала имеют природное происхождение, а это означает его безвредность. Данный факт является немаловажным при решении проблемы рекультивации загрязнённых городских почв.

Процесс минерализации органических сбросов, в основе которого лежит применение активного ила, был впервые разработан в 1914 г. [5]. В настоящее время метод модернизируется и становится более сложным и производительным, ведутся поиски и разработка новых, усовершенствованных способов использования активного ила сточных вод в производстве органических удобрений.

В данный момент на предприятии ПАО «КуйбышевАзот» не применяется такой перспективный метод использования осадков сточных вод как компостирование. Отходы вывозятся на захоронение, что довольно затратно с экономической стороны и нецелесообразно ввиду высокой ценности получаемого из отхода конечного продукта (органического удобрения).

Цель работы – модификация способов применения активного ила, образующегося на очистных сооружениях ПАО «КуйбышевАзот», в качестве сырья для производства органического удобрения.

Цель поставлена ввиду необходимости решения следующих проблем:

- высокая стоимость захоронения стабилизированного активного ила цеха №39 ПАО «КуйбышевАзот»;
- целесообразность использования органического удобрения на собственных полях предприятия;
- необходимость оздоровления городских экосистем и рекультивации техногенных и нарушенных почв г.о. Тольятти ввиду наличия загрязненных и деградированных городских земель.

Объект исследования – отработанный активный ил сточных вод цеха №39 ПАО «КуйбышевАзот».

Предмет исследования – возможность применения стабилизированного активного ила цеха №39 ПАО «КуйбышевАзот» в качестве исходного технологического сырья для производства удобрений.

Задачи. Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- исследовать современное состояние вопроса применения иловых компостов в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства;
- изучить требования для использования ила в качестве удобрения;
- провести анализ технологического процесса переработки органических и неорганических соединений цеха №39 ПАО «КуйбышевАзот» г. Тольятти;
- изучить состав стабилизированного ила сточных вод предприятия ПАО «КуйбышевАзот»;
- выявить и проанализировать проблемы утилизации и применения отработанного активного ила сточных вод ПАО «КуйбышевАзот»;
- разработать проект применения отработанного активного ила сточных вод ПАО «КуйбышевАзот» как исходного технологического сырья производства удобрений.

Научная новизна исследования: в работе проведен анализ состава активного ила предприятия и выявлен факт его соответствия заявленным требованиям. В результате исследования рассмотрены затраты на транспортировку и захоронение отхода, определены преимущества

изготовления компостного удобрения. Ввиду этого в диссертации впервые разработан проект полевого компостирования активного ила осадков сточных вод с использованием динамичных штабелей, а также спрогнозирован результат его внедрения с экономической и экологической точек зрения.

Методы и методология проведения исследования заключается в применении теоретических методов статистического анализа, синтеза, классификации, обобщения и прогнозирования, а также практических методов сравнения, наблюдения и описания на непосредственной полевой практике в цехе №39.

Теоретическая, научная и практическая значимость диссертации заключается в том, что на основе проведенного исследования было выявлено соответствие активного ила предприятия требованиям и нормам к применению в качестве сырья для производства удобрения; приведены рекомендации по работе аэротенка и иловых площадок; разработан и обоснован проект полевого компостирования, обеспечивающий обеззараживание ила сточных вод и получение качественного компоста.

Научная обоснованность и достоверность результатов исследования. Достоверность полученных результатов исследования выявлена посредством анализа совокупности теоретико-методологических оснований. С каждым годом вопрос переработки стоков исследуют все большее количество ученых [20, 41-45, 54].

Изучение и анализ научных публикаций по теме исследования показали, что при использовании компостов на основе активного ила для удобрения различных видов почв было выявлено положительное влияние минеральных составляющих продукта на уровень урожайности земель и сопротивляемость растений болезням.

Экспериментальным путем было установлено, что использование активного ила в качестве сырья для производства удобрения благоприятно с экологической и экономической точек зрения. Достоверность результатов исследования подтверждается техническим результатом, который будет

получен при осуществлении проекта компостирования иловых осадков: исключение необходимости захоронения, улучшение свойств почв собственных полей предприятия, оздоровление деградированных и загрязненных земель г.о. Тольятти, снижение воздействия на окружающую природную среду.

Научные положения и результаты исследования, выносимые на защиту:

- применение компостного удобрения оказывает существенное положительное влияние на структуру почв, значительно улучшает их физико-химические, биологические и противозерозионные свойства;

- активный ил сточных вод цеха №39 ПАО «КуйбышевАзот» пригоден для приготовления компостов по токсикологическим, агрохимическим, физико-механическим, ветеринарно-санитарным и гигиеническим показателям;

- на предприятии возможно производить высококачественный компост в штабелях с ворошением отходов;

- реализация проекта по применению активного ила в качестве органического удобрения позволит увеличить экономический эффект за счет снижения затрат на размещение отхода на полигоне, транспортные расходы и плату за негативное воздействие на окружающую среду.

Апробация результатов.

В результате проведенного исследования работы цеха №39 ПАО «КуйбышевАзот» были выдвинуты следующие практические рекомендации. Для эффективной подготовки активного ила к процессу компостирования необходимо соблюдать правила эксплуатации оборудования, технологический режим работы аэротенков и иловых площадок. Предлагаемая система полевого компостирования может быть реализована при соблюдении следующих условий:

а) предварительное подсушивание осадка на иловых картах до влажности 75-80%;

- б) проведение процесса компостирования в удлиненных штабелях;
- в) ворошение (перелопачивание) осадка;
- г) принудительная аэрация;
- д) увлажнение материала в процессе компостирования;
- е) стабилизация – выдерживание материала в новых штабелях в течение 1-2 месяцев.

Благодаря реализации проекта полевого компостирования в штабелях будет достигнут экономический эффект за счет экономии ежегодной платы за рекультивацию отхода 67 794,33 руб. (при условии использования для изготовления компоста 25% отработанного активного ила).

Личный вклад автора в исследование.

Автором проведено исследование возможностей применения активного ила; изучены нормативные документы с целью определения требований к составу и характеристикам осадков сточных вод, применяемых в производстве органического удобрения; проведено сравнение данных по составу активного ила предприятия и выявлено их соответствие заявленным требованиям; проанализированы принципы работы аэротенка и иловых площадок предприятия, разработаны рекомендации для повышения эффективности их эксплуатации; впервые разработан проект приготовления компостного удобрения на основе активного ила цеха №39 ПАО «КуйбышевАзот» с применением динамичных штабелей; доказана эффективность внедрения проекта с экономической и экологической точек зрения.

Структура и объем магистерской диссертации.

Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения и списка используемых источников, содержит 100 страницы текста. Основная часть исследования изложена на 74 страницах, текст иллюстрирован 7 таблицами, 14 рисунками, использовано 59 литературных источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе диссертации приведены результаты изучения научных публикаций и исследований на заданную тематику, позволяющие составить общую картину способов использования активного ила в России и за рубежом. Применение иловых осадков и получение органоминерального удобрения на их основе является достаточно обширным направлением для проведения экологических и агрохимических экспериментов на различных видах почв: на иловатой среднесуглинистой почве с кукурузой, на отвалах каменного угля, в условиях радиоактивного загрязнения. Кроме того, исследования показали успешное применение активного ила в производстве пластмассовых изделий, строительных материалов и в качестве альтернативного источника энергии. В разделе рассматривается строение и принципы работы известных аналогов и прототипов, применяемых для очистки сточных вод и получения активного ила: песколовок, метантенков, сушильных установок, аэротенков и иловых площадок. Основные выводы 1 главы:

- в мировой практике одним из основных способов переработки отхода является его использование в качестве органоминерального удобрения; при этом параллельно решается несколько задач: исключается необходимость хранения (захоронения) отходов, повышается плодородие почв и урожайность сельскохозяйственных культур, в меньшей степени загрязняется окружающая природная среда;

- в России большая часть отходов вывозится на захоронение; при этом безвозвратно теряются содержащиеся в них полезные компоненты, а также используются дополнительные площади, что оказывает неблагоприятное воздействие на окружающую среду;

- с каждым годом в России растет число исследований и разработок по применению активного ила в строительстве, биоэнергетике и сельском хозяйстве;

- одним из наиболее перспективных методов использования активного ила остается изготовление на его основе органического удобрения.

Во второй главе содержится анализ технологического процесса и технологической схемы цеха №39 «Переработка органических и неорганических соединений», происходящих в нем процессов нитрификации и денитрификации, стадий очистки сточных вод. В разделе рассматривается существующая система накопления и захоронения отработанного ила сточных вод ПАО «КуйбышевАзот». Образующийся в процессе очистки стоков избыточный активный ил отводится на участок обработки осадка. Избыточный ил уплотняется безреагентной флотацией. Образовавшаяся в результате этого процесса флотационная пена, или уплотненный ил, откачивается на иловые площадки. Площадки оборудованы дренажной системой для отвода фильтрата. Далее ил подвергается уплотнению и высушиванию в естественных условиях. Ил избыточный биологических очистных сооружений удаляется на иловые карты. Ил стабилизированный биологических очистных сооружений подвергается захоронению. На очистных сооружениях ПАО «КуйбышевАзот» ежегодно образуется порядка 260 тонн избыточного ила, который вывозится на рекультивацию на полигон ЭКОТРАНС.

В главе содержатся данные результатов анализа нормативных документов, регулирующих требования к составу осадков для использования их в качестве удобрения. Условиями для применения осадков сточных вод в приготовлении удобрения являются обеззараживание, предельно допустимое содержание потенциально опасных элементов и веществ, пригодность по физическим свойствам и удобрительная ценность конечного продукта.

Подводя итоги проведенного исследования проблемы использования активного ила сточных вод цеха №39, можно сделать следующие выводы:

- активный ил предприятия полностью соответствует заявленным требованиям и нормам для использования его в качестве сырья для приготовления компостного удобрения;

- после оформления необходимой документации, разработки, внедрения и применения плана использования отхода в качестве удобрения компосты из

активного ила можно будет эффективно использовать на полях предприятия ПАО «КуйбышевАзот», заметно сократив ежегодные затраты на транспортировку и захоронение отхода, а впоследствии и на полях г.о. Тольятти, что будет способствовать повышению урожайности земель и общему улучшению агрохимических показателей почв.

В третьей главе приводятся рекомендации по работе аэротенка и иловых площадок предприятия. Необходимым условием для применения активного ила промышленного предприятия в качестве удобрения является его предварительная подготовка. Ввиду этого требуется проведение обеззараживания ила и осадка. Существует немало способов обеззараживания осадка сточных вод, но наиболее доступным и относительно надежным методом является компостирование. На ПАО «КуйбышевАзот» предлагается внедрить проект полевого компостирования илового осадка в штабелях. Проект приготовления компоста несложен в техническом отношении и не требует больших затрат, при этом способен обеспечивать большой обеззараживающий эффект ила сточных вод. Метод предлагается применять с использованием динамичных (с ворошением отходов) штабелей; компостирование должно проходить в условиях принудительной аэрации. Благодаря аэрированию, улучшающему условия жизнедеятельности микроорганизмов, процесс перегнивания отходов значительно ускоряется. В разделе обсуждаются возможности внедрения проекта на предприятии, экономические и экологические обоснования предлагаемой системы.

В разделе приводится расчет платы за рекультивацию активного ила цеха №39 на примере данных 2015 года. Плата за размещение отходов в пределах лимитов П_{лр} на полигоне ЭКОТРАНС составила: 166 296,4 руб.

Плата за транспортные расходы: 21 023,56 руб.

Плата за негативное воздействие на окружающую среду: 93 043 руб.

Итого: плата за рекультивацию 268,22 т отхода составила 280 362,8 руб.

Если предположить, что 25% (65 тонн) ила будет использоваться для биокомпостирования, то можно спрогнозировать ежегодную экономию платы за рекультивацию: 67 794,33 руб.

Готовый компост в качестве органического удобрения может найти широкое применение как на собственных полях предприятия, так и на полях г.о. Тольятти. В 3 главе рассмотрена возможность применения компостного удобрения на полях выращивания картофеля. На основании расчетов выявлено, что для обогащения азотом поля под картофель площадью 1 га потребуется внести 845 кг органического удобрения, полученного в результате биотермического компостирования активного ила цеха №39 ПАО «КуйбышевАзот».

Подводя итоги изучения вопросов, связанных с организацией использования отработанного активного ила на предприятии ПАО «КуйбышевАзот» в качестве удобрения почв, можно сделать следующие выводы:

- компостное удобрение на основе активного ила имеет высокую агрономическую ценность, оказывает положительное влияние на структуру и свойства почв; удобрение рекомендуется применять для рекультивации почв, обогащения истощенных земель, для улучшения биологической активности почвы и сопротивляемости растений болезням;

- для эффективной подготовки активного ила к процессу компостирования необходимо соблюдать правила эксплуатации оборудования, технологический режим работы аэротенков и иловых площадок;

- применение проекта приготовления компоста позволит экономить средства предприятия, затрачиваемые на транспортировку, размещение и захоронение отхода, а также получать высококачественный материал для удобрения и восстановления почв.

Основные выводы и результаты.

На основании проведенного исследования проблемы применения отработанного активного ила можно сделать вывод, что одним из наиболее перспективных методов использования активного ила в России и за рубежом является изготовление на его основе органического удобрения.

Изучение деятельности предприятия ПАО «КуйбышевАзот» по применению активного ила выявило, что:

- рассматриваемый активный ил цеха №39 полностью соответствует заявленным требованиям и нормам для использования его в качестве сырья для приготовления компостного удобрения;

- органическое удобрение на основе активного ила имеет высокую агрохимическую ценность, оказывает положительное влияние на структуру и свойства почв; удобрение рекомендуется применять для рекультивации почв, обогащения истощенных земель, для улучшения биологической активности почвы и сопротивляемости растений болезням;

- благодаря применению методов биокомпостирования происходит возврат в почву органических веществ и сокращение использования химических удобрений;

- для эффективной подготовки активного ила к процессу компостирования необходимо соблюдать правила эксплуатации оборудования, технологический режим работы аэротенков и иловых площадок;

В диссертации предлагается система полевого компостирования отработанного активного ила предприятия с соблюдением следующих условий:

- соотношение между степенью загрязнённости сточных вод и количеством активного ила в аэротенке: оптимальная доза ила 4 мг/л;

- рекомендуемый состав сточных вод предприятия: концентрация биологического потребления кислорода ($BPK_{полн}$) – свыше 500 мг/л; соотношение $BPK_{полн}$ к химическому потреблению кислорода (ХПК) должно быть 1,2;

- рН сточных вод в пределах 6,5 – 8,5, температура сточных вод – не ниже 6°С, количество кислорода в аэротенке 1,0 – 3,0 г/дм³;

- рекомендуется увеличение количества иловых площадок с 4 до 6;

- для повышения продуктивности работы функционирующих иловых площадок рекомендуется проведение уплотнения осадка перед подачей на площадки, механического ворошения и удаления высушенного осадка с площадок, продувания осадка воздухом во время обработки и подогрева осадка на иловых площадках;

- перед компостированием: предварительное подсушивание осадка на иловых картах до влажности 75-80%;

- проведение компостирования в удлиненных штабелях;

- ворошение (перелопачивание) осадка;

- принудительная аэрация;

- увлажнение материала в процессе компостирования;

- повышение пористости компостируемого материала;

- стабилизация – выдерживание материала в новых штабелях в течение 1-2 месяцев.

Экономический эффект предлагаемой системы: при условии использования 25% отработанного активного ила для изготовления компостного удобрения ежегодная экономия платы за рекультивацию составит 67 794,33 руб.

На основании расчетов показано, что для обогащения азотом поля под картофель площадью 1 га потребуется внести 845 кг органического удобрения, полученного в результате биотермического компостирования активного ила цеха №39 ПАО «КуйбышевАзот».

Таким образом, готовый компост рекомендуется применять для удобрения площадей под лесопосадки, посадки кустарников, овощных, плодовоягодных, зерновых, кормовых и цветочных сельскохозяйственных культур.

Компостирование, как способ утилизации осадков сточных вод, отличается простотой, доступностью и достаточно низкой себестоимостью; применение проекта приготовления компоста позволит экономить средства предприятия, затрачиваемые на транспортировку, размещение и захоронение отхода, а также получать высококачественный материал для удобрения и восстановления почв собственных полей предприятия и полей г.о. Тольятти, что будет способствовать повышению урожайности земель и общему улучшению агрохимических показателей почв.

Список публикаций по теме диссертации. По теме исследования в апреле 2019 г. в журнале «Аллея науки» автором была опубликована статья, в которой рассматривался вопрос экологического преимущества применения метода биокомпостирования, а также было описано положительное влияние компостных удобрений на биохимические свойства почвы.

1 Рудакова, А.О. Применение биокомпостирования осадков сточных вод в производстве органических удобрений / А.О. Рудакова // Аллея науки – 2019. – Т.2. – №4(31) – С. 81-84.

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В магистерской диссертации применяются следующие термины с соответствующими определениями.

Активный ил – биоценоз колоний микроорганизмов, простейших, бактерий, применяемый для очищения сточных вод в результате биохимического окисления.

Аэраторы – системы, способствующие насыщению воды кислородом, а также создающие необходимую для смешивания циркуляцию жидкости.

Аэробные микроорганизмы – микроорганизмы, которым для нормальной жизнедеятельности нужен свободный кислород.

Аэротенк – резервуар прямоугольного сечения, по которому проходит смесь сточных вод с активным илом, в результате чего происходит биохимическая очистка сточных вод.

Биологическая очистка воды – ряд мер, направленных на очистку бытовых и промышленных сточных вод от растворённых загрязнений посредством размещения их в среду со специальными микроорганизмами.

Биологическое потребление кислорода (БПК) – величина, определяющая концентрацию органики в сточных водах. Оно выражается в количественных показателях кислорода, которое было израсходовано при окислительных анаэробных процессах, с обязательным «участием» кислорода, под действием микроорганизмов в исследуемой жидкости.

Вспухание активного ила – процесс образования в биоценозе активного ила культур нитчатых червей. Вспухание указывает на деградацию активного ила.

Иловая площадка – технологическое очистное сооружение, применяемое для обезвоживания выпадающего из сточных вод осадка (ила).

Компостирование – способ ликвидации отходов, заключающийся в разложении органических веществ аэробными микроорганизмами.

Компост – смесь различных биологических и органических веществ, разложившихся посредством жизнедеятельности специальных микроорганизмов.

Метантенк – железобетонный резервуар значительной ёмкости (до нескольких тыс. м³) для биологической переработки (сбраживания) с помощью бактерий и других микроорганизмов в анаэробных условиях органической части осадка сточных вод.

Микроорганизмы – мельчайшие, преимущественно одноклеточные организмы, видимые только в микроскоп: бактерии, микроскопические грибы и водоросли, простейшие.

Нагрузка на активную смесь – суммарный объём тех загрязнений, которые ил может переработать.

Обезвоживание осадков – удаление свободной влаги из осадков под воздействием внешней силы или силы тяжести.

Промышленные сточные воды – воды, изменившие после использования в технологическом процессе свои физико-химические свойства и требующие отведения ввиду несоответствия нормам, предъявляемым к их качеству.

Стабилизированный активный ил – ил, прошедший стадию биохимического расщепления органического вещества и в результате потерявший способность к загниванию ввиду снижения численности бактерий в его составе.

Флокуляция – образование рыхлых хлопьевидных агрегатов (флокул) из мелких частиц дисперсной фазы.

Химическое потребление кислорода (ХПК) – величина, определяющая концентрацию органики в сточных водах. Оно выражается в объёме кислорода, которое необходимо израсходовать на окислительные процессы органических частиц в литре воды.

