



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра прикладной и системной экологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА Магистра

На тему Совершенствование технологии рекультивации полигонов
твердых коммунальных отходов

Исполнитель

Шпаков Евгений Алексеевич

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

кандидат географических наук кафедры ПиСЭ

(ученая степень, ученое звание)

Примак Екатерина Алексеевна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____

(подпись)

Кандидат географических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Алексеев Денис Константинович

(фамилия, имя, отчество)

«05 06» 2023 г.

Санкт-Петербург

2023г.

Введение

Совершенствование технологии рекультивации полигонов твердых коммунальных отходов (ТКО) является важной частью совершенствования управления твердыми коммунальными отходами. Бесконтрольное заполнение полигонов и нерациональное использование территории напрямую влияет на скорость заполнения и морфологический состав ТКО, что в свою очередь несет некий экологический ущерб окружающей среде.

Основываясь на нормативно-правовой документации после закрытия полигона, начинается процесс рекультивации, в основе которого стоит закрытие полигона, его герметизация с целью ограждения загрязняющих веществ от окружающей среды и дальнейшее засаживание определенной растительности с целью формирования почвенного покрова и использование нового участка по целевому назначению.

Существующие технологические и биологические особенности рекультивации полигонов ТКО зачастую направлены исключительно на закрытие полигона, не выходя за рамки нормативной документации и без использования наилучших допустимых технологий за счет их новизны как части процесса рекультивации, но такие технологии могут иметь социально-экономическую и экологическую выгоду как для населения, так и для окружающей среды.

К новым технологическим решениям в рамках рекультивации можно отнести процесс фиторемедиации, который заключается в очистке окружающей среды от различных поллютантов при помощи живых растений. В Российской Федерации полигоны ТКО и свалки занимают 4 млн га, и ежегодно их площадь возрастает на 0,3 млн га. Для биологического процесса рекультивации требуются огромные площади потенциально плодородной земли в качестве почвогрунта. Существующие нормативная документация предполагает, что первично почвенный покров с территории полигона вывозится на склад и хранится до тех пор, пока не будет

использован как часть биологической рекультивации, но не все полигоны исполняют данное требование. Поэтому в качестве почвогрунта потенциально можно использовать загрязненные почвы, которые в процессе высадки специальной растительности могут быть очищены, а также стоит учесть тот факт, что данный процесс не выходит за предполагаемые рамки биологической рекультивации и может органично стать ее частью как процесс рекультивации.

Так же к вниманию можно привести использование биогаза на полигонах ТКО в качестве источника энергии для предстоящей рекультивации полигона. На полигонах ТКО образуется биогаз — это смесь газов, образующихся при распаде органического вещества в отсутствие кислорода (анаэробно), состоящая в основном из метана и углекислого газа. Сам по себе биогаз является легко воспламеняемым горючим веществом, для которого на территории полигонов делают специальные устройства системы дегазации, но его потенциал кроется в качестве альтернативного источника энергии на стадии процесса рекультивации полигона ТКО. Данная технология может способствовать независимости полигона от общей электроэнергии на данной стадии, а также использование остаточной энергии для создания теплиц на территории в качестве потенциального источника дохода и выработке остаточной энергии от биогазовой электростанции.

Цель работы – совершенствование технологии рекультивации полигонов ТКО

Задачи:

1. Выбор наиболее оптимального пути совершенствования технологии рекультивации полигона ТКО
2. Обоснование усовершенствования технологии рекультивации полигона ТКО

3. Оценка возможности совершенствования технологии рекультивации полигона ТКО

4. Применение совершенных технологий в рамках эксплуатации и рекультивации полигонов ТКО

Введение.....	2
1. Правовое обеспечение рекультивации полигонов ТКО	7
1.1. Нормативно-правовое обеспечение рекультивации нарушенных земель.....	7
1.2. Основные понятия в сфере отношений, возникающих в области рекультивации нарушенных земель.....	10
1.3. Характеристика негативных воздействий полигонов ТКО на окружающую среду.	13
1.4. Виды рекультивации.	20
2. Технологии рекультивации полигонов ТКО.....	22
2.1. Этапы рекультивации.....	22
2.1.1. Подготовительный.....	23
2.1.2. Технический.....	24
2.1.3. Биологический.....	26
2.2. Современные технологии рекультивации.....	30
2.3. Исследование проблем рекультивации полигонов ТКО и их анализ.....	34
2.4. Зарубежный опыт восстановления нарушенных земель (полигонов ТКО)	38
2.5. Оценка рекультивационных работ.....	42
3. Разработка усовершенствованной технологии рекультивации полигонов ТКО.....	44
3.1. Обоснование усовершенствования технологии рекультивации полигонов ТКО.....	44
3.1.1. Фиторемедиация.....	44
3.1.2. Биогазовая электростанция.....	46
3.2. Оценка эффективности предлагаемой технологии рекультивации полигонов ТКО.....	48
3.3. Практическое применение усовершенствованной технологии ..	52

Заключение	57
Список используемой литературы	59

1. Правовое обеспечение рекультивации полигонов ТКО

1.1. Нормативно-правовое обеспечение рекультивации нарушенных земель.

Рекультивация полигонов ТКО – это мероприятия по восстановлению земель, нарушенных в следствии эксплуатации для повторного использования в соответствии с их целевым назначением. По окончании жизнедеятельности полигона всегда требуется проведение на нем рекультивационных работ для возвращения их продуктивности [1].

Нормативно правовая база строится на основе строится в соответствии с требованиями законом и нормативно-правовых актов и является основополагающей составляющей любого процесса рекультивации полигонов ТКО. Основное регулирование рекультивации полигонов ТКО происходит на основе следующей нормативно-правовой документации:

- Конституция Российской Федерации
- Федеральный закон «Об охране окружающей среды» (№ 7-ФЗ);
- Земельный кодекс Российской Федерации;
- Лесной кодекс Российской Федерации;
- Постановление Правительства РФ от 10.07.2018 N 800 «О проведении рекультивации и консервации земель» (вместе с «Правилами проведения рекультивации и консервации земель»);
- Федеральный закон от 23 ноября 1995 г. N 174-ФЗ «Об экологической экспертизе»;
- ГОСТ 17.4.3.01-2017 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб»;
- ГОСТ 17.4.4.02-2017 «Охрана природы (ССОП). Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа»;
- ГОСТ Р 58595-2019 «Почвы. Отбор проб»;

- ГОСТ 17.4.3.04-85 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения»;
- ГОСТ 17.5.1.03-86 «Охрана природы. Земли. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель»;
- ГОСТ 17.5.3.06-85 «Охрана природы. Земли. Требования к определению норм снятия плодородного слоя почвы при производстве земляных работ»;
- ГОСТ 17.5.4.01-84 «Охрана природы. Рекультивация земель. Метод определения рН водной вытяжки вскрышных и вмещающих пород»;
- Санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий»
- СП 320.1325800.2017 «Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация»
- Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов (утверждена Министерством строительства Российской Федерации 5 ноября 1996 г.)[2].

Законодательная область рекультивации полигонов ТКО начинается с Конституции Российской Федерации, а точнее с 42-й статьи: «Каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу экологическим правонарушением.»[3].

Основополагающими сводами правил по рекультивации полигонов ТКО является СП 320.1325800.2017 «Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация» и «Инструкция по

проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов».

1.2. Основные понятия в сфере отношений, возникающих в области рекультивации нарушенных земель.

Твердые коммунальные отходы (ТКО) -Отходы, образующиеся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами, а также товары, утратившие свои потребительские свойства в процессе их использования физическими лицами в жилых помещениях в целях удовлетворения личных и бытовых нужд. К твердым коммунальным отходам также относятся отходы, образующиеся в процессе деятельности юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и подобные по составу отходам, образующимся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами [2].

Твердые коммунальные отходы в следствии процесса управления региональным оператором поступают на мусорные полигоны с целью их утилизации или захоронения.

Региональный оператор — это юридическое лицо, обязанное обеспечить деятельность по осуществлению всего цикла обращения с ТКО (сбор, транспортирование, обработка, обезвреживание, утилизация, размещение) на территории зоны деятельности в пределах субъекта Российской Федерации.

В свою очередь сам полигон ТКО представляет собой комплексное сооружение, осуществляющее складирование и изоляцию твердых коммунальных отходов на своей территории с целью минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

В конечном счете у полигонов ТКО есть жизненный цикл, период, в течение которого осуществляются проектирование объекта (в том числе выбор земельного участка размещения объекта и инженерные изыскания), строительство, реконструкция, этап вывода из эксплуатации и ликвидация объекта.Срок жизнедеятельности полигона в среднем составляет от 15 до 25

лет (это напрямую зависит от морфологического состава отходов, его местоположения и т.д.). По окончании этого цикла тело полигона подвергается рекультивации – мероприятия, направленные на восстановление существующего земельного участка и предотвращения деградации для дальнейшего использования по целевому назначению в разрешенной форме и в соответствии с нормативами.

Рекультивация участка должна быть проведена тем лицом, чья деятельность напрямую повлияла на состояние существующих земель и привела к их деградации, в обратном случае за рекультивационные работы отвечают собственник земельного участка или надлежащий орган исполнительной власти.

