

На правах рукописи

ЗАВИЗИОН ЮЛИЯ ВЛАДИМИРОВНА

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЛИГОНА
ЗАХОРОНЕНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ
КАК ЭЛЕМЕНТА ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЙ СИСТЕМЫ**

25.00.36 – Геоэкология (строительство и ЖКХ)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Пермь – 2019

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Научный руководитель: **Слюсарь Наталья Николаевна**
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Васильев Андрей Витальевич,**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет», заведующий
кафедрой «Химическая технология и
промышленная экология»

Чусов Александр Николаевич,
кандидат технических наук, доцент,
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
политехнический университет Петра Великого»,
заведующий кафедрой «Гражданское
строительство и прикладная экология»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Иркутский национальный
исследовательский технический университет»

Защита состоится «28» февраля 2019 г. в 10 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д ПНИПУ.05.02, созданного на базе ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», по адресу: 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29, ауд. 345.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (www.pstu.ru).

Автореферат разослан «___» _____ 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д ПНИПУ.05.02
кандидат технических наук, доцент

Е.В. Калинина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. 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.

Тема диссертационной работы соответствует паспорту специальности 25.00.36 Геоэкология (строительство и ЖКХ), пункту 5.14 «Теория, методы, технологии и средства оценки состояния, защиты, восстановления и управления природно-техногенными системами, включая агроландшафты на основе осуществления строительной, хозяйственной деятельности и эксплуатации ЖКХ».

Степень разработанности темы исследований. Большой вклад в развитие методов оценки состояния полигонов захоронения ТКО, в изучение физико-химических и биохимических процессов деструкции отходов, эмиссий загрязняющих веществ в компоненты геосреды внесли работы российских и зарубежных ученых: Я.И. Вайсмана, Н.Ф. Абрамова, В.Н. Коротаева, Л.В. Рудаковой, И.С. Глушанковой, М.П. Федорова, А.В. Черемисина, А.Н. Чусова, P. Brunner, M. Barlaz, R. Stegmann, D. Laner, M. Huber-Humer и др.

Несмотря на значительный объем научных исследований, проводимых в России и зарубежных странах, сложной задачей, до сих пор нерешенной однозначно, является определение физико-химических и биохимических параметров отходов разного срока захоронения и установление параметров

достижения стабильности отходов в массиве захоронения. Разработанные методы оценки состояния полигона захоронения ТКО как элемента ПТС являются трудоемкими и длительными.

Комплексная оценка состояния полигона и выбор технических мероприятий по обеспечению безопасного уровня его геоэкологического воздействия должны проводиться на основании результатов оценки стабильности отходов в массиве захоронения с учетом климатических условий территории расположения полигона, технологии захоронения отходов, результатов мониторинга компонентов окружающей среды, оценки текущих и прогнозирования долгосрочных эмиссий полигона и т.д.

Работа является обобщением результатов исследований, выполненных на кафедре «Охрана окружающей среды» ПНИПУ в рамках совместного научного проекта международных исследовательских групп ученых на базе ПНИПУ «Научные основы ресурсосберегающих технологий снижения парниковых газов на этапах жизненного цикла полигонов захоронения отходов» (грант Министерства образования Пермского края №С-26/623, 2012 г.) и государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках мероприятия «Инициативные научные проекты» (код заявки 5.9729.2017/8.9).

Цель: Геоэкологическая оценка состояния полигонов захоронения твердых коммунальных отходов для обеспечения их безопасного функционирования как элементов природно-техногенных систем.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Выявить закономерности протекания процессов стабилизации отходов и формирования эмиссий полигона захоронения ТКО на этапах жизненного цикла.

2. Установить зависимости термических параметров отходов разного срока захоронения от их физико-химических и биохимических параметров для установления индикаторных показателей, позволяющих оценить классы стабильности отходов.

3. Разработать методику комплексной оценки стабильности отходов разного срока захоронения, предназначенную для геоэкологической оценки состояния полигонов захоронения ТКО как элементов природно-техногенных систем.

4. Обосновать выбор технических мероприятий по обеспечению безопасного уровня геоэкологического воздействия полигонов захоронения ТКО с учетом этапа жизненного цикла и класса стабильности отходов.

Научная новизна:

1. Установлены индикаторные показатели для оценки класса стабильности отходов, позволяющие определять уровень воздействия полигона захоронения отходов на геосферные оболочки.

2. Впервые предложено оценивать стабильность отходов в массиве полигона по ряду термических параметров отходов: величине тепловых эффектов, температуре пиков тепловыделения, скорости потери массы, отношению удельных энтальпий сухого вещества и органического сухого вещества. Выявлены логистические зависимости отношения удельных энтальпий сухого

вещества и органического сухого вещества от показателя дыхательной активности, потенциала газообразования отходов, ХПК, БПК₅; экспоненциальные зависимости – от содержания общего и органического углерода в отходах.

3. Впервые разработана методика комплексной оценки стабильности отходов разного срока захоронения, основанная на использовании метода синхронного термического анализа, предназначенная для геоэкологической оценки состояния полигонов захоронения ТКО как элементов природно-техногенных систем и обоснования выбора технических мероприятий по снижению эмиссий.