Эрлифт – струйный насос, состоящий из вертикальной трубы, в нижнюю часть которой подаётся газ под давлением. За счёт образования пены из мелких пузырьков и жидкости производится подъём воды наверх.

1 Обзор методов утилизации и переработки активного ила в отечественной и мировой практиках

1.1 Способы использования активного ила за рубежом

Активный ил, как и другие отходы промышленных предприятий крупных городов и населенных пунктов, несет за собой немало проблем, связанных с утилизацией [3]. С ростом крупных городов, наращиванием промышленного производства повышаются и объемы, и токсичность образующихся иловых осадков [42].

Существует ряд способов утилизации активного ила: сбрасывание в водоемы (моря и океаны), сжигание, захоронение в почве, обезвреживание, применение в качестве органоминеральных удобрений и дополнительного материала в приготовлении разного рода компостов.

В Японии уже в начале 1980-х годов «в эксплуатации находилось около 500 установок конечной переработки» [14]. Ежегодно перерабатывалось примерно 65×10^3 м³ сточных вод, вследствие чего объем ила на выходе составлял около 24×10^3 м³. Полученный конечный продукт на 80% состоит из обезвоженного брикета, на 11% из пепла, полученного в процессе сжигания после прохождения стадии обезвоживания, и на 9% из прочих отходов (сухой или агрегированный ил). Большую часть указанных отходов (42%) вывозят на захоронение либо сбрасывают в море (36%). Оставшиеся отходы (около 15% от общего объема) эффективно используют. Из них 93% применяют для улучшения лугопастбищных и сельскохозяйственных земель. Основной уклон делается на использование иловых отходов в качестве удобрений [14].

Существуют методы утилизации активного ила с помощью их размещения в воздухе. Однако в воздушной среде возможно размещение лишь той воды, которая содержится в иловых осадках, а также органических веществ, преобразованных в углекислый газ и азотистые соединения. Остальная часть (при сжигании – зола) чаще всего остается в почве. Поэтому почва является той средой, которая наиболее широко используется для

размещения больших объемов активного ила с целью накопления в определенных местах.

Компостирование осадков сточных вод в странах зарубежья считается важной составляющей технологии повторного использования отходов. Благодаря этому решаются следующие задачи: во-первых, утилизируются отходы, способные создать опасность загрязнения окружающей природной среды, во-вторых, расширяется производство органоминеральных удобрений, необходимость применения которых необычайно велика [50].

Наиболее эффективно данный метод переработки отходов используется в густонаселенных развитых государствах, поскольку в них приоритетны задачи охраны окружающей среды, а также наблюдается нехватка природных ресурсов. К примеру, в Нидерландах методом компостирования перерабатывается 30-40% всех бытовых отходов, в Австрии и Бельгии примерно 25%, во Франции 8%.

Тематические исследования выявили, что добавление илового осадка при приготовлении компостов способствует разложению целлюлозосоставляющих компонентов отходов, в частности позволяет перерабатывать бумажный мусор. Например, ряд компостирующих заводов США успешно практикует добавление осадка активного ила в отходы, содержащие до 90% бумаги. В ФРГ с этой целью применяют полужидкий иловый осадок с влажностью 92-96%, массовая доля которого в составе компоста составляет 10-20%, и частично обезвоженный осадок влажностью 50-75% (доля его в массе - 14-34%) [14].

Успешно применяется и традиционный метод полевого компостирования отходов в штабелях на открытой территории. Этот способ отличается простотой в техническом плане, не слишком затратен, дает высокий обеззараживающий эффект. Благодаря применению данного метода из бытового мусора и осадка сточных вод изготавливают компост с высокой агрохимической ценностью [55].

Различают две вариации способа полевого компостирования: с применением динамичных (с ворошением отходов) и статичных (без ворошения) штабелей; процесс проходит с соблюдением условий принудительной аэрации (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 - Промышленный компост с принудительной аэрацией

Благодаря аэрированию, которое улучшает условия жизнедеятельности микроорганизмов, скорость процесса биокomпостирования отходов значительно увеличивается [57].

Методика полевого компостирования применяется в переработке бытового мусора, смешанного с иловым осадком, на многих промышленных предприятиях. Например, в США из имеющихся 200 предприятий, занимающихся компостированием, на 180 отходы перерабатывают способом полевого компостирования.

В Польше ежегодно при помощи метода полевого компостирования «получают около 4000 т компостов» [14]. При этом отходы «укладывают штабелями в три ряда (ширина каждого ряда около 2 м) с расстоянием между ними в 2,5 м» [14]. После этого добавляют активный ил, с использованием бульдозера с обеих сторон выравнивают мусор и создают штабель высотой в 1,5 м. В один штабель входит порядка 700 м³ отходов. В среднем, каждый год

в штабели закладывается 16 тыс. м³ отходов. Ил «вносят в количестве 3 м³ на 5 м³ отбросов» [14]. Исходная влажность осадка составляет 60-65%, что является «оптимальным для процесса ферментации и получения готового компоста с влажностью не менее 30%» [14].

Рассмотрим принципы работы крупнейшего в Европе мусороперерабатывающего завода г. Фленсбург (ФРГ), практикующего компостирование бытовых отходов и осадка сточных вод. Завод отличается высокой производительностью - 400 т компоста в день. Предприятие способно перерабатывать отходы города с населением в 350 тысяч человек. В начале технологического процесса мусор подается в загрузочную воронку мусородробилки молоткового типа. Проходя через нее, масса измельчается на куски размером примерно 200 мм в поперечнике, а после этого поступает на магнитный сепаратор. Металл, который отделяется при этом процессе, прессуют в брикеты (вес одного брикета до 40 кг), а затем используют как вторичный материал. Из магнитного сепаратора измельченная масса проходит в загрузочные барабаны двух компостерных барабанов, имеющих длину 40 м, диаметр 3,75 м, емкость 200 т. Вместе с ней в барабаны добавляется осадок сточных вод. Процесс компостирования продолжается 24 часа при постоянном вращении барабанов со скоростью 1,25 оборотов в минуту. В результате саморазогрева отходов температура внутри барабанов возрастает до 60°C, что способствует гибели болезнетворных микроорганизмов, яиц гельминтов и семян сорных трав. Необходимым условием биометрического процесса в аэробных условиях является непрерывное поступление свежего воздуха. Отсасываемый из барабанов воздух очищается с помощью земляного фильтра. В завершении барабана расположены два грохота с ячейками разных размеров для отделения некомпостируемых примесей, которые могут составлять до 20-30% от массы мусора. После этого компост измельчают и погружают на специальную площадку для дозревания, на которой он минерализуется, в среднем, 90 дней.

Рассматриваемое предприятие перерабатывает все отходы и отстой сточных вод г. Фленсбург, который до этого сбрасывали в Балтийское море. По своему составу и количеству питательных веществ получаемое компостное удобрение схоже с навозом, а по количеству извести даже превосходит его [50].

В Италии (Болонье, Ферраре, Мадене, Барии и других городах) расположены центры, практикующие сбор отходов и изготовление компостов на их основе. Посредством специализированного оборудования проводится просеивание отходов, перемешивание и перенос их в штабеля. Процесс биокомпостирования продолжается от 6 до 12 месяцев. Кроме городского мусора, в компост добавляются отходы мясной и рыбной промышленности, масличного и винного производства, осадок сточных вод, опилки, древесная кора. Вследствие этого содержание азота в готовых компостах возрастает до 4%, фосфора - до 3%, калия - до 2%. В процессе компостирования отходов в штабелях присоединяют бактерии в расчете 700 тысяч живых клеток на 1 г компостируемого материала. Среди них 10-20% составляют актиномицеты и стрептомицеты [14].

Исследования показывают, что производство высококачественных органоминеральных удобрений в Чехословакии удовлетворяет лишь 70% потребности почв. Ввиду этого, применение всех возможных вспомогательных источников органических веществ является необходимым требованием нашего времени [52].

1.2 Методы применения активного ила в Российской Федерации

В России ежегодно образуется около 2 млн. тонн осадков по сухому весу (следует учитывать, что при первоначальной влажности в 98% масса осадков составляет около 100 млн. тонн). Согласно официальным данным, к примеру, в Московской области накоплено 120 млн. тонн неутилизированных осадков сточных вод. Ежегодно этот показатель увеличивается на 14-20 млн. тонн.

Большая часть осадков складывается на иловых площадках и отвалах, создавая проблемы в системе очистки стоков. Условия их хранения зачастую приводят к загрязнению подземных и поверхностных вод, почв, растительности. Поступающая в подземные и грунтовые воды вытяжка из осадков сточных вод дает им цветность, привкус и запах, что крайне негативно сказывается на качестве таких вод. Проблема с каждым годом обостряется и требует немедленного решения. В России осадки часто хранятся на территориях очистных сооружений, превращая их в источники бактериологического и токсикологического риска. Степень применения отходов в сельском хозяйстве пока невелика. В качестве удобрения в почвы вносится лишь 6% осадка сточных вод с очистных сооружений городов. Лидирующая доля стоков после удаления лишней влаги вывозится на захоронение. При этом безвозвратно пропадают содержащиеся в них полезные природные компоненты [51].

Ввиду этого в последние годы в России ведутся многочисленные исследования по возможностям применения активного ила предприятий. Рассмотрим некоторые из них.

1.2.1 Активный ил как органическое удобрение

Активный ил является продуктом распада органических соединений, поэтому его можно использовать для удобрения почвы. Он содержит большое количество необходимых для роста растений питательных элементов [15].

Использование активного ила оказывает положительное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур. Например, увеличение собранного урожая пропашных зерновых культур в микрополевым опыте от активного ила в дозировке 30 т/га сухого вещества составило 20-25%. В полевым опыте сбор сена викоовсяной смеси от внесения 10 и 30 т/га удобрения на основе осадков сточных вод повысился соответственно на 6,6 и 19,7% [50].

Однако перед использованием ил необходимо обработать, чтобы исключить возможность размножения патогенной микрофлоры. С этой целью чаще всего применяют термическое воздействие. Более простым способом является просушка на открытом воздухе. Высохший активный ил напоминает гранулированную смесь, которую удобно хранить и смешивать с почвой.

Для того, чтобы отработанный активный ил можно было использовать в качестве удобрения для овощных и плодовых культур, нужно исключить попадание в продукт солей тяжелых металлов и других химических элементов, имеющих неорганическую природу. Такие вещества не являются питательной средой для микроорганизмов и останутся в неизменном виде, что чревато попаданием в плодовые культуры [15].

Ввиду питательной ценности активного ила, его положительного влияния на свойства почв, урожайность и качественный состав выращиваемых культур, многие российские исследователи всё глубже рассматривают возможности применения ила в выращивании сельскохозяйственных культур [50].

Рассмотрим несколько примеров использования активного ила на разных видах почв.

1.2.1.1 Применение на отвалах каменного угля

Исследователи проводили оценку эффективности использования активного ила на кислых отвалах добычи каменного угля. Применялась известь (4,5 т/га) и вносились минеральные удобрения, после чего происходил посев клевера красного, овсяницы тростниковой, ежи сборной и лядвенца рогатого. Рассматривали продуктивность разового внесения активного ила по 0,15, 31 и 64 т/га сухого вещества, проводили наблюдения за ростом растений и изменением биофизических свойств почвы на отвале. С внесением активного ила надземная биомасса трав увеличивалась, хотя доля бобовых составляющих в травостое снижалась из-за большого количества поступившего с осадком азота. При внесении высоких норм активного ила в

почве происходило увеличение содержания органического вещества с 1,5 до 2,2%, а также количества подвижных форм Си в 4,6, Zn в 5,1, Fe в 1,4, и РЬ в 1,3 раза, а вот показатели рН остались на прежнем уровне. Изучение нейтральной неразрушенной почвы с естественной травянистой растительностью близ отвалов показало, что при внесении осадка продуктивность посевов увеличивалась в 1,5 - 2,8 раза, как и содержание в почве Fe, Cu, Zn, Cd, но в меньшей мере, чем на кислом отвале, а показатели рН изменились незначительно [14].

1.2.1.2 Опыты на иловатой среднесуглинистой почве с кукурузой

Несколько ученых провели изучение действия активного ила на иловатой среднесуглинистой почве с кукурузой с целью определения воздействия осадка на урожай кукурузы, а также содержание питательных веществ в почве и грунтовых водах. Каждый год в почву вносилось по 6,6 и 13,2 т/га активного ила в пересчете на сухое вещество. С 6,6 т/га ила поступало азота 200 и фосфора 450 кг/га. Спустя 12 лет использования по 6,6 и 13,2 т/га в почвах содержалось соответственно 455 и 666 кг/га фосфора. Ученые не отметили неблагоприятного влияния на рост кукурузы, повышенного содержания свинца в почве и баланса питательных веществ в растении. Были сделаны выводы о необходимости дальнейшего использования органоминерального удобрения в нормах, не превышающих потребности кукурузы в азотных удобрениях. Некоторые авторы рассмотрели вероятность восполнения запаса микроэлементов посредством применения органоминеральных удобрений на легкой почве с рН=7,8 в полевом опыте по следующей схеме: контрольная проба (органические удобрения отсутствуют), добавление при постановке опыта по 10 т/га навоза либо осадка сточных вод. Органические удобрения вносились в весенний период с дальнейшей закладкой на глубину 25 см, а минеральные - на всех вариантах в дозировке: азот - 56 кг/га, фосфор - 8 кг/га действующего вещества. В качестве опытной культуры использовалось сорго. Согласно результатам исследования, в

первый год добавления органических удобрений урожайность зерна составила на контроле 3,1 ц/га, при добавлении навоза - 16,7 ц/га, осадка - 33,4 ц/га. Содержание доступного железа в почве на контроле в начале и конце опыта оставалась ниже предельно допустимой. Благодаря использованию органических удобрений в почве повысилось содержание доступного фосфора, меди и марганца, что оказало положительное влияние на урожайность культуры сорго [14].

1.2.1.3 Применение в условиях радиоактивного загрязнения

Применение активного ила в качестве удобрения сельскохозяйственных культур в условиях радиоактивного загрязнения территории способствует решению сразу нескольких эколого-агрохимических проблем:

- утилизация активного ила;
- увеличение устойчивости культур и повышение плодородия почв;
- снижение содержания радиоцезия в продуктах растениеводства.

При применении активного ила необходимо строго соблюдать принцип: соответствие активного ила СанПиН 2.1.7.573-96 «Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения»; ГОСТ Р17.4.3.07-2001 «Охрана природы (ССОП). Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений» (редакция от 1.08.2008г.) и Типовому технологическому регламенту использования осадков сточных вод в качестве органического удобрения.

Для примера можно рассмотреть исследование, проведенное в г. Калуга. В результате наблюдений было установлено, что внесение активного ила для удобрения ячменя увеличивает вегетационный период культуры на 2-3 дня по сравнению с контролем. Кроме того, применение активного ила способствовало накоплению полезной влаги в почве, что обеспечивало оптимальный рост и развитие культурных растений. Внесение активного ила в дозах 10-30 т/га по сухому веществу для удобрения ячменя на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах повысило урожайность на 13 ц/га по

сравнению с контролем. В результате проделанной работы был сделан вывод, что в условиях Калужской области на радиоактивно загрязненных почвах рекомендуется применять активный ил для удобрения ячменя в дозе 10-30 т/га в переводе на сухое вещество, так как это приводит к повышению урожайности данной культуры в среднем на 4-13 ц/га и уменьшению содержания радиоцезия в 2-3 раза [14].

1.2.2 Использование активного ила в производстве и строительстве

1.2.2.1 Производство пластмассовых изделий

Главным сырьевым материалом в производстве многих пластмасс являются феноло-формальдегидные смолы. В одних случаях используется дорогое и дефицитное сырье на основе пищевых продуктов. В других – пластмассовые изделия изготавливаются из белковых веществ животного происхождения (молочный казеин, альбумин крови и т. д.). Исследования выявили, что в качестве недорогого сырья для производства пластмасс на основе белковых веществ может применяться избыточный активный ил.

Азот является главной составляющей белковых веществ (протеинов). В процессе производства азот проходит длинный путь изменений и реакций.

Активный ил содержит большое количество общего азота, входящего в состав белка. В органической части активного ила содержится порядка 62% белка. Белок из активного ила выделялся посредством обработки ила слабым щелочным раствором с дальнейшей нейтрализацией белкового раствора. Полученный благодаря этому процессу препарат содержит приблизительно 13% общего азота и большое количество фосфора.

По инициативе С. Н. Строганова в 1939 г. были проведены опыты по применению в производстве пластмассовых изделий активного ила в качестве содержащего белок сырья. Из активного ила извлекалось 10-20% бактериального белка, отличающегося своеобразием в сравнении с обычными растительными белками и казеином [28].

После прохождения стадий обезвоживания и термосушки активный ил с влажностью 10% подвергается перемалыванию, а затем транспортируется на завод пластмассовых изделий.

Пробные пластмассовые изделия на основе активного ила были изготовлены заводом «Моспластмасс». Ассортимент изделий был ограничен предметами, не имеющими соприкосновения с водой.

Экономическая выгода применения активного ила в качестве сырья для изготовления пластмассовых изделий очевидна, поскольку «доходы от термической установки, в случае использования сухого активного ила в качестве белкового сырья для пластмассовых изделий, покрывают расходы на строительство цеха термической сушки в течение одного года эксплуатации установки» [28]. Одни московские станции аэрации при термической сушке активного ила как материала для производства пластмасс способны дать до 150 т белкового продукта в день [28].

Нельзя не упомянуть о возможности повышения качества активного ила с помощью экстракции жиров и смол, количество которых может достигать в некоторых илах до 15-20%. Такой подход повысит качество ила как белкового сырья, устранив запах, который имеет сырой активный ил, а также поспособствует продуктивному использованию жиров. В данный момент выдвигаются две противоположные точки зрения в отношении целесообразности применения активного ила в качестве белкового сырья для производства пластмассы.

Одни ученые высказывают мнение, что расширение химической промышленности открывает новые возможности для изготовления более качественного сырья для производства пластмасс, чем белковые материалы. Другие отстаивают мнение, что недостатки белковых пластиков носят временный характер. Постоянное развитие химии может столь сильно улучшить структуру белковых пластмасс, что их применение уже не будет ставиться под сомнение. Одним из таких способов считается соединение протеинов с альдегидами, при этом стоит отметить, что не все протеины

являются нестабильными. К примеру, организмы животных осуществляют перевод белковых веществ из лабильного состояния в стабильное достаточно успешно. В качестве примера можно привести естественные пластические материалы – рога, копыта, когти. Цель химиков состоит в том, чтобы превзойти природные образцы белковых пластиков. Тема применения активного ила в качестве сырья для белковых пластмасс заслуживает самых широких исследований [28].

1.2.2.2 Производство строительных материалов

Активный ил в качестве наполнителя для строительных материалов рассматривается уже давно. Это один из самых эффективных способов утилизации отходов подобного рода. Многие производители интересуются возможностью применения активного ила, и у него, несомненно, большое будущее [17].

Соли тяжелых металлов и вредных химических соединений, попавшие в активный ил, представляют большую опасность для окружающей среды. С целью утилизации такого рода отходов специалисты разработали следующую схему.

Содержимое отстойника септика предлагается использовать в качестве одного из компонентов при изготовлении бетонной смеси [15]. В состав добавляется известь (в количестве 0,1-0,25% от массы бетонной смеси), которая препятствует ухудшению прочности бетона. Затем смесь подвергают тепловлажностной обработке (ТВО) при температуре 80-95°C. Высокая щелочность смеси (рН 11-12 и более), создаваемая цементом, а также повышенная температура при тепловлажностной обработке способствуют надежному обеззараживанию и полной стабилизации активного ила [40].

