



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра геоэкологии, природопользования и экологической
безопасности
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: Мировой опыт рекультивации полигонов твердых коммунальных
отходов

Исполнитель _____ Половинкина Ксения Евгеньевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель _____ доктор биологических наук, профессор
(ученая степень, ученое звание)
Витковская Светлана Евгеньевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой _____
(подпись)

_____ кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

_____ Дроздов Владимир Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

«__» _____ 2023 г.

Санкт-Петербург

2023

Оглавление

Глава 1 Проблема обращения с твердыми коммунальными отходами в России и Мире.....	5
1.1 Мировая проблема: образование отходов производства и потребления....	5
1.2 Ситуация в ЕС.....	7
1.3 Ситуация в США.....	9
1.4 Ситуация в Японии.....	10
1.5 Ситуация в Китае.....	10
1.6 Ситуация в России.....	11
Глава 2 Полигоны твердых коммунальных отходов и их воздействие на окружающую природную среду.....	14
2.1 Состав и свойства твердых коммунальных отходов.....	14
2.1.1 Физические свойства твердых коммунальных отходов.....	17
2.1.2 Особые свойства твердых коммунальных отходов.....	18
2.1.3 Опасные свойства твердых коммунальных отходов.....	18
2.2 Методы обезвреживания твердых коммунальных отходов.....	19
2.2.1 Сжигание отходов.....	20
2.2.2 Компостирование.....	21
2.2.3 Захоронение на полигонах.....	22
2.3 Основные требования к строительству и эксплуатация полигонов твердых коммунальных отходов в РФ.....	24
2.4 Воздействие полигонов твердых коммунальных отходов на окружающую природную среду.....	28
Глава 3 Рекультивация полигонов твердых коммунальных отходов в РФ....	32
3.1 Понятие рекультивации нарушенных земель.....	32
3.1.1 Подготовительный этап рекультивации.....	33
3.1.2 Технический этап рекультивации.....	35
3.1.3 Биологический этап рекультивации.....	36
3.2 Технология рекультивации полигонов твердых коммунальных отходов в России.....	37

Глава 4 Технологии рекультивации полигонов твердых коммунальных отходов за рубежом.....	44
4.1 Рекультивация полигона Nirya в Израиле.....	44
4.2 Рекультивация полигона Fresh Kills в США.....	45
4.3 Полигон Getlini Eco в Латвии.....	47
4.4 Биоремедиация полигонов твердых коммунальных отходов.....	48
4.5 Санация полигонов твердых коммунальных отходов.....	49
4.5.1 Санация полигонов в США.....	51
4.5.2 Санация полигонов в ЕС.....	52

Введение

Актуальность темы. Образование твердых коммунальных отходов (ТКО) является глобальной экологической проблемой. В 2021 году в России образовалось 48362,8 тыс. тонн ТКО. Большую часть образующихся отходов продолжают вывозить на полигоны (свалки). В России – 92%. Каждый год под объекты размещения отходов отчуждаются значительные площади, а именно 400 000 га. Полигоны ТКО являются источником загрязнения окружающей среды, представляют угрозу для здоровья населения и природных экосистем, а также приводят к неэффективному использованию ценных ресурсов. И даже после закрытия полигона его негативное влияние на окружающую природную среду продолжается в течение нескольких десятилетий.

Рекультивация полигонов твердых коммунальных отходов является неотъемлемой частью его эксплуатации. Рекультивация способствует снижению негативного воздействия полигонов на окружающую природную среду, а также созданию новых возможностей для использования земель с учетом экологических и экономических факторов. Применяемые технологии рекультивации объектов размещения отходов существенно различаются на государственных уровнях. Изучение мирового опыта рекультивации объектов размещения отходов позволяет внедрять передовые технологии и методы восстановления нарушенных земель, повышать эффективность процесса рекультивации.

Цель работы: Изучить мировой опыт рекультивации полигонов твердых коммунальных отходов.

Задачи:

- 1) Изучить проблему обращения с твердыми коммунальными отходами в России и Море.
- 2) Охарактеризовать воздействие полигонов твердых коммунальных отходов на окружающую природную среду.
- 3) Обобщить имеющуюся информацию о рекультивации полигонов ТКО в Российской Федерации.

- 4) Проанализировать мировой опыт рекультивации полигонов ТКО.
- 5) Сформулировать рекомендации по совершенствованию методов рекультивации объектов размещения ТКО в РФ.

Работа изложена на 60 страницах компьютерного текста, состоит из введения, четырех глав и заключения. Содержит 10 рисунков и 4 таблицы. Список использованной литературы содержит 49 источников.

Глава 1 Проблема обращения с твердыми коммунальными отходами в России и Мире

1.1 Мировая проблема: образование отходов производства и потребления

Международные эксперты, работающие по заказу Всемирного банка, оценили, что в 2016 году в городах всего мира было сформировано 2,01 миллиарда тонн твердых коммунальных отходов, что в среднем составляет 0,74 килограмма на человека в день (Шилкина, 2020), рисунок 1.

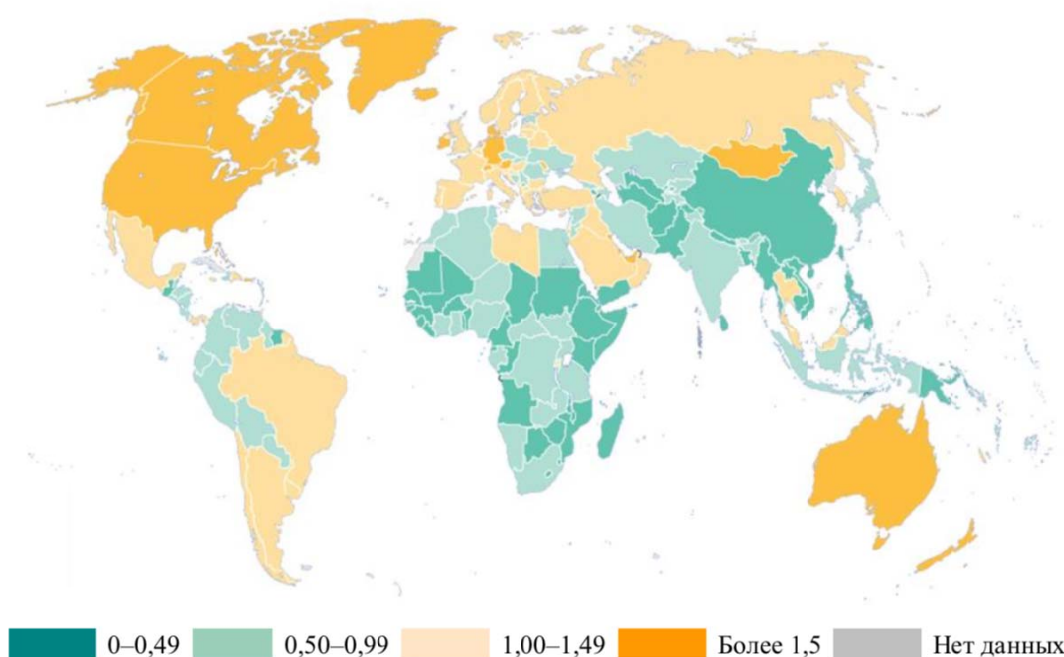


Рис. 1 Ежегодный объем твердых коммунальных отходов, образующихся на душу населения (кг/на душу населения / день) (Шилкина, 2020)

Однако, прогнозируется, что скорость образования отходов будет увеличиваться в большинстве стран мира, так как на фоне роста населения и урбанизации, ежегодное количество отходов увеличится на 70% с 2016 по 2050 год, достигнув 3,40 миллиарда тонн (Шилкина, 2020).

Многие страны мира до сих пор не имеют эффективной индустрии управления отходами, что прямо угрожает окружающей среде, биоразнообразию и здоровью людей. Чтобы справиться с растущим количеством отхо-

дов и предотвратить негативные последствия, необходимо придерживаться иерархии обращения с отходами (Игнатъев, 2021):

- Предотвращение и минимизация образования отходов;
- Повторное использование;
- Экономика совместного пользования;
- Принцип каскадного использования.

Для бедных развивающихся стран особенно актуальна проблема организации процесса сбора и утилизации отходов (рис. 2).

В некоторых странах до двух третей мусора остается на улицах или складывается на стихийные свалки (Шилкина, 2020).

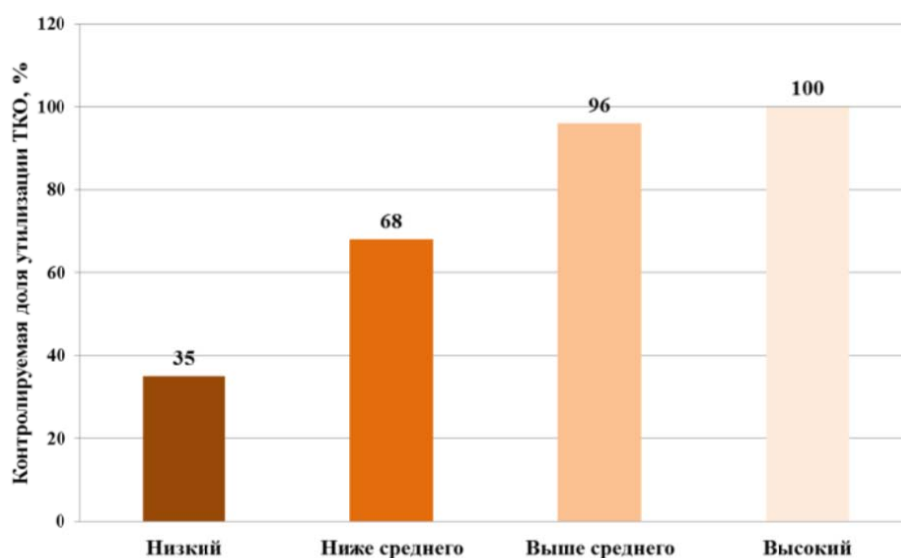


Рис. 2 Контролируемость удаления ТКО в городах в зависимости от уровня дохода населения (Шилкина, 2020)

Проблема сбора и переработки мусора в разных странах стоит достаточно остро, и развитые страны активно пытаются решить ее различными методами (Распопова, 2018).

1.2 Ситуация в ЕС

В Европе активно внедряются новые технологии обращения с ТКО, что позволяет перерабатывать отходы и использовать их как ценное сырье в различных отраслях промышленности. Некоторые страны используют синтетические волокна, полученные из переработанных отходов, а то, что нельзя переработать, сжигают для получения электроэнергии и тепла.

В разных европейских странах применяются различные методы мотивации населения к тщательной сортировке мусора, такие как вознаграждение за сдачу мусора на переработку, льготы на оплату жилья и коммунальных услуг или скидки за участие в мероприятиях по сбору мусора (Распопова, 2018).

Эта тенденция отчетливо прослеживается по данным о динамике образования и захоронения ТКО на полигонах в странах ЕС и России за период 2000–2014 г., которые представлены в таблице 1 и показывают значительное сокращение доли захоронения отходов на 1 жителя в год (Шилкина, 2020).

