

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»

(наименование)

18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,
нефтехимии и биотехнологии

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов

(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Разработка плана по рекультивации полигона ТКО

Студент

Г.А. Тузаев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доцент, М.В. Кравцова

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

Тольятти 2021

Аннотация

Тема выпускной квалификационной работы – «Разработка плана по рекультивации полигона ТКО». Целью работы является разработка мероприятий по рекультивации нарушенных загрязненных земель.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки на 58 страницах, включающей 12 рисунков, 3 таблицы и 45 источников литературы.

После анализа технической литературы в качестве наиболее перспективного решения была выбрана технология рекультивации полигона методом термической обработки.

Был исследован зарубежный и отечественный опыт рекультивации полигонов.

В ходе анализа морфологического состава твердых коммунальных отходов был подобран ряд технологических мероприятий. Было установлено, что наиболее эффективным, быстродействующим и рациональным с точки зрения занимаемых территорий способом рекультивации является термическая обработка. Так же данный способ зарекомендовал себя в мировой практике за счет минимизации воздействия на окружающую среду и как производитель возобновляемой энергии.

Исходя из недостатков и преимуществ термической переработки, был выбран метод сжигания ТКО. Но полностью рекультивировать загрязненные земли возможно только при использовании комплекса мероприятий, который включает в себя: очистку фильтрационный стоков полигона, сортировку ТКО (стекло, металл, полимеры) для дальнейшего использования, сжигание оставшихся отходов, создание рекультивационного слоя и благоустройство территории.

Так же был рассчитан материальный баланс, результат которого указывает на эффективность предлагаемой технологии в области рекультивации нарушенных загрязненных земель.

Содержание

Введение	6
1 Литературный обзор в области рекультивации полигонов ТКО	8
1.1 Теоретический анализ исследований в области рекультивации полигонов.....	8
1.2 Характеристика этапов жизненного цикла полигона захоронения отходов.....	10
1.3 Зарубежные требования к мониторингу полигонов	12
1.3.1 Требования к мониторингу подземных вод	12
1.3.2 Отечественные требования к полигонам.....	18
1.4 Современный международный опыт захоронения твердых коммунальных отходов на полигонах.....	21
1.5 Особенности рекультивации в России	27
1.6 Анализ морфологического состава ТКО	29
2 Технологические особенности рекультивации полигонов	30
2.1 Выбор оптимальной технологии рекультивации.....	30
2.1.1 Особенности технического этапа.....	32
2.1.2 Особенности биологического этапа рекультивации полигона ТБО.....	33
2.1.3 Варианты проектов рекультивации полигонов	33
2.2 Обоснование выбора метода термической обработки.....	35
2.3 Предлагаемая технология рекультивации полигона	37
2.3.1 Сжигание отходов.....	38
2.3.2 Рекомендуемые технические решения и технологии очистки фильтрационных вод проектируемых полигонов и полигонов, находящихся на стадии активной эксплуатации	40
3 Экспериментальная часть	43
3.1 Оценка степени загрязнения проб	43
4 Расчетная часть.....	46

4.1 Расчет образования фильтрата и инфильтрата с тела полигона ТКО при разных плотностях захоронения	46
4.2 Расчет материального баланса	47
Заключение	52
Список используемой литературы и используемых источников	54
Приложение А Характеристика этапов жизненного цикла полигона захоронения отходов.....	59
Приложение Б Основные компоненты обнаружения на этапе мониторинга полигона.....	62
Приложение В Нормирование вредных веществ, загрязняющих атмосферный воздух на территории полигона.....	63
Приложение Г Нормирование показателей, загрязняющих подземные воды	64
Приложение Д Нормирование показателей, загрязняющих почвенный покров	65
Приложение Е Технологии рекультивации, используемые в странах Западной Европы.....	66
Приложение Ж Общие характеристики для разных категорий объектов захоронения отходов.....	68
Приложение З Варианты проектов рекультивации полигонов.....	69
Приложение И Сравнительные характеристики трёх методов сжигания отходов.....	71
Приложение К Результаты экспериментальной части.....	73

Список сокращений

ТКО – твердые коммунальные отходы

ПТС – природно-техногенная система

ОВОС – оценка воздействия на окружающую среду

ОС – окружающая среда

КФНА США – кодекс федеральных нормативных актов Соединенных Штатов Америки

СЗГВ – стандарт защиты грунтовых вод в США

ЗБПВ – закон о безопасной питьевой воде

МУЗ – максимальный уровень загрязнения

СЗЗ – санитарно-защитная зона

ПНД Ф – природоохранные нормативные документы федеративные

ГОСТ – государственный стандарт

НД – нормативный документ

МВИ – методика выполнения измерений

pH – водородный показатель

НП – нефтепродукты

КХА – количественный химический анализ

Введение

«В России практически весь объем образуемых твердых коммунальных отходов (ТКО) (96%) захоранивается на полигонах, санкционированных и нелегальных свалках, которые в совокупности с компонентами прилегающей геосреды рассматриваются как сложные природно-техногенные системы (ПТС). В массиве полигона протекают процессы биохимического и химического разложения отходов, формирующие эмиссии загрязняющих веществ (в виде биогаза и фильтрата), оказывающих негативное воздействие на геосферные оболочки, как на этапе эксплуатации объекта, так и после его закрытия и рекультивации.

На протяжении этапов жизненного цикла полигона происходят процессы стабилизации отходов, снижается воздействие массива захоронения отходов на компоненты геосреды. От совокупности форм и состояния взаимодействия полигона (техногенная составляющая) с природной системой на этапах жизненного цикла зависит функционирование ПТС. Несомненный интерес и большое практическое значение имеет оценка стабильности отходов в массиве захоронения на разных этапах жизненного цикла и оценка состояния полигонов захоронения ТКО как элементов ПТС. Под стабильными отходами понимаются такие отходы, при разложении которых эмиссии загрязняющих веществ не оказывают негативного воздействия на окружающую среду и здоровье человека.

Уровень воздействия полигона захоронения отходов на геосферные оболочки зависит от многих факторов, в том числе от компонентного состава и влажности отходов, климатических условий, технологий эксплуатации полигона, качественных и количественных параметров эмиссий, наличия применяемых природоохранных сооружений и т.д. Это обуславливает актуальность выбора технических мероприятий по обеспечению безопасного уровня геоэкологического воздействия объектов захоронения ТКО» [7].

Целью работы выступает разработка мероприятий по рекультивации нарушенных загрязненных земель.

А связи с поставленной целью необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать существующие зарубежные и отечественные технические решения по рекультивации земель;
- провести теоретический анализ ТКО Самарской области; - провести экспериментальные исследования проб с полигона;
- изучить требования к современным полигонам;
- оценить преимущества и недостатки существующих способов рекультивации;
- обосновать выбор предложенных мероприятий;
- провести расчет материального баланса предложенной технологии.

Для решения задач выпускной квалификационной работы были использованы следующие методы исследования: теоретические – анализ источников и литературы в фокусе изучаемой проблемы, синтез, абстрагирование и прочее; эмпирические – наблюдение, изучение документации, изучение технологий промышленной деятельности организаций и прочее.

Объект исследования – полигон ТКО.

Предмет исследований – методы рекультивации полигонов ТКО.

Научная новизна исследования заключается в комплексном методологическом подходе к решению вопроса рекультивации полигонов термическими методами.

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка используемых источников.

1 Литературный обзор в области рекультивации полигонов ТКО

«Организация эффективного управления образованием и потреблением отходов – одна из самых актуальных экологических проблем Российской Федерации. Проблема связана с организацией сбора, образованием, транспортировкой, переработкой, утилизацией отходов и их нейтрализацией. Среди обсуждаемых аспектов можно выделить следующие:

- необходимость решения проблем двойственного характера, связанных как с охраной окружающей среды, так и с вопросами ресурсосбережения, рециркуляцией и повторного использования отходов;

- неуклонное увеличение вывозимых отходов, т.е. необходимость постоянного выделения новых земель под хранение и захоронение отходов, а также рекультивация нарушенных (загрязненных, деградированных) земель в пределах территории закрытых полигонов и свалок;

- территориальная специфика проблемы, связанная с тем, что основная масса промышленных отходов генерируется в относительно небольшом количестве регионов, то есть в местах расположения химических, нефтехимических, металлургических, целлюлозно-бумажных отраслей, а также отходы в области горнодобывающей промышленности. Однако муниципальные твердые отходы, образуются повсеместно, но при этом утилизируются на территории Российской Федерации очень неравномерно» [10].

1.1 Теоретический анализ исследований в области рекультивации полигонов

«Полигоны твердых коммунальных отходов представляют специальные сооружения, которые обеспечивают требуемую изоляцию и обезвреживание отходов» [24]. Существуют требования к организации и обеспечению безопасной работы полигонов, а именно, необходимо вести

контроль над изменениями уплотнений, газовыделениями, статической устойчивости, проводится анализ максимальной загрузки полигона, возможности возврата в хозяйственный оборот. «Полигоны для размещения ТКО представляют сложенные техногенными образованиями пласты, в которых в различных концентрациях находятся различные по генезису и составу вещества» [26]. Принципиальная схема устройства полигона для санитарного захоронения ТКО представлена на рисунке 1.

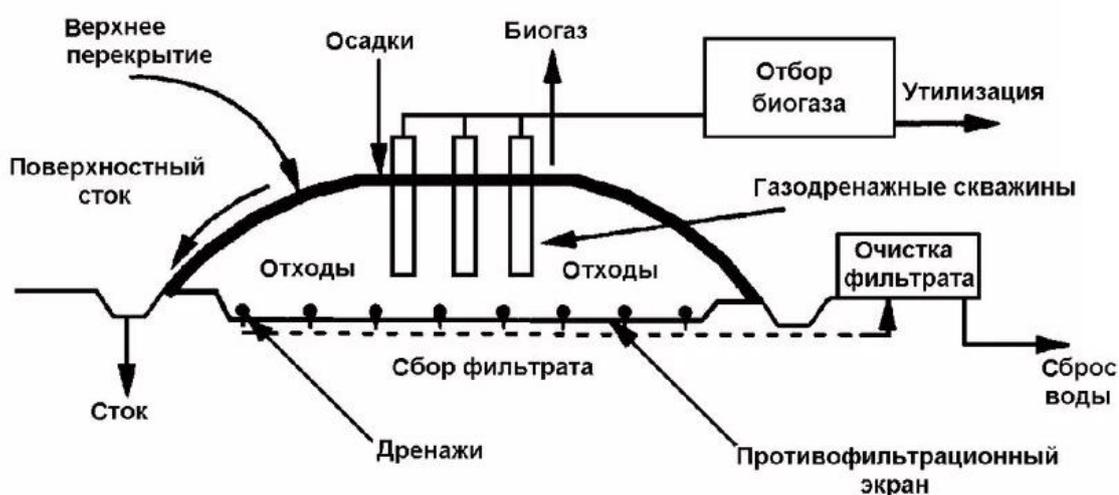


Рисунок 1 – Принципиальная схема устройства полигона для санитарного захоронения ТКО

«Полигон - это сложная антропогенно-геологическая система, функционирующая длительное время и воздействующая на окружающую природную среду в течение десятилетий, где протекают физико-химические, химические, биохимические и микробиологические процессы, сопровождающиеся деградацией сложных органических веществ отходов, эмиссией в атмосферу веществ, обладающих неприятными запахами, образуются фильтрационные воды и биогаз» [35]. Они загрязняют приземный воздух, грунтовые воды и почвы, создают пожаро- и взрывоопасные условия. «Уменьшение объема отходов в результате их разложения, выделение газов приводят к просадке грунта» [29].

«Различные стадии биодеструкции ТКО сопровождаются последовательной сменой микробиологических процессов и качественными и количественными изменениями фильтрационных вод и биогаза» [8].

Рекультивация полигонов – это относительно новый подход, используемый для решения проблем муниципальных полигонов твердых коммунальных отходов (ТКО) и избежание высоких затрат на приобретение дополнительных земель. Затраты на рекультивацию часто компенсируются продажей или использованием восстановленных материалов, таких как вторсырье, почва и отходы, которые можно сжигать в качестве топлива.

Несмотря на многочисленные преимущества, существуют некоторые потенциальные недостатки рекультивации полигонов.

Эта технология может выделять метан и другие газы, например, которые образуются в результате разложения отходов. А также может выделяться неопределенное количество опасных веществ, устранение которых может быть дорогостоящим. Кроме того, земляные работы задействованы в рекультивации могут привести к потоплению или обрушению прилегающих территорий полигона.

Для выявления потенциальных проблем региональные операторы полигонов рассматривают возможность рекультивации, но прежде необходимо провести анализ характеристик, и уже после разрабатывать мероприятия по очистке загрязненных площадей.

1.2 Характеристика этапов жизненного цикла полигона захоронения отходов

«Жизненный цикл полигона захоронения отходов является элементом жизненного цикла техногенных отходов и охватывает весь период функционирования объекта» [19].

Под периодом функционирования полигона понимается отрезок времени, на протяжении которого складированные в массиве полигона

отходы обладают потенциальной опасностью. «Анализ жизненного цикла объекта захоронения отходов позволил выделить семь основных этапов существования полигона. Данный анализ представлен в таблице А.1 приложения А.

Продолжительность жизненного цикла составляет сотни и тысячи лет. Окончанием жизненного цикла является ассимиляция захороненных отходов окружающей средой.

Этапы жизненного цикла полигона характеризуют состояние полигона (тип поверхности, температуру в массиве отходов, протекающие процессы биологического разложения, эмиссии в геосреду). Каждый этап определяет закономерности формирования количественных и качественных характеристик биогаза и фильтрата, возможность их проникновения объекты окружающей среды. Анализ закономерностей формирования эмиссии загрязняющих веществ полигонов необходимо осуществлять с учетом его жизненного цикла. Захороненные отходы должны достигнуть качества «окончательного хранения» примерно через 30 лет после складирования их на полигоне. Массив полигона захоронения отходов должен достигнуть «инертного» состояния, чтобы эмиссии такого полигона не оказывали негативного воздействия на объекты окружающей среды в течение длительного периода времени» [6]. «В настоящее время возникла необходимость создания управляемых природно-техногенных систем (ПТС), позволяющих поддерживать и регулировать состояние компонентов геосреды, не допуская их ухудшения до уровня, оказывающего негативное воздействие на жизнедеятельность человека и других организмов. Управляемый полигон захоронения как часть ПТС может выполнять задачи, направленные на предупреждение или предотвращение негативного воздействия на состояние основных компонентов геосреды» [11].

1.3 Зарубежные требования к мониторингу полигонов

1.3.1 Требования к мониторингу подземных вод

Почти все владельцы и операторы полигонов обязаны контролировать подземные воды на предмет загрязнения в течение их активной жизни и в период окончательного закрытия полигонов. Исключением из этого требования являются небольшие свалки, на которые поступает менее 20 тонн твердых отходов в день, и объекты, которые могут продемонстрировать отсутствие потенциала для миграции опасных компонентов в подземные воды. Все остальные показатели должны соответствовать требованиям к мониторингу подземных вод, изложенным в разделе 40 Кодекса федеральных нормативных актов (КФНА США).