Теоретическая и практическая значимость. Результаты научных исследований и теоретические положения диссертационной работы использованы для разработки методики комплексной оценки стабильности отходов разного срока захоронения. Методика может быть использована для оценки состояния полигона захоронения ТКО на этапах жизненного цикла, проведения инженерно-экологических изысканий и разработки технических решений по обеспечению безопасного уровня геоэкологического воздействия полигона.

Практическая ценность работы заключалась в использовании разработанной методики при проведении комплексных инженерно-экологических изысканий на объектах захоронения отходов Пермского края и разработке технических решений по минимизации воздействия закрытой свалки ТБО г. Краснокамска на объекты окружающей среды.

Результаты проведенных исследований использованы в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Техносферная безопасность» на кафедре «Охрана окружающей среды» ФГБОУ ВО ПНИПУ.

Методология и методы исследования. При выполнении работы проводились полевые и лабораторные исследования образцов отходов с использованием физико-химических методов, биохимических методов (исследование газового потенциала и анаэробного разложения отходов в лабораторных реакторах), метода синхронного термического анализа, по результатам которых устанавливались эмпирические зависимости. Для обработки результатов исследований использовались методы статистического анализа. Экспериментальные исследования проводились на базе лабораторий кафедры «Охрана окружающей среды» ПНИПУ, лабораторий Университета природных ресурсов и прикладных естественных наук г. Вена (ABF-BOKU) и Технического университета г. Гамбург (TUHH).

Степень достоверности результатов подтверждается применением общепринятых и научно-апробированных методов при проведении полевых и лабораторных исследований, удовлетворительной сходимостью полученных результатов экспериментальных исследований, применением статистических методов обработки экспериментальных данных с оценкой тесноты корреляционной связи получаемых зависимостей.

Положения, выносимые на защиту:

1. Установленные индикаторные показатели для оценки класса стабильности отходов, позволяющие определять уровень воздействия полигона захоронения отходов на геосферные оболочки.

2. Научно обоснованные термические параметры оценки стабильности отходов в массиве полигона: величина тепловых эффектов, температура пиков тепловыделения, скорость потери массы, отношение удельных энтальпий сухого вещества и органического сухого вещества.

3. Методика комплексной оценки стабильности отходов разного срока захоронения с использованием метода синхронного термического анализа, предназначенная для геоэкологической оценки состояния полигонов захоронения ТКО как элементов природно-техногенных систем и обоснования выбора технических мероприятий по снижению эмиссий.

Апробация результатов исследований. Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на XII, XIII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) «Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика» (Пермь, 2014 г., 2015 г.), Международной конференции «Системы управления в обращении с ТБО: правовые, финансовые и технические решения» (Москва, 2015 г., 2017 г.), II, III Международной научной конференции «От обращения с отходами к управлению ресурсами» (Пермь, 2015 г., 2017 г.), Международной конференции «Berliner Jungerkonferenz Klima- und Umweltschutz, Energiequellen, Abfallwirtschaft» (Берлин, 2015 г.), Международной научно-практической конференции «Экологическое строительство и устойчивое развитие. Зеленые кампусы и школы – элементы устойчивого развития городов» (Пермь, 2016 г.), Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) «Химия. Экология. Урбанистика» (Пермь, 2017 г.), VIII Евразийском экономическом форуме молодежи (Екатеринбург, 2017 г.), Международной конференции «Управление муниципальными отходами как важный фактор устойчивого развития мегаполиса» (Санкт-Петербург, 2018 г.).

Публикации по результатам исследований. По теме диссертации опубликовано 16 работ, из которых 4 работы опубликованы в журналах, включенных в перечень ведущих рецензируемых научных изданий и 2 работы опубликованы в журналах, индексируемых в международных реферативных базах: Scopus, GeoRef.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы. Работа изложена на 168 страницах машинописного текста, включает 37 таблиц, 53 рисунка. Список использованной литературы содержит 150 источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, сформулирована основная цель и задачи работы, научная новизна и практическая значимость, изложены основные выносимые на защиту положения.

В первой главе представлена оценка полигона захоронения отходов как элемента ПТС, приведены параметры полигонов захоронения отходов и их

эксплуатационные характеристики. Выявлены основные закономерности протекания процессов разложения и стабилизации ТКО в массиве захоронения на этапах жизненного цикла полигона. Установлено, что разработанные методики оценки состояния полигона не учитывают стабильность отходов в массиве захоронения при планировании технических мероприятий по снижению эмиссий в геосферные оболочки на этапах жизненного цикла полигона в текущий и прогнозируемый момент времени. Дана оценка существующих технических мероприятий по снижению эмиссий загрязняющих веществ на этапах жизненного цикла полигона захоронения отходов.

Во второй главе приведены основные положения комплексной оценки состояния полигонов захоронения ТКО, основанные на определении параметров оценки стабильности отходов.