Таблица 1 – Динамика образования и захоронения на полигонах ТКО в странах ЕС и России (Шилкина, 2020)

Страна		2000	2005	2010	2012	2013	2014	2014г. % к 2000 г.
Всего по ЕС	образовалось/собрано	521	515	503	485	477	475	91,2%
	захоронено		220	185	154	143	132	
в том числе:								
Австрия	образовалось/собрано	580	575	562	579	578	565	97,4%
	захоронено	196	65	18	25	23	23	11,7%
Бельгия	образовалось/собрано	612	588	554	460	432	442	72,2%
	захоронено	91	56	8	5	4	4	4,4%
Болгария	образовалось/собрано	612	588	554	460	432	442	72,2%
	захоронено	400	411	411	318	298	307	76,8%
Великобритания	образовалось/собрано	577	587	509	477	482	482	83,5%
	захоронено	468	374	234	177	164	134	28,6%
Венгрия	образовалось/собрано	446	461	403	402	378	385	86,3%

Продолжение таблицы 1

	захоронено	366	383	284	263	244	221	60,4%
Германия	образовалось/собрано	642	565	602	619	609	618	96,3%
	захоронено	167	48	3	1	8	9	5,4%
Дания	образовалось/собрано	610	662	673	750	752	759	124,4%
	захоронено	66	38	23	16	13	10	15,2%
Испания	образовалось/собрано	658	588	510	468	454	435	66,1%
	захоронено	337	288	318	284	253	240	71,2%
Нидерланды	образовалось/собрано	598	599	571	549	526	527	88,1%
	захоронено	57	10	9	8	8	8	14 %
Польша	образовалось/собрано	320	319	316	317	297	272	85 %
	захоронено	313	226	195	188	157	143	45,7 %
Румыния	образовалось/собрано	355	383	313	252	254		0,00 %
	захоронено	295	301	238	171	175		0,00 %
Финляндия	образовалось/собрано	502	478	470	506	493	482	96 %
	захоронено	305	282	212	166	124	84	27,5 %
Франция	образовалось/собрано	514	530	533	523	517	511	99,4 %
	захоронено	219	182	166	139	134	132	60,3 %
Швеция	образовалось/собрано	428	477	439	450	451	438	102,3 %
	захоронено	97	23	4	3	3	3	3,1 %
Швейцария	образовалось/собрано	656	661	708	694	702	730	111,3 %
	захоронено	54	0	0	0	0	0	0,00 %
Россия	образовалось/собрано	207	260	330	371	347	389	187,9 %
	захоронено	193	242	307	345	323	369	187,9 %

За последние десять лет (2004-2014 гг.) объемы ежегодно образующихся ТКО в ЕС не только не увеличились, но даже снизились с 205 млн тонн до 203,5 млн тонн, несмотря на рост населения (Шилкина, 2020).

Это можно объяснить законодательными актами по обращению с отходами, которые устанавливают цели по обращению с отходами и подготовке к повторному использованию. Например, рамочная директива по отходам с поправками устанавливает цели: 55 % к 2025 г., 60 % к 2030 г. и 65 % к 2035 г. Однако, усилия по развитию обращения с отходами будут продолжаться для увеличения этого показателя (Обращение..., 2021).

1.3 Ситуация в США

В США ежегодно образуется около 260 млн тонн ТКО, что является самым высоким показателем в мире. Однако, только треть от общего количества ТКО перерабатывается, 13% сжигается для получения энергии, а более половины отправляется на полигоны. Бумага и картон составляют наибольшую долю ТКО и являются самыми перерабатываемыми фракциями (Системы..., 2019).

В США ежегодно образуется огромное количество ТКО, большая часть которых не перерабатывается. Однако, за последние 24 года практика переработки ТКО значительно улучшилась, особенно в отношении свинцовых батарей, жестяных и алюминиевых банок. Кроме того, компостирование стало популярным методом обращения с органическими отходами. Несмотря на это, полигоны все еще являются основным методом обращения с отходами в США, хотя их количество сокращается (Сравнительный..., 2019).

В США активно работают над уменьшением объемов ТКО, и государственные органы принимают меры для этого. Например, в Нью-Йорке действуют законы, которые обязывают жителей сортировать мусор по категориям, а нарушители подвергаются штрафам (Шилкина, 2020). Однако, отсутствие национального закона об утилизации отходов позволяет штатам и местным органам власти устанавливать свои требования в этой области (Системы..., 2019).

1.4 Ситуация в Японии

Япония является лидером среди стран, применяющих крупномасштабное сжигание отходов, так как ограниченность территории страны не позволяет использовать полигоны для утилизации мусора. Более 77% всех твердых коммунальных отходов сжигаются, а четверть из них используется для получения энергии (Сравнительный..., 2019).

В Японии более 1900 мусоросжигательных заводов, которые расположены в черте города и обеспечивают минимальный выброс вредных веществ благодаря использованию современных технологий (Шилкина, 2020).

Однако, правительство Японии считает этот метод временным и активно развивает систему переработки ТКО, доля которой увеличивается с каждым годом (Сравнительный..., 2019).

Японцы также используют "мусорные острова" для утилизации мусора и создания новых территорий для жилья, парков и промышленных объектов (Шилкина, 2020).

1.5 Ситуация в Китае

Китай является страной, которая быстро развивается экономически и сталкивается с высокими темпами роста производства ТКО: в 2013 году общий объем составил 172,4 млн тонн в год, а в 2020 году он увеличился почти вдвое до 323 млн тонн, а к 2030 году ожидается достижение объема производства в 480 млн тонн в год (Сравнительный..., 2019).

Кроме того, Китай стал крупнейшим в мире импортером отходов, но в январе 2018 года были введены ограничения на импорт мусора для дальнейшей переработки. Вместо этого Китай активно развивает систему мусоросжигательных заводов, которых уже более 244, а еще 121 находится на стадии строительства и 133 МСЗ в стадии планирования. Некоторые из них оборудованы системами выработки электроэнергии, и планируется перерабатывать до 50% отходов на МСЗ (Сравнительный..., 2019).

1.6 Ситуация в России

Согласно Государственному Докладу о состоянии и об охране окружающей среды РФ в 2021 году в Российской Федерации образовалось 48362,8 тыс. т ТКО, что всего лишь на 0,2% ниже уровня 2020 г (Государственный..., 2021).

Большинство отходов захоранивается на открытых полигонах без необходимой защиты от загрязнения окружающей среды, включая почву, водоемы и прилегающие территории. Существует более 14 700 официально санкционированных полигонов, занимающих площадь около 4 млн га, что соответствует территории Швейцарии или Нидерландов. Кроме того, имеются несанкционированные свалки, количество которых, по разным оценкам, колеблется от 10 тысяч до нескольких сотен тысяч (Шилкина, 2020).

В Докладе также приводятся данные о количестве захороненных ТКО. В 2021 году они составили 44481,7 тыс. тонн (Государственный..., 2021), то есть 92% от общего количества образовавшихся отходов.

Ежегодно для размещения все возрастающего количества бытовых отходов выделяется 400 000 га земли, что эквивалентно площади городов Москвы и Санкт-Петербурга (Шилкина, 2020).

В России мало проводится предварительная сортировка ТКО городским населением и коммунальными службами, что приводит к тому, что отходы вывозятся на полигоны или отправляются на мусоросжигательные заводы. Оба метода неэффективны и наносят значительный вред окружающей среде, а даже оборудованные по последнему слову техники полигоны создают целый комплекс экологических проблем. В России пока нет ни одного «правильного» полигона (Теучеж, 2019).

На рисунке 3 наглядно показана ситуация с образованием и размещением ТКО на полигонах в странах ЕС и России.

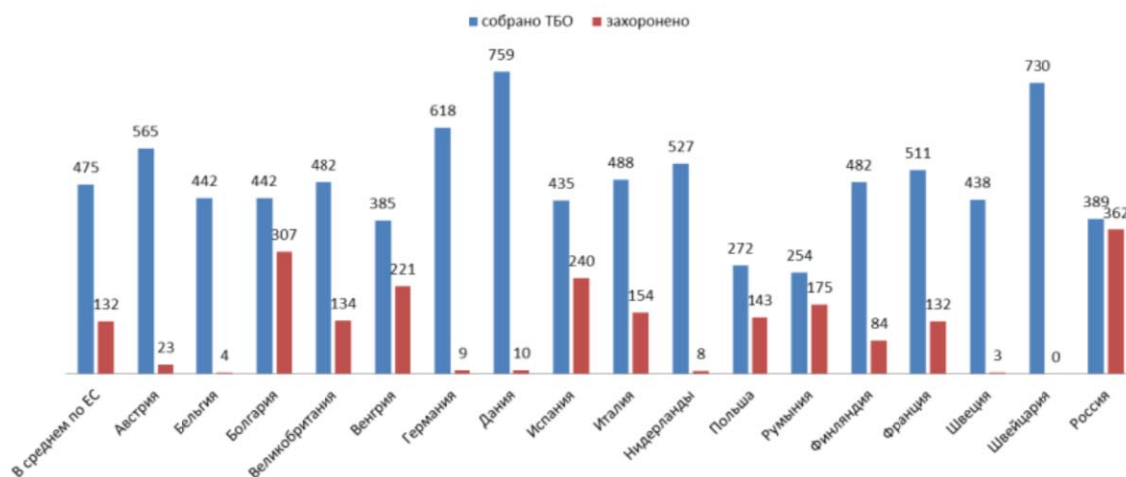


Рис. 3 Соотношение образования и захоронения на полигонах ТКО в странах ЕС и России в 2014 г., кг на 1 жителя в год (Шилкина, 2020)

Эти методы загрязняют окружающую среду, занимают большие земельные ресурсы и негативно влияют на жизнь населения (Доклад..., 2017).

Чтобы избежать катастрофических последствий, необходимо использовать мировой опыт утилизации отходов и внедрять современные технологии. В противном случае, исправление экологических проблем потребует огромных ресурсов, включая финансовые (Шилкина, 2020).

Глава 2 Полигоны твердых коммунальных отходов и их воздействие на окружающую природную среду

2.1 Состав и свойства твердых коммунальных отходов

Твердые коммунальные отходы представлены разнообразными компонентами, включающими органические и неорганические материалы. В России наиболее распространенным методом обращения с отходами в настоящее время является захоронение несортированных отходов на полигонах (Зайцев, Сотнезов, 2015).

Твердые коммунальные отходы (ТКО) включают в себя отходы, которые образуются в жилых помещениях в результате потребления физическими лицами, деятельности юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, а также товары, которые теряют свою потребительскую ценность после использования физическими лицами в домашних условиях для удовлетворения их личных и бытовых потребностей (ФЗ № 89).

К ТКО также относятся отходы, которые образуются при уборке улиц, газонов, зон отдыха, кладбищ и других территорий городов и сельских населенных пунктов в различные времена года (Васильева, Левин, 2019).

Данные Минприроды России указывают на ежегодное образование 3–4 миллиардов тонн отходов в стране. Твердые коммунальные отходы составляют всего лишь 1–2% от общего объема отходов (согласно данным Росстата за 2010 год, объем ТКО составил около 49 миллионов тонн (Международная..., 2019).

Несмотря на небольшую долю ТКО в общей структуре отходов, эффективное управление отходами является крайне важным, поскольку от него непосредственно зависит состояние окружающей среды в местах проживания людей (Международная..., 2019).

Количество производимых ТКО имеет тенденцию к увеличению, несмотря на сокращение численности населения. По данным Росстата, с 2005 по 2010 год количество коммунальных отходов выросло на 26%. В 2000 году

в среднем приходилось около 220 кг ТКО на человека в год, а в 2010 году этот показатель вырос до 330 кг. Увеличение объемов отходов связано с ростом благосостояния и покупательной способности населения (Международная..., 2019).

В настоящее время в России недостаточно уделяется внимания определению морфологического состава и других характеристик твердых коммунальных отходов (ТКО) при разработке программных мероприятий по их обращению. Однако данные о фактическом составе отходов играют исключительно важную роль, поскольку они позволяют разработать наиболее эффективные и экономически выгодные подходы к управлению отходами и их размещению на конкретной территории (Зайцев, Сотнезов, 2015).

ТКО имеет два основных свойства: фракционный состав и компонентный (морфологический) состав.