Воздух, водные и почвенные ресурсы на территории полигона и их показатели по нормативным качествам окружающей среды являются основополагающими компонентами для выявления степени деградации земли по показателям ПДК.

Рекультивационные работы в своем построении делятся на определенные разделы: пояснительная записка, эколого-экономическое обоснование, цель которого расписать выгодные стороны предполагаемых рекультивационных технологий в рамках планируемых ресурсов; Общие показатели процесса рекультивации (такие как временные рамки работы, их объём и содержание), на основе которых построен план самой рекультивации; смета. В рамках постановления правительства РФ №800 выделяют следующий порядок рекультивации:

- подготовка;
- согласование;
- в случаях, указанных в федеральных законах, государственная экспертиза;
- утверждение;

- уведомление.

На рекультивационные работы по восстановлению загрязненных земель отпускается во времени не более 15 лет и предполагается, что начало самих рекультивационных работ должно быть согласовано с правообладателем участка. По окончании проекта рекультивации так же об этом должен быть уведомлен правообладатель. Он должен получить акт о рекультивации земель, а также этот акт получают те же органы власти, что изначально получали сам проект рекультивации [4].

1.3. Характеристика негативных воздействий полигонов ТКО на окружающую среду.

Основными источниками воздействия на окружающую среду будут являться:

- Тело полигона ТКО
- Жизнедеятельность рабочих и служащих
- Механизмы
- транспорт

В основе негативного воздействия полигонов ТКО на окружающую среду в рамках эксплуатации самих полигонов является негативное воздействия твердых коммунальных отходов, а точнее санитарно-гигиеническая характеристика влияния на людей, проживающих в территориях, проживающих вблизи полигонов. Данное влияние может проявляться в качестве неприятного запаха, создающего неблагоприятные условия жизнедеятельности людей в пределах территории застройки.



Рисунок 1–Влияние полигона ТКО на окружающую среду

Воздействие полигонов ТКО на поверхностные воды происходит из-за сброса сточных и дренажных вод в поверхностные водотоки. Вследствие чего

уменьшаются запасы поверхностных водных горизонтов, изменяются гидрохимические и биологические показатели поверхностных вод, ухудшается качество. При поступлении солей тяжелых металлов и органических соединений в подземные воды происходит изменение их химического состава [5].

Поверхностные и подземные воды могут загрязняться фильтратом от тела полигона ТКО. Основным источником фильтрата в полигоне ТКО являются атмосферные осадки, попадающие в него и так же в основном органические отходы в следствии их разложения в теле полигона и так же влага от других отходов. В последствии все загрязняющие вещества вливаются в воды и становятся их загрязнителем, а это в свою очередь ведет к:

- Ухудшению гидрохимических показателей водных объектов;
- Изменение химического состава в поверхностных и подземных водах;
- Вымиранию видового биоразнообразия животного мира (водных и наземных экосистем);
- Угнетение растительности в пределах воздействия предполагаемых загрязнителей;

Изменение ландшафта и почвенного покрова на территории полигона является закономерным следствием изъятия земли под его земли и их дальнейшей эксплуатации. В соответствии с современным законодательством срок жизни полигона не должен составлять более 25 лет, но до сих пор присутствует не мало полигонов, эксплуатация которых началась с 70-х годов. Полигон ТКО воздействует на почвенный покров и ландшафт за счет:

- Деградация ландшафтной экосистемы;
- Формирование урбаноземов вследствие техногенного загрязнения почвенного покрова;
- Деформация почвенного покрова;
- Изъятие земельных ресурсов под полигон и сопутствующую инфраструктуру для него.

Влияние на недра жизнедеятельности полигона ТКО имеют смежную характеристику влияния загрязнения подземных вод и деградация ландшафта. Комплексный характер этих компонентов окружающей среды ведет к данным особенностям:

- Техногенное изменение недр;
- Деформация горных пород под полигоном;
- Возникновение карстов и оползней;
- Возгорание торфяников [6].

В процессе эксплуатации полигона ТКО происходит загрязнение за счет выбросов в атмосферу различных загрязняющих веществ, таких как биогаз, взвешенная пыль, и других веществ, что в дальнейшем может привести к:

- Воспламенению полигона (за счет того, что биогаз состоит на 55-60% из метана и является горюче опасным);
- Неприятный запах от полигона (за счет разложения отходов и сопутствующего образования аммиака и сероводорода);
- Запыления окрестностей взвешенными частицами;
- Образования парникового эффекта в атмосфере земли [4].

Табличная форма воздействия полигона на окружающую среду представлена в таблице 1

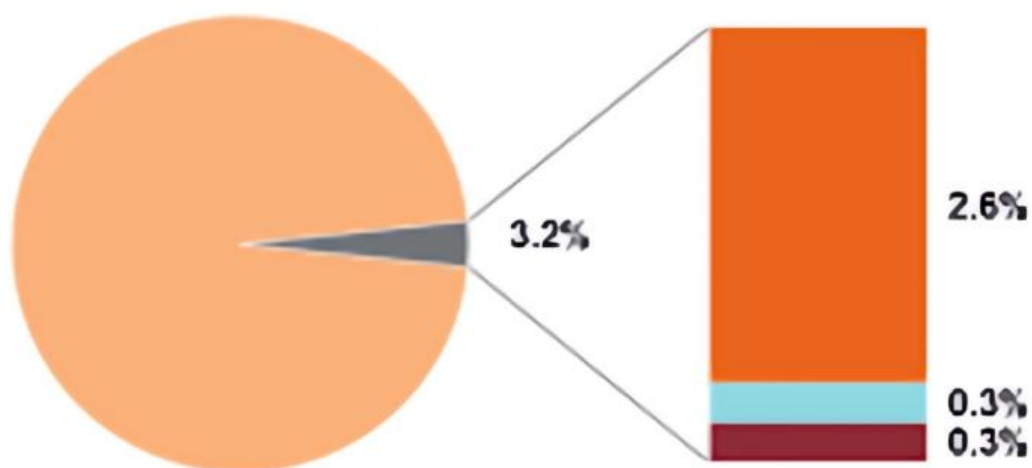
Таблица 1 - Результаты воздействия полигона ТКО на окружающую среду.

Компоненты окружающей среды	Воздействие	Результаты
1	2	3
Атмосферный воздух	Из полигона ТКО в атмосферу попадают различные летучие загрязняющие вещества, например биогаз или взвешанная пыль	Парниковый эффект в атмосфере, запыление окрестностей, неприятный запах, вероятность возгорания полигона ТКО
Поверхностные воды	Попадание фильтрата с полигона ТКО в поверхностные воды	Превышение предельно-допустимой концентрации веществ в поверхностных водах, близлежащих к полигону ТКО, что указывает на их загрязненность
Подземные воды	Загрязнение грунтовых вод фильтратом вследствие его просачивания из тела полигона	Превышение предельно-допустимой концентрации веществ в подземных водах, указывающее на их загрязненность
Почвенный покров	Изъятие земли из пользования	Ухудшение состава и свойств почвенного покрова, его загрязнение, дегумификация, деградация почвы до урбанозема, деформация поверхности земли полигона.

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Ландшафт	Изъятие земли под строительство полигона	Техногенные загрязнения ландшафта, ограничения на другие способы использования территории, занятой полигоном.
Недра	Формирование техногенного рельефа, образование техногенного горизонта подземных вод, возможное возгорание торфяников при их наличии вблизи или в основании полигона.	Изменение деформационного состояния массива горных пород, загрязнение недр, проседание земной поверхности, развитие карстовых и оползневых процессов, потеря минеральных грунтов.
Животный и растительный мир	Нарушение почвенного и растительного покрова, уменьшение кормовой базы.	Сокращение растительных сообществ, миграция животных, потеря биологического разнообразия природных комплексов

Суммарный выброс парниковых газов в Российской Федерации составляет около 70,8 млн. тСО₂, которые в свою очередь составляют 3.2% от всех выбросов парниковых газов (данная статистика не включает в себя сельское и лесное хозяйство). Наибольший объем выбросов метана от отходов ТКО составляет доля выбросов от захоронения ТКО на полигонах (санкционированных) и составляет 2.6%.



- Выброс ПГ в России, всего
- Выбросы CH₄ от захоронения ТКО на полигонах
- Выбросы CH₄ от захоронения ТКО на свалках
- Выбросы CH₄ от захоронения промышленных отходов

Рисунок 2 - Суммарный выброс ПГ в России и вклад в него выбросов от обращения с отходами.

В итоге это может стать причиной самовозгорания и распространения неприятного запаха различных летучих компонентов.

С характерным ростом территории земель, направленных под полигоны ТКО, растет и доля выброса метана в атмосферу. Хотя суммарно благодаря экологическому развитию Российской Федерации, а также отчасти кризису постсоветского периода, с 1990 по 2018 год характеризуется снижением выброса метана в атмосферу.