Для исследования выбраны типичные объекты захоронения ТКО, характеризующиеся разным сроком захоронения отходов и находящиеся на разных этапах жизненного цикла, но имеющие схожую технологию складирования отходов: 4 объекта захоронения отходов (Пермский край), 1 объект захоронения отходов (Свердловская область). Выбранные объекты расположены в схожих климатических условиях и характеризуются близким компонентным составом захороненных отходов. Характеристика исследуемых объектов захоронения отходов представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика объектов захоронения отходов

№	Объект захоронения отходов	Период эксплуатации	Площадь объекта, га	Высота массива отходов, м	Объем накопленных отходов, тыс.м ³
1	Объект «А» (Пермский край)	2008 г. – н.в.	13,0	4-6	142,70
2	Объект «Б» (Пермский край)	1965 г. – н.в.	36,0	2-8	205,75
3	Объект «В» (Пермский край)	1963 – 2008 гг.	10,5	7-9	697,30
4	Объект «Г» (Пермский край)	1952 – 1982 гг.	29,75	5-8	14900,00
5	Объект «Д» (Свердловская область)	1970 г. – н.в.	5,0	7-8	375,00

Основные этапы геоэкологической оценки состояния полигона захоронения отходов представлены на рисунке 1. Отбор проб отходов на полигоне осуществлялся посредством ковшевого экскаватора по профилю массива с шагом в 1,0-2,0 м по вертикали. Всего с исследуемых объектов захоронения отходов было отобрано 75 проб, минимальная масса отбираемой пробы составила 100 кг. Подготовка проб для лабораторных исследований включала отсев инертной части отходов, сушку (при $T=70^{\circ}\text{C}$), последовательное измельчение проб до размера частиц $D \leq 20$ мм – для физико-химических и биохимических анализов и до $D \leq 0,2-0,3$ мм – для термического анализа. Лабораторные исследования образцов отходов включали в себя определение биохимических параметров: потенциал газообразования (GS_{21}), показатель дыхательной активности (RI_4); физико-химических параметров: рН, ХПК, БПК₅, аммонийный азот (NH_4-N), общий азот ($N_{\text{общ.}}$), зольность, общий углерод ($C_{\text{общ.}}$), органический углерод ($C_{\text{орг.}}$). Репрезентативность проводимых

лабораторных исследований была обеспечена выполнением 3 повторений для каждой пробы.



Рисунок 1 – Основные этапы геоэкологической оценки состояния полигона захоронения отходов

Проведен синхронный термический анализ (СТА) отходов, включающий термогравиметрические исследования (ТГ) и дифференциальную сканирующую калориметрию образцов (ДСК) с совмещенной масс-спектрометрией образующихся газов. ДСК и ТГ отходов проводили на приборе для СТА NETZSCH «STA 449C Jupiter» в среде воздуха и аргона. Условия проведения анализа: диапазон нагрева 35-800°C, скорость нагрева – 10°C/мин, скорость газового потока в печи – 40 мл/мин, материал тигля – платина. Масс-спектрометрию образующихся газов осуществляли на масс-спектрометре QMS 403 C Aeolos.

Лабораторное моделирование процессов разложения отходов проводилось в биореакторах. Исследования проводились для отходов объекта «А» и объекта «В», характеризующихся разным сроком захоронения отходов. Ускорение процессов разложения отходов в биореакторах осуществлялось за счет добавления воды. Срок нахождения отходов в лабораторных биореакторах был пересчитан на реальные условия полигона.

В третьей главе представлены результаты полевых и лабораторных исследований комплексной оценки состояния полигонов и стабильности отходов разного срока захоронения. Разработана методика комплексной оценки стабильности отходов на этапах жизненного цикла полигона.

На основании проведенных исследований были выявлены основные физико-химические и биохимические параметры отходов, позволяющие определить стадии биодеструкции и степень разложения отходов: ХПК, БПК₅, общий и органический углерод, показатель дыхательной активности, потенциал газообразования. Индикатором изменения содержания органических соединений в отходах может служить отношение БПК₅/ХПК. Установлены следующие отношения БПК₅/ХПК отходов разного срока захоронения: 1-5 лет – 0,54; 5-10 лет – 0,45; 10-20 лет – 0,23; 20-40 лет – 0,21; более 40 лет – 0,15.

С увеличением срока захоронения отходов наблюдается последовательное снижение содержания органического вещества и увеличение зольности. Установлены следующие отношения органическое вещество/зольность для отходов разного срока захоронения: 1-5 лет – 1,26; 5-10 лет – 1,14; 10-20 лет – 0,3; 20-40 лет – 0,2; более 40 лет – 0,14.

Проведен СТА отходов в среде воздуха и аргона с совмещенной масс-спектрометрией образующихся газов. Для сравнительной характеристики процессов деструкции отходов использовали образцы дерново-подзолистой почвы, т.к. известно, что отходы, находящиеся в массиве полигона длительное время, по физико-химическим характеристикам приближаются к состоянию дерново-подзолистых почв. На рисунке 2 и 3 представлены характеристика кривых ДСК и ТГ для отходов разного срока захоронения в среде воздуха.