Так сводится на нет возможность загрязнения окружающей среды и попадание токсичных веществ в организм человека. Этот способ выгоден и с экономической точки зрения [15]. Как объясняется в источнике, «введение активного ила в состав бетонной смеси позволяет исключить затраты на

водоотделение и обеззараживание, на нейтрализацию тяжелых металлов, транспорт или энергозатраты в случаях использования активного ила в качестве удобрения или при его сжигании, а также заменить техническую воду в бетонной смеси» [40].

1.2.3 Использование активного ила в качестве биофлокулянта

В научной работе Тимаковой Д.Н. и Ксенофонтова Б.С. [47] рассматривается возможность использования активного ила в качестве биофлокулянта. Авторы отмечают, что использование активного ила для флокуляции чаще всего способствует снижению концентрации взвешенных веществ в сточных водах на 60–70% и биологическое потребление кислорода на 15–25%.

Экспериментальная часть исследования проводилась для выявления наиболее подходящих доз активного ила и флокулянта FLOPAM FO 4550 SH при его совместном применении с активным илом для модельного стока.

Дозировка флокулянта определялась для каждой конкретной воды в ходе опытов, посредством пробной обработки этой воды различными дозами. Благодаря такому исследованию была определена оптимальная доза флокулянта, то есть наименьшая доза реагентов, при использовании которой бывает достигнут наилучший результат.

Таким образом, были поставлены опыты по применению активного ила и по совместному использованию флокулянта и активного ила для увеличения интенсивности процесса очистки. В результате проделанной работы исследователями были получены следующие результаты:

- зарегистрирована оптимальная доза активного ила для модельного стока (50 мл активного ила на 150 мл стоков);
- определена оптимальная доза синтетического флокулянта при совместном применении с активным илом (2,5 мл 0,1% масс. на 150 мл стоков);

- выявлены пути активизации осветления сточных вод с внесением активного ила.

Использование активного ила позволяет не только его частично утилизировать, но и сократить расход синтетического флокулянта, который применяется для очистки сточных вод.

Разработчики определили, что примерная дозировка, определенная на пробных опытах, нуждается в корректировке, поскольку дозировка реагента в лабораторных условиях может иметь некоторые отличия от дозы реагента для реальных промышленных процессов.

Итак, избыточный активный ил, содержащий клетки микроорганизмов и продукты их метаболизма, можно продуктивно использовать в качестве биофлокулянта [47].

1.2.4 Активный ил – альтернативное топливо

По своему химическому составу активный ил напоминает такие энергоносители, как нефть и уголь. Поэтому он вполне может применяться как альтернативный источник энергии. К тому же сухой ил легко хранить, он не утрачивает при этом горючих свойств. Специалисты ломают голову над поиском источника энергии, однако уже сейчас возможно наладить его производство для удовлетворения нужд человека [15]. Разумеется, бытовые септики не позволят получить большие объемы активного ила, но если говорить о промышленных масштабах, то применение таких органических отходов может стать весьма прибыльным делом [17].

Сотрудники Сибирского Федерального университета и Института биофизики РАН пришли к выводу, что «из ила можно создавать не только высококачественные удобрения для сельскохозяйственных нужд, но и топливо» [49]. Отходы очистных сооружений богаты органикой и их можно эффективно применять в качестве сырья для производства биодизеля, по показателям качества не уступающего обычному дизельному топливу. Полученное при этом вещество не токсично и легко разлагается.

Как писала газета «Энергетика и промышленность России», «первые 15 миллилитров нового вида биотоплива были получены в лабораторных условиях» [49]. В качестве сырья «ученые использовали осадок со дна небольшого красноярского озера Бугач (площадь 0,32 квадратного километра, средняя глубина – 2 метра)» [49].

Предварительные исследования привели к выводу, что новый биодизель соответствует европейским стандартам по следующим показателям: температура горения, устойчивость к окислению, количество калорий, выделяющихся при полном сгорании одного грамма данного вещества.

В ходе исследования разработчики выяснили, что благодаря имеющимся в составе жирным кислотам новый биодизель имеет достаточно хорошие свойства. Количественный состав жиров, из которых он производится, достигает 14,5%, что определяет его как достаточно мощный источник.

В данный момент для производства биодизеля применяют в основном растительное сырье – рапс, сою и водоросли. При этом до 75% стоимости этого топлива составляют затраты на выращивание, уборку и обработку сырья.

Уникальный проект получил поддержку Программы фундаментальных исследований президиума РАН.

Наряду с этим исследованием ООО «Восточно-украинская экологическая компания» (Стаханов Луганской области) запустило электростанцию мощностью 1 МВт на биомазуте, изготовленном на основе ила очистных сооружений городов Стаханов и Кременная.

В газете сообщалось, что «компания перерабатывает ил по технологии турбулентно-кавитационного равновесного гидрирования и дегидрирования (гидрогенизации) с получением на выходе биомазута» [49].

В будущем это альтернативное топливо жидкой консистенции можно напрямую сжигать, ферментировать с получением биогаза, направлять на пиролиз или газификацию.

Это первый реализованный проект подобного рода в Украине. До этого биоэнергетика страны была представлена биогазовыми станциями и

установками по сжиганию твердого биотоплива (дров, соломы, шелухи подсолнуха, древесных и соломенных пеллет, брикетов) [49].

В статье «Энергоресурсосберегающая технология вторичного использования отходов теплоэнергетического комплекса» авторами предлагается использовать перспективный метод применения активного ила и шлама водоподготовки тепловых электрических станций в качестве дополнительного топлива на станциях. Серия экспериментов по определению теплоты сгорания смешанного осадка выявила возможность совместного сжигания избыточного активного ила и шлама ТЭС.

Исследования показали, что «при сжигании смеси шлама и активного ила происходит увеличение расхода уходящих газов, поступающих в котел-утилизатор, что приводит к повышению прироста тепла в цикле на 2930 кВт» [26]. При этом увеличение полезного отпуска тепла тепловому потребителю с сетевой водой составит 8334 МДж/ч, что свидетельствует о возможности увеличения температуры сетевой воды, отпускаемой тепловому потребителю или повышение расхода сетевой воды при той же температуре.

После завершения процедуры сжигания совместного осадка ила и шлама была получена зола, которую разработчики предлагают применять для загрузки адсорбера периодического действия с целью очистки уходящих газов [26].

1.3 Известные аналоги и прототипы, применяемые для очистки сточных вод и получения активного ила

В мире пока не найдено оптимального решения по использованию иловых осадков сточных вод. Существующие методы сжигания, захоронения и другие нерациональны. Осадки, которые подвергаются предварительному обезвоживанию и метановому сбраживанию, являясь пригодными для использования под сельскохозяйственные культуры, в недостаточной степени соответствуют требованиям, предъявляемым к почвогрунтам. Почвогрунты используются в городском хозяйстве по следующим показателям:

органолептические свойства, вязкость, сыпучесть (или ее отсутствие), микробиологическая загрязненность. В связи с этим самым оптимальным методом, помогающим иловому осадку достичь необходимых свойств, является компостирование [21].

Компостирование повышает скорость естественных процессов разложения и способствует возврату органических материалов в почву. При помощи компостирования такие органические отходы как деревянные обрезки, опилки, опавшие листья, многие виды кухонных отходов вместе с активным илом промышленного предприятия преобразуются в темно-коричневую сыпучую смесь, применяемую для качественного улучшения почвы и для снижения необходимости в удобрениях и воде [18].

Рассмотрим известные аналоги, применяемые для очистки сточных вод и переработки активного ила на промышленных предприятиях.

Песколовка. Согласно Википедии, песколовка – это «сооружение для механической очистки сточных вод, служит для выделения мелких тяжёлых минеральных частиц (песок, шлак, бой стекла т. п.) путём осаждения» [33].

На рисунке 1.2 показана схема строения и принцип работы песколовки.

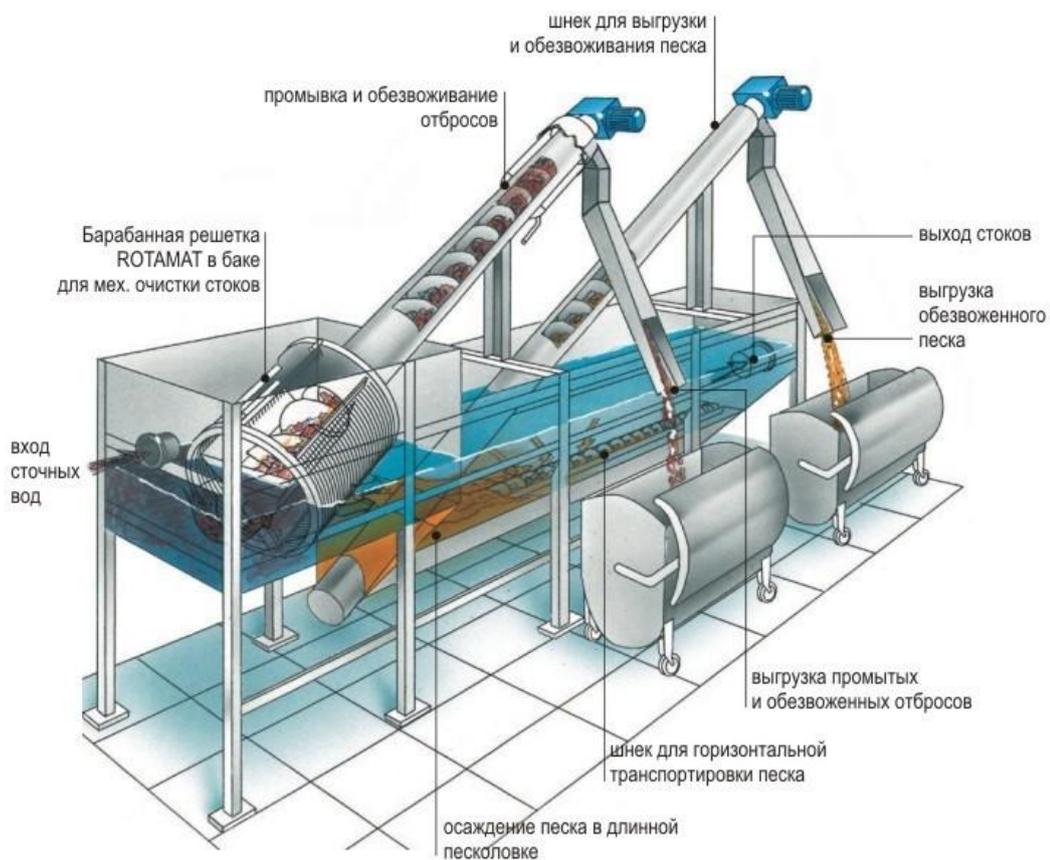


Рисунок 1.2 – Схема строения песколовки

Принцип работы песколовки состоит в том, что под влиянием силы тяжести частицы, чей удельный вес больше веса воды, по мере их движения вместе со сточными водами выпадают в виде осадка.

Чаще всего песколовки рассчитаны на задержание частиц размером от 0,25 миллиметра. Как показывает практика, при горизонтальном движении водных масс в песколовке скорость будет находиться в диапазоне от 0,15 до 0,3 метра в секунду. Если увеличить скорость, песок не будет успевать выпадать в осадок, а если уменьшить, то в песколовке вместе с минеральными примесями будут оставаться и органические включения [53].

Песколовки лишь подготавливают сточную жидкость к дальнейшей очистке [33].

Метантенки – это «сооружения для анаэробной стабилизации осадков сточных вод, применяются на городских, промышленных и локальных

очистных сооружениях» [25]. Чаще всего в метантенках сбраживается осадок первичных отстойников или активный ил, или их смесь. Положительным эффектом строительства подобных сооружений является получение метаносодержащего газа, который можно использовать для отопления помещений очистных сооружений, а также в качестве топлива для газобаллонных машин [25].

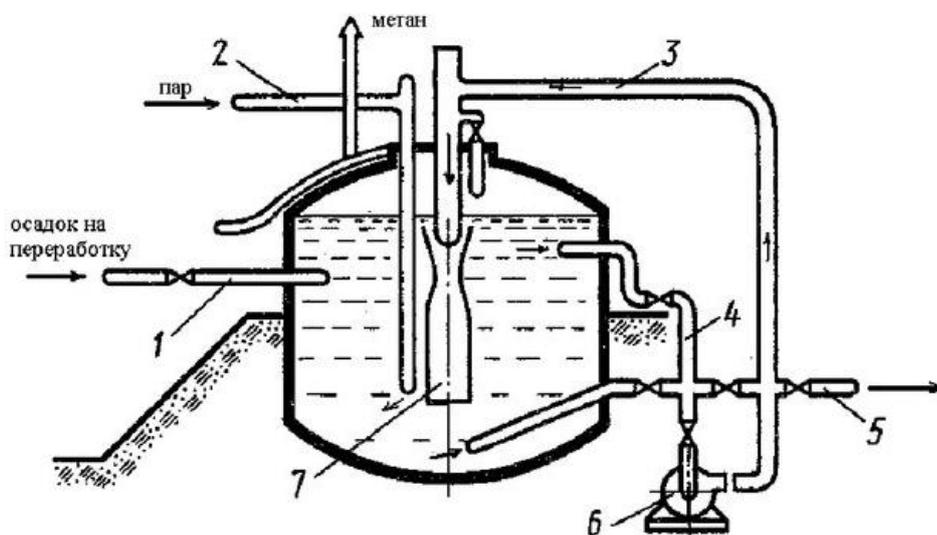
Например, на очистной станции Вайнхайм, в Германии, вырабатывается приблизительно 2 400 000 м³ сточных вод в год [59]. Энергетическая эффективность очистной станции столь велика, что покрывает не только собственную потребность предприятия в электроэнергии, но и позволяет использовать вырабатываемое в процессе тепло для отопления зданий и метантенков (рисунок 1.3), в которых для активизации процессов брожения необходимо поддерживать температуру 37°C; кроме того, в местную электросеть поставляется до 1800 МВт в год [32].



Рисунок 1.3 - Метантенки очистной станции Вайнхайм (Германия)

Принцип работы метантенка состоит в следующем:

- по трубе 1 в сооружение поступает осадок и активный ил;
- с целью увеличения скорости процесса брожения температуру метантенка повышают, а его содержимое перемешивают насосом 6 и гидроэлеватором 7;
- повышение температуры метантенка происходит с помощью водяного или парового радиатора (подача пара 2);
- в анаэробных условиях из органических веществ (жиров, белков и др.) образуются жирные кислоты; при дальнейшем брожении из них получают метан и углекислый газ;
- по трубе 5 удаляется сброженный ил высокой влажности и направляется на сушку (на иловые карты);
- образовавшийся газ отводится через трубы в кровле метантенка (рисунок 1.4).



1 – приемная труба, 2 – подача пара, 3 – трубопровод циркулирующего осадка, 4 – выпуск иловой воды, 5 – выпуск сброженного осадка, 6 – насос для циркуляции и перемешивания осадка, 7 - гидроэлеватор

Рисунок 1.4 – Схема устройства метантенка

Из одного кубометра илового осадка в метантенке получается 12–16 кубических метров газа, большую часть которого (70%) составляет метан [24]. Недостатком метантенка является то, что для сбраживания отходов необходимо достаточно длительное время [32].

Сушильные установки. Любая сушильная установка состоит из сушильного аппарата и вспомогательного оборудования – топки с системой топливоподачи, питателя, циклона, скруббера, тягодутьевых устройств, конвейеров и бункеров, контрольно-измерительных приборов и автоматики. Термосушка жидких осадков предусматривает большой расход теплоты на испарение влаги. Метод может быть экономически целесообразен для сушки относительно небольших объемов осадков (рисунок 1.5) [46].



Рисунок 1.5 – Барабанная сушилка

Аэротенки – резервуары прямоугольного сечения, по которым протекает смесь сточной воды с активным илом и осуществляется биохимическая очистка сточных вод. Воздух, который вводится с помощью пневматических или механических аэраторов – аэрационной системы, «перемешивает обрабатываемую сточную воду с активным илом и насыщает её кислородом, необходимым для жизнедеятельности бактерий» [1].

На рисунке 1.6 с левой стороны показана аэрационная система из мелкопузырчатых трубчатых аэраторов, уложенных в поперечном направлении, справа – действующая аэрируемая секция.



Рисунок 1.6 – Аэротенк

Аэротенк активно применяется в процессе подготовки активного ила цеха №39 ПАО «КуйбышевАзот» к следующей стадии – обезвоживанию осадка. Более подробно строение и принцип работы аэротенка описывается в пункте 3.3.1.

Иловые площадки – это участки земли, специально спланированные в виде нескольких площадок (карт) (рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 – Иловые карты

Каждая площадка огорожена земляным валиком. На площадке организована система подающих труб, через которые периодически равномерно по площади подается сырой осадок или активный ил. Он сушится до влажности около 75-80%. После чего «сухой осадок» погружают на автотранспорт или вагонетку и вывозят на полигоны или на дальнейшую переработку. К отрицательным факторам иловых площадок можно отнести крайне невысокий эффект обезвоживания. Особенно ярко это проявляется в районах с большим количеством выпадаемых осадков. На заполненных картах подсушивание иловой смеси до 80% может продолжаться 3-10 лет, в зависимости от конкретных климатических и гидрогеологических условий, технических решений по отводу надильных и дренажных вод. Сегодня проблема обезвоживания осадка в естественных условиях решается за счет отведения под иловые площадки дополнительных территорий. В настоящее время остро стоит проблема улучшения их конструкций в сторону интенсификации обезвоживания (к примеру, с помощью вертикальных фильтрующих устройств) [12]. Подробнее о строении и принципах эксплуатации иловых площадок можно узнать из пункта 3.3.2.

Подводя итоги изучения методов использования иловых осадков в нашей стране, можно сделать следующие выводы:

- в России большая часть отходов вывозится на захоронение; при этом безвозвратно теряются содержащиеся в них полезные природные компоненты, а также используются дополнительные площади, что оказывает неблагоприятное воздействие на окружающую среду;

- с каждым годом в России растет число исследований и разработок по применению активного ила в строительстве, биоэнергетике и сельском хозяйстве;

- одним из наиболее перспективных методов использования активного ила остается изготовление на его основе органического удобрения.

2 Анализ проблемы применения активного ила в виде сырья для производства удобрений на ПАО «КуйбышевАзот»

Научно-технический прогресс создал человеку не только различные материальные блага, но и мощные экологические проблемы. Одной из таких проблем является утилизация отходов промышленного производства.

Образующиеся в процессе очистки сточных вод осадки характеризуются высоким содержанием ценных органических веществ. В то же время в них могут содержаться бактериальные загрязнители – патогенные, термотолерантные микроорганизмы, простейшие, микробы и вирусы. Имеет место содержание в осадках и тяжелых металлов.

Создание систем обеззараживания и обезвоживания иловых осадков с целью их дальнейшей утилизации при планировании строительства новых и реконструкции действующих городских очистных сооружений приводит к росту капитальных вложений в 1,8-2,3 раза. Для размещения технического оборудования по переработке иловых осадков производственные площади очистных сооружений увеличиваются в 1,7 раза. Повышаются и «эксплуатационные затраты с учетом транспортных расходов на вывоз предварительно обеззараженных и обезвоженных осадков» [39].

ПАО «КуйбышевАзот» - один из ведущих предприятий химической промышленности России. Данное предприятие осуществляет свою деятельность по двум основным направлениям:

- капролактамы и продукты его переработки (полиамид-6, высокопрочные технические и текстильные нити, кордная ткань, инженерные пластики);
- аммиак и азотные удобрения.