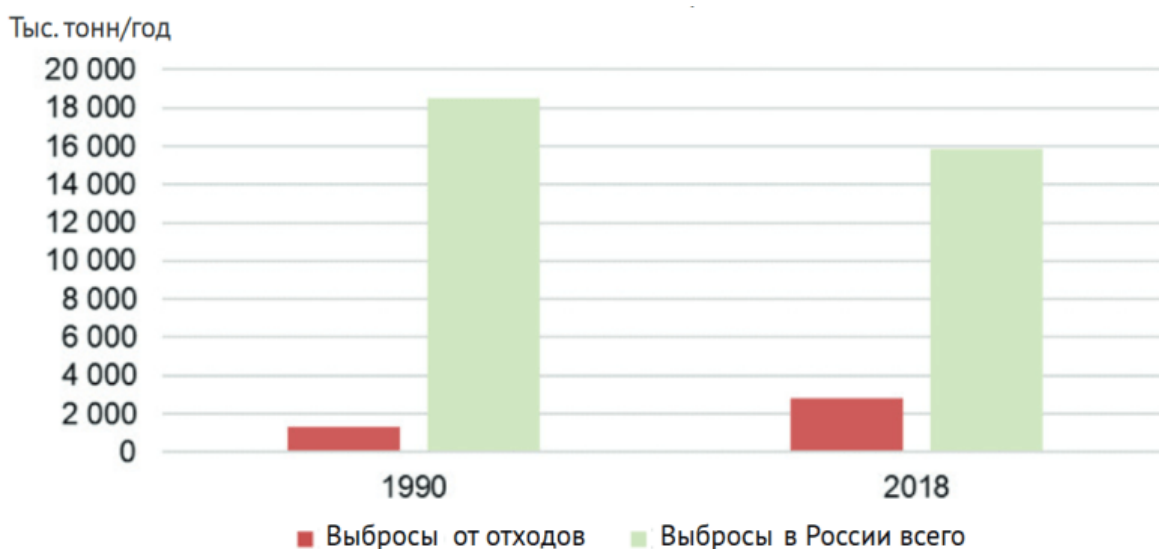


Рисунок 3 - Сравнительная диаграмма выбросов метана от обращения отходами и его общих выбросов в России в 1990 и 2018 годах

Но данная тенденция в полной мере не относится выбросам от отходов. Из рисунка видно, что в 2018 г. эмиссия CH_4 от отходов составила 17,8% национальной и достигла 2,8 млн. т.

Данные показатели характеризует тот факт, что выбросы с захоронений полигонов ТКО являются крупным источником выбросов метана в атмосферу. Ежегодное увеличение потребления ведет к увеличению количества твердых коммунальных отходов, которые направляются на полигоны ТКО в качестве стационарных источников выброса биогаза. Это в конечном счете негативно сказывается как на окружающей среде, так и на человеке в целом[7].

1.4. Виды рекультивации

Виды рекультивации полигонов ТКО представляют собой целевые направления использования земельных ресурсов по завершению процесса рекультивации в соответствии с ее целевыми назначениями по экономическим характеристикам, выстроенными на подготовительном этапе, а также направленным на улучшения окружающей среды.

Обоснования вида рекультивации основывается на физико-географических характеристиках участка полигона ТКО, предварительным оценке существующей экосистемы и характеристик окружающей среды, а также с учетом экономической доступности той или иной технологии рекультивации, поэтому для проведения работ по рекультивации полигонов ТКО предварительно требуется разработка самого проекта рекультивации, которая производится на подготовительном этапе.

К основным видам рекультивации полигонов ТКО относятся:

Сельскохозяйственная рекультивация – это восстановление нарушенных земель с целью использования их потенциально как сельскохозяйственные земли. Предполагается, что они имеют плодородную почву, с добавлением специальных удобрений и внесению многолетних трав. При специализированных агротехнических мероприятиях в плодородные почвы можно преобразовать из отвальных земель.

Использование землевания, процесса, суть которого заключается в нанесении ранее изъятых с территории плодородного почвенного покрова (богатого гумусом) является наиболее популярным видом улучшения почвогрунта для сельскохозяйственного освоения потенциального плодородного участка земли

Сформированные подстилающие грунты будут напрямую влиять на потенциальную мощность плодородного почвенного покрова, который будет настилаться на нее. Так же на территории потенциально плодородных почвогрунтов или массивных слоев почвы нужно будет образовать искусственный корнеобитающий слой, который будет основой для растительности почвы. Порода, которая подстилается под почвенным покровом напрямую не участвуют в формировании процесса почвообразования, а только поставляет минеральные вещества и влагу в почвогрунты. в свою очередь растительность как часть биологического процесса рекультивации улучшает плодородный слой, который заключается в почвообразовательном процессе.

Лесохозяйственная рекультивация – восстановление нарушенных земель с целью их использования в лесном хозяйстве в возможных направлениях использования, это могут быть создание лесопарка, противоэрозионные и водоохранные высадки или высадки насаждений для производственных нужд.

Лесохозяйственная рекультивация может проводится только при условии того, что на территорию рекультивации возможна посадка лесной растительности и под это выстроены определенные условия.

Рекреационная рекультивация – восстановление нарушенных земель, цель которых оздоровительный процесс и отдых людей на этих территориях. К ним обычно относят парки, скверы и другие зоны отдыха.

Строительная рекультивация – это рекультивация нарушенных земель, цель которой использования этих земель в строительстве гражданских, промышленных или иных объектов[8].

2. Технологии рекультивации полигонов ТКО

2.1. Этапы рекультивации

Рекультивация полигонов твердых коммунальных отходов на существующий момент делится на три этапа: подготовительный, технический и биологический. Подготовительный этап формируется еще до строительства самого полигона и в какой-то мере предшествует самой рекультивации с целью формирования плана по рекультивации.



Рисунок 4 – Этапы рекультивации полигонов ТКО

Технический и биологические этапы являются заключительными этапами формирования герметичного тела полигона и способствуют формированию почвенного покрова в соответствии с целью рекультивации.

2.1.1. Подготовительный

Подготовительный этап рекультивации полигона ТКО заключается в разработке проектной документации и экономическом обосновании будущего рабочего проекта рекультивации. Это осуществляется как инвестиционное обоснование проекта с целью оптимизации пути рекультивации по экологической, коммерческой и социальной эффективности потенциальных проектных решений.

Подготовительная рекультивация начинается с анализа существующих данных и проектов, а также их технологические особенности предприятия. Данный анализ проводится с целью выявления источников негативного влияния на окружающую среду. При недостатке данных для объективной оценки проводится частичные или полные изыскательные работы по всей загрязненной территории

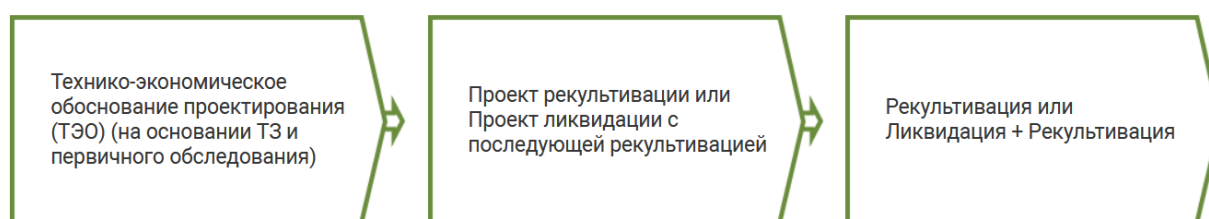


Рисунок 5 – порядок рекультивации полигонов ТКО

Потенциальный вид использования нарушенных земель полигона ТКО определяется на тщательном анализе полученных данных, физико-

географической характеристике района, особенностей природной среды и доступности земель для цели рекультивации.

Основными предполагаемыми видами рекультивации нарушенных земель полигона ТКО являются сельскохозяйственные, лесохозяйственное рекреационное и строительное

При выборе направления рекультивации земель предпочтение необходимо отдавать созданию сельскохозяйственных угодий, особенно в густонаселенных районах с благоприятными для этих целей условиями.

Сельскохозяйственная и рекреационная рекультивация являются наиболее распространенными и приемлемыми видами рекультивации за счет их потенциальной экономической эффективности[9].

2.1.2. Технический

На техническом этапе рекультивации происходит использование технологий, которые были выбраны на подготовительном этапе рекультивации полигона ТКО. К ним обычно относится процесс экранирования полигона, проектирование и формирование системы сбора и отвода биогаза, фильтрата и сточных вод, придача телу полигона формы для его последующей герметизации (создание откосов) и нанесение плодородного слоя на сформированное тело полигона.

Так же на полигоне проходят исследования физико-химических свойств полигона (к этому относятся влияния полигона на окружающую среду с сам состав отходов на полигоне) для того, чтобы понимать, как использовать полигон по окончании процесса рекультивации.



Рисунок 6 – Технический этап рекультивации полигона ТКО

Для выработки решений по исключению влияния газохимического загрязнения атмосферы определяют состав и свойства образующегося биогаза, содержания органики, влажность и др. данные. С учетом полученных данных и анализа климатических и геологических условий расположения полигона составляется прогноз образования биогаза и выбирается метод дегазации и конструкция культивационного покрытия полигона.