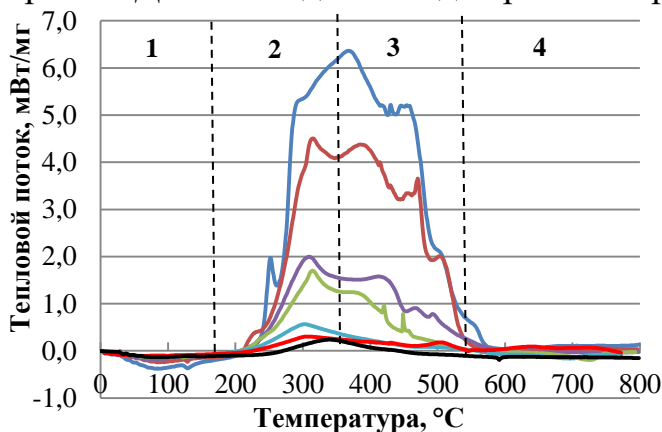


Рисунок 2 – ДСК-кривые для отходов разного срока захоронения в среде воздуха

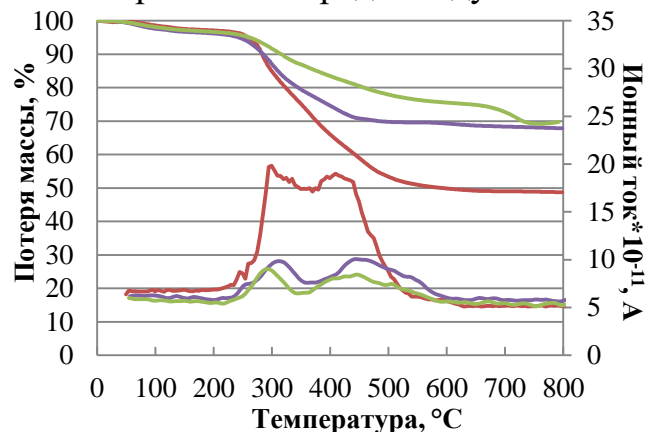


Рисунок 3 – Совмещенные кривые ТГ и ионного тока ($M/z=28$) для отходов разного срока захоронения в среде воздуха

Анализ кривых ДСК образцов отходов показал, что для всех образцов отходов характерны 4 интервала термических эффектов. Интервал $T=0-220^{\circ}\text{C}$ характерен для испарения физической и связанной влаги образца, что также подтверждается кривой ионного тока для воды. Экзотермические пики наблюдаются в интервале $T=280-550^{\circ}\text{C}$, характеризуют основные процессы окисления органической части отходов, что также подтверждается образующимися при масс-спектральном анализе кислородсодержащими соединениями ($M/z=28$) (рисунок 3). Эндотермические эффекты в интервале $T=650-800^{\circ}\text{C}$ характерны для разложения неорганических компонентов отходов, в том числе карбонатов кальция, магния и т.д. По кривым ДСК

выявлено смещение пиков начала окисления образцов в более высокую область температур и снижение их интенсивности с увеличением срока захоронения в сравнении с отходами малого срока захоронения (1-5 лет), что свидетельствует об увеличении степени стабильности отходов. По кривым ДСК были рассчитаны удельные энтальпии сухого вещества (СВ) (теплосодержание образца в пересчете на сухое вещество) и органического сухого вещества отходов (ОСВ) (теплосодержание органического вещества в образце при пересчете на сухое вещество). На основании полученных данных была выявлена зависимость отношения $\frac{\Delta(\text{СВ})}{\Delta(\text{ОСВ})}$, показывающая изменение содержания разлагаемых органических компонентов в отходах (рисунок 4).

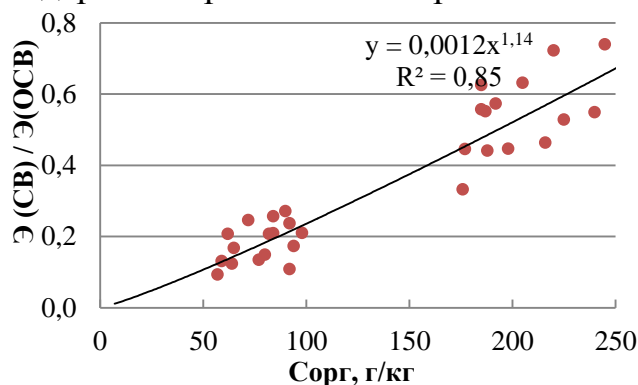


Рисунок 4 – Зависимость отношения $\frac{\Delta(\text{СВ})}{\Delta(\text{ОСВ})}$ отходов от содержания органического углерода

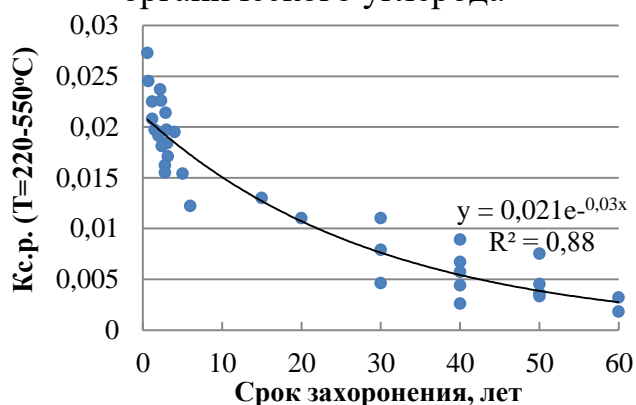
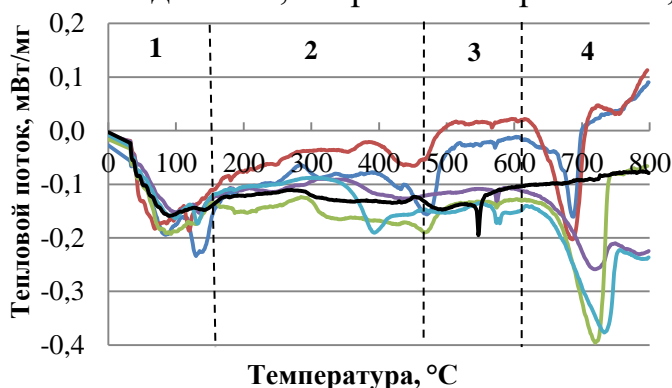