Помимо этого, «КуйбышевАзот» в режиме совместного предприятия производит промышленные газы - азот, кислород, аргон.

2.1 Описание технологического процесса и технологической схемы цеха №39 «Переработка органических и неорганических соединений»

В экологическом плане производство капролактама представляет собой довольно сложный процесс, так как на 1 т конечного продукта образуется 12 м² сточных вод с достаточно сложным химическим составом загрязняющих веществ. В связи с этим требуется предварительная очистка иловых стоков до их последующей переработки. Для этого на ПАО «КуйбышевАзот» был создан цех №39, очистные сооружения которого были введены в эксплуатацию в 1989 году [27].

Сущность биологической очистки сточных вод от азотных загрязнений состоит в биологическом окислении аммонийного азота до нитратного нитрифицирующими бактериями (автотрофами), с присутствием углерода и кислорода, и в последующем «биологическом восстановлении нитратного азота до свободного за счет окисления органического вещества кислородом нитратов денитрифицирующими бактериями (гетеротрофами)» [36]. Содержащие азот органические вещества минерализуются посредством биологических процессов. На установке нитриденитрификации существует четырехступенчатая схема очистки сточных вод:

- I ступень: нитрификация;
- II ступень: денитрификация;
- III ступень: доочистка;
- IV ступень: глубокая доочистка.

Процесс нитрификации являет собой биологическое окисление нитрифицирующими бактериями (рисунок 2.1) азота аммонийного до азота нитратного.

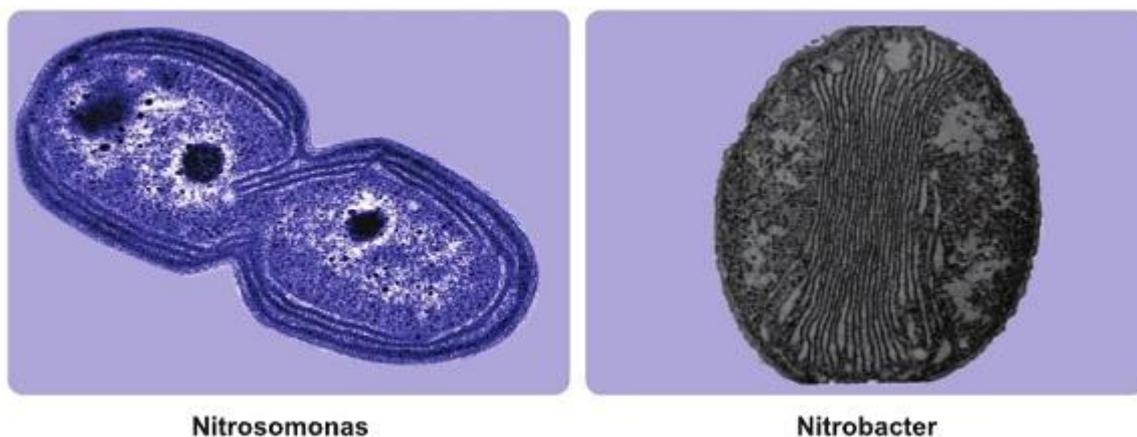
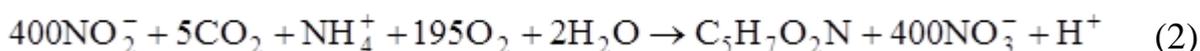
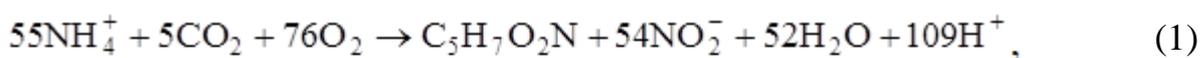


Рисунок 2.1 – Нитрифицирующие бактерии Nitrosomonas и Nitrobacter

Азот, находящийся в составе органических соединений, в первую очередь проходит этап аммонификации. Источником энергии нитрифицирующих бактерий является углерод карбонатов и двуокиси углерода [56]. Потребление кислорода в аэробном процессе аммонификации зависит от природы соединений и степени их окисления.

Процесс нитрификации проходит в две фазы по следующим уравнениям:



Для проведения процесса нитрификации необходима подготовка стоков по следующим показателям: рН, щелочность, содержание фосфора.

Процесс денитрификации заключается в биологическом восстановлении азота нитратного до свободного посредством окисления органического вещества кислородом нитратов.

Общая схема денитрификации:



Денитрифицирующие бактерии – гетеротрофные организмы, которые используют нитраты в качестве акцептора водорода при окислении ими органического вещества. К ним относятся представители более 150 видов из 50 родов, например, *Pseudomonas aeruginosa* (синегнойная палочка) (рисунок 2.2).

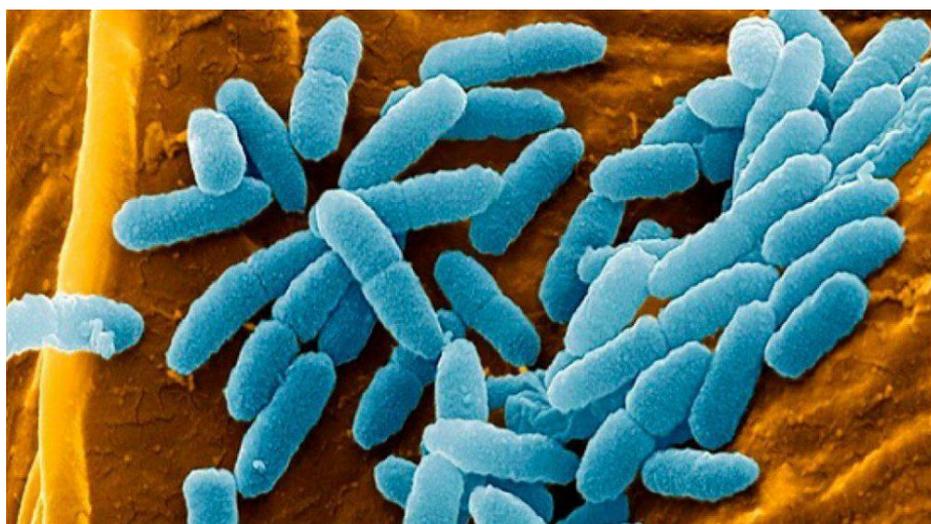


Рисунок 2.2 – Денитрифицирующие бактерии *Pseudomonas aeruginosa*

Одновременно с процессом денитрификации частично проходит процесс нитрификации, а также имеет место косвенная денитрификация, приводящая к восстановлению аммонийных и нитратных соединений до NH_3 и N_2 . Для проведения процесса денитрификации нужно «поддерживать определенное соотношение азота нитратного к содержанию органики (ХПК) и фосфора (Р)» [36]. В процессе денитрификации потребляется аммонийный азот и фосфор в качестве биогенных элементов. В виде дополнительного органического субстрата применяется водно-щелочной сток, содержащий адипаты натрия (12 – 21% по объему).

Этап доочистки включает в себя очистку денитрифицированного стока от избыточной органики.

Этап глубокой очистки денитрифицированного стока необходима для приведения в соответствие с требованиями, предъявляемыми к качеству

повторно используемых сточных вод в системе оборотного водоснабжения предприятия.

Процессы нитриденитрификации проходят с применением активного ила. Активный ил – это «сложная экосистема, в состав которой входит большое количество бактерий в виде хлопьевидных скоплений – зоогелей» [36] (рисунок 2.3).

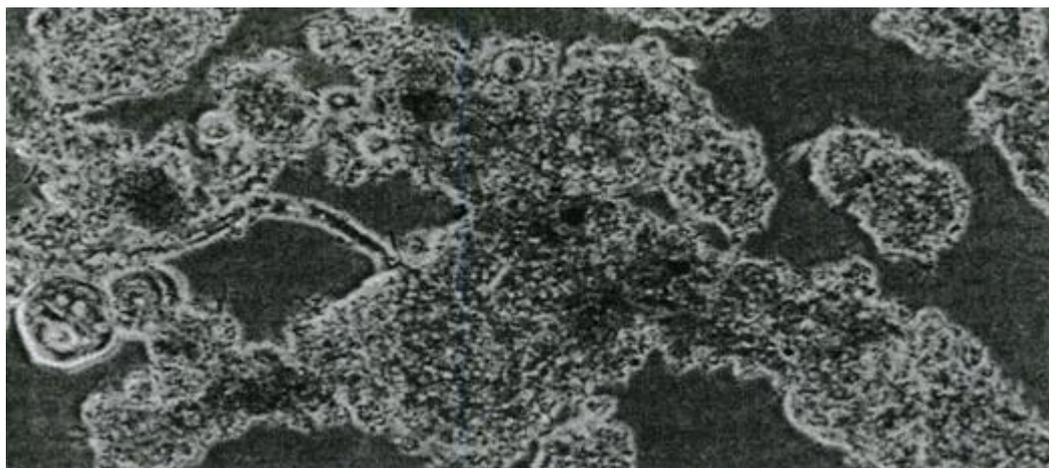


Рисунок 2.3 – Хлопья активного ила под микроскопом

В составе активного ила могут присутствовать:

- простейшие,
- актиномицеты,
- бактерии,
- амёбы,
- нематоды,
- коловратки (рисунок 2.4),
- инфузории (рисунок 2.5) и др.



Рисунок 2.4 – Коловратка рода *Lecane*

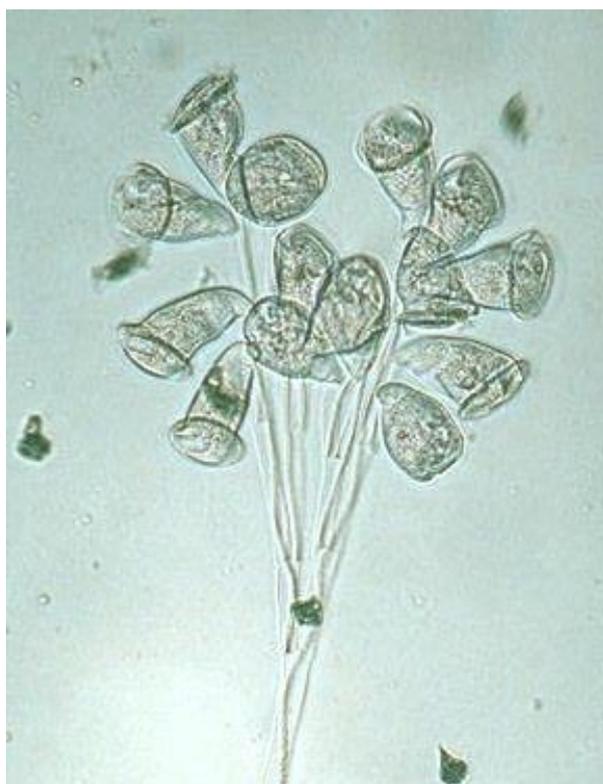


Рисунок 2.5 – Инфузории рода *Vorticella*

Состав активного ила индивидуален для каждого этапа очистки.

Немаловажную роль для оценки функционирования очистных сооружений играет физиологическое состояние микроорганизмов активного ила [58]. В зависимости от состава примесей сточной воды и их концентрации значительно изменяется структура зоогелей ила, а это влияет на качество очистки.

Аммоний-содержащий сток ($N-NH_4$) по трубопроводу направляется в усреднитель корпуса 2021. Усреднитель выполнен по типу многоканального проточного сооружения и состоит из приемной камеры, распределительного лотка, шести каналов различной длины и ширины, аккумулирующей емкости и нижнего канала. В корпусе 2021 обеспечивается усреднение концентраций стока. Сток по трубопроводу первоначально поступает в приемную камеру корпуса 2021 и затем в распределительный лоток. Постоянный уровень стока в приемной камере и распределительном лотке поддерживается регулируемым водосливом позиции 32/1, установленном на переливе в аккумулирующую емкость, окаймляющую усреднитель. Аккумулирующая емкость предусмотрена для накопления залповых расходов стока. Распределение стока из лотка в каналы усреднителя происходит через донные выпуски, снабженные заслонками для регулирования расхода. Каналы усреднителя оборудованы отстойной зоной.

Для промывки каналов усреднителя предусмотрен центральный мостик и проложена подземная сеть технической воды. В колодцах К-15,2 № 2,3 имеются стояки, к которым подключается рукав для подачи воды в каналы.

Из нижнего лотка корпуса 2021 сток поступает в корпус 2022, состоящий из трех контрольных емкостей. Сток через донный щитовой затвор позиции 33/7-9 направляется в одну из контрольных емкостей. Предусмотрена контактная работа камер: одна камера заполняется стоками, в другой стоки проходят подготовку, из третьей подготовленные ранее стоки попадают на очистку.

Подготовка аммонийсодержащих стоков в корпусе 2022 производится по показателям аналитконтроля: корректировка рН, содержание карбонатного

иона (HCO_3^-), содержание фосфора (P) осуществляется введением, соответственно, растворов кальцинированной соды (Na_2CO_3), углекислого газа (CO_2) и ортофосфорной кислоты (H_3PO_4) во всасывающий трубопровод насосов гидроперемешивания позиции Н-Ia/1-2 корпуса 2029. Корректировка показателя рН в корпусе 2022 производится подачей углекислого газа до рН 8-9. Корректировка по содержанию иона (HCO_3^-) производится для поддержания соотношения 100 мг/л (N-NH₄): 14 мг. экв/л (HCO_3^-). Корректировка по содержанию фосфора осуществляется из расчета 1мг/л фосфора на 30 мг/л (N-NH₄). Растворы реагентов готовятся в корпусе 2030. Подготовленный сток через донный щитовой затвор позиции 33/10-12 проходит в нижний канал корпуса 2022, а затем насосами позиции Н-I/1-3 корпуса 2029 подается на нитрификацию в корпус 2025. Управление щитовыми затворами позиции 33/7-12 выведено на местный дистанционный пульт корпуса 2029. При необходимости разбавления стока предусмотрен насос рециркуляции позиции VI/1-3, напорный трубопровод которого врезан в трубопровод аммонийного стока. При выявлении аварийно высоких концентраций загрязнений в контрольных емкостях предусмотрена перекачка стоков в корпус 2032 насосами позиции Н-I/1-3. В последующем некондиционный сток из корпуса 2032-2 перекачивается в приемную камеру корпуса 2021 насосами позиции Н-IV/1-2 с таким расходом, чтобы среднее содержание азота аммонийного (кг в сутки) не превышало более чем на 10% среднее содержание азота аммонийного за последние 2-3 недели.

Нитратсодержащий сток по трубопроводу подается в приемную камеру корпуса 2023. Конструкция, принцип работы корпуса 2023 и корпуса 2024 аналогичны корпусам 2021 и 2022. Подготовка нитрат-содержащего стока в корпусе 2024 осуществляется по показателям аналитического контроля введением водно-щелочного стока (ВЩС) во всасывающий трубопровод и фосфорной кислоты (H_3PO_4) в коллектор нагнетания насосов позиции Па/1-2 в корпусе 2029.

Дозировка водно-щелочного стока осуществляется через ротаметры непосредственно в контрольные емкости корпуса 2024.

Водно-щелочной сток подается с таким расчетом, чтобы выдерживалось соотношение: сумма нитратного и нитритного азота $N(NO_2+NO_3)$ к содержанию органики (ХПК) должно быть в пределах 6–10.

$$N(NO_2+NO_3): \text{ХПК} = 1: (6...10) \quad (4)$$

Данное соотношение должно учитывать азот нитратный и нитритный после вторичных отстойников корпуса 2026. В свою очередь, разбег соотношений от 6 до 10 зависит от концентрации $N(NO_2+NO_3)$. Если $N(NO_2+NO_3)$ меньше 100 мг/л, то соотношение должно быть 10, если больше 1000 мг/л, то оно должно быть равным 6. При промежуточных значениях концентраций азота нитратного и нитритного соотношение должно быть между 6 и 10. Фосфорная кислота подается в корпус 2024 из соотношения: суммы азота нитратного и нитритного к фосфору.

$$N(NO_2+NO_3): P = 1: (0,02...0,05) \quad (5)$$

Подготовленный сток из нижнего канала корпуса 2024 насосами позиции Н-II/1-3 перекачивается в денитрификатор корпуса 2027. При выявлении аварийно высоких концентраций загрязнений нитрат-содержащего стока в контрольных емкостях предусмотрена перекачка некондиционного стока в корпус 2032–1 с последующей подачей в приемную камеру корпуса 2023. Возврат некондиционного стока в приемную камеру корпуса 2023 производится в количестве не более 10% загрязнений по азоту нитратному (кг/в сутки) от нагрузки по загрязнениям за последние 2-3 недели на входе в корпус 2023. Перемешивание стоков в контрольных емкостях производится насосами позиции Н-Ia/1-2 в корпусе 2022 и позиции Н-IIa/1-2 в корпусе 2024, работа которых обеспечивает равномерное распределение вводимых реагентов

и циркуляцию стока. Включение и отключение насосов синхронно с работой контрольных емкостей, регулируется электрозадвижками позиций 34/1-6 и 35/1-6. Предусмотрена промывка и пропарка емкостей, подача пара производится под уровень воды. При подаче пара температура не должна превышать 60°C, с целью сохранения целостности антикоррозионной защиты.

Подготовленный аммонийсодержащий сток из корпуса 2022 направляется в нитрификатор корпуса 2025. Нитрификатор состоит из трех секций, каждая из которых разделена на три коридора. Конструкция нитрификатора предусматривает возможность его работы по нескольким технологическим схемам. В одном случае, I секция нитрификатора работает как II и III секции, аммонийный сток распределяется равномерно по всем секциям. Во втором случае, I секция предназначена для снятия повышенных концентраций органики, поступающей с аммонийсодержащим стоком. При работе по этому варианту подготовленный аммонийсодержащий сток первоначально поступает только в I секцию корпуса 2025, затем, пройдя отстойники корпуса 2026 (I и II), направляется во II и III секции корпуса 2025. Для проведения процесса нитрификации в каждую секцию подается воздух от воздуходувной станции корпуса 2030. По днищу II и III секции проложены фильтросные трубы, на I секции смонтированы воздушные эрлифты. Распределение воздуха производится по воздуховодам, на которых установлены расходомеры. Регулирование расхода воздуха производится ручными задвижками. Фильтросные трубы и воздушные эрлифты обеспечивают насыщение кислородом иловой смеси. В I секции нитрификатора выделен отсек для проведения процесса с использованием технического кислорода.

Иловая смесь нитрифицированного стока поступает из каждой секции в сборный нижний лоток. На выходе из каждой секции в лоток имеется водослив, на котором производится замер расхода иловой смеси. Из нижнего лотка через перепуски с щитовыми регулирующими затворами иловая смесь поступает в верхний распределительный лоток вторичных отстойников

корпуса 2026. В лоток перед отстойниками подается воздух на барботирование. Барботажное устройство изготовлено из труб с отверстиями, в которые подается воздух. Барботажное устройство препятствует залеживанию ила в лотке и улучшает распределение стока по кромке отстойника. В начало каждой секции по трубопроводу подается ил нитрификации, поступающий из отстойников корпуса 2026 через иловую камеру. Расход ила регулируется щитовыми затворами, установленными в отсеках иловой камеры. Возраст ила для процесса нитрификации (20 суток) поддерживается эрлифтами, установленными в конце каждой секции нитрификатора. Избыточная иловая смесь откачивается эрлифтами в отсек избыточного ила иловой камеры. Замер расхода иловой смеси от каждого эрлифта (1/20 объема секции) ведется щелевыми расходомерами на водосливе избыточного ила. Регулирование расхода иловой смеси ведется изменением подачи воздуха на эрлифты.