Таким образом, к техническому этапу рекультивации полигона ТБО относятся следующие мероприятия:

- стабилизация тела полигона (завоз грунта для засыпки провалов и трещин, его планировка и создание откосов с необходимым углом наклона и т.д.);
- сооружение системы дегазации для сбора свалочного газа;
- создание системы сбора и удаления фильтрата и поверхностного стока;

- создание многофункционального рекультивационного защитного экрана

2.1.3. Биологический

Биологический этап рекультивации идет сразу же по окончании технического этапа. Он представляет собой высадку травосмеси на почвенный покров тела полигона и уход за ними.

Данный этап может продолжаться в течении 4 лет по завершению технического этапа и направлен на восстановление земель в соответствии с решениями, которые были приняты на основе подготовительного этапа и анализа тела полигона во время технического этапа рекультивации[8].

Завершающим этапом биологической рекультивации является формирование плодородного слоя на теле полигона.

В первый год проведения биологического этапа производится подготовка почвы, включающая в себя дискование на глубину до 10 см, внесение основного удобрения последующим боронованием в 2 следа и предпосевное прикатывание[10].

Процессы рекультивации полигонов ТКО на биологическом этапе представлены в таблицы 2.

Таблица 2 – Процессы рекультивации полигонов ТКО
на биологическом этапе [10].

Виды работ	Главные агротехнические и технические требования	Применяемые инструменты
1	2	3
Дополнительное выравнивание и планировка, после завершения осадок поверхности	Устранение возвышенностей и снижений с целью равномерного распределения выпадающих осадков и пресечения вымочек	Модуль в виде планировщика-выравнивателя, устанавливаемого на трактор
1	2	3
Внесение удобрений	Виды и дозы внесения устанавливают на основании анализов почв, выполняемых агрохимлабораторией	Машинный комплекс, который транспортирует, разбрасывает и добавляет удобрения в почву
Работы по освоению и посеву злакобобовых на 2–3 года		
Внесение удобрений, предпосевная обработка с заделкой удобрения	В установленные сроки и с учетом запасов питательных веществ в почве. На глубину 10 см	Разбрасыватели удобрений: Плуги дисковые и зубовые бороны, культиваторы
Посев травосмесей	Во согласовании с общепризнанными мерками высева уже после протравливания семян	Сеялки травяные и лугопастбищные
Комплекс агроприемов, направленных на рыхление почвы, борьбу с сорняками и орошение	По мере надобности	Культиваторы, бороны игольчатые и др.

Продолжение таблицы 2

Уборка	Злаковые –в период выколашивания; бобовые – во время цветения	Косилки, валкообразователи, грабли-ворошилки, подборщики, погрузчики и прочие машины
--------	---	--

Затем производится раздельно-рядовой посев подготовленной травосмеси. Травосмесь состоит из двух, трех и более компонентов. Подбор трав для равномеси должен обеспечивать хорошее задернение территории рекультивируемого полигона, морозо- и засухоустойчивость, долговечность и быстрое отрастание после скашивания.



Рисунок 7 – биологический этап рекультивации полигона ТКО

К данному этапу рекультивации полигона ТБО относятся следующие мероприятия:

- подготовка почвы;
- подбор посадочного материала;
- посев растений[10].

2.2. Современные технологии рекультивации

Рекультивация полигонов ТКО на настоящий момент существует на основе герметизации тела полигона от окружающей среды с целью предотвращения негативного воздействия.

Одной из главных проблем полигонов ТКО при рекультивации является образование фильтрата, формирующегося за счет атмосферных осадков и грунтовых вод. Противостояние против этого происходит за счет формирования многофункциональных противофильтрационных экранов

Для защиты тела полигона на поверхности отходов формируется гидроизоляционный герметичный экран, предотвращающий попадание атмосферных осадков в тело полигона, а при защите полигона от грунтовых вод создается противофильтрационная шпунтовая стенка с заглублением в водоупор.

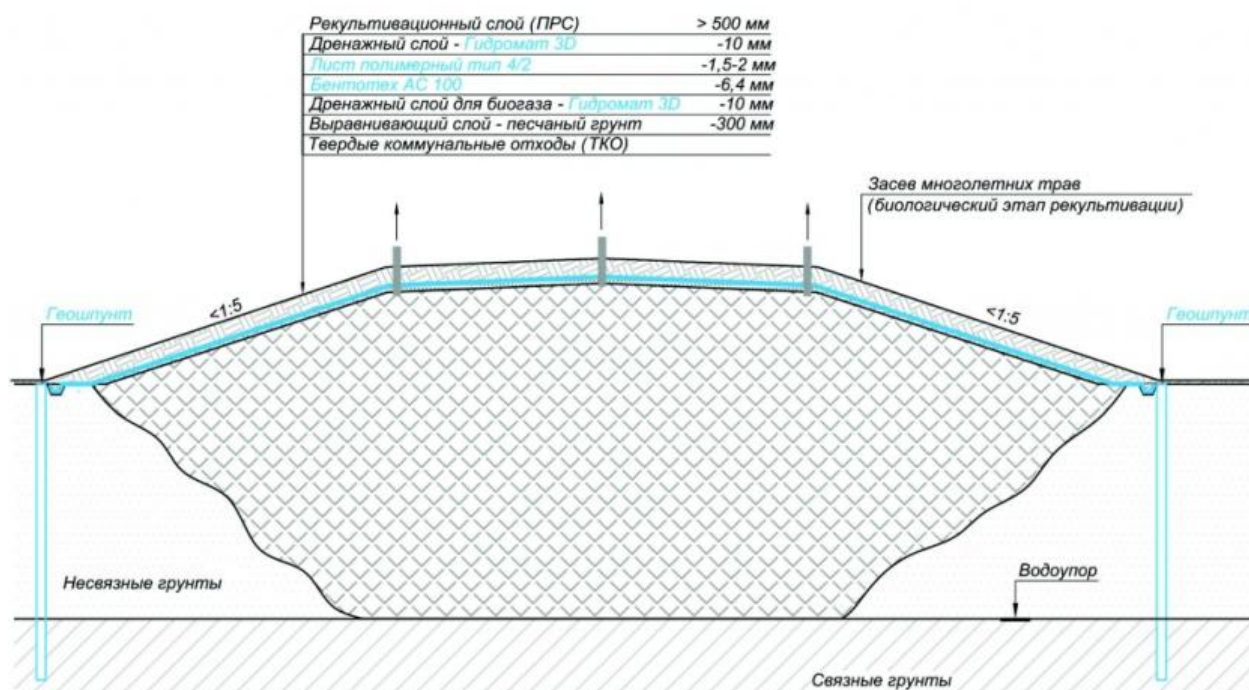


Рисунок 8 – Четырехслойная система рекультивации полигона ТКО[10].

После формирования гидроизоляции полигона от грунтовых и сточных вод начинают формировать плодородный слой полигона. Так же формируется дренажная система полигона для сбора и сжигания биогаза и создаются локальные очистительные сооружения для очистки фильтрата.

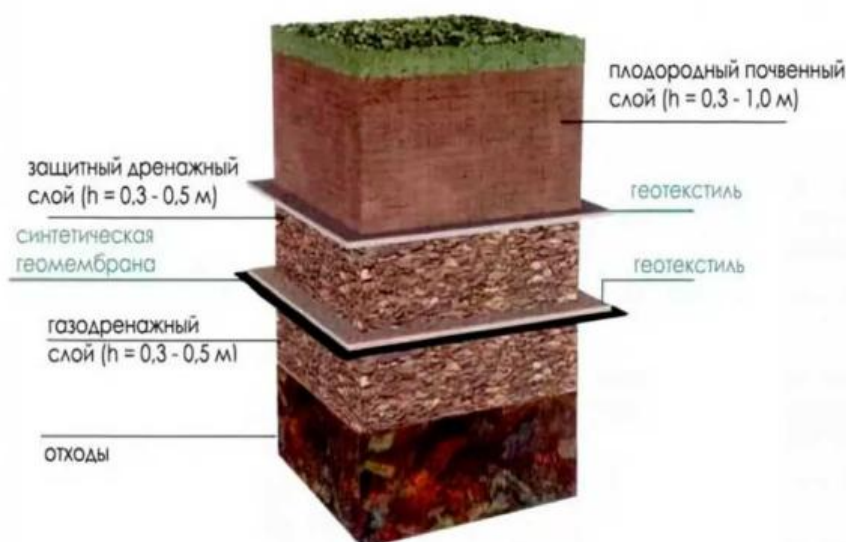


Рисунок 9 -Рекультивационный слой, ограждающий полигон ТКО от окружающей среды

В дальнейшем проходит контролируемый процесс зарастания плодородного слоя полигона с целью, относящейся в соответствии с целенаправленным использованием рекультивируемой поверхности и для формирования наиболее экологически безопасных экосистем на территории полигона ТКО. Идет подбор наиболее подходящих для этого травосмесей и удобрений. Подбор травосмеси идет в соответствии с региональным расположением полигона ТКО, ассортимент которой указан в таблице 3

Таблица 3 -Ассортимент многолетних трав для биологического этапа рекультивации закрытых полигонов.