Рисунок 5 – Зависимость константы скорости разложения отходов от срока захоронения

захоронения в среде аргона. Анализ кривых ДСК для отходов в среде аргона показал, что для всех образцов характерны четыре интервала термических эффектов: 1 пик – до 150°C связан с удалением влаги; 2 пик – $T = 420-500^\circ\text{C}$ связан с процессами деструкции органической составляющей отходов, 3 пик – $T = 550-620^\circ\text{C}$ связан с процессами карбонизации органической составляющей отходов. Выявлено смещение пиков начала разложения образцов в интервале $T = 680-720^\circ\text{C}$ в сторону более высоких температур и увеличение их интенсивности с увеличением срока захоронения отходов, что объясняется разложением неорганических компонентов отходов и разложением карбоната кальция, подтверждаемое кривой ионного тока диоксида углерода (рисунок 7).

По кривым ТГ установлена зависимость потери массы отхода от срока захоронения. По результатам ТГ была рассчитана константа скорости разложения образцов в интервале $T = 220-550^\circ\text{C}$ (разложение органических веществ), которая снижается с увеличением срока захоронения отходов и повышением стабильности отходов (рисунок 5): $K_{с.р.(220-550^\circ\text{C})} > 0,017$ (до 5 лет); $K_{с.р.(220-550^\circ\text{C})} = 0,007-0,017$ (5-30 лет); $K_{с.р.(220-550^\circ\text{C})} < 0,007$ (более 30 лет). При проведении исследований термической деструкции образцов отходов старых свалок и полигонов в среде воздуха установлено совпадение экзотермических пиков окисления органической составляющей образцов, возникают сложности в идентификации эндотермических пиков в интервале $T = 650-800^\circ\text{C}$. На рисунке 6 представлена характеристика полученных кривых ДСК для отходов разного срока

Результаты СТА отходов разного срока захоронения позволили установить термические параметры на основании которых предложено оценивать стабильность отходов: величина тепловых эффектов, температура пиков тепловыделения, скорость потери массы, отношение Э(СВ)/Э(ОСВ).



— 3 года — 5 лет — 15 лет — 30 лет — 50 лет — Дерново-подзолистая почва

Рисунок 6 – ДСК-кривые для отходов разного срока захоронения в среде аргона

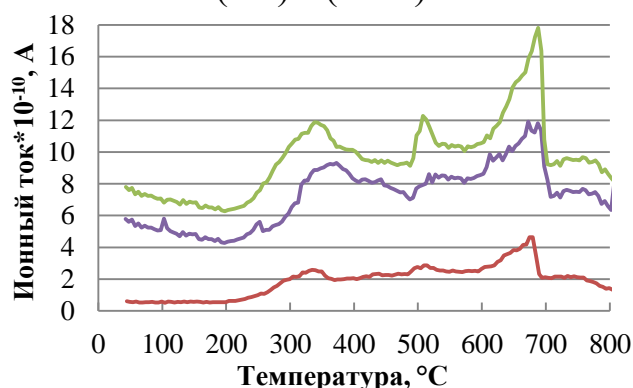


Рисунок 7 – Кривые ионного тока диоксида углерода ($M/z=44$) при СТА отходов в среде аргона

Установленные зависимости термических параметров отходов от их физико-химических и биохимических параметров отходов разного срока захоронения позволили установить классы стабильности отходов, граничные значения индикаторных показателей стабильности и периоды их достижения (таблица 2). По классам стабильности отходы предложено разделить на: высокореактивные отходы, реактивные отходы, стабильные отходы.

Таблица 2 – Граничные значения показателей оценки стабильности отходов

Параметр	Классы стабильности отходов					
	Высокореактивные отходы		Реактивные отходы		Стабильные отходы	
	Значение	Срок захоронения, лет	Значение	Срок захоронения, лет	Значение	Срок захоронения, лет
ХПК, мгО ₂ /л	>1400	<12	500-1400	12-30	<500	>30
БПК ₅ , мгО ₂ /л	>650	<10	180-650	10-27	<180	>27
NH ₄ -N, г/кг СВ	>6,1	<4	1,4-6,1	4-25	<1,4	>25
N _{общ.} , г/кг СВ	>7,6	<4	3,5-7,6	4-45	<3,5	>45
Зольность, %	<55	<5	55-80	5-30	>80	>30
C _{орг.} , г/кг СВ	>185	<3	95-185	3-35	<95	>35
C _{общ.} , г/кг СВ	>210	<4	120-210	4-35	<120	>35
RI ₄ , мгО ₂ /г СВ	>7,0	<8	2,5-7,0	8-35	<2,5	>35
GS ₂₁ , л/кг СВ	>15,0	<8	5,0-15,0	8-35	<5,0	>35
Э(СВ)/Э(ОСВ)	>0,45	<10	0,2-0,45	10-35	<0,2	>35
K _{с.р.}	>0,017	<8	0,007-0,017	8-32	<0,007	>32