Из нижнего сборного лотка корпуса 2025 иловая смесь подается во вторичные отстойники корпуса 2026. Для повышения эффекта отстаивания, успокоения и распределения иловой смеси в отстойниках на выходе имеется водослив, «погруженная» перегородка. Вторичные отстойники (в количестве 5) представляют собой резервуары конической формы, состоящие из 2-х бункеров. В отстойниках происходит разделение иловой смеси на очищенную часть стока и ил. Осевший ил удаляется эрлифтами, установленными в каждом бункере. Воздух к эрлифтам подводится от воздуходувок корпуса 2030 по воздуховоду. Регулирование подачи воздуха к эрлифтам производится задвижками по показаниям расходомеров воздуха. На общей линии подачи воздуха на эрлифты отстойников смонтирована задвижка. Это позволяет ремонтировать арматуру отстойников без остановки воздуходувок. Периодически, во избежание залеживания ила в бункерах отстойников, производится барботирование смеси.

Нитрифицированный сток после вторичных отстойников распределяется через впуски-водосливы в каждую секцию денитрификатора корпуса 2027, где происходит его смешивание с нитратосодержащим стоком.

Нитрат-содержащий сток по трубопроводу перекачивается из корпуса 2024 насосами позиции Н-II/1-3 корпуса 2029 и распределяется в начало первого коридора каждой секции денитрификатора корпуса 2027. Соблюдение норм технологического режима в денитрификаторе, предотвращение залеживания и выноса ила на поверхность обеспечивается системой гидроперемешивания и крупнопузырчатой аэрацией. Гидроперемешивание производится денитрифицированным стоком насосами позиции Н-V/1-5. Распределительная система в корпусе 2027 размещена в 2-х уровнях.

Для обеспечения эндогенного дыхания ила при повышенных нагрузках по азоту нитратному, азоту аммонийному и ХПК предусмотрен ряд фильтросных труб. Для ведения крупнопузырчатой и мелкопузырчатой аэрации проведен воздухопровод. Для осуществления регенерации ила и отдувки выделившегося азота, препятствующего осаждению ила в камере аэрации предусмотрены два ряда перфорированных труб и два ряда фильтросов.

В денитрификаторе необходимо поддерживать возраст ила 60 суток. Для этого в конце каждой секции установлен эрлифт для откачки 1/60 объема секции в иловую камеру. Регулирование объема откачиваемой иловой смеси производится изменением расхода воздуха.

Денитрифицированный сток из корпуса 2027 поступает во вторичные отстойники корпуса 2028 (в количестве 4). Устройство и принцип работы отстойников, подача воздуха в бункера аналогичны работе отстойников корпуса 2026.

Избыточный ил из иловой камеры корпуса 2027 по трубопроводу самотеком поступает в резервуар корпуса 2035, далее насосами позиции Н-VIII/1-3 корпуса 2029 откачивается по трубопроводу на участок обработки осадка (корпуса 2052, 2047, 2049, 2050) или в корпуса 2025, 2027.

Денитрифицированный сток по трубопроводу самотеком поступает на стадию доочистки корпуса 2040. Режим работы аэротенка корпуса 2040 и вторичных отстойников корпуса 2041 аналогичен работе корпусов 2025, 2027 и 2026, 2028, за исключением специфики подготовки и распределения стока. Сток, прошедший стадию доочистки, поступает на участок глубокой очистки сточных вод (корпуса 2042, 2043). Для снятия взвешенных веществ в очищенном на вторичных отстойниках стоке (корпус 2041) смонтированы модули из полиэтиленовых трубок. Модули расположены в выходной половине площади каждого отстойника на 50–100 мм ниже водного зеркала на глубине 700 –1100 мм под углом 120°. Частицы активного ила, проходя через модули, накапливаются на наклонных полиэтиленовых трубках, а затем скатываются в отстойную часть отстойника.

Нитрификатор (корпус 2025), денитрификатор (корпус 2027), прямки отстойной зоны каналов усреднителей (корпуса 2021, 2023), аэротенк (корпус 2040) снабжены системой опорожнения и улавливания протечек стока через стенки сооружений. Система опорожнения включает в себя: колодцы с арматурой, трубопровод К-17, резервуар корпуса 2037, насосы позиции Н-III/1-2. При необходимости эта система может обеспечить направление стока на любое из сооружений. Для исключения попадания стоков в грунтовые воды предусмотрена система улавливания протечек через стенки сооружений, которая включает в себя: перфорированные керамические трубы со смотровыми колодцами, расположенными вокруг сооружений корпусов 2025-2026, 2021-2024, 2027-2028 и 2040-2041, связанными с системой опорожнения и камерой 2034. Протечки из корпусов 2021-2024, 2025-2026, 2027-2028, 2040-2041 попадают в пристенный дренаж и по керамическим трубам самотеком сливаются в корпуса 2034 или в 2037. Из корпуса 2034 насосами позиции Н-IX/1-2 протечки откачиваются в корпус 2035, а из корпуса 2037 насосами позиции НIII/1-2 протечки откачиваются на сооружения.

Для проведения процесса нитриденитрификации необходима непрерывная подача воздуха во все сооружения. В корпусе 2030 находится

воздуходувная станция, в которой установлены восемь турбовоздуходувок ТВ-175-1,6 производительностью 10000 м³/час. Сжатый воздух подается под давлением 0,16 Мпа (1,6 кг/см²).

В процессе подготовки стоков необходимо дозировать реагенты в определенных концентрациях. В помещении реагентного хозяйства, расположенного в корпусе 2030, предусмотрено разбавление реагентов: фосфорной кислоты с 73% до 50%, кальцинированной соды с 10% до 6%. Для снижения расхода предусмотрен ввод углекислого газа (СО₂) во всасывающий трубопровод насосов гидроперемешивания позиции Н-Іа/1-2.

Участок глубокой доочистки сточных вод предназначен для возврата глубокоочищенных сточных вод в промышленное водоснабжение и включает в себя четыре двухступенчатых биореактора с иммобилизированной микрофлорой, установку ультрафиолетового обеззараживания сточных вод. Биореактор доочистки представляет собой квадратный (в плане) резервуар, в центре которого расположен эрлифт, направляющий поток воды снизу-вверх под насадку и через насадку вниз. Таким образом осуществляется циркуляция очищаемой сточной воды. Интенсивная циркуляция воды через насадку необходима для эффективной работы биореактора.

Насадка, заполняющая биореакторы, является пластиковой (полиэтиленовые воланы). Биореакторы разделены на две секции или на 1 и 2 ступень очистки. Обе ступени биореактора заполнены пластиковой насадкой. Кроме того, во вторую ступень биореактора добавляется порошковый сорбент – активированный уголь, который закрепляется на насадке. Полиэтиленовые воланы формируют достаточно однородное поровое пространство с размером пор, обеспечивающим формирование объемных структур из хлопьев активного ила, через которые фильтруется очищаемая жидкость в направлении снизу-вверх.

При добавлении порошкового сорбента на вторую ступень биореактора, достигается повышение эффективности очистки воды, заключающееся в совместной иммобилизации на ней биопленки и порошкового сорбента,

процессы в биореакторах дополняются преимуществами биосорбционной доочистки на активном угле, что способствует более глубокой очистке воды от трудноокисляемых органических загрязнений. В биореакторах происходит последовательное снижение БПК, ХПК, аммонийного и нитратного азота. В порядке эксперимента, предусматривается вариант работы биореакторов без подачи порошкового сорбента.

В целях обеззараживания сточной воды предусмотрена установка ультрафиолетовой (УФ) дезинфекции – УДВ - 250/144. При ультрафиолетовой дезинфекции не требуется дополнительного количества реагентов для достижения стабильности воды; благодаря ей повышается эксплуатационный ресурс стальных трубопроводов и арматуры, при этом качество обрабатываемой воды на входе в УФ-установку должно быть не ниже следующего:

- по цветности: 50-60;
- по взвешенным веществам: 30 мг/л;
- по содержанию солей железа: 2-3 мг/л.

В случае нарушения норм качества сточных вод по содержанию примесей после биореакторов доочистки очищенные стоки отправляются на очистные сооружения АО «СК» или в ливневую канализацию. Глубокоочищенные сточные воды после биореакторов и УФ-дезинфекции направляются в резервуар, а затем насосами подаются в систему промводоснабжения завода. При работе НДФ на полной нагрузке по очищенным стокам количество избыточного ила должно составлять 500 м³ в сутки.

Образующийся избыточный ил в процессе очистки стоков отводится на участок обработки осадка, где подвергается уплотнению, обезвоживанию, подсушиванию до влажности 80-85%. Технологический процесс уплотнения ила основан на использовании метода напорной флотации с насыщением ила воздухом под избыточным давлением с помощью эжектора и разделением уплотненного ила и иловой воды.

Избыточный ил из иловых камер корпусов 2040 и 2027 по самотечным трубопроводам попадает в приемную камеру 2035 корпуса 2029 и откачивается на сооружения обработки осадка. Для более глубокого уплотнения ила на всасывающий трубопровод насоса позиции VIII/1-3 эжектором подается воздух вместе с избыточным илом. Представленная иловоздушная смесь по трубопроводу передается на узел напорных баков корпуса 2052/1-2. Напорный бак – емкость, гуммированная изнутри объемом 2м³, рабочее давление – 5-6 кг/см². Время пребывания иловой смеси в напорном баке составляет 1-5 минут. Иловоздушная смесь через эжектор, расположенный внутри напорного бака, дополнительно насыщается воздухом. Для сброса нерастворенного воздуха предусмотрен предохранительный клапан. Под давлением 5-6 кг/см² иловоздушная смесь по трубопроводу поступает на флотационные уплотнители (флотаторы) позиции 2047/1-2. В резервуаре флотатора снимается давление поступающей жидкости и начинается активное выделение пузырьков воздуха, которые увлекают (флотируют) взвешенные частицы избыточного ила на поверхность жидкости во флотаторе. Образовавшаяся флотационная пена (уплотненный ил) отводится в лоток и самотеком сливается по трубопроводу в резервуар уплотненного ила позиции 2048, а затем насосами позиции 1-2 иловой насосной станции корпуса 2049 откачивается на иловые площадки корпуса 2050. Вода, отделенная во флотаторе от уплотненного ила, переливается в сливной лоток, расположенный параллельно борту флотатора, и по трубопроводу поступает в резервуар иловой воды позиции 2053. Осветленная вода из резервуара позиции 2053 откачивается насосами позиций 3-4 в нитрификатор корпуса 2025. Иловые площадки корпуса 2050/1-4, представляют собой земляные резервуары, дно и боковые склоны которых забетонированы. Иловые площадки занимают площадь 1,07 га, размеры площадок 40 м × 90 м и 25 м × 70 м. Максимальная высота уплотнения ила составляет 0,5м.

Для полного обезвоживания и подсыхания уплотненного ила на основании иловых площадок находится дренажная система, которая состоит из железобетонных лотков с проложенными в них перфорированными трубами. Железобетонные лотки заполнены слоями щебнем различного фракционного состава (от $d = 5-10$ мм до $d = 40-70$ мм). Ил, поступающий на иловые площадки, подвергается дальнейшему уплотнению и высыханию в естественных условиях. Подсушенный ил с влажностью не выше 80% вывозится автотранспортом в отвалы, карьеры или используется как добавка при изготовлении строительных материалов (шпаклевки, керамических кирпичей, асфальта и т.д.).

Иловая вода проходит через щебень в лотки и по перфорированным трубам сливается в колодцы позиций 1-2, 4-6, 8-9, 17-18, 20-23, 24-25, 27-28, находящиеся между иловыми площадками. Дренажная вода по трубопроводу проходит в резервуар опорожнения – корпус 2044, а оттуда насосом «Гном» откачивается в корпус 2040. Для ускорения подсыхания, осветленная вода, накопившаяся над уплотненным илом, сливается через систему шиберов колодцев №1-16 по трубопроводам в резервуар позиции 2044. Для промывок дренажных систем иловых площадок используется глубокоочищенная вода, подаваемая по трубопроводу из корпуса 2029.

Уборку подсушенного осадка производят после достижения им влажности 80-85%, при этом следующий цикл залива иловых карт производят только после освобождения карт от просушенного осадка и уборки ила за пределы карт. После освобождения площадки от подсушенного осадка (ила) не позже, чем через 2 суток осуществляется регенерация материала дренажной системы обратным потоком воды с целью интенсификации следующего цикла обезвоживания осадка. Дренажные и промывные воды возвращаются на очистку в начало очистной системы [36].

2.2 Существующая система накопления и захоронения стабилизированного ила сточных вод ПАО «КуйбышевАзот»

Согласно Проекту нормативов образования отходов и лимитов на их размещение (ПНООПР) для ОАО «КуйбышевАзот» (2016 г.), у предприятия имеются объекты размещения отходов в виде иловых карт и шламонакопителя.

Предприятие имеет цех переработки органических и неорганических продуктов (цех №39). Образующийся в процессе очистки стоков избыточный активный ил отводится на участок обработки осадка. Избыточный ил уплотняется безреагентной флотацией. Образовавшаяся в результате этого процесса флотационная пена, или уплотненный ил, откачивается на иловые площадки. Площадки оборудованы дренажной системой для отвода фильтрата. Далее ил подвергается уплотнению и высыханию в естественных условиях. Ил избыточный биологических очистных сооружений удаляется на иловые карты. Ил стабилизированный биологических очистных сооружений подвергается захоронению [37].

На очистных сооружениях ПАО «КуйбышевАзот» ежегодно образуется порядка 260 тонн избыточного ила, который вывозится на рекультивацию на полигон ЭКОТРАНС.

Рассмотрим экономический аспект вопроса на примере данных 2015 года, когда было утилизировано 268,22 тонн отхода, плата за рекультивацию составила:

- плата за размещение на полигоне ЭКОТРАНС: 166 296,4 рублей;
- транспортные затраты: 21 023,56 рублей;
- плата за негативное воздействие на окружающую среду: 93 043 рублей.

Итого: 280 362,96 рублей.

За 4 года (2014-2017 гг.) на захоронение было вывезено порядка 1000 тонн предварительно обезвоженного избыточного ила, что в денежном эквиваленте составило 1 045 272 рубля.

В то же время образующиеся на очистных сооружениях иловые осадки являются важнейшим источником органических, питательных и биологически активных веществ. Использование обезвреженных осадков вместо органических удобрений решает важную проблему восстановления загрязненных почв за счет обогащения их органическим углеродом и элементами питания растений.

В связи с этим в основе сельскохозяйственного способа утилизации активного ила лежит определение его влияния на состав почв. Непосредственное удобрение почвы является выгодным способом утилизации отхода. При этом необходимо соблюдать определенные требования и нормы (подраздел 2.3 данной работы) [9].

2.3 Анализ требований для использования ила в качестве удобрения

2.3.1 Основные нормативные документы, регулирующие требования к составу осадков

Наряду с питательными веществами, в составе активного ила промышленных предприятий могут содержаться в токсичных количествах такие вещества как тяжелые металлы, органические соединения, патогенная флора, яйца гельминтов. Всё это следует учитывать при использовании иловых осадков в качестве удобрения.

Условиями для применения осадков сточных вод в качестве удобрения являются обеззараживание, предельно допустимое содержание потенциально опасных элементов и веществ, пригодность по физическим свойствам.

Прежде чем использовать активный ил в качестве органического удобрения, необходимо установить соответствие требованиям нормативных документов, а именно:

- соответствие показателям ГОСТа Р-54651-2011 «Удобрения органические на основе осадков сточных вод, технические условия»;

- вхождение в «Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов», разрешенных к применению на территории России, часть II, агрохимикаты.

С целью упорядочения использования иловых осадков для удобрения почв в 1995 г. были разработаны и утверждены Минсельхозпродом РФ «Требования к качеству сточных вод и их осадков, используемых для орошения и удобрения», на основании которых в 1997 г. были утверждены Санитарные правила и нормы «Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения» (СанПиН 2.1.7.573-96) [38].

В целях дальнейшего совершенствования порядка использования осадков сточных вод для удобрения почв был разработан «Типовой технологический регламент использования осадков сточных вод в качестве органического удобрения», который начал действовать 19 июня 2000 г.

Регламент является нормативным документом, уточняющим и дополняющим положения СанПиН 2.1.7.573-96 в соответствии с разработками последних лет, нашедшими отражение в проекте ГОСТа «Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений» (2000).

При разработке Регламента использованы следующие нормативные документы:

- Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.98 N 89-ФЗ (редакция от 25.12.2018);

- Федеральный закон «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения» от 16.07.98, N 101-ФЗ (редакция от 05.04.2016);

- СанПиН 2.1.7.573-96 «Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения»;

- МУ 2.1.7.730-99 «Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест»;

- Научные основы мониторинга земель РФ. М., 1992;

- ГОСТ 17.4.2.01-81 (редакция от 1.08.2008). Охрана природы. Почвы. Номенклатура показателей санитарного состояния;

- ГОСТ 17.4.1.02-83 (редакция от 1.08.2008). Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ контроля загрязнений;

- Типовая технология производства и внесения твердых органических удобрений. М., 1987;

- Технология внутripочвенного внесения жидких органических удобрений. М., 1987.

2.3.2 Требования к составу и свойствам осадков

Осадки могут применяться как органические или комплексные органические удобрения, если они соответствуют требованиям (нормативам), приведенным в Приложении А, таблице А.1.

Те осадки, которые имеют значение реакции среды (рН-вытяжки) более 8,5, могут применяться на кислых почвах в качестве органоизвестковых удобрений.

Осадки могут быть использованы в качестве удобрений при разном уровне влажности.

По содержанию тяжелых металлов и мышьяка осадки при сельскохозяйственном применении делятся на две группы (таблица А.2, Приложение А) на основе результатов химического анализа по методам в соответствии с ГОСТ Р 8.563-2009; если содержание хотя бы одного элемента превышает его допустимый уровень для группы I, то осадки относят к группе II.

Осадки группы I вносят под все виды сельскохозяйственных культур, кроме овощных, грибов, зеленных и земляники. Осадки группы II вносят под зерновые, зернобобовые, зернофуражные и технические культуры.

Осадки групп I и II применяют в промышленном цветоводстве, зеленом строительстве, лесных и декоративных питомниках, для биологической рекультивации нарушенных почв и полигонов твердых бытовых отходов.

Дозировка добавления иловых осадков под сельскохозяйственные культуры в каждой конкретной ситуации высчитывают с учетом фактического

содержания нормируемых в таблице 2 загрязнений в осадках и в почве (на участке внесения осадка). При использовании осадков в расчетных дозах качество культивируемой сельскохозяйственной продукции должно соответствовать требованиям [39].

Внесение осадка в качестве удобрения запрещается, если предельно допустимая концентрация любого из нормируемых загрязнений в почве превышает 0,8.

По санитарно-бактериологическим и паразитологическим показателям осадки должны соответствовать требованиям таблицы А.3 (Приложение А).

Использование осадков в качестве удобрения допускается после их обезвреживания и обеззараживания одним из следующих способов:

- термофильное сбраживание в метантенках;
- термосушка;
- облучение инфракрасными лучами в камере дегельминтизации;
- пастеризация при 60-70°C и времени теплового воздействия не менее 20 мин;
- компостирование с древесными отходами, листвой, соломой, торфом и другими компонентами в течение трех-четырёх месяцев, из которых один-два месяца должны приходиться на теплое время года, при условии достижения во всех частях компоста температуры не менее 60°C;
- ускоренная биоферментация при достижении температуры в осадках не менее 60°C;
- обработка химическими реагентами и препаратами:
 - 1) негашеная известь (15-20% CaO на массу обезвоженного осадка);
 - 2) аммиачная вода (5-8% к массе осадка и выдерживание не менее 5-10 суток в герметичном контейнере);
 - 3) другие реагенты (препараты), не оказывающие отрицательного воздействия на почву, почвенную биоту, растения и растениеводческую продукцию; препарат должен иметь гигиенический сертификат и

«Технические условия» на его применение, утвержденные законодательством;

- выдерживание на иловых картах в условиях:

- 1) I и II климатических зон не менее трех лет;
- 2) III климатической зоны не менее двух лет;
- 3) IV климатической зоны не менее одного года;

- иные способы обработки осадков, обеспечивающие их обеззараживание от патогенных бактерий, простейших, жизнеспособных яиц и личинок гельминтов.