Южная	Средняя	Северная
Донник белый	Ежа сборная	Волоснец сибирский
Костер безостный	Ежа сборная	
Клевер белый	Клевер красный	Клевер красный
Костер безостый		
Люцерна желтая	Мятлик луговой	Мятлик луговой
Люцерна синегибридная	Мятлик обыкновенный	Мятлик обыкновенный
Овсяница бороздчатая	Овсяница красная	Овсяница луговая
Овсяница луговая	Полевица белая	
Рейграс пастбищный	Пырей бескорневищный	Тимофеевка луговая
Эспарцет песчаный	Тимофеевка луговая	

На поверхности обустраивается слой плодородного растительного грунта мощностью не менее 0.3 м. Мощность рекультивационного слоя зависит от выбранного направления рекультивации и района строительства, высотf верхнего рекультивационного слоя представлена втаблице 4[10].

Таблица 4 - Высота верхнего рекультивационного слоя

Вид рекультивации	Высота рекультивационного слоя, см			
	высота подстилающего слоя	высота насыпного слоя плодородной почвы по зонам, см		
		южная	средняя	северная
Посев многолетних трав	15-20	15	15	15
Пашня	15-20	25-30	20-25	15-20
Огороды	15-20	30-35	25-30	20-25

Продолжение таблицы 4

Луга	15-20	10-15	10-15	10-15
Сады <*>	15-20	25-40	25-40	20-25
	10-15	10-15	10-15	
Кустарники	20	25-30	20-25	15-20

Уход за посевами включает в себя полив из расчета обеспечения 35-40% влажности почвы, повторность полива зависит от местных климатических условий, скашивание на высоте 10 - 15 см и подкормку минеральными удобрениями в соответствии с нормой подкормки с последующим боронованием на глубину 3 - 5 см. нормы внесения подкормки представлены в таблицы 5 [14].

Таблица 5 -Нормы внесения удобрения в почвенный покров.

Минеральные удобрения	Нормы внесения, кг/га действующего вещества	
	подкормка	
Основное допосевное внесение		
Азотные	-	40-60
Фосфорные	60-90	60-80
Калийные	60-80	40-60
Древесная зола	400-800	-

2.3. Исследование проблем рекультивации полигонов ТКО и их анализ

Существующая система рекультивации полигонов ТКО имеет комплекс проблем, которые влияют на ее эффективность в эколого-экономической форме:

- Устаревшая документация по рекультивации полигонов ТКО
- Формирование свалочного биогаза на территории рекультивируемого полигона ТКО
- Высокая стоимость или дефицит плодородного слоя, используемого для биологического этапа рекультивации

Нормативная база по рекультивации полигонов ТКО существует в рамках двух документов: «Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации для полигонов твердых бытовых отходов» и Свод правил 320.1325800.2017 «Полигоны твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация».

В документе «Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации для полигонов твердых бытовых отходов». В документ входят несколько разделов: проектирование, эксплуатация и рекультивация. Так же отдельно стоит раздел охраны труда, техники безопасности и противопожарных мероприятий.

Свод правил 320.1325800.2017 «Полигоны твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация» несет собой краткую информацию по устройству полигона и управления им. Суммарно в СП 9 разделов, которые описывают проектирование и эксплуатацию полигона.

Главная проблема, связанная с документацией процесса рекультивации полигонов ТКО является факт того, что оба документа являются действующими и несут разных подход к рекультивации

полигонов. Существующее положение нормативно-правовой документации негативно влияет на процесс рекультивации полигонов ТКО, так как оба документа несут совершенно разные подходы к его проведению. Исходя из данной проблемы требуется создание новой единой документации, которая будет захватывать весь комплекс управления полигонами ТКО[12].

Стоит так же брать во внимание на формирование биогаза не теле полигона ТКО. Биогаз — это вид биотоплива, который образуется естественным путем в процессе разложения органических отходов. При контакте с кислородом биоотходы разрушаются и выделяют смесь газов. В основном это метан и углекислый газ. Биогаз за счет своего состава негативно за счет того, что большие объёмы выброса этих веществ негативно влияют на атмосферу, потенциально формирую парниковый эффект, а так же метан может быть взрывоопасен.

Потенциал использования биогаза на закрывающихся полигонах ТКО в качестве использования его в качестве энергетического ресурса для обеспечения соседних поселений маловероятен за счет общей малого КПД в качестве топлива, общей дорого стоимости для потребителя в аналогии традиционных источников энергии и общее потенциальное время существования таких энергостанций. Но в качестве источника энергии для обеспечения самого полигона ТКО этот метод более чем возможен за счет того, что он может обеспечить энергией:

- Работы по рекультивации полигона;
- Работы очистных сооружений фильтрата и системы мониторинга;
- Хозяйственно-бытовые нужды персонала.

Согласно нормативам по рекультивации, почвенный покров изымается при формировании полигонов ТКО для хранения и должен быть использован при биологическом этапе рекультивации полигона, но так происходит далеко

не всегда, поэтому в итоге приходится получать новый почвогрунт, все это растягивает процесс рекультивации полигона ТКО [13].

Потенциалом решения данной проблемы может быть формирование рекультивационного слоя является технология фиторемедиации почвенного покрова. В соответствии с нормативами, почвенный покров на территории полигона ТКО не должен быть загрязнен тяжелыми металлами (ТМ), но в свою очередь данная технология может способствовать устранению загрязненных почв в рамках рекультивации полигонов ТКО вместо их потенциального складирования в специальных для этого предназначенных местах.

Фиторемедиация - использование растений для выведения или нейтрализации загрязняющих веществ - является перспективной стратегией очистки загрязненных территорий. Основные направления фиторемедиации:

- Фитодеграляция - катализируемая ферментами переработка загрязнителей, как правило, органического происхождения, внутри тканей растений.
- Фитостабилизация – процесс использования растений для удержания загрязняющих веществ корневой системе растений. Обязательным свойством растения – оно должно быть толерантно к токсическим веществам. Благодаря этому процессу растение удерживает загрязнители в верхних слоях почвы, что не позволяет им попасть в водную среду. Первично такой способ фиторемедиации относится к органическим загрязнителям и к Свинцу (Pb) с хромом (Cr).
- Фитовозгонка – процесс впитывания элементов Селена (Se) и ртути (Hg) с дальнейшим выделением их в атмосферу
- Ризофилтрация – процесс впитывания металлов и их концентрации из загрязнённой водной среды.

- Фитоэкстракция - использование растений-гипераккумуляторов металлов для извлечения ТМ из почвы и их концентрирования в вегетативной массе растений [9].

Достоинства и недостатки метода фиторемедиации представлены в таблице 6.

Таблица 6 -Достоинства и недостатки метода фиторемедиации.

Достоинства	Недостатки и ограничения
Используется для большого спектра химических соединений.	В большинстве случаев эффективен для устранения поверхностного загрязнения почв в пределах корневой зоны растений - фиторемедиантов
Возможно применение как к in-situ, так и к ex-situ на водных и почвенных субстратах.	Процесс очистки загрязненного участка может занять несколько лет
Применение in-situ снижает повреждение почвы и ландшафтов по сравнению с традиционными методами очистки	Применяется в основном для очистки загрязненных сред с низкой и средней концентрацией контаминантов
Снижение количества отходов, захороняемых на полигонах	Проблемы с утилизацией загрязненной растительной биомассы
Применение in-situ снижает дальнейшее распространение контаминанта водным и воздушным путем	Лимитирующим фактором являются климатические условия
Не требует дорогого оборудования и специально обученного персонала	Введение видов растений, обычно произрастающих в других районах, может нарушить биоразнообразие
Запасенная в растительной биомассе потенциальная энергия может быть использована для производства традиционных видов энергии	Необходимо контролировать процесс сжигания (утилизации) загрязненной растительной биомассы

2.4. Зарубежный опыт восстановления нарушенных земель (полигонов ТКО)

Существующая система рекультивации полигонов ТКО в рамках международного опыта имеет схожий характер, что и в Российской Федерации, так как выстроены стандарты к использованию наилучших доступных технологий (НДТ), которые способствуют формированию экологически безопасной среды в рамках завершения жизнедеятельности полигона и его дальнейшего использования после рекультивации. Но особыми отличиями рекультивации полигонов зачастую являются отдельные методики, которые в рамках использования в Российской Федерации еще не являются столь обширными, и к подобному относится фиторемедиация.

Интерес к Фиторемедиации в последние годы начал только увенчиваться за счёт ее характерных особенностей и возможностей, которые заключены в использовании зеленой растительности для удаление растительности из почвенного покрова или их обезвреживании, что позволяет очистить загрязненные почвы [15].

Фиторемедиация является сравнительно дешевым методом рекультивации, а также простым в освоении и применении его возможно в разносторонних загрязненных зонах. Метод фиторемедиации распространен в международном формате и уже используется в Северной Америке (США, Канада, Мексика), не так широко в странах Европы (Великобритания, Болгария, Испания) в Китае, Новой Зеландии и других странах мира, но пока что в Российской Федерации данная технология считается новой и не так

распространена, а так для нее требуются специальные растения-аккумуляторы тяжелых металлов, которые могут использоваться в наших условиях.

В США фиторемедиация используется как один из способов очистки окружающей среды и в общем счете использует порядка \$100-150 млн. в год, что составляет порядка 0,5% в год в соотношении ко всем затратам на окружающую среду (бюджет биоремедиации в сравнении составляет 2%). На данный момент фиторемедиация не является самым распространенным методом рекультивации в мире, но в потенциале благодаря ее экономической выгоде и простоте в освоении, а так же достаточно масштабных объемах территории загрязнения стран восточной Европы все может измениться [9].