В четвертой главе приведен алгоритм комплексной оценки технических мероприятий по снижению эмиссий полигона, который включает следующие этапы: анализ существующих технических мероприятий по снижению эмиссий, установление критериев выбора технических мероприятий и граничных условий их реализации, оценку параметров массива захоронения отходов и

стабильности отходов, эколого-экономическую оценку технических мероприятий. На основании результатов выполненной оценки технических мероприятий по снижению эмиссий на полигонах захоронения ТКО были предложены граничные условия (таблица 3). Анализ принципиальной возможности реализации технических мероприятий по снижению эмиссий на объекте захоронения отходов заключался в сопоставлении параметров технических мероприятий с характеристиками объекта по установленным критериям. Результаты оценки технических мероприятий по снижению эмиссий были апробированы для исследуемых объектов захоронения отходов.

Проведена эколого-экономическая оценка технических мероприятий (на примере объекта «А»), которая включала: расчет объемов биогаза и фильтрата, расчет платы за негативное воздействие на объекты окружающей среды и предотвращённого экологического ущерба. На рисунке 8 представлена динамика образования метана при внедрении разных вариантов технических мероприятий на этапах жизненного цикла полигона захоронения отходов.

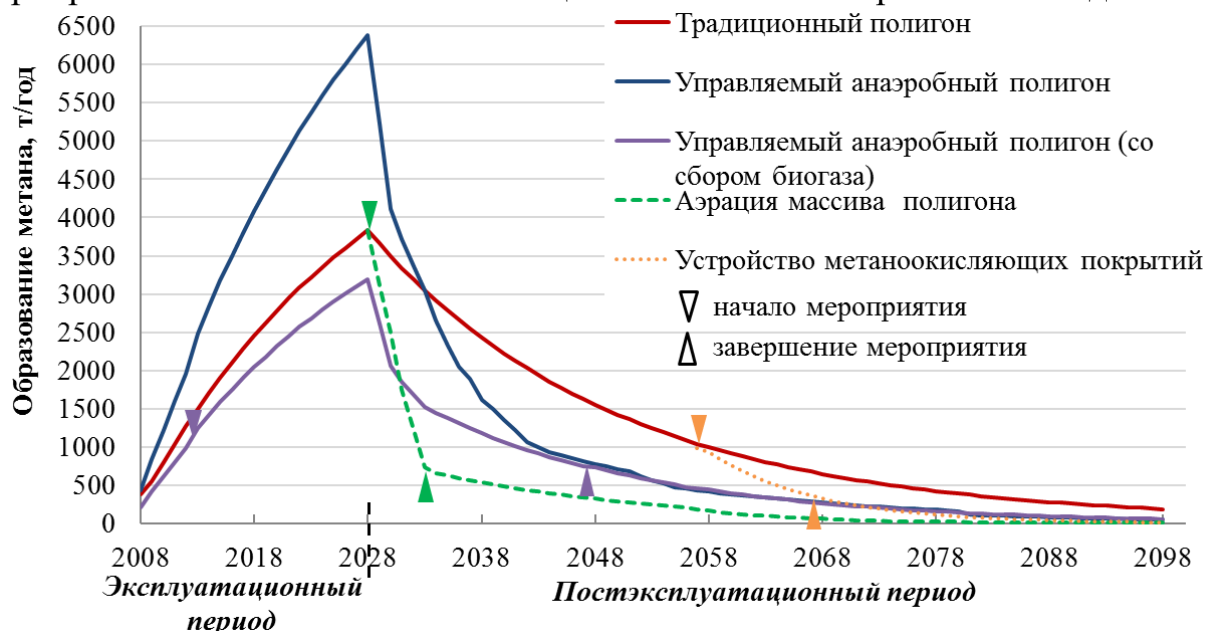


Рисунок 8 – Динамика образования метана при разных вариантах технических мероприятий на полигоне захоронения отходов

На полигоне захоронения отходов со стандартным набором защитных сооружений суммарный срок эмиссий метана в атмосферный воздух составляет 65 лет. Эксплуатация объекта, как управляемого анаэробного биореактора, позволит увеличить эмиссий метана на стадии эксплуатации до 60% и снизить суммарный срок эмиссий метана до 40 лет. Внедрение технологии сбора биогаза на полигоне позволит снизить эмиссии метана на эксплуатационном этапе на постэксплуатационном этапе на 50%. Аэрация массива отходов на постэксплуатационном этапе позволит снизить остаточные эмиссии метана на 70%, срок эмиссий метана до 34 лет, объем фильтрата на 50% и снизить концентрации органических соединений в фильтрате. Устройство метаноокисляющих покрытий на постэксплуатационном этапе позволит снизить остаточные эмиссии метана на 15%, суммарный срок эмиссий метана с 65 лет до 53 лет.