Применение способов, не указанных выше, должно быть согласовано с территориальными органами санитарно-эпидемиологической службы, или способы должны иметь проектную документацию, утвержденную в установленном законодательством порядке.

Осадки должны обладать удобрительной ценностью. Для установления удобрительной ценности в каждой партии осадков определяются рН, содержание сухого вещества, органического (беззольного) вещества, общего азота (N), минерального азота (N-NO и N-NH), общего фосфора (PO), общего калия (KO), общего кальция (CaO) [48].

2.3.3 Соответствие состава активного ила предприятия требованиям и нормам

Результаты испытаний органического удобрения из активного ила цеха №39 ПАО «КуйбышевАзот» показали его соответствие заявленным требованиям по токсикологическим, агрохимическим, физико-механическим, ветеринарно-санитарным и гигиеническим показателям.

В таблице 2.1 приведены данные по соответствию удобрения на основе активного ила цеха №39 ПАО «КуйбышевАзот» токсикологическим и агрохимическим показателям.

Таблица 2.1 – Соответствие органического удобрения на основе активного ила цеха №39 ПАО «КуйбышевАзот» токсикологическим и агрохимическим показателям

Наименование параметра	Единица измерения	Результат измерения	Нормы по ГОСТ Р-54651-2011
рН солевая	ед. рН	7,5	6,0-8,0
Массовая доля влаги	%	54,6	Не более 70
Массовая доля органического вещества	%	37,5	Не менее 30
Массовая доля общего азота	% на сухое в-во	7,1	Не менее 0,6
Массовая доля общего фосфора	% на сухое в-во	2,75	Не менее 0,7
Массовая доля общего калия	% на сухое в-во	0,1	Не менее 0,1

Соответствие ила цеха №39 ПАО «КуйбышевАзот» физико-механическим показателям иллюстрирует таблица 2.2.

Таблица 2.2 – Соответствие ила цеха №39 ПАО «КуйбышевАзот» физико-механическим показателям

Наименование параметра	Единица измерения	Результат измерения	Нормы по ГОСТ Р-54651-2011
Массовая концентрация остаточных количеств пестицидов в сухом веществе, мг/кг сухого вещества, не более: - ГХГЦ (сумма изомеров) - ДДТ и его метаболиты (суммарные количества)	мг/кг	<0,01 <0,01	Не более или на уровне нормы 0,1 0,1
Удельная эффективная активность природных радионуклидов, сухого вещества	Бк/кг	59,1	не более 300

Данные по соответствию ила ветеринарно-санитарным и гигиеническим показателям приводятся в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Соответствие ила цеха №39 ПАО «КуйбышевАзот» ветеринарно-санитарным и гигиеническим показателям

Наименование параметра	Единица измерения	Результат измерения	Нормы по ГОСТ Р-54651-2011
Класс опасности	-	4	4
Массовая концентрация бензапирена, мг/кг сухого вещества, не более	мг/кг	<0,005	не более 0,02
Цисты патогенных простейших кишечника	-	Не обнаружено	Не допускается

В процессе поиска решения поставленной в разделе проблемы применения активного ила предприятия были выполнены следующие задачи:

- проанализировать требования для использования ила в качестве удобрения;
- изучить состав стабилизированного ила сточных вод предприятия ПАО «КуйбышевАзот» г. Тольятти.

Подводя итоги проведенного исследования проблемы использования активного ила сточных вод цеха №39, можно сделать следующие выводы:

- активный ил предприятия полностью соответствует заявленным требованиям и нормам для использования его в качестве сырья для приготовления компостного удобрения;
- после оформления необходимой документации, разработки, внедрения и применения плана использования отхода в качестве удобрения компосты из активного ила можно будет эффективно использовать на полях предприятия ПАО «КуйбышевАзот», заметно сократив ежегодные затраты на транспортировку и захоронение отхода.

3 Организация использования активного ила предприятия ПАО «КуйбышевАзот» в качестве удобрения почв

3.1 Компостирование иловых осадков как путь рекультивации нарушенных почв

В начале XX века был предложен метод аэробной биологической очистки сточных вод с применением активного ила – биоценоза микроорганизмов, участвующих в переработке бытовых, сельскохозяйственных, промышленных отходов. Немаловажными факторами в процессе очистки являются перемешивание жидкости и непрерывное аэрирование ее воздухом. Данный метод позволяет перерабатывать большие объемы стоков с самыми разными загрязнениями.

Аналогично аэробной очистки сточных вод применяется аэробное биокомпостирование отходов [6]. Благодаря этому становится возможной переработка отходов в органическое удобрение и применение его для улучшения свойств почв: увеличения процентного содержания органических веществ, азота, фосфора; снижения кислотности почв; увеличения их влагоемкости; улучшения теплового, водного и воздушного режимов [22]. Компост на основе иловых осадков содержит все основные питательные вещества, необходимые для повышения урожайности земель, уступая навозу животноводческих комплексов лишь по содержанию калия.

Компостное удобрение оказывает положительное влияние на структуру почв, значительно улучшает их физико-химические, биологические и противозерозионные свойства. Удобрение из переработанного активного ила успешно применяют для рекультивации почв, обогащения истощенных земель. Полученный компостный материал улучшает биологическую активность почвы и сопротивляемость растений болезням [11].

Многочисленные исследования по составу и удобрительной ценности сточных вод свидетельствуют о том, что не стоит недооценивать роль применения иловых осадков в производстве органоминерального удобрения.

Например, в 1000 кубических метрах бытовых сточных вод сосредоточено такое же количество азота, как в 10-12 т навоза или в 300-400 кг минеральных удобрений. Средней оросительной нормой при применении осадков сточных вод на сельскохозяйственных полях орошения является 4000 м³/га, что приравнивается к ежегодному внесению на 1 га 40-50 т навоза или 1,4-1,6 т минерального удобрения [29].

Методы биотермического компостирования иловых осадков позволяют достичь сразу нескольких целей: снизить отрицательное воздействие очистных сооружений промышленных предприятий на природную среду, получить ценный материал и дополнительную прибыль от производства органоминерального удобрения. Применение таких методов и технологий является передовым и эффективным способом решения проблемы утилизации отходов производства, поскольку позволяет получить обезвреженный конечный продукт при достаточно простой технологической схеме. Методы биокомпостирования, как правило, отличаются невысокими энергозатратами, экологичностью и быстрой окупаемостью, а эксплуатация задействованного технологического оборудования не требует соблюдения особо сложных условий.

В процессе биокомпостирования осадков сточных вод органический материал проходит физические и химические преобразования с выходом стабильного гумифицированного конечного сырья. В отличие от переработанных осадков, данный продукт не нарушает состояние экосистемы, в которую его внесли.

В результате биокомпостирования происходит гибель яиц гельминтов, личинок насекомых и болезнетворных микроорганизмов, благодаря чему улучшаются санитарно-гигиенические параметры осадка. Также, в отличие от термосушки, при применении данного метода значительно снижаются затраты на топливо и энергию, необходимые для процесса обеззараживания отходов. Биокомпостирование проходит более интенсивно в случае применения сырых несброженных иловых осадков, поскольку для развития аэробных

микроорганизмов необходимо наличие легкоразлагаемых органических веществ. Возможно применение этого метода в сочетании с анаэробным сбраживанием осадков при умеренных температурах. Предпочтительнее применять для биотермического компостирования те осадки, которые предварительно были обезвожены механическим способом или подсушены на иловых картах, так как степень влажности осадка напрямую влияет на результативность процесса компостирования.

Для поддержания требуемой влажности необходимо создание пористой структуры и определенного соотношения углерода и азота в присутствии добавочного материала с низкой влажностью (около 40%). Материалы, используемые для этого: древесные опилки, листва, солома, измельченная кора, твердые бытовые отходы или часть готового компоста. Таким образом, общая влажность смеси снижается до 50-60%.

Процесс компостирования иловых осадков включает 2 фазы. Первая фаза длится 1-3 недели, характеризуется активным развитием микроорганизмов. Температура осадка в это время увеличивается до 50-80°C. В результате процесса осадок обеззараживается, а его биомасса снижается. Вторая фаза представляет собой этап созревания компоста, который длится от 2 недель до 3-6 месяцев. Температура осадка на данном этапе снижается до 40°C и ниже, в нем развиваются простейшие и членистоногие организмы. С увеличением температурных показателей воздуха активизируется процесс разложения органических веществ. По завершению фазы компост характеризуется рыхлой землистой структурой со средней влажностью 40-50%, без запаха, с высоким содержанием элементов, требуемых для улучшения роста и развития растений, и веществ, повышающих плодородие почв.

После внесения готового удобрения в почвенный субстрат структура компоста разрушается. При этом выделяются питательные для растений вещества: азот, калий, фосфор, микроэлементы. Органические составляющие компоста повышают его возможности к удерживанию влаги. Этот фактор в

значительной степени увеличивает устойчивость к ветровой и почвенной эрозии.

Применение методов биокомпостирования осадков сточных вод урбанистических промышленных предприятий при производстве удобрений открывает значимые для экологической сферы преимущества: возврат в почву органических веществ и сокращение применения химических удобрений. Гигиенический анализ осадков сточных вод и полученного с их применением компоста подтверждает их санитарно-эпидемиологическую безопасность и высокую агрохимическую ценность [22]. Проведенные исследования по применению полученных компостов для удобрения земель позволяют выявить их положительное влияние на физико-химические свойства почв и рекомендовать этот материал для удобрения площадей под лесопосадки, посадки кустарников, овощных, плодовоягодных, зерновых, кормовых и цветочных сельскохозяйственных культур [11]. С экономической точки зрения, компостирование, как способ утилизации осадков сточных вод, отличается простотой, доступностью и достаточно низкой себестоимостью [52].

3.2 Основы организации компостирования иловых осадков

Необходимые условия для проведения биотермического компостирования: влажность смеси осадка с дополнительным материалом 60-65%, отношение углерода к азоту 20-30:1 и pH 5,5-8,0 единиц. Скорость процесса и качество получаемого продукта зависят от указанных условий для нормального развития микроорганизмов, состава иловой смеси, аэрации, гомогенизации, теплообмена. Согласно практическим исследованиям, при распаде 1 кг органического вещества выделяется около 21 МДж теплоты. Если учитывать теплопотери и нагревание материала, на испарение 1 кг влаги в среднем расходуется 4 МДж. В целом, при разложении 1 кг органического вещества осадок теряет до 5 кг влаги. Длительность процесса определяется применяемой технологией, оборудованием, объемом и составом илового

осадка, климатическими факторами, размером штабелей, количеством подаваемого воздуха и другими факторами.

Для компостирования предварительно обезвоженных или подсушенных на иловых картах осадков сточных вод применяются различные технологии и оборудование: в штабелях, на площадках, траншеях с оборудованием для перемешивания, биобарабанах, ферментаторах.

Последующее высушивание компостного материала продолжается до 30 дней. Осадки сточных вод имеют низкое отношение углерода к азоту, высокую влажность и плохо поддаются аэрации. Ввиду этого их необходимо смешивать с твердым материалом, сорбирующим влагу, который обеспечит дополнительный углерод и нужную для аэрации структуру смеси.

Процесс биокомпостирования состоит из двух фаз.

Первая фаза длится от 1 до 3 недель, сопровождается активным развитием микроорганизмов; при этом температура осадка повышается до 50-80°C, происходит обеззараживание илового осадка и сокращение его массы.

Вторая фаза характеризуется созреванием компоста, продолжается от 2 недель до 3-6 месяцев.

Готовое удобрение представляет собой рассыпчатую смесь влажностью 40-50%, не имеющую запаха, содержащую элементы, необходимые для роста растений, полезную микрофлору и вещества, улучшающие свойства почв.

При попадании в почву компост разрушается с выделением основных питательных веществ и микроэлементов. Клейкие вещества наряду с мицелием грибов и актиномицетов соединяют частицы почвы; органические составляющие компоста повышают его способность удерживать влагу. Эти факторы в значительной степени увеличивают устойчивость почвы к ветровой и почвенной эрозии [22].

3.3 Организация компостирования активного ила цеха №39 ПАО «КуйбышевАзот»

3.3.1 Рекомендации по работе аэротенка предприятия

Для того, чтобы применять отработанный активный ил цеха №39 ПАО «КуйбышевАзот» в качестве удобрения, необходимо его подготовить. Требуемым условием является обеззараживание ила и осадка. Существует немало способов обеззараживания осадка сточных вод, но наиболее доступным и относительно надежным методом является компостирование.

Качественное очищение сточных вод представляет собой многоэтапный процесс. Биологический этап считается одним из самых важных, так как позволяет очистить стоки от растворенных и органических элементов. Эффективным инструментом для этого процесса являются аэротенки (рисунок 3.1) для очистки сточных вод [7].



Рисунок 3.1 – Аэротенк промышленного предприятия

Устройство аэротенка представляет собой резервуар, через который проходят сточные воды. Одновременно они перемешиваются с активным илом (рисунок 3.2).

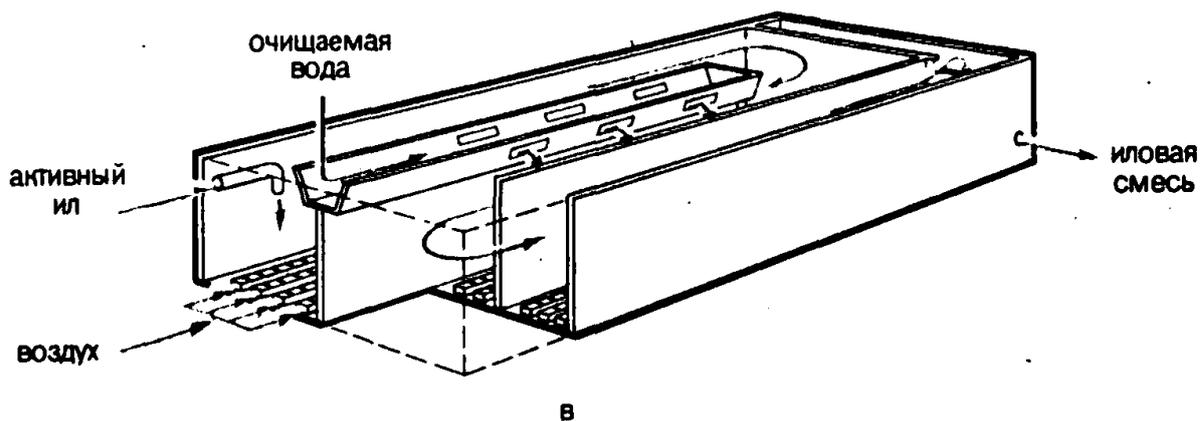


Рисунок 3.2 – Строение аэротенка

Резервуар аэротенка может иметь однокамерную и многокамерную конструкцию, прямоугольное сечение, а также быть оснащенным аэрационным устройством. Аэротенк – одно из самых совершенных устройств, способных эффективно проводить биохимическую очистку сточных вод.

Сточные воды в резервуаре постоянно перемешиваются с активным илом; одновременно в емкость нагнетается кислород. Этот процесс обуславливает аэрацию смеси, поддержание активного ила во взвешенном состоянии и жизнедеятельность микроорганизмов активного ила. Именно они собирают на своей поверхности все органические вещества сточных вод и окисляют их.

Основные части конструкции аэротенка:

- компрессор – нагнетает кислород в емкость, работает от электроэнергии);
- эрлифт – осуществляет перекачку сточных вод по отсекам;
- отстойники (первичный, вторичный);
- аэрационная установка;
- основной резервуар аэротенка [4].

На эффективность работы аэротенка оказывают влияние следующие факторы: температура, постоянное поступление питательной среды (стоков),

насыщенность смеси кислородом, присутствие токсинов, оптимальный уровень кислотности (содержания ионов водорода) – рН.

Причины снижения эффективности работы:

- засорение элементов аэраторов, осуществляющих фильтрацию O_2 ; источниками проблемы могут стать – пластины фильтрации, дырчатые трубы и т. д.;

- образование залежей в плохо перемешиваемых зонах контейнера;

- подача больших объемов стоков с повышенным содержанием органических веществ;

- повышение токсичности, которая оказывает влияние на процессы усвоения кислорода;

- превышение необходимого уровня концентрации ила;

- повышение объемов поглощения кислорода в смеси из-за нарушения системы выгрузки осадков [5].

Получаемые от работы аэротенка эффекты выглядят следующим образом:

- а) иловые стоки поступают в центральную часть емкости (первичный отстойник);

- б) после частичного осветления сточные воды перекачиваются в основную емкость с помощью эрлифта, где смешиваются с активным илом и расщепляются под воздействием колонии микроорганизмов;

- в) к основной емкости подведен аэратор, с помощью которого в систему поступает кислород; рядом с аэратором располагается компрессор, позволяющий нагнетать O_2 ; за счет имеющихся датчиков контроля содержания кислорода на выходе система в автоматическом режиме поддерживает заданный уровень насыщения стоков;

- г) после пребывания в аэротенке жидкость попадает во вторичный отстойник, при этом микроорганизмы вместе с активным илом, выпавшие в осадок, возвращаются в аэротенк;

д) во вторичном отстойнике сточные воды находятся до момента завершения окончательной стадии очищения, после чего выводятся из устройства [7].

В процессах разложения загрязняющих веществ в аэротенках основную роль играют гетеротрофные флокулообразующие бактерии. Флокулообразующие бактерии – это микроорганизмы, объединенные биополимерным гелем в хлопья активного ила. Популяции флокулообразующих бактерий могут достигать в иле 90-95%. Функциональное состояние бактерий, их активность и адаптированность к условиям аэротенков определяют устойчивость и интенсивность биохимического окисления загрязняющих веществ, находящихся в сточных водах.

Самыми важными характеристиками активного ила являются:

- способность к хлопьеобразованию,
- образование осадка и дальнейшее уплотнение,
- влагоотдающие свойства,
- возраст,
- способность к флокуляции.

Активный ил только в флокулированном состоянии может удерживаться во вторичных отстойниках, накапливаться в аэротенках (за счет возврата необходимого объема) и обеспечивать высокие скорости окисления загрязнителей.

Сформировавшиеся хлопья способствуют интенсификации следующих процессов:

- сорбция загрязняющих веществ на поверхность хлопьев посредством увеличения их массы;
- биохимическое окисление загрязняющих веществ в связи с повышением биомассы флокулообразующих, наиболее биохимически активных, и снижение биомассы сорных, патогенных бактерий;
- сохранение ила в системе;

- снижение мутности посредством развития простейших, связанных с хлопьями.

Процесс образования хлопьев и их последующая агрегация (укрупнение) зависит от следующих факторов:

- нормальное продуцирование флокулообразующими бактериями биополимерного геля;
- поддержание достаточного возраста ила (чем старше ил, тем крупнее хлопья);
- достаточное ворошение ила и снабжение его растворенным кислородом;
- допустимое количество и сочетание токсикантов в сточных водах;
- незначительная степень развития в активном иле нитчатых или пенообразующих организмов [2].