На ряду с другими странами, в Японии технология фиторемедиации уже полноценно используется как часть рекультивации полигонов ТКО. Данная технология способствует удешевлению процессу биологической стадии рекультивации порядка в десятки раз.

Так же потенциал использования в международном характере в рамках рекультивации полигонов ТКО является выработка биогаза на полигонах ТКО в качестве источника энергии.

Между тем, агентство по охране окружающей среды США (USEPA) реализует программу распространения информации о метане на свалках, которая побуждает владельцев свалок разрабатывать проекты по утилизации биогаза везде, где это возможно. По оценкам Агентства по охране окружающей среды США, более 700 свалок в Соединенных Штатах могли бы установить экономически жизнеспособные системы утилизации энергии свалочного газа, но в 2004 г. действовало всего 380 установок по рекуперации энергии. В настоящее время 295 из этих объектов вырабатывают электроэнергию; остальные используют свалочный газ для отопления[16].

Так же в международном опыте существуют и альтернативные технологии по устранению биогаза, а точнее самих аэробных условий тела полигона, которые в свою очередь создают среду для его формирования.

Характерной технологией является технология BIOPUSTER. Она заключается в создании аэробных условий внутри тела полигона и на почвах. Применение технологии используется в данных вариациях:

- Использование технологии для устранения на старых полигонах запаха по стратегии In-situ;
- Ремедиация старых промышленных зон и полигонов по стратегии биологической In-situ;
- механико-биологическая переработка отходов.;

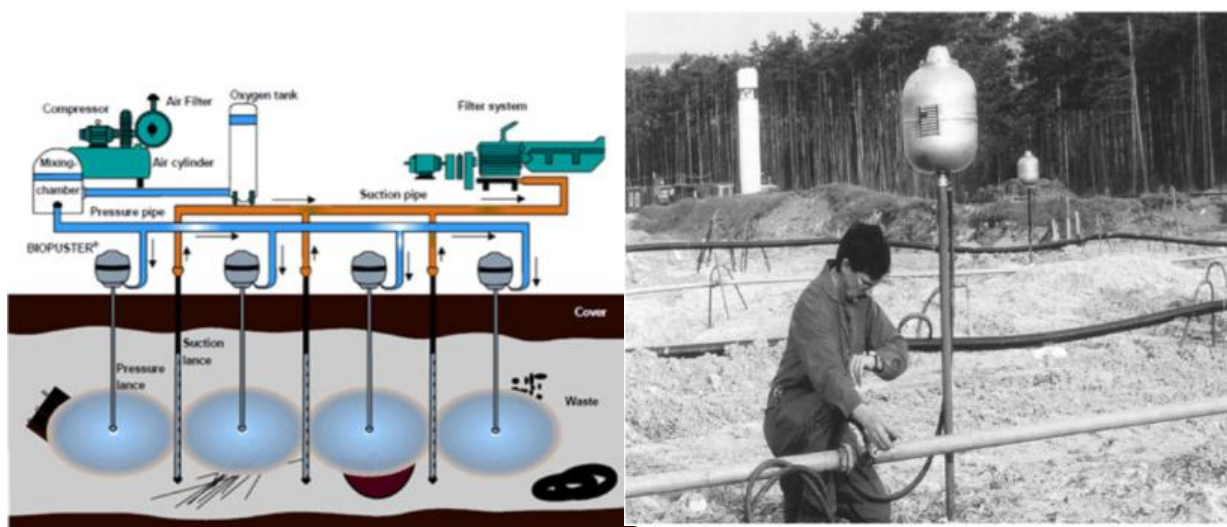


Рисунок 10 и 11 – технология BIOPUSTER

BIOPUSTER применялась на полигоне Berger для санирования с целью стабильной обработки отходов в период от 4 до 6 недель. В окончании данных работ происходила стабилизация запаха и так же обеспечивает безопасность полигон для последующих работ. В дальнейшем полигон может быть открыт для дальнейшего использования, избавляя от риска его

взрывоопасности и устраняя запах. Данная технология в свою очередь так же очищает тело полигона и газовые скважины от фильтрата или при условии, если отходы были перемещены. Технология BIOPUSTER является сравнительно безопасной для человека, поэтому обычно меры защиты после окончания технологического процесса не требуются. Данная технология в свою очередь подсушивает отходы, это упрощает дальнейшее использование отходов, снижает финансовые расходы и облегчает дальнейшую рекультивацию полигона ТКО [17].

2.5. Оценка рекультивационных работ.

Рекультивация полигонов твердых коммунальных отходов на территории Российской Федерации считается практически единственным способом их захоронения и регламентируется соответствующей документацией.

Существующая система рекультивации, если исходить из нормативно-правовых документов в полной мере выполняет все требования, соответствующие самому процессу рекультивации как процессу экономического и экологического восстановления земель с целью его повторного использования: Идет герметизация тела полигона, а в следствии и защита окружающей среды от болезнетворных бактерий, сокращение эмиссии биогаза за счет его отвода от тела полигона и сжигания на факеле, что способствует сохранению окружающей среды. Но потенциал биогаза, как источника энергии, на период рекультивации на данный момент практически нигде не используется. Это характеризуется сравнительно новой технологической особенностью данного процесса инедостатком финансирования в развитие наилучшие доступные технологии.

Если характеризовать полигоны, функционировавшие в советское время, на них не проектировалось экранирование, поэтому ныне существующих технический этап рекультивации по предотвращению попадание в реки и грунтовые воды фильтрата важен как никому другому.

Существование в конечном этапе уже рекультивированного полигона за счет его экологической безопасности по отношению к окружающей среде

и человеку способствует его дальнейшему функционированию в такой мере, в который и планировалась рекультивация, но зачастую, за счет отсутствия соответствующего финансирования рекультивации номинально относят к рекреационной и по своей сути она является обычным засеянной травосмесью пустырем, который никак не используется в любой человеческой деятельности.

Так же стоит важный вопрос в использовании наилучших доступных технологий, выполнения работ, оказания услуг, определяемая на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности её применения.

3. Разработка усовершенствованной технологии рекультивации полигонов ТКО

3.1. Обоснование усовершенствования технологии рекультивации полигонов ТКО.

3.1.1 Фиторемедиация

Традиционный способ биологической рекультивации может лишь затрагивать метод наиболее быстрого контролируемого зарастания почвенного горизонта. Данный метод выполняет целиком свою функцию в качестве конечного процесса использования полигона в соответствующем теперь для него виде деятельности (сельскохозяйственном, рекреационном и т.д.), но благодаря усовершенствованию технологии он может расширить технологический процесс в сторону сторонних, экономически- и экологически-эффективных направлений, которые будут способствовать рациональному природопользованию и использованию НДТ.

Во время процесса рекультивации полигона ТКО на теле полигона может образовываться слоистая толща, которая способствует миграции различных загрязняющих веществ (в том числе и тяжелых металлов) из тела полигона в почво-грунты, что способствует его загрязнению. Процесс фиторемедиации позволяет обезвреживать зараженную почву на полигоне и способствует формированию экологически чистого рекультивационного слоя, способствующего рациональному процессу рекультивации полигона ТКО

Предполагаемая биоремедиация полигонов ТКО основывается на технологии фитоэкстракции, которая основывается на растений-

аккумуляторов, которые накапливают в наземной части растений поллютанты из загрязненного почвенного покрова и в дальнейшем которые утилизируются.



Рисунок 12. Схема механизма фиторемедиации

Так же потенциально в качестве почво-грунтов можно использовать слабозагрязненную тяжелыми металлами почву. Площадь полигонов на территории Российской Федерации составляет 4 млн га, и ежегодно их площадь возрастает на 0,3 млн га. Заготовка почвенного покрова для культивационного слоя является дорогостоящей процедурой и многие полигоны на настоящий момент не имеют заранееподготовленного почво-

грунта. В таком случае загрязненные почво-грунты можно использовать в качестве биологического слоя рекультивации производить их очищение от тяжелых металлов, чему и способствует фитоэкстракция.

Данная технология позволяет:

- Сократить денежные и временные затраты на поиск и покупку готовых почво-грунтов
- Сократить содержание почв, загрязненных ТМ на территории субъекта РФ, где производят рекультивацию.
- Предотвращение загрязнения почвенного покрова от мигрирующих ТМ из тела полигона

3.1.2 Биогазовая электростанция

Так же возможным способом усовершенствования существующего процесса рекультивации может способствовать использования на полигонах ТКО биогаза в качестве альтернативного источника энергии на сам период рекультивации полигона.