Таблица 3 – Граничные условия внедрения технических мероприятий по снижению эмиссий на этапах жизненного цикла полигона захоронения ТКО

Параметр	Рекомендуемые технические мероприятия			
	Увлажнение массива полигона	Сбор биогаза	Аэрация массива полигона	Устройство метаноокисляющих покрытий
Этап жизненного цикла	Эксплуатационный	Эксплуатационный / Постэксплуатационный	Постэксплуатационный	Постэксплуатационный
Возраст объекта, лет	0-20	5-30	25-30	20-100
Климатические условия	Годовое кол-во осадков <1000 мм/год	Годовое кол-во осадков >580 мм/год	Инфильтрация 250 мм/год*	Эвапотранспирация 450-550 мм/год**
Температура ОС при проведении работ, °С	>0	>0	>0	5-40
Влажность отходов в массиве захоронения, %	не нарушает механической стабильности массива	55-80	40-50	30-35
Генерация метана, м ³ /ч	н/в	>60	≤25	≤25
Содержание метана в биогазе, %	н/в	>45	<45	<30
pH фильтрата полигона	6,8-7,4	6-8	6,8-7,4	н/в
XПК фильтрата полигона, мгО ₂ /л	<12700	н/в	н/в	н/в
N _{общ} фильтрата полигона, мг/л	≥2100	н/в	н/в	н/в
Температура отходов в массиве захоронения, °С	25-40	25-40	20-60	25-35
Э(СВ)/Э(ОСВ) отходов массиве захоронения	>0,2	>0,3	0,2-0,3	≤0,2
RI ₄ отходов массиве захоронения, мгО ₂ /г СВ	н/в	н/в	>3,0	2,0-3,0
GS ₂₁ отходов в массиве захоронения, л/кг СВ	н/в	н/в	>3,0	3,0-10,0
Наличие гидроизоляции основания	обязательно	н/в	обязательно	н/в
Наличие системы сбора и очистки фильтрата	обязательно	н/в	обязательно	н/в
Наличие системы сбора и утилизации биогаза	н/в	обязательно		н/в
Рекультивация закрытых участков	не требуется	в зависимости от системы сбора и отведения биогаза	необходима	является частью технического мероприятия

н/в – не влияет

*Разница между количеством атмосферных осадков и испарившейся влаги с массива захоронения отходов (с учетом конструкции верхнего покрытия)

**Суммарное испарение влаги с массива захоронения отходов (зависит от используемой растительности и в целом конструкции полигона)

Внедрение технологии сбора биогаза на полигоне позволит снизить ПДК метана с 0,8 до 0,7 ПДК в границах полигона и с 0,2 до 0,1 ПДК на границе СЗЗ. Аэрация массива отходов на постэксплуатационном этапе позволит снизить ПДК метана до 0,1 ПДК на границе полигона и до 0,05 ПДК на границе СЗЗ.

В результате внедрения технических мероприятий плата за негативное воздействие на объекты окружающей среды (в ценах 2018 г.) при увлажнении массива полигона водой снизится на 18%, при организации системы сбора биогаза – 28%, при аэрации массива отходов – 32%, при устройстве метанооксиляющих покрытий – 5%. Предотвращенный экологический ущерб от загрязнения объектов окружающей среды (в ценах 2018 г.) составит: при увлажнении массива полигона водой – 19,4 млн.руб., при организации системы сбора биогаза – 103,95 млн. руб., при аэрации массива отходов – 147,3 млн.руб., при устройстве метанооксиляющих покрытий – 28,0 млн.руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выявлены закономерности протекания процессов стабилизации отходов и формирования эмиссий полигона захоронения ТКО на этапах жизненного цикла. Установлены зависимости термических параметров отходов от их физико-химических и биохимических параметров отходов разного срока захоронения, позволившие установить индикаторные показатели стабильности отходов. На этапах жизненного цикла объекта выявлены логистические зависимости отношения $\frac{\text{Э(СВ)}}{\text{Э(ОСВ)}}$ от показателя дыхательной активности, потенциала газообразования отходов, ХПК, БПК₅; экспоненциальные зависимости – от содержания общего и органического углерода в отходах.

2. Обоснована возможность использования СТА для определения стабильности отходов, захороненных на полигонах. Анализ кривых ДСК и ТГ в среде воздуха позволил определить, что интенсивность тепловых потоков и потеря массы снижаются с увеличением срока захоронения отходов и стабильности отходов. На кривых ДСК наблюдается сдвиг температуры начала окисления отходов в интервале $T=300-330^{\circ}\text{C}$. По кривым ДСК в среде аргона выявлено смещение и увеличение интенсивности эндотермических пиков в интервале $T=620-800^{\circ}\text{C}$, что объясняется разложением неорганических компонентов отходов и карбоната кальция.

3. Разработана методика комплексной оценки стабильности отходов разного срока захоронения, предназначенная для геоэкологической оценки состояния полигонов захоронения ТКО на этапах жизненного цикла. Предложена классификация стабильности отходов в массиве полигона, основанная на определении термических параметров отходов: величине тепловых эффектов, температуре пиков тепловыделения, скорости потери массы, отношении $\frac{\text{Э(СВ)}}{\text{Э(ОСВ)}}$. Отходы, имеющие отношение $\frac{\text{Э(СВ)}}{\text{Э(ОСВ)}} > 0,45$, относятся к классу высокореактивных, отходы с отношением $\frac{\text{Э(СВ)}}{\text{Э(ОСВ)}} = 0,2-0,45$ относятся к классу реактивных отходов, отходы с отношением $\frac{\text{Э(СВ)}}{\text{Э(ОСВ)}} < 0,2$ относятся к классу стабильных отходов.