Фракционный состав ТКО определяется процентным содержанием массы компонентов отходов, которые проходят через сита с ячейками разных размеров. Наибольшая доля приходится на фракцию ТКО размером 50-150 мм, которая составляет 47,4%, а также на отсев (менее 50 мм) с долей в 32,3%. Крупная фракция отходов (более 250 мм) составляет около 7,0% (Полыгалов, 2019).

Компонентный состав ТКО отражает содержание отдельных компонентов, которые отличаются происхождением, химическим составом и свойствами (Полыгалов, 2019).

Компонентный состав ТКО играет ключевую роль в функционировании системы управления отходами. Качественный состав отходов определяет требования к системе сбора, обработки и утилизации, а также оптимальное планирование мероприятий по обращению с отходами (Международная..., 2019).

Морфологический состав ТКО зависит от климатических зон и времени года. Сезонные изменения в составе отходов характеризуются увеличением содержания пищевых отходов в весенне-осенний период, что объясняется

увеличенным потреблением фруктов, овощей и других продуктов питания. Кроме того, зимой и осенью уличные отсевы имеют большую долю в морфологическом составе ТКО (Добросердова, Федорова, 2018).

Таблица 2 – Морфологический состав ТКО для разных климатических зон (Добросердова, Федорова, 2018).

Компонент	Климатическая зона, % по массе		
	Средняя	Южная	Северная
Пищевые отходы	35-45	40-49	32-39
Бумага, картон	32-35	22-30	26-35
Дерево	1-2	1-2	2-5
Черный металлолом	3-4	2-3	3-4
Цветной металлолом	0,5-1,5	0,5-1,5	0,5-1,5
Текстиль	3-5	3-5	4-6
Кости	1-2	1-2	1-2
Стекло	2-3	2-3	4-6
Кожа, резина	0,5-1	1	2-3
Камни, штукатурка	0,5-1	1	1-3
Пластмасса	3-4	3-6	3-4
Прочее	1-2	3-4	1-2
Отсев (менее 15мм)	5-7	6-8	4-6

На текущий момент можно наблюдать увеличение содержания цветных металлов в составе ТКО из-за появления алюминиевых банок, пластиковой упаковки и бутылок, в то время как доля легкоразлагаемой органики сократилась (Добросердова, Федорова, 2018).

В общем, ТКО состоит из трех компонентов: органической составляющей (15–50%), инертной части (1,5–40%) и воды (25–60%) (Хорошавин, 2016).

Несмотря на значительную долю перерабатываемых фракций в составе ТКО, уровень переработки в России не превышает 5-7% (рис. 4), остальные отходы отправляются на полигоны (Международная..., 2019).



Рис. 4 Сравнительная характеристика степени переработки ТКО (Международная..., 2019)

2.1.1 Физические свойства твердых коммунальных отходов

К физическим свойствам ТКО относятся (Добросердова, Федорова, 2018):

- Влажность ТКО отражает его энергетическую ценность, которая определяется содержанием горючих веществ и золы, влияющих на удельную теплоту сгорания ТКО;
- Плотность ТКО является важным параметром, который зависит от морфологического состава, влажности и времени пребывания в контейнерах. Этот показатель необходим для определения необходимого количества контейнеров, мусоровозов, а также для проектирования полигонов и объектов обезвреживания и переработки отходов.

Разные компоненты отходов имеют разную плотность. Изменение содержания компонентов в отходах существенно влияет на среднюю плотность отходов. Например, в благоустроенных жилых комплексах плотность ТКО в

весенне-летний сезон составляет примерно 0,18–0,22 т/м³, в осенне-зимний – 0,19–0,23 т/м³ (Добросердова, Федорова, 2018).

2.1.2 Особые свойства твердых коммунальных отходов

К особым свойствам ТКО относятся (Добросердова, Федорова, 2018):

- Механическая (структурность) связность возникает благодаря наличию волокнистых фракций (таких как текстиль, проволока и т.д.) и сцеплению, вызванному присутствием влажных липких компонентов;
- Абразивность представляет собой способность отходов истереть поверхности, которые соприкасаются с ними, особенно при наличии твердых балластных фракций, таких как фарфор и стекло;
- Слеживаемость проявляется в том, что при продолжительном покое отходы теряют свою сыпучесть и уплотняются (с возможностью образования фильтрата) без внешнего воздействия.

2.1.3 Опасные свойства твердых коммунальных отходов

К опасным свойствам отходов относятся (Добросердова, Федорова, 2018):

- Токсичность отходов определяет их способность вызывать серьезные, продолжительные или хронические заболевания, включая раковые заболевания, при попадании в организм через дыхательные пути, пищеварение или кожу;
- Пожароопасность связана с возможностью выделения огнеопасных паров из жидких отходов, их легкой воспламеняемости, возможности усиления пожара при трении твердых отходов (за исключением взрывоопасных), самопроизвольного нагревания отходов при нормальных условиях или возгорания при контакте с воздухом, а также способности к самовозгоранию при соприкосновении с водой и выделения значительных количеств легковоспламеняющихся газов.

2.2 Методы обезвреживания твердых коммунальных отходов

Обезвреживание отходов – это процесс или набор процессов, при которых первоначально токсичное вещество или группа веществ превращаются в нейтральные, нетоксичные и неразлагающиеся соединения (Демьянова, 2007).

В настоящее время существует более 20 методов обезвреживания и утилизации ТКО. Каждый из этих методов имеет 5-10 (а в некоторых случаях до 50) различных технологий и технологических схем.

Методы обезвреживания ТКО могут быть разделены на ликвидационные, которые преимущественно решают санитарно-гигиенические задачи, и утилизационные, которые дополнительно решают проблему вторичной переработки отходов для получения вторичного сырья (Филонюк, 2007).

По технологическому принципу методы обезвреживания ТКО делятся на (Игнатьева, 2016):

- биотермические (поля запахивания, полигоны, поля компостирования, биокамеры, в сельской местности и в личных хозяйствах - компостные кучи, парники);
- термические (мусоросжигательные заводы, пиролиз);
- химические (гидролиз);
- механические (сепарация отходов с дальнейшей утилизацией, прессование в строительные блоки);

Большинство из этих методов не стали широко распространены из-за их высокой технологической сложности и относительно высокой стоимости обработки отходов.

Следующие методы обезвреживания и утилизации отходов получили наибольшее распространение в развитых зарубежных странах (Филонюк, 2007):

- складирование на полигонах;
- сжигание;
- компостирование.

2.2.1 Сжигание

Сжигание отходов представляет собой наиболее сложный и "высокотехнологичный" метод их обработки. Этот метод позволяет сократить объем отходов примерно в 3 раза и избавиться от некоторых нежелательных свойств, таких как запах, выделение токсичных жидкостей, наличие бактерий, привлекательность для птиц и грызунов. Кроме того, сжигание отходов позволяет получить дополнительную энергию, которую можно использовать для генерации электричества или отопления (Игнатьева, 2016).

Тем не менее, данный метод сжигания отходов ограничивается несколькими негативными факторами, что затрудняет распространение мусоросжигательных заводов (Филонюка, 2007):

- 1) Продукты сгорания ТКО загрязняют воздух и содержат вредные вещества, такие как тяжелые металлы, соединения хлора и фтора, зола, оксиды серы и азота, фураны и диоксины, которые негативно влияют на здоровье населения;
- 2) Строительство мусоросжигательных заводов требует высоких капиталовложений (в 7-15 раз больше, чем для полигонов). Кроме того, значительная часть затрат на строительство идет на установку сложных систем очистки выбросов;
- 3) Процесс сжигания отходов не позволяет извлекать ценные вторичные ресурсы;
- 4) Примерно треть эксплуатационных расходов мусоросжигательного завода тратится на утилизацию образующейся при сжигании золы, которая составляет до 30 % от первоначальной массы отходов, так как это гораздо более опасное для окружающей среды вещество, чем сами отходы.

Стоимость сжигания отходов равна или превышает стоимость их захоронения на полигонах (Филонюк, 2007).

Для сжигания отходов требуется предварительная обработка. При этом из ТКО стремятся удалить крупные предметы, как магнитные, так и немаг-

нитные металлы, а также раздробить их. Также проводится извлечение батареек и аккумуляторов, пластика и листов, чтобы уменьшить выбросы отходов. В настоящее время считается чрезвычайно опасным сжигание неразделенных отходов. Поэтому сжигание отходов может быть только одной из составляющих полноценной программы утилизации (Игнатьева, 2016).

Воздействие мусоросжигательных заводов на окружающую среду в основном связано с загрязнением воздуха, особенно мелкодисперсной пылью, оксидами серы и азота, фуранами и диоксинами (Игнатьева, 2016).

Эксперты считают, что мусоросжигательные заводы являются основными источниками суперагентов - диоксинов. Установлено, что не существует безопасной малой дозы диоксина. Именно угроза от диоксинов стала причиной закрытия большинства мусоросжигательных заводов. В последние годы были приняты решения о закрытии мусоросжигательных заводов во Франции, Польше и Англии (Игнатьева, 2016).

2.2.2 Компостирование

Компостирование является методом переработки отходов, основанным на естественном биоразложении. Оно широко применяется для обработки органических отходов, главным образом растительного происхождения, таких как листья, ветки и скошенная трава.

Существуют различные технологии компостирования, включая компостирование пищевых отходов и неделимого потока ТКО. По мировой практике, одним из современных и перспективных методов обработки ТКО является сочетание промышленной предварительной сортировки и утилизации ценных вторичных материалов с органическим компостированием. Предварительное извлечение основных источников тяжелых металлов (таких как аккумуляторы, цветные металлы, лакокрасочные материалы) из ТКО позволяет получить компост - ценное органическое удобрение, которое может быть использовано в различных областях, включая городскую застройку и

сельское хозяйство (Филонюк, 2007). Например, в качестве биотоплива для теплиц (Игнатьева, 2016).

На мусороперерабатывающих заводах, которые используют технологию аэробного биологического компостирования, органические составляющие ТКО возвращаются в естественный круговорот веществ в природе, подвергаются обезвреживанию и превращаются в компост.

В процессе обработки создаются условия, которые неблагоприятно влияют на большинство патогенных микроорганизмов, яйца гельминтов и личинок мух. Технологические меры позволяют нормализовать содержание микроэлементов в компосте, включая соли тяжелых металлов.

Эта технология успешно используется во многих европейских странах, таких как Франция, Италия, Германия, Нидерланды, а также в крупных городах СНГ, включая Санкт-Петербург, Нижний Новгород, Минск, Ташкент, Тбилиси, Баку (Игнатьева, 2016).

2.2.3 Захоронение на полигонах

В 1950-х годах, вместо свалок, начали появляться "полигоны ТБО" как альтернатива для утилизации отходов. Полигон представляет собой комплексную систему, в которой отходы ежедневно вывозят, выравнивают, уплотняют и покрывают слоем почвы. В настоящее время, в мировой практике, полигонное захоронение является основным методом обращения с ТКО. Это связано с его относительной технологической простотой. Однако, недостаточная экологическая надежность полигонов приводит к поиску более гигиенических и благоприятных методов обезвреживания отходов (Филонюк, 2007).

При захоронении на полигоне теряются все ценные вещества и компоненты ТКО.

Подробное исследование полигонов началось сравнительно недавно. Проведенные раскопки старых полигонов показали, что за 15 лет около 80% органического материала, попавшего на полигон, остается неразложившимся.

Кроме того, в условиях недостатка кислорода, органические отходы подвергаются анаэробному брожению, что приводит к образованию свалочного газа - смеси метана и оксида углерода (Филонюк, 2007). Этот газ не только загрязняет воздух вблизи полигона, но также наносит вред озоновому слою Земли (Игнатьева, 2016).