Активные свойства ила непосредственно зависят от его возраста. Возраст активного ила – это среднее время нахождения хлопьев активного ила в системе «аэротенк – вторичный отстойник». Его величина обратно пропорциональна скорости прироста ила. При увеличении выноса ила уменьшается его прирост, снижаются окислительные свойства и сокращается скорость извлечения субстрата. Возраст ила при этом увеличивается. Все отрицательные факторы, способствующие перегрузке активного ила по органическим загрязняющим веществам и избыточному выносу ила из вторичных отстойников, приводят, в первую очередь, к изменению возраста активного ила.

Хлопья активного ила должны соответствовать следующим требованиям: они должны продуктивно извлекать загрязняющие вещества из воды и хорошо отделяться от очищенной воды на этапе осаждения.

Таким образом, главная активность хлопьев ила снижается в процессе их старения, хлопья увеличивают свой размер, лучше сорбируют загрязнения, лучше защищены биополимерным гелем от токсикантов, лучше отделяются от очищенной воды при отстаивании. Все же в стареющих хлопьях уменьшается

численность активных живых клеток и сила окисления загрязнений. Увеличение размера хлопьев ила ухудшает доступ кислорода к отдельным бактериальным клеткам, снижает окислительную способность ила и сдерживает отведение метаболитов. Таким образом, ухудшается режим массообмена клеток с окружающей средой [2].

Проведенные исследования иллюстрируют целесообразность использования аэротенков для очистки сточных вод. Для удовлетворительной работы аэротенков важен технологический режим, в котором работает аэротенк-отстойник.

Необходимо соблюдать основные соотношения между степенью загрязнённости сточных вод и количеством активного ила. Если доза ила будет слишком маленькой, то не будет обеспечиваться необходимая степень очистки. Если доза ила будет слишком большой, то осложняется процесс отделения ила от воды во вторичном отстойнике. Для аэротенка предприятия ПАО «КуйбышевАзот» рекомендуется использовать оптимальную дозу ила 4 мг/л.

Необходимо следить, чтобы концентрации загрязнителей были в достаточном количестве, в противном случае возможно вспухание активного ила или вымирание определенных культур [1]. Рекомендуемый состав сточных вод предприятия: концентрация биологического потребления кислорода ($BPK_{полн}$) – свыше 500 мг/л; соотношение $BPK_{полн}$ к химическому потреблению кислорода (XPK) должно быть 1,2 [8].

Запрещается содержание токсичных веществ выше допустимых концентраций (масла и нефтепродукты должны отсутствовать, при их наличии перед сооружениями с активным илом необходимо предусматривать жиरोотделители или нефтеловушки).

pH сточных вод должен быть в пределах 6,5 – 8,5. Температура сточных вод – не ниже 6°C [1].

Не менее важно, чтобы количество кислорода в системе было достаточным (для аэротенка предприятия 1,0 – 3,0 г/дм³).

При работающем компрессоре и отсутствии поступления сточных вод активный ил сохраняет свою жизнеспособность на протяжении 3-х месяцев. Если будет отключено и электричество, то через три месяца ил погибнет. Чтобы предотвратить гибель активного ила, в конструкцию аэротенка раз в месяц рекомендуется заливать смесь сухого активного ила с водой [8].

3.3.2 Рекомендации по работе иловых площадок

Иловые площадки используются для естественного обезвоживания иловых осадков, образующихся на станциях биологической очистки сточной воды.

Результаты исследования показали, что привлекательность иловых площадок для обезвоживания осадка объясняется простотой инженерного обеспечения и легкостью эксплуатации в сравнении с фильтр-прессами, вакуум-фильтрами и сушильными установками. В настоящий момент на иловых площадках обрабатывается 90% всего осадка, образующегося в нашей стране [13].

Цех №39 ПАО «КуйбышевАзот» оснащен следующими местами накопления отходов: площадка №114 представляет собой иловые площадки для временного накопления ила избыточного биологических очистных сооружений хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод – 870,125 т и ила стабилизированного биологических очистных сооружений хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод – 609,088 т:

- 1 иловая площадка корпус 2050/1 с объемом 875 м³;
- 2 иловая площадка корпус 2050/2 с объемом 875 м³;
- 3 иловая площадка корпус 2050/3 с объемом 1800 м³;
- 4 иловая площадка корпус 2050/4 с объемом 1800 м³ [37].

Иловые площадки корпуса 2050 представляют собой земляные резервуары с бетонированными днищем и боковыми склонами. Площадки №3, 4 цеха №39 имеют следующие размеры: длина – 90 м; ширина – 40 м; высота – 0,7 м. Площадки №1, 2: длина – 70 м; ширина – 25 м; высота – 0,7 м. Общая

площадь – 1,07 га, максимальная высота заполнения уплотненным илом – 0,5 м [2].

Осадок, имеющий влажность от 90 до 99,5%, наливается на иловые карты через определенные промежутки времени слоями 0,2-0,25 м. В процессе подсыхания осадок теряет часть влаги за счет испарения и фильтрации сквозь грунт. Осадок, подсушенный до влажности 75-80%, транспортируется к месту использования или захоронения [31].

Для полного обезвоживания и подсыхания уплотненного ила внутри иловых площадок устроена дренажная система, которая состоит из железобетонных лотков с проложенными в них перфорированными трубами. Железобетонные лотки устелены слоями щебнем разного размера, диаметром от 5-10 мм до 40-70 мм. Подающийся на иловые площадки материал подвергается дальнейшему уплотнению и высыханию. После наполнения иловой площадки обезвоженный ил транспортируется на рекультивацию. Иловая вода проходит сквозь щебень в лотки и по перфорированным трубам сливается в колодцы между иловыми площадками. Затем дренажная вода по трубопроводу проходит в резервуар опорожнения 2044, откуда погружным насосом откачивается в корпус 2040. Для увеличения скорости высыхания осветленная вода, образовавшаяся над уплотненным илом, проходит через систему шиберов по трубопроводу в резервуар 2044. Для промывок при засорении дренажных систем иловых площадок подается очищенная вода из корпуса 2029. После вывоза подсушенного ила на захоронение и очистки площадки дренажные системы очищаются химически загрязненной водой поочередно в весенне-летний период года [2].

Эксплуатация иловых площадок заключается в контроле за состоянием распределительных, выпускных, подающих, дренажных труб, состоянием валиков (на предмет обвалов и других видов деформации), влажностью и химическим составом осадка (подаваемого и отводимого) и в своевременном его удалении. Забор подсушенного осадка осуществляется вручную лопатами в вагонетки, которые движутся по валикам (для маленьких станций),

погрузкой вручную, торфо- и навозопогрузчиками на автотранспорт, скреперами, бульдозерами (для средних и больших станций) [12].

В связи с длительностью по времени подсушивания ила стабилизированного до влажности 75-80% на предприятии рекомендуется увеличить количество иловых площадок с 4 до 6. Кроме того, для повышения продуктивности работы функционирующих площадок рекомендуется проводить:

- уплотнение осадка перед подачей на площадки;
- механическое ворошение и удаление высушенного осадка с площадок;
- кондиционирование осадка до его попадания на площадку;
- продувание осадка воздухом во время обработки;
- применение вакуумных систем для ускорения фильтрационных мероприятий;
- подогрев осадка на иловых площадках [16].

3.4 Рекомендуемая система применения активного ила цеха №39 как сырья для удобрений

В настоящее время на предприятии ПАО «КуйбышевАзот» не применяется такой перспективный метод использования осадков сточных вод как компостирование. Ввиду этого предлагается внедрить проект использования активного ила в качестве исходного технологического сырья для производства органического удобрения.

Технический результат, который будет получен при осуществлении проекта компостирования иловых осадков:

- исключение необходимости захоронения;
- улучшение свойств почв собственных полей предприятия;
- оздоровление деградированных и загрязненных земель г.о. Тольятти;
- снижение воздействия на окружающую природную среду.

Компостирование осадка, предварительно подсушенного на иловых картах до нужной влажности 75-80%, предлагается производить в штабелях

высотой 1,5-2,0 м, шириной по низу 3,0 м, по верху 1,0 м. Это дает объем осадка на 1 погонный метр штабеля 3-4 м³ [23].

Высота 1,5 - 2 м является наиболее подходящей для высоты штабеля. Если сделать высоту меньше 1,5 м, начнутся значительные потери тепла и в штабеле гораздо сложнее будет поддерживать температуру, необходимую для термофильных микроорганизмов. Более того, большая потеря влаги, особенно по краям штабеля, замедляет процессы биокомпостирования. При высоте более 2 м отходы будут сжаты собственной массой, уменьшится величина пор и возникнут условия для анаэробного процесса [35].

С учетом проходов между штабелями шириной 2,0 м нагрузка на 1 м² площади составляет 0,6-0,8 м³. При компостировании внутри штабеля развивается высокая температура, от которой погибают яйца гельминтов. В летнее время через 3-4 недели после закладки компоста производится ворошение (перелопачивание) осадка, для чего вдоль фронта штабелей с одной стороны оставляется свободная полоса шириной 5,0 м. Лучшее время для закладки компостов – апрель – сентябрь. Как показывает опыт, весенне-летние компосты обычно используются в год закладки, осенние – весной.

В процессе компостирования интенсивно снижается влажность материала, в связи с чем для повышения активности биотермического процесса наряду с перелопачиванием и принудительной аэрацией производят увлажнение материала.

Оптимальная влажность для компостирования должна быть в пределах нормы 50-60%. В зависимости от указанных условий биотермический процесс обычно длится от 1 месяца до 1,5 лет. При этом он сопровождается повышением температуры внутри штабеля до 50-70°C в течение 15-20 суток и уменьшением влажности и объема. Перемешивание обеспечивает более быстрое и полное обезвреживание всей массы, в том числе и внешних участков штабеля, в которых температура прогрева значительно ниже. Для ускорения процесса разложения и созревания компоста к свежей массе необходимо добавить часть зрелого компоста.

Ворошение необходимо проводить в период протекания термофильной фазы, когда температура внутри штабелей поднимается до 55-60 градусов. Длительность этой фазы напрямую зависит от вида отходов и погодных условий, в среднем от 2 до 8 недель. В течение этого периода отходы нужно ворошить 3 раза.

Необходимость ворошения определяется по данным опробования компостируемой массы. Если во время протекания термофильной фазы внутри штабелей будут обнаружены зоны с пониженной температурой, следует приступать к ворошению компостируемых масс.

Критическим фактором эффективности процесса компостирования является обеспечение высокой пористости компостируемого материала. Она достигается путем равномерного смешения отходов перед закладкой в штабель с древесной щепой, соломой, листвой, рублеными ветками в правильных пропорциях. Метод требует больших затрат по сравнению с полевым компостированием, но также относится к разряду недорогих технологий. Он способствует сокращению времени протекания распада органического вещества отходов до 2,0-2,5 месяцев [23].

Стабилизация – это важный этап для получения высококачественного компоста. Отходы, подвергнутые биотермическому разложению, представляют собой сырой компост. Для созревания его нужно уложить в новые штабели и выдержать в течение 1-2 мес.

Соблюдение этой технологии позволяет получить спелый компост хорошего качества, безопасный в санитарно-гигиеническом отношении [34].

3.5 Экономические обоснования предлагаемой системы

Создание систем обеззараживания и обезвоживания иловых осадков с целью их дальнейшей переработки при строительстве новых и реконструкции действующих городских очистных сооружений приводит к повышению капитальных вложений в 1,8-2,3 раза. Для того, чтобы разместить специальное оборудование по обработке осадков, необходимо увеличить производственные

площади очистных сооружений в 1,7 раза. Увеличиваются и эксплуатационные затраты на транспортировку предварительно обеззараженных и обезвоженных осадков [39].

На очистных сооружениях ПАО «КуйбышевАзот» ежегодно образуется порядка 260 тонн избыточного ила, который вывозится на рекультивацию на полигон ЭКОТРАНС.

За 4 года (2014-2017 гг.) на захоронение было вывезено порядка 1000 тонн предварительно обезвоженного избыточного ила.

Рассмотрим экономический аспект вопроса на примере данных 2015 года, когда было утилизировано 268,22 т отхода. Плата за рекультивацию складывается из платы за размещение отходов, транспортных затрат и платы за негативное воздействие на окружающую среду.

Плата за размещение отходов в пределах лимитов $P_{ЛР}$, руб., рассчитывается по формуле:

$$P_{ЛР} = M_{Л} \times N_{ПЛ}, \quad (6)$$

где $M_{Л}$ – масса (объем) размещенных отходов в количестве, равном или менее установленных лимитов на размещение отходов, т (m^3);

$N_{ПЛ}$ – ставка платы за размещение отходов в пределах лимитов, руб./т (руб./ m^3).

Плата за транспортные расходы $P_{ТР}$, руб., рассчитывается по формуле:

$$P_{ТР} = K_{Р} \times C_{Р}, \quad (7)$$

где $K_{Р}$ – количество рейсов;

$C_{Р}$ – стоимость одного рейса, руб.

Плата за негативное воздействие на окружающую среду в пределах лимитов $P_{НЛ}$, руб.:

$$P_{НЛ} = M_{Л} \times T_{ПЛ}, \quad (8)$$

где $M_{Л}$ – масса (объем) размещенных отходов в количестве, равном или менее установленных лимитов на размещение отходов, т (m^3);

$T_{ПЛ}$ – тариф платы за негативное воздействие на окружающую среду в пределах лимитов, руб./т (руб./ m^3).

Рассчитаем плату за рекультивацию предварительно обезвоженного отработанного ила цеха №39 в 2015 году.

Плата за размещение отходов в пределах лимитов $P_{ЛР}$ на полигоне ЭКОТРАНС составила (по формуле 6):

$$P_{ЛР} = 268,22 \text{ т} \times 620 \text{ руб.} = 166\,296,4 \text{ руб.}$$

Плата за транспортные расходы (по формуле 7):

$$P_{ТР} = 34 \times 618,31 \text{ руб.} = 21\,023,56 \text{ руб.}$$

Плата за негативное воздействие на окружающую среду (по формуле 8):

$$P_{НЛ} = 268,22 \text{ т} \times 346,89 \text{ руб.} = 93\,043 \text{ руб.}$$

Итого: плата за рекультивацию 268,22 т отхода составила 280 362,8 руб.

Таким образом, ежегодно на захоронение на полигон вывозятся отходы, являющиеся важнейшим источником органических, питательных и биологически активных веществ. Использование обезвреженных осадков вместо органических удобрений решает важную проблему восстановления загрязненных почв за счет обогащения их органическим углеродом и элементами питания растений.

Проект приготовления компоста, описанный в подразделе 3.4, несложен в техническом отношении и не требует больших затрат, при этом способен обеспечивать большой обеззараживающий эффект ила сточных вод. Метод предлагается применять с использованием динамичных (с ворошением

отходов) штабелей; компостирование должно проходить при соблюдении условий принудительной аэрации. Благодаря аэрированию, которое улучшает условия жизнедеятельности микроорганизмов, процесс перегнивания отходов в значительной степени ускоряется.

С помощью компостных площадок из осадка сточных вод планируется получать компост, обладающий высокой удобрительной способностью. Кроме того, отпадет необходимость вывозить порядка 260 тонн отхода на захоронение. Если предположить, что 25% (65 тонн) ила будет использоваться для биокомпостирования, то можно спрогнозировать ежегодную экономию платы за рекультивацию:

- плата за размещение на полигоне ЭКОТРАНС:

$$P_{\text{ЛР}} = 65 \text{ т} \times 620 \text{ руб.} = 40\,300 \text{ руб.};$$

- плата за транспортные расходы:

$$P_{\text{ТР}} = 8 \times 618,31 \text{ руб.} = 4\,946,48 \text{ руб.};$$

- плата за негативное воздействие на окружающую среду:

$$P_{\text{НД}} = 65 \text{ т} \times 346,89 \text{ руб.} = 22\,547,85 \text{ руб.}$$

Итого: экономия платы за рекультивацию 65 т отхода составит 67 794,33 руб.

Готовый компост в качестве органического удобрения может найти широкое применение как на собственных полях предприятия, так и на полях г.о. Тольятти. Рассмотрим возможность применения компостного удобрения на полях выращивания картофеля.

Выбор дозировки внесения удобрения в почвы зависит от нескольких условий:

- влажность компоста: для сухого компоста выбирают более низкие дозы, для влажного — более высокие;

- свойства почвы:

а) плодородные почвы со средним или высоким содержанием органического вещества требуют более низких доз; на таких почвах

компост действует главным образом как удобрение, содержащиеся в нём питательные вещества используются самими растениями;

б) на бедных органикой почвах большая часть компоста используется «голодающей» микрофлорой, поэтому бедные почвы требуют более высоких доз;

- требования культур к условиям питания:

а) самая высокая доза в 5 кг на 1 м³ необходима для бедных песчаных или суглинистых почв при выращивании требовательных культур;

б) средняя доза в 3,75 кг на 1 м³ приемлема для суглинистых почв и требовательных культур;

в) низкая доза в 2,5 кг на 1 м³ – для суглинистых почв и средних по требованию культур;

г) для плодородных почв и нетребовательных культур достаточна доза 1,25 кг на 1 м³ [30].

Из таблицы 2.1 следует, что в компосте, полученном на основе отработанного активного ила цеха №39 ПАО «КуйбышевАзот», массовая доля общего азота составляет 7,1%. Рассчитаем количество компоста, необходимого для удобрения азотом 1 га земли под посадку картофеля.

Примерные дозы органоминерального удобрения под картофель, вносимые в разные типы почв, приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Примерные дозы основного удобрения под картофель (в расчете на 10 м²) [19]

Тип почвы	Органи- ческие удобре- ния, кг	Минеральные удобрения, г действующего вещества		
		азот	фосфор	калий
Полесье				
Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные	45-50	60-90	45-60	90-120
Дерново-подзолистые суглинистые	40-45	60-90	45-60	60-90
Светло-серые лесные	40-45	60-90	45-60	60-90
Лесостепь				
Темно-серые оподзоленные и черноземы оподзоленные	30-40	45-60	45-60	45-60
Черноземы мощные малогумусные	25-30	45-60	45-60	45-60

Почвы г.о. Тольятти относятся к нескольким зонам – лесостепь и полесье. В таблице 7 приводятся данные о дозировке внесения азота: 60-90 г на 10 м² для дерново-подзолистых почв и 45-60 г на 10 м² для темно-серых оподзоленных почв и черноземов. Если использовать усредненные данные и предположить, что в почву будет вноситься 60 г азота на 10 м² земли, то необходимо рассчитать массу компоста М_{к2} для удобрения 10 м² почвы по формуле:

$$M_{K2} = M_{K1} \times M_{A2} / M_{A1} , \quad (9)$$

где М_{к1} – начальная рассматриваемая масса компоста, г;

М_{а2} – конечная масса азота, необходимая для удобрения 10 м² почвы, г;

M_{A1} – начальная масса азота, содержащаяся в M_{K1} , г.

$$M_{K2} = 100 \times 60 / 7,1 = 845 \text{ г.}$$

Именно такая масса компоста потребуется для внесения 60 г азота в 10 м² почвы: 845 г на 10 м², или 845 кг/га земли под картофель.

Таким образом, для обогащения азотом поля под картофель площадью 1 га потребуется внести 845 кг органического удобрения, полученного в результате биотермического компостирования активного ила цеха №39 ПАО «КуйбышевАзот».

Данный пример показывает, насколько велика ценность отхода, который зачастую не перерабатывается, а вывозится на захоронение на полигоны.

Кроме заметной экономии платы за рекультивацию, предприятие получит возможность использовать органоминеральное удобрение на своих полях и в теплицах для выращивания овощных и цветочных культур. В перспективе станет возможным получение дополнительной прибыли от продажи органического удобрения.