Владельцы и операторы объектов должны установить систему мониторинга подземных вод, которая может собирать пробы из самого верхнего водоносного горизонта (т.е. определяемого как геологическая формация, ближайшая к естественной поверхности, способная давать значительное количество подземных вод в скважины или источники) для мониторинга подземных вод. Система мониторинга подземных вод состоит из серии скважин, расположенных с уклоном вверх и уклоном вниз. Пробы из скважин с повышенным градиентом показывают фоновые концентрации компонентов в подземных водах, в то время как скважины с пониженным градиентом показывают степень загрязнения подземных вод. «Необходимое количество скважин, расстояние между ними и глубина скважин определяются для конкретного участка на основе толщины водоносного горизонта, скорости и направления потока подземных вод, а также других геологических и гидрогеологических характеристик участка. Все системы мониторинга подземных вод должны быть сертифицированы квалифицированным специалистом по подземным водам и должны соответствовать процедурам отбора проб и анализа, изложенным в правилах» [1-5].

1.3.1.1 Загрязняющие вещества, выделяющиеся в подземные воды

Владелец или оператор полигона контролирует 62 компонента, перечисленных в Приложении I к части 258 40 КФНА США, на этапе мониторинга обнаружения. Основные компоненты представлены в таблице Б.1 приложения Б.

Мониторинг включает в себя отбор проб, по крайней мере, раз в полгода в течение всего активного срока службы учреждения и периода ухода после закрытия. Частота отбора проб определяется государственным регулирующим органом на конкретной территории.

Если один из 62 компонентов обнаружен на статистически значимо более высоком уровне, чем установленный фоновый уровень, на этапе мониторинга обнаружения, владелец/операторы полигона должны уведомить государственное регулирующее агентство. Объект должен разработать программу мониторинга оценки в течение 90 дней, если только владелец/операторы не смогут доказать, что обнаружение компонента(ов) было результатом одной из следующих причин:

- ошибка выборки, анализа или статистической оценки (т. е. ложный положительный результат);
- естественное колебание качества подземных вод;
- или вызвано другим источником

1.3.1.2 Мониторинг оценки полигона

Владелец/оператор должен начать программу мониторинга оценки в течение 90 дней с момента обнаружения статистически значимого увеличения компонентов, перечисленных в таблице 1. Пробы должны быть взяты из всех скважин и проанализированы на наличие всех 214 компонентов, перечисленных в Приложении II к Части 258 40 КФНА США, в качестве первого шага. Владелец/операторы должны затем установить фоновые уровни для этих компонентов и установить стандарт защиты грунтовых вод (СЗГВ) для каждого, если будут обнаружены какие-либо из компонентов, перечисленных в Приложении II к Части 258 40 КФНА США.

СЗГВ представляет собой максимально допустимый уровень компонентов в подземных водах и основан либо на Законе о безопасной питьевой воде (ЗБПВ), либо на Максимальном уровне загрязнения (МУЗ) для этого компонента, либо на фоновом уровне подземных вод, на объекте, если МУЗ не существует. Фоновый уровень используется для СЗГВ в тех случаях, когда фоновый уровень для конкретного сайта выше, чем МУЗ.

Владелец/операторы должны провести повторную выборку для всех ранее обнаруженных компонентов, перечисленных в Приложении II к Части 258 40 КФНА США, в течение 90 дней с момента установления фоновых уровней и СЗГВ. Затем повторная выборка должна повторяться, по крайней мере, раз в полгода. Установка может вернуться к фазе мониторинга обнаружения, если не будет обнаружено превышения СЗГВ ни одного из компонентов Приложения II к Части 258 40 КФНА США для двух последовательных событий отбора проб. «Тем не менее, владелец/операторы владелец/оператор должны охарактеризовать характер выброса, определить, переместилось ли загрязнение за пределы объекта, и начать оценку корректирующих мер, если какой-либо из компонентов обнаружен на статистически значимом уровне выше, чем СЗГВ.

Средство правовой защиты выбирается и начинается корректирующее действие на основе оценки корректирующих мер. Любая выбранная корректирующая мера должна быть направлена на защиту здоровья человека и окружающей среды, соответствовать СЗГВ, контролировать источник(ы) выброса для предотвращения дальнейших выбросов и управлять любыми твердыми отходами» [1-5]. Объект должен продолжать эти действия по исправлению положения до тех пор, пока он не будет соблюдать СЗГВ в течение трех лет подряд и не сможет продемонстрировать, что все необходимые действия были выполнены.

1.3.1.3 Требования к уходу при закрытии и после закрытия

Критериев для полигонов твердых коммунальных отходов

Требования к закрытию и уходу после закрытия устанавливаются минимальные требования, которые владелец/операторы должны соблюдать, как только полигон прекратит прием отходов и начнет закрываться. Владелец/операторы также обязаны продолжать мониторинг и техническое обслуживание полигона после его закрытия для защиты от попадания опасных компонентов в окружающую среду. Правила ухода за закрытием и после закрытия можно найти в 40 КФНА США, Часть 258, подраздел F-Уход за закрытием и после закрытия.

1.3.1.4 Закрытие полигона

Стандарты закрытия требуют, чтобы владелец/операторы установили систему окончательного покрытия, чтобы свести к минимуму проникновение жидкостей и эрозию почвы. Проницаемость конечного покрытия должна быть меньше, чем у нижележащей системы вкладышей, но не более $1,0 \cdot 10^{-5}$ см/сек. Это требование помогает предотвратить «эффект ванны», когда жидкости проникают через систему верхнего покрытия, но удерживаются более проницаемой нижележащей системой вкладышей. Это приводит к заполнению свалки водой (например, ванной), увеличивая гидравлический напор в системе вкладышей, что может привести к утечке загрязненной жидкости (фильтрата) и загрязнению запасов подземных вод.

«Система окончательного покрытия должна включать слой инфильтрации не менее 18 дюймов земляного материала, покрытый слоем эрозии не менее 6 дюймов земляного материала, который способен поддерживать естественный рост растений. Может быть использована альтернативная конструкция покрытия, если она обеспечивает эквивалентную защиту от проникновения и эрозии. Эти альтернативные проекты должны быть одобрены директором утвержденной и утвержденной государственной программы» [22], [37].

1.3.1.5 Планы закрытия полигона

Каждый владелец полигона обязан подготовить письменный план закрытия, в котором описываются шаги, необходимые для закрытия

подразделения в соответствии с требованиями к закрытию. Этот план должен включать следующую информацию:

- Описание окончательной конструкции крышки и методов и процедур ее установки;
- Оценка наибольшей площади свалки, требующей окончательного покрытия;
- Оценка максимального количества отходов на месте в течение активного срока службы полигона;
- График выполнения всех необходимых мероприятий по закрытию.

Владелец/оператор должен начать операции по закрытию в течение 30 дней после того, как владелец/оператор получит свою окончательную партию отходов. Однако владелец/оператор может отложить закрытие на срок до одного года, если останутся дополнительные мощности. Дальнейшие задержки по истечении одного года требуют одобрения государственного директора. Все мероприятия по закрытию должны быть завершены в течение 180 дней (за исключением продления со стороны государственного директора) после начала. Владелец/операторы должны затем подтвердить, что закрытие было завершено в соответствии с официальным планом закрытия после завершения закрытия. Эта сертификация должна быть подписана независимым, зарегистрированным профессиональным инженером или государственным директором. После этого владелец/операторы владелец/оператор также должны сделать запись в документе об имуществе, указывающую, что земля использовалась в качестве свалки и что она запрещена к дальнейшему использованию.

1.3.1.6 Уход за территорией после закрытия полигона

Мероприятия по уходу после закрытия состоят из мониторинга и обслуживания систем локализации отходов и мониторинга подземных вод, чтобы гарантировать, что отходы не выходят и не загрязняют окружающую среду. Необходимый период ухода после закрытия составляет 30 лет с

момента закрытия сайта, но он может быть сокращен или продлен директором утвержденной государственной программы. Это может помочь обеспечить защиту здоровья человека и окружающей среды.

Конкретные требования по уходу после закрытия заключаются в поддержании целостности и эффективности следующих мероприятий:

- Система окончательного покрытия;
- Система сбора фильтрата;
- Система мониторинга подземных вод;
- Система мониторинга метанового газа.

Владелец/оператор закрытого владения/оператор должен подготовить письменный план ухода после закрытия, в котором содержится следующая информация:

«Описание всех необходимых мероприятий по мониторингу и техническому обслуживанию, включая частоту, с которой будет выполняться каждое мероприятие

Имя, адрес и номер телефона лица, с которым необходимо связаться в период оказания медицинской помощи после закрытия

Описание планируемого использования земли в период ухода после закрытия» [20].

Любое использование земли в течение этого периода не должно нарушать целостность или работу какой-либо из систем локализации отходов или систем мониторинга. Владелец/оператор должен подтвердить, что уход после закрытия был завершен в соответствии с официальным планом ухода после закрытия после периода ухода после закрытия. Этот сертификат должен быть подписан независимым, зарегистрированным профессиональным инженером или государственным директором. После подписания сертификат заносится в отчет об эксплуатации объекта.

1.3.2 Отечественные требования к полигонам

На территории Российской Федерации действует свод правил СП 320.1325800.2017 от 18.05.2018 года «Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация».

«Настоящий свод правил распространяется на проектирование, эксплуатацию и рекультивацию полигонов для твердых коммунальных отходов (ТКО).

В данном своде правил прописаны следующие основные требования к полигонам:

Полигоны не допускаются к размещению на территории зон санитарной охраны водоисточников и минеральных источников, во всех зонах охраны курортов, в местах выхода на поверхность трещиноватых пород, в местах выклинивания водоносных горизонтов, в местах массового отдыха населения и оздоровительных учреждений.

Санитарно-защитная зона (СЗЗ) – специальная территория с особым режимом использования, размер которой обеспечивает уменьшение воздействия загрязнения на атмосферный воздух (химического, биологического, физического) до значений, установленных гигиеническими нормативами» [42]. Санитарно-защитная зона представлена на рисунке 2.

«Для усовершенствованных свалок в соответствии с СанПиНом 2.2.1/2.1.1.1200-03 СЗЗ устанавливается – 1000 м.

Для полигонов ТБО в соответствии со сводом правил по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов ТКО СЗЗ устанавливается – 500 м.

Для мусоросжигательных и мусороперерабатывающих предприятий СЗЗ устанавливается – 500 м» [40].

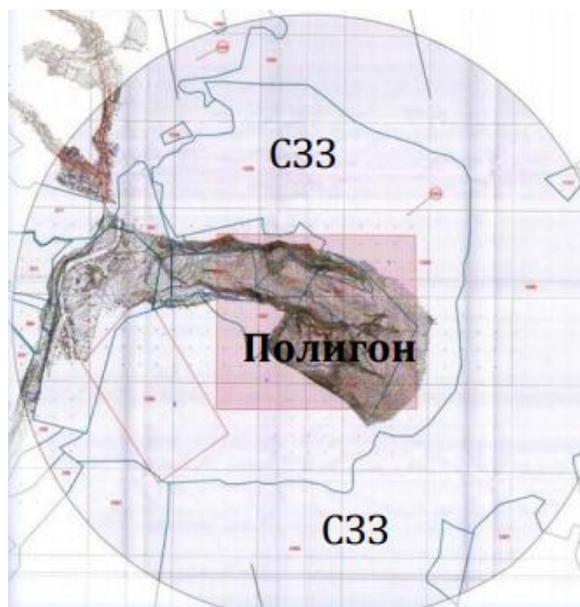


Рисунок 2 – Санитарно-защитная зона полигона

1.3.2.1 Мониторинг состояния атмосферного воздуха

«Согласно СП 2.1.7.1038-01 «Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов» анализы проб атмосферного воздуха необходимо производить ежеквартально.

Программой мониторинга предусматривается опробование приземного слоя атмосферы на теле полигона и на границе санитарно-защитной зоны. Опробование атмосферного воздуха включает отбор и анализ проб атмосферного воздуха в 4-х пунктах наблюдений:

- пункт № 1 – южная сторона на участке захоронения отходов;
- пункт № 2 – северная сторона, на въезде на полигон;
- пункт № 3 – на западной границе санитарно-защитной зоны;
- пункт № 4 – на восточной границе санитарно-защитной зоны;

В соответствии с действующим проектом ПДВ отбор и анализ проб воздуха должен также осуществляться с трёх неорганизованных источников выбросов:

- Выброс биогаза;
- Ссыпка и уплотнение отходов;

– Работа механизмов в технологии захоронения отходов» [31].

Нормирование вредных веществ, загрязняющих атмосферный воздух на территории полигона, представлены таблицами В.1 и В.2 Приложения В.

1.3.2.2 Мониторинг подземных вод

«Для проведения мониторинга грунтовых вод пробурено три пьезометрических скважины:

– скважина № 1 – фоновая; располагается выше по потоку от полигона, в 20 м за магистральным каналом;

– скважина № 2 – фоновая; пробурена между каналом и северной границей полигона, чтобы учесть возможное влияние сточных вод канала на подземные;

– скважина № 3- контрольная; размещена юго-западной полигона, учитывая направление потока подземных вод, в створе с двумя первыми» [45].

Нормирование показателей, загрязняющих подземные воды, представлено в таблице Г.1 Приложения Г.

1.3.2.3 Мониторинг почвенного покрова

«Согласно СП 2.1.7.1038-01 «Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов» качество почвы должно ежегодно контролироваться по химическим, микробиологическим, радиологическим показателям.

Опробование проводится в осенний период (сентябрь-октябрь), т.е. в период максимального накопления. Отбор проб осуществляется с территории санитарно-защитной зоны полигона

Имеющиеся результаты анализов характеризуют качество почвы в санитарно-защитной зоне полигона в совокупности с другими источниками загрязнения, поэтому оценка непосредственного влияния полигона на качество почвы затруднена» [21], [34], [39].

Нормирование показателей, загрязняющих почвенный покров, представлено в таблице Д.1 Приложения Д.

Воздействие полигона на почву и геологическую среду делятся на 3 направления. Данные направления представлены рисунком 3.

1.4 Современный международный опыт захоронения твердых коммунальных отходов на полигонах

Охрана окружающей среды в современном мире становится единым целым среди высших приоритетов государства. Причины динамичного развития мегаполисов – увеличение количества мусора на свалках, что, в свою очередь, приводит к загрязнению воздуха, почвы, грунтовых и поверхностных вод. Вот почему необходимо:

- заблаговременно проектировать новые полигоны, соответствующие действующим требованиям;
- проводить своевременную рекультивацию полигонов при их заполнении до проектного уровня;
- выполнять комплексное восстановление хозяйственной ценности земель, использованных как полигоны твердых бытовых отходов, а участки сдавать в пользование по целевому назначению. На рисунке 3 представлено воздействие объекта на почвы и геологическую среду.