В недрах полигона также образуется фильтрат, который является нежелательным для поступления в поверхностные водоемы или подземные водоносные горизонты.

В связи с этим, современные полигоны оснащены комплексом мероприятий, направленных на охрану водных источников от фильтрата, а также на защиту атмосферы от метана и других газов.

Для обеспечения безопасной эксплуатации полигона применяются следующие меры (Игнатьева, 2016):

- Тщательный учет всех принимаемых отходов и применение процедур для исключения опасных отходов.
- Ежедневная изоляция складироваемых отходов для предотвращения их распространения.
- Откачка образующегося метана для предотвращения его накопления и выбросов.
- Функционирование гидротехнических сооружений, направленных на минимизацию попадания дождевых и поверхностных вод на полигон.
- Установка специальной гидроизоляции, чтобы защитить подземные воды от фильтрата.
- Регулярный мониторинг качества воздуха, грунтовых и поверхностных вод в зоне возможного влияния полигона.
- Особое внимание уделяется процессу вывода полигона из эксплуатации и последующей рекультивации, то есть восстановлению и преобразованию земельного участка после прекращения его использования в качестве полигона.

2.3 Основные требования к строительству и эксплуатации полигонов твердых коммунальных отходов в РФ

Полигоны ТКО могут быть разделены по их годовой мощности, которая определяется количеством принимаемых отходов в течение года.

Есть две категории (СП, 2018):

- Полигоны с годовой мощностью до 120 000 м³;
- Полигоны с годовой мощностью более 120 000 м³.

Также полигоны могут быть классифицированы по способу захоронения на картные и траншейные.

Мощность полигона рассчитывается, учитывая объем принимаемых ТКО, срок его использования и степени уплотнения отходов. Территория полигона ТКО обычно разделена на две зоны: производственную и вспомогательную (хозяйственную).

Производственная зона включает различные технологические участки, такие как участок сортировки, измельчения, брикетирования, компостирования и термического уничтожения отходов (СП, 2018).

Вспомогательная зона предназначена для размещения производственно-бытовых зданий, где располагаются административные помещения, пункты контроля, гаражи для машин, склады с оборудованием и инвентарем (СП, 2018).

Хозяйственная зона на территории полигона ТКО подвергается бетонированию или асфальтированию и оснащается системой освещения. На выходе с полигона предусмотрен контрольно-дезинфекционный блок, включающий бетонную ванну для очистки колесных частей мусоровозов, где применяются эффективные дезинфицирующие средства, утвержденные Минздравом России (СанПиН, 2001).

Вокруг всей территории полигона ТКО устанавливается легкое ограждение. При необходимости, его можно заменить дренажной траншеей, глубина которой составляет более 2 метров, или валом высотой не превышающей 2 метра (СанПиН, 2001).

Основание и стенки полигона должны быть выполнены из материалов, обладающих гидроизоляционными свойствами. К таким материалам относятся глинистые, асфальтобетонные, асфальтополимербетонные, полимерные, геосинтетические, тканевые и другие материалы. Эти материалы обеспечивают коэффициент фильтрации с объединенным эффектом, не превышающим 10-11 см/с, а также обладают стойкостью к механическим повреждениям, не менее 1,8 кН (СП, 2018).

Учитывая количество атмосферных осадков, испарительную способность почвы и влажность складываемых отходов, осуществляется сбор жидкой фазы (фильтрата), образующейся в их толще. На полигоне установлена дренажная система, которая обеспечивает эффективный сбор и отвод фильтрата, а также позволяет контролировать работоспособность системы и проводить ее промывку в процессе эксплуатации. Фильтрат собирается в специальные устройства, после чего проходит очистку и направляется в систему канализации для удаления (Инструкция..., 1996).

Заполнение полигона осуществляется слоями, чередуя ТКО и инертные материалы, чтобы обеспечить процесс разложения отходов, предотвратить выделение вредных веществ в атмосферу и предотвратить возгорание отходов (рис. 5).

Для полигонов, которые принимают менее 120 тыс. м³ ТКО в год, возможно использование траншейной схемы для складирования отходов. Траншеи располагаются перпендикулярно господствующим ветрам, что предотвращает разнос ТКО. Грунт, который получается при рытье траншей, используется для создания слоев изоляции и заполнения траншей после их заполнения отходами (СП, 2018).

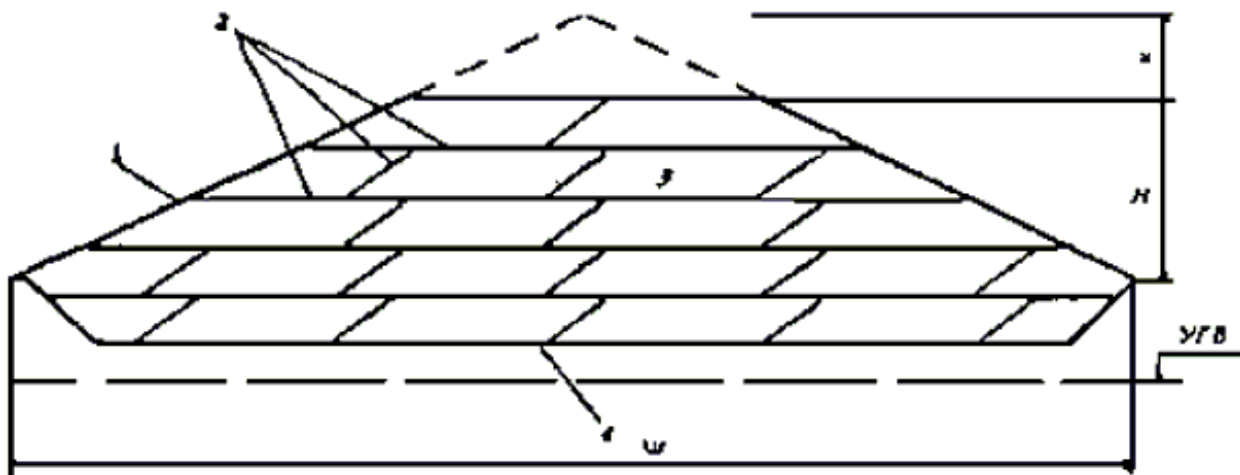


Рис. 5 - Схематический разрез полигона ТКО: 1 - наружная (окончательная) изоляция; 2 - промежуточная изоляция; 3 - ТКО; 4 - водоупорное основание; Н - высота; н - показатель снижения высоты; Ш - ширина; УГВ - уровень грунтовых вод (Инструкция..., 1996)

Вокруг периметра полигона предусмотрена отдельная сеть дренажных каналов с локальными очистными сооружениями для ливневых вод. Выпуск загрязненных ливневых вод в общую систему дождевой канализации или в ближайшие водоемы без очистки не допускается. Очищенные фильтрованные воды и воды ливневых стоков после очистки в местных очистных сооружениях могут быть использованы для технических целей, включая полив территории складирования ТКО в летнее время для обеспечения пожаробезопасности (СП, 2018).

При планировании, строительстве, прекращении эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых коммунальных отходов, учитываются климатогеографические и почвенные особенности, а также геологические и гидрологические условия местности.

Полигоны для ТКО размещаются вне городских и других населенных зон. Минимальное расстояние между полигоном и жилыми районами составляет 500 метров.

Размещение полигона ТКО не допускается (СП, 2018):

- в рекреационных зонах;

- на заболоченной местности;
- на просадочных грунтах;
- в водоохраных зонах водных объектов;
- на холмистой местности;
- на участках, загрязненных органическими и радиоактивными отходами;
- в местах, где залегание грунтовых вод менее двух метров;
- в местах выхода на поверхность трещиноватых пород (СанПиН, 2001).

Места, подходящие для размещения полигонов твердых коммунальных отходов, должны удовлетворять следующим критериям (СП, 2018):

- Предпочтительными являются участки, на которых присутствуют глины и тяжелые суглинки.
- Земли, не пригодные для сельского хозяйства и лишенные растительного покрова, также могут быть рассмотрены
- Места должны обладать возможностью проведения мероприятий и внедрения инженерных решений, которые исключают загрязнение окружающей среды, опасные геологические процессы и другие негативные явления.
- Участки, смежные с городскими территориями, но не включенные в жилую застройку в соответствии с долгосрочным планом развития города.
- Приоритет отдается участкам, где подземные воды защищены от загрязнения.
- Участки должны находиться за пределами зон влияния водозаборов, поверхностных вод, заповедников, курортов и других особо охраняемых территорий.

2.4 Воздействие полигонов твердых коммунальных отходов на окружающую природную среду

В процессе длительного захоронения отходов происходят биохимические и химические процессы разложения, которые сопровождаются образованием фильтрата и биогаза. Эти компоненты являются источниками загрязнения геологической среды на всех этапах жизненного цикла полигона (Завизион, 2019).

Фильтрат - это жидкость, которая образуется в результате разложения отходов, а также жидкость (осадки, поверхностный сток, подземные воды и т.д.), проходящая через отходы. По мере просачивания воды, биологические и химические компоненты отходов переходят в фильтрат (Завизион, 2019).

Состав фильтрата полигонов ТКО зависит от морфологии отходов и стадии жизненного цикла полигона. Каждая стадия характеризуется определенными химическими реакциями и наличием микроорганизмов, которые участвуют в разложении отходов (Милютина и др., 2020). Фильтрат полигонов ТКО содержит повышенные концентрации органических веществ, включая трудноокисляемые органические соединения, такие как галогенорганические соединения (ГОС), а также тяжелые металлы и минеральные соединения (Милютина и др., 2020).

В зависимости от стадии разложения ТКО существуют два типа фильтрата: "молодой" и "старый" фильтрат (Завизион, 2019). "Молодой" фильтрат (после 2-7 лет складирования) характеризуется высокими значениями ХПК (химической потребности в кислороде) в диапазоне от 500 до 60000 мгО₂/л и БПК₅ (биохимической потребности в кислороде) в диапазоне от 200 до 40000 мгО₂/л. Окисление органических соединений приводит к образованию кислот, которые способствуют растворению металлов и переходу их в фильтрат (Милютина и др., 2020).

Фильтрат обогащен тяжелыми металлами, такими как барий, хром, медь, железо, никель, свинец, титан и марганец (Витковская, 2012).

Со временем содержание органического углерода уменьшается, и для "старого" фильтрата характерны значения ХПК около 3000–4000 мгО₂/л и БПК₅ около 100–400 мгО₂/л, однако доля биорезистентных компонентов увеличивается. Также происходит образование карбонатов или гидроксидов металлов, что приводит к снижению концентраций металлов в фильтрате. С течением времени на полигоне происходит снижение концентрации сульфат-ионов от 1000 до 200 мг/л из-за восстановления сульфатов до сульфидов и серы. Концентрация хлоридов может колебаться в диапазоне от 200 до 5000 мг/л, а концентрация ионов аммония – от 300 до 3000 мг/л. Общая минерализация фильтрата достигает 10000 мг/л (Милютин и др., 2020).

Скорость формирования фильтрата, который образуется внутри свалки, может варьироваться от 1 года (для песчаных грунтов) до 25 лет (для глинистых грунтов) после захоронения отходов (Витковская, 2012).

Фильтрат может проникать через почву и зону аэрации и достигать грунтовых вод (Витковская, 2012). Это приводит к появлению в природных водах тяжелых металлов, токсичных элементов, биологически разлагаемых и устойчивых органических соединений. В результате качество вод ухудшается, и они становятся непригодными для использования в системах водоснабжения (Ашихмина, 2014). Зона воздействия полигонов на грунтовые воды может распространяться на значительные расстояния от источника (Витковская, 2012).