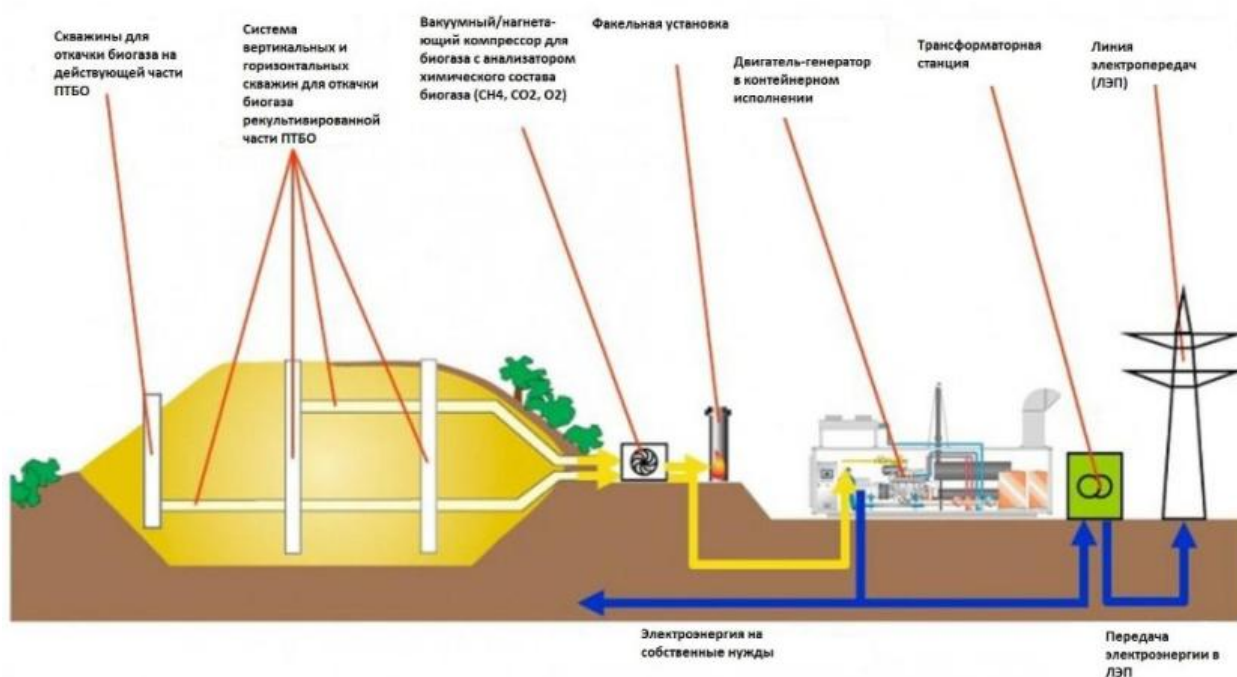


Рисунок 13. Система добычи биогаза на полигонах ТКО

Экономическая эффективность использования БГ на новом полигоне наблюдается в основном за счет экономии внешних энергоресурсов: дизельной и электроэнергии. Период окупаемости инвестиций в создании системы использования биогаза составляет 6–7 лет. При создании дополнительных предприятий, приносящих прибыль за счет электроэнергии, прибыль от этой деятельности может характеризоваться как часть финансирования предприятия и не учитываться в расчете тарифов на прием отходов.

3.2. Оценка эффективности предлагаемой технологии рекультивации полигонов ТКО

Установка биогазовых электростанций на полигонах ТКО способствует рациональному использованию энергии, заменяя существующие традиционные источники энергии на их альтернативный аналог.

В характере эффективности биогазовых электростанций как альтернативного источника энергии были проведены исследования, характеризующие энергетического потенциала полигона ТКО

Согласно методике расчета Академии коммунального хозяйства (А КХ) им. К. Д.Памфилова. На полигоне ТКО в Приморском крае, в городе Партизанске был произведен расчет выхода свалочного биогаза полигона ТКО, а также расчет его теоретической энергоценности. Данные расчеты могут использоваться как документ методического характера для любых других полигонов ТКО, в том числе и Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Учитывая климатические особенности региона, было рассчитано, что на 3525221 куб. м отходов в год выделялось энергии на 44.79 млн кВт*ч. Данный показатель в сравнении с традиционными источниками энергии является относительно несущественным (Партизанская ГРЭС поставляет энергии 945.44 млн. кВт*ч, что в пять раз больше биогазовой электростанции), поэтому данный объем энергии может быть использован в качестве источника альтернативной энергии для самого полигона ТКО, а в теории в дальнейшем и поддерживать процесс его рекультивации[18].

Особенностью биогаза как источника энергии так же является его экологическая эффективность как более безопасного источника энергии для

окружающей среды в отличие от традиционных источников в виде угля и нефти.

Данные показатели указывают на то, что при использовании биогаза как источника энергии для полигона ТКО снижается масса вредных веществ, попадающих в окружающую среду (в сравнении с биогазом, выработка диоксида углерода при выработке угля выше выработки свалочного газа на 108%, а нефти на 35 %, диоксид серы не вырабатывается со свалочным биогазом, а оксид азота выше у угля на 122%, а у нефти на 128%).

Таблица 7 – средние удельные значения вредных выбросов

Виды топлива	Количество вредных веществ, поступающих в атмосферный воздух при использовании топлива, т/год		
	диоксид углерода	диоксид серы (SO ₂)	оксиды азота (NO _x)
Свалочный газ (при очистке)	24497,88	-	80,61
Уголь	51145,49	62,7	179,14
Нефть	33051,98	210,49	103,007

По различным оценкам наиболее рентабельным этот источник биогаза становится при массе свалочного тела от 1 млн. тонн и более. Полигон можно рассматривать как достаточно стабильный источник энергоносителя в течение достаточно долгого периода времени, хотя поток биогаза может все время меняться в зависимости от климатических и иных факторов. Данная особенность способствует [19].

Существующая технология фиторемедиации способствует эффективизации технологии рекультивации полигонов ТКО на биологическом этапе по сравнению с существующими аналогами. Например,

срезания почвенного покрова для его хранения в специальных для этого предназначенных местах является более дорогостоящей процедурой за счет повсеместного использования тяжелой техники. Наиболее эффективным способом для восстановления почвенного покрова в полигоне ТКО является технология фитоэкстракция. Технологический процесс использования фитоэкстракции представлен на рисунке 14 и представляет собой анализ залегающий в почвенном покрове тяжелых металлов, подбор подходящих для данной почвы растительности, затем высаживание этой растительности с целью ошущения почвы, срезание растительного покрова и в последние два этапа повторяются во временном периоде от 1.5 до 6 лет, пока уровень загрязнения почвы тяжелыми металлами не станет приемлемым.



Рисунок 14. Схема фитоэкстракция почвенного покрова, загрязненного тяжелыми металлами[20].

Фиторемедиация так как и любой биологический вид рекультивации требует определенного время- и трудозатрат, но как технология очищения почвенного покрова от тяжелых металлов она является одна из наиболее экономически выгодных способов рекультивации, что показано в таблице

Экономическая выгода фитоэкстракции гораздо выше, чем у ее аналогов в виде других технологий очистки более чем в десятки раз, хотя главной особенностью и является долгосрочных процессамой очистки почвы, но он фактически нивелируется самим фактом биологического этапа рекультивации полигона, который может продолжаться от 10 до 15 лет [21].

Таблица 8 – стоимостные преимущества фитоэкстракции тяжёлых металлов

Технология очистки	Стоимость (доллар/м)	Необходимое время (месяц)	Дополнительные факторы, увеличивающие расходы	Проблемы безопасности
Фиксация с помощью почвенных добавок	90-200	6-9	Снятие почвенного слоя, транспортировка, долгосрочный мониторинг	Вероятность выщелачивания
Складирование на свалках	100-400	6-9	долгосрочный мониторинг	Вероятность выщелачивания
Экстракция, выщелачивание	250-500	8-12	Образование дополнительных отходов	Необходимость утилизации концентратов

Фитоэкстракция	15-20	18-60	Долгосрочное изъятие земель из хозоборота	Необходимость утилизации биомассы
----------------	-------	-------	---	---

3.3. Практическое применение усовершенствованной технологии.

Для технологического результата предполагаемых видов рекультивации за основу полигона был взят полигон ПТО-1 «Южный»



Рисунок 15. Территория полигона ПТО-1 «Южный»

Полигон ПТО-1 «Южный», так же известный как Южная свалка или «Волхонка» располагается на юге Санкт-Петербурга, к северо-западу пересечения Волховского и Киевского шоссе. Эксплуатация полигона ТКО началось в 1978 году и продолжалось впредь до 2013 года, когда было закрыто вследствие исчерпания всей проектной мощности.

Территориальная площадь полигона составляла порядка 58,37 га, а скорость пополнения полигона во время его активной фазы жизнедеятельности составляла порядка 580 тыс. тонн в год. На всей территории полигона ТКО размещено более 32 млн м³ отходов или порядка 24 млн тонн. Высота полигона составляет свыше 26 метров[22].

Рекультивация полигона должна проходить в соответствии с нормативно правовой документацией и будет заключаться в двух этапах: техническом и биологическом

На техническом этапе будут включены стабилизация, выколаживание и террасирование, создание рекультивационного многофункционального покрытия, передача участка для проведения биологического этапа рекультивации. Дегазация полигона ТКО будет проектироваться на основе создания биогазовых установок на территории полигона ТКО для формирования энергосистемы, способной давать электроэнергию полигону на время всего процесса его рекультивации.

Использование биогазовых установок для формирования энергопроизводства на полигоне ТКО будет проектироваться в соответствии НДТ. Теплота сгорания биогаза зависит от содержания метана и варьируется в границах от 18 до 24 МДж/м³ (что характеризует примерно половину энергетической ценности природного газа).