Согласно «Проблемному анализу и оценке отходов производства и потребления в России», Россия производит 90 млрд тонн отходов в год, которые скапливаются на общей площади около 4 млн га. Ежегодно под свалку отводится 0,4 млн га. В свою очередь объем отходов увеличивается на 5 млрд тонн ежегодно. 91 % отходов – это побочный продукт добычи полезных ископаемых, 4,3 % связаны с металлургией, 1,5 % – с производством и транспортировкой энергии, газа и воды, 0,3 % – строительство, 0,6 % - химическая промышленность, 2,3% составляют прочие отходы, в том числе твердые бытовые отходы.

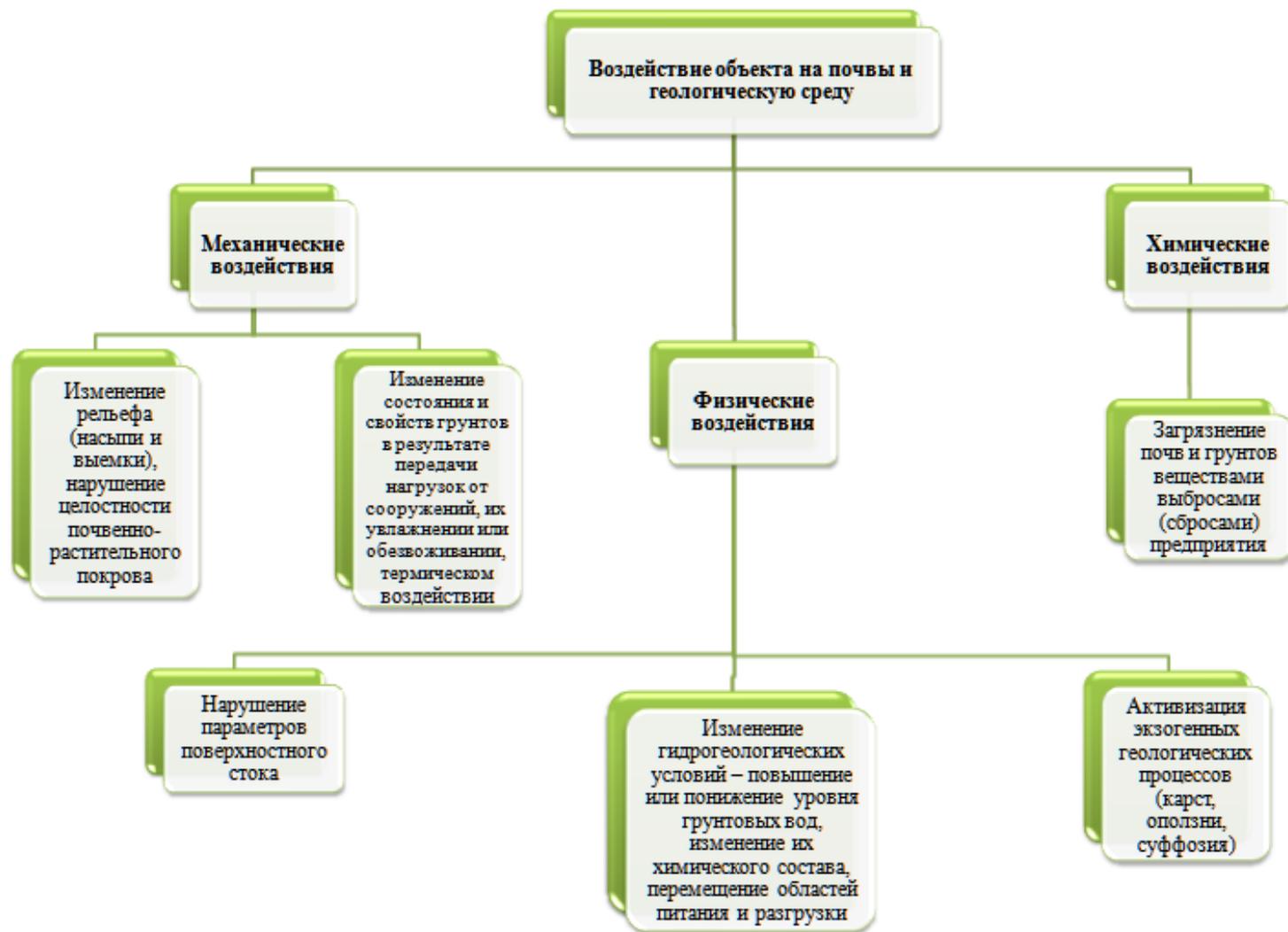


Рисунок 3 – Воздействие объекта на почвы и геологическую среду

Имеется более 1000 полигонов отходов, 15000 разрешенных полигонов, 17000 мест несанкционированных свалок и 13000 несанкционированных свалок мусора в России. Российская федерация перерабатывает менее 40 % промышленных отходов и менее 10 % твердых бытовых отходов.

Это осуществляется 40 мусоросжигательными заводами, 296 мусороперерабатывающими заводами и 53 мусороперерабатывающими заводами, имеющими сортировочные комплексы, материалы и необходимые технологии.

Несоблюдение правил и норм в соответствии с действующим законодательством оказывает негативное влияние на комфорт жизни и здоровье населения.

Отсутствие достоверной информации о количестве и морфологическом составе отходов, вызванное плохой регистрацией приемки ТКО, существенно затрудняет проведение рекультивационных работ.

Рекультивация таких свалок требует большой подготовительной проработки и комплексные инженерные изыскания (гидрогеологические, геологические, почвенно-атмосферные, радиологические и так далее.). Эти факторы провоцируют появление несанкционированных свалок, которые создаются и используются без соответствия любым требованиям по охране окружающей среды и здоровья населения.

«Ежегодно, в мире образуется около 720 млрд. тонн отходов производства и потребления, что негативно сказывается на экологической ситуации населенных территорий» [44].

«Проблема утилизации отходов на сегодняшний день является достаточно острой во всём мире, в особенности в крупных городах. Один среднестатистический житель крупного города производит не менее 1 кг отходов в сутки. Ориентировочная норма накопления в России - 330 кг на душу населения, что значительно меньше, чем в Европе с соответствующим показателем в 510 кг» [25].

«Захоронение ТКО на полигонах и свалках является самым распространенным методом обращения с отходами в Российской Федерации. Практически весь объем образуемых отходов (около 96%) размещается на полигонах или свалках.

В мировой практике известно более 20 способов обезвреживания и утилизации ТКО. Наибольшее распространение получили следующие технологии: захоронение на полигоне (свалке), сжигание, вторичное использование, компостирование» [27,28].

«Для сравнения по данным за 2017 г. в странах Европейского союза захоранивалось без обработки только 23 % всех образующихся отходов, сжигалось около 38 %, утилизировалось около 25 % и компостировалось около 14 %» [30]. «Обращение с ТКО в разных странах осуществляется в соответствии с экономическими возможностями, требованиями законодательства» [43].

В мире широко используются четыре основных метода: захоронение на свалках (полигонах), сжигание, переработка и компостирование [36]. Статистика использования данных методов представлена на рисунке 4.

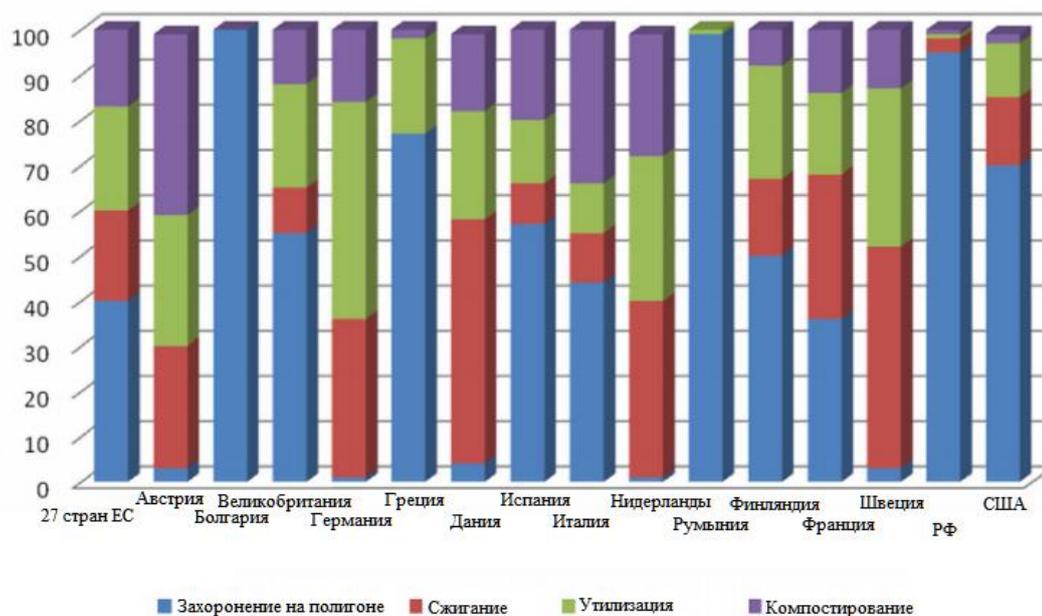


Рисунок 4 – Способы обезвреживания ТКО в разных странах, %

«Наибольший процент утилизируемых ТКО в Словении около 50,0 %, в Дании 55,0 % ТКО подвергается сжиганию. В Нидерландах, Бельгии, Швейцарии, Германии, Великобритании компостирование биоразлагаемых ТКО составляет 15,0-28,5 %. Доля ТКО, вывозимых на полигоны, изменяется от 99,0 % в Турции до 2,5 % в Швейцарии.

Количество специально обустроенных мест для захоронения отходов в РФ составляет около 1,4 тысяч, что в разы меньше, чем санкционированных свалок (более 7 тысяч). Количество несанкционированных свалок захоронения отходов составляет более 17,5 тысяч» [32].

«Под полигоны и свалки захоронения отходов ежегодно отчуждается более 10 тыс. га земель, следовательно, происходит увеличение земельных площадей для захоронения» [33].

«Многие свалки и полигоны были открыты более 30 лет назад, значительная часть этих объектов не отвечают санитарным и экологическим нормам. Большинство полигонов расположено вблизи населенных пунктов, на территориях водоохранных зон поверхностных и подземных водных источников, а также на землях сельскохозяйственного назначения.

Под полигонами понимают комплексы природоохранных сооружений, предназначенные для складирования, изоляции и обезвреживания ТКО, обеспечивающие защиту от загрязнения атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почвы, препятствующие распространению грызунов, насекомых и болезнетворных микроорганизмов» [32]-[34].

«Современные полигоны захоронения ТКО оборудованы так, чтобы не допустить контакта отходов с окружающей средой (изоляция полигона противодиффузионными материалами, промежуточная изоляция), вследствие чего значительно затрудняется разложение отходов, т.к. из-за недостатка кислорода органические отходы подвергаются анаэробному брожению, приводящего к формированию биогаза. Такая эксплуатация полигона характерна для полигонов-биореакторов» [41].

«Полигоны захоронения ТКО различаются по климатическим и географическим условиям, возрасту объекта, объему отходов, компонентному составу и периоду воздействия эмиссий. В настоящее время объекты захоронения ТКО классифицируются по форме (карьерные, отвальные, резервуарные захоронения), по годовому объему принимаемых ТКО (10, 20, 30, 60, 120 и т.д. до 3000 тыс. м³/год); мощности захоронения (высоконагруженные полигоны общей высотой более 20 м и нагрузкой 10 т/м²)» [32].

«В России проектирование, эксплуатация и рекультивация полигонов захоронения ТКО осуществляется в соответствии с законодательными, директивными и нормативными документами» [37]-[43].

«На полигоны захоронения ТКО принимаются отходы потребления, строительный мусор и некоторые виды твердых промышленных отходов III и IV класса опасности. При захоронении отходов на полигоне должны выполняться следующие требования: отходы не должны быть взрывоопасными, пожароопасными и самовозгорающимися; влажность отходов должна быть не более 65 %; суммарное количество отходов III и IV класса не должно превышать 30 % общей массы ТКО» [21].

«Наибольший опыт в обеспечении безопасного захоронения отходов накоплен в странах Европы (Германия, Австрия, Швейцария). Законодательные требования по эксплуатации и закрытию полигонов в ЕС регулируются требованиями Директивы Совета Европейского Союза 1999/31/ЕС от 26 апреля 1999 г. по полигонам захоронения отходов [44]. Согласно Директиве 1999/31/ЕС полигоны захоронения отходов делятся на три класса:

- полигоны захоронения опасных отходов (1-й класс);
- полигоны захоронения неопасных отходов (2-й класс);
- полигоны захоронения инертных отходов (в том числе незагрязненных отходов строительства и сноса зданий) (3-й класс)» [44].

«Согласно требованиям Директивы 1999/31/ЕС все отходы, поступающие на захоронение, должны быть предварительно обработаны. Обработка отходов, направленная на снижение доли биоразлагаемых компонентов в массиве захоронения отходов, позволяет снизить объем генерации биогаза и управлять качеством фильтрата. Директивой 1999/31/ЕС установлены требования по снижению массы биоразлагаемых отходов к захоронению до 75 %, 50 % и 35 % до 2006 г., 2009 г. 2016 г. соответственно» [2].

«В отличие от требований РФ европейское законодательство устанавливает весьма жесткие требования к процедуре закрытия и постэксплуатационному обслуживанию объектов захоронения отходов. Согласно Директиве 1999/31/ЕС после закрытия полигона оператор несет ответственность за его обслуживание, осуществление контроля и мониторинга так долго, как может быть потребовано уполномоченными органами, принимая во внимание время, в течение которого полигон может представлять опасность. Учитывая, что срок постэксплуатационного обслуживания полигона составляет десятки лет, основная задача оператора полигона не только обеспечить безопасную эксплуатацию объекта в период приема отходов, но и сократить период формирования эмиссий за счет ускорения стабилизации отходов» [20].

В таблице Е.1 Приложения Е представлен сравнительный анализ опыта Западной Европы относительно технологий рекультивации полигонов.

1.5 Особенности рекультивации в России

«В Российской Федерации решения по обезвреживанию и технологические способы рекультивации старых полигонов и свалок основаны на общепринятых эколого-инженерных принципах и включают следующие этапы:

- определение степени опасности полигона» [45];

- «оценка альтернативных вариантов;
- разработка технологии обезвреживания и рекультивации.

Техническое обустройство и оснащение современных объектов захоронения ТКО создавалось в соответствии с изменениями в стратегии захоронения отходов. Существующие объекты захоронения ТКО можно разделить на три основные категории:

- 1 категория – открытые (стихийные) свалки;
- 2 категория – контролируемые свалки;
- 3 категория – санитарные полигоны» [34].

Общие характеристики для разных категорий объектов захоронения отходов представлены в таблице Ж.1 Приложения Ж.