4. Установлены критерии выбора технических мероприятий по снижению эмиссий, граничные условия и особенности их реализации на этапах жизненного цикла полигона. Выбор технических мероприятий по снижению

эмиссий, зависящий от класса стабильности отходов, параметров массива захоронения отходов, климатических условий местности, эмиссий биогаза и фильтрата, позволяет обеспечить безопасный уровень геоэкологического воздействия полигонов захоронения ТКО.

5. На примере одного из исследуемых объектов захоронения отходов определено, что при эксплуатации полигона, как управляемого анаэробного биореактора увеличиваются эмиссии метана на стадии эксплуатации до 60%, при аэрации массива отходов на постэксплуатационном этапе снижаются остаточные эмиссии метана на 70% и объем фильтрата на 50%, при устройстве метаноокисляющих покрытий на постэксплуатационном этапе снижаются эмиссии метана на 15%, предотвращенный экологический ущерб составит (в ценах 2018 г.) 103,95 млн.руб., 147,3 млн.руб., 28,0 млн.руб. соответственно.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ

Публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях и в изданиях, приравненных к ним:

1. Завизион Ю.В., Глушанкова И.С., Слюсарь Н.Н., Вайсман Я.И. Применение синхронного термического анализа для оценки стабильности захороненных на полигонах твердых коммунальных отходов // Экология и промышленность России. – 2016. – № 6. – С. 43-49 (Scopus, GeoRef).

2. Завизион Ю.В., Слюсарь Н.Н., Коротаев В.Н. Критерии выбора комплекса технических мероприятий снижения эмиссий на полигонах захоронения твердых коммунальных отходов // Экология и промышленность России. – 2018. – № 9. – С. 52-57 (Scopus, GeoRef).

3. Завизион Ю.В., Слюсарь Н.Н., Глушанкова И.С., Загорская Ю.М., Коротаев В.Н. Оценка состояния полигонов захоронения ТБО по изменению органической составляющей // Экология и промышленность России. – 2015. – № 7. – С. 26-31.

4. Миниахметова К.Э., Завизион Ю.В., Жилинская Я.А., Слюсарь Н.Н. Исследование процесса выделения биогаза в лабораторных условиях с целью обоснования основных параметров технологии управления метаногенезом при контролируемом орошении // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2015. – № 4 (20). – С. 92-106.

5. Загорская Ю.М., Завизион Ю.В. Оценка степени разложения твердых коммунальных отходов разного срока захоронения по данным состава // Экология урбанизированных территорий. – 2016. – № 2. – С.49-54.

6. Завизион Ю.В. Оценка состояния полигонов захоронения твердых коммунальных отходов на этапах жизненного цикла - термоаналитический и спектроскопический подход // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2016. – № 3. – С.90-109.

Прочие работы по теме диссертации:

7. Загорская Ю.М., Слюсарь Н.Н., Глушанкова И.С., Завизион Ю.В. Исследование свойств отходов разного срока захоронения // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2014. – № 1. – С. 40-50.

8. Завизион Ю.В., Слюсарь Н.Н. Оценка изменения показателя зольности и содержания органического углерода в массиве захоронения отходов // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. – 2014. – № 1. – С. 84-90.
9. Завизион Ю.В., Слюсарь Н.Н., Глушанкова И.С. Использование термического анализа для оценки степени стабильности ТБО // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2015. – № 1. – С. 242-247.
10. Завизион Ю.В., Слюсарь Н.Н. Анализ термических и спектральных характеристик твердых коммунальных отходов в массиве их захоронения // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. – 2015. – Т. 1. – С. 129-136.
11. Завизион Ю.В., Слюсарь Н.Н., Глушанкова И.С., Загорская Ю.М. Оценка физико-химических параметров отходов разного срока захоронения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2015. – № 3 (19). – С. 82-96.
12. Zavizion Yu.V., Sliusar N.N. Assessing decomposition level of wastes with different disposal periods // Инновационные процессы в исследовательской и образовательной деятельности. – 2015. – Т. 1. – С. 27-30.
13. Завизион Ю.В., Слюсарь Н.Н. Анализ термических характеристик твердых коммунальных отходов разного срока захоронения // Материалы XVI Международной конференции «Химия и инженерная экология». – 2016. – С. 140-143.
14. Завизион Ю.В., Слюсарь Н.Н. Оценка долгосрочного воздействия полигонов захоронения твердых коммунальных отходов на окружающую среду // Системы управления в обращении с ТБО: правовые, финансовые и технические решения: сб. докл. междунар. конф., Москва, 6-7 мая 2017 г. / Междунар. асоц. по твердым отходам (ISWA). – Москва, 2017. - URL: https://www.waste-tech.ru/RXRU/RXRU_WasteTech/documents/tko_papers/Завизион.pdf?v=636329439872809005/.
15. Завизион Ю.В. Оценка состава и свойств захороненных отходов // Твердые бытовые отходы. – 2018. – №3(141). – С. 20-23.
16. Завизион Ю.В., Слюсарь Н.Н., Рудакова Л.В. Оценка стабильности твердых коммунальных отходов в массиве полигона // Управление муниципальными отходами как важный фактор устойчивого развития мегаполиса: сб. докл. междунар. конф., Санкт-Петербург, 4-6 октября 2018 г. / Санкт-Петерб. гос. электротехн. ун-т «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2018. – С. 99-102.