Предположительно, учитывая общий примерный объём отходов, теплота сгорания устанавливается в средней границы (21 МДж/м³), то предполагаемая теоретическая энергетическая ценность полигона будет

составлять примерно 198 млн кВт*ч. Данный показатель в сравнительной характеристике уступает показателям объёмов ТЭС в Санкт-Петербурге, но данный объём энергии может быть использован как вспомогательный источник энергии для поддержания процесса рекультивации полигона в активной части. В качестве электростанции на полигоне будут использованы газопоршневые электростанции.

Газопоршневая электростанция (ГПУ) представляет собой систему производства электрической энергии из внутренней энергии топлива. Такая электроустановка может работать на сжиженном или магистральном природном газе, биогазе, попутном газе. Газопоршневые электростанции используются в качестве основных или резервных источников электропитания и теплоэнергии в самых различных отраслях: буровые платформы, шахты, очистные сооружения, на предприятиях, в строительстве, административных и медицинских учреждениях, аэропортах, системах жизнеобеспечения и т. п.



Рисунок 16 – Газопоршневые электростанции на полигоне ТКО

По различным оценкам наиболее рентабельным этот источник биогаза становится при массе свалочного тела от 1 млн. тонн и более. Полигон можно рассматривать как достаточно стабильный источник энергоносителя в течение достаточно долгого периода времени, хотя поток биогаза может все время меняться в зависимости от климатических и иных факторов.

При завершении технического этапа рекультивации полигон отправляется на биологический этап, который направлен на формирования почвенного покрова на территории полигона ТКО. Данный процесс затрагивает посев многолетних трав для формирования экологического ландшафта на территории бывшего полигона и для противостояния ветровой и водной эрозии почво-грунтов

Для предполагаемой очистки почво-грунта от загрязнителей на территории полигона будет происходить процесс фиторемедиации. Процесс фиторемедиации будет происходить на основе фитоэкстракции почвенного покрова, основанной на посеве растительности в соответствии с загрязненностью почво-грунта, привезенного на полигон ТКО

В условиях биологической рекультивации полигонов ТКО Санкт-Петербурга и Ленинградской области, в соответствии с существующей документацией, рекомендуется использовать специальную травосмесь, наиболее эффективную в условиях данного региона: волоснец сибирский, клевер красный, мятлик луговой, мятлик обыкновенный, овсяница луговая, тимофеевка.

По итогу новые технологические решения в рамках рекультивации полигона ТКО будут способствовать

- Сокращению выброса загрязняющих веществ в окружающую среду.
- Выработку электроэнергии из биогаза для поддержания рекультивации полигона ТКО.
- Очищению завозимого почвогрунта на полигоне ТКО от загрязнителей.

Заключение

В качестве заключения стоит сказать, что:

Были выбраны наиболее оптимальные пути рекультивации, они включают в себя фитоэкстракцию полигона твердых коммунальных отходов на биологическом этапе рекультивации. Он является одним из подвидов фиторемедиации и заключается в использовании растительности для извлечения загрязняющих веществ из почво-грунта. Так же предполагается сбор с тела полигона биогаза в качестве источника энергии для полигона на период рекультивации полигона ТКО.

Обоснование усовершенствование технологий рекультивации ТКО, оно заключается в первую очередь к совершенствованию технологического процесса рекультивации в соответствии с использованием наилучших доступных технологий для рационального природопользования.

Предполагаемые технологические решения для рекультивации в виде добычи биогаза в качестве электроэнергии является более экологически чистым аналогом традиционных видов энергии и способствует сокращению поступления в окружающую среду загрязнителей, а технология фитоэкстракции почвогрунта на полигоне способствует его очищению от предполагаемых загрязнителей.

Оценка возможности совершенствования технологии рекультивации полигона ТКО. Предполагаемые новшества при рекультивации полигонов ТКО несут высокую экономическую экологическую выгоду для полигона за счёт дешевизны использования технологии фитоэкстракции на почво-грунте полигона, а использование биогаза является экономически эффективным способом использования биогаза на территории полигона ТКО в отличие от классического сжигания биогаза на факелах

Применение совершенных технологий в рамках эксплуатации и рекультивации полигонов ТКО предполагалось в рамках закрытого на рекультивацию полигона ПТО-1 «Южный», для использования новых технологий на территории полигона ТКО предполагается установка газопоршневых электростанций на территории полигона на техническом этапе рекультивации и на биологическом этапе использование технологии фитоэкстракции на завезенных почвогрунтах.

Список используемой литературы

1. Рекультивация закрытых полигонов ТБО / П. С. Куприенко, Т. В. Ашихмина, Т. В. Овчинникова, М. И. Пинчук // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2017. – Т. 1, № 8. – С. 445-447. – EDN ZPEJDN.
2. [интернет-источник] [garant.ru](https://www.garant.ru/) – информационно-правовой портал [URL: <https://www.garant.ru/>]
3. Конституция Российской Федерации
4. Кожокаръ И.П. ПРАВОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ // Труды Института государства и права РАН. 2021. №3.
5. Анализ проблемы воздействия полигонов ТКО на окружающую среду / Э. С. Аминова, А. Ф. Зайнутдинова, Д. С. Султанова, И. В. Вдовина // Проблемы обеспечения безопасности (Безопасность-2021) : материалы III Международной научно-практической конференции : в 2 томах, Уфа, 11

- марта 2021 года. Том 2. – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2021. – С. 67-73. – EDN SKAQPR.
6. Кирейчиков, И. В. Органика на полигоне вредное воздействие и как его избежать / И. В. Кирейчиков, В. В. Унжаков, Д. И. Маслов // Твердые бытовые отходы. – 2021. – № 10(184). – С. 18-22. – EDN OAUUER.
7. Говор И.Л., Гитарский М.Л. Аналитический обзор потенциального вклада отрасли обращения с отходами в климатическую политику России. Москва, 2020, 73 с. ISBN 978-5-9904750-5-2
8. ГОСТ Р 59070-2020 «Охрана окружающей среды. Рекультивация нарушенных и нефтезагрязненных земель. Термины и определения»
9. Новицкий Максим Леонидович, Азиатцева Мария Васильевна
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ, СОСТОЯНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЛИГОНОВ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ (ОБЗОР) // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2022. №3 (164).
10. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов (утверждена Министерством строительства Российской Федерации 5 ноября 1996 г.)
11. С. А. Путивский, директор ООО «ТехПолимер»; Б. В. Трушин, к. г.-м. н., директор ЗАО «Спецгеоэкология»; А. Н. Давидяк, к. т. н., директор ООО «Гидропроект» Современные технологии рекультивации полигонов ТКО// Твердые бытовые отходы. – 2017. – № 9(135).
12. Челядинова Е.Ю., Курбатова А.И. Современные подходы к проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов твердых коммунальных отходов // МНИЖ. 2018. №7 (73).
13. Вострецов, С. П. Оптимизация использования биогаза полигонов ТКО / С. П. Вострецов // Твердые бытовые отходы. – 2017. – № 9(135). – С. 42-45. – EDN ZPFEQJ.

14. Андреева Ирина Викторовна, Байбеков Равиль Файзрахманович, Злобина Мария Владимировна Фиторемедиация почв, загрязненных тяжелыми металлами // Природообустройство. 2009. №5.
15. Маджугина, Ю. Г. Растения полигонов захоронения бытовых отходов мегаполисов как перспективные виды для фиторемедиации / Ю. Г. Маджугина, В. В. Кузнецов, Н. И. Шевякова // Физиология растений. – 2008. – Т. 55, № 3. – С. 453-463. – EDN IJUXEP.
16. Nickolas J. Themelis, Priscilla A. Ulloa, Methane generation in landfills, Renewable Energy, Volume 32, Issue 7, 2007, Pages 1243-1257, ISSN 0960-1481
17. Фомина, Е. Ю. Европейский опыт проектов по санации старых полигонов ТБО / Е. Ю. Фомина, К. С. Григоренко // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2012. – № 6(65). – С. 123-127. – EDNOZGQIF.
18. Антушевич Антон Александрович, Минакова Полина Сергеевна, Зязя Александр Владимирович, Поддубный Андрей Михайлович ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ // Вопросы безопасности. 2020. №5. URL:
19. Соловьянов, А. А. Биогаз полигонов твердых коммунальных отходов: негативное влияние на окружающую среду / А. А. Соловьянов // Знание. – 2018. – № 10-1(62). – С. 61-72. – EDN YLZRJB.
20. Галиулин, Р. В. Фитоэкстракция тяжелых металлов из загрязненных почв / Р. В. Галиулин, Р. А. Галиулина // Агрохимия. – 2003. – № 3. – С. 77-85. – EDN ONUCUF.
21. Елизарьева Елена Николаевна, Янбаев Юлай Аглямovich, Кулагин Алексей Юрьевич Особенности выбора фиторемедиационных технологий очистки почв и сточных вод от ионов тяжелых металлов // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2016. №3.

22. Музалевский А. А., Федоров М. П., Сергеев В. В. Риск-анализ модели полигонов твердых бытовых отходов вокруг Санкт-Петербурга // Экология урбанизированных территорий. 2019. №3.