Фильтрат является наиболее серьезным экологическим фактором, связанным с воздействием полигона на окружающую природную среду, так как он может прямо воздействовать на разрушение местной флоры и фауны (Кирейчиков, Унжаков, 2021).

В процессе жизнедеятельности различных микроорганизмов внутри полигона происходит разложение органических веществ и образование значительного количества газообразных соединений, известных как биогаз. Состав биогаза весьма разнообразен и включает метан (СН₄) в диапазоне 40–70%, углекислый газ (СО₂) в диапазоне 30–60%, азот (N₂) в диапазоне 5–15%,

кислород (O_2) в пределах 2%, а также небольшое количество ароматических, галогенсодержащих и хлорированных углеводородов, в общей сложности более 100 различных компонентов (Завизион, 2019).

Большинство углеводородов и хлорированных углеводородов, обнаруживаемых в биогазе, имеют источник происхождения, не связанный с биологическими процессами. Это объясняется испарением различных видов топлива, растворителей и химических реакций, которые происходят внутри полигона (например, разрушение резины и других синтетических материалов). Свалочный газ, или биогаз, представляет собой уникальную смесь газовых компонентов, которая не имеет аналогов среди газовых смесей, образованных в естественных биологических или геологических объектах. Из-за этого наличие крупного полигона может вызывать аномалии в атмосфере вблизи него, как в количественном содержании, так и в качественном составе летучих органических соединений (Витковская, 2012).

Благодаря пористой структуре полигона, создаются условия для развития микробиологических процессов, которые способствуют выделению биогаза. В верхнем слое отходов, который находится в аэробной среде (до 1-1,5 метра), происходит микробное окисление и минерализация, в результате чего образуются CO_2 , H_2O , NO_3 и SO_4 . Некоторая часть газовых веществ, поступающих снизу, также подвергается окислительным процессам (Витковская, 2012).

Ниже располагается переходная зона с окислительно-восстановительным режимом, где происходит денитрификация. На ещё большей глубине, примерно от 1,5 до 20 метров, и далее, находится анаэробная зона с интенсивными микробиологическими процессами, которые приводят к образованию биогаза. Анаэробное разложение ТКО и выделение биогаза начинаются через 180-500 дней после захоронения отходов. Одна тонна отходов может привести к образованию до 250 м³ биогаза. Годовой объем выбросов биогаза с полигонов по всему миру составляет от 30 до 70 миллионов тонн (Витковская, 2012).

Количество биогаза, образующегося на полигоне, зависит от содержания органической фракции отходов, таких как пищевые отходы, бумага и древесина. Наиболее высокая концентрация метана в биогазе (60% и выше) образуется при разложении пищевых отходов. Органические вещества, содержащиеся в отходах, можно разделить на три класса, и каждый класс имеет свою удельную продукцию метана: углеводы — от 0,42 до 0,47 м³/кг, белки — от 0,45 до 0,55 м³/кг, жиры — до 1 м³/кг (Витковская, 2012).

Биогаз и неприятный запах от полигонов могут распространяться на расстояние до 300-400 метров. Запах вызван наличием различных веществ, таких как сероводород, органические соединения серы, эфиры, алкинбензолы и другие. Даже в небольших количествах эти вещества с резким запахом могут оказывать негативное воздействие на здоровье населения в окрестных районах (Завизион, 2019).

Биогаз может проникать в подвалы зданий, а при определенных условиях метан может быть взрывоопасным и воспламениться. Диоксид углерода и сульфид водорода также могут вызывать удушье (Витковская, 2012).

Полигоны ТКО значительно влияют на глобальный выброс метана (Витковская, 2012). Глобальные выбросы метана из свалок составляют от 6% до 18% общего потока метана в мире. Это количество превышает выбросы метана, происходящие от угольных шахт. Учитывая рост объемов образования ТКО в развивающихся странах, прогнозируется, что свалки станут главным источником метана в следующем столетии (Вайсман, 2012).

Таким образом, анаэробное разложение органической фракции ТКО на полигонах является основным фактором загрязнения атмосферы в результате захоронения отходов (Витковская, 2012).

3.1 Понятие рекультивации нарушенных земель

Земли, которые потеряли свою хозяйственную ценность или стали источником негативного воздействия на окружающую среду из-за нарушения почвенного и растительного покрова, гидрологического режима и изменений в рельефе вследствие человеческой деятельности, называются техногенно-загрязненными или деградированными. Такие земли могут содержать биогаз, тяжелые металлы, нефть и нефтепродукты, а также иметь повышенный уровень радиации и представлять эпидемиологическую опасность (Маршалкович, 2016).

Земли, которые были нарушены в результате хозяйственной деятельности человека, могут быть разделены на две категории (Васильченко, 2017):

- Территории, которые были повреждены из-за нанесения насыпного грунта, такие как свалки, отвалы, терриконы и кавальеры.
- Территории, которые подверглись выемке грунта, включая кавальеры для добычи торфа, строительных материалов, открытых горных работ, а также прогибы и провалы, образовавшиеся в результате горных подземных работ.

Рекультивация земель представляет собой комплекс мероприятий, осуществляемых с целью восстановления плодородности и хозяйственной ценности нарушенных территорий, а также улучшения экологической ситуации в соответствии с общественными интересами (ГОСТ, 1984).

Направление рекультивации земель – восстановление нарушенных земель для определенного целевого использования (Лунева, 2020).

Цели рекультивации земель (Васильченко, 2017):

- Производственная рекультивация - создание условий для использования земельного участка в производственных или сельскохозяйственных целях.

- Социально-экономическая рекультивация - обеспечение благоприятных условий для жизнедеятельности человека и экосистемы на восстановленных землях.
- Природозащитная рекультивация - восстановление и компенсация ущерба, причиненного окружающей среде, с целью сохранения и защиты природных ресурсов и биоразнообразия.

Этапы рекультивации земель представляют собой последовательность выполнения комплекса работ по восстановлению нарушенных территорий (Васильченко, 2017):

- подготовительны;
- технический;
- биологический.

Рекультивационный период представляет собой продолжительность выполнения этапов рекультивации, которая зависит от состояния нарушенных земель. Время восстановления компонентов природы определяет продолжительность этого периода, который может варьироваться от нескольких лет до нескольких десятилетий. В случае сильно нарушенных участков требуется долгосрочный контроль физико-химических и биологических процессов для обеспечения успешной рекультивации (Васильченко, 2017).

3.1.1 Подготовительный этап рекультивации

Перед основными этапами рекультивации проводится подготовительный этап, который включает ряд мероприятий.

В рамках подготовительного этапа осуществляется инвестиционное обоснование рекультивационных работ, проводятся изыскательные работы и разрабатывается необходимая рабочая документация (Чебанова, Хатхоху, 2012).

Изыскательные работы включают различные инженерные, экологические и археологические исследования. Инженерные изыскания включают топографические, геологические, гидрогеологические, гидрологические, поч-

венные и сейсмологические исследования. Экологические изыскания включают санитарно-гигиенические, биологические, химические и радиологические анализы. Кроме того, проводятся археологические исследования, при необходимости (Васильченко, 2017).

На основе результатов изыскательных работ составляется планово-картографический материал, который является важным ресурсом для дальнейших этапов рекультивации (Прокопец, 2015).

Различают следующие основные направления использования нарушенных земель после их рекультивации (Прокопец, 2015):

- 1) Сельскохозяйственное направление - использование рекультивированных земель под обработку полей, создание лугов, пастбищ и многолетних насаждений. Приоритет отдается этому направлению перед другими. В случае, когда сельскохозяйственное использование непрактично или невозможно, рекультивированные земли могут быть использованы в других сферах.
- 2) Лесохозяйственное направление - разведение лесных насаждений для общего хозяйственного и экологического благополучия, а также создание лесопитомников.
- 3) Водохозяйственное направление - создание водоемов различного назначения, таких как хозяйственно-бытовые, промышленные, оросительные, рыбоводные, для разведения дичи, поения скота и противопожарных целей.
- 4) Рекреационное направление - создание зон отдыха и спорта, включая парки, лесные парки, оздоровительные водоемы, охотничьи угодья, туристические базы и спортивные сооружения.
- 5) Природоохранное и санитарно-гигиеническое направление - создание участков природоохранного значения, включая лесные пояса противоэрозионной защиты, территории с задвижками или затопленные, а также участки, специально предназначенные для естественного обновле-

ния и не предназначенные для хозяйственного или рекреационного использования.

- б) Строительное направление - создание площадок для промышленного, гражданского и других видов строительства, а также территорий для размещения отходов производства, таких как горные породы, строительный мусор, отходы обогащения.

При выборе направления рекультивации учитываются природно-климатические и социальные условия, категория нарушенных земель, а также оценивается продолжительность восстановительного периода и другие факторы (Юрченко, 2020).

3.1.2 Технический этап рекультивации

Технический этап рекультивации нарушенных земель включает выполнение работ, направленных на создание условий для будущего использования рекультивированных участков в соответствии с их целевым назначением и разрешенным использованием (ГОСТ, 2017).

Основной целью этого этапа является подготовка почвы к последующей биологической рекультивации, в результате которой будет восстановлен прежний почвенно-растительный покров природным путем.

В рамках технического этапа рекультивации земель, в зависимости от выбранного направления рекультивации, требуется выполнить следующие основные работы (Маршалкович, 2016):

- Осуществить грубое и тонкое выравнивание поверхности.
- Произвести очистку рекультивируемой территории от крупного мусора, производственных конструкций, бытовых отходов и строительного мусора.
- Удалить временные устройства.
- Построить подъездные пути к рекультивированным участкам и обеспечить удобные въезды и дороги для специальной техники.
- Укрепить откосы и устранить насыпи.

- При необходимости создать экранирующий слой.
- Покрыть поверхность рекультивируемой земли плодородным или потенциально плодородным слоем почвы.
- Применить меры противоэрозионной организации территории.

Оптимальным периодом для выполнения технического этапа рекультивации является поздняя осень. В это время земля успевает промерзнуть, уплотняется и приобретает лучшую структуру, что способствует успешному посеву растений. Окончание технического этапа зависит от степени загрязнения нарушенных земель и климатических условий в данной местности (Маршалкович, 2016).

3.1.3 Биологический этап рекультивации

Биологический этап рекультивации восстанавливает процессы формирования почвы, улучшает ее способность к самоочищению и способствует развитию биологических сообществ. С помощью биологической рекультивации можно устранить или предотвратить повреждения ландшафта, создать условия для поддержания экологической устойчивости и завершить формирование культурного ландшафта (Васильченко, 2017).

Биологическая рекультивация включает проведение следующих работ (Маршалкович, 2016):

- Сбор образцов для химического анализа.
- Разработка плана рекультивации (включая рекомендации по использованию биопрепаратов и минеральных добавок, определение их расхода и последовательности применения).
- Обработка рекультивируемого участка с использованием биопрепаратов в соответствии с планом.
- Обработка растений биопрепаратами.
- Наблюдение за фенологическими характеристиками растений и проведение почвенного анализа.

- Оценка эффективности примененных методов.
- Сбор образцов растений для анализа на содержание вредных веществ и тяжелых металлов в окружающей среде.

Перед началом биологической рекультивации на кислых почвах проводятся предварительные мероприятия по мелиорации, включая известкование почвы. Дозы извести определяются на основе справочных и нормативных документов, применимых в конкретной почвенно-климатической зоне (Маршалкович, 2016).

По завершении всех этапов, рекультивированные земли и прилегающие территории должны представлять собой оптимально организованный и экологически устойчивый ландшафт (Тарасов и др., 2016).

3.2 Технология рекультивации полигонов твердых коммунальных отходов в России

По достижении проектной отметки и заполнении полигона производится его закрытие, а затем проводятся работы по рекультивации (Сметанин и др., 2006).