- «Открытые свалки. Характеризуются отсутствием инженерно-экологических изысканий для территории, отведенной под захоронение отходов, и минимальными затратами на этапах жизненного цикла объекта, отходы на объекте размещены насыпью без уплотнения и изоляции» [45].

- «Контролируемые свалки. Контролируемые свалки открывались в связи с необходимостью закрытия открытых свалок и заменой на улучшенные объекты размещения отходов. Контролируемые свалки вводятся в эксплуатацию с учетом нормативов размещения объекта по санитарным и гидрогеологическим критериям» [20].

- «Санитарные полигоны. Санитарный полигон для захоронения отходов спроектирован, построен и эксплуатируется таким образом, чтобы свести к минимуму воздействие на здоровье населения и окружающую среду. Санитарные полигоны проходят тщательное планирование, начиная с выбора площадки до управления эмиссиями загрязняющих веществ после закрытия. Полигоны в РФ строят по проектам в соответствии со СНиП 2.01.28-85» [29].

1.6 Анализ морфологического состава ТКО

Анализ морфологического состава ТКО показывает значительные объемы компонентов, доступных для вторичной переработки, но их использование затруднено отсутствием качественной системы сортировки с техническими разработками разделения и низкой экологической культурой населения [10]. Морфологический состав ТКО представлен на рисунке 5.

Особое внимание в обеспечении экологической безопасности следует уделять строгому и регулярному контролю над соблюдением требований охраны окружающей среды местными и региональными органами. И последнее, но не менее важное, это просвещение общественности и проведение мероприятий по привлечению внимания к проблеме переработки и утилизации всех видов отходов.

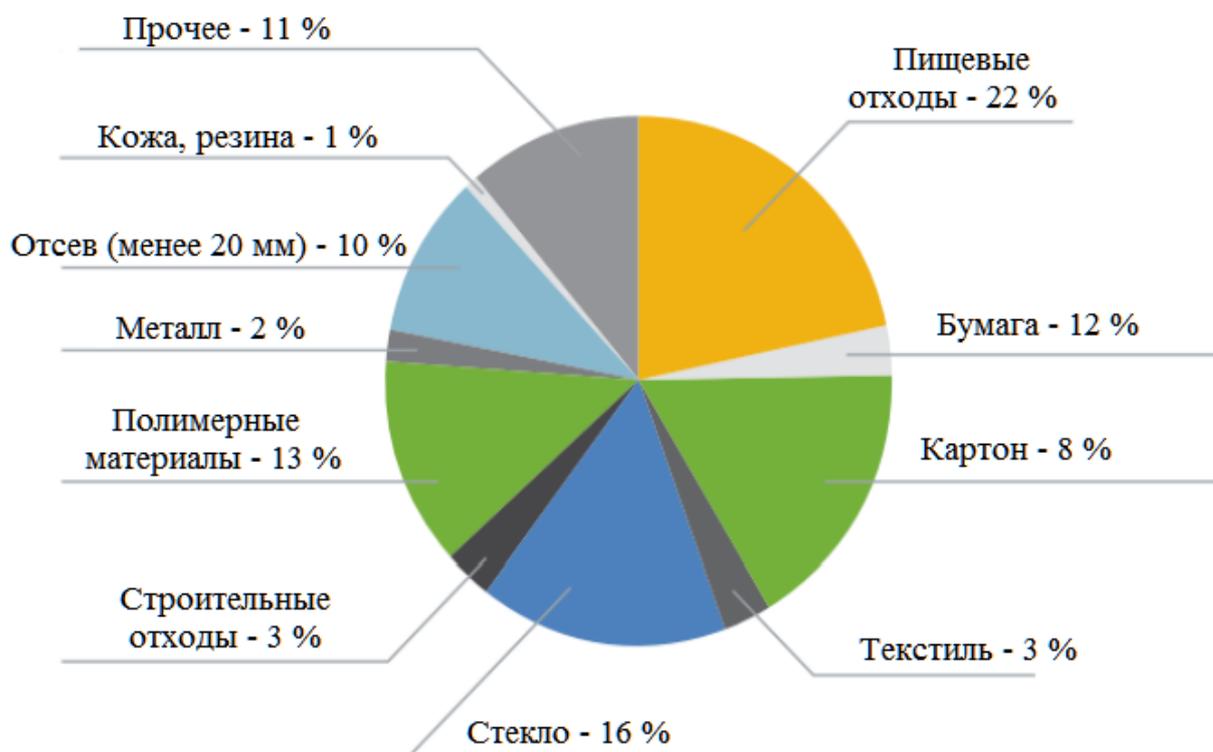


Рисунок 5 – Морфологический состав отходов Самарской области

2 Технологические особенности рекультивации полигонов

2.1 Выбор оптимальной технологии рекультивации

Выбор оптимальной технологии рекультивации представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Выбор оптимальной технологии рекультивации

Технологические методы рекультивации	Критерии выбора				Всего баллов
	экологический	экономический	временной	технологический	
Выделение, удаление, захоронение	3	1	1	1	6
Уничтожение на месте	2	2	2	2	8
Фиксация загрязнителей на месте	1	3	3	3	10

Значение очков: 1 – приемлемо; 2 – хорошо; 3 – отлично.

Рекультивация полигона после достижения устойчивого состояния проводится в два этапа: технический и биологический. Этапы представлены на рисунке 6.

«Технический этап рекультивации включает исследования грунта отвала и его влияния на окружающую среду, а также подготовку территории полигона к дальнейшему использованию по назначению» [17].

Далее следует биологический этап мелиорации: он включает комплекс агротехнических и фитомелиоративных работ по восстановлению нарушенных земель. Данная стадия требует очень много временных ресурсов, так как возвращение растений является долгим и трудоемким процессом.

После выполнения работ, необходимых для обеспечения полной защиты окружающей среды и экологической безопасности населения, можно создать благоустроенную территорию [7].



Рисунок 6 –Этапы рекультиваций земель

Рекультивация использованных свалок – жизнеспособный метод защиты окружающей среды. Конечно, он не может решить проблему удаления отходов в глобальном масштабе, но устранение проблем локального характера имеет место быть.

Однозначно после рекультивации земель требуются значительные земельные ресурсы и большие для восстановления природного баланса. Отсюда причина разработки современных комплексных подходов, учитывающих все новейшие достижения науки и техники.

В научном сообществе в последнее время активно рассматривают отходы как возобновляемый источник энергии. Специальные пиролизные установки позволяют использовать биогаз химических реакций в качестве энергетического ресурса [9].

Ключевую роль в решении проблем экологии окружающей среды может сыграть развитие деловой активности по возврату ТКО в повторное использование – переработку.

2.1.1 Особенности технического этапа

«Прежде, чем приступать к началу работ по рекультивации полигона, требуется разработать план последовательных действий, который должен неукоснительно соблюдаться:

- Тщательно анализируют состояние. Организация, в собственности которой находится свалка ТБО, должна самостоятельно провести оценку воздействия на экологию территории и составить вывод о том, что необходима рекультивация.

- Собирается требуемая документация. На этой стадии в природоохранные организации представляются соответствующие документы» [32]. «Речь идет о начальной схеме месторасположения ТБО и проектной документации, где указано, какой способ будет использован. Так же должна быть разработана схема транспортировки грунта и смета расходов.

- Подготавливается участок для дальнейшего применения. Это и есть непосредственно технические работы.

- Определяется состав, и рассчитываются объемы свалочного газа, который может выделиться в результате осуществления работ. Помимо этого, следует разработать и принять меры касаясь дегазации и уменьшения рисков.

- Совокупность технических работ включает в себя:

- Стабилизацию и планировку чаши свалки.

- Монтаж дегазатора.

- Монтаж оборудования, которое осуществляет сбор сточных вод и фильтрата. Монтаж рекультивационной защиты» [35].

2.1.2 Особенности биологического этапа рекультивации полигона ТБО

«Данный этап предусматривает реализацию комплекса мер агротехнического и фитомелиоративного характера, которые позволяют оздоровить землю. В процессе его проведения экспертами по сельскохозяйственным вопросам разрабатываются рекомендации касательно подбора почвы и осуществления ее предварительной очистки, подбираются наиболее подходящие для данного случая растения.

При этом, хотя разработка метода уплотнения почвы производится еще на стадии проектирования, на данном этапе возможна его корректировка.

Что касается посева насаждений, то выделяют четыре разных варианта. Следует отметить, что каждый из них характеризуется своим периодом восстановления грунта.

- Если предпочтение отдается газону с многолетними травами, то на восстановление земель уйдет 1-3 года.
- При посадке мелких кустарников либо деревьев на восстановление почвы необходимо 2-3 года.
- Гораздо больше времени (до 15 лет) потребуется на эти цели, если речь идет об организации огородов. Это обусловлено небольшой глубиной посадки. В то же время использование этого метода обеспечит получение экономического эффекта уже в течение первого года» [15].

2.1.3 Варианты проектов рекультивации полигонов

Существует несколько вариантов по реализации проектов рекультивации свалок:

1) Рекультивация полигона ТКО на месте

«Свалка рекультивируется на месте расположения путем формирования верхнего гидроизолирующего покрытия из глины или суглинков.

Виды работ:

- Планировка массива отходов, формирование «красивой» пирамидки
- Укладка верхнего гидроизолирующего слоя (глина 20 см + почвенный слой (20-30 см) – грунт привозится из близлежащих карьеров.
- Почва привозится в соотношении 50:50 с торфом
- Устраивается дегазация – забуриваются вертикальные трубы
- Поверхность засеивается травой» [14].

Схема рекультивации полигона ТКО на месте представлена на рисунке И.1 Приложения И.

2) Рекультивация полигона ТКО с вывозом отходов.

«Все отходы экскавируются, загружаются на автомобили и вывозятся на близлежащий санитарный полигон

Территория, на которой была свалка, рекультивируется, выравняется бульдозером, укладывается почвенный слой (с торфом) и засеивается травой» [39].

Схема рекультивации полигона ТКО с вывозом отходов представлена на рисунке И.2 Приложения И.

3) Вывоз отходов с отбором грунтовых материалов.

«Все отходы экскавируются, просеиваются через сепаратор.

Мелкая фракция отходов (примерно 30 % от массы) отсеивается. На старых полигонах, как было показано в главе 2, этот материал похож на техногенный грунт и его можно использовать для формирования почвенного слоя рекультивируемого участка.

Отходы грузятся на автомобили и вывозятся на близлежащий санкционированный полигон» [13].

Территория, на которой была свалка, рекультивируется с использованием отсеянной мелкой фракции: выравняется бульдозером, укладывается почвенный слой (с торфом) и засеивается травой, т.к. мелкой фракции отсеивается и потом укладывается больше, чем стандартные 20-30 см почвенного слоя, затраты на создание рекультивационного слоя больше.

Схема рекультивации полигона ТКО с вывозом отходов с отбором грунтовых материалов представлена на рисунке И.3 Приложения И.

4) Рекультивация с вывозом отходов с предварительным отбором почвенного грунта и некоторых видов вторичного сырья.

«Аналогично варианту с извлечением и использованием грунтовых материалов, но дополнительно из полигона извлекаются пластик, металл, стекло для дальнейшей продажи» [27].

Схема рекультивации полигона ТКО с вывозом отходов с предварительным отбором почвенного грунта и некоторых видов вторичного сырья представлена на рисунке И.4 Приложения И.

2.2 Обоснование выбора метода термической обработки

«Удаление ТКО посредством сжигания стало распространено во многих европейских странах ещё в конце XIX века как наиболее гигиеничный способ, позволяющий минимизировать объём отходов» [17]. Это привело к появлению новых современных предприятий, позволяющих не только безопасно удалять отходы с помощью термического воздействия, но также и получать из них при этом различные полезные продукты, включая энергию.

На диаграмме 7 представлены страны и количество предприятий термической переработки ТКО.



Рисунок 7 – Количество предприятий по термической переработке ТКО в энергию посредством сжигания в различных странах мира

Из диаграммы видно, что половина предприятий находятся в Японии. Это очевидно, в связи с маленькими государственными территориями.

Рассмотрим виды термической обработки (рисунок 8).



Рисунок 8 – Классификация методов термической переработки

«В основном для термической переработки ТКО применяются три технологии: прямое сжигание, газификация и пиролиз, причём за последними двумя практически всегда дополнительно следует сжигание (двухступенчатый процесс)» [36]. Технологии термической обработки представлены на рисунке 9.



Рисунок 9 – Технологии термической обработки ТКО

В таблице К.1 Приложения К представлены достоинства и недостатки технологий термической обработки ТКО.

2.3 Предлагаемая технология рекультивации полигона

Исходя из анализа вышеизложенных процессов, можно сделать вывод, что наиболее эффективным, быстродействующим и рациональным с точки зрения занимаемых территорий способом рекультивации является термическая обработка. Так же данный способ зарекомендовал себя в мировой практике за счет минимизации воздействия на окружающую среду и как производитель возобновляемой энергии.

Исходя из недостатков и преимуществ термической переработки, был выбран метод сжигания ТКО.

На рисунке 10 представлена принципиальная схема предлагаемой технологии рекультивации полигона.