Подводя итоги изучения вопросов, связанных с организацией использования отработанного активного ила на предприятии ПАО «КуйбышевАзот» в качестве удобрения почв, можно сделать следующие выводы:

- компостное удобрение на основе активного ила имеет высокую агрономическую ценность, оказывает положительное влияние на структуру и свойства почв; удобрение рекомендуется применять для рекультивации почв, обогащения истощенных земель, для улучшения биологической активности почвы и сопротивляемости растений болезням;

- благодаря применению методов биокомпостирования происходит возврат в почву органических веществ и сокращение использования химических удобрений;

- для эффективной подготовки активного ила к процессу компостирования необходимо соблюдать правила эксплуатации

оборудования, технологический режим работы аэротенков и иловых площадок;

- предлагаемая система полевого компостирования требует соблюдения следующих условий:

а) предварительное подсушивание осадка на иловых картах до влажности 75-80%;

б) проведение процесса компостирования в удлиненных штабелях;

в) ворошение (перелопачивание) осадка;

г) принудительная аэрация;

д) увлажнение материала в процессе компостирования;

е) стабилизация – выдерживание материала в новых штабелях в течение 1-2 месяцев;

- готовый компост рекомендуется применять для удобрения площадей под лесопосадки, посадки кустарников, овощных, плодовоягодных, зерновых, кормовых и цветочных сельскохозяйственных культур;

- с экономической точки зрения, компостирование, как способ утилизации осадков сточных вод, отличается простотой, доступностью и достаточно низкой себестоимостью; применение проекта приготовления компоста позволит экономить средства предприятия, затрачиваемые на транспортировку, размещение и захоронение отхода, а также получать высококачественный материал для удобрения и восстановления почв.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного исследования проблемы применения отработанного активного ила показано, что в России большая часть отходов вывозится на захоронение; при этом бесцельно пропадают содержащиеся в них полезные природные компоненты, а также используются дополнительные площади, что оказывает неблагоприятное воздействие на окружающую среду. С каждым годом в России растет число исследований и разработок по применению активного ила в строительстве, биоэнергетике и сельском хозяйстве. Однако одним из наиболее перспективных методов использования активного ила в России и за рубежом остается изготовление на его основе органического удобрения.

Изучение деятельности предприятия ПАО «КуйбышевАзот» по применению активного ила выявило, что:

- рассматриваемый активный ил цеха №39 полностью соответствует заявленным требованиям и нормам для использования его в качестве сырья для приготовления компостного удобрения;

- органическое удобрение на основе активного ила имеет высокую агрохимическую ценность, оказывает положительное влияние на структуру и свойства почв; удобрение рекомендуется применять для рекультивации почв, обогащения истощенных земель, для улучшения биологической активности почвы и сопротивляемости растений болезням;

- благодаря применению методов биокомпостирования происходит возврат в почву органических веществ и сокращение использования химических удобрений;

- для эффективной подготовки активного ила к процессу компостирования необходимо соблюдать правила эксплуатации оборудования, технологический режим работы аэротенков и иловых площадок;

В диссертации предлагается система полевого компостирования отработанного активного ила предприятия с соблюдением следующих условий:

- соотношение между степенью загрязнённости сточных вод и количеством активного ила в аэротенке: оптимальная доза ила 4 мг/л;

- рекомендуемый состав сточных вод предприятия: концентрация биологического потребления кислорода ($BPK_{полн}$) – свыше 500 мг/л; соотношение $BPK_{полн}$ к химическому потреблению кислорода (ХПК) должно быть 1,2;

- рН сточных вод в пределах 6,5 – 8,5, температура сточных вод – не ниже 6°С, количество кислорода в аэротенке 1,0 – 3,0 г/дм³;

- рекомендуется увеличение количества иловых площадок с 4 до 6;

- для повышения продуктивности работы функционирующих иловых площадок рекомендуется проведение уплотнения осадка перед подачей на площадки, механического ворошения и удаления высушенного осадка с площадок, продувания осадка воздухом во время обработки и подогрева осадка на иловых площадках;

- перед компостированием: предварительное подсушивание осадка на иловых картах до влажности 75-80%;

- проведение компостирования в удлиненных штабелях;

- ворошение (перелопачивание) осадка;

- принудительная аэрация;

- увлажнение материала в процессе компостирования;

- повышение пористости компостируемого материала;

- стабилизация – выдерживание материала в новых штабелях в течение 1-2 месяцев.

Экономический эффект предлагаемой системы: при условии использования 25% отработанного активного ила для изготовления компостного удобрения ежегодная экономия платы за рекультивацию составит 67 794,33 руб.

На основании расчетов показано, что для обогащения азотом поля под картофель площадью 1 га потребуется внести 845 кг органического удобрения, полученного в результате биотермического компостирования активного ила цеха №39 ПАО «КуйбышевАзот».

Таким образом, готовый компост рекомендуется применять для удобрения площадей под лесопосадки, посадки кустарников, овощных, плодовыхгодных, зерновых, кормовых и цветочных сельскохозяйственных культур.

Компостирование, как способ утилизации осадков сточных вод, отличается простотой, доступностью и достаточно низкой себестоимостью; применение проекта приготовления компоста позволит экономить средства предприятия, затрачиваемые на транспортировку, размещение и захоронение отхода, а также получать высококачественный материал для удобрения и восстановления почв собственных полей предприятия и полей г.о. Тольятти, что будет способствовать повышению урожайности земель и общему улучшению агрохимических показателей почв.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Активный ил. Аэрация, питание активного ила [Электронный ресурс]: Строительство и ремонт квартиры своими руками. – 2013. – URL: <http://mastrekon.ru> (дата обращения 13.04.2019).

2 Антонова, Н.В. Разработка технического решения для подготовки стоков в контрольной емкости на стадии доочистки на примере предприятия ОАО «КуйбышевАзот» / Н.В. Антонова. – 2016. – 28-31 с.

3 Антропогенная деятельность – гигиенические аспекты использования сточных вод в сельском хозяйстве и в промышленности [Электронный ресурс]: Vuzlit – архив студенческих работ. – 2017-2019. – URL: <https://vuzlit.ru/1351987> (дата обращения 21.05.2019).

4 Аэротенки: виды, принципы работы, особенности [Электронный ресурс]: Эко Дача. – 2019. – URL: <https://topas-site.ru> (дата обращения 28.05.2019).

5 Аэротенки: как работает это сооружение биологической очистки сточных вод [Электронный ресурс]: Водоспец – строительный портал о водяных сооружениях. – 2019. – URL: <https://vodospes.ru> (дата обращения 15.02.2019).

6 Биотехнологические процессы в решении экологических задач [Электронный ресурс]: Wiki. – 2012. – URL: <https://www.chem-astu.ru/wiki> (дата обращения 24.03.2019).

7 Виды аэротенков для очистки сточных вод: обзор характеристик [Электронный ресурс]: Септики, автономная канализация для дома: советы, инструкции. – 2019. – URL: <https://howseptik.com> (дата обращения 18.02.2019).

8 Виды и принцип работы аэротенков [Электронный ресурс]: VodaKanazer.ru – Водоснабжение и канализация. – 2019. – URL: <https://vodakanazer.ru> (дата обращения 21.02.2019).

9 Гигиенические аспекты использования сточных вод в сельском хозяйстве и в промышленности [Электронный ресурс]: allbest. – 2000-2018. – URL: <https://otherreferats.allbest.ru> (дата обращения 15.11.2018).

10 ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 (редакция от 1.08.2008 г.). Охрана природы (ССОП). Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений [Электронный ресурс]: Консорциум кодекс. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения 20.04.2019).

11 Зайнуллин, Р.Р., Галяутдинов, А.А. Производство удобрений из осадков сточных вод / Р.Р. Зайнуллин, А.А. Галяутдинов // Международный научный журнал «Инновационная наука». – 2016. – №6. – С. 77-78.

12 Иловые площадки. Виды, расчет, эксплуатация [Электронный ресурс]: Ремонт квартиры своими руками. – 2013. – URL: <http://mastrekon.ru> (дата обращения 31.03.2019).

13 Иловые площадки и иловые пруды [Электронный ресурс]: Строй-справка.ру Отопление, водоснабжение, канализация. – 2008 – 2014. – URL: <http://stroy-spravka.ru> (дата обращения 04.03.2019).

14 Использование активного ила в качестве удобрения сельскохозяйственных культур в условиях радиоактивного загрязнения территории [Электронный ресурс]: Мир знаний. – URL: <http://mirznanii.com> (дата обращения 10.05.2019).

15 Использование активного ила [Электронный ресурс]: Чистый дом. – URL: <http://www.chisty-dom.com> (дата обращения 01.12.2017).

16 Использование иловых площадок на ОС: назначение [Электронный ресурс]: Эль Био – очистные сооружения и оборудование. – URL: https://yandex.ru/maps/org/el_bio (дата обращения 04.03.2019).

17 Как использовать активный ил? [Электронный ресурс]: Экотопас. – 2008-2019. – URL: <http://ekotopas.ru> (дата обращения 01.05.2019).

18 Как осуществляется компостирование отходов [Электронный ресурс]: Nature Time. – URL: <https://nature-time.ru> (дата обращения 18.12.2018).

19 Как правильно вносить удобрения для хорошего урожая картофеля и их виды [Электронный ресурс]: BUILDEXPERTS.RU Жизнь в частном секторе. – 2018-2019. – URL: <https://build-experts.ru> (дата обращения 30.05.2019).

20 Кирюшин, В.И. Экологизация земледелия и технологическая политика / В.И. Кирюшин // М. : Изд-во МСХА. – 2000. – С. 473.

21 Компостирование иловых осадков [Электронный ресурс]: Эм-Кооперация. – URL: <http://emcooperation.ru/> (дата обращения 18.12.2018).

22 Компостирование осадков сточных вод: расчеты, технология, применение [Электронный ресурс]: ЛЕКС. Консалтинг. – 2001-2019. – URL: <http://www.g-k-h.ru/directory/articles/263/6592> (дата обращения 24.03.2019).

23 Компостирование [Электронный ресурс]: Экология, справочник. – URL: <http://ru-ecology.info/term/42657> (дата обращения 25.12.2018).

24 Метантенк [Электронный ресурс]: Википедия. – 2015. – URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=75032747> (дата обращения: 26.05.2019).

25 Метантенки. Условия работы метаненка [Электронный ресурс]: Строительство и ремонт квартиры своими руками. – URL: <http://mastrekon.ru> (дата обращения 20.05.2019).

26 Николаева, Л.А., Исхакова, Р.Я. Энергоресурсосберегающая технология вторичного использования отходов теплоэнергетического комплекса [Электронный ресурс]: Молодой ученый. – 2015. – №20. – С. 51-55. – URL: <https://moluch.ru/archive/100/22515/> (дата обращения: 25.05.2019).

27 Описание технологического процесса. Цех №39 переработки органических и неорганических соединений (установка нитриденитрификации). – 2005 г. – С. 5.

28 Опыты по использованию активного ила как сырья для пластмасс. Осадки сточных вод [Электронный ресурс]: Библиотекарь.Ру. – 2006-2019. – URL: <http://www.bibliotekar.ru> (дата обращения 05.05.2019).

29 Органические удобрения на основе сточных вод [Электронный ресурс]: Агрохимия. – 2013. – URL: <http://agrohimija.ru> (дата обращения 08.04.2019).

30 Органическое земледелие. Что нужно знать дачнику о компосте [Электронный ресурс]: Секрет дачи.ru. – 2019. – URL: <http://secretdachi.ru> (дата обращения 30.05.2019).

31 Очистка сточных вод. Иловые площадки [Электронный ресурс]: Сад – GardenWeb. – URL: <http://gardenweb.ru> (дата обращения 25.03.2019).

32 Очистная станция Вайнхайм [Электронный ресурс]: MWM. Газовые двигатели MWM для Вашей когенерационной установки и блочной ТЭЦ в России. – 2019. – URL: <https://www.mwm.com.ru> (дата обращения 21.05.2019).

33 Песколовка [Электронный ресурс]: Материал из Википедии – свободной энциклопедии. – 2017. – URL: <https://ru.wikipedia.org> (дата обращения 20.05.2019).

34 Покровская, С.Ф. Ворошение компостных штабелей [Электронный ресурс]: ЦИиТЭИагропром. – URL: <http://www.cnsnb.ru/vniitei/bases/ics/r/94086881> (дата обращения 25.12.2018).

35 Полевое компостирование ТБО [Электронный ресурс]: Studwood.ru. – 2017-2019. – URL: <https://studwood.ru> (дата обращения 28.05.2019).

36 Постоянный Технологический Регламент цеха №39 Установки Нитриденитрификации промстоков производства капролактама №39. – 2004 г. – С. 7-16.

37 Проект нормативов образования отходов и лимитов на их размещение (ПНООПР) для ОАО «КуйбышевАзот» // Ответственный исполнитель: Малюкова Е.В. Самара, 2016. – С. 34.

38 СанПиН 2.1.7.573-96. Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения [Электронный ресурс]: Консорциум кодекс. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения 10.12.2018).

39 СанПиН 2.3.2.1078-01 (редакция от 6.07.2011 г.). Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов [Электронный ресурс]: Консорциум кодексов. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения 02.11.2018).

40 Способ утилизации активного ила [Электронный ресурс]: FindPatent.ru. – 2012-2019. – URL: <https://findpatent.ru/patent/208/2082700.html> (дата обращения 15.04.2019).

41 Сюняев, Х.Х., Жмыхова, Е.Н., Чудинова, С.Д. Влияние различных доз осадков городских сточных вод с иловых площадок на урожайность зерновых культур / Х.Х. Сюняев, Е.Н. Жмыхова, С.Д. Чудинова // Естествознание и гуманизм. Сборник научных работ. Под ред. Н.Н. Ильинских. – Томск. : СибГМУ – 2004. – Т.1. – №2. – С. 69.

42 Сюняев, Х.Х., Жмыхова, Е.Н., Чудинова, С.Д. Изменение агрохимических свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы под воздействием доз осадков городских сточных вод с иловых площадок / Х.Х. Сюняев, Е.Н. Жмыхова, С.Д. Чудинова // Естествознание и гуманизм. Сборник научных работ. Под ред. Н.Н. Ильинских. – Томск. : СибГМУ – 2004. – Т.1. – №2. – С. 70.

43 Сюняев, Х.Х., Сюняева, О.И., Тютюнькова, М.В. Результаты опытно-производственных испытаний осадков сточных вод в качестве удобрения кукурузы на зеленый корм / Х.Х. Сюняев, О.И. Сюняева, М.В. Тютюнькова // Естествознание и гуманизм. Сборник научных работ. Под ред. Н.Н. Ильинских. – Томск. : СибГМУ – 2005. – Т.2. – №3. – С. 42-43.

44 Сюняев, Х.Х., Сюняева, О.И., Устюжанина, О.А. Исследование эффективности применения осадков сточных вод в сфере АПК Калужской области / Х.Х. Сюняев, О.И. Сюняева, О.А. Устюжанина // Естествознание и гуманизм. Сборник научных работ. Под ред. Н.Н. Ильинских. – Томск. : СибГМУ – 2005. – Т.2. – №3. – С. 41-42.

45 Сюняев, Х.Х., Чибиев, Н.М. Использование ОСВ в качестве удобрения зерновых культур / Х.Х. Сюняев, Н.М. Чибиев // Калуга. : Сб. научных трудов КФ МСХА – 1994. – С. 25-27.

46 Термическая сушка осадков сточных вод [Электронный ресурс]: StudRef. – URL: <https://studref.com> (дата обращения 20.05.2019).

47 Тимакова, Д.Н., Ксенофонтов, Б.С. Использование активного ила в качестве биофлокулянта / Д.Н. Тимакова, Б.С. Ксенофонтов // Universum: Химия и биология. – 2016. – № 10(28). – С. 2.

48 Типовой технологический регламент использования осадков сточных вод в качестве органического удобрения [Электронный ресурс]: ПротосЭкспертиза. Промышленная и экологическая безопасность. – URL: <https://library.fsetan.ru> (дата обращения 26.12.2018).

49 Топливо из ила [Электронный ресурс]: Газета «Энергетика и промышленность России». №20 (232). – 2013. – URL: <https://www.eprussia.ru> (дата обращения 25.05.2019).

50 Утилизация активного ила [Электронный ресурс]: Биология. – 2007-2016. – URL: <http://biofile.ru> (дата обращения 12.05.2019).

51 Утилизация осадков сточных вод очистных сооружений посредством компостирования [Электронный ресурс]: Мой образовательный портал. – 2013. – URL: <http://myuniversity.ru> (дата обращения 20.12.2018).

52 Утилизация осадков сточных вод путем компостирования с торфом [Электронный ресурс]: Studref. – 2017-2019. – URL: <https://studref.com> (дата обращения 08.04.2019).

53 Характеристика песколовок для очистки сточных вод [Электронный ресурс]: Септики, автономная канализация для дома: советы, инструкции. – 2019. – URL: <https://howseptik.com> (дата обращения 27.05.2019).

54 Яшин, И.М., Шишков, П.А., Раскатов, В.А. Почвенно-экологические исследования в ландшафтах / И.М. Яшин, П.А. Шишков, В.А. Раскатов. – М. : Изд-во МСХА, 2000. – 560 с.

55 Biohumus Organic Fertilizer %100 Naturel [Electronic References]: Alibaba.com. – 1999-2019. – URL: <https://biohumus.trustpass.alibaba.com> (date read 20.04.2019).

56 Biology: What is Life? life study of Properties of Life [Electronic References]: SlidePlayer. – 2019. – URL: <https://slideplayer.com/slide/735663/> (date read 25.05.2019).

57 On-Farm Composting [Electronic References]: Campus. – 2018. – URL: <https://campus.extension.org> (date read 27.05.2019).

58 Rotifers And Nematodes [Electronic References]: Kelmec Medical » Wastewater Bacteria. – URL: <http://www.kelmecmedical.us> (date read 25.05.2019).

59 The Weinheim Waste Treatment Plant produces some 150% of its own electricity [Electronic References]: MWM. Energy. Efficiency. Environment. – 2019. – URL: <https://www.mwm.com.ru> (date read 21.05.2019).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Требования к составу и свойствам осадков для использования их в качестве органического удобрения

Таблица А.1 - Агрохимические показатели осадков [10]

Наименование показателя	Норма	Метод определения
Массовая доля органических веществ, % на сухое вещество, не менее	20	ГОСТ 26213-91
Реакция среды (рН)	5,5-8,5	ГОСТ 26483-85 (ред. от 12.09.2018)
Массовая доля общего азота (N), % на сухое вещество, не менее	0,6	ГОСТ 26715-85 (ред. от 12.09.2018)
Массовая доля общего фосфора (PO), % на сухое вещество, не менее	1,5	ГОСТ 26717-85 (ред. от 12.09.2018)

Таблица А.2 – Допустимое содержание валовых форм тяжелых металлов и мышьяка в осадках [10]

Наименование металла	Концентрация, мг/кг сухого вещества, не более, для осадков группы	
	I	II
Свинец (Pb)	250	500
Кадмий (Cd)	15	30
Никель (Ni)	200	400
Хром (Cr)	500	1000
Цинк (Zn)	1750	3500
Медь (Cu)	750	1500
Ртуть (Hg)	7,5	15
Мышьяк (As)	10	20

Таблица 3 - Санитарно-бактериологические и санитарно-паразитологические показатели осадков [10]

Наименование показателя	Норма для осадков группы		Методика определения
	I	II	
Бактерии группы кишечной палочки, клеток/г осадка фактической влажности	100	1000	МУ 2.1.7.730-99 Гигиеническая оценка почвы населенных мест
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	МУК 4.2.796-99 Методы санитарно-паразитологических исследований окружающей среды. МЗ РФ 2000 г.