Рекультивация начинается после завершения процесса стабилизации закрытого полигона, когда грунт полигона упрочнен и достигнуто устойчивое и стабильное состояние. Сроки процесса стабилизации приведены в таблице 3.

По завершении процесса стабилизации полигона добавляется грунт для выравнивания и заполнения образовавшихся впадин, а также для укрепления внешних откосов (Инструкция..., 1996). В качестве материала для укрепления наружных откосов используются минеральные грунты, которые извлекаются в процессе раскопок полигона, а также привозные грунты (Сметанин и др., 2006).

Таблица 3 - Сроки стабилизации закрытых полигонов для различных климатических зон (Инструкция..., 1996).

Вид рекультивации	Сроки стабилизации закрытых полигонов для различных климатических зон, год		
	Южная	Средняя	Северная
Посев многолетних трав, создание пашни, сенокосов, газонов	1	2	3
Посадка кустраников, сеянцев	2	2	3
Посадка деревьев	2	2	3
Создание огородов, садов	10	10	15

Рекультивация полигона проходит в два этапа: технический и биологический.

К техническому этапу рекультивации полигона ТКО относятся следующие мероприятия (Ашихмина и др., 2017):

- Процесс укрепления тела полигона (включая добавление грунта для заполнения провалов и трещин, планировку поверхности и создание откосов с соответствующим углом наклона и другие мероприятия).
- Установка системы дегазации для сбора свалочного газа.
- Разработка и установка системы сбора и удаления фильтрата и поверхностного стока.
- Создание многофункционального защитного экрана в рамках рекультивации.

Окончательное покрытие поверхности полигона требует проведения гидроизоляции и обеспечения газовентиляции. Чтобы снизить проникновение осадков внутрь полигона, конструкция окончательного покрытия включает использование глиняного замка или гидроизоляционного барьера из геосинтетических материалов. Эти меры имеют цель обеспечить защиту поверхности полигона от воды и газов (Сметанин и др., 2006).

На рисунке 6 представлена схема выполаживания откосов полигона.

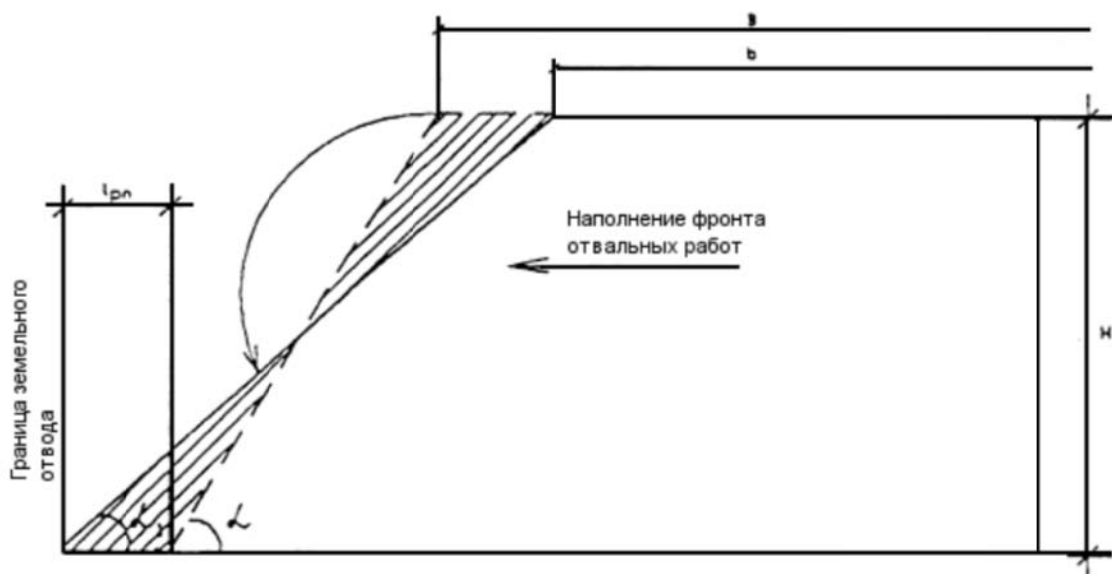


Рис. 6 Технологическая схема выполаживания откоса свалок

$l_{гр}$ - приращение горизонтальной проекции линии откоса; (α) - угол естественного откоса отходов; (α_1) - угол откоса после выполаживания; B - берма безопасности; b - ширина горизонтальной поверхности (Инструкция..., 1996)

Конструкция защитного экрана из геосинтетических материалов включает следующие этапы (Сметанин и др., 2006):

- Планировка поверхности полигона и установка системы сбора и удаления биогаза.
- Подготовка поверхности песчаным слоем под гидроизоляцию.
- Укладка геотекстильного материала толщиной 2 мм.
- Распределение гидроизоляционного слоя из бентофикса толщиной 7 мм, покрытого слоем геотекстильного материала толщиной 2 мм.
- Укладка дренажного слоя из щебня толщиной 0,3 м.
- На дренажный слой наносится слой потенциально плодородного грунта (легкий суглинок или супесь) толщиной 0,8 м, за которым следует плодородный слой толщиной 0,2 м.

Бентофикс — материал, основанный на натриевом бентоните, являющийся универсальным изолирующим материалом. В процессе использования натриевый бентонит поглощает воду, заполняя остаточные пространства пор внутри своих кристаллов и насыщаясь влагой (Васильченко, 2017).



Рис. 7 Гидроизоляционный материал Бентофикс (Васильченко, 2017)

Главная задача защитного экрана – остановить процесс образования нового фильтрата путем прекращения доступа влаги к свалочному телу полигона (Путивский и др., 2017).

Для сбора и отвода остаточного фильтрата из тела полигона закладывается дренажная система. Для очистки фильтрата используются локальные очистные сооружения.

Для сбора и отвода биогаза так же обустраивается дренажная система. Собранный биогаз отправляется на установку по его сжиганию с целью получения энергии или без нее (Путивский и др., 2017).

По завершении технического этапа, участок передается на биологический этап рекультивации закрытых полигонов (Инструкция..., 1996).

На этом этапе осуществляется комплекс мероприятий по агротехнике и фитомелиорации, направленных на восстановление нарушенных земель (Ашихмина и др., 2017)

Для предотвращения ветровой и водной эрозии на сформированных грунтовых поверхностях проводится их озеленение. На склонах и бермах (террасах) высаживаются древесно-кустарниковые растения для защиты, а на откосах проводится посев многолетних трав.

Верхнюю часть полигона обустроят в соответствии с планируемым последующим использованием (Сметанин и др., 2006).

Биологический этап рекультивации, как правило, занимает 4 года и включает следующие работы: выбор ассортимента многолетних трав, подготовку почвы, посев и уход за посевами. Ассортимент многолетних трав приведен в таблице 4.

Таблица 4 -Ассортимент многолетних трав для биологического этапа рекультивации закрытых полигонов (Инструкция..., 1996)

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

В первый год биологического этапа проводятся мероприятия по подготовке почвы. Это включает дискование на глубину 10 см, внесение основного удобрения, а затем боронование в два следа и предпосевное прикатывание.

Далее проводят отдельный посев подготовленной травосмеси, которая состоит из двух, трех или более видов растений. Выбор состава травосмеси осуществляется с учетом хорошего задернения полигона, устойчивости к морозам и засухам, долговечности и быстрого восстановления после скашивания (Инструкция..., 1996).

На второй, третий и четвертый год выращивания многолетних трав, весной выполняются следующие мероприятия: подкормка азотными удобрениями, боронование на глубину 3-5 см, скашивание на высоту 5-6 см и подкормка полным минеральным удобрением.

По истечении четырех лет после посева трав, рекультивированная земля полигона передается под управление компетентных органов, ответственных за сельскохозяйственные, лесохозяйственные или рекреационные работы, с целью дальнейшего целевого использования земельного участка (Инструкция..., 1996).

В большинстве случаев биологический этап рекультивации является необходимым, так как процессы самозарастания могут занимать продолжительное время, иногда до нескольких десятилетий. Исследования Л.С. Застенского показали, что при формировании рекультивационного слоя из минеральных суглинистых грунтов в условиях Беларуси гумусообразующие процессы протекают очень медленно, и за 15 лет образуется всего лишь 1,5-2 см сплошного горизонта гумуса. В северных районах, где условия экстремальные, эти процессы происходят еще сложнее, и без специальных мероприятий на биологическом этапе рекультивации восстановление нарушенных ландшафтов (Новицкий, 2022).

Глава 4 Технологии рекультивации полигонов твердых коммунальных отходов за рубежом

Широкое распространение за рубежом в последнее время получила рекультивация, направленная на рекреационное использование восстановленных территорий. На месте полигонов создаются туристические базы, зоны отдыха и спортивные сооружения (Студницкая, Коренев, 2021).

Рассмотрим несколько самых удачных рекультиваций полигонов ТКО.

4.1 Рекультивация полигона Hiriya в Израиле

Полигон Hiriya просуществовал 46 лет. На момент закрытия длина полигона достигала почти километра, а высота около 80 метров.

Объединившись, крупнейшие города Израиля создали промышленный парк переработки отходов, который состоит из 6 структурных подразделений (Гранстрем, Распутина, 2023):

- завод по переработки ТКО в топливо;
- мусоросортировочный комплекс;
- станция биогаза;
- площадка по переработке органических отходов и строительных материалов;
- разгрузочная станция.

Все, что можно переработать – перерабатывается. Например, строительный мусор измельчают и используют по всей стране для строительства дорог.

Через многочисленные скважины откачивают свалочный газ, объем которого составляет около 1000 кубических метров в час. Этот газ используется на соседней фабрике. Мусорной горы накрыли биопластиком, а сверху были уложены слои гравия и грунта, общая высота которых почти 7 метров. Контур горы был сохранен, склоны были укреплены и засеяны травой, а на вершине был создан парк с искусственным озером, фонтанами, велодорожками.



Рис. 8 Парк на месте бывшего полигона Hiriya (<https://agroportal.ua/>)

4.2 Рекультивация полигона Fresh Kills в США

На острове Стейтен-Айленд располагалась полувековая городская свалка Нью-Йорка, площадью 890 га. Территория была занята 150 млн тоннами отходов, которые поднимались на высоту 70 м.

Было принято решение накрыть отходы специальным колпаком из непроницаемых материалов со встроенной системой откачки свалочного газа. Его очищают и используют для обогрева жилых домов на Стейтен-Айленде.

Чтобы полностью очистить полигон от фильтрата, его залежи изрешетили колодцами, траншеями и трубами, а поверх колпака уложили миллионы тонн чистого грунта (Гранстрем, Распутина, 2023).

Также, была применена такая технология как биоремедиация. Одним из ключевых компонентов проекта была фиторемедиация, при которой были использованы определенные виды растений, способные принимать и разлагать загрязняющие вещества. Растения были тщательно подобраны и разме-

щены на полигоне с учетом их способности к очистке почвы и созданию благоприятных условий для роста других растений.

Кроме того, в процессе биоремедиации были применены бактерии, способные разлагать органический материал и уменьшать содержание вредных химических соединений. Бактерии были интродуцированы на полигоне для активации процессов разложения и очистки.



Рис 9 Территория бывшего полигона Fresh Kills после рекультивации (<https://w2e.ru/>)

4.3 Полигон Getlini Eсо в Латвии

В окрестностях Риги находится прогрессивное муниципальное предприятие по переработке отходов, которое заменило бывший полигон, работавший с 1972 года.

Полигон был изолирован глиной и покрыт слоем плодородной почвы и засеян растительностью, а на месте был возведен комплекс зданий по сортировке отходов (Гранстрем, Распутина, 2023).