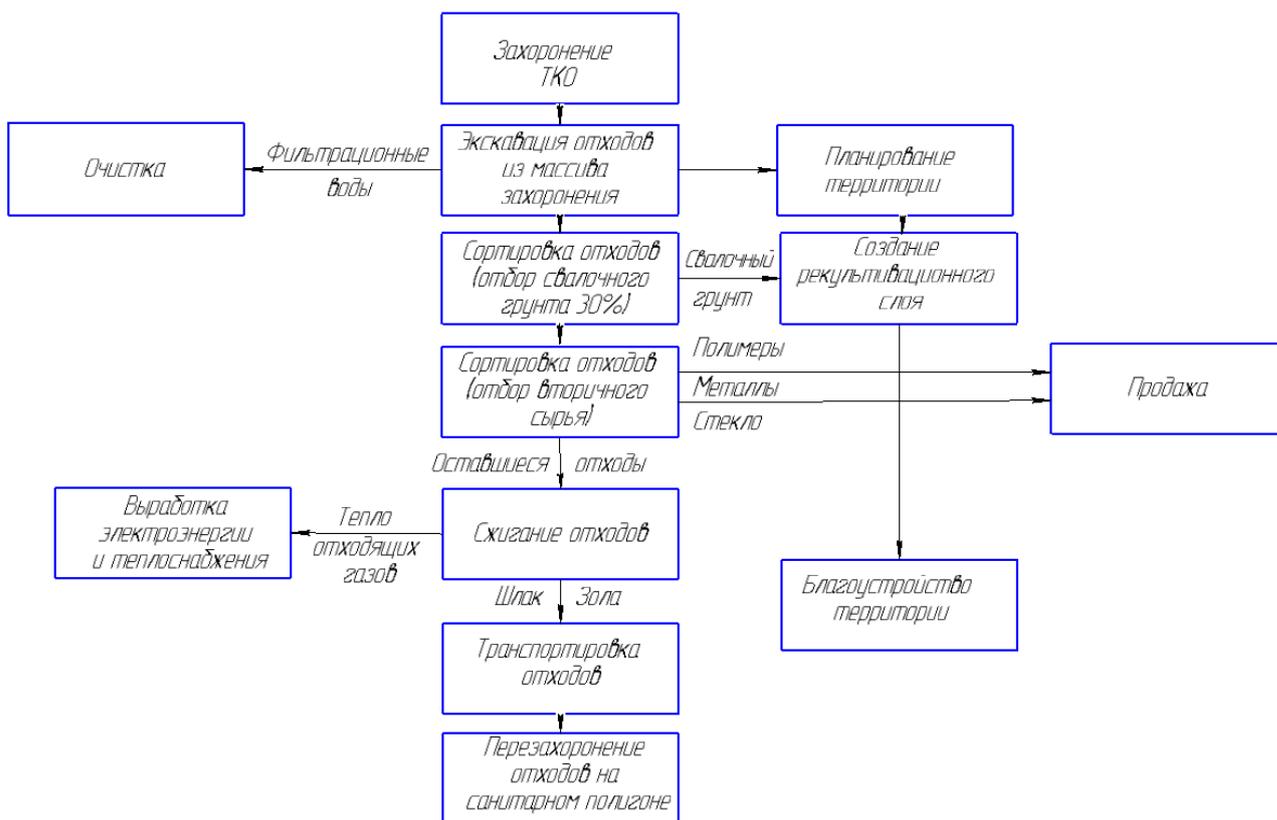


Рисунок 10 – Принципиальная схема предлагаемой технологии рекультивации полигона

2.3.1 Сжигание отходов

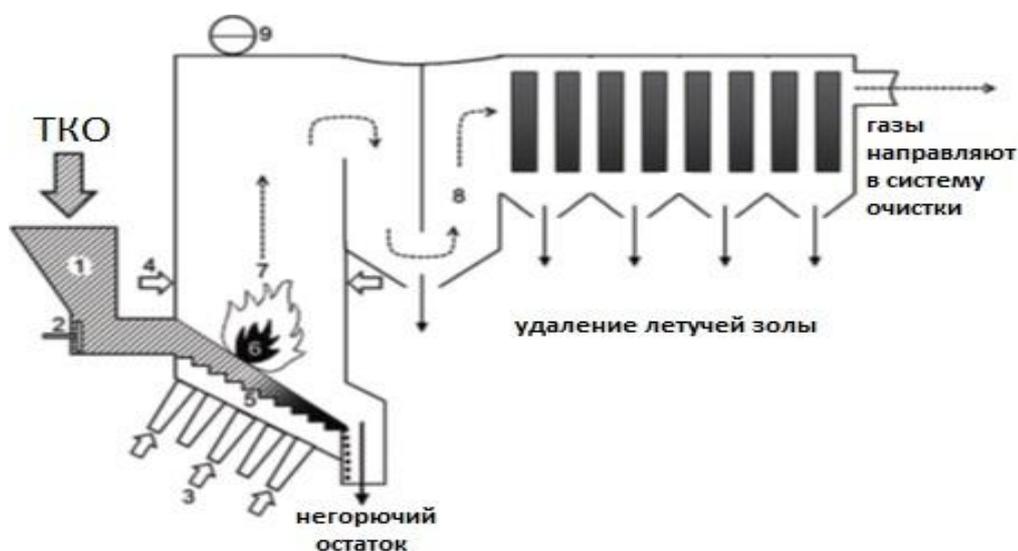
«Прямое сжигание ТКО в топочной печи на движущейся решётке или слоевое сжигание, осуществляется обычно при средней температуре 900-1000 °С.

ТКО сгорают на движущейся решётке в присутствии воздуха, подаваемого из нижней части печи.

Зола и негорючие отходы сбрасываются с конца этой решётки и выгружается из печи после сжигания.

Часть золы (летучая фракция) уходит с дымовыми газами и собирается в дальнейшем на фильтрах» [19].

Схема котла сгорания ТКО с помощью движущейся решётки представлена на рисунке 11.



1 – загрузочная воронка; 2 – гидравлическая система подачи; 3 – первичная подача воздуха; 4 – вторичная подача воздуха; 5 – наклонённая движущаяся решётка; 6 – зона сгорания; 7 – зона дожигания дымовых газов; 8 – котёл; 9 – паровая турбина.

Рисунок 11 – Схема котла сгорания ТКО с помощью движущейся решётки

«Сам процесс сжигания, по своей сути, это окисление горючих материалов, содержащихся в смеси ТКО. Отходы – это, как правило, высокогетерогенный материал, состоящий в основном из органических веществ, минералов, металлов и воды» [30].

«Данная технология позволяет перерабатывать практически любые смешанные и необработанные ТКО, а также некоторые промышленные и коммерческие отходы. Ключевым параметром является содержание в них энергии – низшая теплотворная способность (теплота сгорания), измеряемая в МДж/кг. В зависимости от фракционного состава ТКО этот показатель может варьироваться от 4 МДж/кг (пищевые отходы) до 35 МДж/кг (пластики). Для обеспечения эффективной работы предприятия этот показатель не должен быть ниже 7 МДж/кг. В качестве сравнения, теплота сгорания 1 кг мазута составляет около 40 МДж/кг» [10].

«Горючие фракции отходов воспламеняются, когда нагреваются до необходимой температуры и, вступая в контакт с воздухом, проходят реакцию окисления. Температура этой реакции составляет от 850 до 1450 °С.

Поскольку в смешанном потоке ТКО могут присутствовать фракции в очень широком диапазоне этого значения, средняя температура сжигания обычно составляет 750-1000 °С. Тем не менее, если речь идёт о переработке смешанных ТКО в химическом составе которых присутствуют атомы хлора, температура в печи должна поддерживаться на уровне не ниже 1200 °С для сведения вероятности образования диоксинов, фуранов и их предшественников в отходящих газах к минимуму [44]» .

2.3.2 Рекомендуемые технические решения и технологии очистки фильтрационных вод проектируемых полигонов и полигонов, находящихся на стадии активной эксплуатации

- «Для проектируемых полигонов наиболее перспективными являются блочно-модульные технологические схемы очистки ФВ, позволяющие управлять процессом при изменяющемся в зависимости от этапов деструкции отходов составе сточных вод» [4].

- «На первом этапе эксплуатации полигонов при ацетогенной фазе биодеструкции отходов ФВ характеризуются высоким содержанием ионов тяжелых металлов и органических веществ, способных к биохимической деструкции».

На этом этапе технологические схемы очистки ФВ должны содержать блок очистки от ионов тяжелых металлов, взвешенных, коллоидных частиц и блок биохимической очистки. Можно рекомендовать следующие основные стадии очистки:

– коагуляция примесей ФВ путем фильтрации воды через слой мраморной крошки или шлака, извести или доломита при величине рН 7,5 - 8,5;

– анаэробная очистка ФВ в метантенках, денитрификаторах» [27];

– «аэробная очистка в аэротенках, нитрификаторах;

– осветление воды в отстойниках с применением флокулянтов или очистка от взвешенных примесей на скором песчаном фильтре.

При высоких значениях ХПК (более 15000 мг/дм³) ФВ перед стадией анаэробной очистки должны подвергаться аэробной стабилизации.

- Биохимическую очистку можно осуществлять в сооружениях как с активным илом, так и с иммобилизированной микрофлорой (биореакторах).

- Доочистку воды рекомендуется физико-химическими и биологическими, выбор которых будет зависеть от остаточной концентрации примесей в очищенной воде, требований к качеству воды и экономических возможностей:

- биологические многокаскадные пруды» [20];
- очистка в биосорбционном фильтре с последующей доочисткой в биологическом пруду; озонирование воды или УФ-обработка с последующей адсорбцией на многослойном фильтре, содержащем различные марки активных углей АУ (или углеродсодержащие отходы), способные к сорбции высоко- и низкомолекулярных примесей и ионообменный материал, например, диатомит, для извлечения ионов тяжелых металлов;
- «очистка воды методами микро-, ультрафильтрации и обратного осмоса.

Концентрат, образующийся при ультрафильтрации и обратном осмосе можно обрабатывать небольшими дозами озона для разрушения биорезистентных и окрашенных примесей и воду, обогащенную кислородом, направлять частями на стадию аэробной очистки и в сборник неочищенной воды, что будет способствовать интенсификации процессов очищения.

- На этапах метаногенеза и гумификации отходов в ФВ будут накапливаться биорезистентные примеси, гуминовые соединения, уменьшаться концентрация ионов металлов и снижаться эффективность биохимической очистки» [15].

«В этом случае, используя имеющиеся сооружения, можно изменить их функциональную направленность, очередность операций. Так, фильтр с коагулянтом может быть заменен многослойным адсорбционным фильтром, содержащим шлак, недожог - отход, образующийся при сжигании окорки

древесины в лесоперерабатывающей или целлюлозно-бумажной промышленности, некондиционные АУ (отсев) для очистки ФВ от окрашенных и биорезистентных примесей. Регенерация загрузки может быть осуществлена за счет биоокисления сорбированных примесей.

При использовании в технологии озона целесообразно проводить озонирование воды перед стадией биохимической очистки для разрушения окрашенных и биорезистентных примесей.

На этом этапе при значительном снижении значений ХПК и БПК₅ в ФВ основной стадией биохимической очистки является аэробное окисление примесей в аэротенках» [27].

- «Доочистку ФВ проводят теми же методами. При использовании озонирования для доочистки дозы озона определяются в соответствии с физико-химическими показателями фильтрационных вод.

Использование блочно-модульных технологий очистки ФВ позволяет управлять процессом на протяжении всего жизненного цикла полигона.

Применение таких схем экономически оправданно, т.к. не требует значительных дополнительных капитальных затрат при изменении технологии очистки в соответствии с составом ФВ» [45].

3 Экспериментальная часть

3.1 Оценка степени загрязнения проб

«Оценка степени возможного отрицательного влияния на почву, растения, животных и другие живые организмы, загрязняющие вещества подразделяются на три класса» [21]. Классы представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Оценка загрязнения ТМ почвенного покрова

Класс опасности	Степень опасности	Показатели
I	высокоопасные	мышьяк, кадмий, ртуть, селен, свинец, цинк, фтор, бенз(а)пирен
II	умеренно опасные	бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром
III	малоопасные	барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций

При выполнении исследования были предоставлена объединенная проба с полигона Н г.о. Тольятти с правом приема отходов IV класса опасности.

Отбор проб выполнялся по методике ПНД Ф 12.1:2:2.2:2.3:3.2-03 «Методические рекомендации отбор проб почв, грунтов, донных отложений, илов, осадков сточных вод, шламов промышленных сточных вод, отходов производства и потребления». Проба отбиралась с глубины от 0 до 20 см методом конверта. Масса объединённой пробы составила не менее 1 кг. Отобранная пробы была пронумерована с указанием порядкового номера, места отбора, рельефа местности, типа почвы, целевого назначения территории, вида загрязнения и даты отбора. Высушенный до воздушно-сухого состояния образец был исследован в лаборатории «Утилизация и рециклинг отходов» Института химии и энергетики» ТГУ.

Характеристика состояния территории проводилась относительно площади нарушенных земель.

«Для определения фоновых уровней загрязнения были отобраны фоновые пробы почв вне сферы локального антропогенного воздействия. Отбор фоновых проб производился на достаточном удалении от поселений (с наветренной стороны), не менее чем в 500 м от автодорог, а также использовались справочные данные» [12]-[18].

В ходе экспериментальных исследований было выполнено определение: водородного показателя (рН) потенциометрическим методом; зольности, влаги и нефтепродуктов (НП) гравиметрическим методом; определение токсичности среды с помощью *Chlorella vulgaris* Beijer и *Daphnia magna* Straus; количественный химический анализ на тяжелые металлы, нитраты и органическое вещество.

Кратность (Кр) разбавления водной вытяжки отхода представлена в таблице Л.1 Приложения Л.

В таблицах Л.2-Л.9 приложения Л представлены результаты исследований.

Выводы по экспериментальной части:

- Согласно данным Таблицы Л.3 максимальная кратность разбавления Кр была выявлена в тесте с использованием *Daphnia magna* Straus. При сравнении экспериментальных данных и Таблицы Л.1 установлено, что Кр изменяется в интервале $100 < \text{Кр} \leq 1000$ и отход относится ко III классу опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду.

Согласно данным Таблицы Л.4 максимальная кратность разбавления Кр была выявлена в тесте с использованием *Chlorella vulgaris* Beijer. При сравнении экспериментальных данных и Таблицы Л.1 установлено, что Кр изменяется в интервале $1000 < \text{Кр} \leq 10000$ и отход относится ко II классу опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду.

Согласно данным Таблицы Л.8 максимальная кратность разбавления Кр была выявлена в тесте с использованием *Daphnia magna* Straus. При сравнении экспериментальных данных и Таблицы Л.1 установлено, что Кр

изменяется в интервале $K_p = 1$ и отход относится ко V классу опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду.

Согласно данным Таблицы Л.9 максимальная кратность разбавления K_p была выявлена в тесте с использованием *Chlorella vulgaris* Beijer. При сравнении экспериментальных данных и Таблицы Л.1 установлено, что K_p изменяется в интервале $1 < K_p \leq 100$ и отход относится ко IV классу опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду.

По результатам токсикологического анализа контрольная проба оказывает острое токсическое воздействие на окружающую среду, в отличие от фоновой пробы.

- Согласно картам «Почвы Самарской области», почвы на территории исследования относятся к черноземам типичным и содержание органического вещества должно быть в пределах 7-15% согласно справочным данным научной литературы. В контрольной пробе результат исследований равен значения колеблется от 1,51%, что меньше нормы в 4,64 раза, что свидетельствует об истощении почвенного покрова, т.е. резкое ухудшение питательного режима и структурного состояния почвы.

В фоновой пробе содержание органического вещества соответствует нормам.

- Содержание НП в почве в контрольной пробе составляет – 175 мг/кг, содержание НП в фоновой пробе менее 20 мг/кг, что свидетельствует о превышении НП в 8,75 раз.

- Из тяжелых металлов в пробах обнаружен цинк. В контрольной пробе обнаружено 55 мг/кг, а в фоновой 20,0 мг/кг. ПДК для цинка 23,0 мг/кг. Соответственно в контрольной пробе присутствует превышение ПДК в 2,4 раза.

4 Расчетная часть

4.1 Расчет образования фильтрата и инфильтрата с тела полигона ТКО при разных плотностях захоронения

«Особенностью любой урбанизированной территории является наличие в ее пределах, как водных объектов, так и объектов захоронения ТКО. Такая особенность территории определяет влияние объектов захоронения отходов на водотоки и водоемы, расположенных на данной территории.

Воздействие объектов захоронения отходов на водные ресурсы обусловлено образованием жидкой фазы отходов – фильтрата, поступающей в поверхностные водные объекты двумя путями - с подземным стоком и в результате смыва с поверхности.

Фильтрат обладает сложным химическим составом, может содержать значительное количество токсичных веществ и патогенных микроорганизмов, компоненты бытовых и промышленных стоков.

Несмотря на то, что объем фильтрата составляет незначительную долю в объеме речного стока, поступление его в водные объекты приводит к деградации естественных экосистем, снижению качества воды за счет высокой загрязненности. Поэтому, для предотвращения негативного воздействия фильтрата на окружающую среду необходима разработка систем его сбора и обезвреживания, проектирование которых основывается на результатах количественной и качественной оценки.

Образование свалочного фильтрата происходит в результате следующих процессов: инфильтрация атмосферных осадков и других вод через толщу складированных ТКО, их водоотдача под действием давления вышележащих слоев, биохимическое разложение отходов. Количество выпадающих осадков, обусловлено географическим расположением объекта складирования отходов, оказывает основное влияние на объем

образующегося фильтрата» [15]. Помимо климатических особенностей территории складирования, количество фильтрата определяется характеристиками объекта: морфологическим составом и влажностью ТКО, возрастом объекта захоронения, характером непрерывно протекающих процессов разложения.

Исходные данные:

Площадь полигона $F = 30$ га;

Масса складированных отходов $M = 0,12$ млн т/год;

Средняя плотность ТКО $\rho_{\text{ср}} = 0,5$ т/м³;

Высота складированного массива отходов $H = 5$ м;

Среднегодовая норма осадков $h = 492$ мм.

1) Рассчитаем объем фильтрационных вод с площади полигона формуле 1:

$$V_{\text{ф}} = \frac{1,3 \cdot 10^{-4} \cdot M \cdot h \cdot F}{H \cdot \rho_{\text{ср}}}, \quad (1)$$

где M – масса складированных отходов, млн т;

H – высота складированного массива отходов, м;

$\rho_{\text{ср}}$ – средняя плотность ТКО, т/м³;

h – среднегодовая норма осадков, мм/год;

F – площадь полигона в данной методике измеряется в м².

$$V_{\text{ф}} = \frac{1,3 \cdot 10^{-4} \cdot 0,12 \cdot 429 \cdot 300000}{5 \cdot 0,5} = 803 \text{ м}^3$$

4.2 Расчет материального баланса

Расчет материального баланса будет рассчитан по принципиальной схеме, огороженной оранжевой пунктирной линией, представленной на рисунке 16.

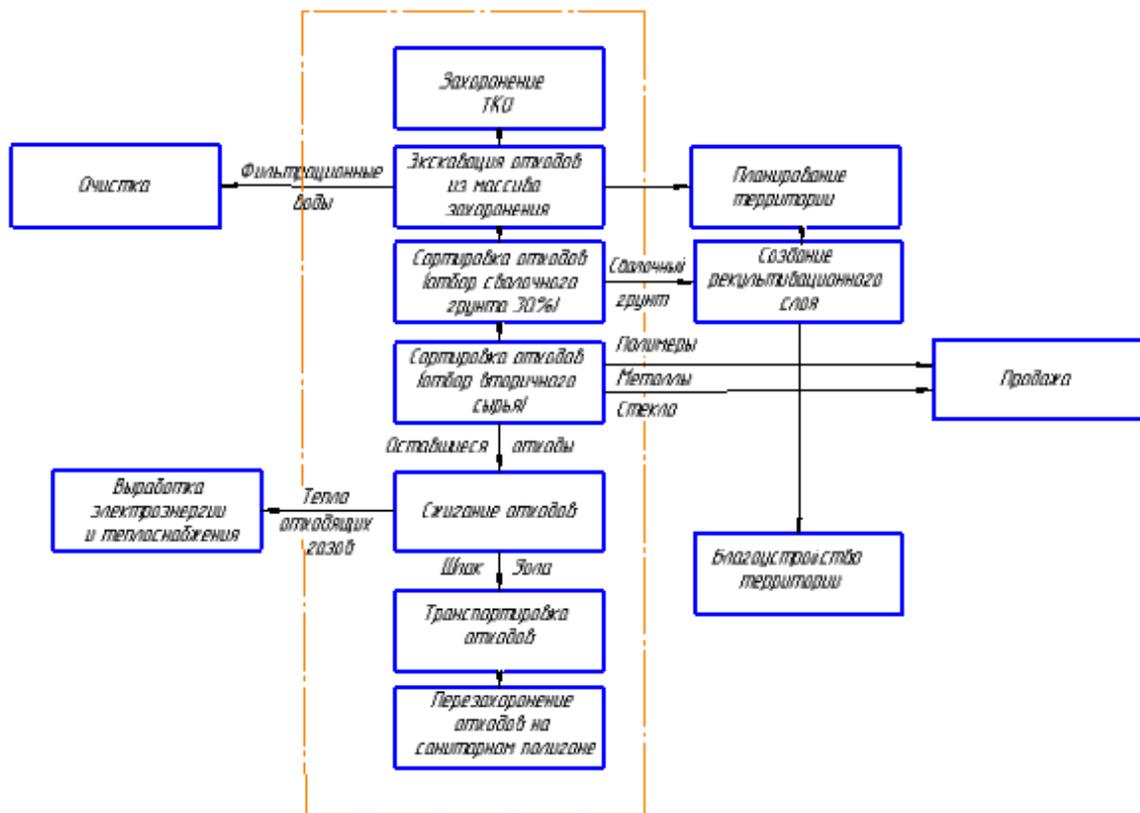


Рисунок 12 – Принципиальная схема рекультивации полигона для расчета материального баланса

Примем следующие исходные данные:

Объем складированных отходов $V = 240000 \text{ м}^3/\text{год}$;

Средняя плотность ТКО $\rho_{\text{cp}} = 0,5 \text{ т}/\text{м}^3$;

Влага ТКО $\mu = 36,37 \%$;

Объем фильтрата с площади полигона $V_{\text{ф}} = 803 \text{ м}^3/\text{год}$;

Эффективность термической обработки $\eta = 95 \%$;

Время $t = 1 \text{ год} = 8760 \text{ ч}$.

Массовые содержания компонентов в отходе представлены в таблице

В.1 Приложения В.

1) Рассчитаем массу образованных отходов г.о. Тольятти за 1 год по формуле 2:

$$G = V \cdot \rho_{\text{cp}} \quad (2)$$

$$G = 240000 \cdot 0,5 = 120000 \text{ т/год}$$

2) Найдем среднечасовую массу ТКО по формуле 3:

$$M_{\text{ТКО ср}} = \frac{M_{\text{ТКО}}}{t} \quad (3)$$

$$G_{\text{ср}} = \frac{120000}{8760} = 13,7 \text{ т/ч}$$

3) Примем, что плотность фильтрационных вод равняется $\rho_{\text{ф}} = 1000 \text{ кг/м}^3$. Отсюда следует, что масса фильтрационных вод равна $803000 \text{ кг/год} = 803 \text{ т/год} = 0,1 \text{ т/ч}$

4) Тогда среднечасовая масса ТКО равняется 13,6 т/ч.

5) Найдем массы компонентов ТКО за 1 час по формуле 4:

$$m_i = \frac{G_{\text{ср}} \cdot \omega_i}{100} \quad (4)$$

$$m_{\text{камни}} = \frac{13,6 \cdot 24,5}{100} = 3,33 \text{ т/ч}$$

$$m_{\text{П.М.}} = \frac{13,6 \cdot 13,8}{100} = 1,88 \text{ т/ч}$$

$$m_{\text{дерево}} = \frac{13,6 \cdot 1,3}{100} = 0,18 \text{ т/ч}$$

$$m_{\text{бумага}} = \frac{13,6 \cdot 10,1}{100} = 1,37 \text{ т/ч}$$

$$m_{\text{картон}} = \frac{13,6 \cdot 9,0}{100} = 1,22 \text{ т/ч}$$

$$m_{\text{текстиль}} = \frac{13,6 \cdot 3,8}{100} = 0,52 \text{ т/ч}$$

$$m_{\text{стекло}} = \frac{13,6 \cdot 2,9}{100} = 0,39 \text{ т/ч}$$

$$m_{\text{металл}} = \frac{13,6 \cdot 1,6}{100} = 0,22 \text{ т/ч}$$

$$m_{\text{п.о.}} = \frac{13,6 \cdot 5,4}{100} = 0,74 \text{ т/ч}$$

$$m_{\text{грунт}} = \frac{13,6 \cdot 27,6}{100} = 3,75 \text{ т/ч}$$

6) Рассчитаем, какая масса ТКО поступила сжигание в печь по формуле 5:

$$M'_{\text{ТКО СР}} = M_{\text{ТКО СР}} - m_{\text{металл}} - m_{\text{стекло}} - m_{\text{п.м.}} \quad (5)$$

$$M'_{\text{ТКО СР}} = 13,6 - 0,22 - 0,39 - 1,88 = 11,11 \text{ т/ч}$$

7) Рассчитаем количество образовавшегося шлака и золы по формуле 6:

$$m_{\text{шлак}} = \frac{M'_{\text{ТКО СР}} \cdot (100 - \eta)}{100} \quad (6)$$

$$m_{\text{шлак}} = \frac{11,11 \cdot (100 - 95)}{100} = 0,55 \text{ т/ч}$$

8) Найдем массу свалочного грунта по формуле 7, если известно, что при сортировке его отсели около 30 %:

$$m'_{\text{грунт}} = \frac{m_{\text{грунт}} \cdot 30}{100} \quad (7)$$

$$m'_{\text{грунт}} = \frac{3,75 \cdot 30}{100} = 1,13 \text{ т/ч}$$

Сведем полученные значения в таблицу 3.

Таблица 3 – Материальный баланс

Расход			Приход		
Компонент	Масса, т/ч	Содержание, %	Компонент	Масса, т/ч	Содержание, %
ТКО	13,7	100	Стекло	0,39	2,85
-	-	-	Полимерные материалы	1,88	13,72
-	-	-	Металл	0,22	1,61
-	-	-	Фильтрационные воды	0,1	0,73
-	-	-	Шлак	0,55	4,01
-	-	-	Свалочный грунт	1,13	8,25
-	-	-	Отходящие газы	9,43	68,83
Итого:	13,7	100	Итого:	13,7	100

Заключение

В процессе выпускной квалификационной работы решены следующие вопросы и получены результаты:

– Проведен теоретический анализ в области рекультивации полигонов, изучены отечественные и зарубежные технологии в области рекультивации действующих полигонов.

– Проведен детализированный анализ требований к полигонам, как на территории Российской Федерации, так и в ряде зарубежных стран. Изучены факторы антропогенного воздействия полигона на окружающую среду (подземные воды, атмосферный воздух, почвенный покров).

– Проведены экспериментальные исследования проб с полигона. Получены результаты количественного химического анализа, морфологического состава и острой токсичности проб.

а) По результатам токсикологического анализа контрольная проба оказывает острое токсическое воздействие на окружающую среду, в отличие от фоновой пробы.

б) Согласно картам «Почвы Самарской области», почвы на территории исследования относятся к черноземам типичным и содержание органического вещества должно быть в пределах 7-15% согласно справочным данным научной литературы. В контрольной пробе результат исследований равен значения колеблется от 1,51%, что меньше нормы в 4,64 раза, что свидетельствует об истощении почвенного покрова, т.е. резкое ухудшение питательного режима и структурного состояния почвы.

В фоновой пробе содержание органического вещества соответствует нормам.

в) Содержание НП в почве в контрольной пробе составляет – 175 мг/кг, содержание НП в фоновой пробе менее 20 мг/кг, что свидетельствует о превышении НП в 8,75 раз.

г) Из тяжелых металлов в пробах обнаружен цинк. В контрольной пробе обнаружено 55 мг/кг, а в фоновой 20,0 мг/кг. ПДК для цинка 23,0 мг/кг. Соответственно в контрольной пробе присутствует превышение ПДК в 2,4 раза.

– Проведен сравнительный анализ технологий рекультивации полигонов ТКО по показателям. Выявлены преимущества и недостатки существующих технологий.

– В работе обоснована и предложена к использованию комплекс мероприятий, который включает в себя: очистку фильтрационных стоков полигона, сортировку ТКО (стекло, металл, полимеры) для дальнейшего использования, сжигание оставшихся отходов, создание рекультивационного слоя и благоустройство территории.

– Разработана принципиальная технологическая схема рекультивации полигонов ТКО.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Krook J., Svensson N., Eklund M. (2019). Landfill mining: a critical review of two decades of research. *Waste Management*, 32(3), 513–520.
2. Landsat Science: [Электронный ресурс]. US, 2017. URL: <http://landsat.gsfc.nasa.gov>. (дата обращения 13.09.2021).
3. Markham B.L., Storey J.C., Williams D.L., Irons J.R. (2017). Landsat sensor performance: history and current status. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(12), 2691–2694.
4. Rummyantseva1 A., Berezyuk1 M, Savchenko N and Rummyantseva E. Modern technologies of processing municipal solid waste: investing in the future IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 72 (2017) 012015.
5. Zen I.S., Noor Z.Z., Yusuf R.O. The profiles of household solid waste recyclers and non-recyclers in Kuala Lumpur, Malaysia - Habitat International, 2017.
6. Акимов А.А. Рекультивация земель : учебное пособие / А.А. Акимов. — Тверь : Тверская ГСХА, 2018. — 53 с.
7. Березюк М.В., Румянцева А.В. Новая система управления ТКО: инновационный подход // Инновационное развитие экономики: научно-практический и теоретический журнал № 5 (35). 2016. С.19-29.
8. Бешенцев В.А. Обоснование захоронения промышленных и сточных вод в недра : учебное пособие / В. А. Бешенцев, Т. В. Семенова. — Тюмень : ТюмГНГУ, 2018. — 95 с.
9. Ветошкин А.Г. Технологии защиты окружающей среды от отходов производства и потребления : учебное пособие для спо / А. Г. Ветошкин. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 304 с.
10. Власов О.А. Технологии переработки твердых бытовых отходов : учебное пособие / О. А. Власов. — Красноярск : СФУ, 2019. — 244 с.

11. Голованов А.И. Рекультивация нарушенных земель : учебник / А.И. Голованов, Ф.М. Зимин, В.И. Сметанин. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 336 с.
12. ГОСТ 26213–91. Почвы. Методы определения органического вещества / [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023481> (дата обращения 27.08.2021).
13. ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО / [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023490> (дата обращения 27.08.2021).
14. ГОСТ 26713–85 Удобрения органические. Метод определения влаги и сухого остатка / [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200019308> (дата обращения 27.08.2021).
15. ГОСТ 26714–85 Удобрения органические. Метод определения золы / [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200019309> (дата обращения 25.07.2021).
16. ГОСТ 26715–85 Удобрения органические. Методы определения общего азота / [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200019311> (дата обращения 27.08.2021).
17. ГОСТ 27980–88 Удобрения органические. Методы определения органического вещества / [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200019323> (дата обращения 27.08.2021).
18. ГОСТ 305–97 Технические условия (Переиздание) / [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200107826> (дата обращения 27.08.2021).
19. Добросердова Е.А. Организация и обращение с твердыми бытовыми отходами : Учебное пособие. – /Е.А. Добросердова.– Казань : Изд-во КГАСУ, 2016.– 65 с.
20. Есякова О.А. Обращение с отходами : учебное пособие / О. А. Есякова, В. А. Иванов. — Красноярск : СибГУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2018. — 90 с.