Фильтрат от законсервированного полигона собирается и очищается. А биогаз, после очистки, перенаправляется на электростанцию, где из свалочного газа генерируется электричество и тепло. Электроэнергией обеспечивается 25 тыс. домохозяйств в течение всего года. Тепла вырабатывалось больше, чем нужно, поэтому руководство решили построить неподалеку от полигона теплицу, в которой выращивают помидоры и огурцы на каменной вате.

Рядом с комплексом расположена открытая зона размещения отходов, оборудованная многослойным инженерным сооружением с мембранами, сетками и гравием для минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

Общая площадь комплекса составляет 87 га, включая рекультивированный и новый полигоны, и это одно из самых современных предприятий своей отрасли в Европейском союзе с интеграцией объектов сельскохозяйственной отрасли.



Рис. 10 Рекультивированный полигон в Латвии (<https://realt.onliner.by/>)

Таким образом, можно выделить общие тенденции в рекультивации полигонов ТКО за рубежом:

- 1) Предпочтение отдается рекреационному направлению.
- 2) Строительство мусороперерабатывающего комплекса.
- 3) Основание полигона дренируют для сбора и очистки фильтрата.
- 4) Из образующегося биогаза генерируют энергию.
- 5) Применение биоремедиации.

4.4 Биоремедиация полигонов твердых коммунальных отходов

Биоремедиация - это процесс использования живых организмов (бактерий, грибов или растений) для очистки загрязненных районов. В случае рекультивации полигонов ТКО, биоремедиация может применяться для обработки загрязненной почвы и водных объектов на территории полигона.

Главная цель биоремедиации заключается в уменьшении негативного влияния почв полигона ТКО на окружающую среду и достижении соответствия нормативным показателям (Кравцова, 2018).

В биоремедиации бактерии и грибы играют роль деструкторов, которые могут разлагать загрязняющие вещества в более безопасные соединения. Например, некоторые бактерии способны разлагать нефтепродукты, токсичные химические вещества и другие органические загрязнители. Грибы также проявляют способность к деградации различных загрязнителей.

Мероприятия по биоремедиации загрязненных почв включают рыхление или вспашку, использование удобрений, посев зеленых удобрений, использование илов от биологических очистных сооружений и микроорганизмов-деструкторов, а также фиторемедиацию. Эти меры создают условия для жизнедеятельности микроорганизмов в почве, стимулируют их деятельность и повышают их метаболическую и деструктивную активность (Кравцова, 2018).

Преимущества биоремедиации включают естественность и экологическую безопасность метода, более низкие затраты по сравнению с другими

методами очистки, а также возможность использования восстановленной почвы и воды для дальнейшего использования на полигоне.

Данный метод применялся при рекультивации раннее упомянутых полигонов Hiriya в Израиле и Fresh Kills в США.

4.5 Санация полигонов твердых коммунальных отходов

Санация полигонов является относительно новым подходом, используемым для расширения емкости полигонов твердых коммунальных отходов и избежания высоких затрат на приобретение дополнительной земли. Санация территории – это ликвидация источника загрязнения грунта (Фомина, 2021).

Затраты на санацию часто компенсируются продажей или использованием вторсырья и отходов, которые могут быть сожжены для производства энергии.

Санация полигона проходит по следующим этапам (Landfill..., 1997):

- 1) Обустроивается новый участок с полной гидроизоляцией в границах существующего полигона.
- 2) Экскаватор вынимает содержимое полигона. Извлеченный материал транспортируют в складские помещения, отделяются массивные материалы, например, бытовая техника;
- 3) Разделение грунта (просеивание). Вращающееся цилиндрическое сито разделяет грунт от отходов.
- 4) Грунт может использоваться в качестве наполнителя или ежедневного перекрывающего материала на полигонах. Из отходов извлекают ценные компоненты (например, сталь и алюминий) или они могут быть сожжены в мусоросжигательном заводе для производства энергии.

Освобожденный от депонированных отходов участок полигона ТКО подвергается санации путем внесения природных и/или искусственных сорбентов, после чего он может быть использован для захороне-

ния новых отходов в соответствии с нормативными требованиями (Титов, 2018).

Преимущества данной технологии (Landfill..., 1997):

- 1) Увеличение вместимости полигона на текущей территории. Санация полигона продлевает срок службы существующего объекта за счет удаления восстанавливаемых материалов и сокращения объема отходов путем сжигания и уплотнения.
- 2) Доход от продажи перерабатываемых материалов. Восстановленные материалы, такие как черные металлы, алюминий, пластик и стекло, могут быть проданы, если есть спрос на эти материалы.
- 3) Восстановленный грунт можно использовать на месте в качестве перекрывающего материала на полигоне, тем самым избегая затрат на его импорт. Кроме того, восстановленный грунт можно продать, его используют как строительный наполнитель.
- 4) Производство энергии на сжигательных установках. Горючие восстановленные отходы могут смешиваться со свежими отходами и сжигаться для производства энергии на сжигательных установках.
- 5) Снижение затрат на закрытие полигона и освобождение земли для других целей.

4.5.1 Санация полигона в США

Первый демонстрационный проект санации был проведен на полигоне твердых коммунальных отходов в Эдинбурге, штат Нью-Йорк, который принимал отходы с 1969 по 1991 год и занимал площадь 2 га (Landfill..., 1997).

Проект в Эдинбурге был разделен на три фазы. Первая фаза, начавшаяся в декабре 1990 года, включала выемку 4 000 кубических метров отходов из 12-летнего участка полигона на средней глубине 6 метров. Вторая фаза, начатая в июне 1991 года, включала выемку 8 000 кубических метров отходов из 20-летнего участка полигона на средней глубине 2 метра.

Третья фаза проекта в Эдинбурге проходила с августа по сентябрь 1992 года. В этой третьей и последней фазе было рекультивировано дополнительные 24 000 кубических метров за 28 дней. 75% рекультивированного материала составила почва, ее использовали за пределами полигона в качестве строительного материала. (Landfill..., 1997).

Испытательное сжигание рекультивированных отходов показало, что теплотворная способность имеет ниже желательного значения из-за высокой степени разложения отходов и наличия камней в просеянном материале.

Восстановленные материалы, не являющиеся почвой и составляющие 25 процентов рекультивированных отходов, были вручную отсортированы для возможности переработки. Хотя 50 процентов непочвенного материала было признано перерабатываемым, чистка материалов до стандартов рынка была невозможна. Однако некоторые шины, бытовая техника и металлолом были отделены и подвергнуты переработке (Landfill..., 1997).

4.5.2 Санация полигонов в ЕС

В 2014 году была проведена тестовая раскопка полигона Рагн-Селлз недалеко от Стокгольма. Полигон был заложен в 1964 году и занимал площадь 30 га. Для раскопок использовался грохот, ковшовый экскаватор и фронтальный погрузчик (Experiences..., 2014).

Было выкопано четыре тестовые ямы глубиной 3,5–4 м для того, чтобы получить достаточное количество отходов для выполнения детальной характеристики и определения разнородности отходов (в общей сложности около 2100 тонн) с целью получить реалистичное соотношение массы различных материалов и предложить адекватную эффективную систему сортировки мусора для будущих полномасштабных раскопок (Experiences..., 2014).

Общий объем отсортированной крупной фракции более 40 мм составил 392 тонны – она была раздроблена в шредере для крупной фракции, а затем разделена на фракцию (300 тонн), содержащую нецветные металлы, и 92 тонны мелкой фракции (менее 20 мм). Объем отсортированной средней

фракции (10-40 мм) приблизительно оценивается в 560-600 тонн, а мелкой фракции от 0 до 10 мм – в 929 тонн (Experiences..., 2014).

Раскопка полигонов наносит большой ущерб оборудованию. На сортировку отходов требуется много времени, необходимо также определить метод отделения металлов из почвы, провести анализ образцов отходов и промыть материал. Если обнаружатся опасные отходы, возникают вопросы о том, что делать с ними, каков риск перемещения мусора вокруг них и существует ли проблема с метаном для безопасности раскопок. Возможно, потребуется сооружение вентиляционных траншей или закачка воздуха в свалку до начала раскопок. Важно также определить количество материала, который придется отправить на полигон после раскопки и сортировки (Experiences..., 2014).

Решение о выборе метода рекультивации участка полигона ТКО зависит от ряда факторов, включая экономические возможности и ценность земельного участка, геометрические параметры полигона, степень разложения отходов и доступность других полигонов для перевозки отходов (Бикташева, 2018).

Изучив мировой опыт рекультивации полигонов ТКО, можно сделать вывод, что санация подходит только для полигонов небольшого размера. Для больших и старых выгоднее рекультивировать полигоны в рекреационных целях с извлечением из него тепла и электричества.

4.6 Рекомендации для России

Проанализировав систему обращения с твердыми коммунальными отходами и рекультивацию полигонов ТКО в развитых странах Мира, можно увидеть четкую тенденцию перехода от захоронения отходов к их переработке. На данный момент переработка отходов является наиболее выгодным как по экологическим, так и по экономическим параметрам.

Переход от захоронения отходов к их переработке возможен только при наличии правильной инфраструктуры и законодательства. Во-первых, необ-

ходимо создать специальные центры по переработке отходов, где собираются и классифицируются различные типы отходов. Затем эти отходы должны быть переработаны в соответствии с их типом и назначением.

Во-вторых, необходимо вводить законы и нормативы, обязывающие компании и граждан заботиться об утилизации отходов. Такие законы могут включать в себя обязательную сортировку отходов, использование переработанных материалов для производства товаров, а также штрафы за неправильную утилизацию отходов.

В-третьих, необходимо проводить информационную работу среди населения и бизнеса о важности переработки отходов и последствиях неправильной утилизации. Это может быть осуществлено через кампании по экологическому образованию, обучающие семинары и мероприятия.

Эти меры помогут значительно сократить количество поступаемых на полигоны отходов, а следовательно, само количество полигонов ТКО. Что касается уже существующих полигонов и несанкционированных свалок, то их необходимо рекультивировать или санировать. Мировой опыт показал, что из больших по площади полигонов можно извлечь много пользы: из образующегося в свалочном теле полигона биогаза можно производить тепло и энергию, достаточного для жизнедеятельности целого района, а на самой поверхности полигона, после его рекультивации, можно обустроить прекрасные парки, зоны отдыха, спортивные площадки. Также для небольших полигонов и несанкционированных свалок предусмотрен метод санации, при котором тело полигона сортируется на грунт и материалы, пригодные для переработки. Они могут быть проданы или использоваться вторично. А освобожденная от отходов территория очищается и может эксплуатироваться уже по другому назначению.

Заключение

Обращение с твердыми коммунальными отходами является значительной проблемой как в России, так и во многих других странах мира. Быстрый рост населения, увеличение потребления и недостаток эффективных систем управления отходами создают серьезные проблемы с их накоплением и обработкой.

В России существуют проблемы с недостаточной инфраструктурой и технологиями для обращения с ТКО. Множество полигонов представляют серьезную угрозу для окружающей среды и здоровья людей.

В мировом масштабе также существует необходимость в совершенствовании системы управления ТКО. Многие страны сталкиваются с проблемами переполненных полигонов, загрязнением почвы и воды, а также негативными последствиями для здоровья.

Решение проблемы обращения с ТКО требует комплексного подхода, включающего сокращение объемов образования отходов, совершенствование системы раздельного сбора отходов, развитие инфраструктуры для их переработки и утилизации, применение новых технологий и повышение экологической грамотности населения.

Полигоны твердых коммунальных отходов оказывают негативное воздействие на окружающую природную среду, являются источником загрязнения почвы, воды и воздуха, а также создают проблемы с неприятными запахами и привлекают вредителей.