21. Жуков Е.Б. Технология сжигания древесных топлив и древесных отходов / Е.Б. Жуков, К.В. Меняев, Е.Е. Паутова // Ползуновский Альманах. — 2017. — № 3 (том 1). — С. 28-32.
22. Иванкин А.Н., Неклюдов А.Д., Тарасов С.М., Жилин Ю.Н. Переработка органических отходов: учебное пособие. М.: ГОУ ВО МГУЛ, 2016. 400 с.
23. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов / Утверждена Министерством строительства Российской Федерации 2 ноября 1996 года.
24. Ковалева О.П. Утилизация промышленных отходов : учебное пособие / О. П. Ковалева. — Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2021. — 68 с.
25. Кривошеин Д.А. Основы экологической безопасности производств : учебное пособие / Д. А. Кривошеин, В. П. Дмитренко, Н. В. Федотова. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 336 с.
26. Кузнецов А.Ю. Рекультивация антропогенно нарушенных земель : учебное пособие / А.Ю. Кузнецов, Н.П. Чекаев. — Пенза : ПГАУ, 2016. — 216 с.
27. Методы определения содержания азота и сырого протеина [Электронный ресурс] : ГОСТ 13496.4–93. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200024323> (дата обращения 05.09.2021).
28. Морозов В.В. О современных методах переработки и утилизации образующихся отходов на сельхозпредприятиях и животноводческих фермах / В.В. Морозов, З.И. Курбатова // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. — 2017. — № 2. — С. 19-23.
29. Обращение с твердыми коммунальными и промышленными отходами. Вопросы моделирования и прогнозирования : учебно-методическое пособие для вузов / А. А. Аганов, С. Ю. Глухов, В. В. Журкович [и др.]. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 352 с.

30. Осмонбетов К.О. Опыт работы с твердыми бытовыми отходами (ТБО) в Российской Федерации / К.О. Осмонбетов, А.Ж. Ырсалиева // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. — 2016. — № 1. — С. 106-109.

31. Основы природопользования и энергоресурсосбережения : учебное пособие для СПО / В. В. Денисов, И. А. Денисова, Т. И. Дровозова, А. П. Москаленко ; Под редакцией заслуженного деятеля науки и техники РФ [и др.]. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 400 с.

32. Парахуда Н.А. Особенности биологической рекультивации земель, загрязненных промышленными отходами / Н.А. Парахуда, Н.Н. Мамась // Экологический Вестник Северного Кавказа. — 2019. — № 2. — С. 47-49.

33. Процессы и аппараты защиты литосферы : учебное пособие / В.В. Коростовенко, Н.М. Капличенко, Т.А. Стрекалова, Д.Ю. Слизевская. — Красноярск : СФУ, 2019. — 208 с.

34. Слюсарь Н.Н. Возможности извлечения отложенных ресурсов из массивов захоронения твердых коммунальных отходов / Н.Н. Слюсарь // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. — 2016. — № 1. — с. 63-77.

35. Слюсарь Н.Н. Принципы управления полигоном захоронения твердых коммунальных отходов на разных этапах жизненного цикла / Н.Н. Слюсарь, А.Ю. Пухнюк // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. — 2016. — № 2. — с. 148-164.

36. Сорока Н.В. Оценка экологической безопасности использования отходов при рекультивации полигонов твердых коммунальных отходов / Н.В. Сорока, А.В. Синдирева, Д.А. Мельников // Вестник Омского государственного аграрного университета. — 2018. — № 2. — С. 53-62.

37. Справочник химика. Химия и химическая технология / Экологическая биотехнология [Электронный ресурс] URL: <https://www.chem21.info/18019222003242> (дата обращения: 10.09.2021).

38. Теучеж А. А. Производственные и бытовые отходы : учебное пособие / А. А. Теучеж ; под редакцией И. С. Белюченко. — Краснодар : КубГАУ, 2019. — 91 с.

39. Указ Президента РФ от 4 июня 2008 г. № 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики». URL: <https://base.garant.ru/193388> (дата обращения: 10.09.2021).

40. Управление техногенными отходами : учебное пособие / В. Н. Коротаяев, Н. Н. Слюсарь, Я. А. Жилинская [и др.]. — Пермь : ПНИПУ, 2016. — 390 с.

41. Утилизация отходов производства : методические указания / Ю. Ф. Абакумов, Е. Д. Демьянов, С. С. Зуйков [и др.]. — 2-е изд. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. — 110 с.

42. Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 № 89-ФЗ (последняя редакция). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109 (дата обращения: 10.09.2021).

43. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ (последняя редакция). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 10.05.2021).

44. Экологическое обоснование места размещения полигона твёрдых бытовых отходов / Е.В. Левин, Р.Ф. Сагитов, Т.А. Гамм [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. — 2016. — № 3. — С. 182-184.

45. Энергосбережение : учебное пособие / А. В. Щур, Н. В. Бышов, Н. Н. Казаченок [и др.]. — Рязань : РГАТУ, 2020. — 260 с.

Приложение А

Характеристика этапов жизненного цикла полигона захоронения отходов

Таблица А.1 – Характеристика этапов жизненного цикла полигона захоронения отходов

Годы	Этап жизненного цикла	Использование объекта	Техническая деятельность	Требования к этапу	Воздействие на ОС
0-5	Инвестиционный	Отвод площадки. Строительство объекта	Изыскания. Проектные работы. Строительно-монтажные работы	Должны быть разработаны все необходимые мероприятия, инженерные и технологические решения, связанные с безопасной для окружающей среды эксплуатацией полигона (противофильтрационной защита, изоляция слоев, эффективная дегазация массива отходов, рекультивация поверхности полигона после его закрытия, организация мониторинга).	Воздействие на ОС происходит при осуществлении строительно-монтажных работ на площадке строительства
5-30	Эксплуатационный	Полигон	Работы по формированию массива отходов: прием, складирование, изоляция отходов. Мониторинг окружающей среды в зоне возможного влияния полигона; технологический контроль элементов инфраструктуры полигона.	Необходимо строго соблюдать правила эксплуатации полигонов, вовремя выявлять нарушения и устранять последствия несоблюдения инструкций.	Протекание процессов деструкции отходов, связанные с выделением различных загрязняющих веществ, максимальная

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

			Управление эмиссиями и рабочим телом полигона (геометрия, просадки и провалы)		интегральная эмиссия этих веществ в окружающую среду
30-40	Рекультивационный	Полигон	Выбор направления рекультивации. Техническая и биологическая рекультивация. Проведение мероприятий по мониторингу окружающей среды в зоне возможного влияния полигона	Необходимо реализовывать контроль функционирования системы сбора, отведения и очистки фильтрата, системы дегазации полигона.	Эмиссия загрязняющих веществ с полигона размещения отходов в окружающую среду к 40 годам ЖЦ полигона начинает медленно снижаться
40-50	Пострекультивационный. Активный	Рекреационное (закрытый полигон)	Мониторинг. Управление эмиссиями и рабочим телом полигона	Осуществление контроля процессов сбора, очистки и отведения фильтрата, контроль процесса дегазации полигона, наблюдение за процессом оседания свалочного тела, контроль над состоянием инженерных сооружений в теле полигона. Организация мероприятия по устранению выявленных нарушений (восстановление целостности покрытия полигона при возникновении процесса оседания свалочного тела).	Постепенное снижение эмиссий загрязняющих веществ с полигона размещения отходов в окружающую среду

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6
50-200	Пострекультивационный. Пассивный	Рекреационное	Мониторинг. Пассивная эксплуатация	Осуществление наблюдения за процессом оседания свалочного тела, контроль над состоянием инженерных сооружений в теле полигона.	Постепенное снижение эмиссий загрязняющих веществ с полигона размещения отходов в окружающую среду
200-1000	Пострекультивационный. Стабилизационный	Рекреационное	Мониторинг. Возможная эксплуатация		Соответствие эмиссий загрязняющих веществ нормативным показателям
1000-10000	Вечное захоронение (Ассимиляционный)	Народно-хозяйственное	Мониторинг. Эксплуатация площадки		Интегральная эмиссия загрязняющих веществ с полигона размещения отходов в окружающую среду ниже нормативных и достигает фоновых показателей

Приложение Б

Основные компоненты обнаружения на этапе мониторинга полигона

Таблица Б.1 – Основные компоненты обнаружения на этапе мониторинга полигона

Класс компонентов	Компонент
Металлы	Сурьма
	Мышьяк
	Барий
	Кадмий
	Хром
	Кобальт
	Медь
	Свинец
	Никель
	Селен
	Серебро
	Таллий
	Ванадий
	Цинк
	Бериллий
Органические вещества	Ацетон
	Акрилонитрил
	Бензол
	Бромхлорметан
	Сероуглерод
	Четыреххлористый углерод
	Хлорбензол
	Хлорэтан
	Хлороформ
	Этилбензол
	Бромистый метилен
	Хлористый метилен
	Йодистый метил
	Стирол
	Толуол
	Винилацетат
	Ксилолы
	Винилхлорид

Приложение В

Нормирование вредных веществ, загрязняющих атмосферный воздух на территории полигона

Таблица В.1 – Вредные вещества в пробах воздуха, отобранных на территории полигона в рабочей зоне

Определяемые показатели	Величина ПДУ, мг/м ³
Аммиак	20,0
Сероводород	10,0
Углерода оксид	20,0
Метан	7000,0
Бензол	15,0
Четыреххлористый углерод	20,0
Трихлорметан	10,0
Хлорбензол	100,0
Углеводороды предельные С ₁ – С ₅	7000,0
Углеводороды предельные С ₆ – С ₁₀	900

Таблица В.2 – Вредные вещества в пробах воздуха, отобранных в санитарно-защитной зоне полигона

Определяемые показатели	Величина ПДУ, мг/м ³
Аммиак	0,2
Сероводород	0,008
Углерода оксид	5
Метан	не норм
Бензол	0,3
Хлорбензол	0,1
Углеводороды предельные С ₁ – С ₅	200
Углеводороды предельные С ₆ – С ₁₀	50

Приложение Г

Нормирование показателей, загрязняющих подземные воды

Таблица Г.1 – Наименование показателей проб воды из фоновых и контрольных скважин

Наименование показателя	Методика НД	ПДК, мг/дм ³
рН	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	6,0-9,0
Азот аммонийный	ПНД Ф 14.1:2:4.262-10	3,3
Нитриты	ПНД Ф 14.1:2:4.3-95	1,5
Нитраты	ПНД Ф 14.1:2.4-95	45 по NO ₃
Гидрокарбонаты	ГОСТ 32957-2012	не норм
Сульфаты	ПНД Ф 14.1:2:3:4.240-2007	500
Хлориды	ПНД Ф 14.1:2:3.96-97	350
БПК ₅ , мг O ₂ /дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	3
Кальций	ПНД Ф 14.1:2:3.98-97	не норм
Железо общее	ПНД Ф 14.1:2:4.50-96	0,3
Хром общий	ПНД Ф 14.1:2:4.52-96	0,05 (VI)
Медь	МУ 31-03/04 (ФР.1.31.2004.00987)	1
Кадмий	МУ 31-03/04 (ФР.1.31.2004.00987)	0,001
Ртуть	МВИ св-во №42-05	0,0005
Свинец	МУ 31-03/04 (ФР.1.31.2004.00987)	0,03
Сухой остаток	ПНД Ф 14.1:2:4.261-10	1000
Магний	ПНД Ф 14.1:2:3.95-97	не норм
ХПК	ПНД Ф 14.1:2:3.100-97	15
Мышьяк	МУ 08-47/241 (ФР.1.31.2010.07080)	0,05
Литий	ПНД Ф 14.1:2:4.138-98	0,03
Цианиды	ГОСТ 31863	0,07
Барий	ГОСТ 31870	0,7
Органический углерод	ГОСТ 31958-2012(Метод 1)	не норм

Приложение Д

Нормирование показателей, загрязняющих почвенный покров

Таблица Д.1 – Нормирование вредных веществ проб почвы, отобранных на границе санитарно-защитной зоны полигона

Наименование показателя	НД методов исследования	ПДК, мг/кг
Нитриты	ПНД Ф 16.1:2:2:2:3.51-08	-
Азот нитратный	ПНД Ф 16.1:2:2:2:3.67-10	130
Гидрокарбонаты	ГОСТ 26424-85	-
Нефтепродукты	ПНД Ф 16.1:2:2:2:2.64-2010	-
рН	ГОСТ 26423-85	-
Мышьяк	МУ 08-47/293	2
Хром	ПНД Ф 16.1:2:2:2:2.3.63-09	0,05
Медь	МУ 08-47/292	3
Кадмий	МУ 08-47/292	0,5
Ртуть	МУ 08-47/292	2,1
Свинец	МУ 08-47/292	32
Цинк	МУ 08-47/292	23
Никель	МУ 08-47/292	4
Органический углерод	ГОСТ 23740-79, раздел 3	-
Бен(а)пирен	ПНД Ф 16.1:2:2:2:2.3.39-2003	0,02

Приложение Е

Технологии рекультивации, используемые в странах Западной Европы

Таблица Е.1 – Технологии рекультивации, используемые в странах Западной Европы

Название методов	Краткое описание	Достоинства	Недостатки
Перемещение	Извлечение и последующее перезахоронение отходов	Простота, понятность и широкое признание	Высокая стоимость перезахоронения
Локализация загрязнения	Локализации загрязнения, а именно нанесение защитного покрытия в виде барьера или «покрытия» (глина, цемент, фильтры) между пользователями участка земли и загрязненным почвенным слоем	Простота, понятность и широкое признание	Образование давления на грунтовые пласты, а как следствие попадание загрязняющих веществ в подземные воды
Стабилизация	Использование новейшего состава бентонитовой глины. Данный состав лишает возможности перемещения загрязняющих веществ в насыпи ТКО	Относительно недорогая технология	Нет доказательной базы об исследованиях. Неизвестен срок эксплуатации
Биологическая очистка	Процесс перемешивания органических отходов с подачей кислорода. Активация микроорганизмов, разлагающих отходы.	Эффективна для нефтепродуктов, дизельного топлива и прочих простых углеводов	Неэффективна при наличии хлорсодержащих растворов. Глинистые почвы с трудом поддаются очистке
Промывка грунта	Процесс промывки грунта основан на разности размеров и плотностей различных материалов. Обычно загрязняющие вещества концентрируются в тонкодисперсной части грунта. Таким образом, отделение тонкой части грунта позволяет отделить чистую часть, сконцентрировать и сократить объем загрязненной части в виде шлама	Высокая эффективность процесса очистки. Эффективен для крупных проектов (более 20 тыс. м ³)	Не рекомендуется использовать технологию для глинистых грунтов, поскольку они плохо растворимы и загрязняющие вещества сконцентрированы в малом объеме

Продолжение Приложения Е

Продолжение таблицы Е.1

Название методов	Краткое описание	Достоинства	Недостатки
Термическая обработка	Термическая обработка методом сжигания ТКО	Эффективность очистки– до 99,99 %. Быстродействующий метод	Дорогостоящий процесс
Откачка грунтовых испарений	В грунте, в зоне загрязнения, бурятся шпурсы, а на поверхности создается вакуум. Через загрязненный грунт проходит воздух, и летучие загрязняющие вещества вместе с ним устремляются наружу.	Система хорошо зарекомендовала себя	Длительность периода очистки (не менее 6 месяцев)
Биовентиляция	В теле загрязненного грунта бурятся скважины, в которые подается воздух. Принудительное вентилирование увеличивает скорость биологического разложения	Сокращение сроков очистки грунта	Неконтролируемые биологические процессы
Электроочистка	Метод предназначен для очистки грунтов от тяжелых металлов. Электроды размещаются в грунте, загрязненном металлами, и на них создается разность потенциалов. Металлы начинают мигрировать в грунте и оседают на электродах.	Хорошо удаляет металлы	Значительные капитальные и текущие эксплуатационные затраты

Приложение Ж

Общие характеристики для разных категорий объектов захоронения отходов

Таблица Ж.1 – Характеристика объектов захоронения отходов

Критерий	Открытая свалка	Контролируемая свалка	Санитарный полигон
Размещение	несанкционированное расположение объекта	производится расчет гидрогеологических параметров	объект выбирается относительно стоимости строительных работ и воздействия на ОС
Емкость	неизвестная	проектная	проектная
Планирование	отходы хранятся беспорядочно и не производиться контроль над ними	плана участка не существует, но занята минимальная площадь	захоронение происходит только в определенных и отведенных для этого местах
Предварительные работы	неподготовленная площадка	подготовлены основания, дренаж и производиться контроль над водами	комплекс подготовительных мер
Фильтрат	не управляется	частичное управление	полное управление
Биогаз	не управляется	частичное управление	полное управление
Почвенный покров	покрытие отсутствует	не обязательно	послойное почвенное покрытие, проводящееся ежедневно
Плотность отходов	без уплотнения	уплотнение проводят в определенных случаях	уплотнение обязательно
Подъездные дороги	нет подъездных дорог	ограниченное количество дорог	обязательные организованные дороги
Ограждение	без ограждения	обозначение ограждения	безопасное обязательное ограждение
Классификация отходов	учет не ведется	базовый учет	полный учет отходов (источники и виды)
Контроль над составом	нет контроля	частичный контроль	постоянный контроль
Стоимость	низкая	умеренная	высокие первоначальные расходы
ОВОС	высокое негативное влияние	среднее влияние на ОС	минимальное влияние
Закрытие	не существует, в большинстве случаев остаются заброшенными	происходит частичное покрытие рыхлой почвой и посадка растений	после закрытия объекта происходит наблюдение за ним в течение определенного срока

Приложение 3

Варианты проектов рекультивации полигонов

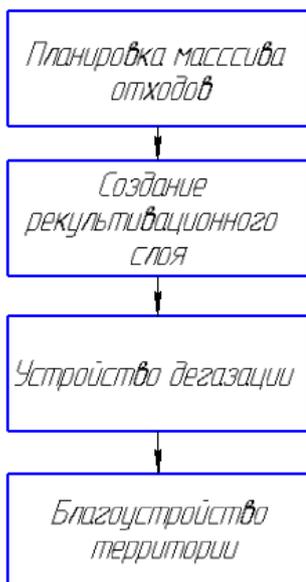


Рисунок 3.1 – Схема рекультивации полигона ТКО на месте

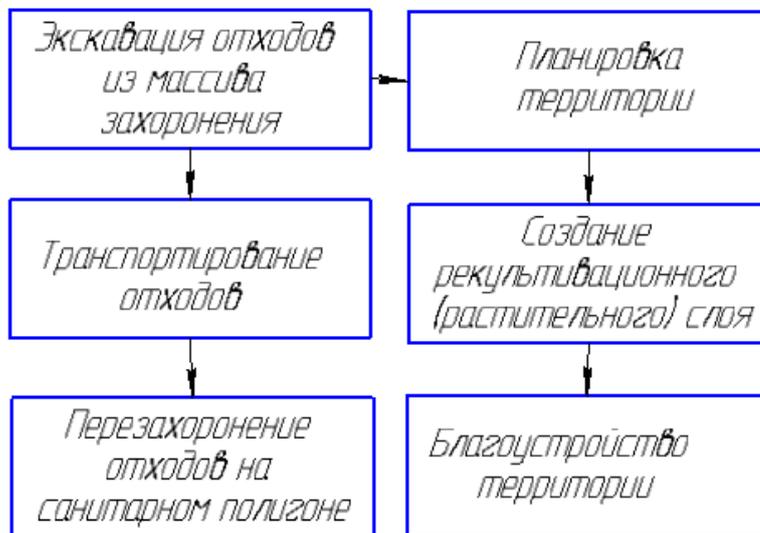


Рисунок 3.2 – Схема рекультивации полигона ТКО с вывозом отходов

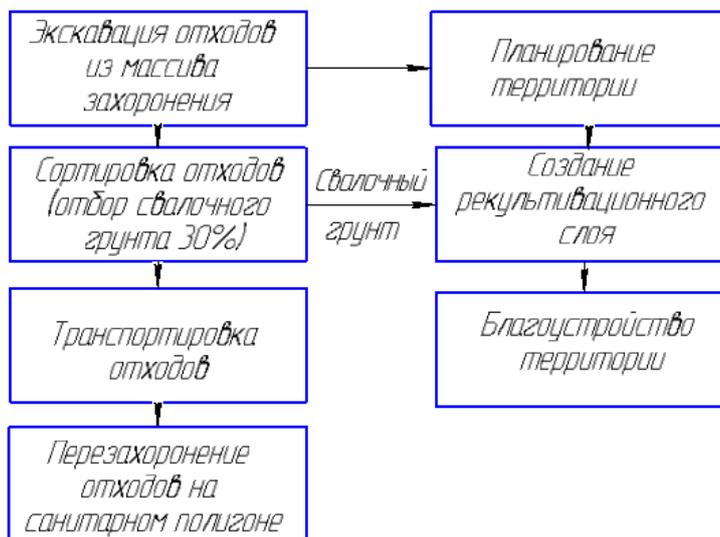


Рисунок 3.3 – Схема рекультивации полигона ТКО с вывозом отходов с отбором грунтовых материалов

Продолжение Приложения 3

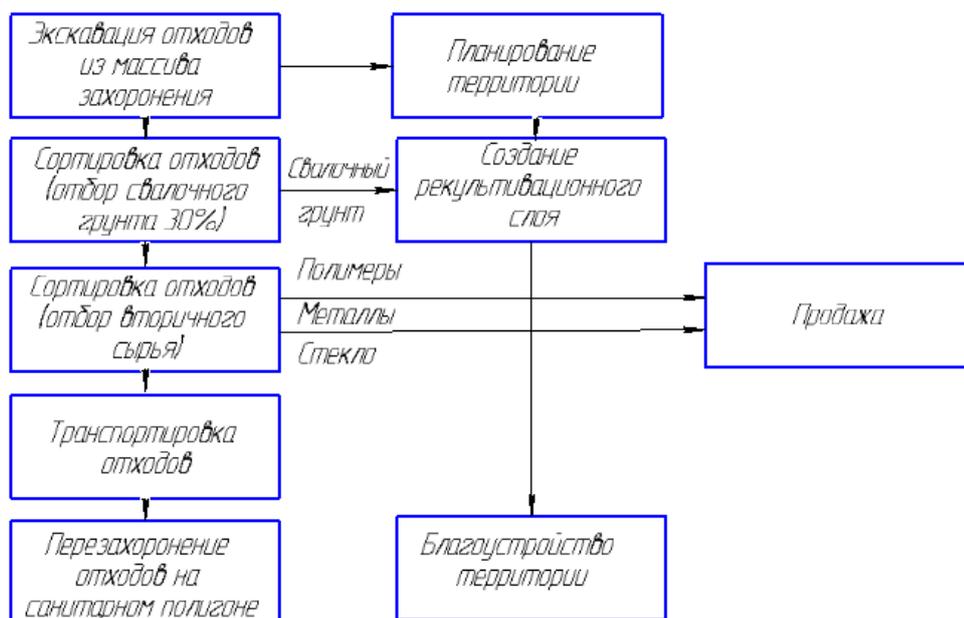


Рисунок 3.4 – Схема рекультивации полигона ТКО с вывозом отходов с предварительным отбором почвенного грунта и некоторых видов вторичного сырья

Приложение И

Сравнительные характеристики трёх методов сжигания отходов

Таблица К.1 – Сравнительные характеристики трёх методов сжигания отходов

Технология	Суть метода	Температура процесса	Виды отходов	Преимущества	Недостатки
Сжигание	ТКО сгорают на движущейся решётке в присутствии воздуха, подаваемого из нижней части печи. Зола и негорючие отходы сбрасываются с конца этой решетки, и выгружаются из печи после сжигания. Часть золы (летучая фракция) уходит с дымовыми газами и собирается в дальнейшем на фильтрах	900-1000 °С	Шлак, зола	1) Уменьшение объема отходов на 95-96 %; 2) Можно сжигать различные виды отходов; 3) Быстродействующий процесс; 4) Полученное тепло от отходящих газов, возможно, использовать для выработки электроэнергии и теплоснабжения; 5) Полученные виды отходов можно использовать для строительных работ	1) Высокая температура отходящих газов
Газиикация	Процесс газификации представляет собой частичное сгорание биомассы для получения газа.	до 3000 °С	СО, СО ₂ , СН ₄ , Н ₂ , Н ₂ О, инертные газы, смола, хлориды и	1) Шлак можно использовать при дорожных работах; 2) Обработка медицинских отходов	1) Образование побочных продуктов в виде смолы, хлоридов и сульфидов;

Продолжение Приложения И

Продолжение таблицы И.1

Технология	Суть метода	Температура процесса	Виды отходов	Преимущества	Недостатки
			сульфиды, шлак		2) Маломощные установки 3) Неоднородность поступающих ТКО может привести к ряду механических проблем, остановок, спеканию и возникновению горячих точек, приводящих к коррозии и разрушению стенок реактора
Пиролиз	Пиролиз – это метод термической переработки ТКО в бескислородной среде, характеризующийся эндотермической реакцией	300-1300 °С	CO, CO ₂ , CH ₄ , H ₂ , твердый кокс с золой	1) Производство угля или кокса, который можно использовать в качестве топлива на электростанциях или цементных заводах	1) Малотоннажные установки; 2) Загрязнение воздуха газами, содержащими HCl, H ₂ S, NH ₃ , SO _x , NO _x и запахи.

Приложение К

Результаты экспериментальной части

Таблица К.1 – Значения кратности разведенной водной вытяжки из отхода (Приказ Минприроды России от 04.12.2014 N 536 «Об утверждении Критериев отнесения отходов к I - V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду»)

Класс опасности отхода	Кратность (Кр) разбавления водной вытяжки отхода
I	$Kp > 10000$
II	$1000 < Kp \leq 10000$
III	$100 < Kp \leq 1000$
IV	$1 < Kp \leq 100$
V	$Kp = 1$

Таблица К.2 – Морфологический состав контрольной пробы с полигона N

Наименование показателей	Содержание, % масс	НД
Камни	24,5	ПНД Ф 16.3.55-08
Полимерные материалы	13,8	
Дерево	1,3	
Бумага	10,1	
Картон	9,0	
Текстиль	3,8	
Стекло	2,9	
Металл	1,6	
Пищевые отходы	5,4	
Отсев (грунт)	27,6	

Таблица К.3 – Определение острой токсичности *Daphnia magna* Straus контрольной пробы

Кратность разбавления	Продолжительность наблюдения, ч	Оценка пробы	Летальная кратность разбавления	НД
1	48 ч	наличие	316 раз	ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.12-06
10		наличие		
100		наличие		
1000		отсутствие		
10000		отсутствие		

Продолжение Приложения К

Таблица К.4 – Определение острой токсичности *Chlorella vulgaris* Beijer контрольной пробы

Кратность разбавления	Продолжительность наблюдения, ч	Оценка пробы	Летальная кратность разбавления	НД
1	22 ч	наличие	2000 раз	ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-06
10		наличие		
100		наличие		
1000		наличие		
10000		отсутствие		

Таблица К.5 – Определение зольности, влаги, рН контрольной пробы

Наименование показателей	Результат	НД
Зольность	30 %	ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.29-02
Влага	36,37 %	ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.58-08
рН	6,2 ед. рН	ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.33-02

Таблица К.6 – Определение КХА контрольной пробы

Наименование показателей	Результат	НД
Свинец	менее 10 мг/кг	М 02-902-125-2005
Кадмий	менее 1 мг/кг	
Цинк	55,4 мг/кг	
Медь	менее 20 мг/кг	
Никель	менее 50 мг/кг	
Мышьяк	менее 0,2 мг/кг	М 02-902-125-2005
Марганец	менее 200 мг/кг	ГОСТ 26488-85
Нитраты	7,7 мг/кг	
Органическое вещество	1,51 %	
НП	175 мг/кг	ПНД Ф 16.1.2:2.2:2.3:3.64-10

Продолжение Приложения К

Таблица К.7 – Определение КХА фоновой пробы

Наименование показателей	Результат	НД
Свинец	менее 10 мг/кг	М 02-902-125-2005
Кадмий	менее 1 мг/кг	
Цинк	20,0 мг/кг	
Медь	менее 20 мг/кг	
Никель	менее 50 мг/кг	
Мышьяк	менее 0,2 мг/кг	М 02-902-125-2005
Марганец	менее 200 мг/кг	
Нитраты	менее 1,0 мг/кг	ГОСТ 26488-85
Органическое вещество	7,54 %	ГОСТ 26213-91 п. 1
НП	менее 20 мг/кг	ПНД Ф 16.1.2:2.2:2.3:3.64-10

Таблица К.8 – Определение острой токсичности *Daphnia magna* Straus фоновой пробы

Кратность разбавления	Продолжительность наблюдения, ч	Оценка пробы	Летальная кратность разбавления	НД
1	48 ч	отсутствие	1 раз	ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.12-06
10		отсутствие		
100		отсутствие		
1000		отсутствие		
10000		отсутствие		

Таблица К.9 – Определение острой токсичности *Chlorella vulgaris* Beijer фоновой пробы

Кратность разбавления	Продолжительность наблюдения, ч	Оценка пробы	Летальная кратность разбавления	НД
1	22 ч	наличие	11 раз	ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-06
10		отсутствие		
100		отсутствие		
1000		отсутствие		
10000		отсутствие		