Одной из основных проблем полигонов ТКО является образование фильтрата, который содержит опасные химические вещества и может проникать в грунтовые воды, загрязняя их. Образование свалочного газа также является экологической проблемой.

Для снижения негативного воздействия полигонов ТКО на окружающую среду необходимо применение экологически и экономически целесообразных технологий и методов обезвреживания отходов.

Рекультивация полигонов твердых коммунальных отходов является важным этапом восстановления земель, нарушенных вследствие их захоронения.

Рекультивация полигонов ТКО проводится в два этапа: технический (производится укрепление тела полигона, дегазация, сбор и очистка фильтрата, создание защитного экрана) и биологический (подбор грунта и растений и их непосредственный посев).

В последнее время за рубежом популярна рекреационная рекультивация полигонов ТКО. На изолированном полигоне высаживаются деревья, кустарники и цветы, обустраиваются детские площадки, зоны отдыха и прогулочные тропы. Из тела полигона добывают биогаз, из которого производят электроэнергию для работы самих же парков или для обеспечения ближайших районов. Второй распространенный метод – санация, при котором полигон полностью утилизируют. Тело полигона сортируют на грунт и материалы, пригодные для переработки. Освобожденная от отходов территория после обработки может использоваться для других целей.

Для улучшения экологической обстановки в России, рекомендуется переходить от захоронения отходов к их переработке, а уже существующие полигоны рекультивировать, основываясь на мировой опыт.

Список использованных источников

1. Ашихмина Т.В. Геоэкологический анализ состояния окружающей среды и природоохранные рекомендации в районе расположения полигонов ТБО Воронежской области: дисс...канд.географич.наук. Воронеж, 2014. 167 с.
2. Васильева Е.А., Левин А.В. Технология обращения с твердыми коммунальными отходами: Учебное пособие. – ВШТЭ СПбГУПТД. СПб., 2019. Часть 1. 61 с.
3. Вайсман Я.И. Управление отходами. Сточные воды и биогаз полигонов захоронения твердых бытовых отходов: монография / Я.И.Вайсман - [и др.]; под ред. Я.И. Вайсмана. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. 259 с.)
4. Васильченко А. В. Рекультивация нарушенных земель: учебное пособие: в 2-х частях / А.В.Васильченко – Оренбург: ОГУ, 2017. – Ч. 1. 230 с.
5. Витковская С.Е. Твердые бытовые отходы: антропогенное звено биологического круговорота. / С.Е.Витковская – СПб: АФИ, 2012. 132 с.
6. ГОСТ 17.5.1.01-83 Охрана природы. Рекультивация земель. Термины и определения. М: ИПК Издательство стандартов. 2002. 8 с.
7. ГОСТ Р 57446-2017 Рекультивация нарушенных земель и земельных участков. Восстановление биологического разнообразия. М: Стандартинформ. 2019. 21 с.
8. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году» М.: Минприроды России; НПП «Кадастр». 2022.- 686 с.
9. Гранстрем М.А. Принципы ревитализации нарушенных территорий – бывших полигонов ТБО / М.А. Гранстрем, Е.В. Распутина // Экономика строительства. 2023. №4. С. 157 – 161.

10. Демьянова В.С. Процессы и аппараты переработки твердых бытовых отходов: Учебное пособие по выполнению курсового и дипломного проектирования – Пенза: ПГУАС, 2007. с. 80.
11. Добросердова Е.А., Федорова С.Ф. Организация и обращение с твердыми бытовыми отходами: Учебное пособие – Казань: Изд-во Казанск. гос.архитект.-строит. ун-та, 2018. 83 с.
12. Доклад Совета при Президенте Российской Федерации по развитию гражданского общества и правам человека по вопросам, связанным с обеспечением прав населения на охрану здоровья и благоприятную окружающую среду при утилизации отходов потребления. Москва. 2017. 48 с.
13. Зайцев В.А. Экспериментальное определение состава и свойств твердых коммунальных отходов – ключевой этап при разработке программных мероприятий в области управления коммунальными отходами / В.А. Зайцев, А.В. Сотнезов // Успехи в химии и химической технологии. Том 29. 2015. № 9. С. 21-23.
14. Завизион Ю.В. Геоэкологическая оценка состояния полигона захоронения твердых коммунальных отходов как элемента природно-техногенной системы. дисс... канд.тех.наук. Пермь, 2019. 168 с.
15. Игнатьева Л. П. Гигиенические аспекты обращения с бытовыми отходами (сбор, транспортировка, обезвреживание): учебное пособие – Иркутск: ИГМУ, 2016. 72 с.
16. Игнатьев О.В. Будущее отрасли обращения с отходами: тенденции, возможности, вызовы / О.В.Игнатьев // ТБО – Обращение с отходами. 2021. № 12. С. 8-13.
17. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов. М: Минстрой, 1996. 39 с.
18. Кирейчиков И.В. Отрасль обращения с ТКО с точки зрения профессионалов / И.В.Кирейчиков, В.В.Унжаков, Д.И.Маслов // ТБО – Обращение с отходами. 2021. № 2. С. 34-39.

- 19.Кравцова М.В. Экологические основы биоремедиации полигонов ТКО: дисс...канд.хим.наук. Тольяти. 2018. 87 стр.
- 20.Куприенко П.С. Рекультивация закрытых полигонов ТБО / П.С. Куприенко, Т.В. Ашихмина, Т.В. Овчинникова, М.И. Пинчук // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2017. С. 445-447.
- 21.Лунева Е. Н. Рекультивация и охрана земель: учебное пособие / Е. Н. Лунева, А. А. Панкарикова, И. В. Гурина. – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2020. 241 с.
- 22.Малюхин Д.М. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОРГАНОГЕННЫХ СУБСТРАТОВ ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ дисс...канд.геогр. наук. Санкт-Петербург. 2018. 165 с.
- 23.Маршалкович А.С. Экология городской среды: курс лекций / А.С. Маршалкович, М.И. Афонина; М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. Москва: НИУ МГСУ, 2016. 319 с.
- 24.Милютин Н.О. Анализ методов очистки фильтрата полигонов твердых коммунальных отходов / Н.О.Милютин, Н.А. Политаева, П.С. Зеленковский, И.И. Подлипский, Е.С.Великосельская // Вестник Евразийской науки. – 2020. - №3. С.1-11.
- 25.Обращение с твердыми коммунальными отходами: опыт России и отдельных зарубежных стран. 2021. Режим доступа: https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/ru_ru/topics/climate-change/ey-solid-waste-management-in-russia-report-2021-v2.pdf (Дата обращения 10.04.2023)
- 26.Отходы в России: мусор или ценный ресурс? Сценарии развития сектора обращения с твердыми коммунальными отходами: итоговый отчет М: IFC, Группа Всемирного Банка, 2019. 92 с.

- 27.Полыгалов С.В. Методические подходы к геоэкологической оценке технологий обработки твердых коммунальных отходов с получением твердого топлива: дисс... канд. техн. наук. Пермь, 2019. 171 с.
- 28.Проект рекультивации земель на лесном участке, переданном в аренду ПАО «Обънефтегазгеология». НИИпроект. 2022. 47 с.
- 29.Прокопец Р.В. Рекультивация земель: краткий курс лекций для студентов 4-х курсов направления подготовки 20.03.02 «Природообустройство и водопользование» / Р.В. Прокопец // ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ». Саратов, 2015. 43 с.
- 30.Путивский С.А. Современные технологии рекультивации полигонов ТКО / С.А. Путивский, Б.В. Трушин, А.Н. Давидяк // Твердые бытовые отходы. 2017. №9. С. 18-20.
- 31.Распопова А.В. Утилизация твердых коммунальных отходов в РФ: постановка экологической и управленческой проблемы / А.В.Распопова // С.578-581 Режим доступа:
https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/61341/1/978-5-7741-0327-0_134.pdf
(Дата обращения 04.04.2023)
- 32.Системы управления бытовыми отходами разных стран: Рецепты для России. М.: Институт экономического роста им. П.А. Столыпина. 2019. 23 с. <https://stolypin.institute/storage/app/media/researches/sistemy-utilizatsii-othodov-raznyh-stran-25-09-2019.pdf> (Дата обращения 10.04.2023)
- 33.Сметанин В.И. Учебное пособие по курсовому проектированию: Проект полигона захоронения твердых бытовых отходов / В.И. Сметанин., И.А. Соломин, О.И. Соломина. М.: МГУП, 2006, 68 с.
- 34.СП 320.1325800.2017. Полигоны для твердых коммунальных отходов: проектирование, эксплуатация и рекультивация. М.: Минстрой, 2017. 33 с.
- 35.Тарасов П.А. Биологическая рекультивация земель: Учебное пособие к курсовому проектированию для студентов направления 35.03.01 «Лес-

- ное дело» очной и заочной форм обучения / П.А. Тарасов, Е.О. Бакшеева, В.А. Иванов - Красноярск: СибГАУ, 2016. 69 с.
36. Теучеж А. А. Производственные и бытовые отходы: учеб. пособие / А. А. Теучеж ; под общ. ред. И. С. Белюченко. Краснодар: КубГАУ, 2019. 91 с.
37. СП 2.1.7.1038-01. Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов. М: Стандартинформ, 2001. 12 с.
38. Сравнительный анализ технологий переработки твердых коммунальных отходов и механизмов обеспечения окупаемости проектов по строительству объектов по переработке твердых коммунальных отходов с минимизацией перекрестного субсидирования для участников оптового рынка электроэнергии и мощности. Москва: Ассоциация НП Совет Рынка. 2019. 366 с.
39. Студницкая А.А. Зарубежный и отечественный опыт рекультивации полигонов ТБО / А.А. Студницкая, В.И. Коренев // Избранные доклады 67-й университетской научно-технической конференции. 2021. С. 536 - 541.
40. Федеральный закон об отходах производства и потребления от 24.06.1998 №89-ФЗ // Совет Федерации. 1998
41. Филонюк, В. А. Очистка населенных мест от твердых бытовых отходов: метод. рекомендации – Минск: БГМУ, 2007. 20 с.
42. Фомина Е.Ю. Европейский опыт проектов по санации старых полигонов ТБО / Е.Ю. Фомина, К.С. Григоренко // IPolytech Journal. 2012. С. 123 – 127.
43. Фомина Е.Ю. Санирование промышленных зон: Методические указания по практическим занятиям и самостоятельной работе / Е.Ю. Фомина - Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2021. 38 с.

44. Хорошавин, Л. Б. Основные технологии переработки промышленных и твердых коммунальных отходов: [учеб. пособие] Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. 220 с.
45. Чебанова Е.Ф. Методические рекомендации для выполнения расчетно-графических работ по дисциплине «Рекультивация и охрана земель» / Е.Ф. Чебанова, Е.И. Хатхоху. – Краснодар: КубГАУ, 2012. 29 с.
46. Шилкина С.В. Мировые тенденции управления отходами и анализ ситуации в России / С.В. Шилкина // Отходы и ресурсы. 2020. № 1. С. 1-17.
47. Юрченко Ю.В. Требования к рекультивации нарушенных земель / Ю.В. Юрченко // Экология производства. 2020. №2. С.100-108.
48. Hogland W. Experiences of three landfill mining projects in the Baltic sea area – with focus on machinery for material / W. Hogland, F. Kaczala, K. Orupold, J. Burlakovs // Conference paper. № 11. 2014. P. 1-12.
49. Landfill Reclamation. United States Environmental Protection Agency EPA530-F-97-001. July 1997. 8 p. Режим доступа: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-03/documents/land-rcl.pdf> (Дата обращения 31.05.2023)